

Taller sobre Acústica en la edificación

Colegio Oficial de Arquitectos de Cádiz

Introducción al acondicionamiento acústico de salas. Casos prácticos



T. Zamarreño

IUACC - E.T.S. de Arquitectura

Dpto. Física Aplicada II

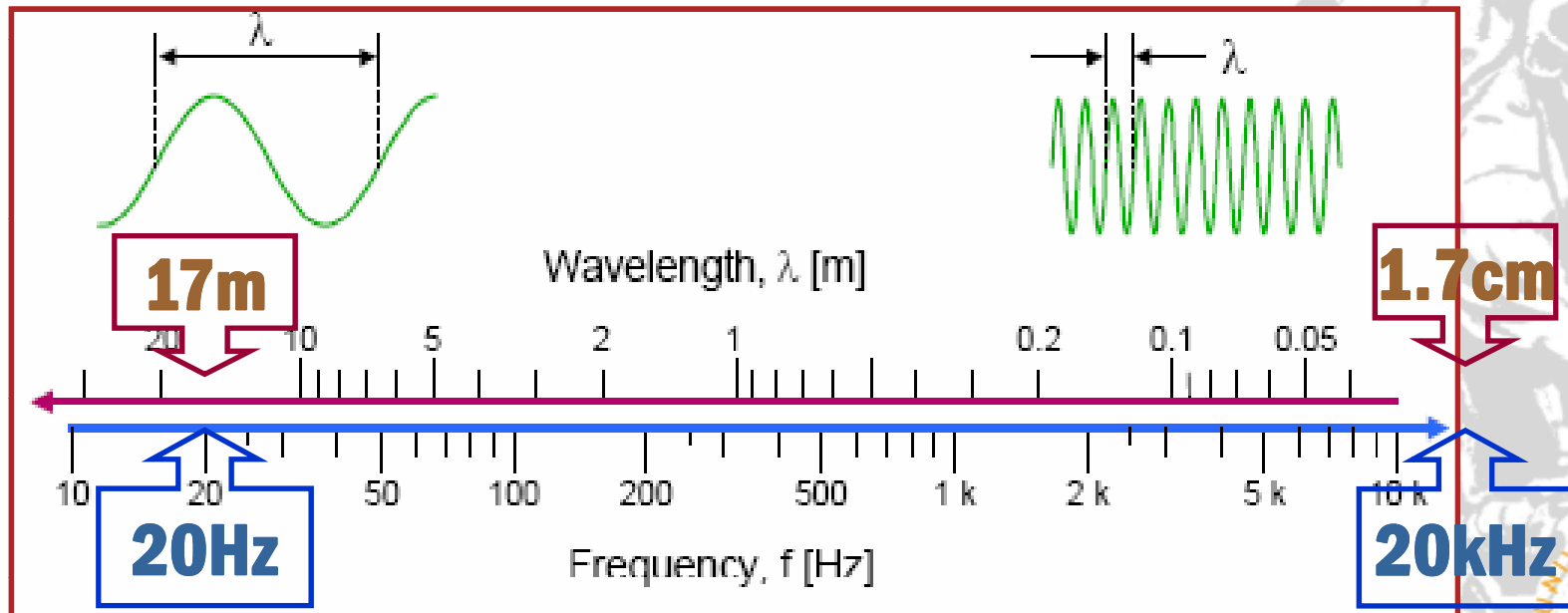


teofilo@us.es

Introducción

- ✘ En Acústica **GRANDE - PEQUEÑO**: relativo a λ
- ✘ Rango sensible: **10 octavas (1 octava la vista)**
- ✘ **Objetivo: absorber / redirigir sonido en recintos**

$$\lambda = \frac{c}{f}$$



☒ Niveles acústicos: Logaritmos de relaciones energéticas

PRESIÓN

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) dB$$

- $p_{ref} = 20 \mu Pa$
- p , presión eficaz

INTENSIDAD

$$L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) dB$$

- $I_{ref} = 10^{-12} w/m^2$
- $L_p \approx L_I$

POTENCIA

$$L_W = 10 \log \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) dB$$

- $W_{ref} = 10^{-12} w/m^2$
- Caracteriza fuente

☒ Presión acústica e intensidad en función del nivel:

$$p = p_{ref} 10^{L_p/20} \quad I = I_{ref} 10^{L_I/10}$$

☒ En nuestra latitud $L_p \approx L_I$

☒ Suma/resta de niveles:

☑ Intensidad total = suma de las intensidades de cada sonido.

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = I_{ref} \left(10^{\frac{L_{I1}}{10}} + 10^{\frac{L_{I2}}{10}} \right)$$

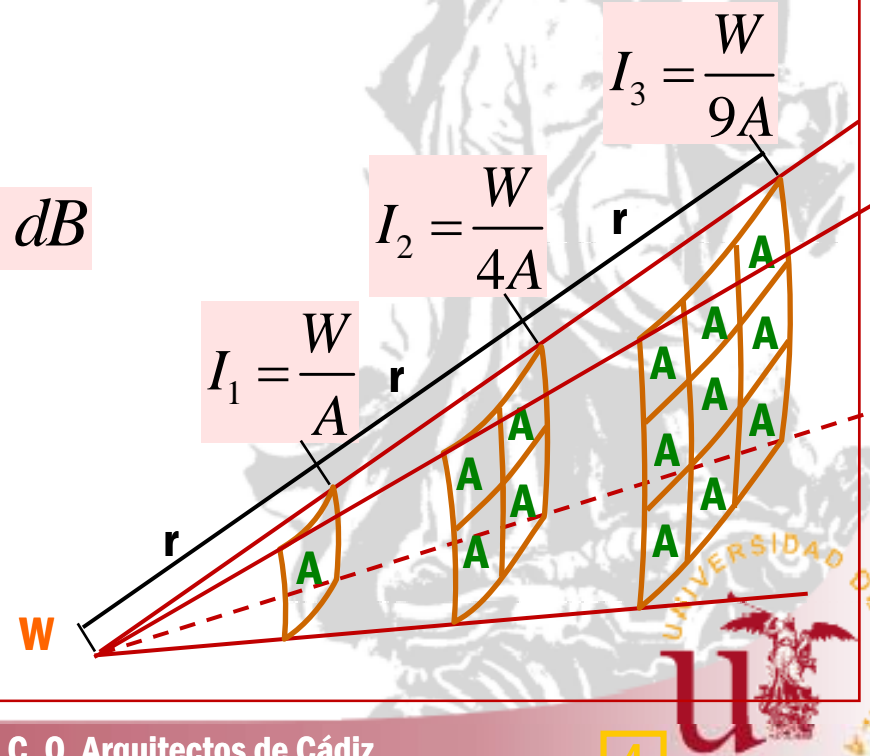
$$L_I^{1+2} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{I1}}{10}} + 10^{\frac{L_{I2}}{10}} \right)$$

