Parámetros Acústicos Fundamentales, RT60, Principio de materiales acústicos y Modos normales

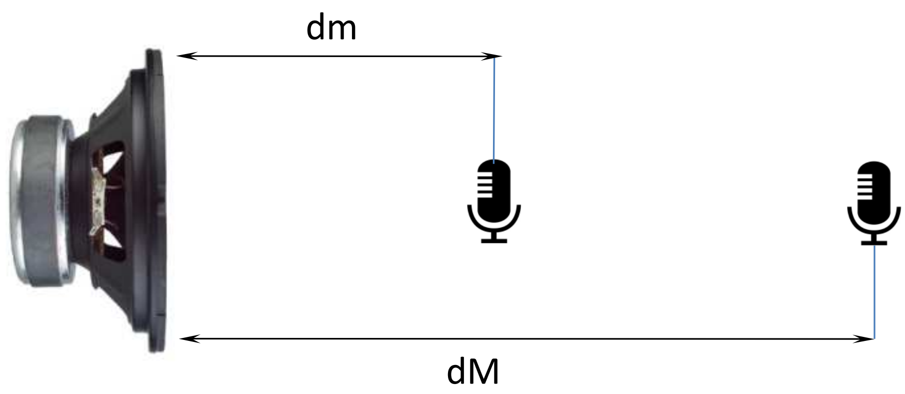
Ing. Juan Bertrán

Ingeniero en Electrónica
Especialista en Audio y Sonido

Mg. Ing. Adriano Sabéz

Ingeniero en Acústica
Mg. en Acústica Arquitectónica y Medioambiental

Propagación en Espacio Libre

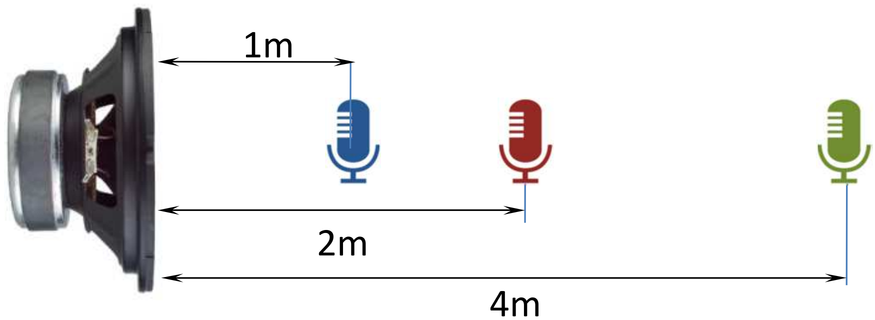


$$\Delta L_{[dB]} = 10\log\frac{I_{dM}}{I_{dm}} = 10\log\frac{\frac{\cancel{W}}{\cancel{4\pi}.\,dM^2}}{\frac{\cancel{W}}{\cancel{4\pi}.\,dm^2}} = 10\log\frac{\frac{1}{dM^2}}{\frac{1}{dm^2}} = 10\log\frac{dm^2}{dM^2} = 20\log\frac{dm}{dM}$$

$$\boxed{\Delta L_{[dB]} = 20\log\frac{dm}{dM}}$$

Formula fundamental, para calcular la caída del nivel sonoro en un espacio libre ideal aída del nivel sonoro con la distancia

$$\Delta L_{[dB]} = 20\log\frac{dm}{dM}$$

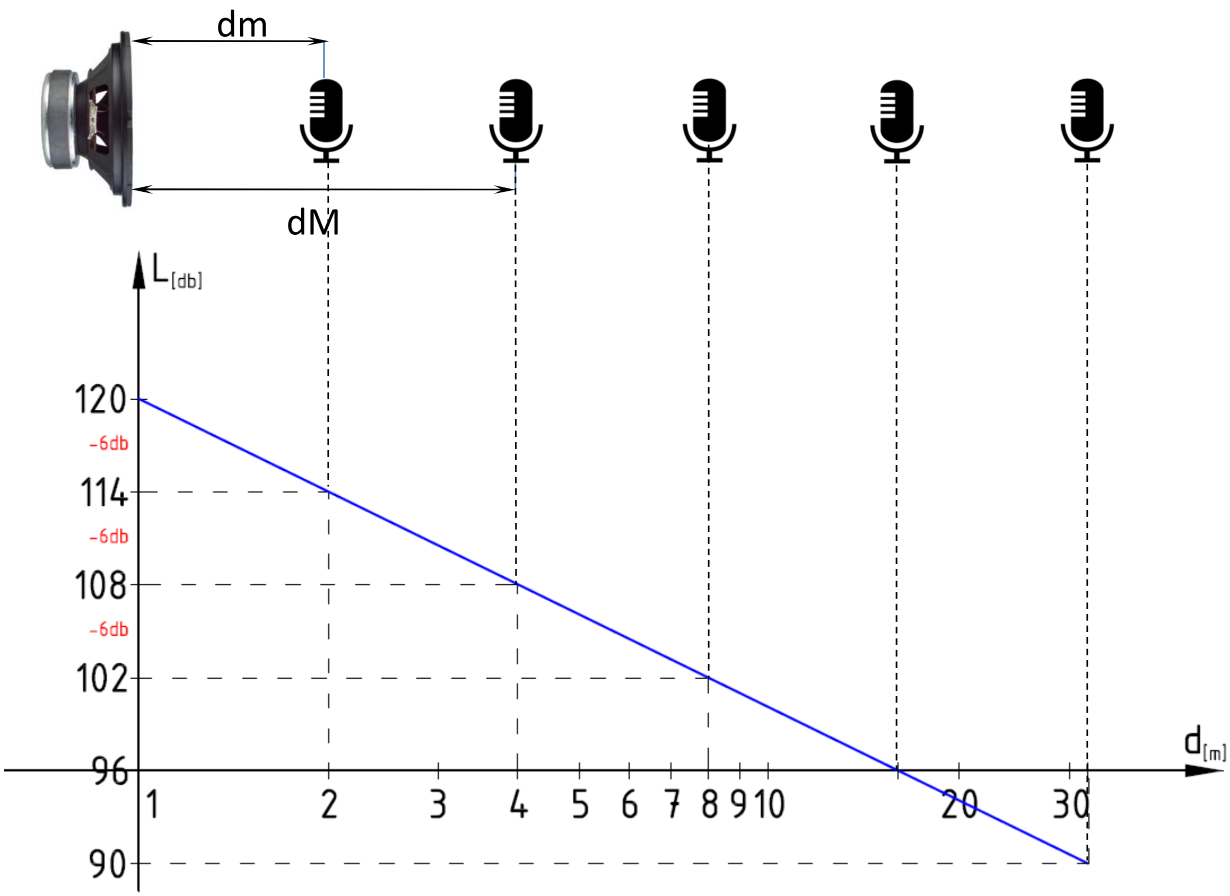


$$\Delta L_{[dB]} = 20\log\frac{1m}{2m} = 20\log 0.5 = 20\,(-\,0.30103) = -6dB$$

$$\Delta L_{[dB]} = 20\log\frac{2m}{4m} = 20\log 0.5 = 20\,(-\,0.30103) = -6dB$$

$$\Delta L_{[dB]} = 20\log\frac{1m}{4m} = 20\log 0.25 = 20\,(-\,0.6020) = -12dB$$

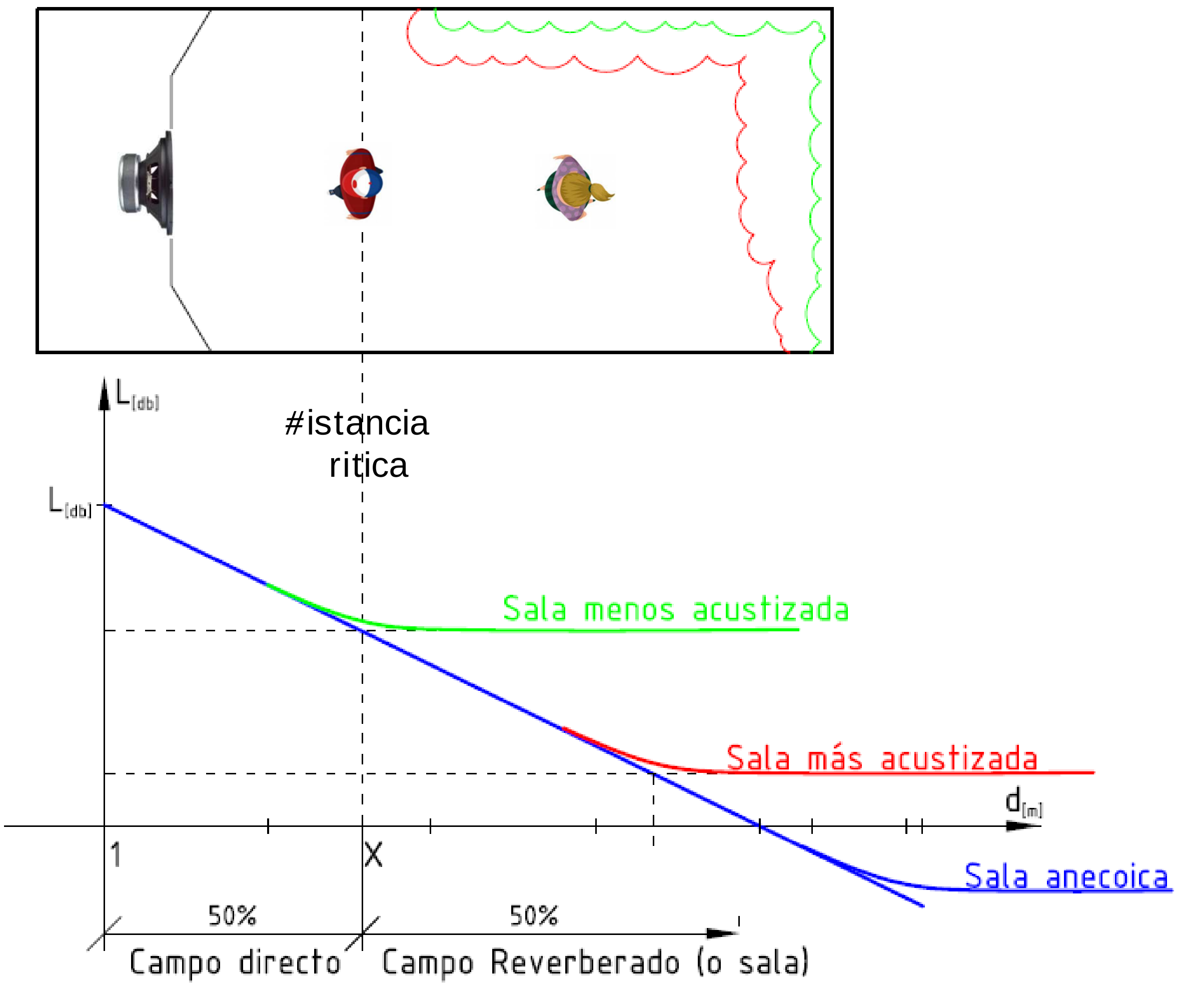
urva de la aída del nivel con la distancia

