

# Instalaciones III



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

## “Aislación Acústica”

**Ing. Juan Bertrán**

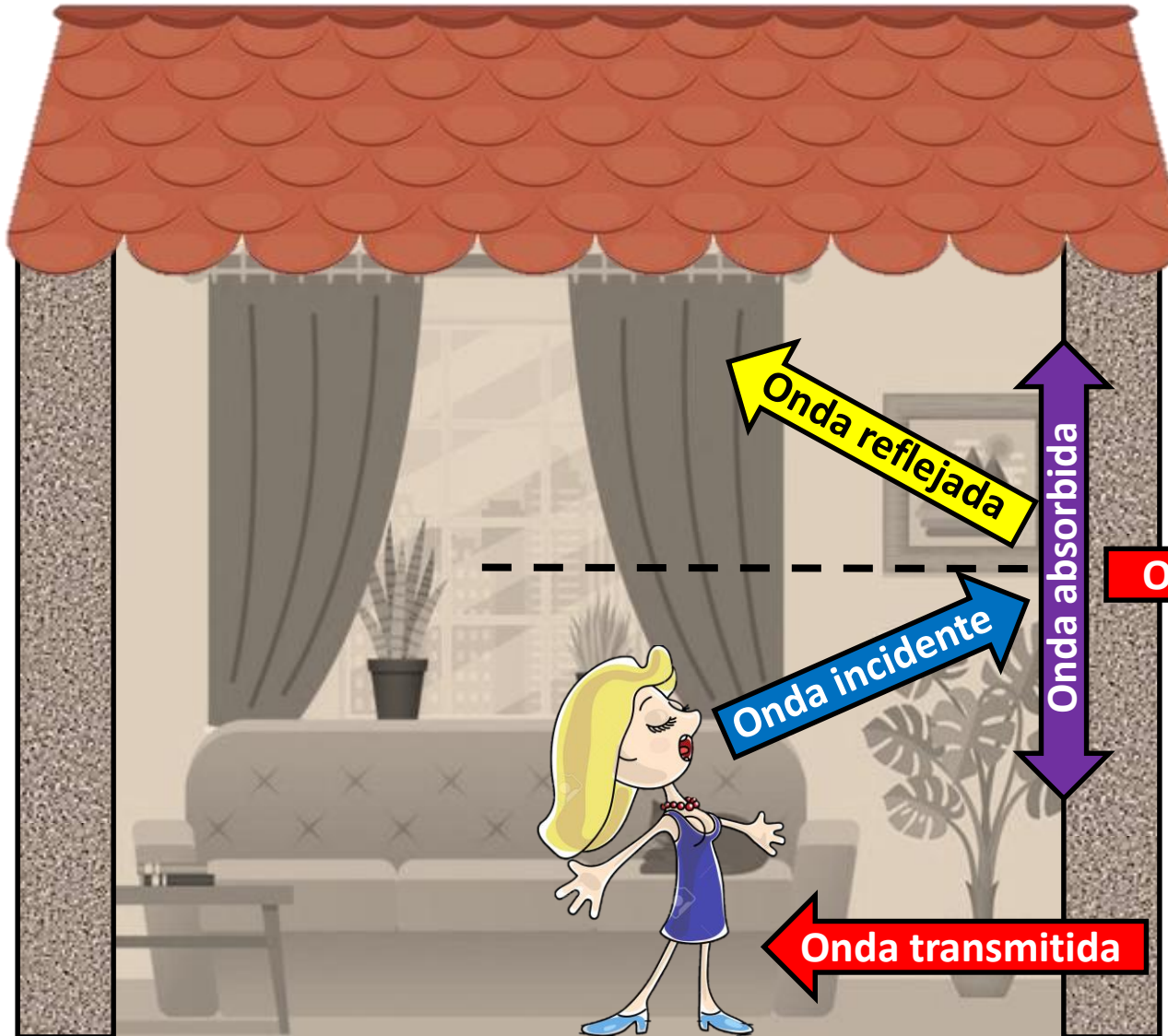
*Ingeniero en Electrónica  
Especialista en Audio y Sonido*

**Mg. Ing. Adriano Sabez**

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

# Parámetros Acústicos Fundamentales

## Reflexión, Absorción y Transmisión



$I =$  Intensidad incidente

$=$

$I_r =$  Intensidad reflejada

$+$

$I_a =$  Intensidad absorbida

$+$

$I_t =$  Intensidad transmitida

# Coeficientes de Reflexión, Absorción y Transmisión

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

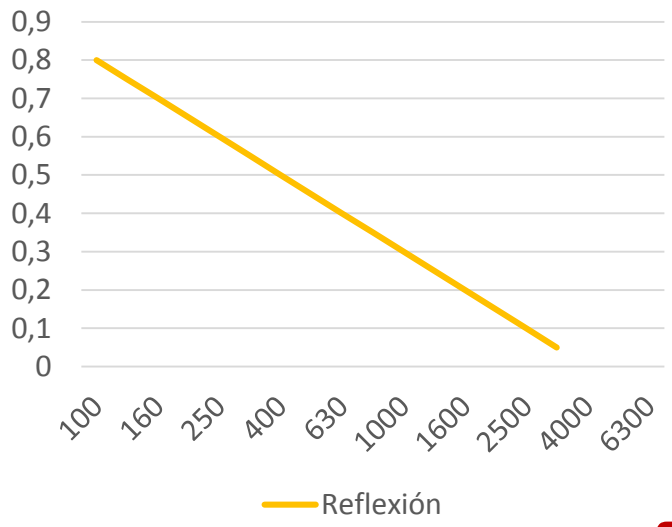
Normalizamos (dividiendo miembro a miembro por la intensidad incidente)

La igualdad no cambia

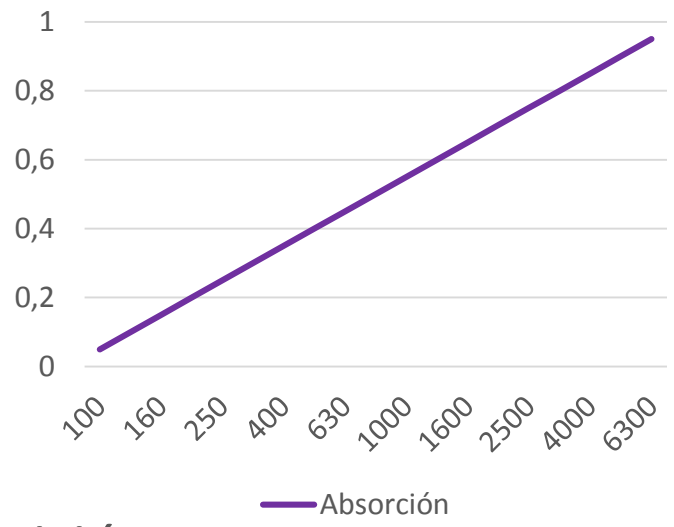
$$\frac{I_i}{I_i} = \frac{I_r}{I_i} + \frac{I_a}{I_i} + \frac{I_t}{I_i}$$
$$1 = r + \alpha + \tau$$
$$\left\{ \begin{aligned} 0 < r < 1 \\ 0 < \alpha < 1 \\ 0 < \tau < 1 \end{aligned} \right.$$

