



“Aislación Acústica”

Ing. Juan Bertrán

*Ingeniero en Electrónica
Especialista en Audio y Sonido*

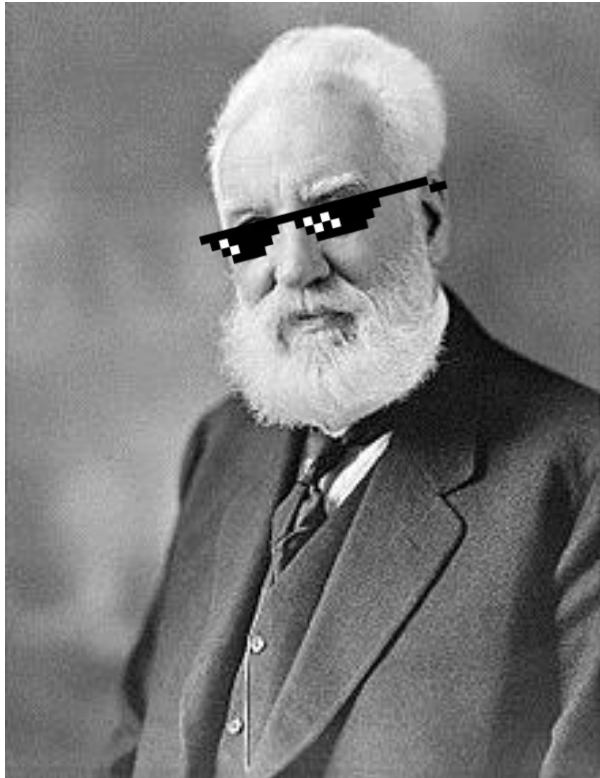
Mg. Ing. Adriano Sabez

*Ingeniero en Acústica
Mg. en Acústica Arquitectónica y Medioambiental*

El Decibel

“unidad de medición del nivel sonoro”

Alexander Graham Bell



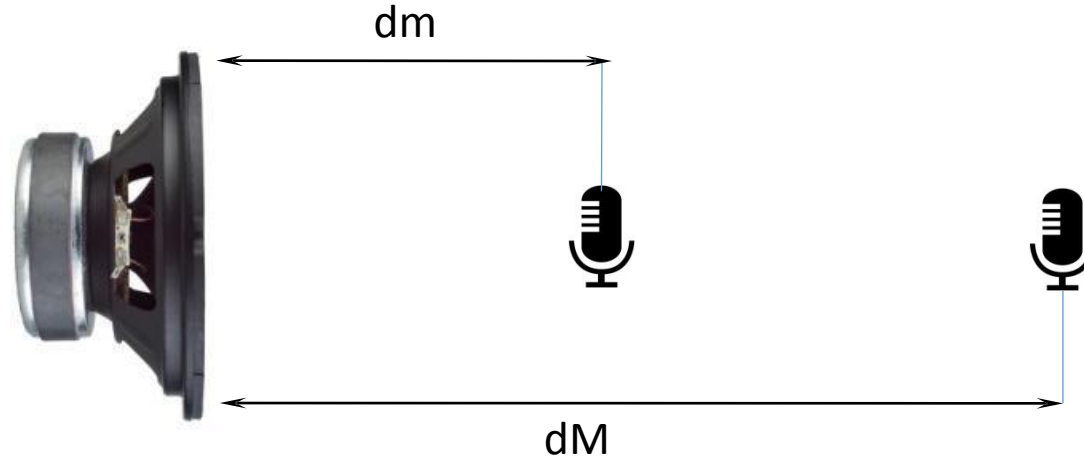
$$B = \log \frac{X}{X_0}$$

Magnitud que queremos medir “Actual”

Magnitud conocida (de Referencia)

$$dB = 10 \log \frac{X}{X_0}$$

Propagación en Espacio Libre



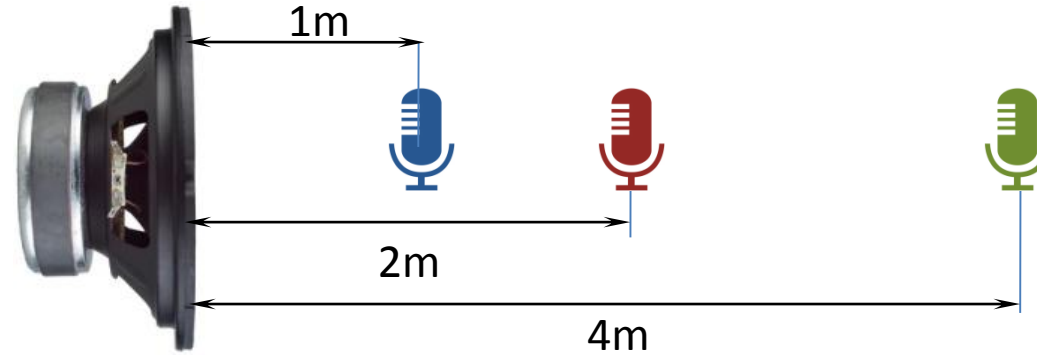
$$\Delta L_{[dB]} = 10 \log \frac{I_{dM}}{I_{dm}} = 10 \log \frac{\cancel{W} \cdot \frac{1}{4\pi \cdot dM^2}}{\frac{W}{\cancel{4\pi} \cdot dm^2}} = 10 \log \frac{1}{\frac{dM^2}{dm^2}} = 10 \log \frac{dm^2}{dM^2} = 20 \log \frac{dm}{dM}$$

