

CTE DB

HR Protecció enfront del soroll



Col·legi d'Arquitectes
de Catalunya



FONAMENTS D'ACÚSTICA I TERMINOLOGIA DB-HR

Ivana Rossell Turull

Professora d'Enginyeria i Arquitectura La salle, URL
Directora Màster d'Acústica Arquitectònica i Mediambiental, La Salle, URL

Assessora Acústica
ivana.rossell@gmail.com

COAC- Oficina Consultora Tècnica

Ivana Rossell- Consultora Acústica

CTE DB

HR Protecció enfront del soroll

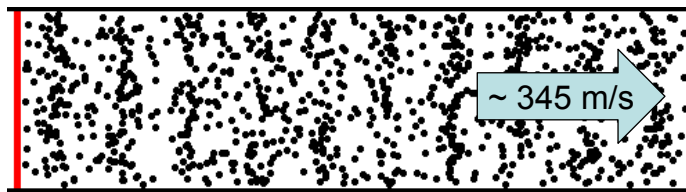
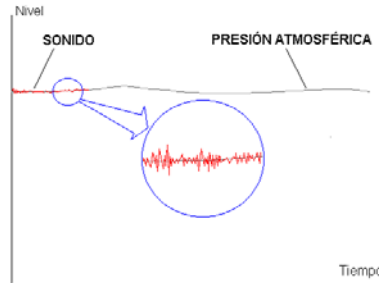


Fonaments d'Acústica

COAC- Oficina Consultora Tècnica

Ivana Rossell- Consultora Acústica

SO: Impressió produïda en l'òrgan de l'oïda per les vibracions elàstiques d'un cos que es propaguen en tots els medis materials en forma d'ones.



Cicle: Desplaçament complet de la molècula.

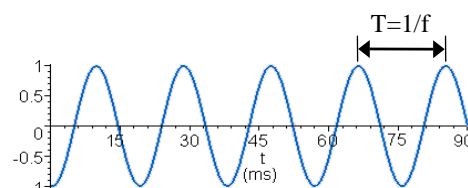
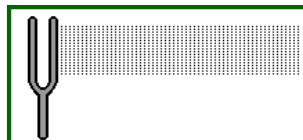
Longitud d'ona (λ): És la distància entre zones consecutives en estats idèntics de compressió o depressió.

Període (t): L'equivalent temporal a la longitud de onda: el temps entre zones consecutives en estats idèntics de compressió o depressió. $T = \frac{1}{f}$

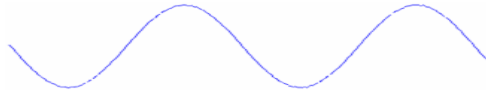
Freqüència (f): Número de cicles per unitat de temps. Es mesura en cicles per segon o Hertz. És la inversa del període.


Velocitat del so (c): És una constant per a un medi determinat i per a una temperatura concreta.

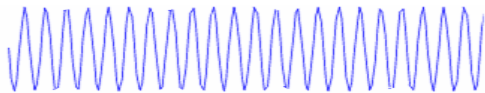
$$c_{22^{\circ}\text{C}} = 345\text{ m/s}$$




La relació entre la freqüència i la longitud d'ona és: $\lambda = \frac{c}{f}$ [m]



$f = 100 \text{ Hz}$ $\lambda = 3'45 \text{ m}$ 



$f = 1000 \text{ Hz}$ $\lambda = 34'5 \text{ cm}$ 



$f = 10000 \text{ Hz}$ $\lambda = 3'45 \text{ cm}$ 

Mesura de la Pressió sonora: Els Pascals



Els decibels de pressió sonora

$$L_p = SPL = 20 \cdot \log \left(\frac{p_{ef}}{p_0} \right)$$

$$p_0 = 20 \mu Pa = 0'00002 Pa$$

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

$$I_0 = 1 pW / m^2$$

Mesura de la Pressió sonora: Els decibels



Suma de decibels



$$dB_1 = 68dB$$



$$dB_2 = 70dB$$

$$dB_{1+2} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{68}{10}} + 10^{\frac{70}{10}} \right) = 72.1dB$$