# Comportamiento de los parámetros acústicos a diferentes frecuencias

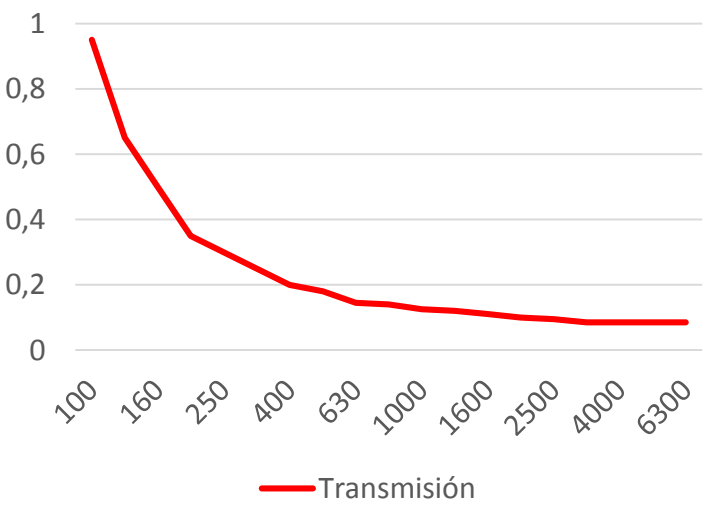
## $r$ Reflexión



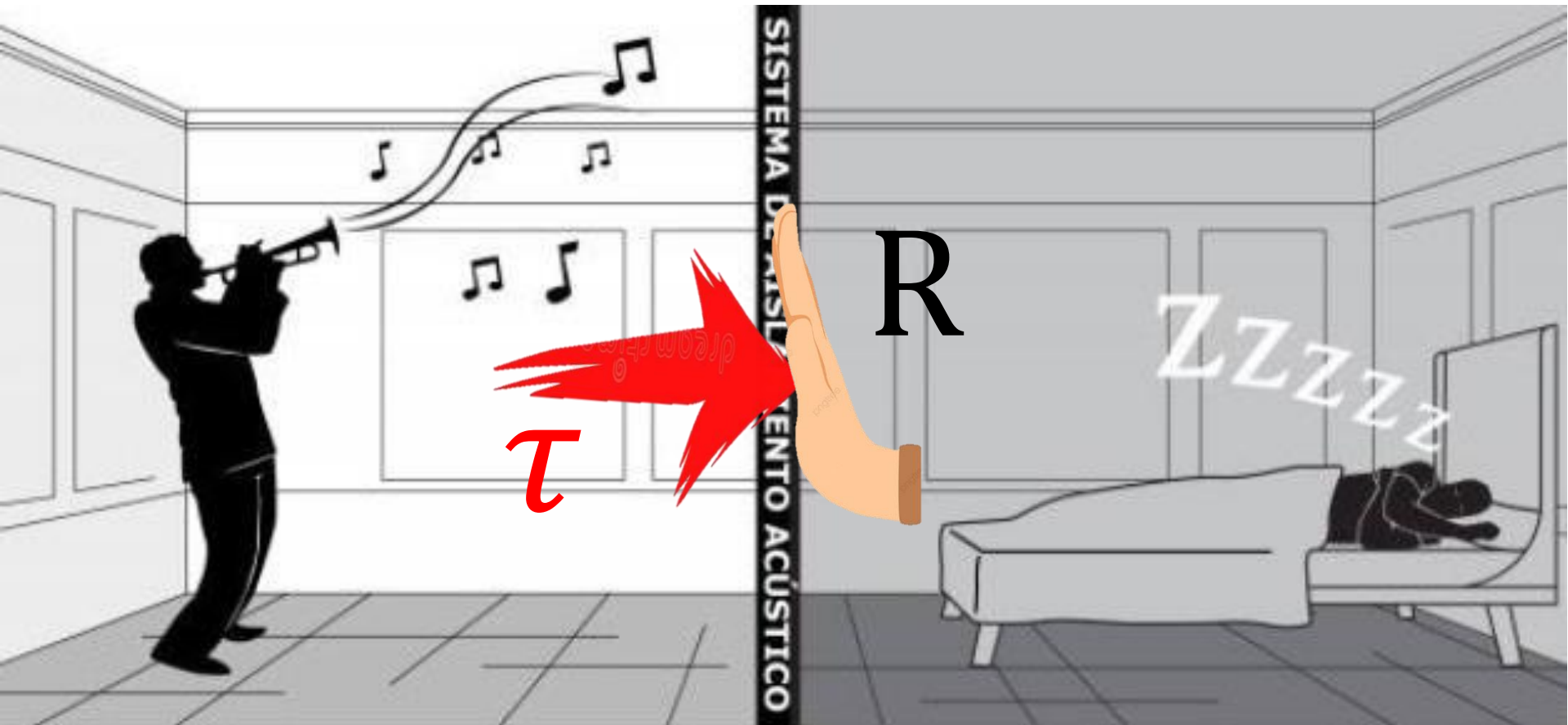
## $\alpha$ Absorción



## $\tau$ Transmisión



# Aislación Acústica al ruido aéreo



# Índice de aislamiento acústico R

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

Podemos demostrar que  $\tau$  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

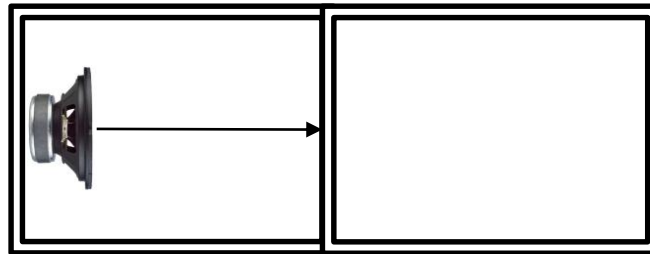
$$R = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

# Índice de aislamiento acústico R

$$R_{\theta} = 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{m \cdot \pi \cdot f \cdot \cos \theta}{\rho_0 \cdot c} \right)^2 \right] \quad \theta = \text{Angulo de incidencia}$$

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

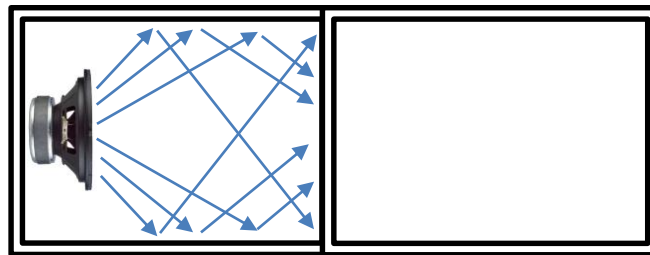
$$R_0 \cong 10 \log \left[ \frac{m \cdot \pi \cdot f}{\rho_0 \cdot c} \right]^2 \longrightarrow R_0 \cong 20 \log (m \cdot f) - 48 \text{dB}$$



Ley de Masas

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

$$R_d \cong 10 \log \left[ \frac{m \cdot \pi \cdot f}{\rho_0 \cdot c} \right]^2 - b \quad b \text{ varía entre } 5 \text{db y } 10 \text{db}$$



# Aislación Acústica

Ley de Masas  $R=20 \log (m \cdot f) - 48\text{db}$

Aislamiento sonoro (R) de un cerramiento

depende

Masa

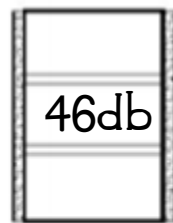
Densidad Superficial

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

← masa  
← área



112db

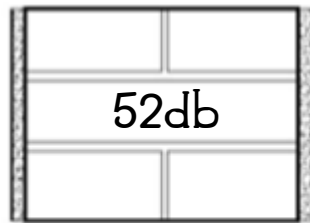


15 cm

66db



112db



30 cm

60db



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



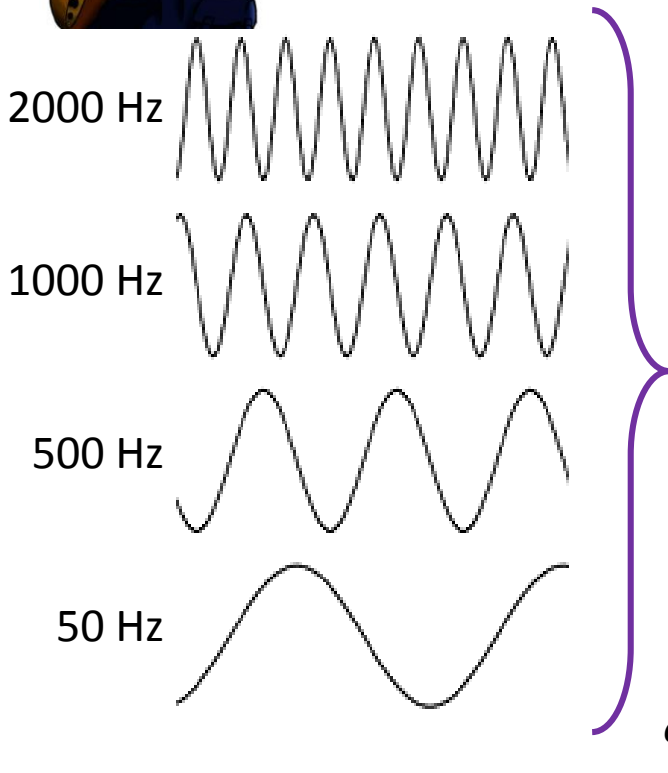
# Efecto de la frecuencia en la ley de masas



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

Frecuencia

Densidad Superficial



Ladrillo



15 cm

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

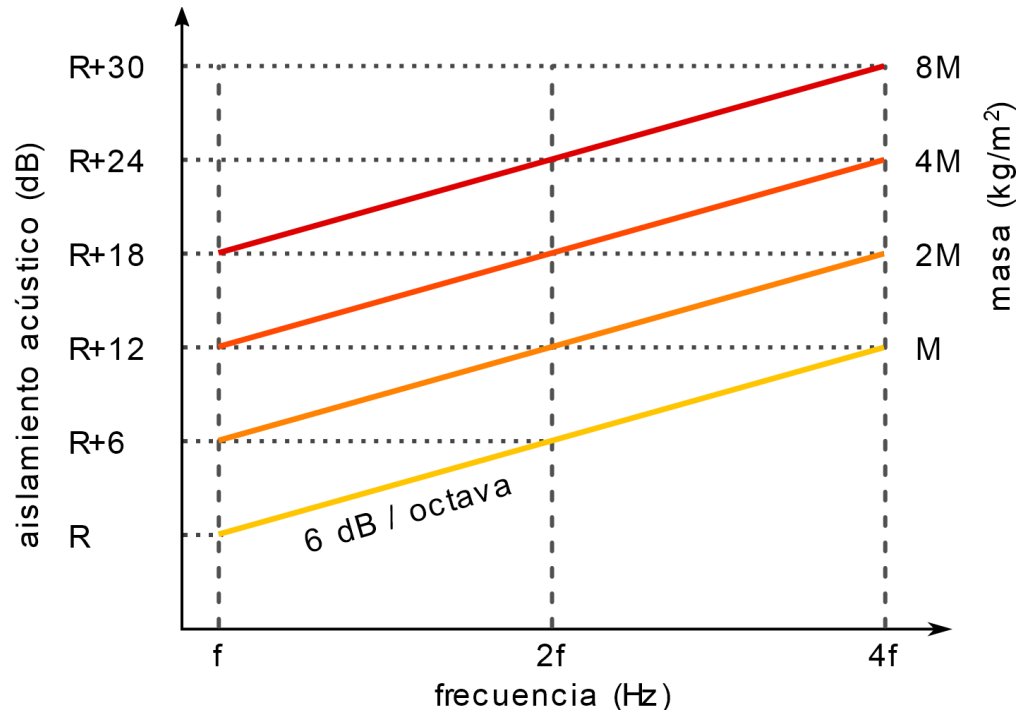
$$R_{2KHz} = 20 \log 2000 \cdot 300 - 48db = 67db$$