☑ El caso $L_1 = L_2$ $L_{1+2} = L_1 + 3 \text{ dB}$

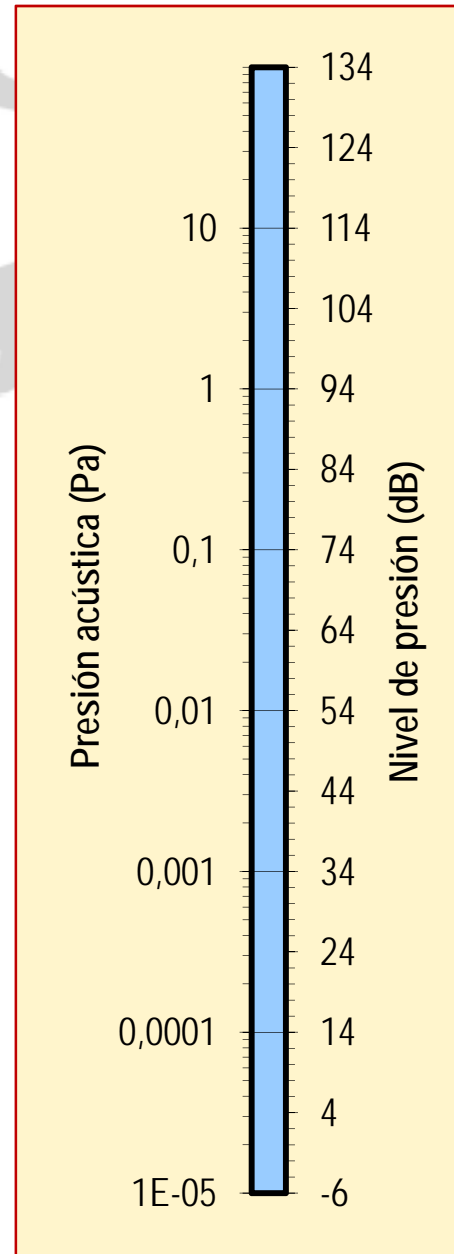
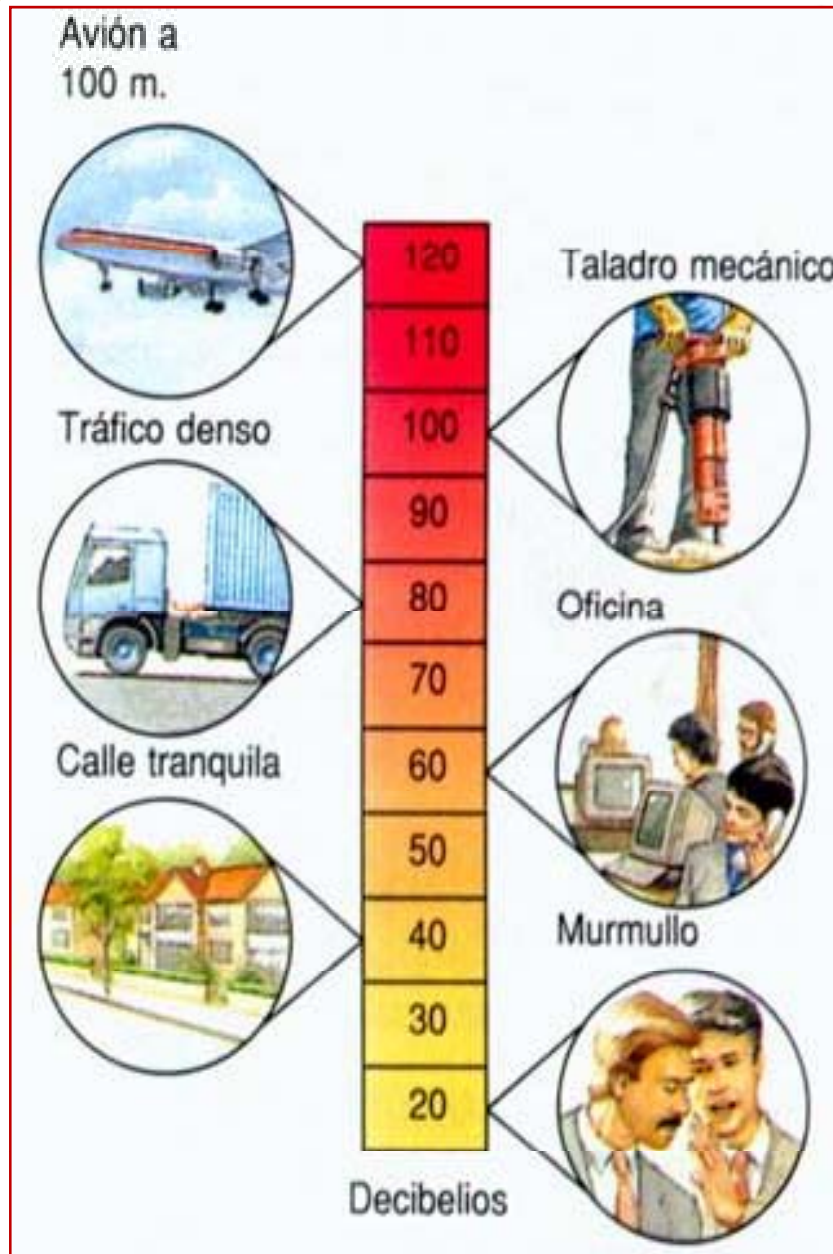
☒ Variación de la I y L_I con r

☑ Fuente omnidireccional

$$L_I = L_P = L_w + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2}$$



Introducción



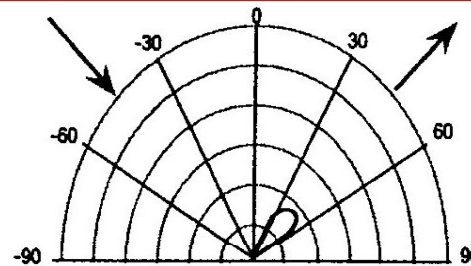
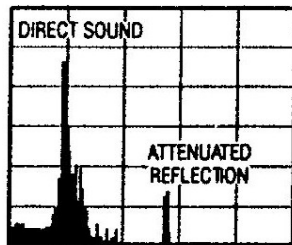
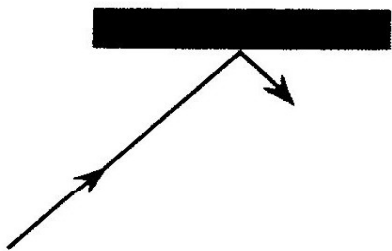
Introducción

Tratamiento acústico

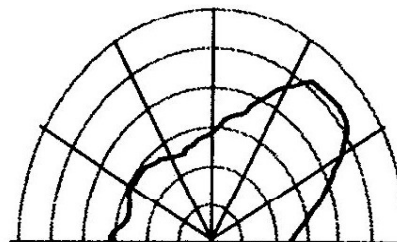
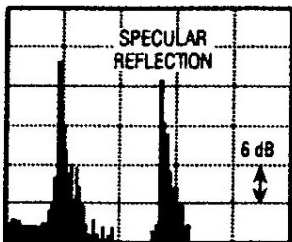
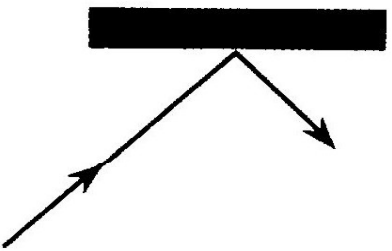
Respuesta temporal