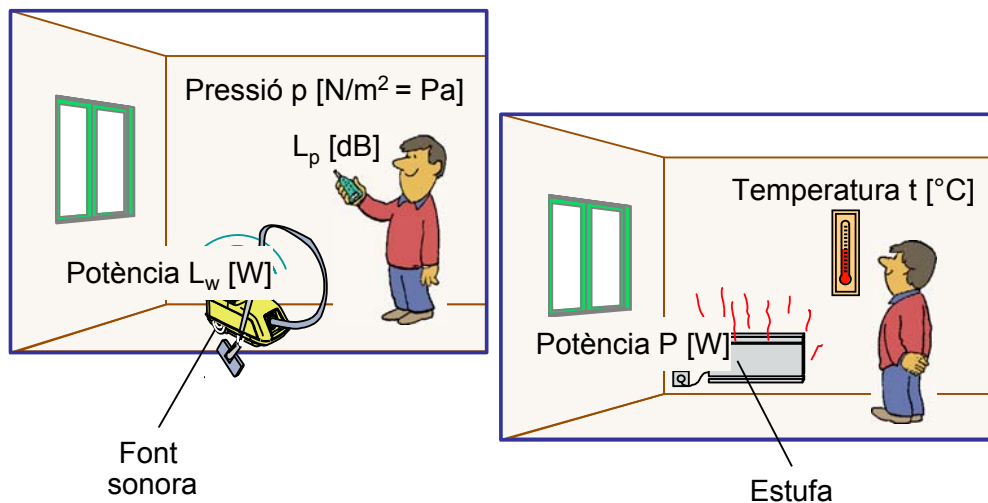


$$dB_1 = 90dB$$



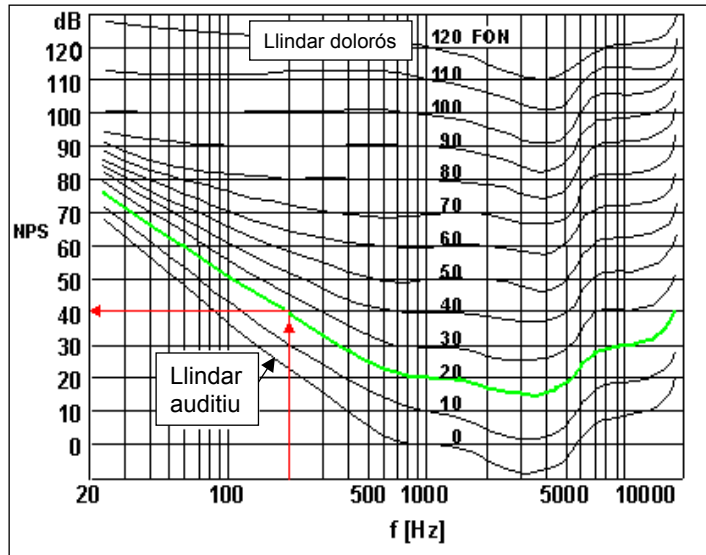
$$dB_2 = 90dB$$

$$dB_{1+2} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{90}{10}} + 10^{\frac{90}{10}} \right) = 93dB$$

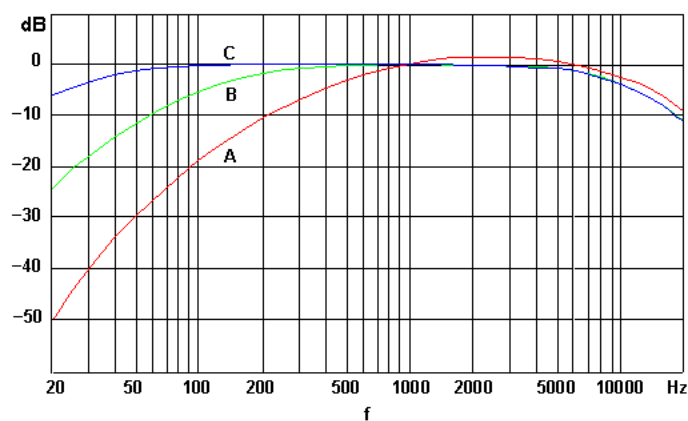
Nivell de potència (L_w) i Nivell de Pressió (L_p)

Sensibilitat auditiva, la ponderació A (dBA)

Corbes isofòniques: Punts d'igual sonoritat



La ponderació A (dBA)

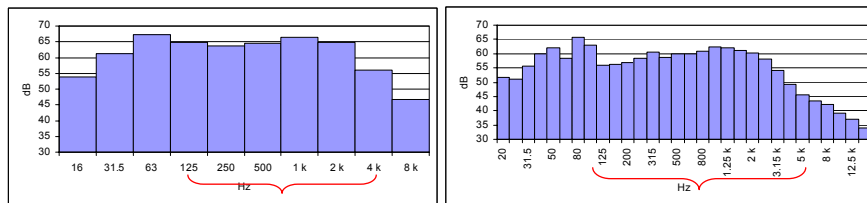


Anàlisi freqüencial

En el món de l'acústica el comportament dels materials depèn de la freqüència (tant pel que fa a l'absorció com a l'aïllament).

Els diferents sorolls i senyals sonors contenen diferents freqüències.