$$R_{1KHz} = 20 \log 1000 \cdot 300 - 48db = 61db$$

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

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

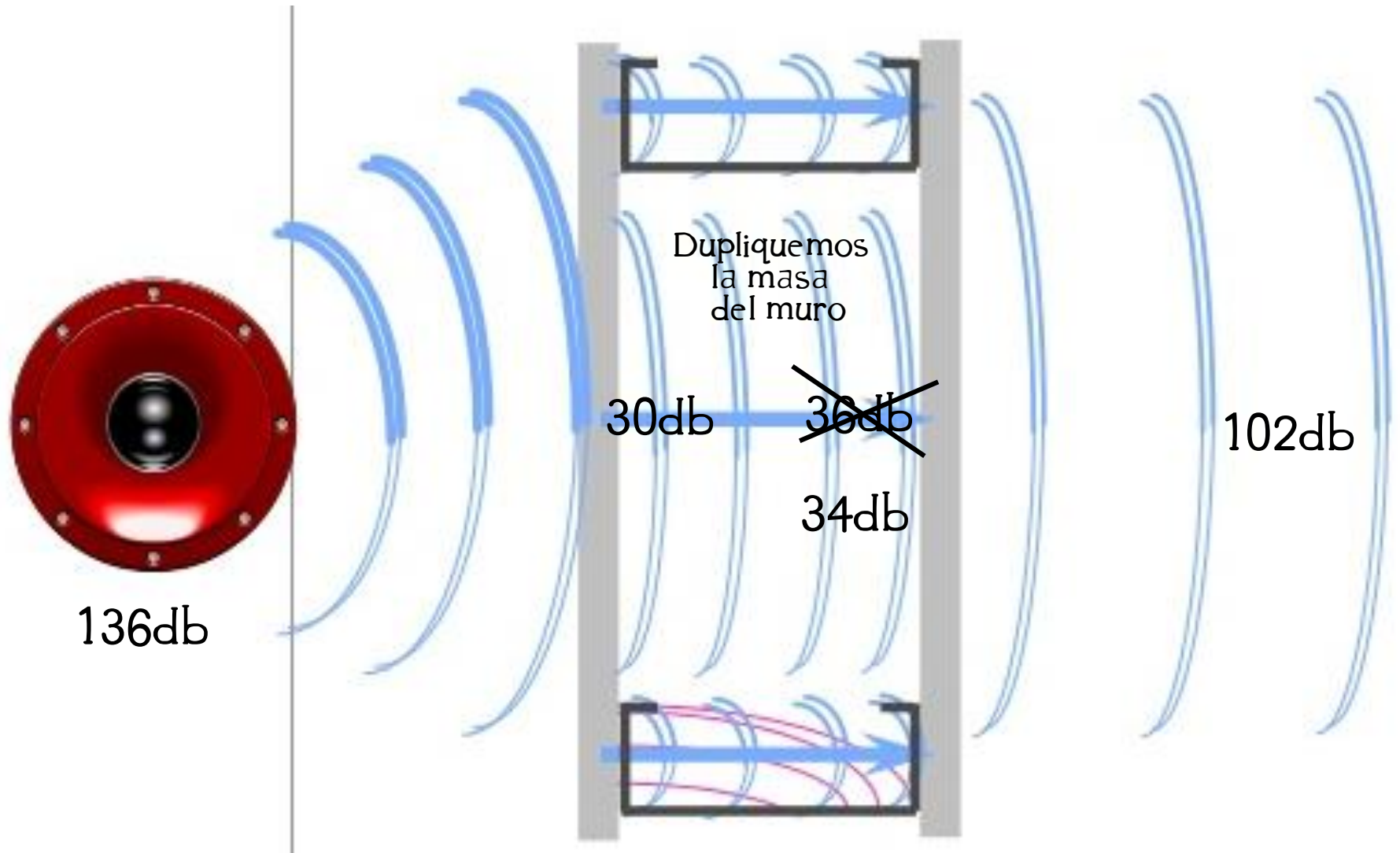
$$R = 20 \log f \cdot \sigma - 48 \text{ dB}$$



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

# Problemas de La Ley de Masas

## Propagación del sonido en muros



# Otros 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



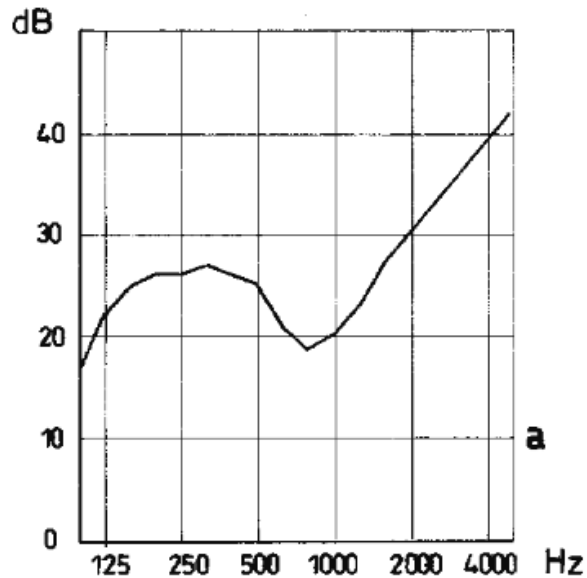
Masa del Muro	Atenuación en dB
15cm	40db
30cm	44db
60cm	48db
120cm	52db
240cm	56db
420cm	60db