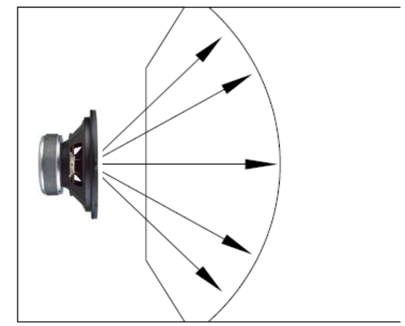


$$\Delta L_{[dB]} = 20 \log \frac{dm}{dM}$$

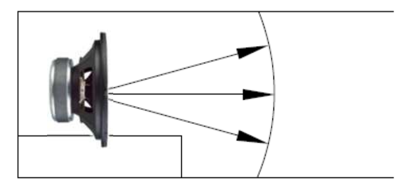
! i se duplica la distancia, la caída del nivel sonoro es de "6db

omportamiento del nivel sonoro en salas cerradas





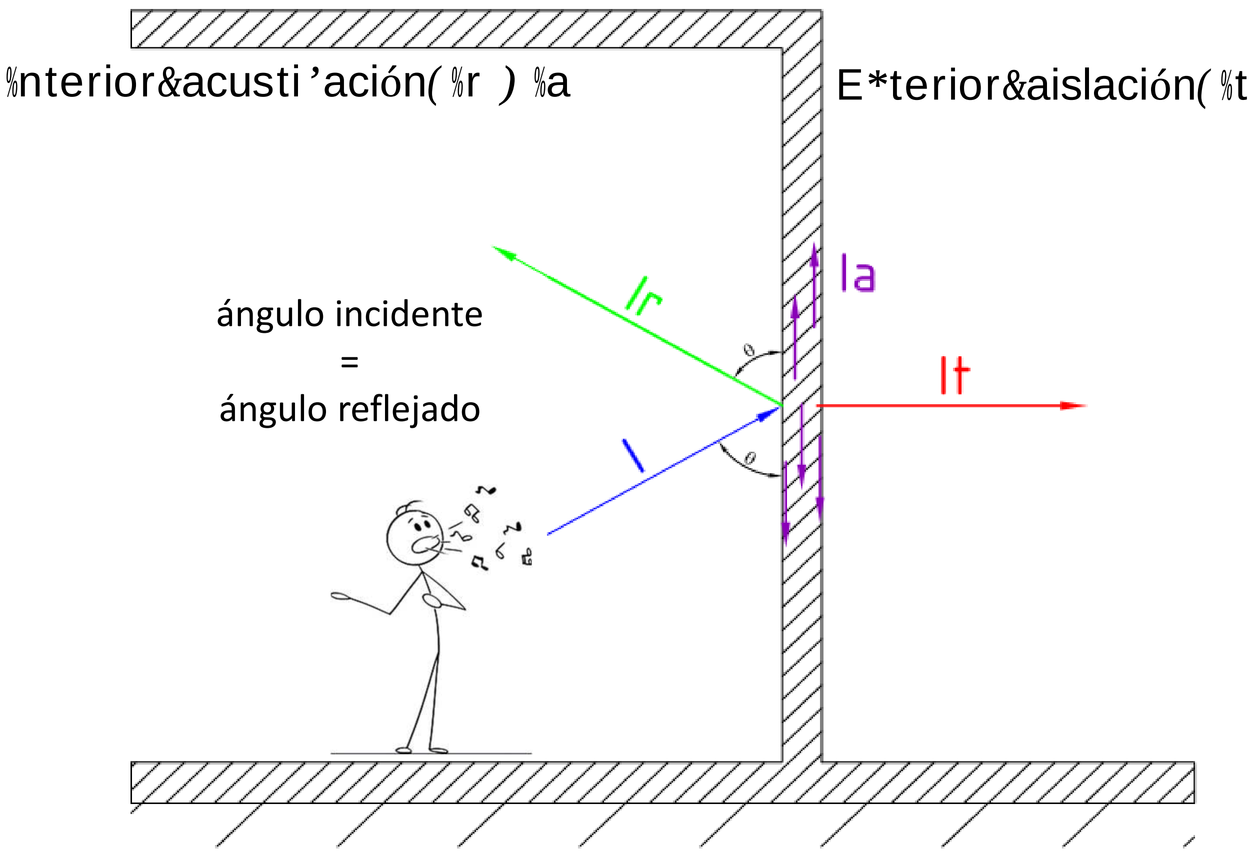
$ista en planta



$ista lateral

Parámetros Acústicos Fundamentales

Refle*ión, Absorción y Transmisión



%& %ntensidad incidente

%r& %ntensidad refle+ada

%a& %ntensidad absorbida

%t& %ntensidad transmitida

oeficientes de Refle*ión, Absorción y Transmisión

$$I_i = I_r + I_a + I_t$$

$$\left.\begin{array}{l} 100db = 50db + 20db + 30db \\ 80db = 40db + 16db + 24db \\ 50db = 25db + 10db + 15db \end{array}\right\} \ 1 = 0.5 + 0.2 + 0.3$$

, ormali’amos -dividiendo miembro a miembro por la intensidad incidente.

$$\frac{I_i}{I_i} = \frac{I_r}{I_i} + \frac{I_a}{I_i} + \frac{I_t}{I_i}$$

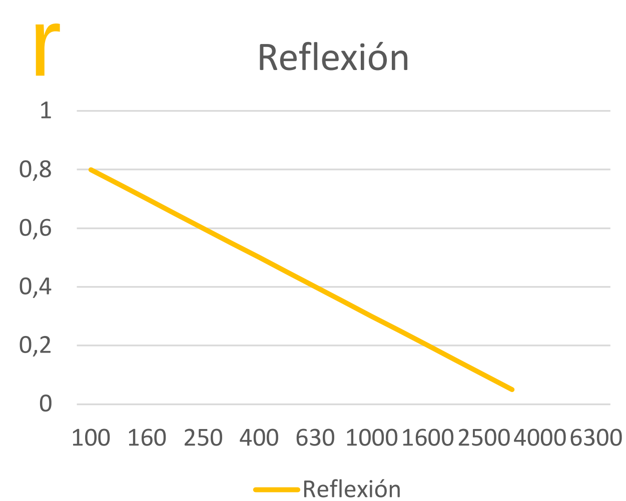
La igualdad
no cambia

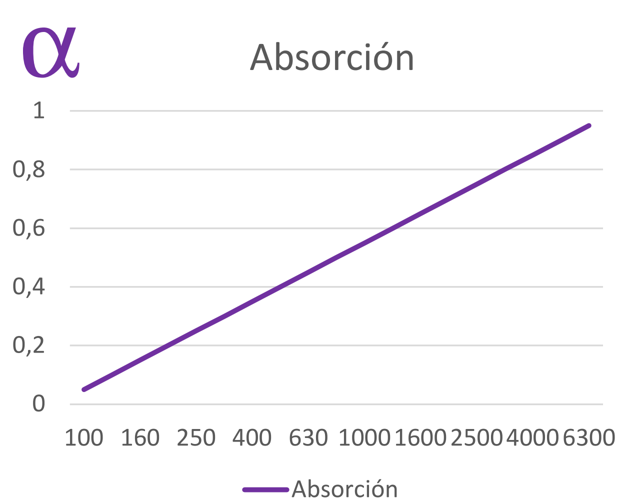
$$1 = r + \alpha + \tau \quad \left\{\begin{array}{l} 0 < r < 1 \\ 0 < \alpha < 1 \\ 0 < \tau < 1 \end{array}\right.$$

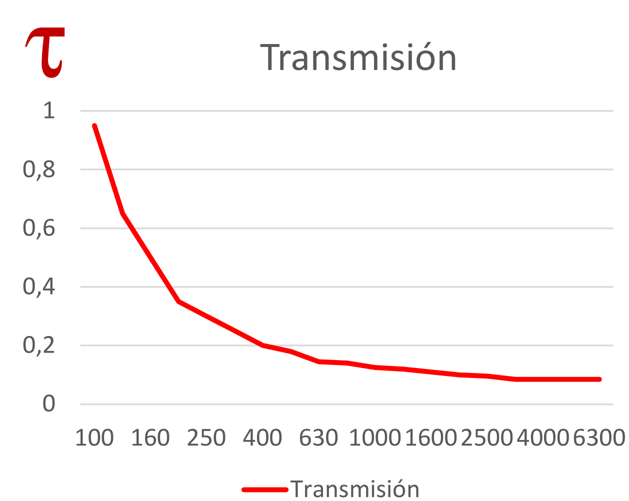
omportamiento de los parámetros acústicos a diferentes frecuencias