L'estudi de la dependència freqüencial es sol fer per bandes:



Els marges freqüencials d'ús en acústica arquitectònica solen ser:
de 125 Hz a 4KHz, en bandes d'octava
i de 100Hz a 5KHz en bandes de terç d'octava

Ponderació A per bandes d'octava

125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz	Lin
65dB	58dB	57dB	46dB	42dB	35dB	34dB	23dB	66.4dB

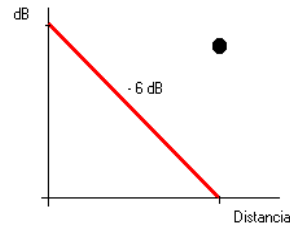
125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz
65	58	57	46	42	35	34	23
-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1	-1.1	-6.6
48.9	49.4	53.8	46	43.2	36	32.9	16.4

125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz	A
48.9	49.4	53.8	46	43.2	36	32.9	16.4	56.7 dBA

Nivell de pressió sonora en camp lliure (fonts puntuals)

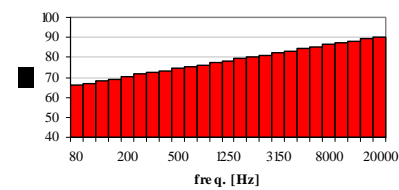
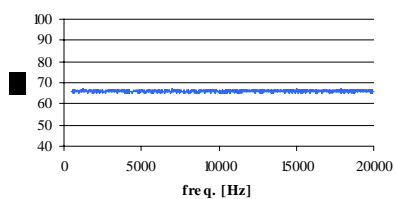
Llei quadràtica inversa: (-6dB/dd)


$$L_p = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2}$$

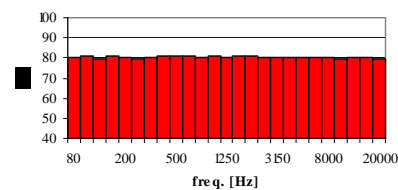
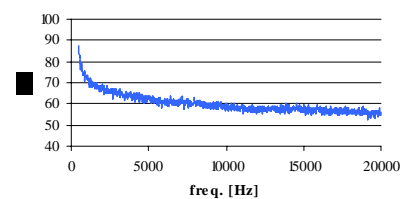


Senyals per a mesures acústiques

Soroll Blanc 



Soroll rosa 



Altres senyals: seqüències digitals MLS, escombrats freqüencials, senyals impulsives: explosió petards, explosió globus...etc.



Control de la Reverberació



Coefficient d'absorció: Relació entre l'energia acústica absorbida per una superfície, respecte la que hi incideix. És funció de la freqüència.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad \alpha = f(\text{freq}, \vartheta_i, \text{material}, \text{montatge})$$

Absorció acústica, A:

Quantitat d'energia acústica, en m², absorbida. És funció de la freqüència.

$$A_f = \alpha_f \cdot S \text{ [m}^2\text{]}$$

on

A_f : absorció acústica per la banda de freqüència f, [m²];

α_f : coeficient d'absorció acústica del material per la banda de freqüència f;

S : àrea del material, [m²].

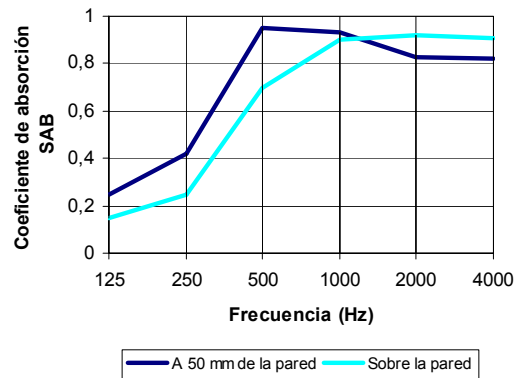
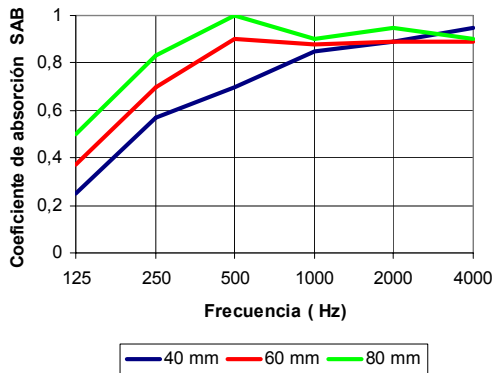
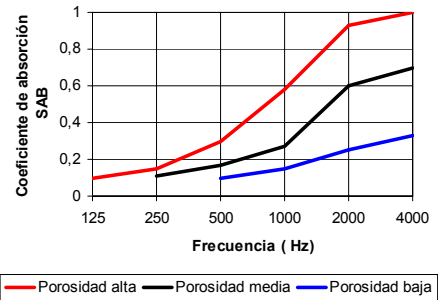
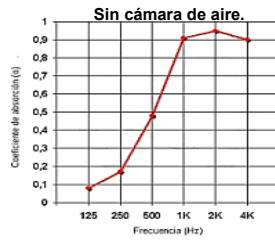
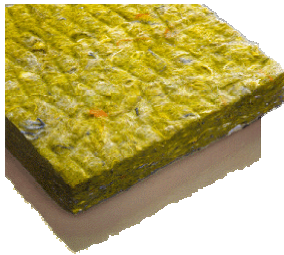