Inviabile tanto por razones de diseño como económicas

# Comportamiento REAL de la Ley de Masas

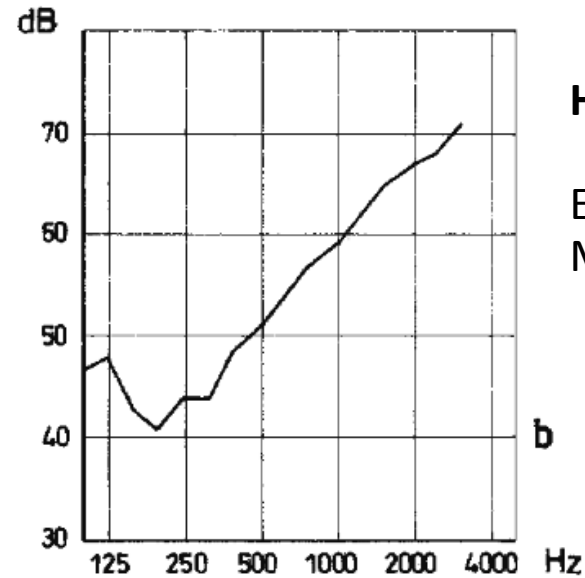
**Aglomerado de melamina:**

Esesor 0,05m  
Masa 24 kg/m<sup>2</sup>



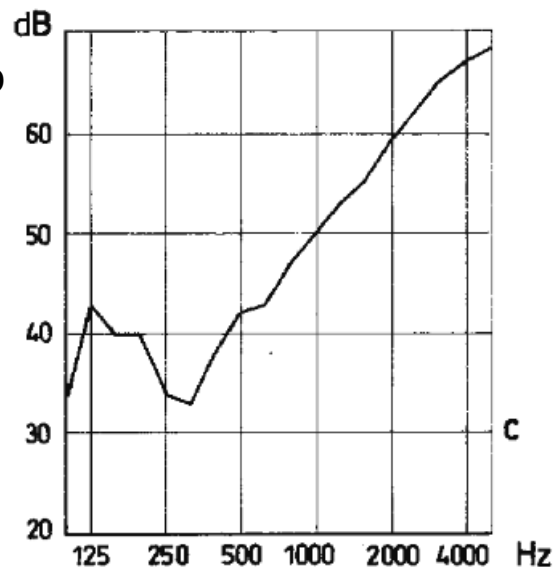
**Hormigón**

Esesor 0,14m  
Masa 330 kg/m<sup>2</sup>



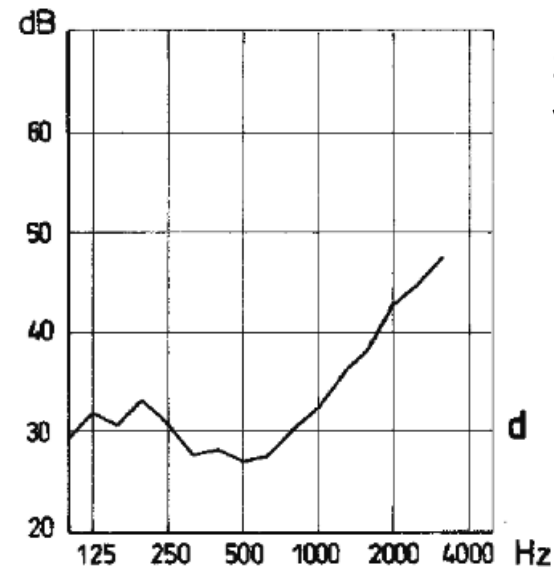
**Ladrillo revocado**

Esesor 0,11m  
Masa 250 kg/m<sup>2</sup>



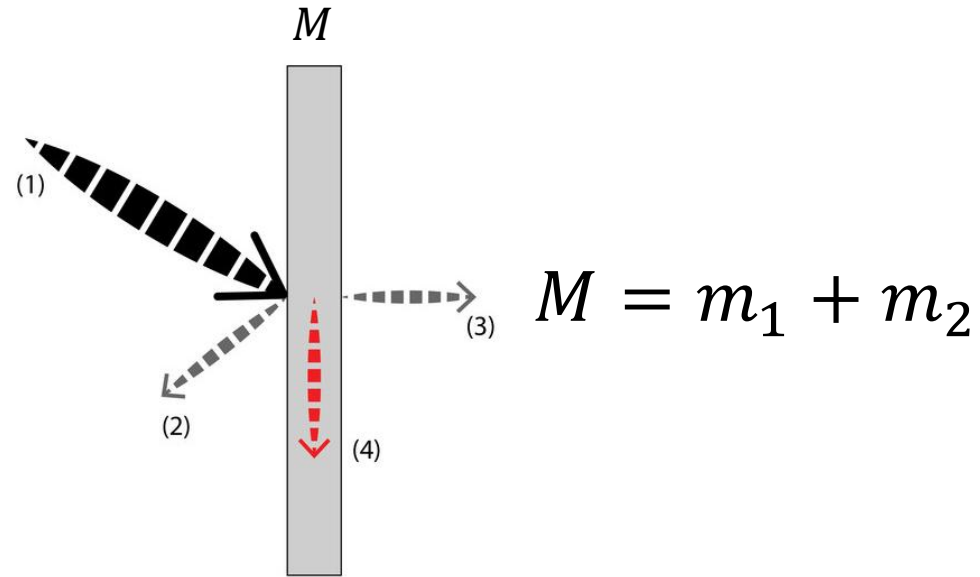
**Suspendido de yeso**

Esesor 0,07m  
Masa 65 kg/m<sup>2</sup>



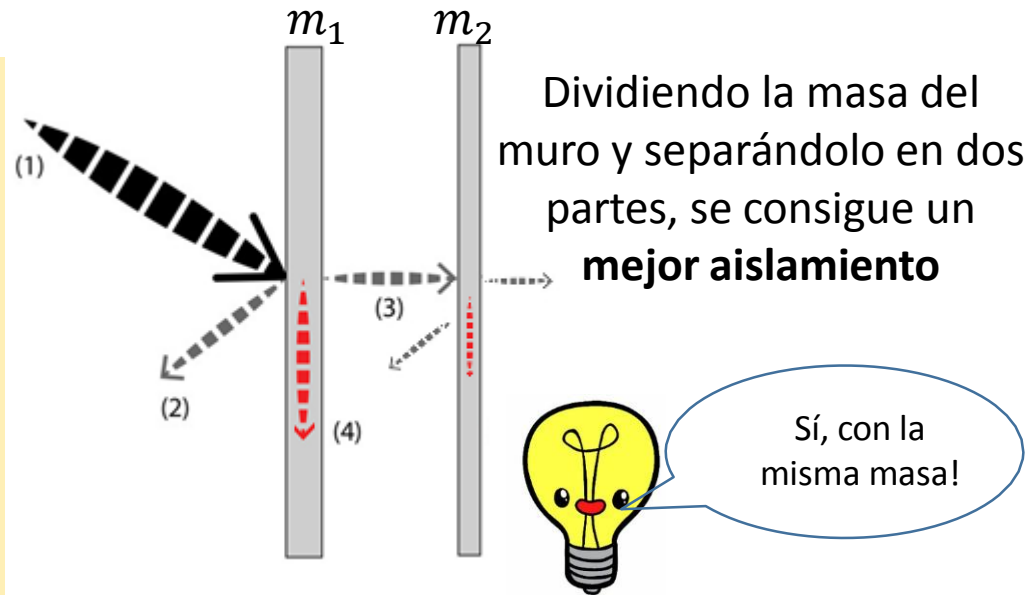
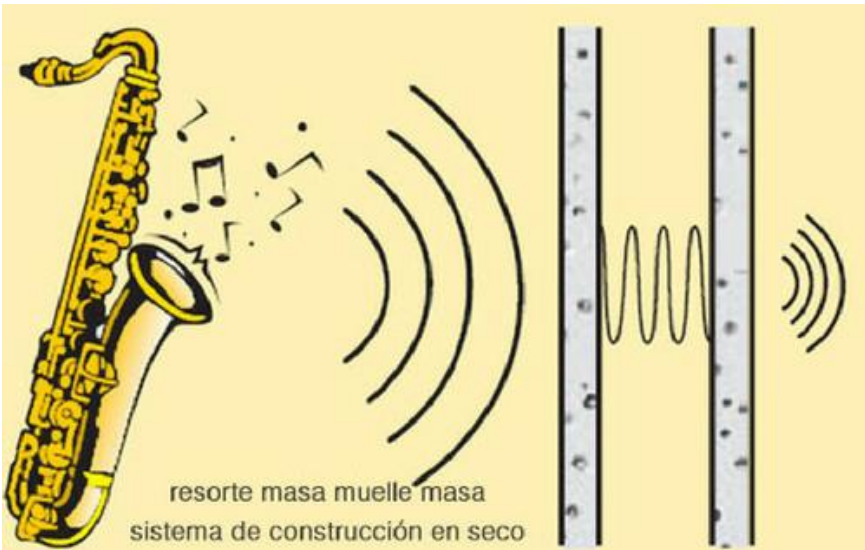
# Ley de Masa-Resorte-Masa