E+ $r = 0,3$, $\alpha = 0,55$ $\tau = 0,15$ $alores promediados con ruido rosa

Mediciones a $arias frecuencias







$$1000Hz = 0,3 + 0,55 + 0,15 = 1$$

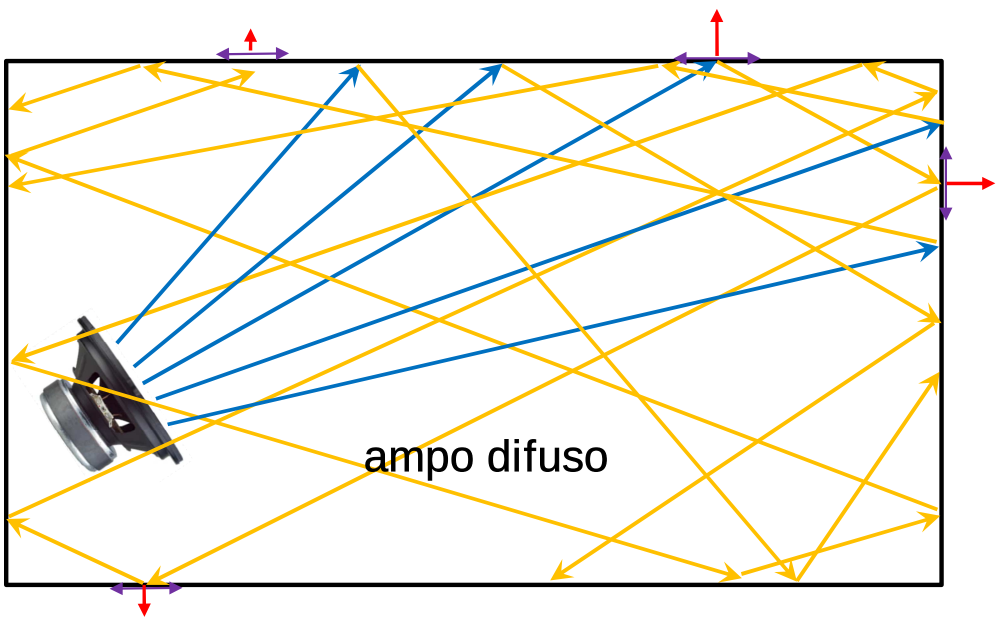
oeficientes r α τ de una sala

$$\quad r \quad \alpha \quad \tau$$

E+emplos($1 = 0,6 + 0,1 + 0,3$ → !in acusti’ar

$1 = 0,2 + 0,5 + 0,3$ → on tratamiento acústico

Refle*ión en una sala cerrada – oeficiente r



tiempo de reverberación

A mayor r, mayor tiempo de reverberación “Tr”

$Tr_{teatro} \rightarrow 0{,}7s\ a\ 1{,}1s$

$Tr_{sala\ de\ grabacion} \rightarrow 0{,}1s\ a\ 0{,}7s$

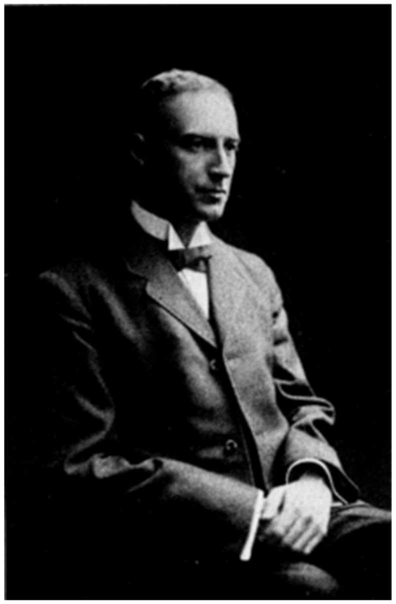
$Tr_{sala\ de\ control} \rightarrow 0{,}1s\ a\ 0{,}2s$

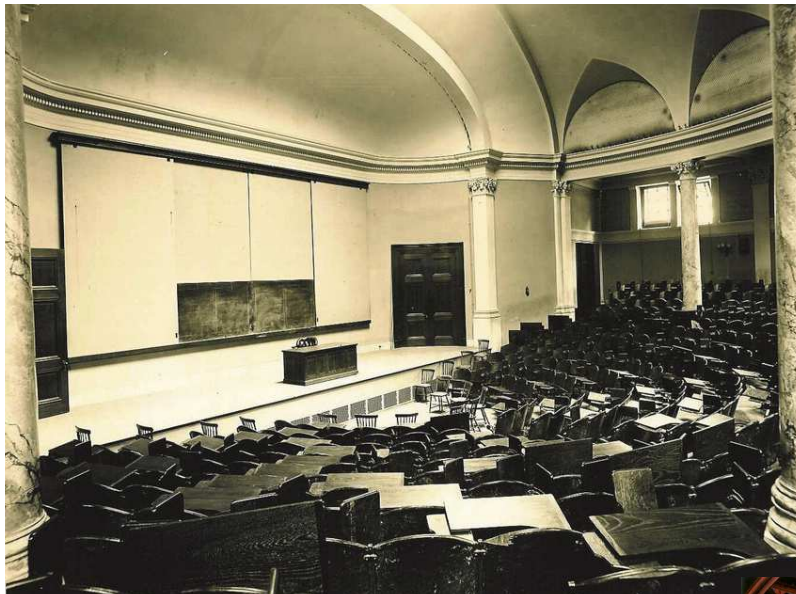
$Tr_{sala\ de\ concierto} \rightarrow 1{,}1s\ a\ 2s$

E‡emplos e*tremos de salas

https://www.youtube.com/watch?v=DXmUQfohYHg

/ allace !abine



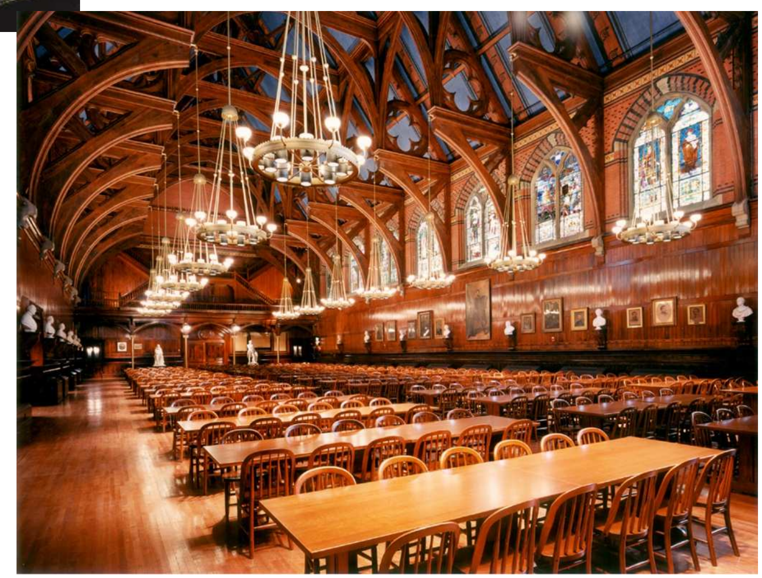


En 1895, se le encomendó la mejora acústica de la sala Fogg Lecture Hall

=

Órgano de tubos

Sanders Theater



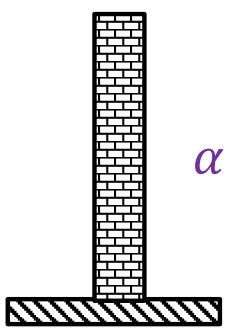
Formula de / allace ! abine " Rt60

$$Tr = R_{T_{60}} = 0.161\frac{V}{\alpha S}$$

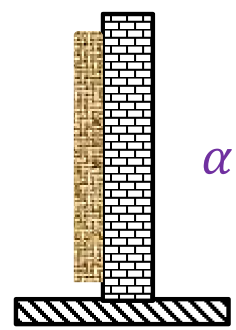
$ olumen de la ! ala m^3

! uperficie o Área de absorción m^2

$$R_{T_{60}}[s] = 0.161\frac{V}{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \cdots + \alpha_n S_n} = 0.161\frac{V}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i S_i}$$

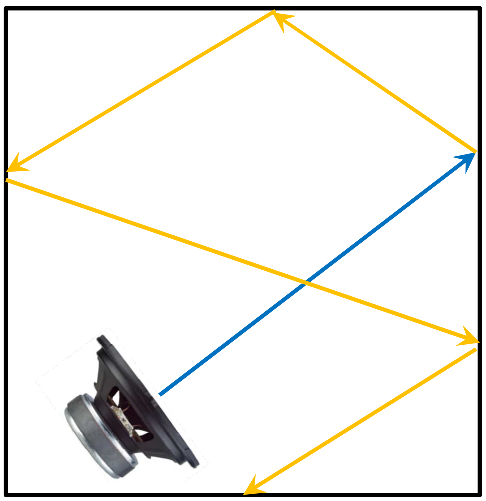


$\alpha = 0,2$

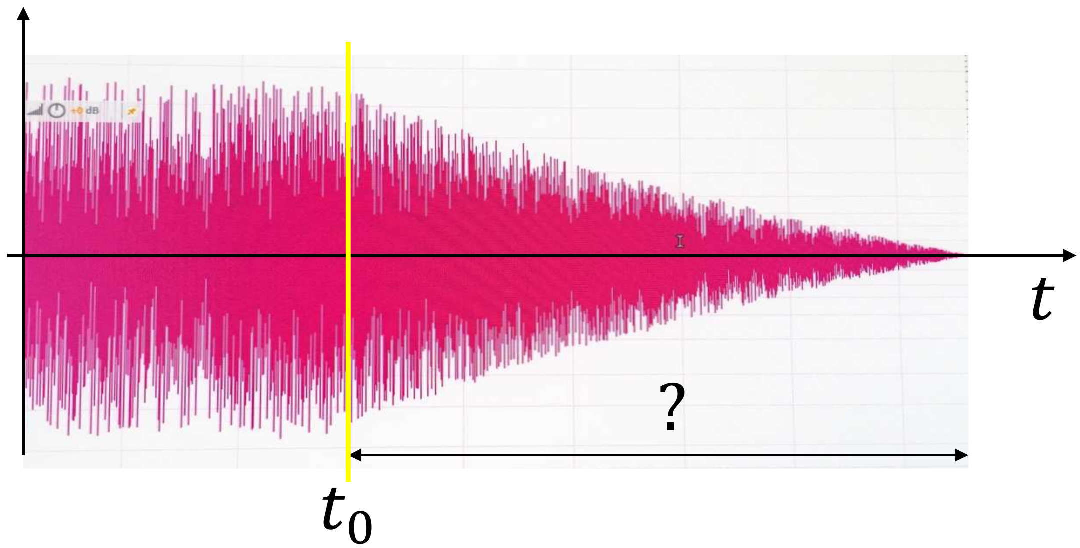


$\alpha = 0,6$

Reverberación – Tiempo Rt60



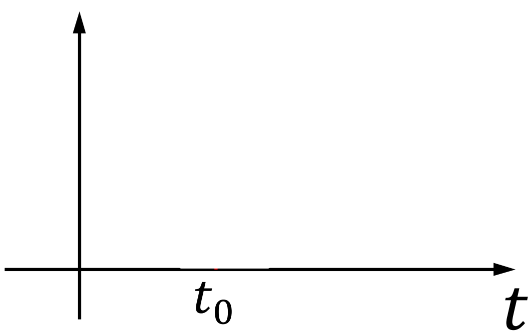
$R_{T60} =$ "Tiempo que demora una señal en atenuarse 60db, una vez que el sonido inicial cesó"

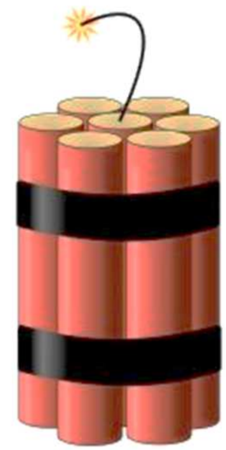


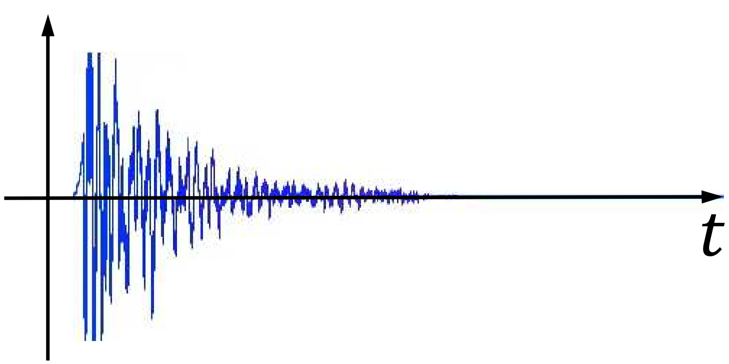
¿Cómo medimos el R_{T60}?