Materials Absorbents

Absorbents porosos:

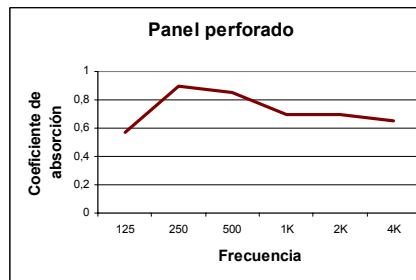
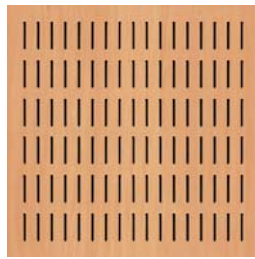
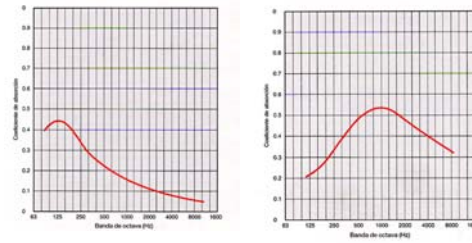
Material absorbent d'estructura alveolar, granular, fibrosa, etc., que actua degradant l'energia mecànica en calor, degut a la fricció de l'aire amb les superfícies del material.

Són bons absorbents d'alta freqüència.



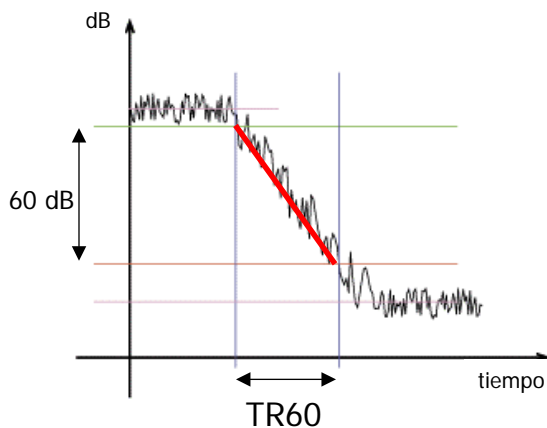
Absorbents tipus ressonador

Es basen en fenòmens de ressonància (membrana, Helmholtz). La corba d'absorció depèn del tipus de ressonador (% perforació, espessor element) i sobretot de la cavitat (plènum) del muntatge (indicant densitat i espessor del material porós del seu interior).



Temps de reverberació, T:

Temps, en s, necessari per a que el nivell de pressió sonora disminueixi 60 dB després d'aturar la font sonora. És funció de la freqüència.



Equació de Sabine:

$$T_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} = \frac{0,161 \cdot V}{A}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{S} = \frac{\sum A_i}{S}$$



Aïllament a soroll aeri



Fonaments d'aïllament acústic:

Quan la pertorbació del medi, representada per un front d'ones, incideix sobre les parets d'una sala que es troba connectada a una altra per una paret comú, aquestes es posen en moviment vibratori radiant energia cap a la sala receptora.

La facilitat o oposició a vibrar que presenta una paret depèn de característiques com la seva massa, la seva elasticitat, les seves dimensions, si és d'una fulla o de més fulles, del tractament de la cavitat, i de les unions en els seus extrems amb altres elements. L'aïllament del conjunt dependrà de totes aquestes propietats de tots els elements i de com estiguin units entre ells.

Aïllament es caracteritza en funció del coeficient de transmissió (τ):

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \qquad \tau = \frac{E_t}{E_i}$$

PARET SIMPLE

Llei de massa:

$$R_{aleat} \approx 20 \log \left(\frac{wm}{2\rho_0 c_0} \right) - 5$$

En doblar la freqüència l'aïllament incrementa en +6 dB.

En doblar la massa superficial, l'aïllament incrementa en +6 dB.