$M$



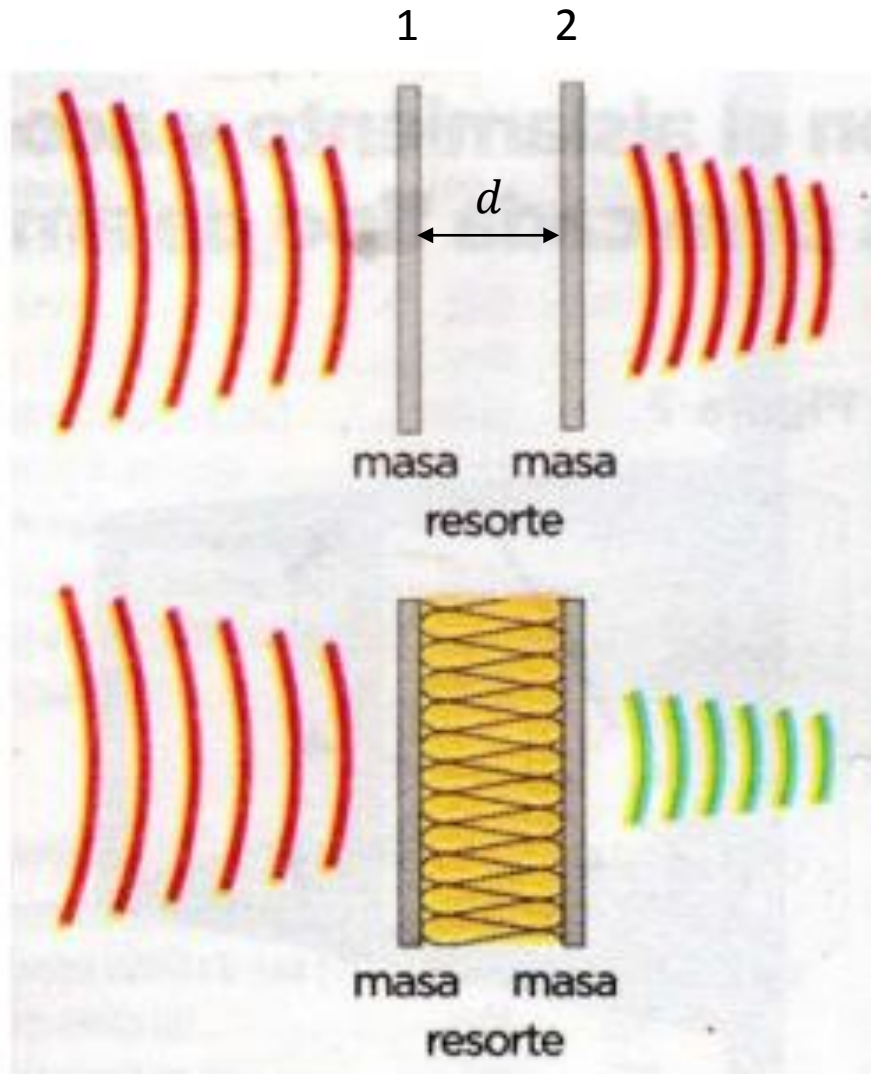
$m_1$

$m_2$





# 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

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

$\rho$ : densidad superficial del relleno

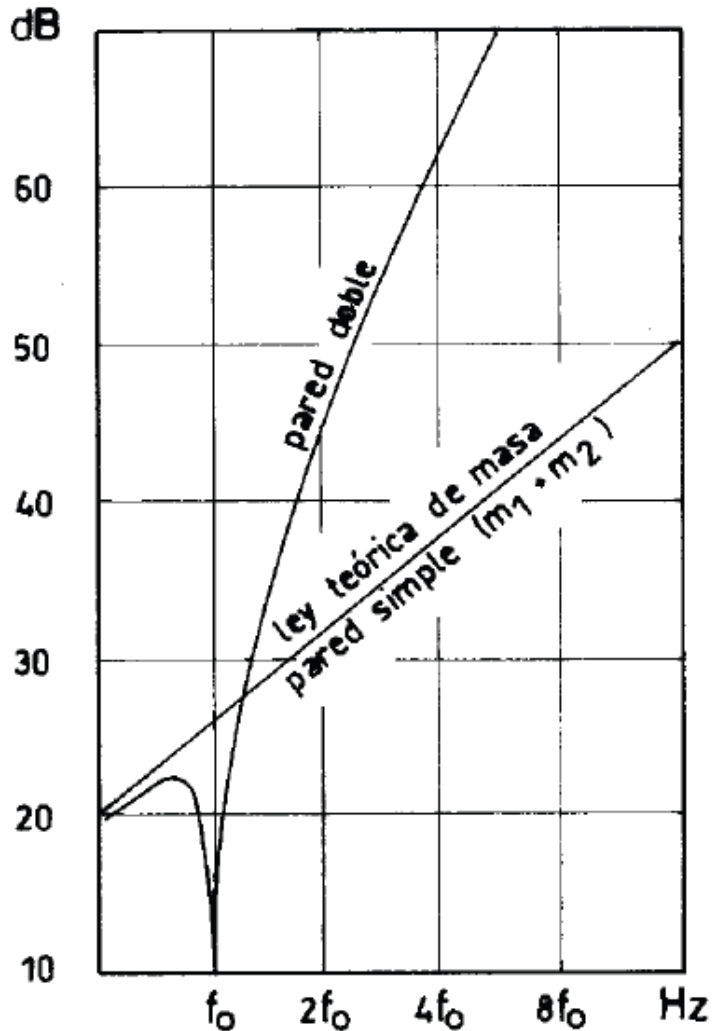
$d$ : espesor del material de relleno

Es sumamente importante que  $f_0$  este lo mas bajo posible

# Atenuación de un sistema Masa-Resorte-Masa

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

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

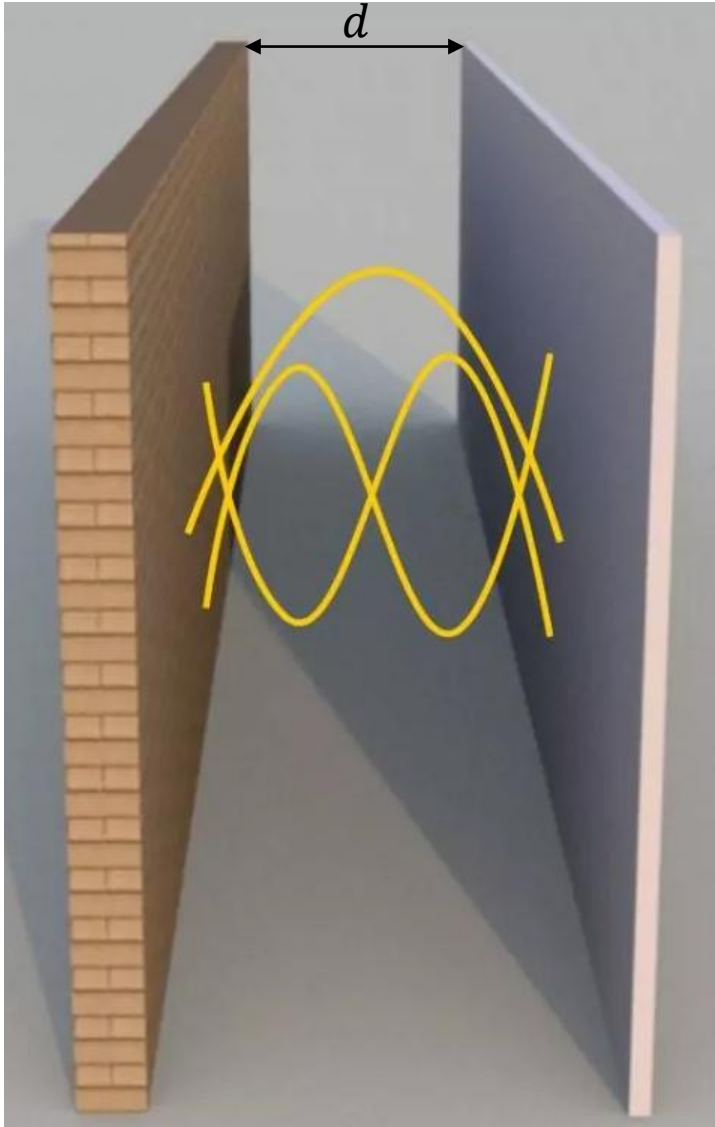


- Para frecuencias inferiores a  $f_0$  la doble pared se comporta como una pared simple de igual masa total.
- Para  $f_0$  hay una gran pérdida de aislamiento y para frecuencias superiores a  $f_0$  se nota la conveniencia de la doble pared.
- El aumento del aislamiento con la frecuencia es, a partir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



# Problemas de La Ley de Masa-Resorte-Masa

## Ondas estacionarias entre muros



Entre los muros se producen ondas estacionarias.

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

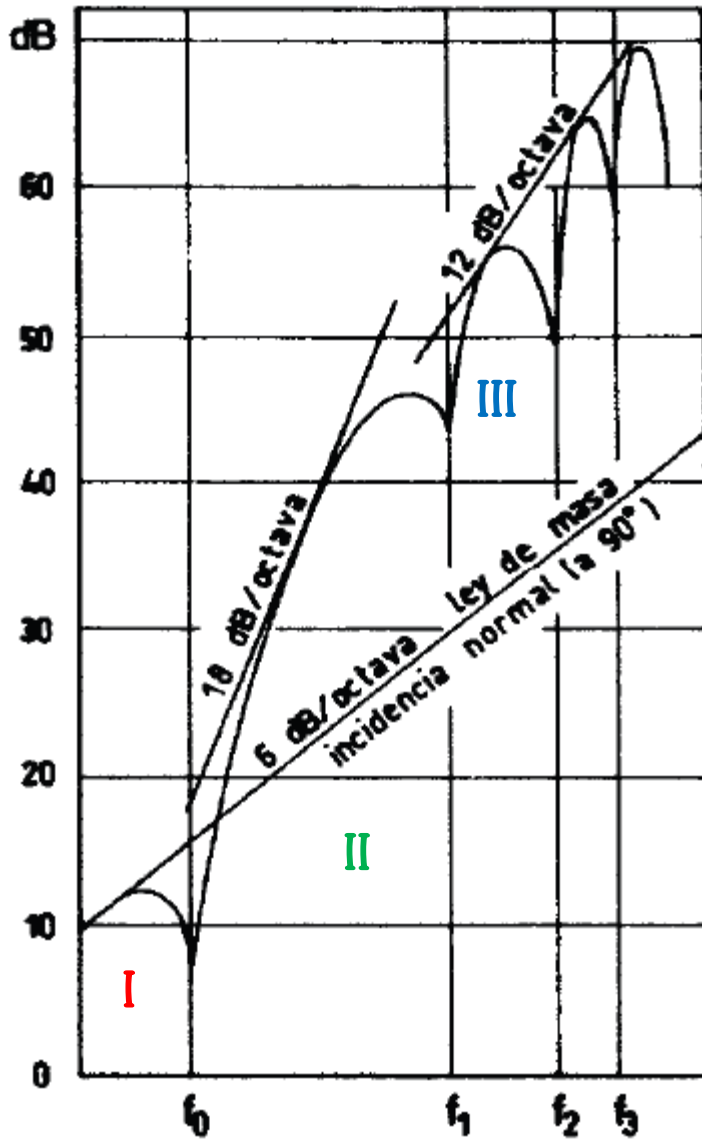
Se retroalimentan y transmiten con gran facilidad

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



**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

$f_0$ : Frecuencia de resonancia del sistema

$f_1, f_2, f_3$ : Ondas rebotando en la cámara

# Atenuación de un sistema Masa-Resorte-Masa

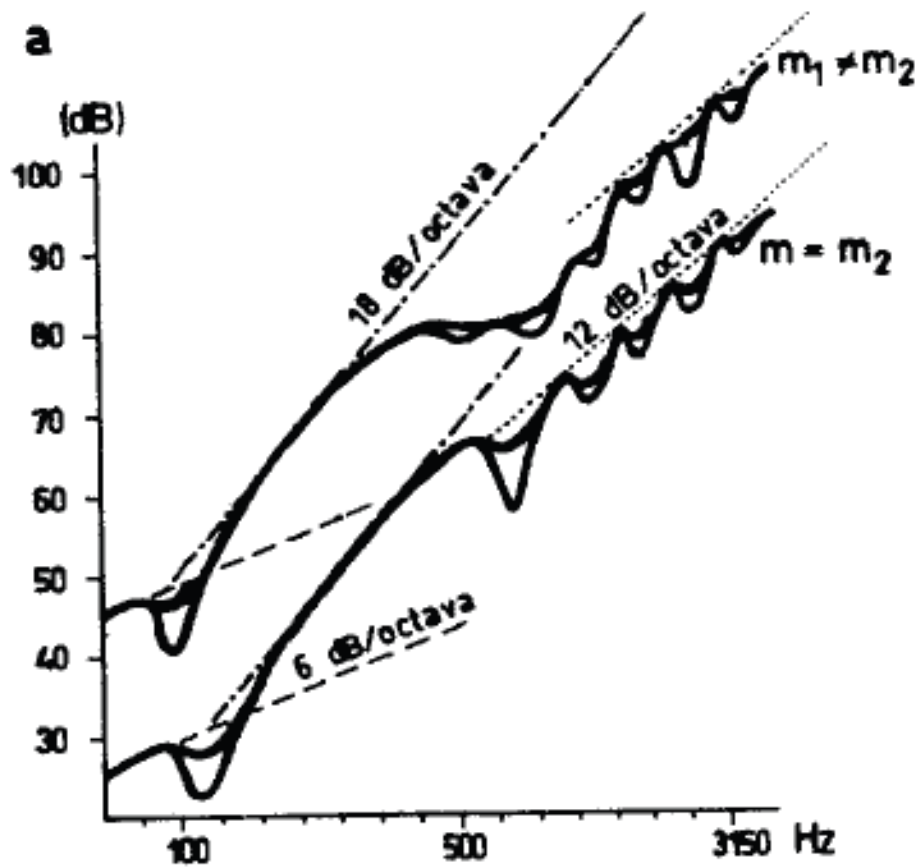


Figura 13.13: Comparación entre el aislamiento acústico obtenido con un cerramiento de doble hoja, según que la masa de ambas hojas sea igual o distinta.