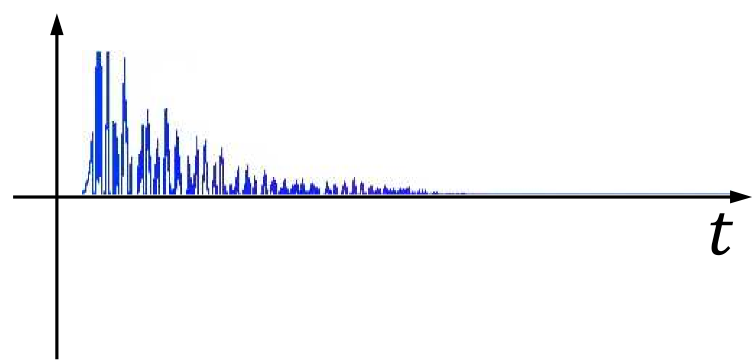
E*citación de cual0uier sistema

Función %mpulso μ_{-1}

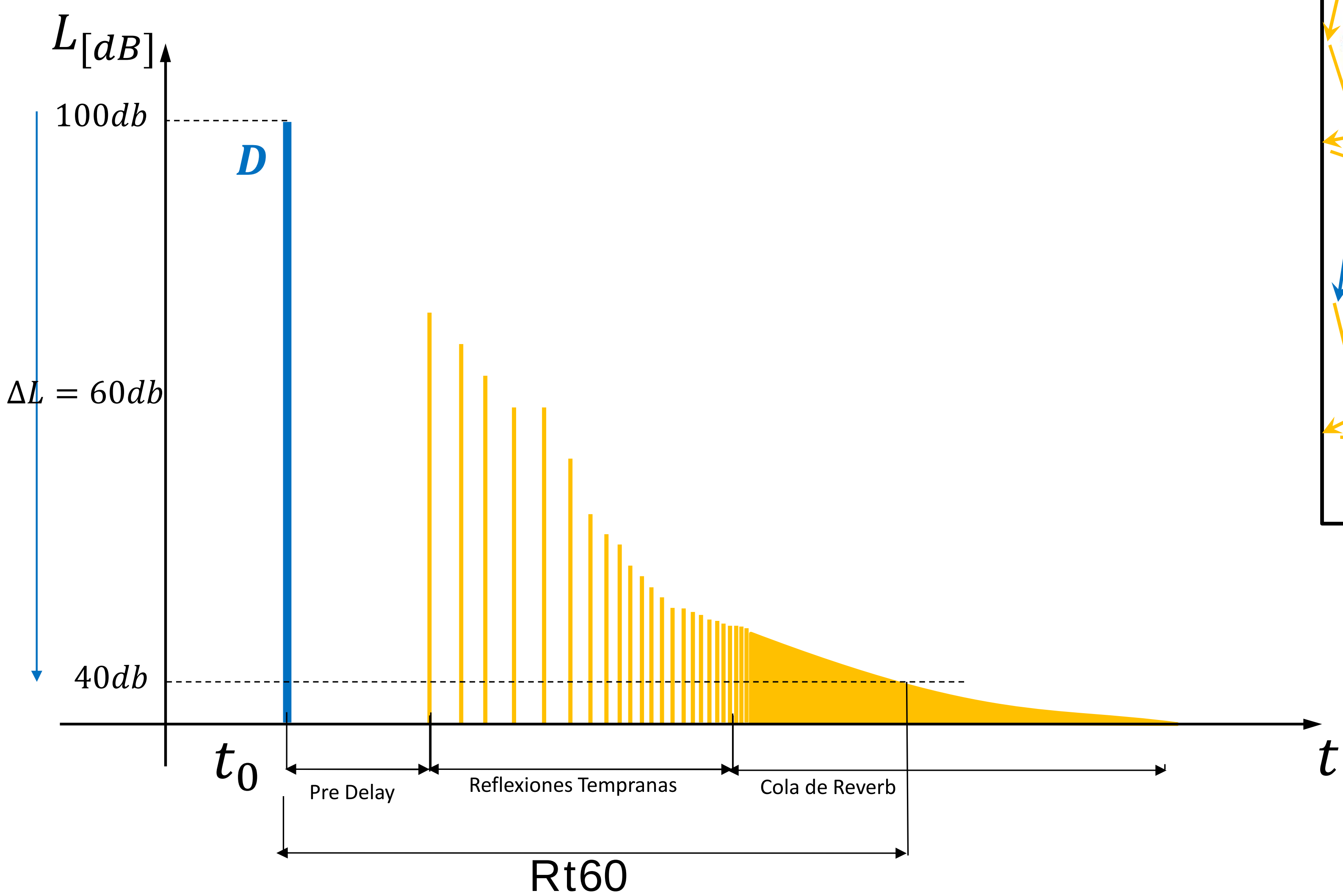


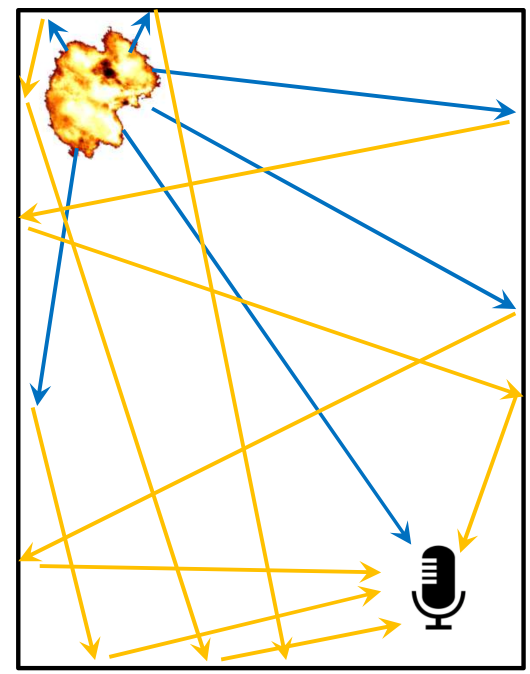




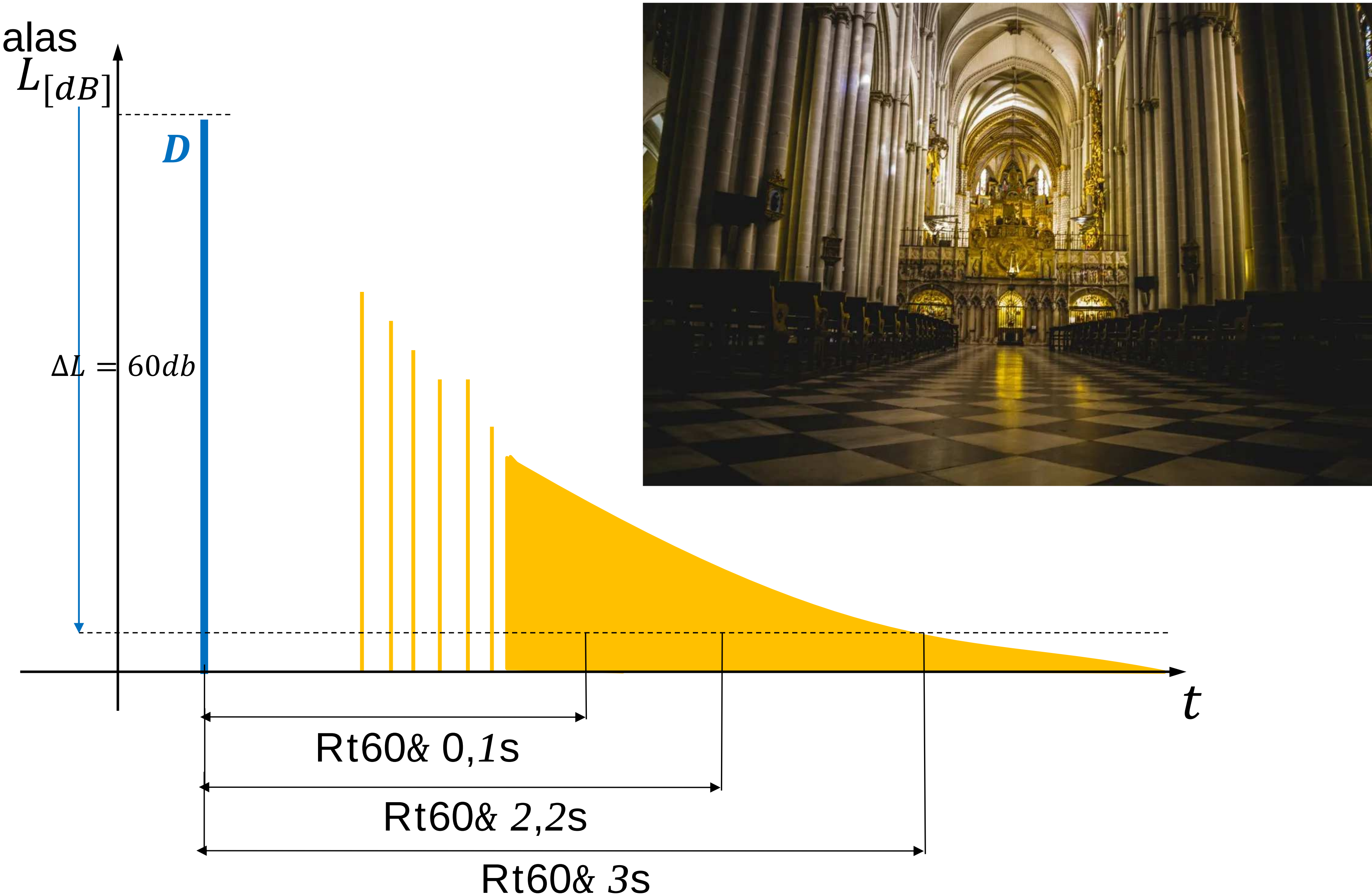


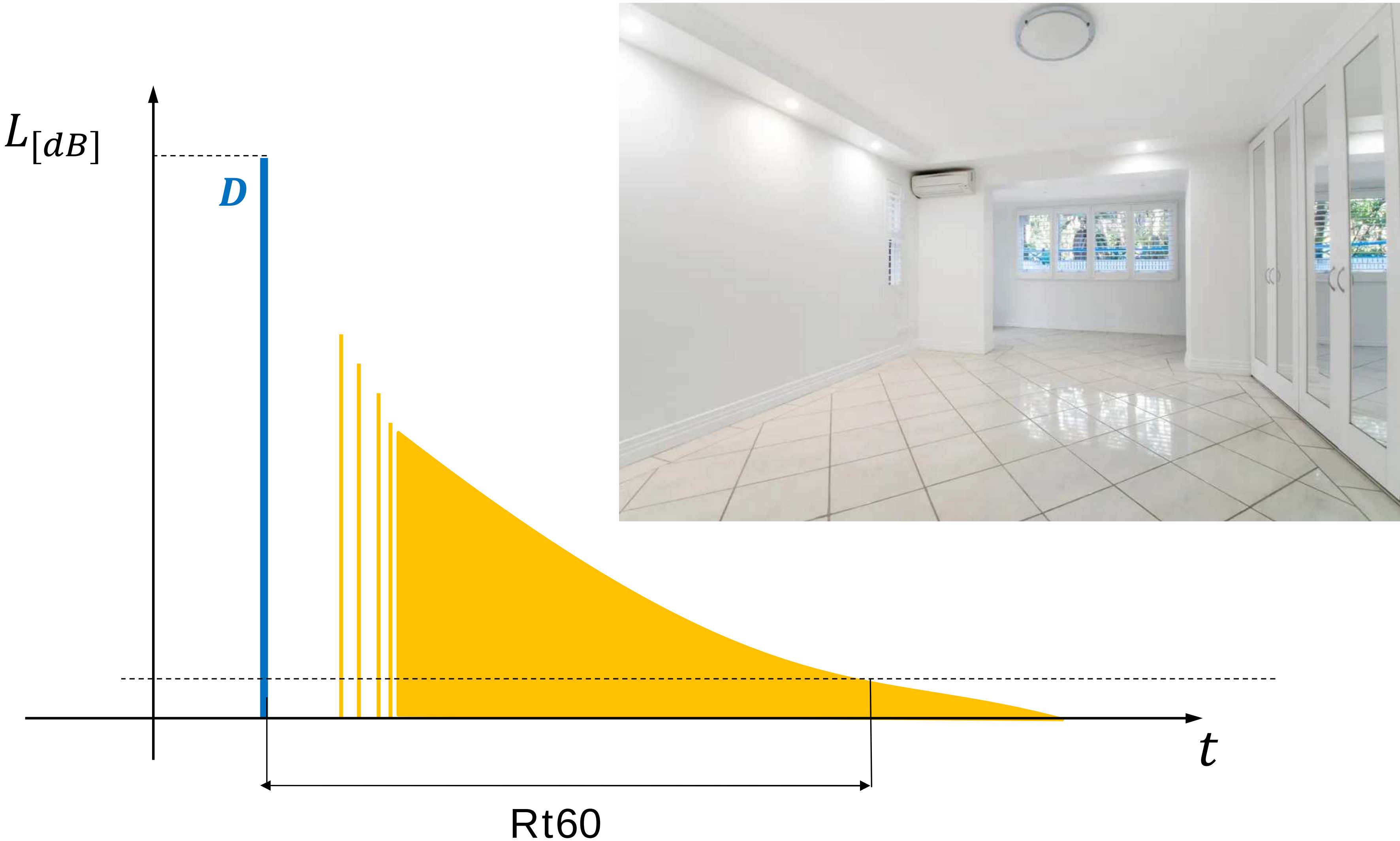
Rt60(Tiempo 0ue demora el nivel de μ_{-1} en caer 60db