Fenomen de coincidència

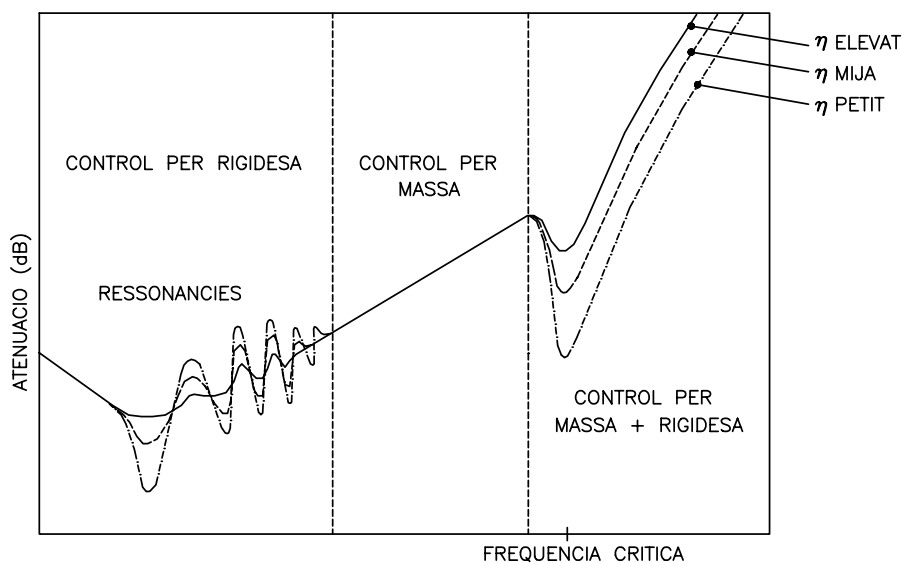
Consistent en que l'energia acústica es transmet a través de l'element constructiu en forma d'ones de flexió, acoblades amb les ones acústiques de l'aire, amb la conseqüent disminució de l'aïllament acústic.

Freqüència crítica o de coincidència

Freqüència límit inferior a la que comença a donar-se el fenomen de coincidència.

$$f_c = \frac{c_0^2}{18 \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

Aïllament paret simple





PARET DOBLE

Una paret doble, és, des del punt de vista acústic, un sistema Massa-Molla-Massa

Això comporta una freqüència de ressonància f_0 \implies davallada d'aïllament

A més, també hi trobem les freqüències de ressonància i les freq. de coincidència de cada paret (altres punts de davallada d'aïllament).

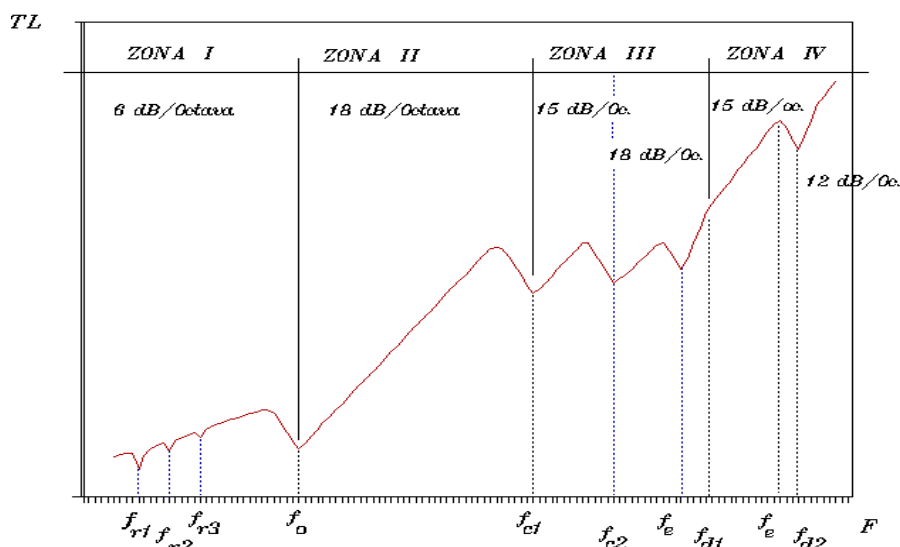
El fet de tenir una cavitat ajuda a millorar l'aïllament acústic significativament.

Cal que les dues parets siguin independents (que no estiguin comunicades per ponts acústics)

Cal que la cavitat s'ompli de material absorbent porós. (en cas de solucions lleugeres és important que s'ompli tota la cavitat i l'efecte de l'absorbent serà notable)

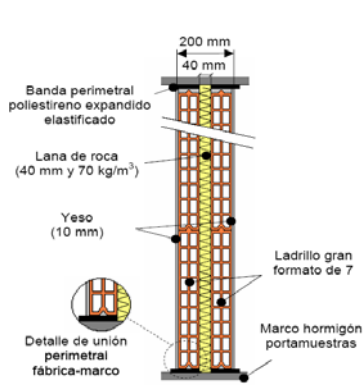


Aïllament paret doble

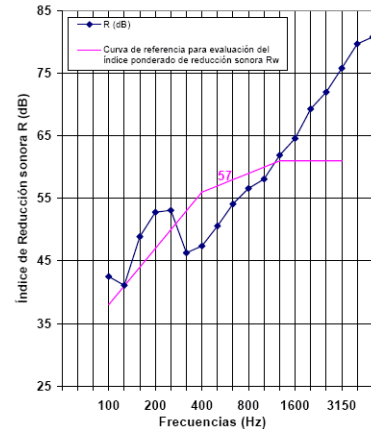




Aïllament per bandes de freqüència:



f (Hz)	R (dB)
100	42,5
125	41,1
160	48,9
200	52,8
250	53,1
315	46,3
400	47,4
500	50,6
630	54,1
800	56,6
1000	58,1
1250	61,9
1600	64,6
2000	69,3
2500	72,0
3150	75,8
4000	79,7
5000	80,8