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

Formula fundamental para calcular
la caída del nivel sonoro en el espacio libre

Caída del nivel sonoro con la distancia

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

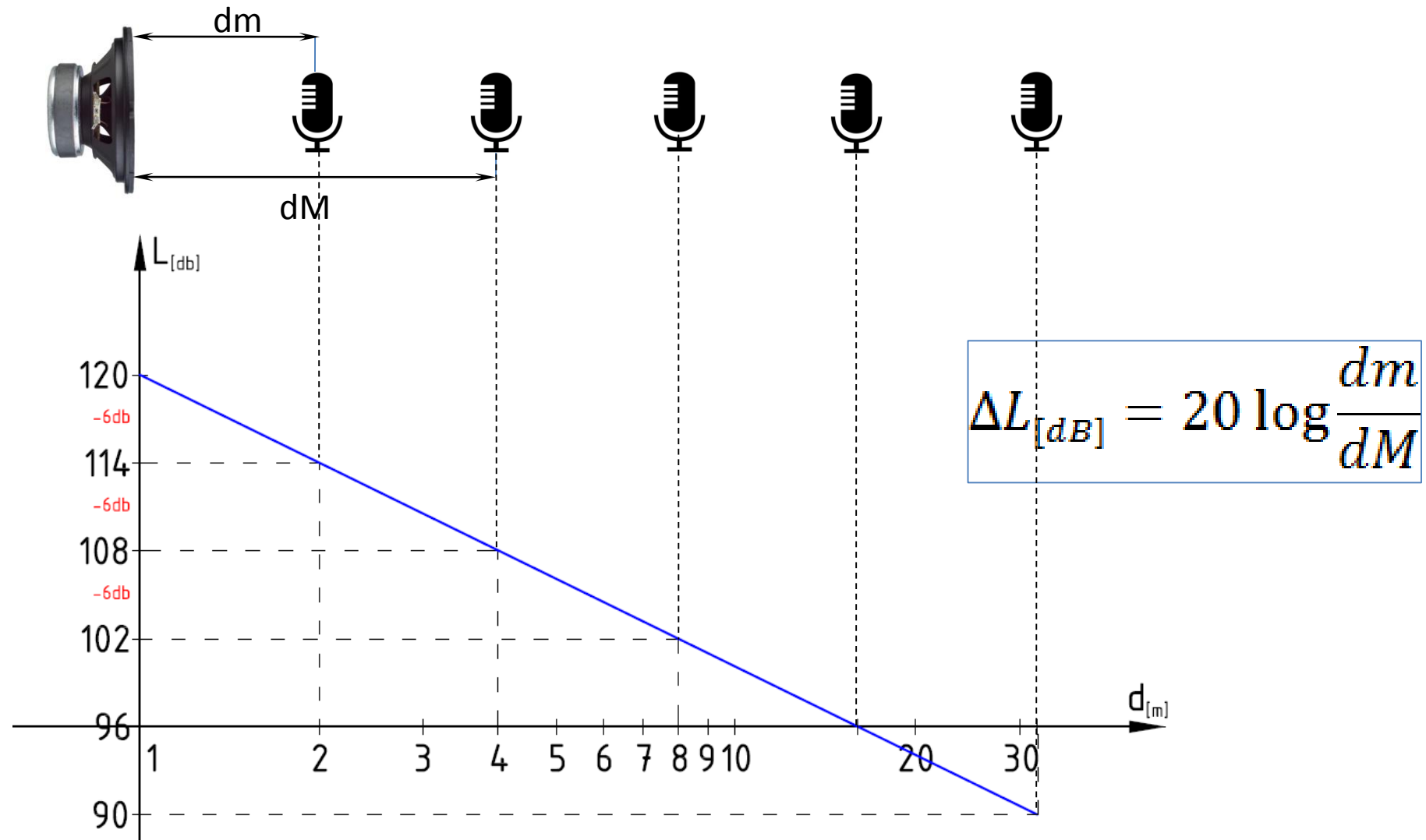


$$\Delta L_{[dB]} = 20 \log \frac{1m}{2m} = 20 \log 0.5 = 20 (-0.30103) = -6dB$$

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

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

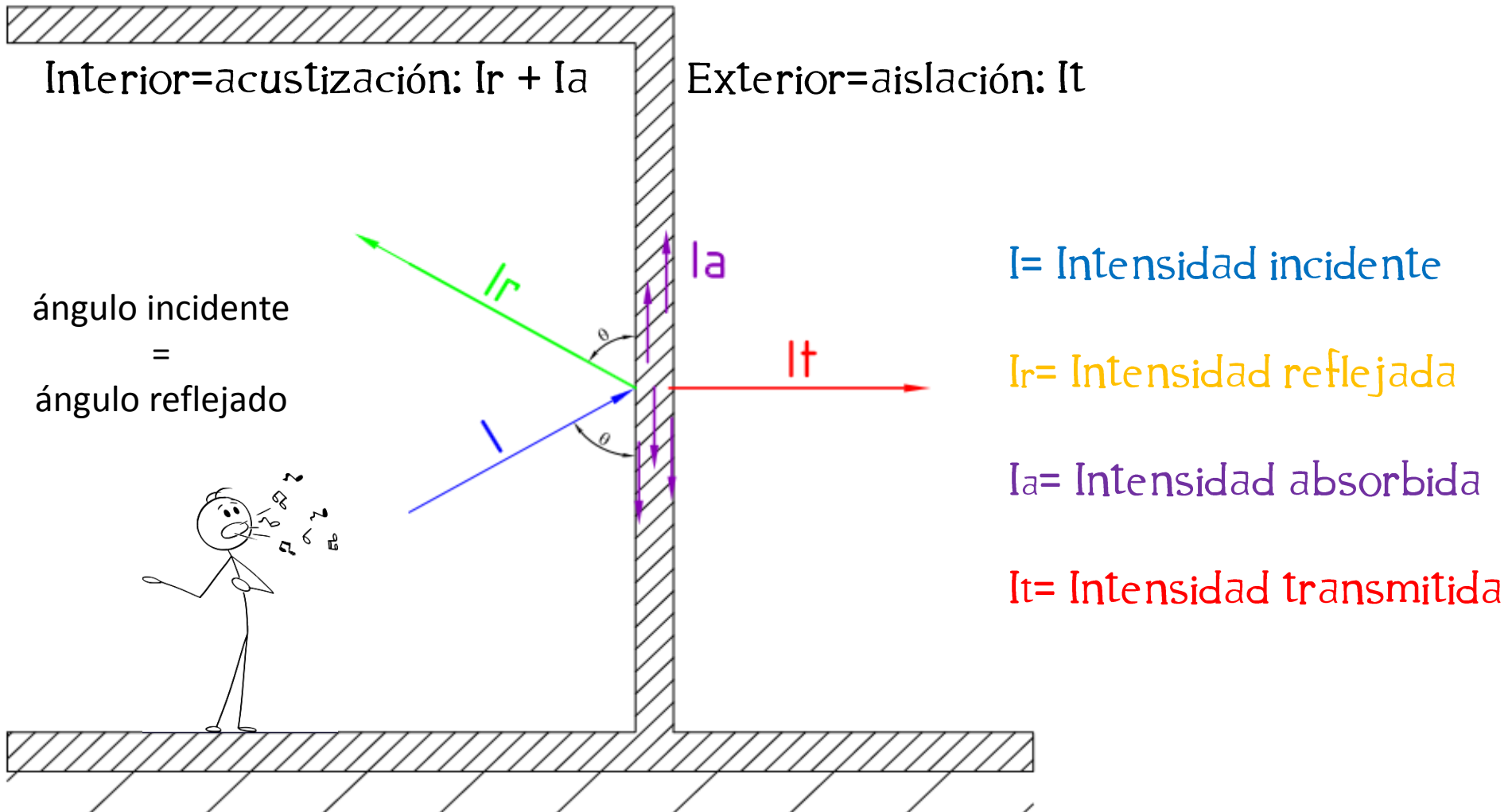
Curva de la Caída del nivel con la distancia



Si se duplica la distancia, la caída del nivel sonoro es de -6db

Parámetros Acústicos Fundamentales

Reflexión, Absorción y Transmisión



Coeficientes de Reflexión, Absorción y Transmisión

$$I_i = I_r + I_a + I_t$$
$$\left. \begin{aligned} 100 \frac{W}{m^2} &= 50 \frac{W}{m^2} + 20 \frac{W}{m^2} + 30 \frac{W}{m^2} \\ 80 \frac{W}{m^2} &= 40 \frac{W}{m^2} + 16 \frac{W}{m^2} + 24 \frac{W}{m^2} \\ 50 \frac{W}{m^2} &= 25 \frac{W}{m^2} + 10 \frac{W}{m^2} + 15 \frac{W}{m^2} \end{aligned} \right\} 1 = 0.5 + 0.2 + 0.3$$

Normalizamos (dividiendo miembro a miembro por la intensidad incidente)

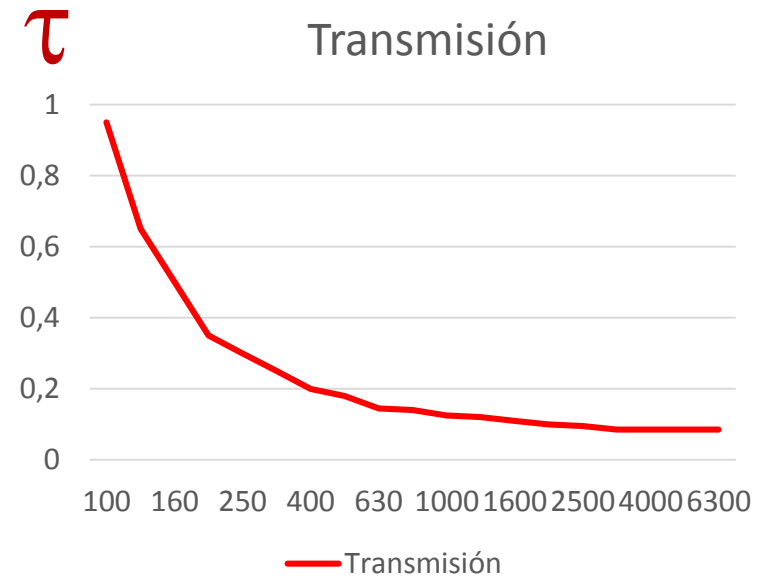
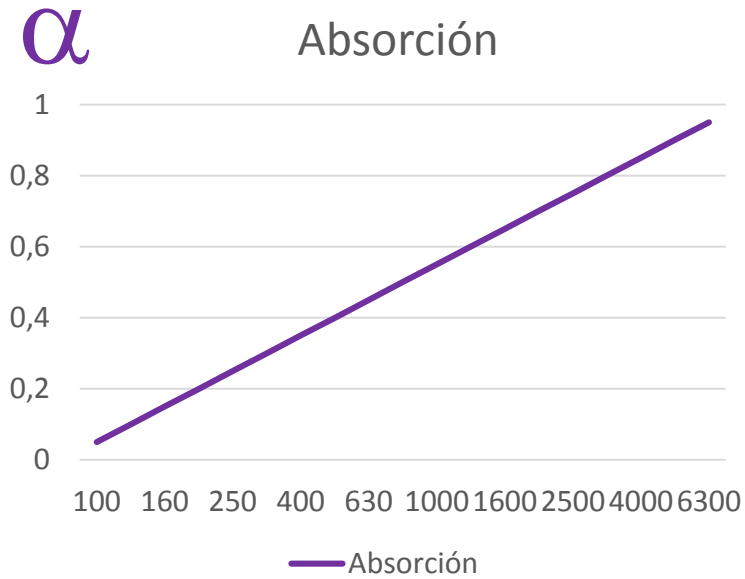
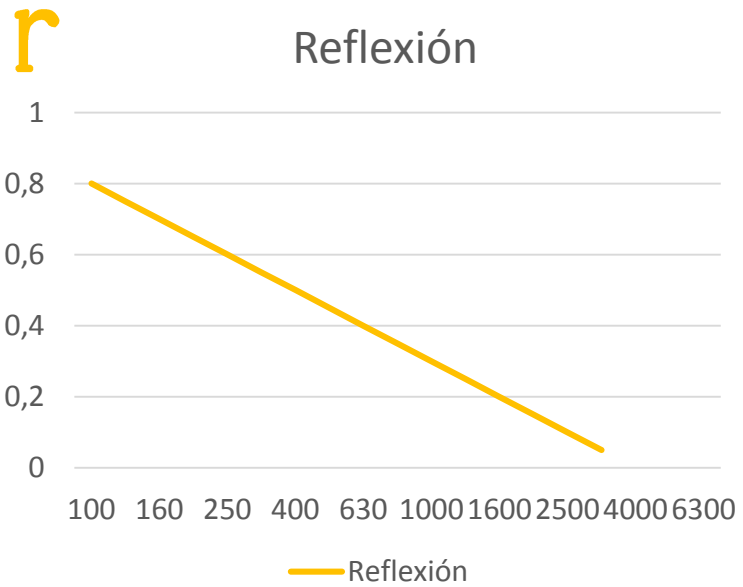
La igualdad no cambia

$$\frac{I_i}{I_i} = \frac{I_r}{I_i} + \frac{I_a}{I_i} + \frac{I_t}{I_i}$$
$$1 = r + \alpha + \tau$$
$$\left\{ \begin{aligned} 0 < r < 1 \\ 0 < \alpha < 1 \\ 0 < \tau < 1 \end{aligned} \right.$$

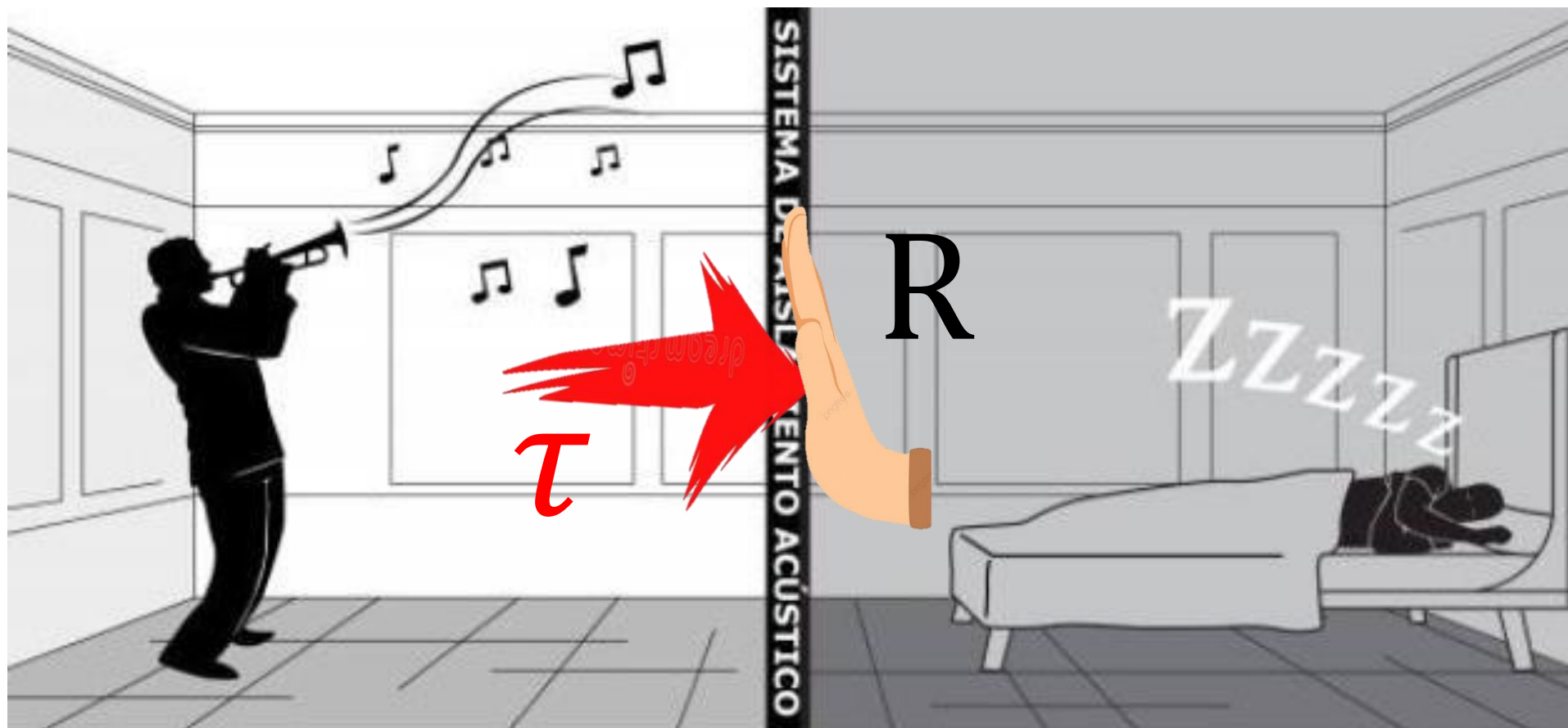
Comportamiento de los parámetros acústicos a diferentes frecuencias