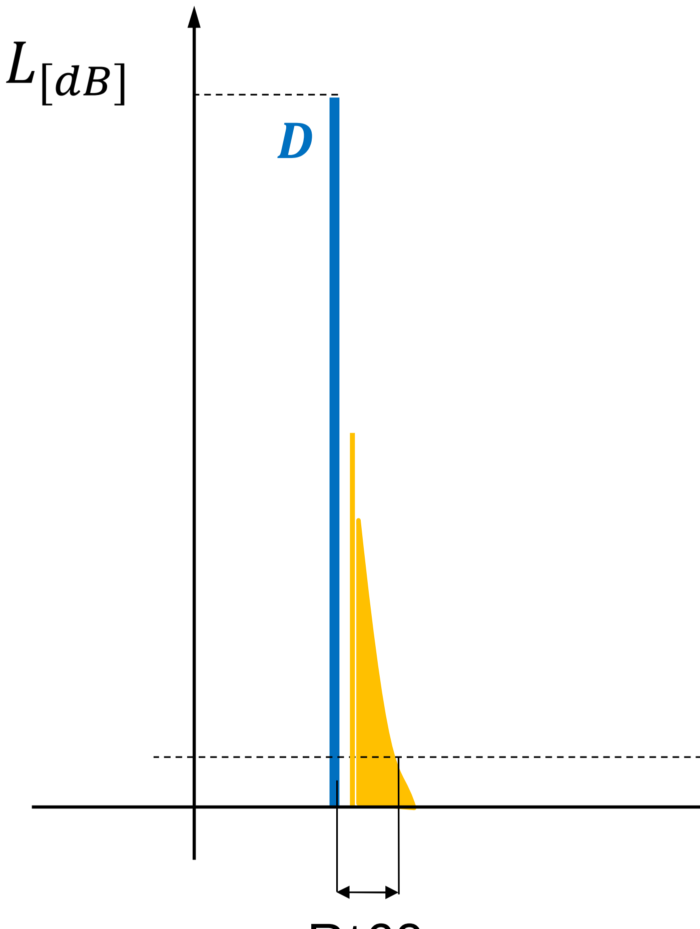
E‡emplos de ! alas

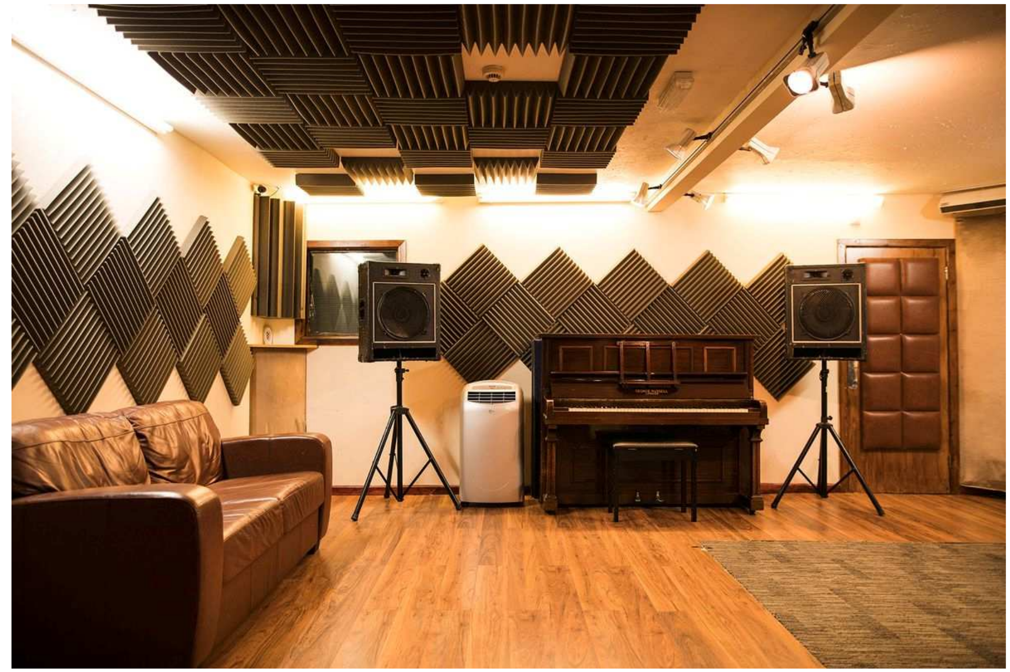




! ala Mas c4ica 0ue la anterior pero muy reflectiva

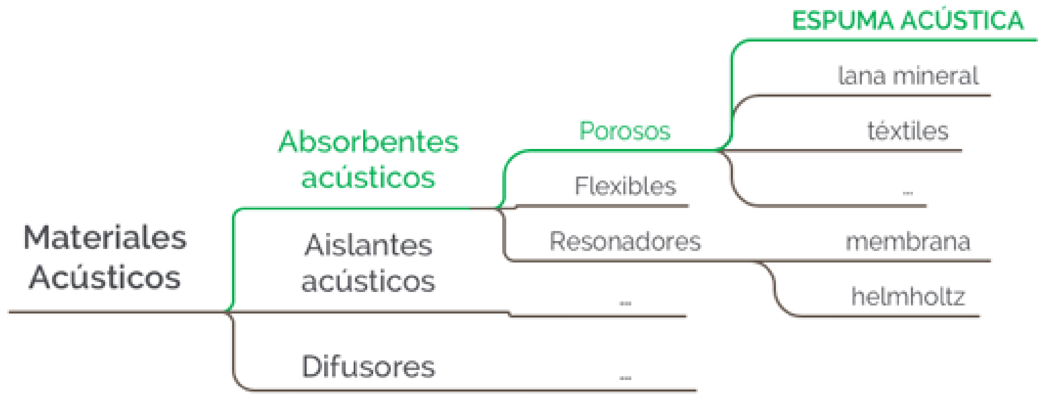
!ala de 5rabación



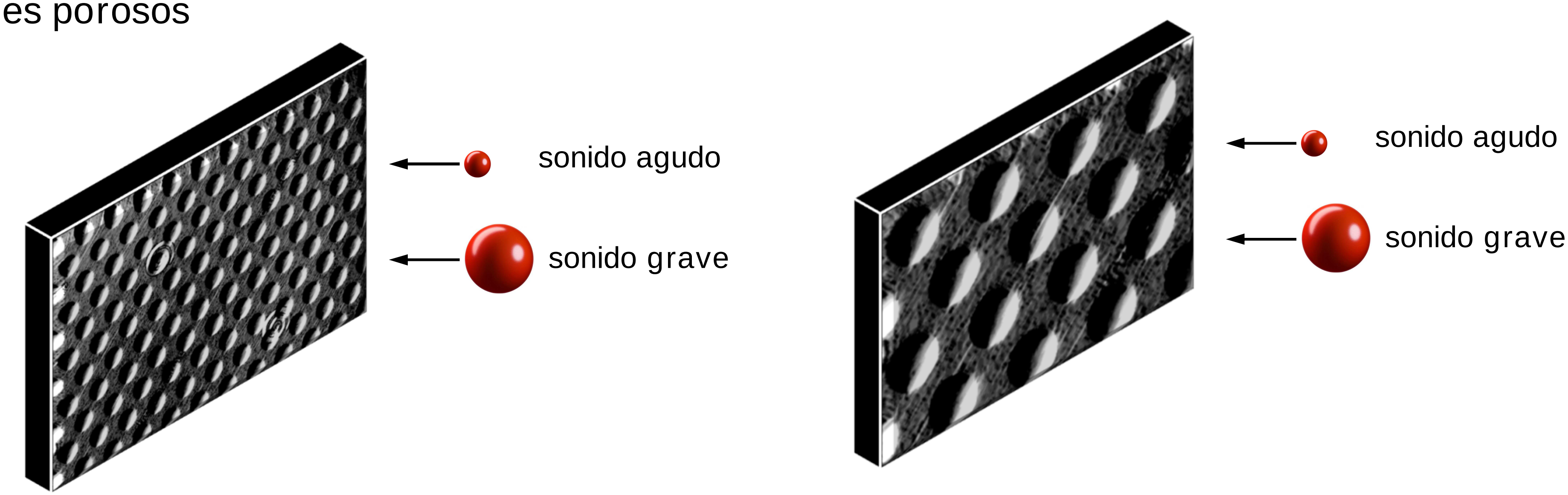


, o muy grande -6*7m. Muy absorbente

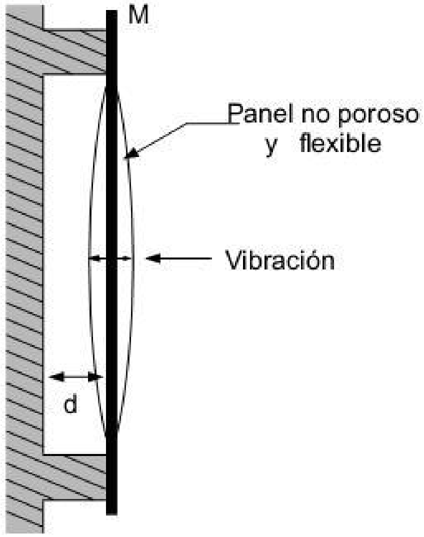