Aïllament global:

Índices de aislamiento:	UNE EN ISO 717 1: 1997	$R_W(C,C_{tr})$: 57 (-1 ; -4)
	NBE CA 88	R_A 56,7 dBA



Aïllament global:

L'aïllament per bandes és invariable, però l'aïllament global depèn del tipus de soroll sobre el que està actuant aquella paret o aquell element. Per a determinar un global, necessitem especificar a què, a quin soroll incident correspon aquest nivell global:

Freq	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	Global
R	38	30	38	46	54	61	?

	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	Global
Soroll rosa	100	100	100	100	100	100	107
Pond A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+ 1	
Soroll rosa dBA	83,9	93,4	96,8	100	101,2	101	106,3
R	38	30	38	46	54	61	
dBA resultant	45,9	61,4	58,8	54	47,2	40	64

Aïllament global a soroll rosa ponderat A: $106,3 - 64 = R_A = 42,3 \text{ dBA}$

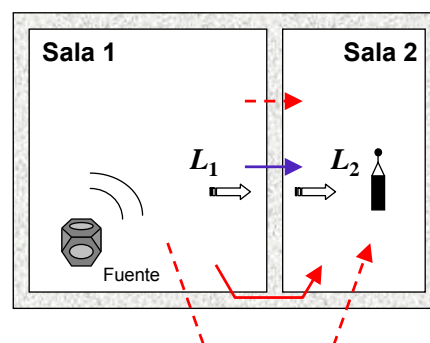
Terminologia

**La terminologia dels índexs d'aïllament està basada en la mesura del mateix:
Com es mesura l'aïllament?**

Amb l'ajuda d'una font sonora es crea soroll a totes les freqüències en el recinte emissor. Es mesura en emissió i es mesura a recepció. El resultat es corregeix segons absorció del recinte receptor.

En tota mesura intervé:

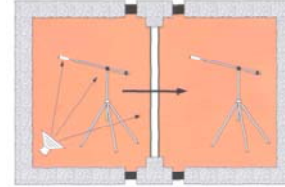
- **D:** diferència de nivells entre l'emissió i la recepció ($L_1 - L_2$)
- **Efecte** de l'Absorció/Reverberació en el nivell mesurat en recepció (L_2)
- **Pas d'energia directa** (a través la paret separadora comú) i **pas d'energia per flancs o camins indirectes**. Aquesta energia està inclosa en el nivell L_2 .



Índex de reducció acústica d'un element constructiu, R:

Aïllament acústic, en dB, d'un element constructiu **mesurat en laboratori**. És funció de la freqüència.

$$R = D + 10 \cdot \lg \frac{S}{A}$$



D: Diferència de Nivells L_1-L_2

S: Àrea de l'element constructiu (m^2)

A: Àrea d'absorció acústica equivalent del recinte receptor (m^2)

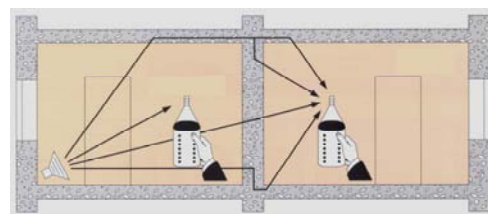
Índex global de reducció acústica, ponderat A, d'un element constructiu, R_A :

Valoració global, en dBA, de l'índex de reducció acústica, R, per a un soroll incident rosa normalitzat, ponderat A.

Índex de reducció acústica aparent, R' :

Aïllament acústic, en dB, d'un element constructiu **mesurat in situ**, incloses les transmissions indirectes. És funció de la freqüència.

$$R' = D + 10 \cdot \log \left(\frac{S}{A} \right) dB$$



Índex global de reducció acústica aparent, ponderat A, d'un element constructiu, R'_A :

Valoració global, en dBA, de l'índex de reducció acústica aparent, R' , per a un soroll incident rosa normalitzat, ponderat A.



Els índexs de reducció acústica es determinaran per assaig en laboratori. No obstant, i en absència d'assaig, es pot dir que l'índex de reducció acústica proporcionat per **un element constructiu d'una fulla de materials homogenis**, és funció quasi exclusiva de la seva massa i són aplicables les següents expressions (Llei de massa) que determinen l'aïllament R_A , en funció de la massa per unitat de superfície, m , expressada en kg/m^2 :

$$m \leq 150 \text{kg/m}^2 \quad R_A = 16,6 \cdot \lg m + 5 \quad \text{dBA}$$

$$m \geq 150 \text{kg/m}^2 \quad R_A = 36,5 \cdot \lg m - 38,5 \quad \text{dBA}$$

**Diferència de nivells normalitzada:**

Respecte a una A_0 de referència de 10m^2 .
En funció de la freqüència.

$$D_n = D - 10 \cdot \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \text{dB}$$

Diferència de nivells estandarditzada:

Respecte a un T_0 de referència de $0,5 \text{s}$.
En funció de la freqüència.