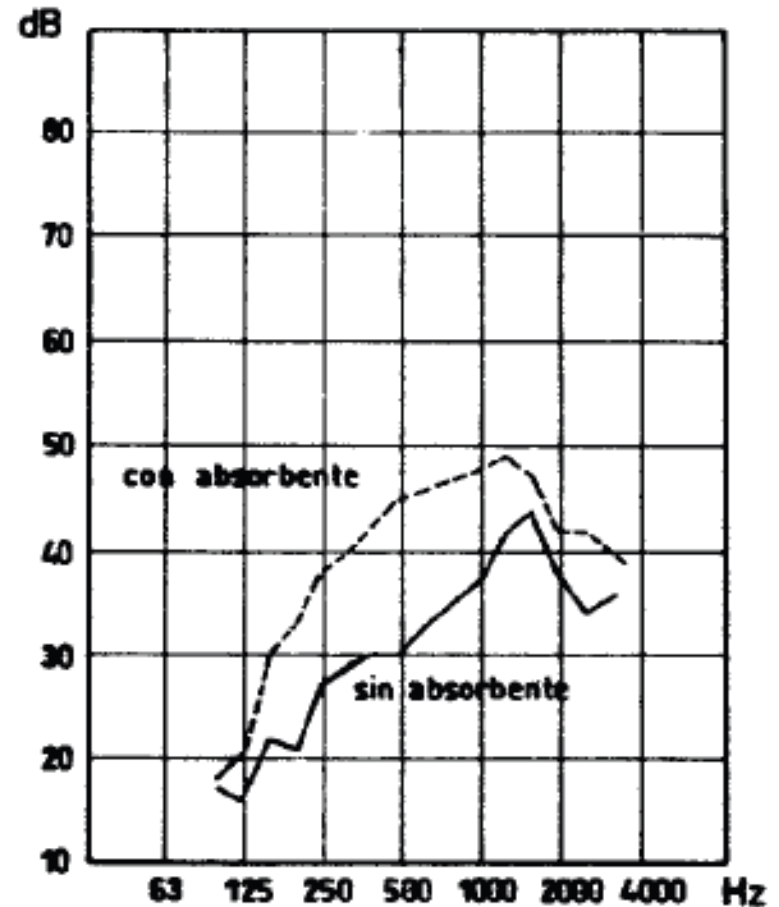
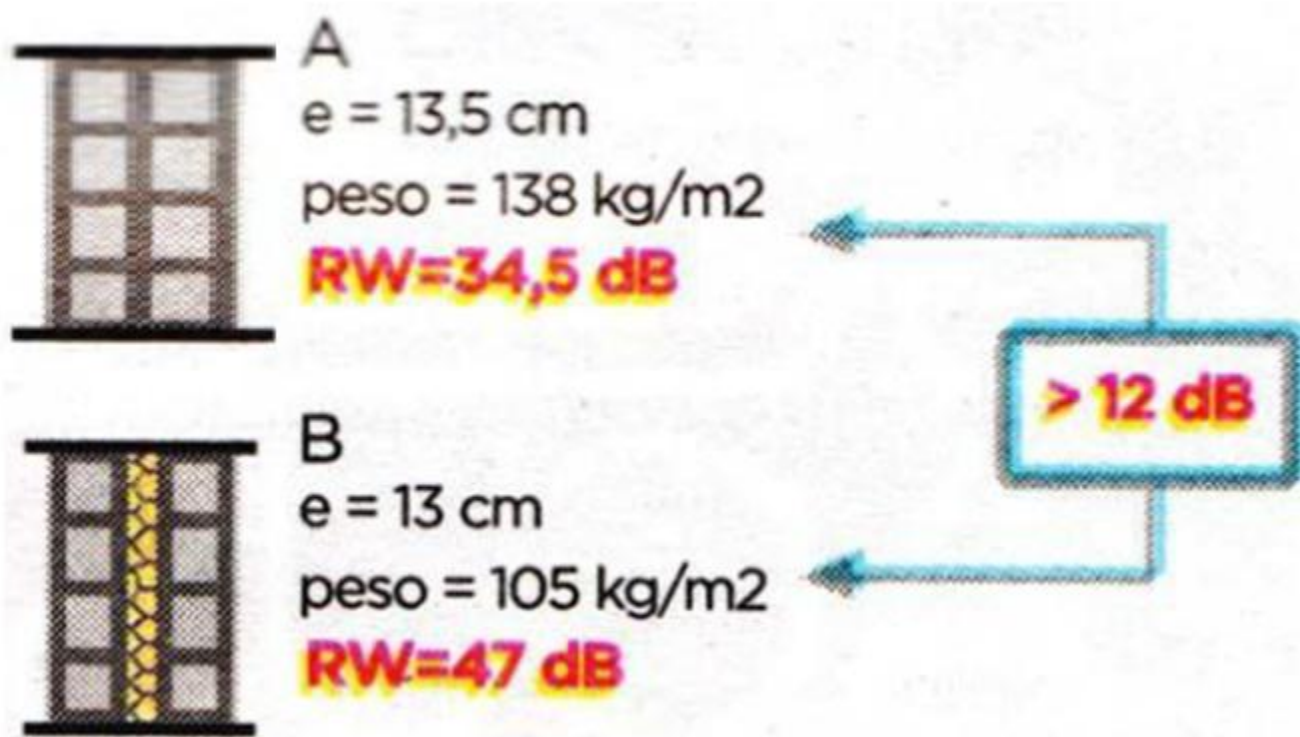


Figura 13.14: Efecto en el aislamiento acústico, de la interposición de un absorbente en la cámara de aire de un cerramiento doble. (Mestre y García).