Principio físico de los materiales acústicos

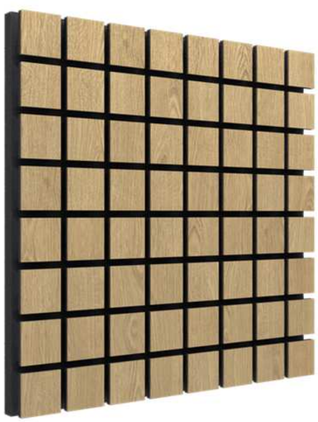


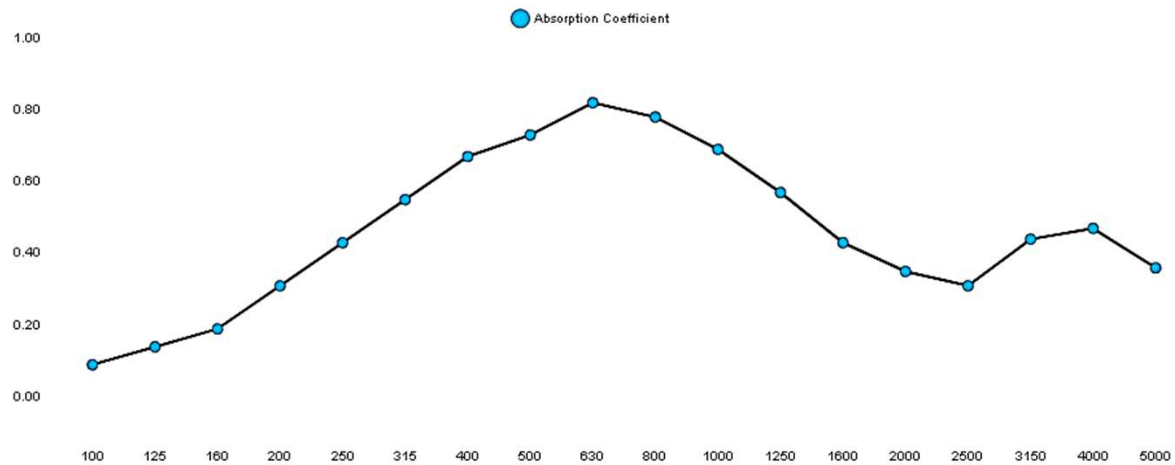
materiales porosos



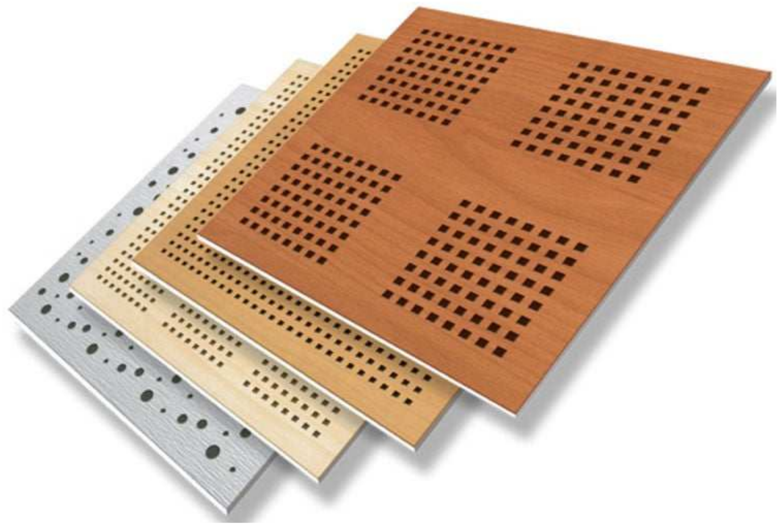
Materiales fle*ibles

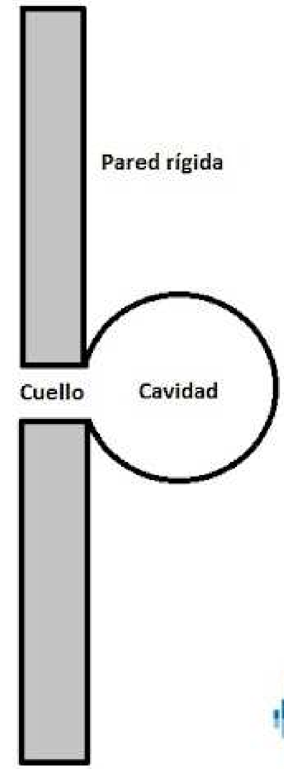




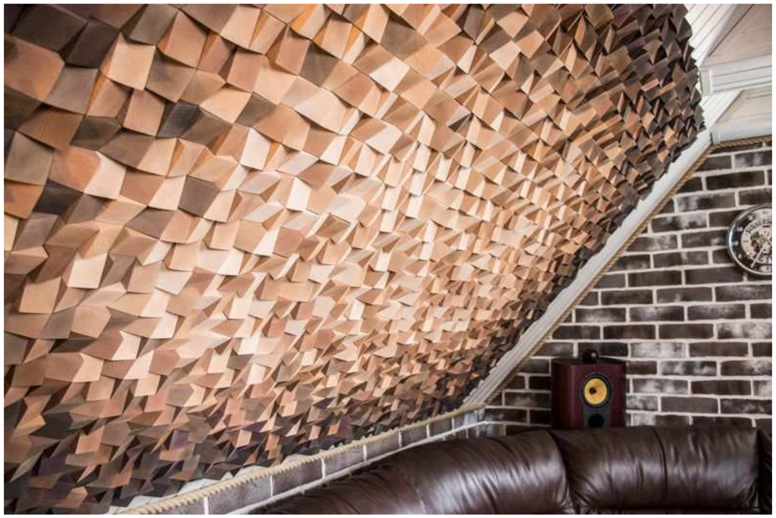


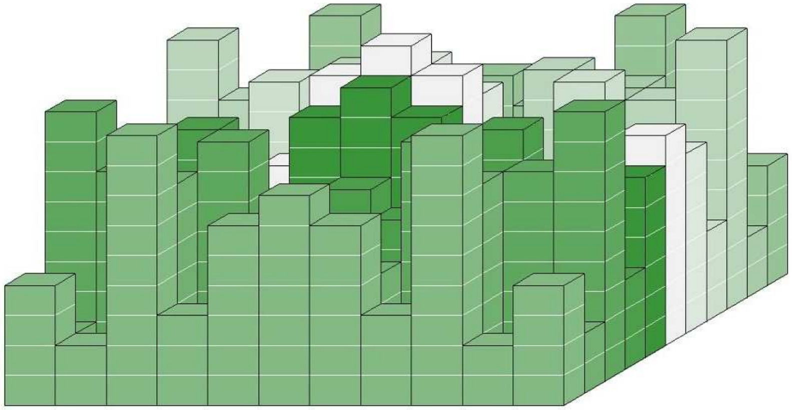
Materiales resonantes “trampas de graves”