Respuesta espacial

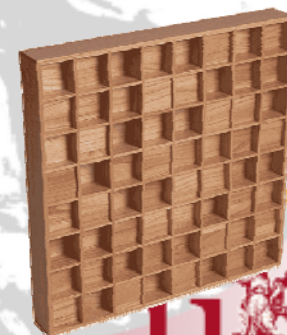
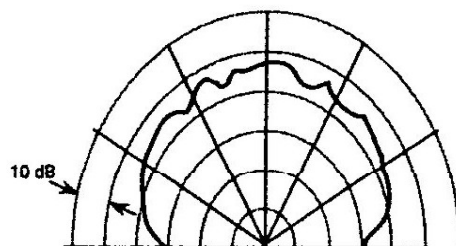
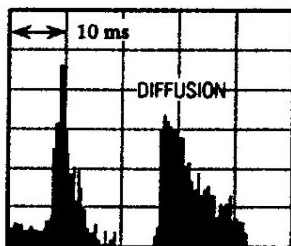
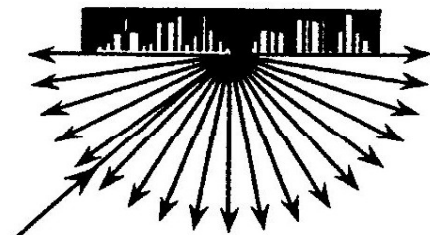
Absorción



Reflexión



Difusión



✘ **Absorción:** proceso por el que la energía acústica es transformada en otro tipo (calor, vibración,...)

✘ **Se mide en Sabinios:**
ventana abierta de $1 \text{ m}^2 \Rightarrow 1 \text{ Sab.}$

✔ **Coefficiente de absorción**

- ✘ **Ventana abierta 1**
- ✘ **Otros materiales: $0 < \alpha < 1$**
- ✘ **Valores > 1**



$$\alpha = \frac{\text{Energía no reflejada}}{\text{Energía incidente}}$$

✘ Incrementar absorción \Rightarrow disminuir reverberación (recinto sordo)

✘ Depende (y no linealmente) de:

✓ Frecuencia del sonido incidente.

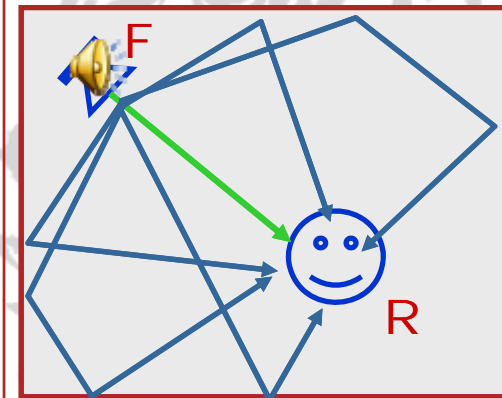
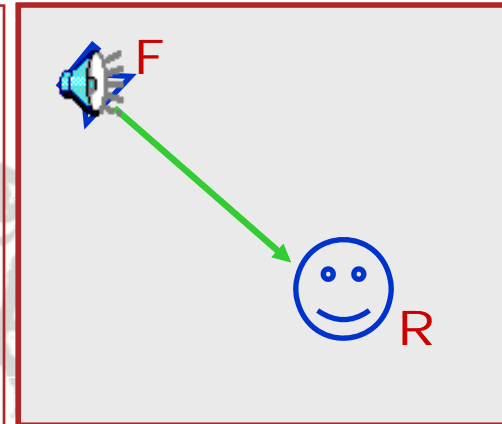
✓ Ángulo incidencia (aleatoria).

✓ Propiedades del material.

✓ Sistema de colocación.

✓ Medir en laboratorio (cámara reverber.):

✘ ISO 354 / UNE-EN 20345



Absorción y tiempo de reverberación

$$T_R = \frac{0.16 V}{A_1 + A_2 + A_a}$$

Cálculo → **Fórmula de Sabine**

⊗ **A₁ = absor. superficial** → $A_1 = \sum S_i \alpha_i$

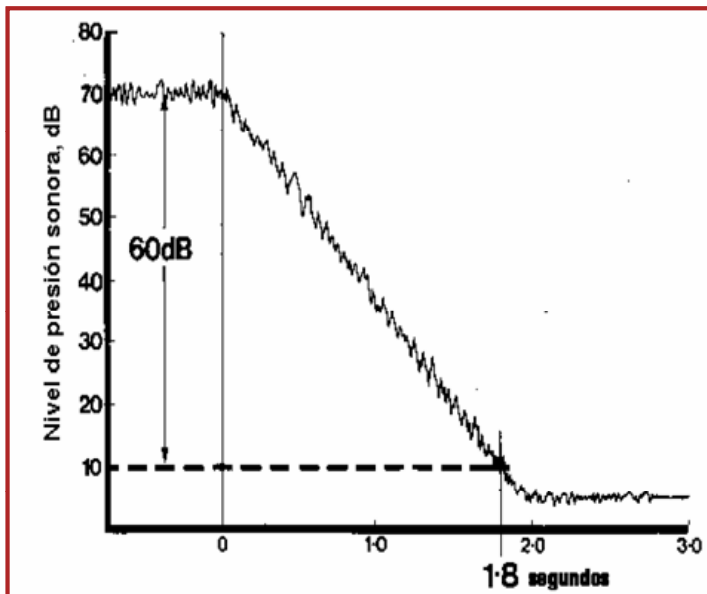
⊗ **A₂ = absor. elementos** → $A_2 = \sum N_i a_i$