Ej $r = 0,3$, $\alpha = 0,55$ $\tau = 0,15$ Valores promediados con ruido rosa

Mediciones a Varias frecuencias



Aislación Acústica al ruido aéreo



Índice de aislamiento acústico R

$$\tau = \frac{I_t}{I_i}$$

Podemos demostrar que τ depende de las características del muro y del ángulo de incidencia del sonido

$$\tau = \frac{1}{1 + \left(\frac{m \cdot \pi \cdot f \cdot \cos \theta}{\rho_0 \cdot c} \right)^2}$$

$m =$ Masa del muro
 $f =$ Frecuencia
 $\rho_0 =$ Densidad del medio
 $c =$ velocidad del sonido

Esto debe ser el parámetro de aislamiento

Índice de aislamiento acústico R

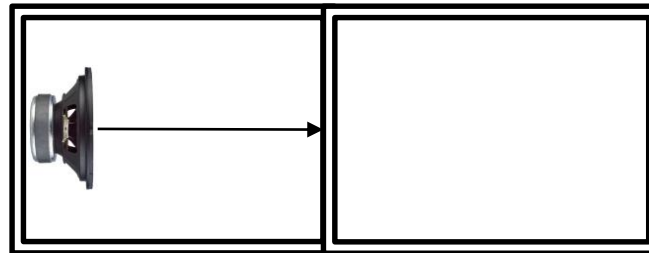
$$a_{\theta} = 10 \log \left[1 + \left(\frac{m \cdot \pi \cdot f \cdot \cos \theta}{\rho_0 \cdot c} \right)^2 \right]$$

Si el sonido incide en forma perpendicular $\theta = 0$

$$a_0 \cong 10 \log \left[\frac{m \cdot \pi \cdot f}{\rho_0 \cdot c} \right]^2 \longrightarrow$$

$$a_0 \cong 20 \log(m \cdot f) - 48$$

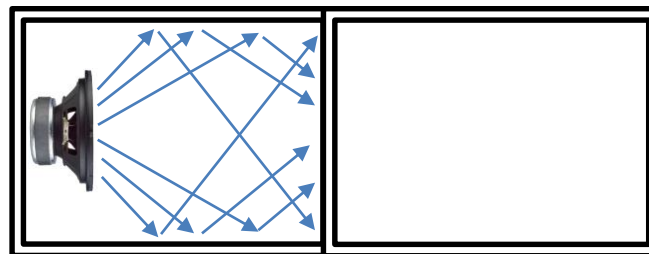
Ley de Masas



Si el sonido incide en forma difusa $\theta \neq 0$

$$a_d \cong 10 \log \left[\frac{m \cdot \pi \cdot f}{\rho_0 \cdot c} \right]^2 - b$$

b varía entre 5 y 10db



Aislación Acústica

Ley de Masas

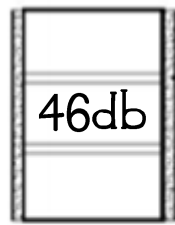
Aislamiento sonoro (R) de un cerramiento

depende

Masa



112db

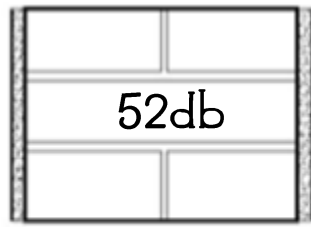


15 cm

66db



112db



30 cm

60db



Densidad Superficial

Densidad	Aislación
25 Kg/m ²	32db
50 kg/m ²	38db
100 kg/m ²	44db
200 Kg/m ²	50db

$$\sigma = \frac{m}{A}$$

← masa

← área

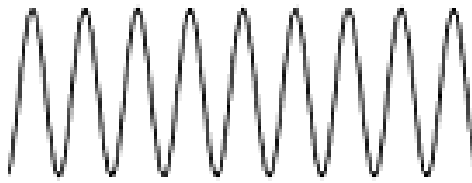
Efecto de la frecuencia en la ley de masas

$$R = 20 \log f \cdot \sigma - 48db$$

Frecuencia

Densidad superficial

2000 Hz



1000 Hz



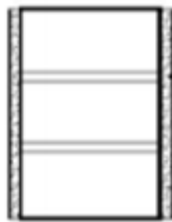
500 Hz



50 Hz



Ladrillo



15 cm

$$\sigma = 300 \frac{Kg}{m^2}$$

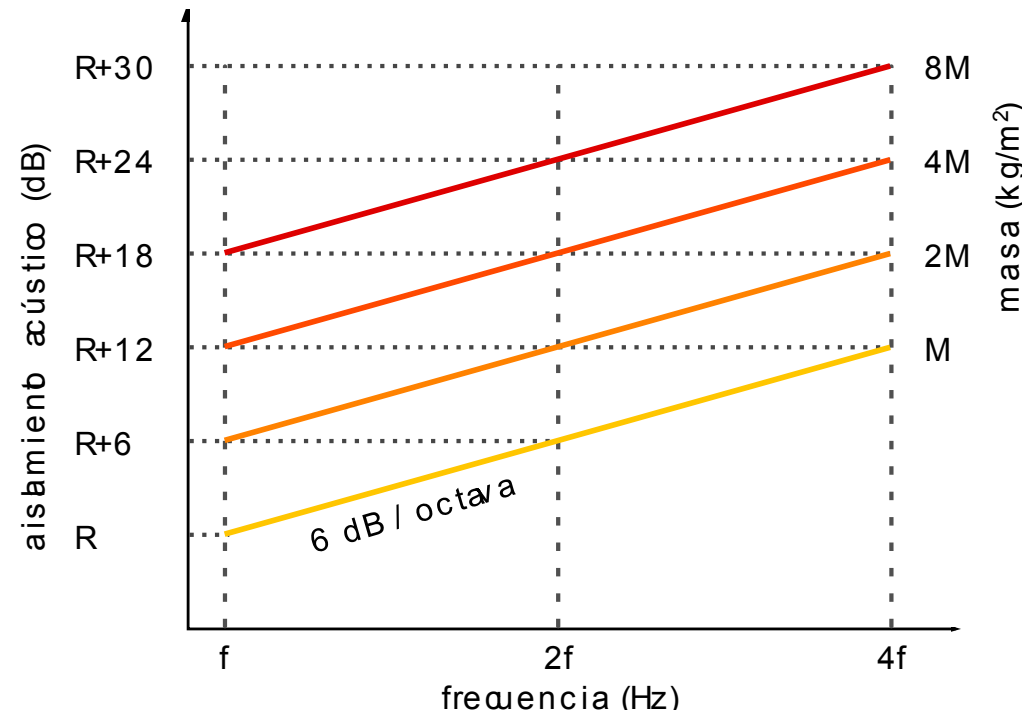
$$R_{2000Hz} = 20 \log 2000 \cdot 300 - 48db = 67db$$

$$R_{1000Hz} = 20 \log 1000 \cdot 300 - 48db = 61db$$

$$R_{500Hz} = 20 \log 500 \cdot 300 - 48db = 55db$$

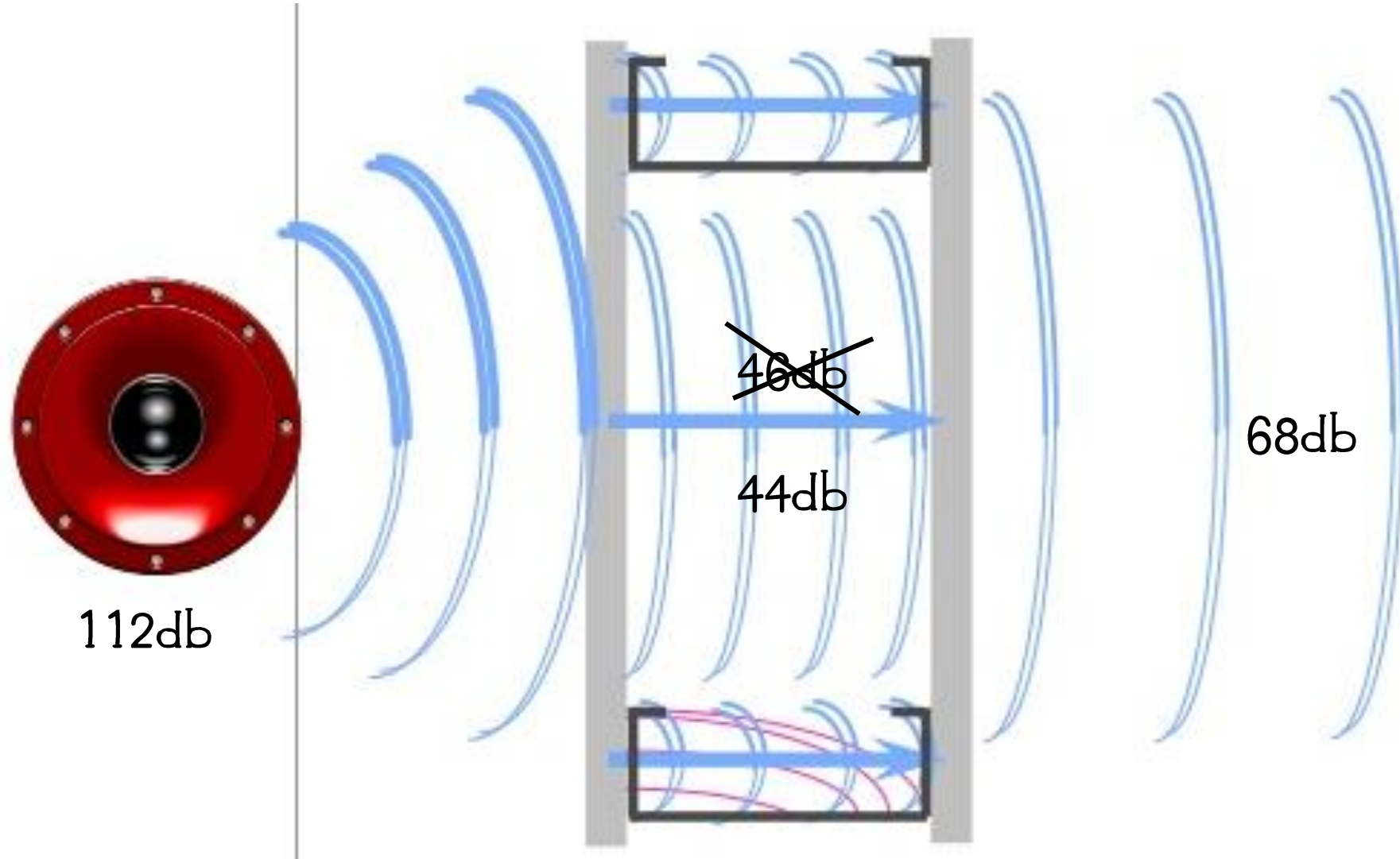
$$R_{50Hz} = 20 \log 50 \cdot 300 - 48db = 35db$$