# 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

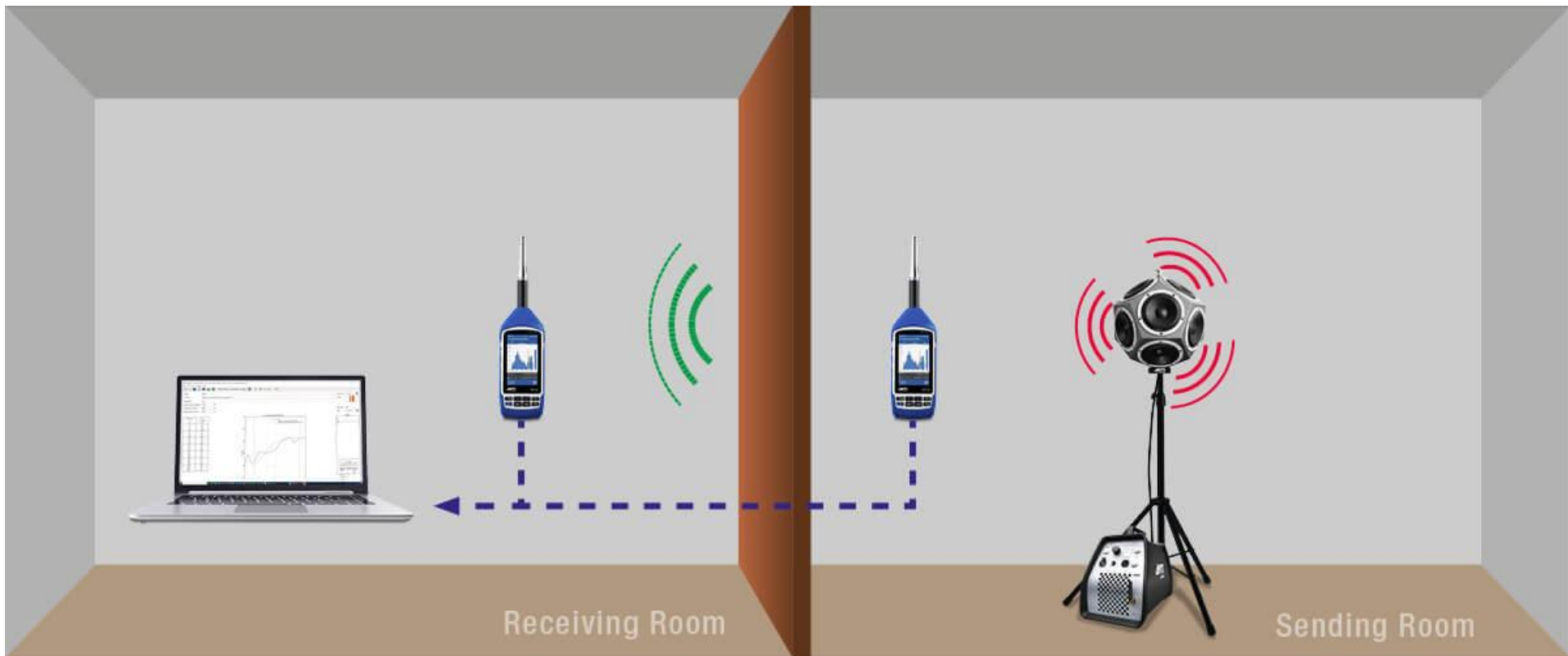
# Aislamiento Acústico Global RW



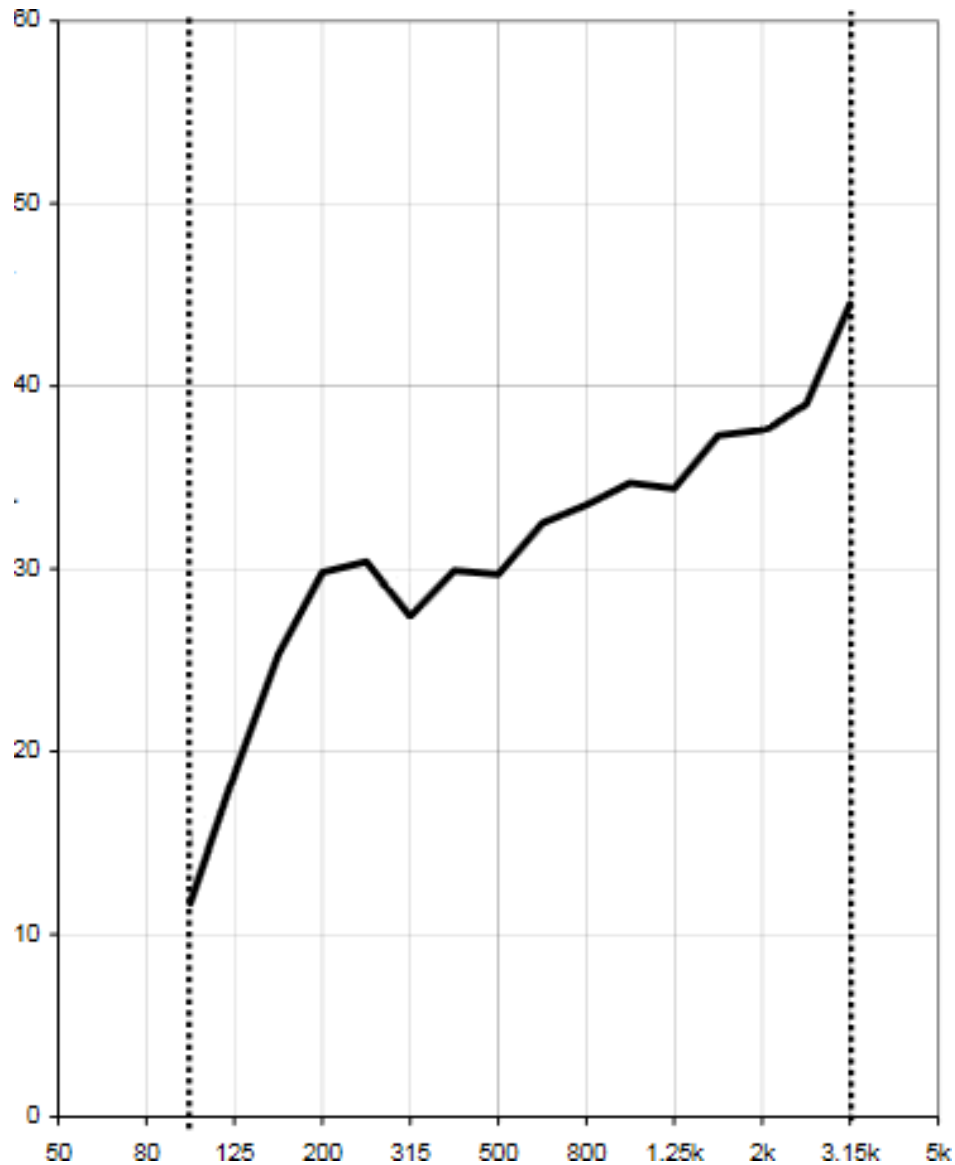
Frecuencia Hz
100
125
160
200
250
315
400
500
630
800
1 000
1 250
1 600
2 000
2 500
3 150

Parlante Omnidireccional

# Aislamiento Acústico Global RW



# Aislamiento Acústico Global RW



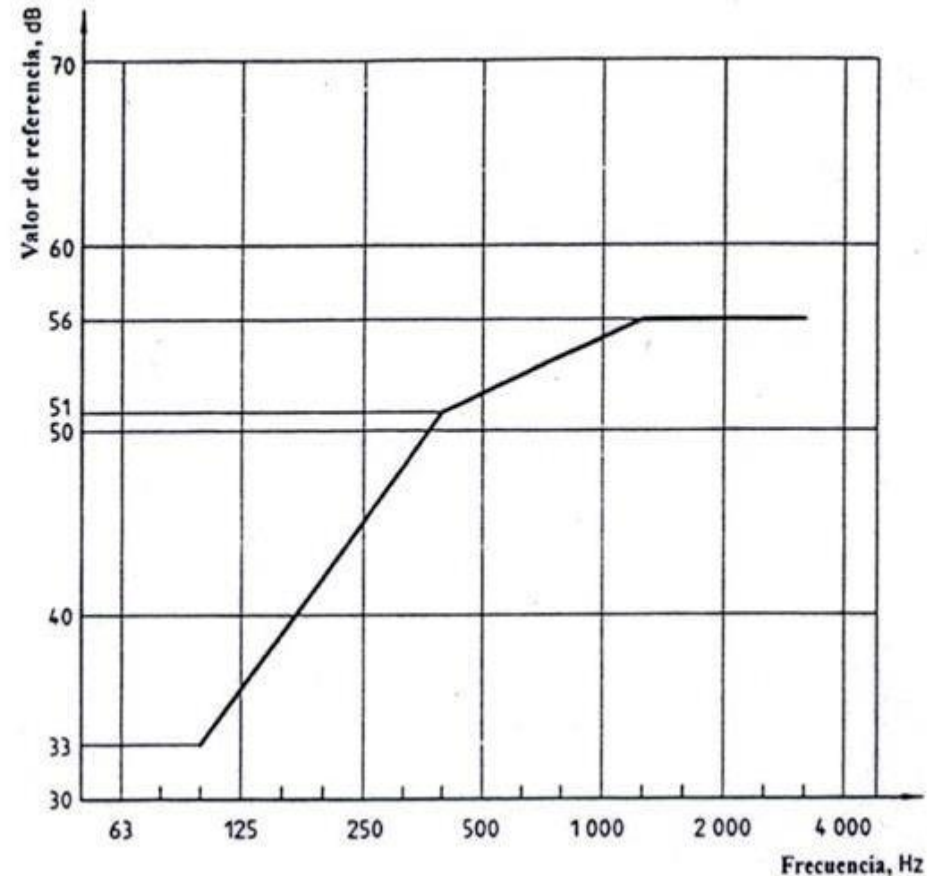
Frecuencia Hz
100
125
160
200
250
315
400
500
630
800
1 000
1 250
1 600
2 000
2 500
3 150



# Aislamiento Acústico Global RW

## Curva de Referencia Norma ISO

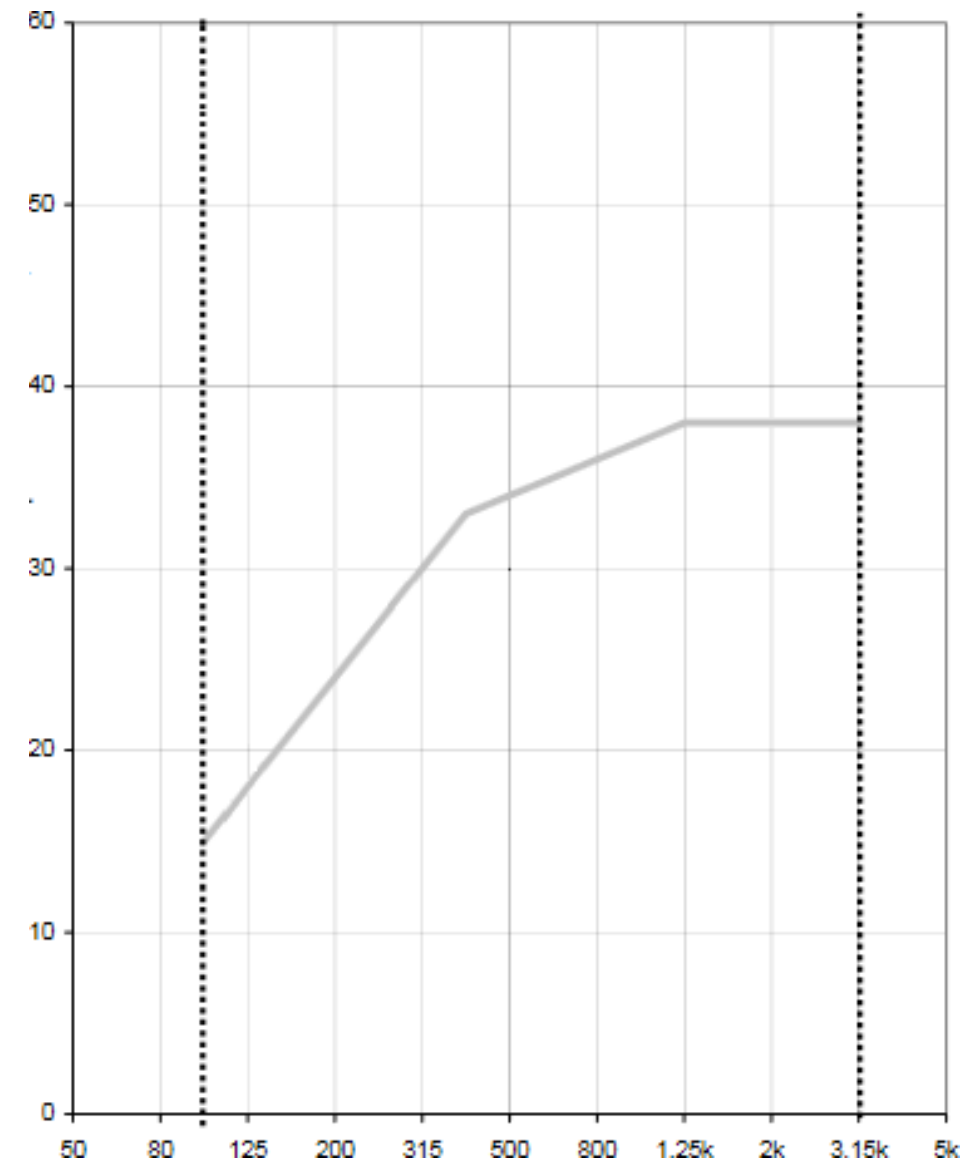
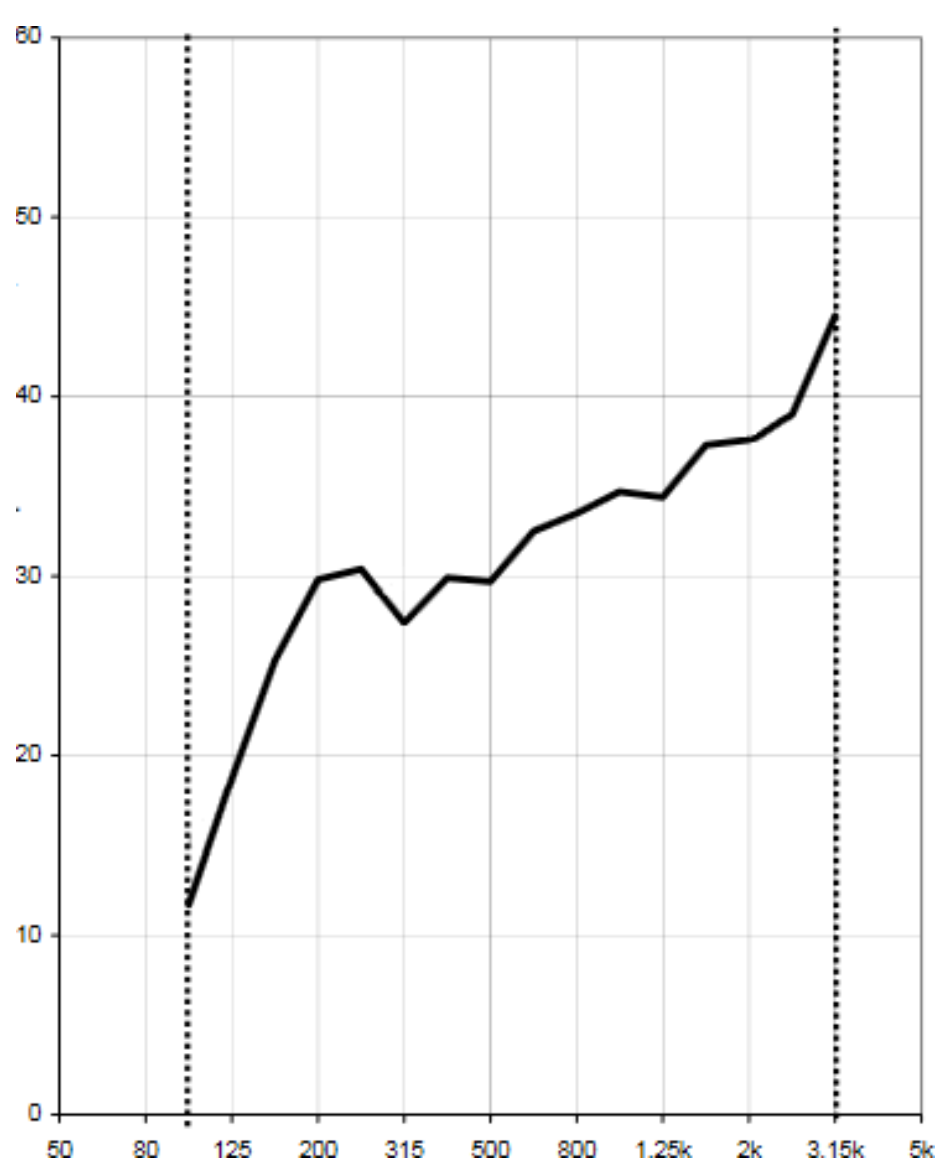
Frecuencia Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1 000	55	55
1 250	56	
1 600	56	
2 000	56	56
2 500	56	
3 150	56	