⊗ **A_a = absorción del aire** → $A_a = 4mV$

$$m = \frac{0.014 f^2}{\phi} \quad (f, \text{kHz}; \phi, \%)$$

20°C

Definición

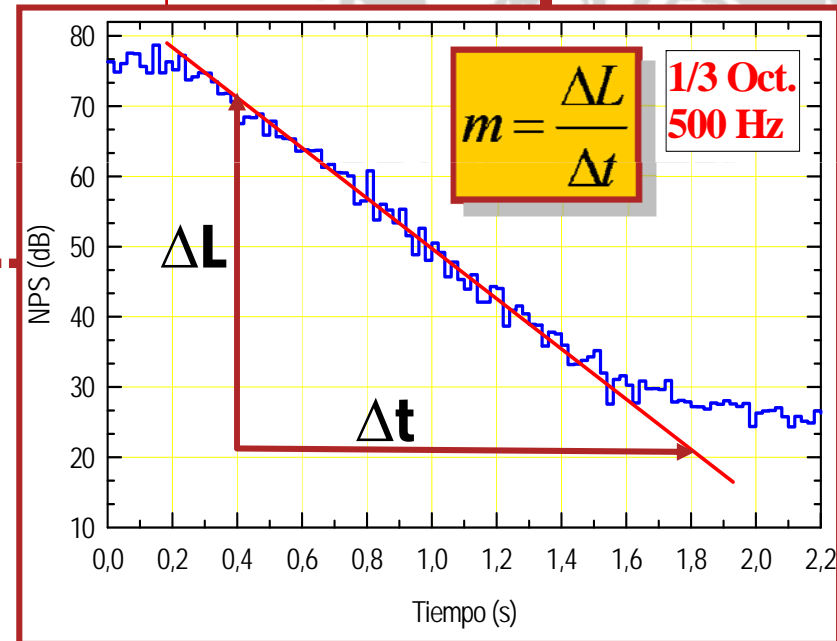


Medir el tiempo de reverberación y la absorción

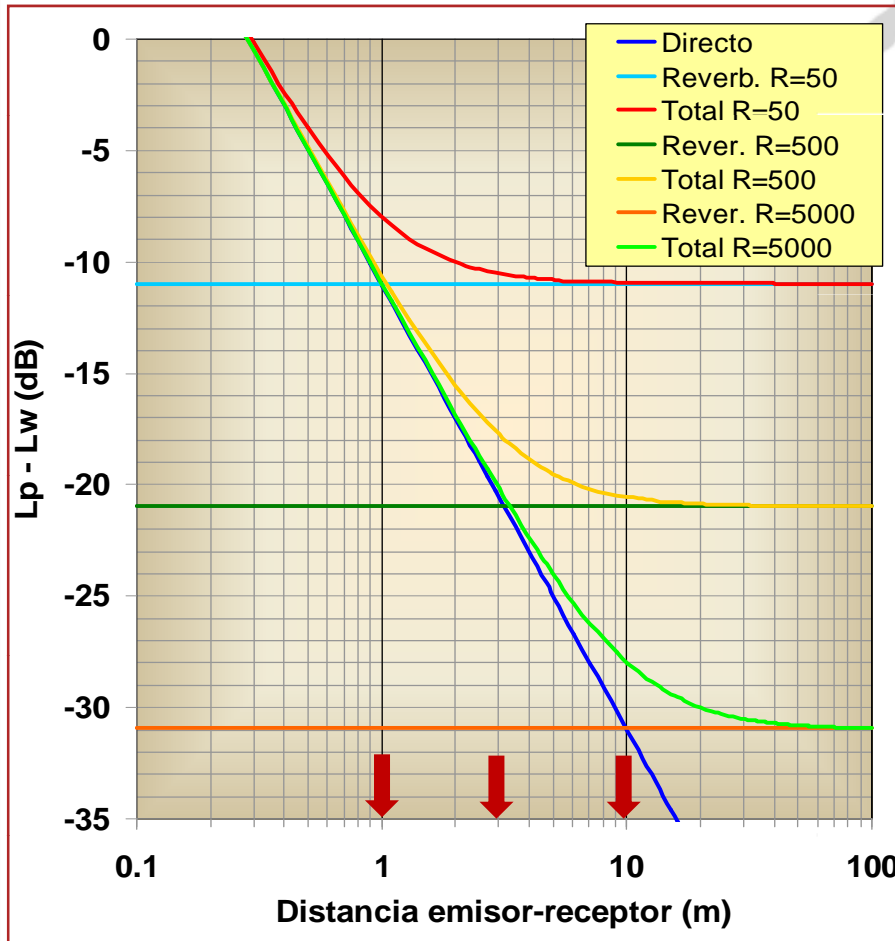
MEDIDA:

- ✗ Método del ruido interrumpido
- ✗ Respuesta al impulso
 - ✓ Señal impulsiva
 - ✓ Señales MLS, barrido sinoidal...
 - ✓ Integral inversa en el tiempo
- ✗ Es fácil medir para hallar A
- ✗ Medir ΔT_R cám. reverber. →
→ medir coef. absorción.

$$T_R = -\frac{60}{m}$$



Niveles acústicos en el interior



✘ Constante acústica recinto:

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad m^2 \approx A$$

✘ Niveles acústicos:

$$L_P = L_W + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \text{ dB}$$

Directo

Reverberado

✘ Radio acústico:

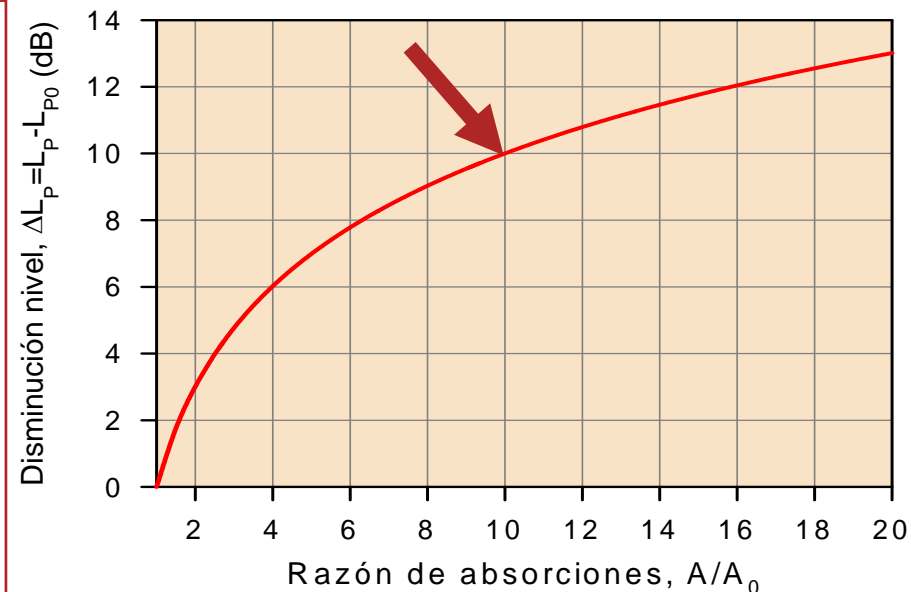
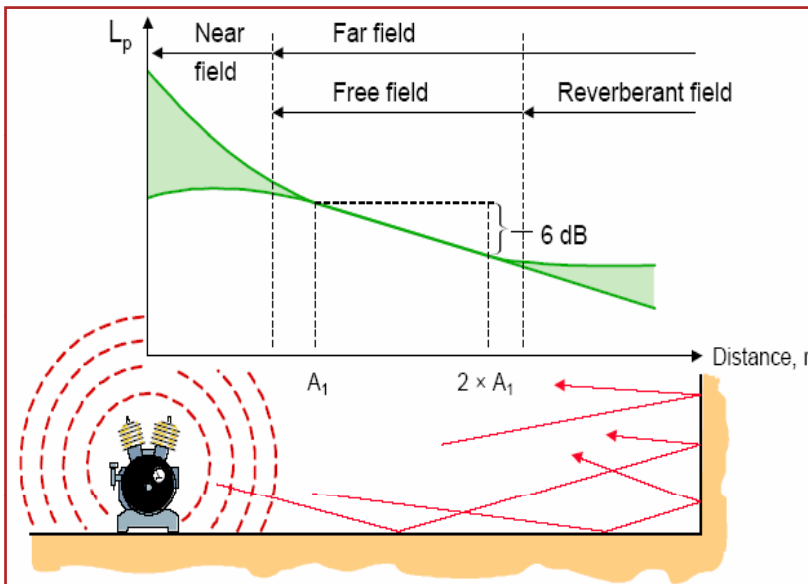
☑ directo=reverb.