$$R = 20 \log f \cdot \sigma - 48 \text{db}$$



- Para un cerramiento y un ángulo de incidencia dado, su aislamiento aumenta 6 dB cada vez que se duplica la masa.
- Para un cerramiento y un ángulo de incidencia dados, el aislamiento crece a razón de 6 dB/octava (al duplicar la frecuencia).
- Para un cerramiento y una frecuencia dada el aislamiento disminuye al aumentar el ángulo de incidencia (las ondas rasantes se transmiten mejor que las normales).

Propagación del sonido en muros



Algunos problemas de la Ley de Masas

Frecuencia crítica o de resonancia

Frecuencia incidente

=

Frecuencia de vibración natural del muro

“Efecto diafragma”

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi e} \sqrt{\frac{12\rho}{E}(1-\mu^2)}$$

e: espesor

ρ: densidad

E: elasticidad

μ: Modulo de Poisson

Eficiencia

Ganamos 4db al duplicar la masa



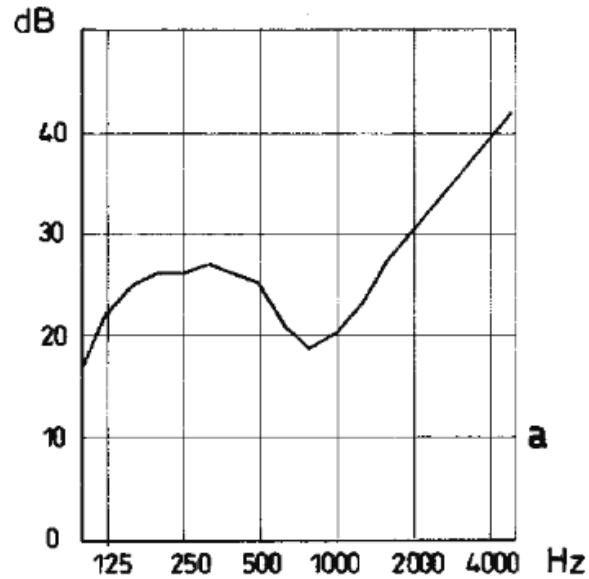
Masa del Muro	Atenuación en dB
15cm	40db
30cm	44db
60cm	48db
120cm	52db
240cm	56db
420cm	60db

Inviabile tanto por razones de diseño como económicas

Comportamiento real según la Ley de Masas

Aglomerado de melamina:

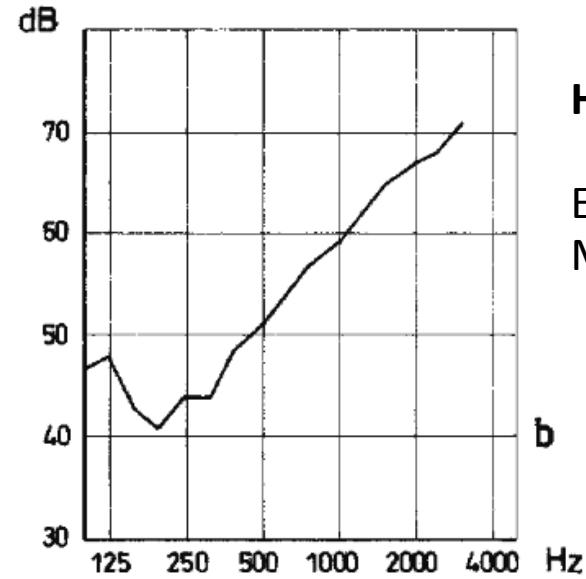
Esesor 0,05m
Masa 24 kg/m²



a

Hormigón

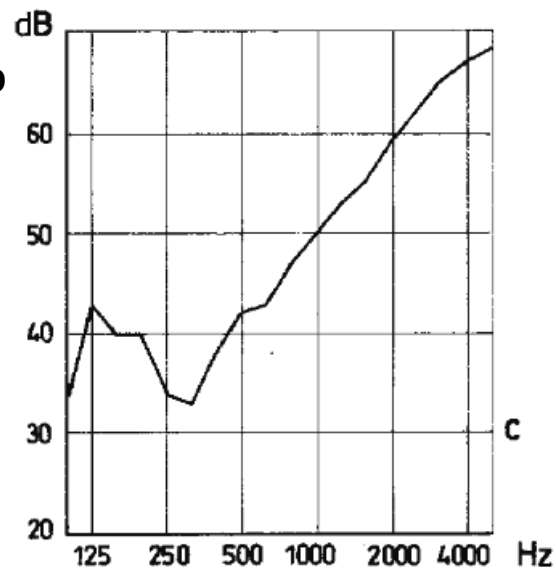
Esesor 0,14m
Masa 330 kg/m²



b

Ladrillo revocado

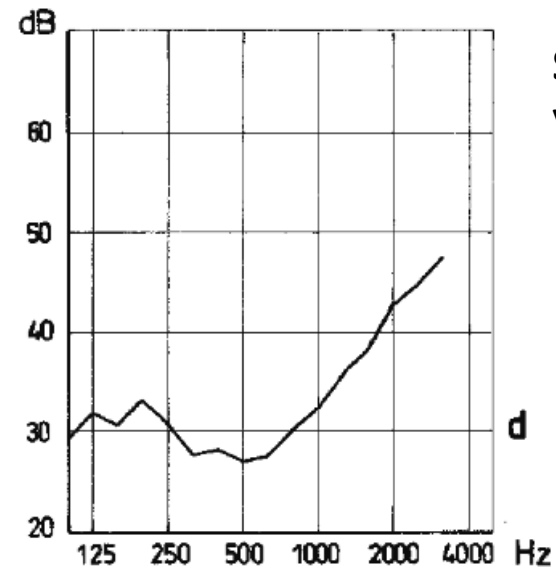
Esesor 0,11m
Masa 250 kg/m²



c

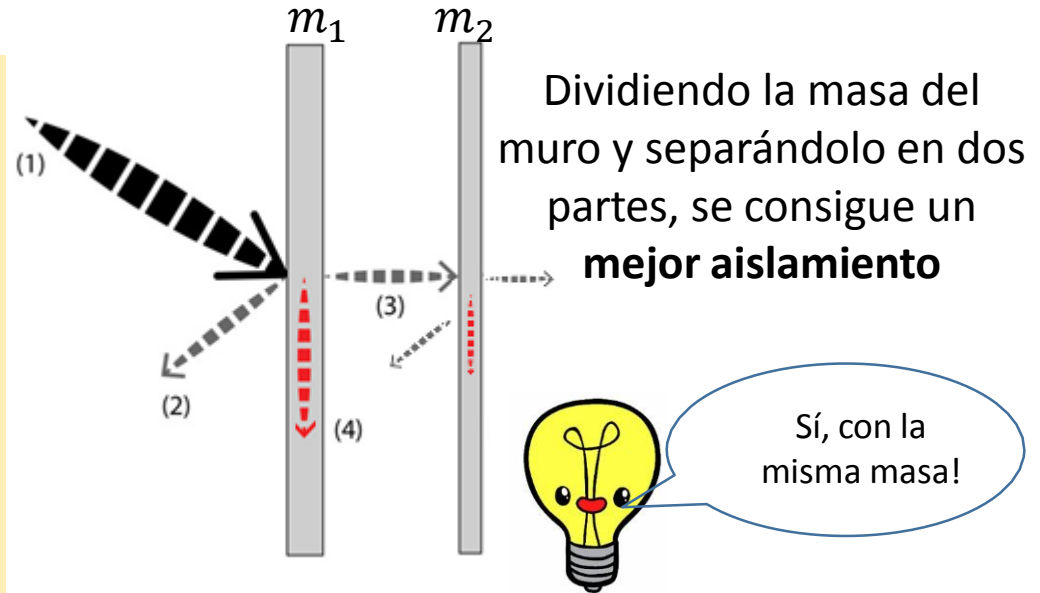
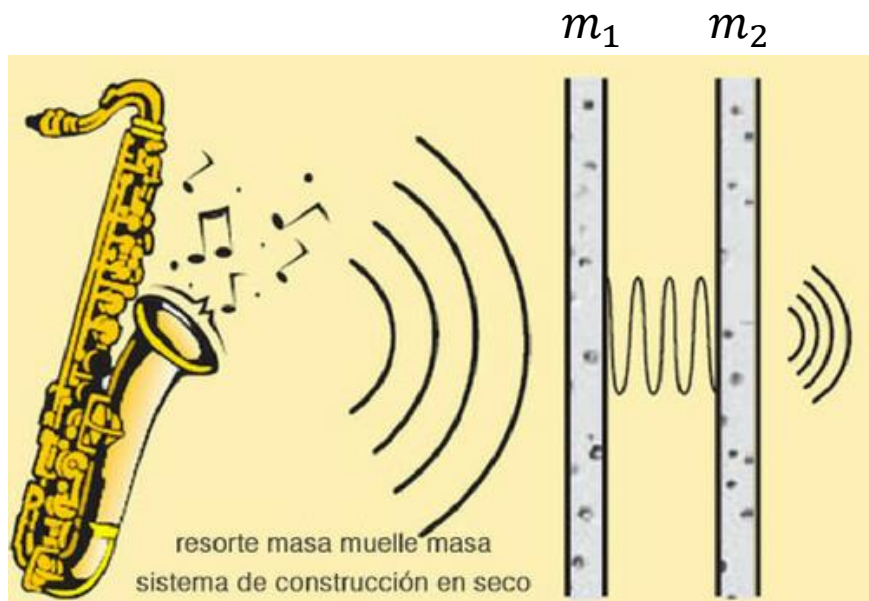
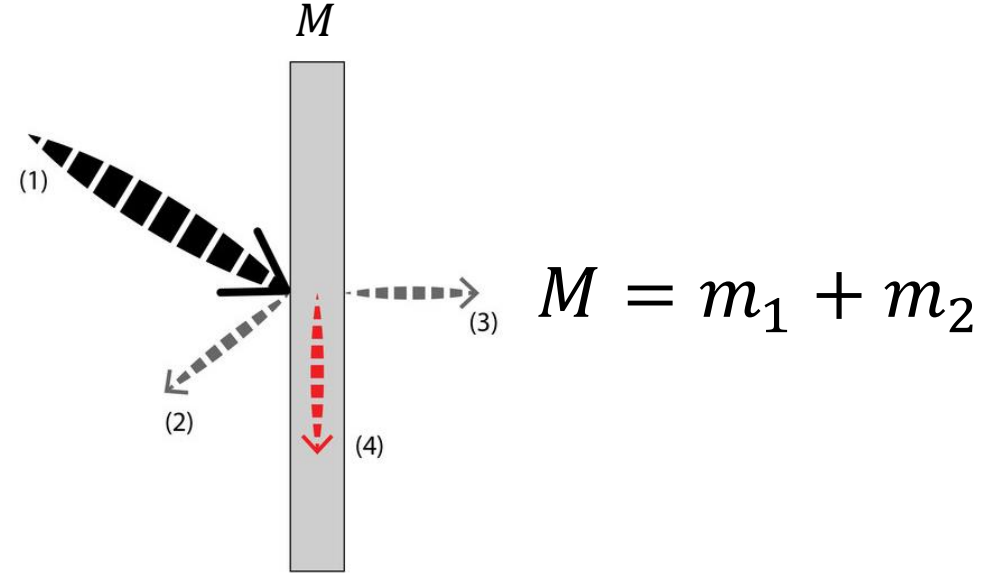
Suspendido de yeso