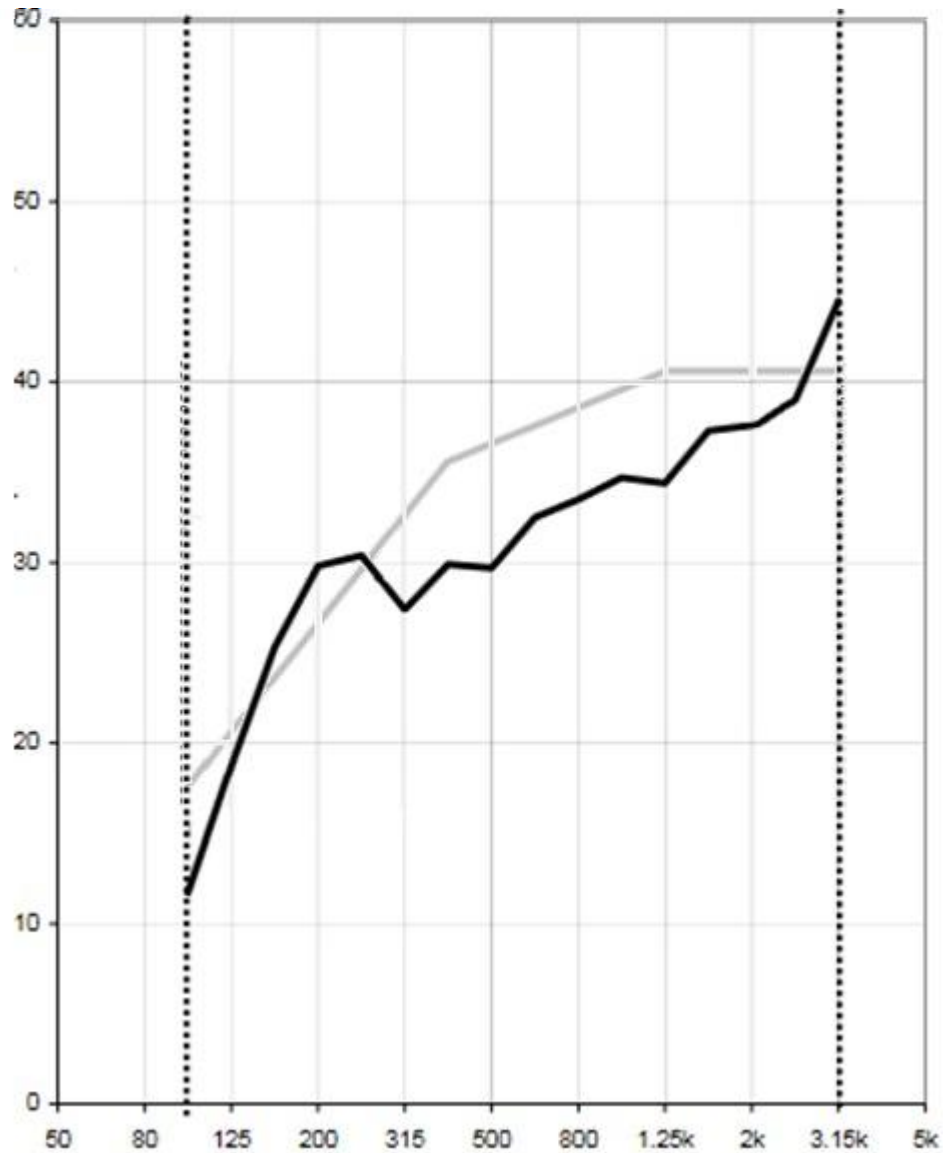
Norma ISO 717



# Calculo de RW

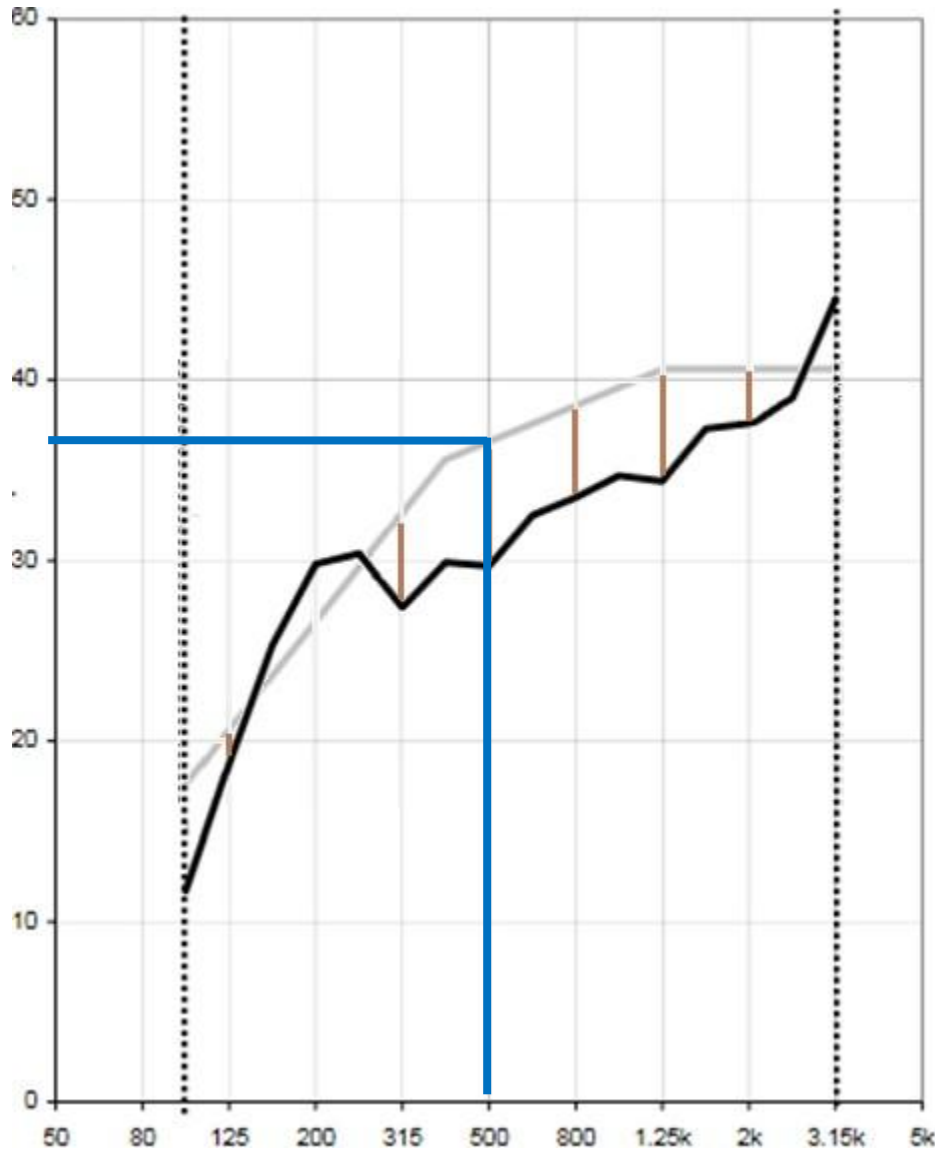


# Calculo de RW



# Calculo de RW

$RW = 36\text{dB}$



La Diferencia positiva entre las curvas debe ser

$\leq 32\text{db}$

Buscamos el valor de  $R$  para 500hz en la curva patrón

*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*