$$r_c = \sqrt{\frac{QR}{16\pi}}$$

✘ ΔL_p por absorción

Niveles acústicos en el interior

- ❌ Reducir niveles añadiendo absorción → campo reverber.
- ❌ La reducción es más eficaz para recintos grandes.
- ❌ Añadir absorción adicional → baffles
- ❌ $A/A_0 \cong 10 \rightarrow \Delta LP \cong 10 \text{ dB}$



Materiales rígidos no porosos

Materiales porosos

Espumas

Lanas de roca/vidrio

Absorbentes tipo membrana

A veces aparecen sin pretenderlo

Absorbentes resonadores

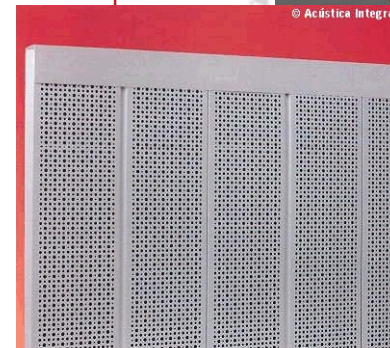
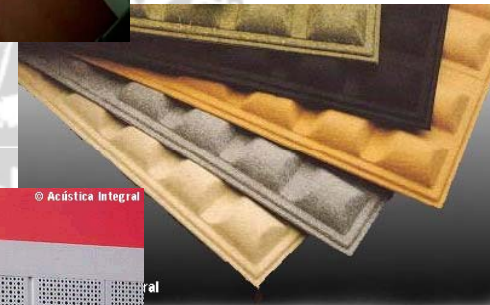
Membrana

Resonadores de Helmholtz aislados

Resonadores de Helmholtz acoplados

× **De panel perforado**

× **De láminas**



Materiales rígidos

- Rígidos y no porosos (hormigón, ladrillo, yeso,...)
- Disipan energía en forma de calor en capa de aire próxima
- Valores pequeños de α
- Significativos si no hay otra absorción
- Mayor que lo esperado a primera vista:
 - Materiales microporosos
 - Materiales rugosos



	125	250	500	1k	2k	4k
Hormigón	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
Bloques hormigón pintados	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Ladrillos enlucidos yeso	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04

Absorbentes porosos

✗ Absorben al disipar energía por rozamiento en el interior de los poros

✓ Sobre todo a altas frecuencias

✗ Múltiples reflexiones dentro del material

✗ Poros accesibles al sonido (no pintar)

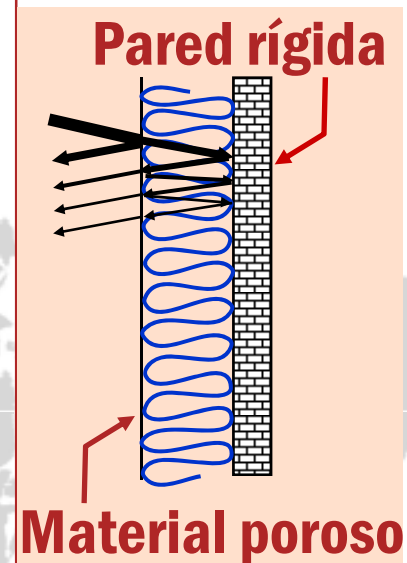
✗ Materiales comerciales:

✓ Lana de vidrio o mineral

✓ Espuma a base de resina de melamina

✓ Espuma de poliuretano

✗ Coeficiente de reducción acústica



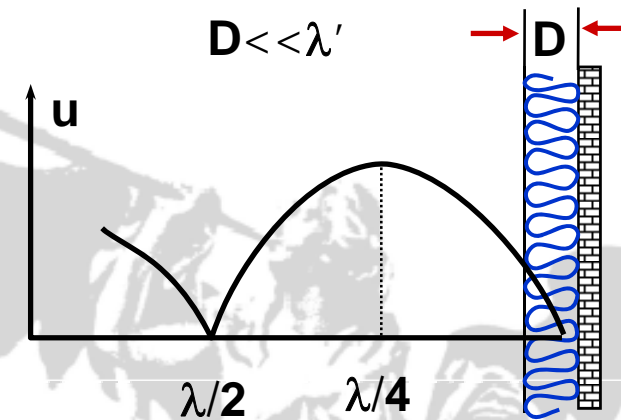
$$NRC = \frac{\alpha_{250} + [\alpha_{500} + \alpha_{1k} + \alpha_{2k}]}{4}$$

DB-HR CTE

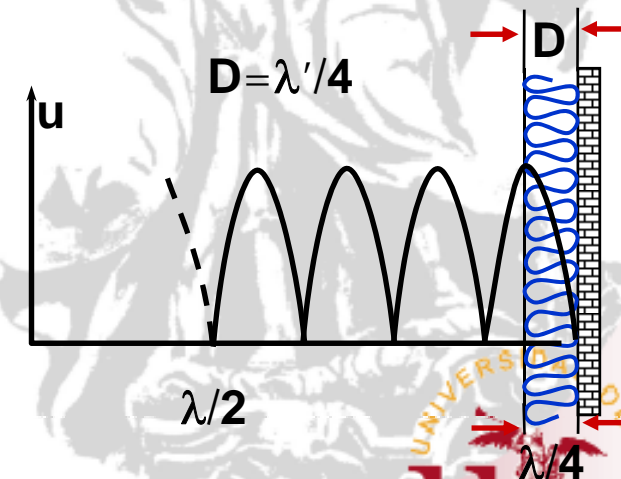


EFECTO DEL ESPESOR

- ❌ Aumenta la absorción con D (bajas y medias frecuencias)
- ❌ Absorción baja para $D \ll \lambda'$
 - ✓ $u=0$ junto a la pared \rightarrow Fricción baja
- ❌ Al $\uparrow f \Rightarrow \lambda \downarrow \Rightarrow u \uparrow$ en el material
 $\Rightarrow \uparrow$ energía disipada \Rightarrow crece α
- ❌ Mayor recorrido de la onda en el material