Esesor 0,07m
Masa 65 kg/m²

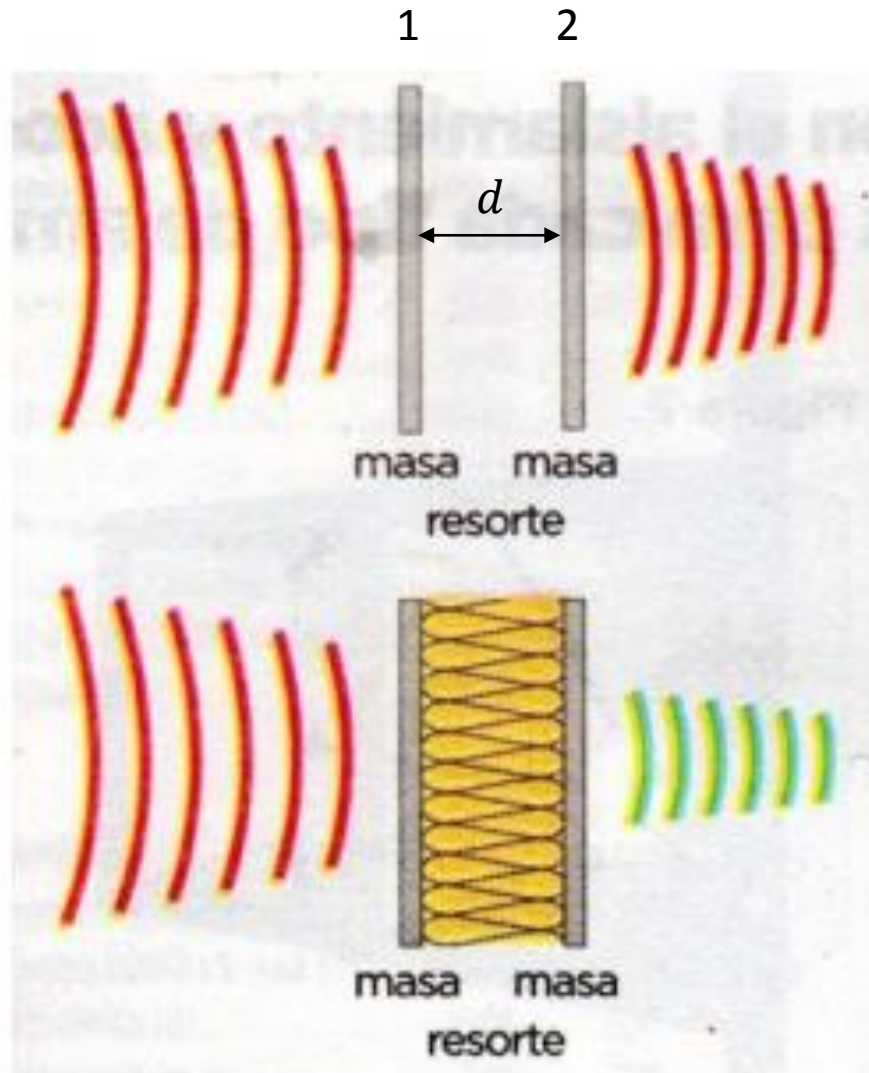


d

Ley de Masa-Resorte-Masa



Frecuencia de Resonancia



Para sistemas sin material de relleno

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}}$$

d : distancia entre los muros medida en cm

Para sistemas con material de relleno

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{d} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}}$$

ρ : densidad superficial del relleno

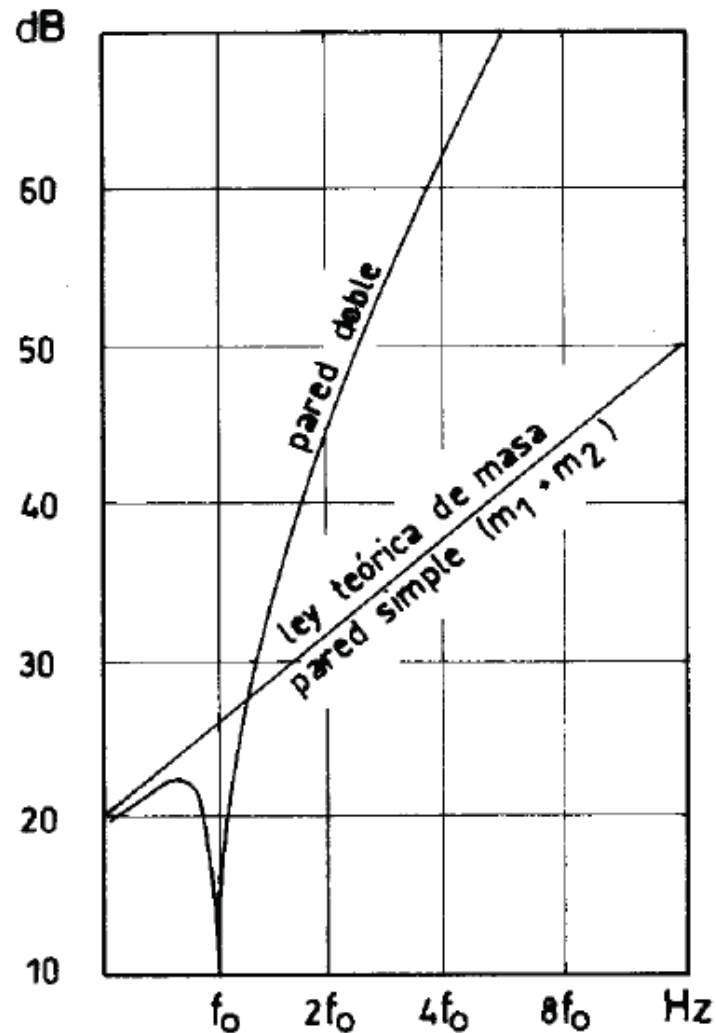
d : espesor del material de relleno

Es sumamente importante que f_0 este lo mas bajo posible

Atenuación de un sistema Masa-Resorte-Masa

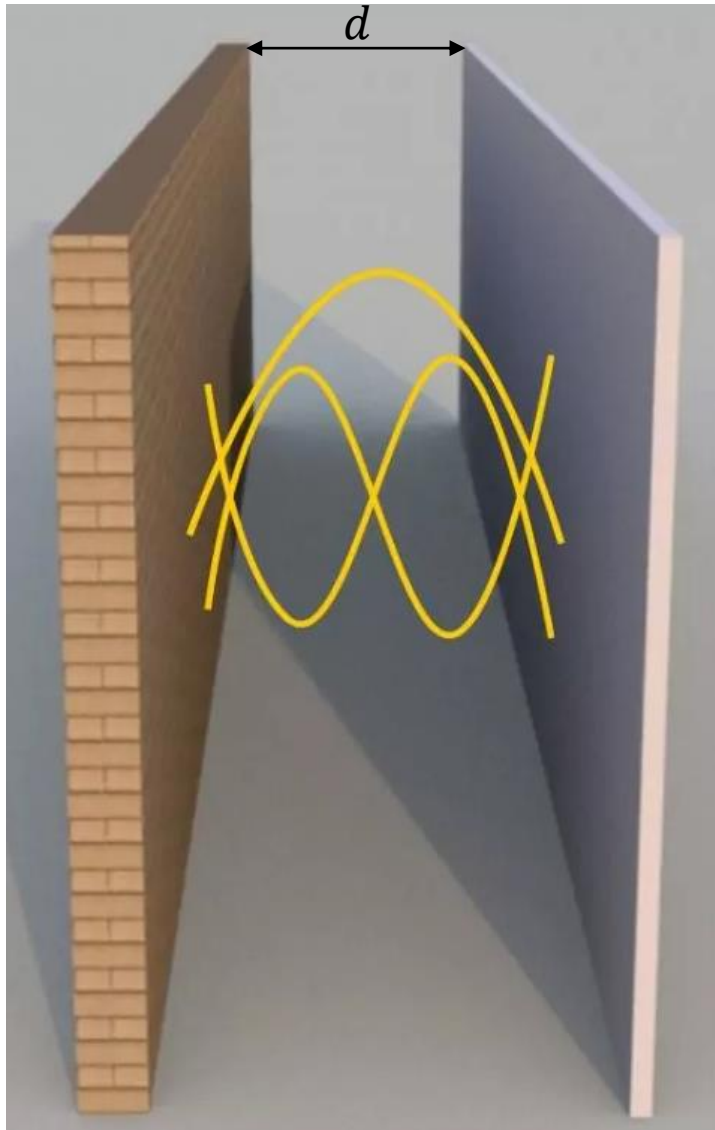
$$R = 20 \log \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot \omega (\omega_0^2 - \omega^2)}{2 f_0 \cdot c \cdot k}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f$$



- Para frecuencias inferiores a f_0 la doble pared se comporta como una pared simple de igual masa total.
- Para f_0 hay una gran pérdida de aislamiento y para frecuencias superiores a f_0 se nota la conveniencia de la doble pared.
- El aumento del aislamiento con la frecuencia es, a partir de f_0 , igual a 18 dB/octava (al duplicar la frecuencia) contra a los 6 dB/octava para una pared simple.