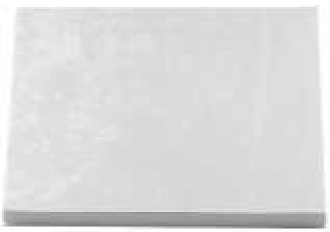




Materiales difusores

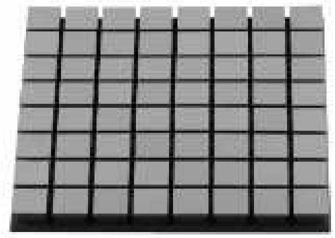




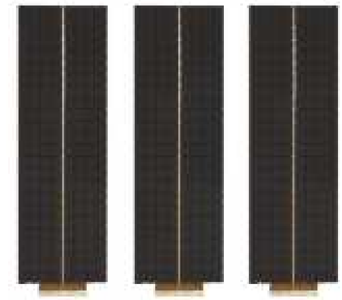

Flat Panel 60.2

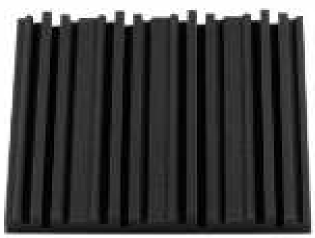

Flat Panel 60.4

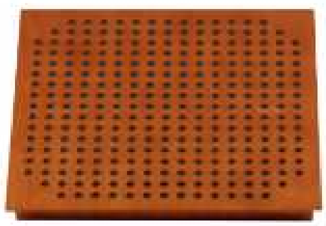

Super Kit MD55 Light

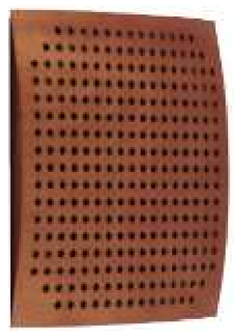

Flexi POL A50


Flexi Wood A50


Flexi Wall


Pulsar Panel


Square Tile 60.4

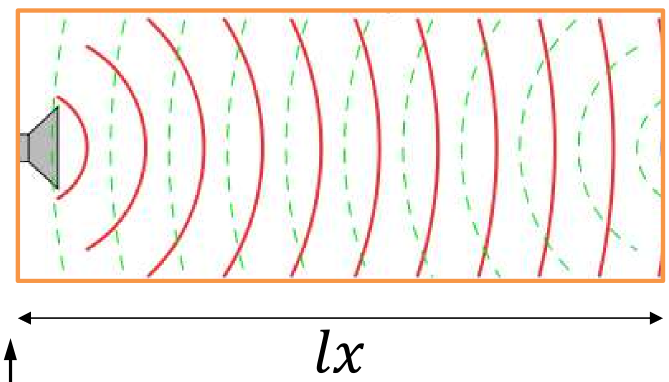

Omega Wood

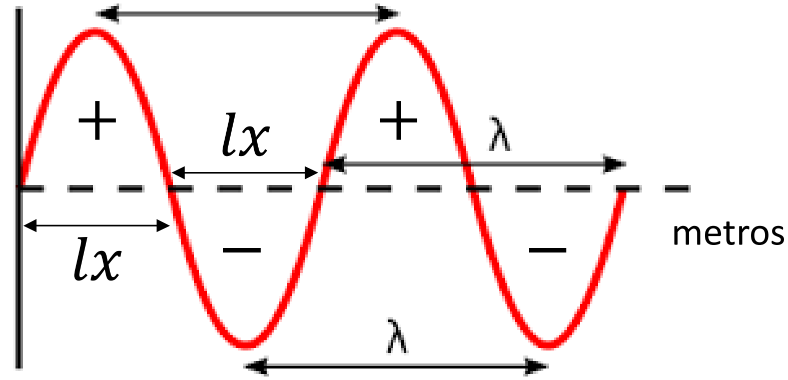

Vari Panel Kit


Wavewood

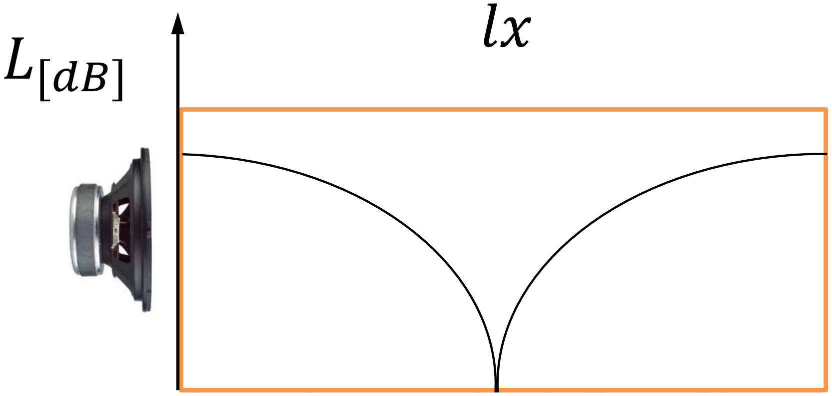

Cinema Round

Modos ,ormales de resonancia en un recinto

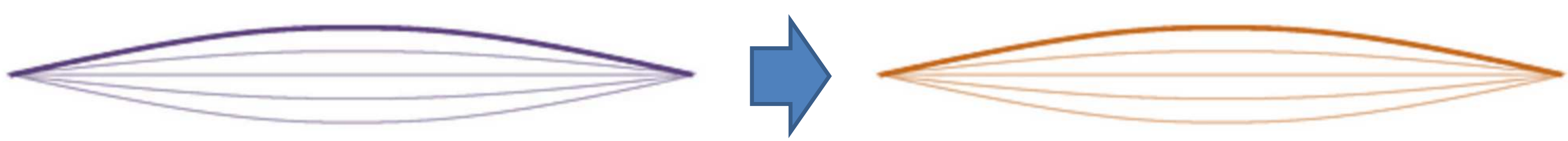




$$\lambda = 2lx$$



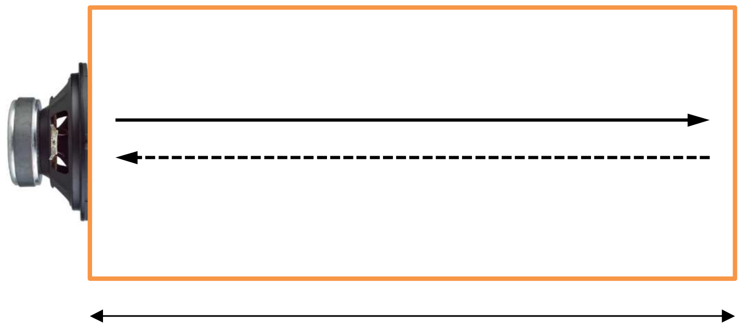
Resonancia “Amplitud má*ima de oscilación de un elemento, cuando sus dimensiones coinciden con el “λ” de una onda, o con múltiplos enteros de la misma”



uerda guitarra *2*

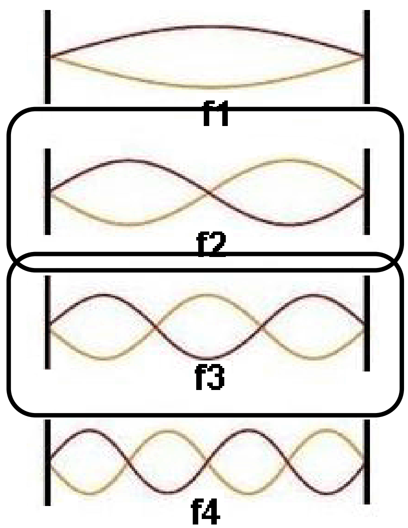
uerda guitarra *3*

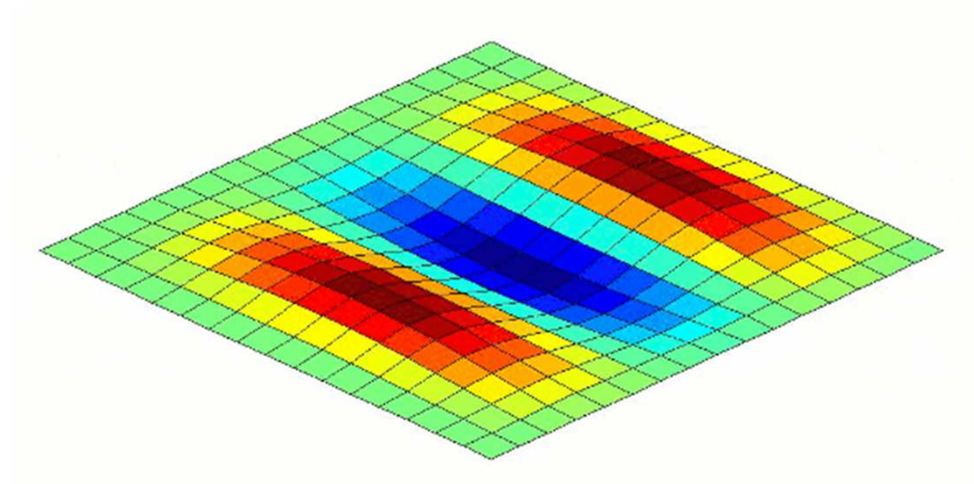
Frecuencia de resonancia del modo normal



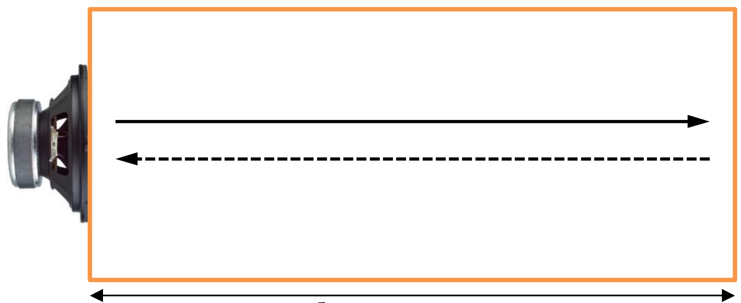
$lx = 8{,}6m$

$$f_{lx} = \frac{\vec{v}}{\lambda} = \frac{\vec{v}}{2lx} = \frac{344}{2(8{,}6)} = 20Hz$$





alculo de frecuencia de resonancia del modo normal de orden superior



$lx = 8{,}6m$

$$f_{lx} = \frac{\vec{v}}{2lx}$$

$$\boxed{f_{1x} = \frac{\vec{v}}{2lx}}$$

modo normal *3*

$$f_{2x} = 2\left(\frac{\vec{v}}{2lx}\right) = 2\left(\frac{344}{17{,}2}\right) = 40Hz$$