$$\lambda = \frac{c}{f}$$

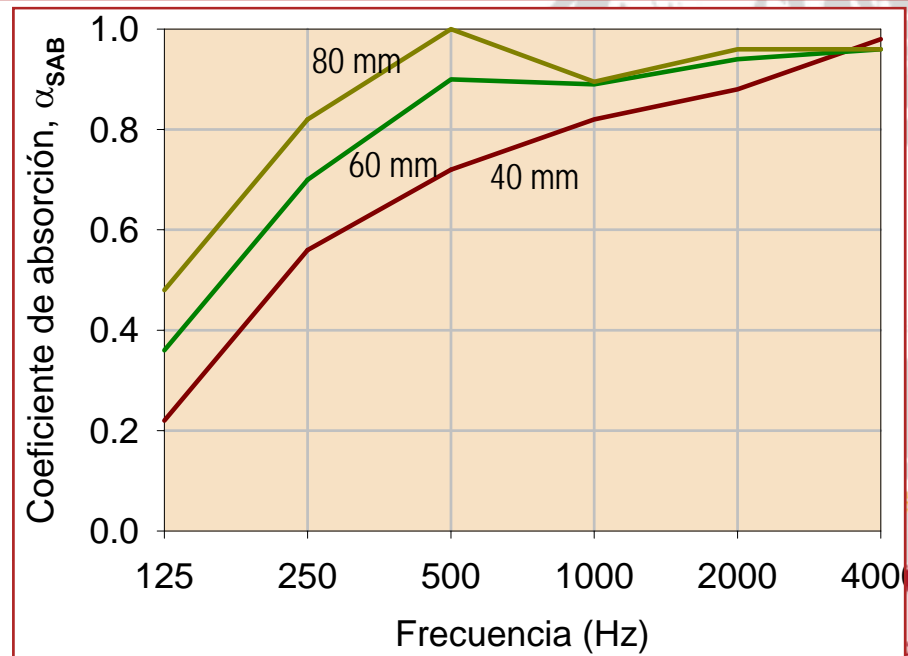


EFFECTO DEL ESPESOR

- ❑ Espesores pequeños → Condición baja absorción ($D \ll \lambda'$) se cumple a bajas y medias frecuencias
- ❑ Incremento espesor → Condición baja absorción ($D \ll \lambda'$) se cumple a frecuencias inferiores

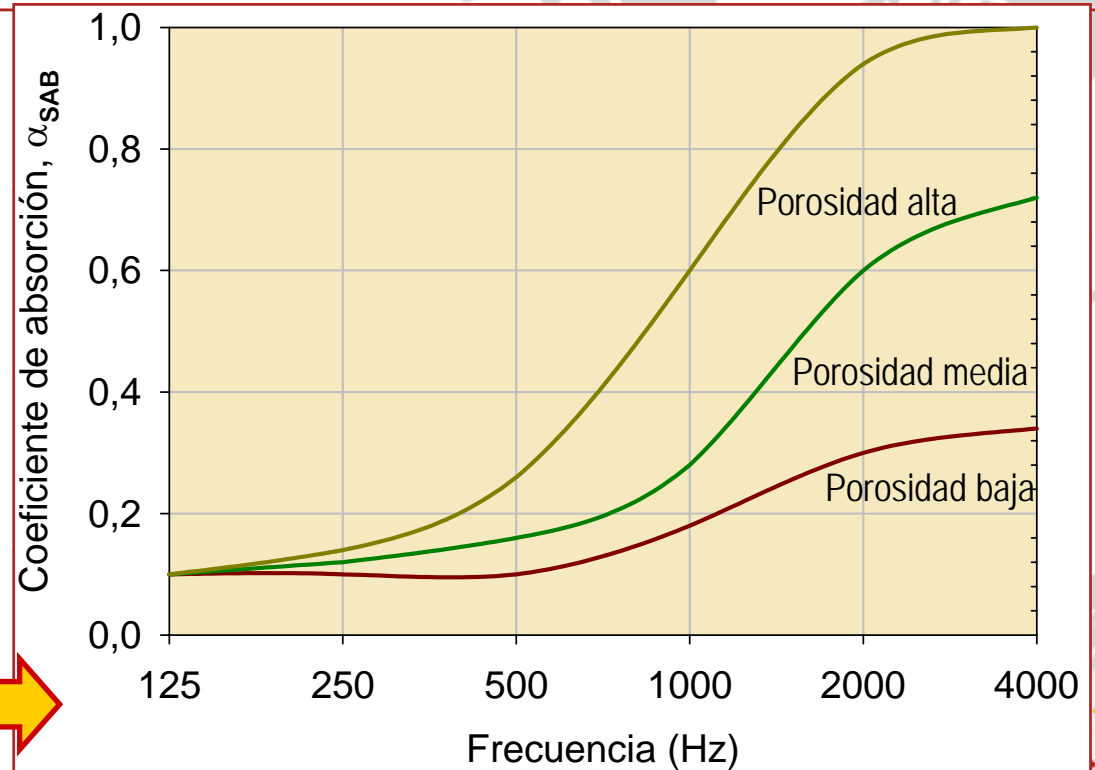
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Lana de vidrio →



EFEECTO DE LA POROSIDAD

☒ Aumentar la porosidad → aumenta absorción a todas las frecuencias (mayor penetración de la onda en el material)