Ondas estacionarias



Entre los muros se producen ondas estacionarias.

$$f_n = \frac{170}{d}n$$

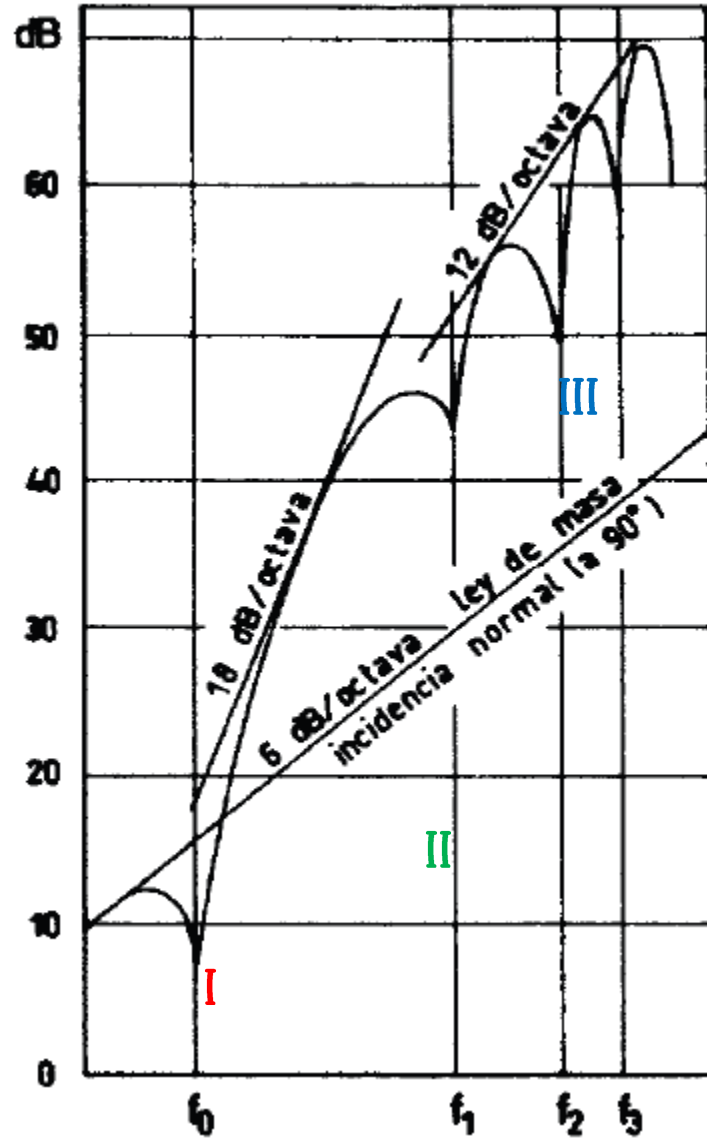
Se retroalimentan y transmiten con gran facilidad

Disminuye el aislamiento, el doble muro se comporta casi uniforme

Para evitarlo

Rellenamos la cámara con un material absorbente

Atenuación de un sistema Masa-Resorte-Masa



f_0 : Frecuencia de resonancia del sistema
 f_1, f_2, f_3 : Frecuencia de resonancia la cámara

Región I Frecuencias Bajas $f < f_0$
 Menor eficiencia del sistema

$$R = 20 \log(f \cdot \sigma_1 + \sigma_2) - 48 \text{db}$$

Región II Frecuencias medias $f_0 < f < f_1$

Se incrementa la aislación
 18db al duplicar la frecuencia

$$R = 20 \log \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot \omega (\omega_0^2 - \omega^2)}{2f_0 \cdot c \cdot k}$$

Región III Frecuencias altas $f > f_1$

Aparecen ondas estacionarias
 El relleno actúa atenuándolas

El rendimiento baja a 12db al
 duplicar la frecuencia

Atenuación de un sistema Masa-Resorte-Masa

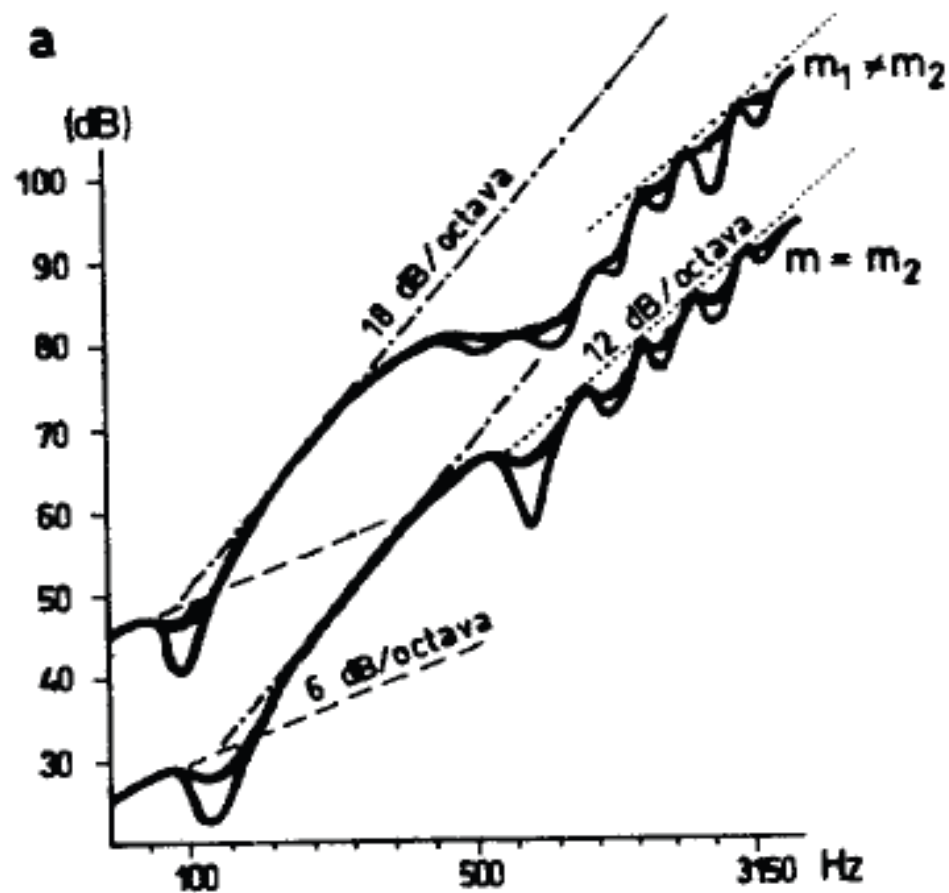


Figura 13.13: Comparación entre el aislamiento acústico obtenido con un cerramiento de doble hoja, según que la masa de ambas hojas sea igual o distinta.

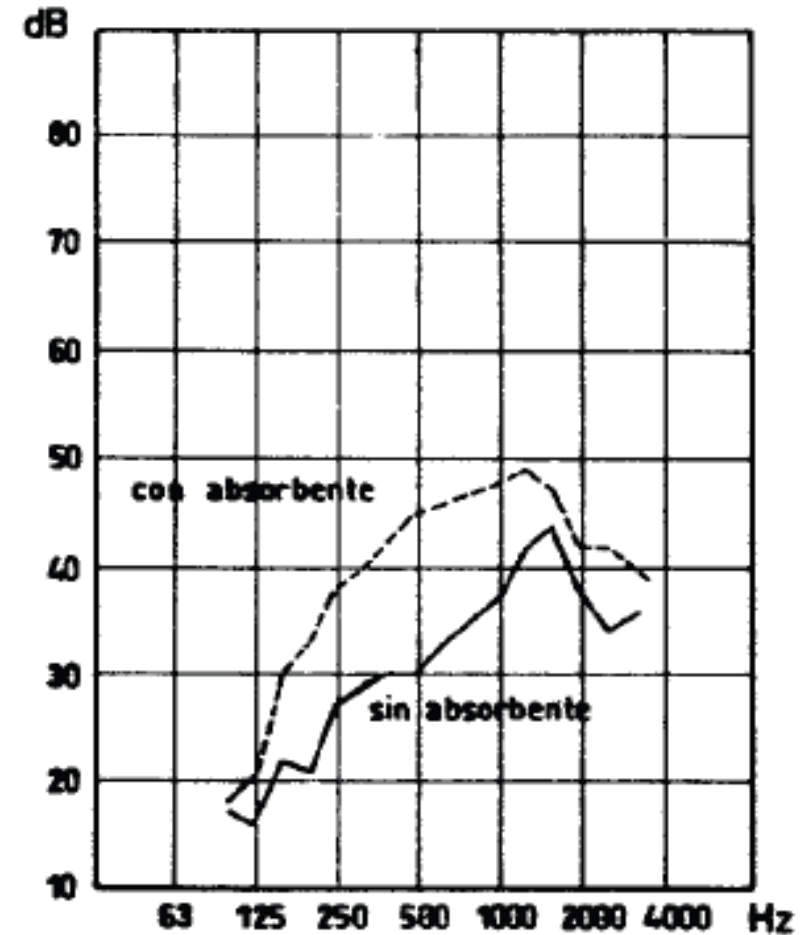
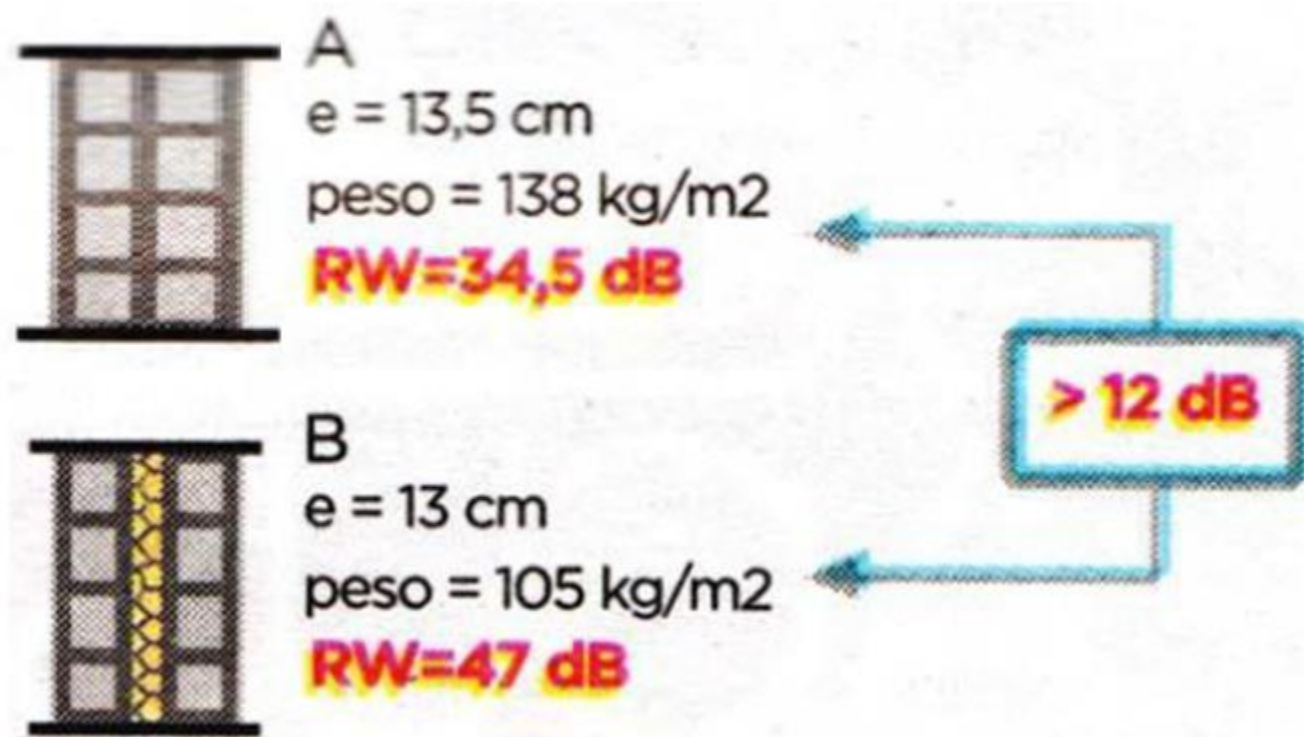