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \text{dB}$$

**Valoració global:**

Diferència de nivells estandarditzada, ponderada A, en dBA, entre el *recinte* emissor i el receptor.

Per a *recintes* interiors s'usa l'índex $D_{nT,A}$ (a soroll rosa normalitzat ponderat A)

Per a *recintes* en els que algun dels seus tancaments constitueix una *façana* o una *coberta* en les que el soroll *exterior dominant* és el de vehicles o el d'aeronaus, s'usa $D_{2m,nT,Atr}$.

Per a *recintes* en els que algun dels seus tancaments constitueix una *façana* o una *coberta* en les que el soroll *exterior dominant* és el ferroviari o el d'estacions ferroviàries, s'usa l'índex $D_{2m,nT,A}$.

**Millora de l'índex global de reducció acústica, ponderat A, d'un *Revestiment*, ΔR_A :**

Augment de l'índex global de reducció acústica d'un element constructiu per addició d'un tractament o *revestiment* a l'element constructiu base. Es valora per la diferència entre els valors globals de l'índex de reducció acústica, ponderat A, d'un element constructiu de referència amb el *revestiment* de millora i el propi de l'element constructiu base de referència.



Obtenció de l'aïllament global al soroll aeri segons ISO 717-1, $D_{nT,w}$:

La ISO 717-1 proporciona un mètode per a obtenir un valor global d'aïllament que serà corregit segons l'espectre del soroll típic incident sobre aquell element.
(Adaptació a l'espectre) (*L'aïllament global depèn de la forma de l'espectre incident*)

Moltes vegades el $D_{nT,w}+C$ no difereix en més d'1 dB amb respecte al $D_{nT,A}$. O el $D_{nT,w}+C_{tr}$ no difereix en més d'1dB del $D_{nT,A_{tr}}$. En aquests casos, s'accepten ambdós índexs.



El resultat s'expressa en el format: $X_w (C;C_{tr})$

p.e.: Una partició que tingui un aïllament al soroll aeri de

$D_{nT,w} (C;C_{tr}) = 45 (-1;-5) \text{ dB}$ \longrightarrow 44 dB a soroll rosa
 \searrow 40 dB a soroll de trànsit urbà.

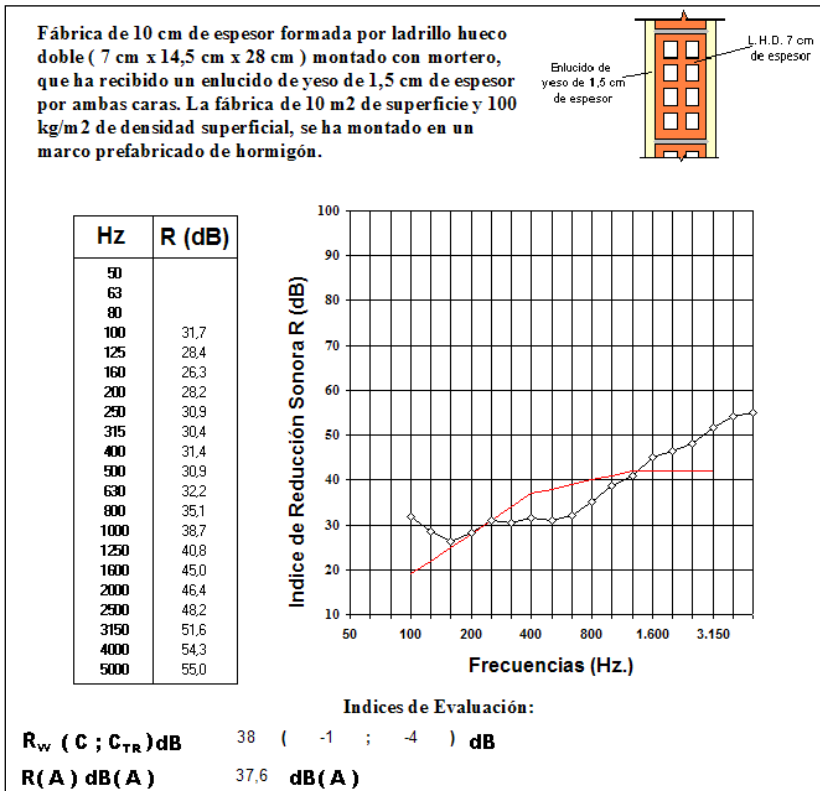
C :