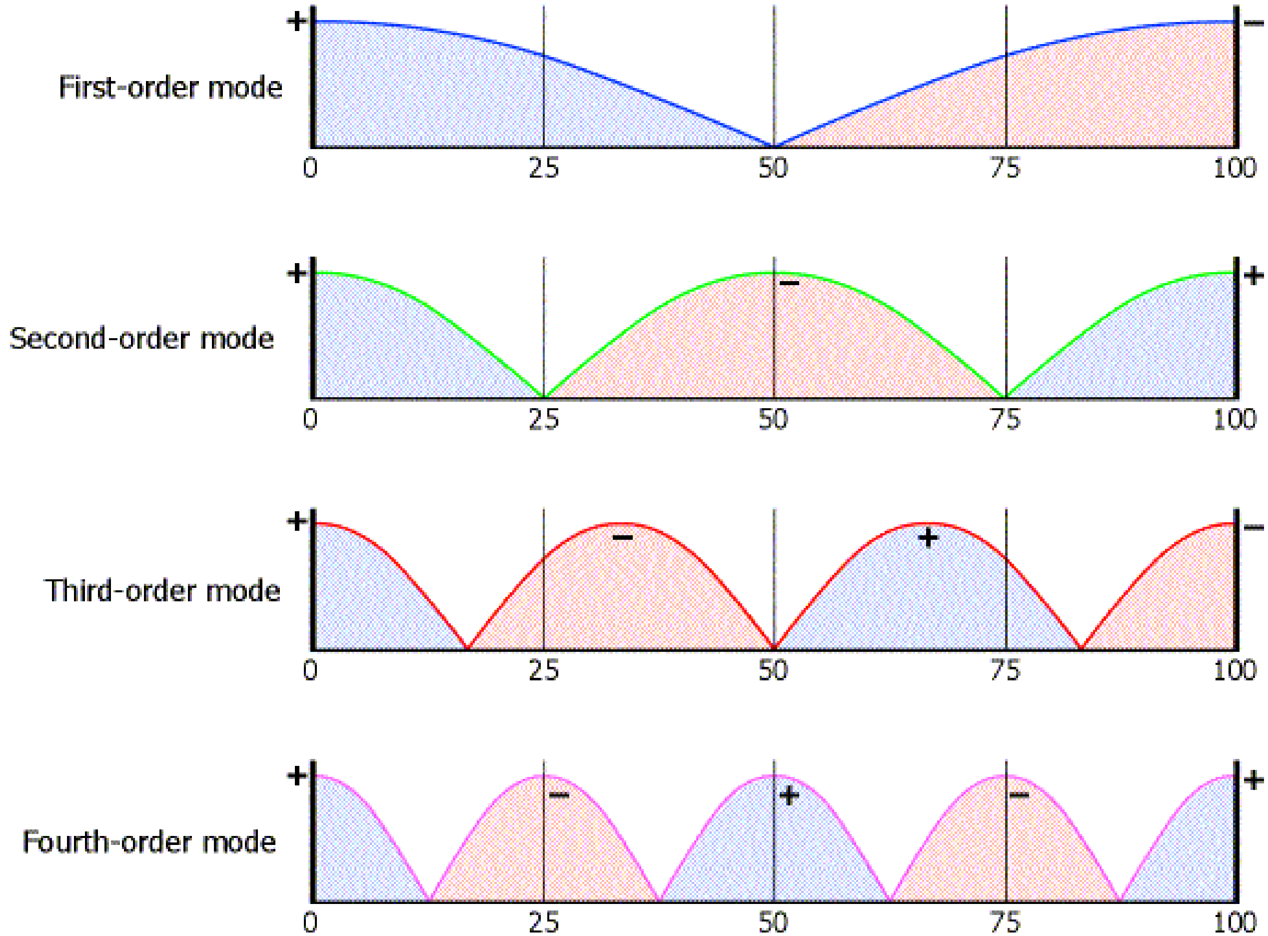
modo normal *8*

$$f_{3x} = 3\left(\frac{\vec{v}}{2lx}\right) = 3\left(\frac{344}{17{,}2}\right) = 60Hz$$

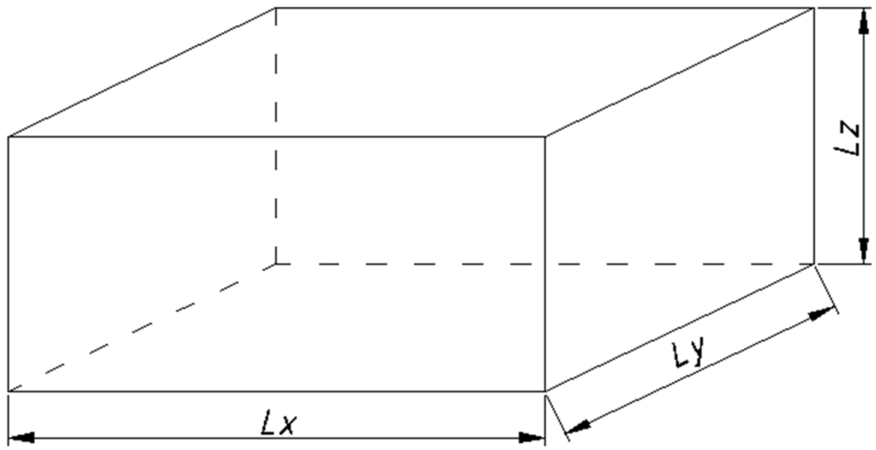
En general

$$\boxed{f_{nx} = n\frac{\vec{v}}{2lx}}$$

Frecuencia de resonancia del modo normal



alculo de frecuencia de resonancia de los modos normales en *8* e+es



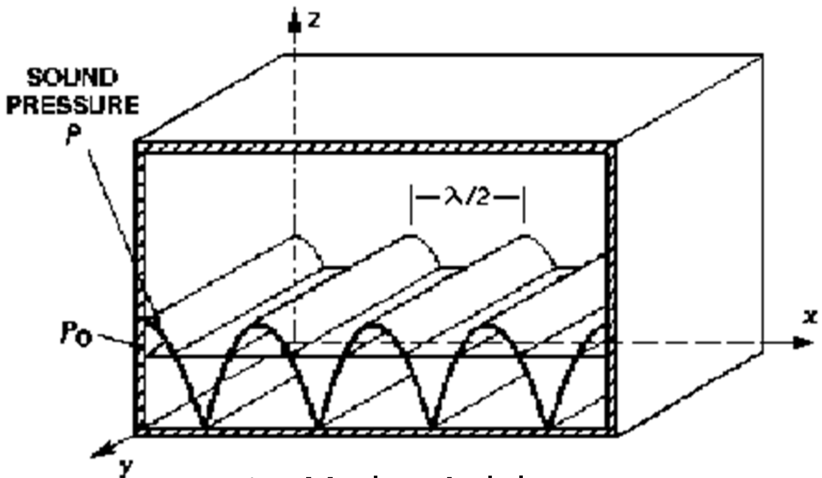
Tipos de Modos ,ormales

a9 Modos A*iales
b9 Modos Tangenciales
c9 Modos :blicuos

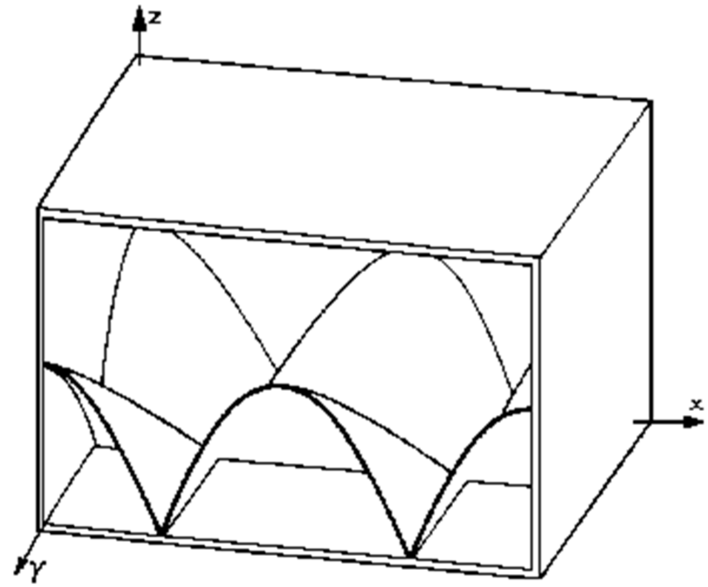
Ecuación general para todas las frecuencias de todos los modos

$$f_{n_x,n_y,n_z} = \frac{\vec{v}}{2}\sqrt{\left(\frac{n_x}{lx}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{ly}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{lz}\right)^2}$$

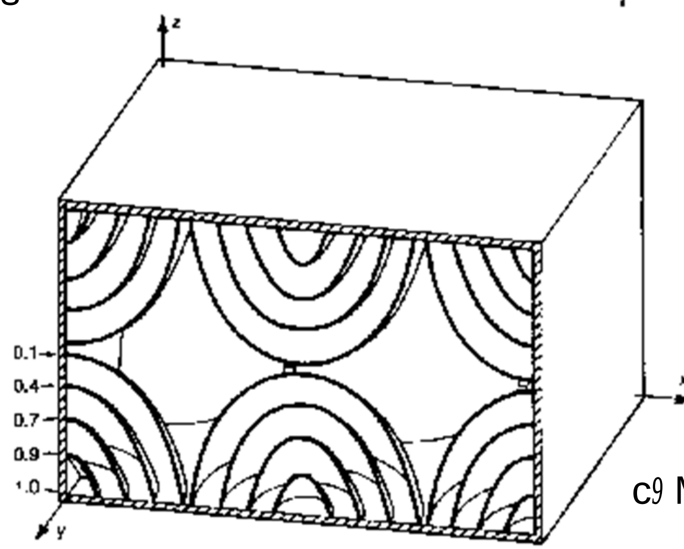
Resonancias de los modos normales en 8 e+es



a9 Modos A*iales



b9 Modos tangenciales



c9 Modos oblicuos

Acusti’ación de !alas

Acusti’ación

Aislación

#esde cero

;a construido

2" Aislación → Muros densos / Muros dobles

3" Romper -o atenuar. → Modos normales → Evitar paralelismo / Trampas de graves

8" Fi+ar un RT60 → #estino de la sala → !abine → !uperficie oeficiente α

7" Aplicar material absorbente → Paredes o Tec4os

6" Medir respuesta en frecuencia → %deal(respuesta plana

6" Medir y corregir(Modos normales, RT60 y Respuesta en frecuencia

Acusti’ación de !alas

Acusti’ación	Aislación	#esde cero	;a construido

1" olocar difusión → Paneles difusores → , o 4ay calculo

→ !ensación de amplitud

<" Medición final

- Los peores modos normales son los a*iales → Evitar paralelismo entre muros, y entre pisos y tec4os
- !i a pesar de todo, aparecen modos molestos → Trampas de graves sintoni’adas

Ejemplos