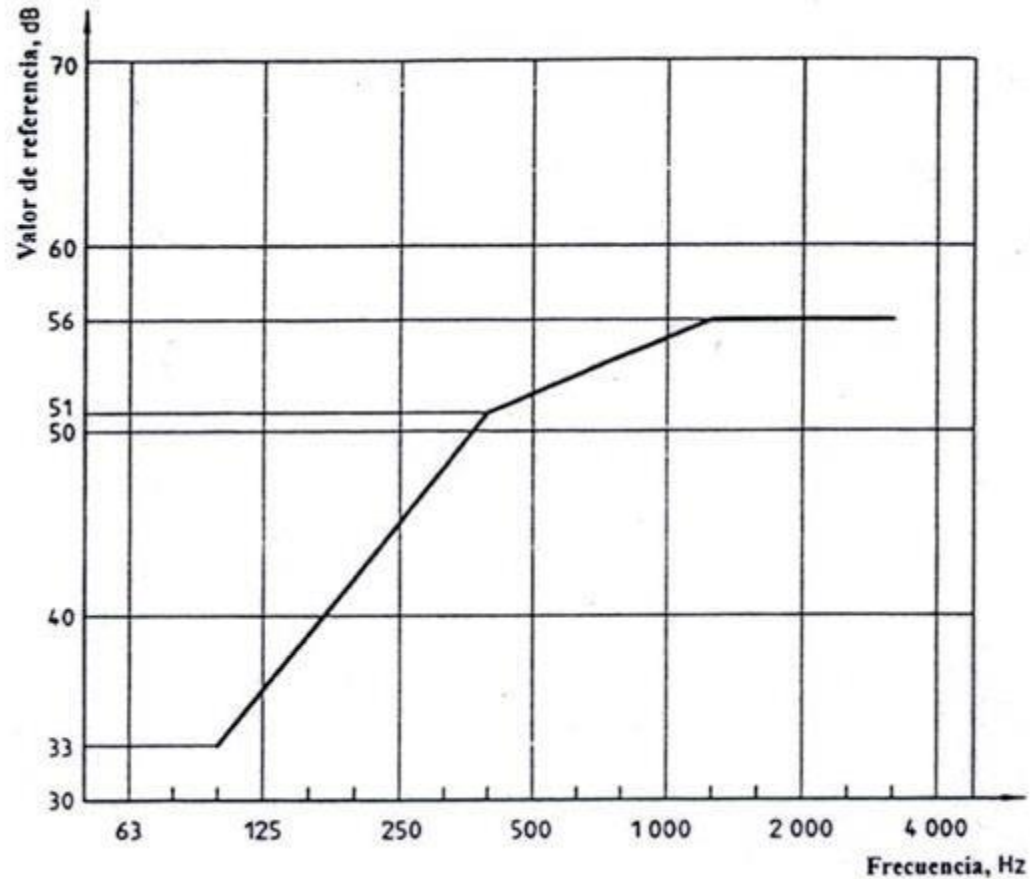
Figura 13.14: Efecto en el aislamiento acústico, de la interposición de un absorbente en la cámara de aire de un cerramiento doble. (Mestre y García).

Comparación entre Ley de Masas y Sistema M-R-M



El aislamiento de una pared doble
NO es igual a la suma de dos paredes simples

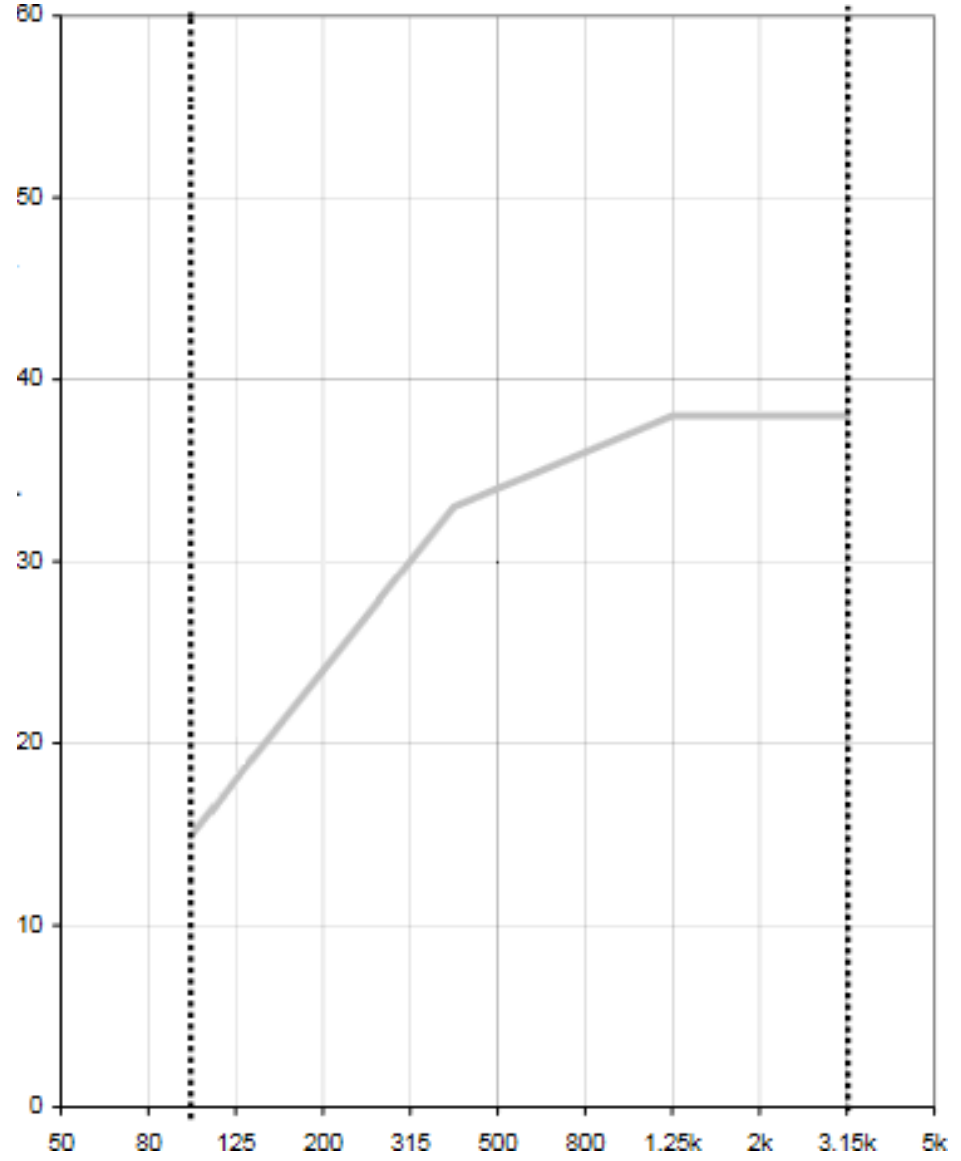
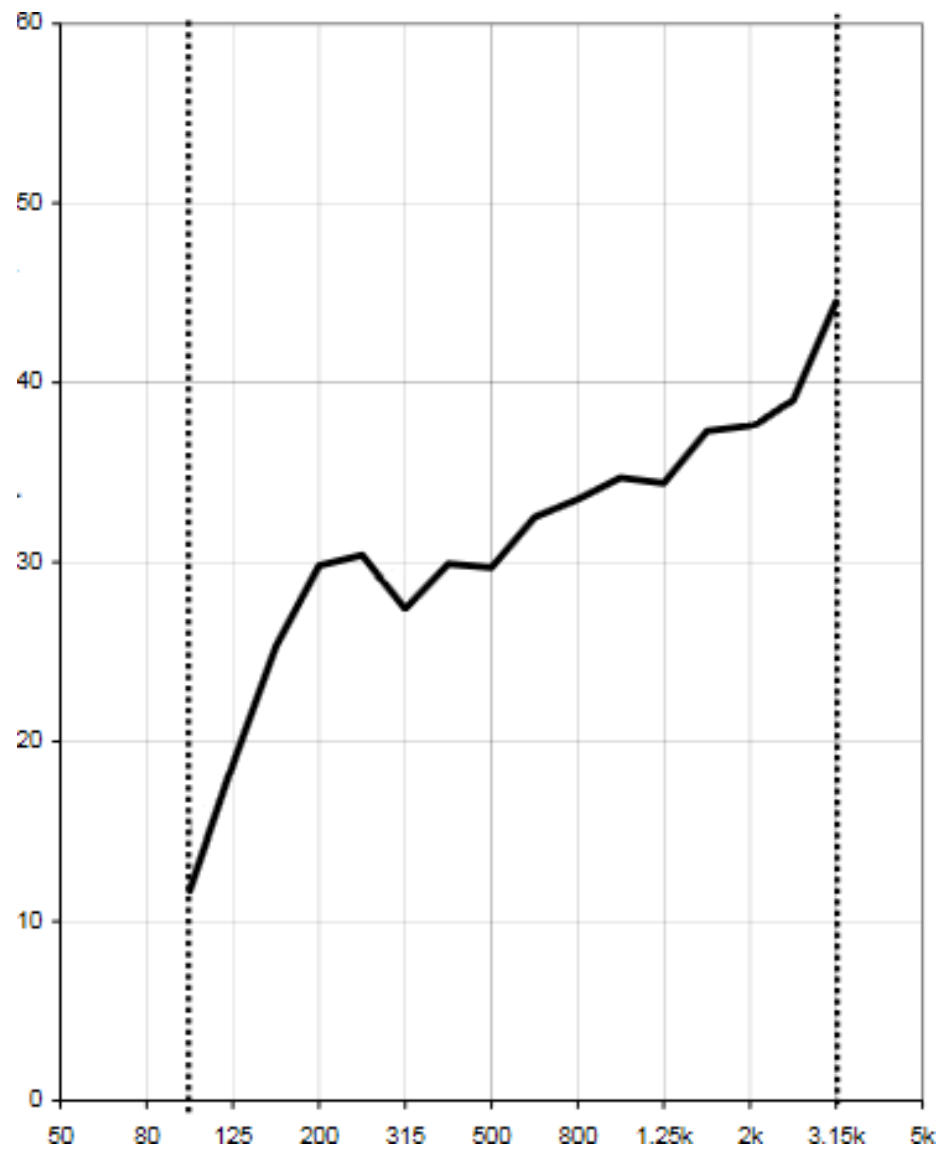
Aislamiento Acústico Global RW