Activitats humanes
 Jocs de nens
 Autopistes a més de 80Km/h
 Avions a reacció, a poca distància
 Factories amb sorolls aguts

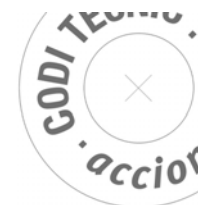
C_{tr} :

Trànsit urbà
 Trens a velocitats baixes
 Avions a propulsió
 Avions a reacció, a molta distància
 Discoteques
 Factories amb sorolls greus

Exemples de presentació dels índexs en mesures de laboratori



CTE DB HR Protecció enfront del soroll



Exemples d'aïllament d'airejadors:



Caudal* l/s	Filtro	Aislamiento Acústico		
		Dn,e,w dB	+ Ctr dB	+ C dB
10	Bulpron 8 30	39	36	37
10		43	41	43
10		48	46	48
10		47	44	46
10		51	48	50

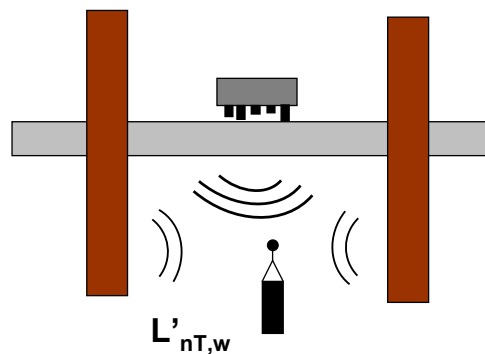
Dn,e,w	Aislamiento acústico según EN ISO 140-10:1991
+ Ctr	Aislamiento acústico al ruido del tráfico EN ISO 717:1:1996
+ C	Aislamiento acústico según EN ISO 717:1:1996

Aïllament a soroll d'impates

Nivell de pressió de soroll d'impactes

L'Aïllament a soroll d'impactes es quantifica a partir del nivell en el recinte receptor, procedent d'un impacte normalitzat (màquina d'impactes normalitzada).

Quant menys nivell es mesuri, quant més petit sigui el valor de l'índex, més aïllament a soroll de impactes.





Nivell de pressió de soroll d'impactes estandarditzat, L'_{nT} :

Nivell de pressió sonora promig, en dB, en el *recinte* receptor normalitzat a un *temps de reverberació* de 0,5 s, quan l'element constructiu de separació respecte el *recinte* emissor és excitat per la màquina d'impactes normalitzada. Es funció de la freqüència.

Es defineix:

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

on

L nivell mis de pressió sonora en el *recinte* receptor, [dB];

T *temps de reverberació* del *recinte* receptor, [s];

T_0 *temps de reverberació* de referència; $T_0=0,5$ s.



Nivell global de pressió de soroll d'impactes estandarditzat, $L'_{nT,w}$: Valoració global del nivell de pressió de soroll d'impactes estandarditzat, L'_{nT} . (ISO 717-2)

Reducció del nivell global de pressió de soroll d'impactes (o millora global de l'aïllament acústic a soroll d'impactes) d'un terra *flotant* o d'un sostre suspès, ΔL_w :

Diferència entre el nivell global de pressió de soroll d'impactes normalitzat del forjat de referència normalitzat i el calculat per a aquell forjat de referència amb el terra *flotant* o el sostre suspès.



Mesura de l'Aïllament: Normes més rellevants

UNE-EN ISO 140-4: Medició *in situ* del aïllament acústic al ruidó aèreo entre locals.

UNE-EN ISO 140-5: Medició *in situ* del aïllament acústic al ruidó aèreo de elements de fachadas y de fachadas.

UNE-EN ISO 140-7: Medició del aïllament acústic en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medició in situ del aïllament acústic de suelos al ruidó de impactos

UNE-EN ISO 717: Evaluació del aïllament acústic en los edificios y los elementos de construcción

Càlculó del valor global de aïllament y los tÈrminos de adaptació al espectro:

UNE-EN ISO 717-1: Aïllament a ruidó aèreo.

UNE-EN ISO 717-2: Aïllament al ruidó de impactos.



Resum d'Índexs més importants

R_A	Índex global de reducció acústica, ponderat A, d'un element constructiu. (Aïllament mesurat en laboratorí)
$D_{nT,A}$	Valor global de la diferència de nivells estandarditzada, en dBA, per recintes interiors.
$D_{nT,w} (C;Ctr)$	Valor global d'aïllament segons ISO 717 amb adaptacions espectrals
$D_{2m,nT,Atr}$	Valor global de la diferència de nivells estandarditzada, en dBA, per façanes, cobertes i terres en contacte amb exterior (a soroll d'automòbils)
$L'_{nT,w}$	Valor global del nivell de pressió a soroll d'impactes