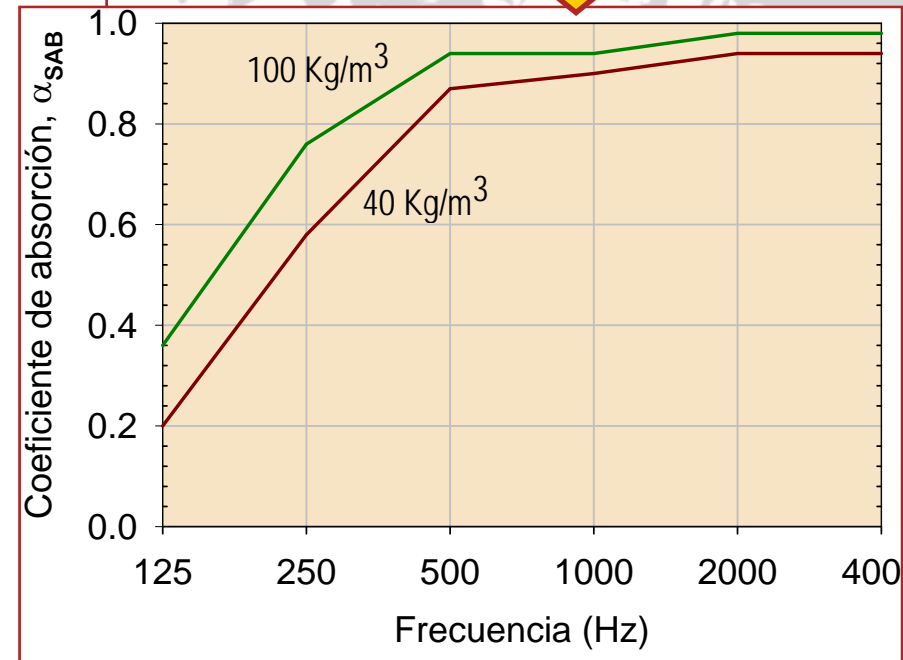


Material poroso →

EFECTO DE LA DENSIDAD

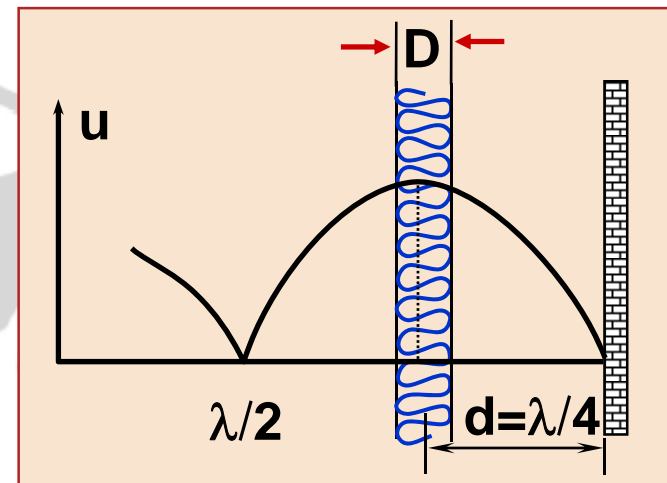
- Densidad baja \rightarrow poca absorción (disminuyen las pérdidas por fricción)**
- Densidad alta \rightarrow aumenta absorción hasta límite, luego aumenta reflexión**
- $40 \text{ kg/m}^3 < \rho < 70 \text{ kg/m}^3$**
 - Nunca $> 100 \text{ kg/m}^3$**

Lana roca
60 mm espesor

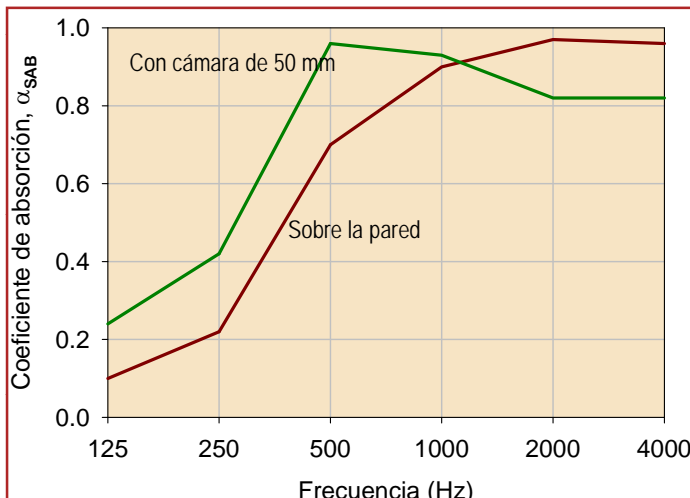
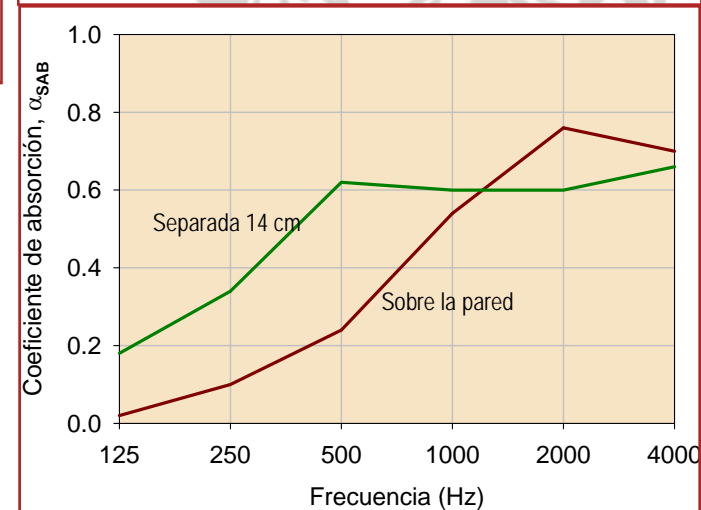


EFECTO SEPARACIÓN DE PARED

- ✗ Aumentar α a bajas frecuencias
 - Separar material de la pared
 - ✓ Máx. absorción a f tal que $d = \lambda/4$
 - ✓ Aumentar d → aumenta absorción a bajas frec. (disminuye a altas).
- ✗ Caso límite espesor nulo: cortinas



Cortina fruncida al 180%



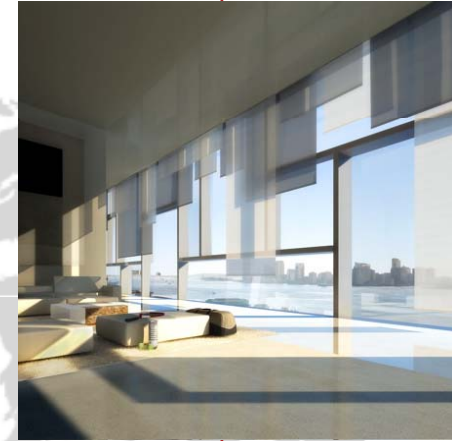
Lana roca
 $e=30$ mm;
 $\rho=46$ Kg/m³

SIN pared detrás: Ventanas, puertas, paredes ligeras,...

- ❌ Difícil calcular la frecuencia resonancia
- ❌ La energía no se disipa, se radia al exterior
 - ✅ Es absorción para el recinto: energía sustraída
- ❌ Expresión aproximada de α

$$\alpha = \left\{ \frac{\rho_0 c}{\pi f M} \right\}^2 = \left\{ \frac{415}{\pi f M} \right\}^2 \Rightarrow \begin{cases} f & \text{frec. (Hz)} \\ M & \text{masa/sup. (Kg / m}^2\text{)} \end{cases}$$

- ❌ Válida si el numerador \ll denominador
- ❌ Valores notables solo a bajas frecuencias
- ❌ Ojo a la pérdida de aislamiento.
- ❌ Ej.: Vidrio, 4 mm de espesor ($M=9 \text{ Kg/m}^2$) a 125 Hz $\Rightarrow \alpha=0.01$

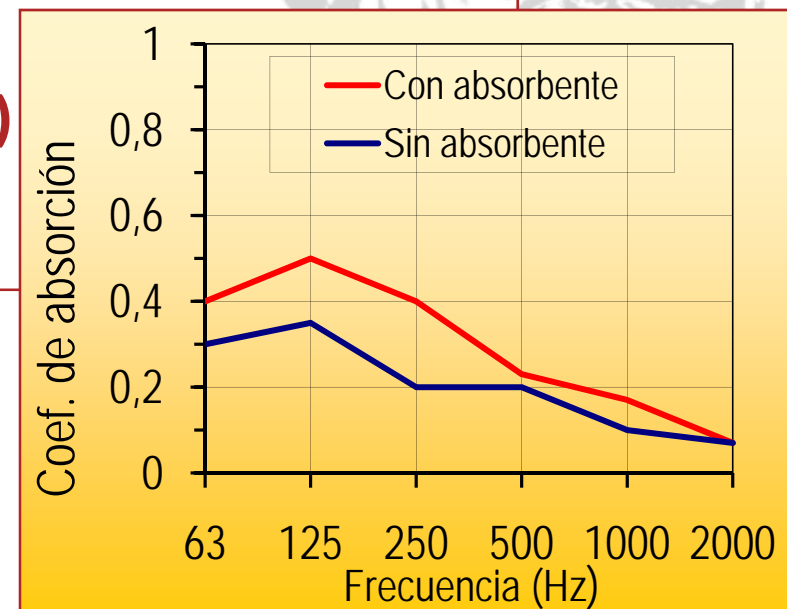
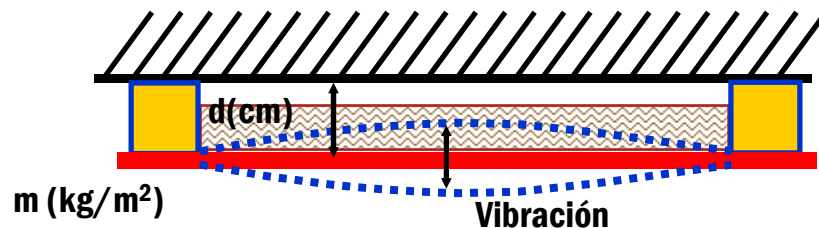