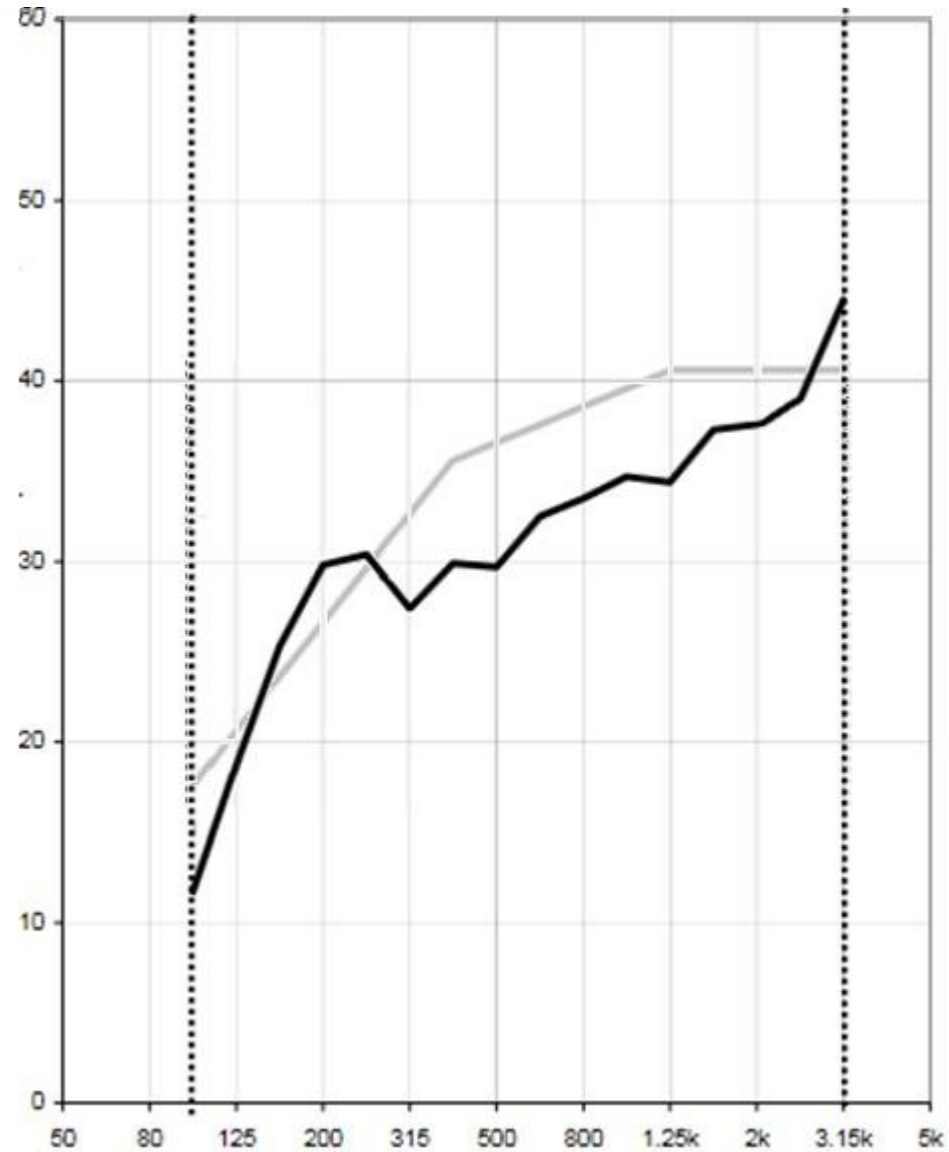
Frecuencia Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1 000	55	55
1 250	56	
1 600	56	
2 000	56	56
2 500	56	
3 150	56	

Curva de Referencia Norma ISO

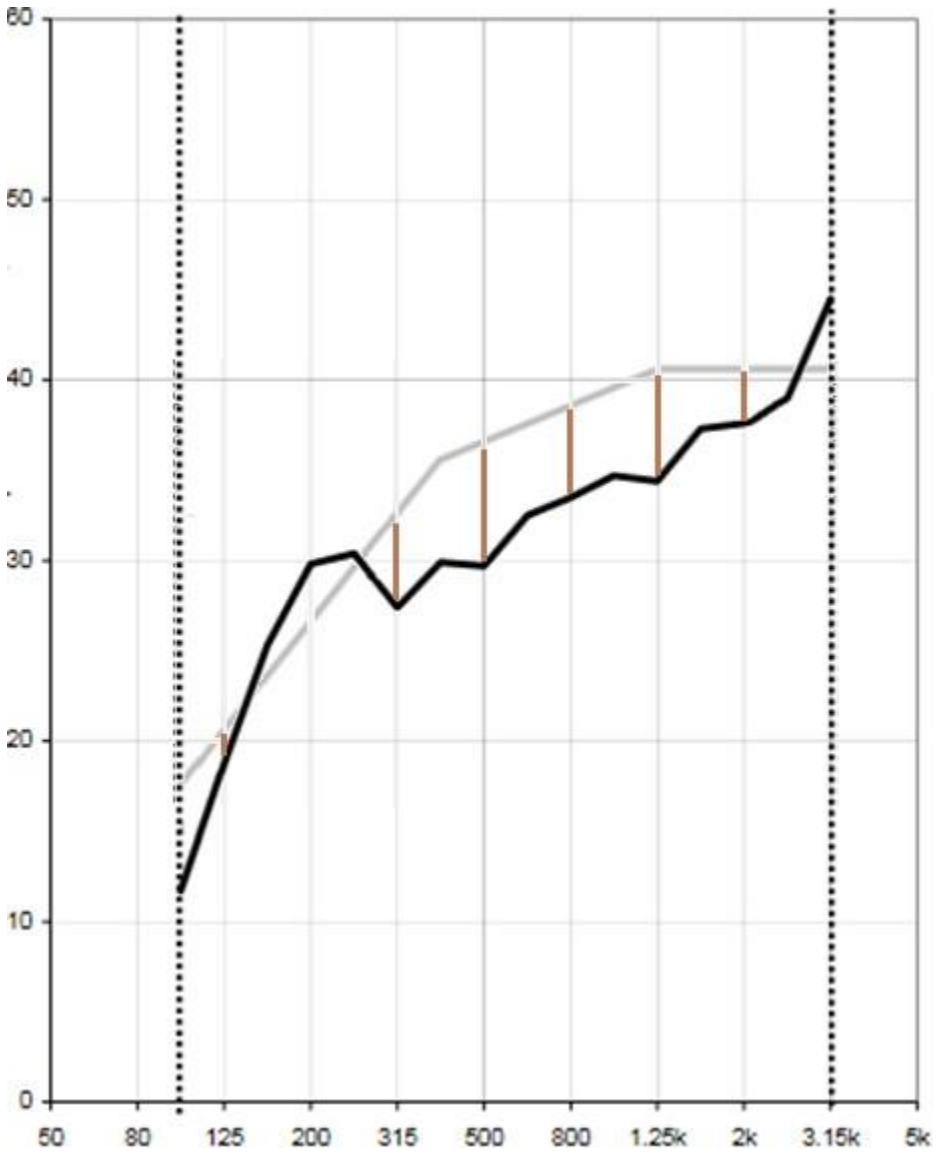
Calculo de RW



Calculo de RW



Calculo de RW



→ $\leq 32db$



Buscamos el valor de R para 500hz



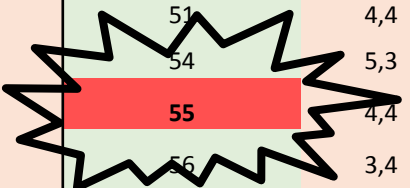
Ese es RW

Calculo de RW

mi muro



Frecuencia	dB calculado	dB ISO 717	dB ISO+1db	Desviación	dB ISO+2db	Desviación	dB ISO+3db	Desviación	dB ISO+4db	Desviación	dB ISO+5db	Desviación				
100	36,6	33	34	-2,6	35	-1,6	36	-0,6	37	0,4	38	1,4				
125	38,6	36	37	-1,6	38	-0,6	39	0,4	40	1,4	41	2,4				
160	40,7	39	40	-0,7	41	0,3	42	1,3	43	2,3	44	3,3				
200	42,7	42	43	0,3	44	1,3	45	2,3	46	3,3	47	4,3				
250	44,6	45	46	1,4	47	2,4	48	3,4	49	4,4	50	5,4				
315	46,6	48	49	2,4	50	3,4	51	4,4	52	5,4	53	6,4				
400	48,7	51	52	3,3	53	4,3	54	5,3	55	6,3	56	7,3				
500	50,6	52	53	2,4	54	3,4	55	4,4	56	5,4	57	6,4				
630	52,6	53	54	1,4	55	2,4	56	3,4	57	4,4	58	5,4				
800	54,7	54	55	0,3	56	1,3	57	2,3	58	3,3	59	4,3				
1000	56,6	55	56	-0,6	57	0,4	58	1,4	59	2,4	60	3,4				
1250	58,6	56	57	-1,6	58	-0,6	59	0,4	60	1,4	61	2,4				
1600	60,7	56	57	-3,7	58	-2,7	59	-1,7	60	-0,7	61	0,3				
2000	62,7	56	57	-5,7	58	-4,7	59	-3,7	60	-2,7	61	-1,7				
2500	64,6	56	57	-7,6	58	-6,6	59	-5,6	60	-4,6	61	-3,6				
				11,5 db			19,2 db			29 db			40,4 db			52,7 db



referencia de la norma



mas proximo a 32db sin pasarme