CON pared rígida detrás:

- ✗ Panel frente a pared rígida (sin perforar)
- ✗ Absorbe por resonancia a f_0 (masa-muelle)
- ✗ Madera 1cm, cámara 5 cm $f=100$ Hz
- ✗ Mejora el funcionamiento
 - ✓ Material poroso en la cavidad
 - ✓ Amortiguamiento (tela asfáltica)
- ✗ Útiles en bajas frecuencias



$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{md}}$$



CON pared rígida detrás:

☒ Se pueden conseguir al proteger materiales porosos.

☑ Película PVC

☑ Papel Kraft aluminio

☒ Ventajas:

☑ Barrera eficaz vapor de agua

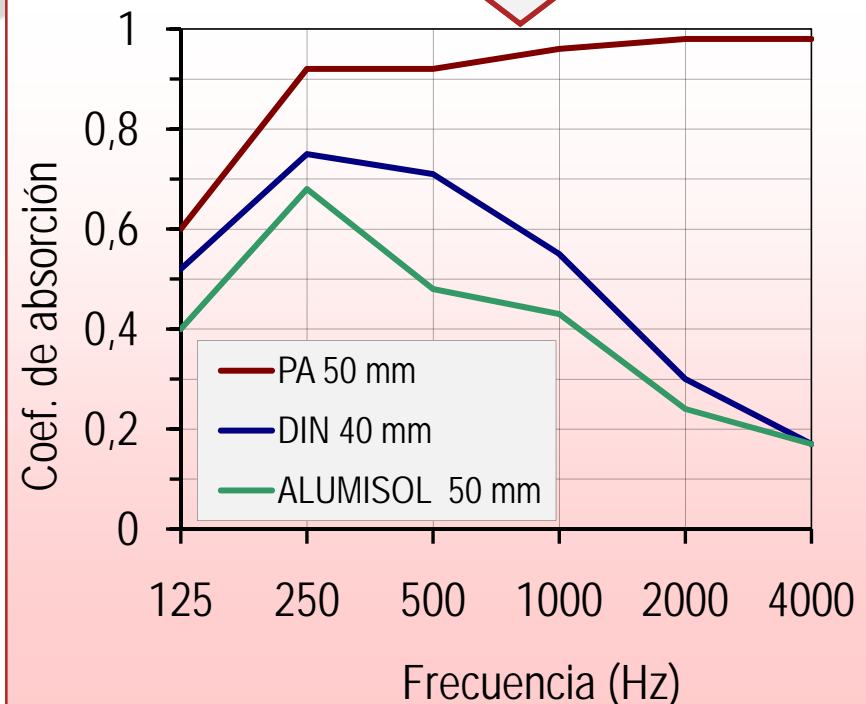
☑ Elevado poder reflexión de luz

☑ No requieren protección adicional

PA – película acústica transparente

DIN – película PVC

ALUMISOL- papel Kraft aluminio



✘ Su absorción presenta máximo a frecuencia de sintonía

✘ $500 \text{ Hz} < \text{Frec. de res.} < 2000 \text{ Hz}$. Depende de:

✔ Características físicas

✔ Características geométricas

✘ Suelen usarse trasdosados con porosos

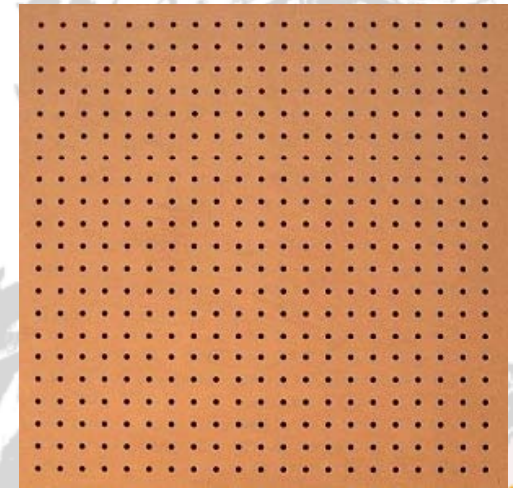
✘ Tipos:

✔ Simple cavidad (Helmholtz)

✔ Cavidad múltiple (Helmholtz acoplados)

× Paneles perforados

× Con listones



Resonadores de Helmholtz

☒ Una cavidad con un cuello.

☑ Absorbe por rozamiento del aire del cuello (masa-muelle).

☒ Sintonizado a frec. resonancia →

$$f_0 = 5480 \sqrt{\frac{S}{LV}} \text{ Hz}$$

☑ Muy selectivo en frecuencia

☑ Factor $Q = \Delta f / f_0$

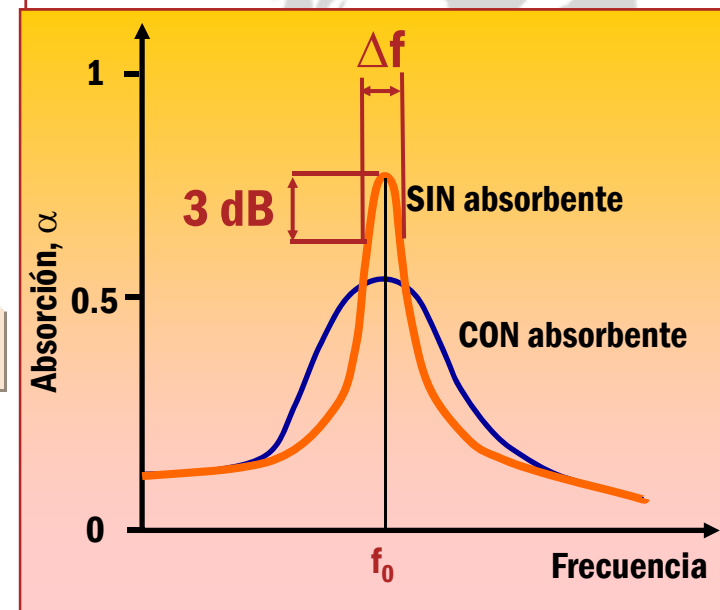
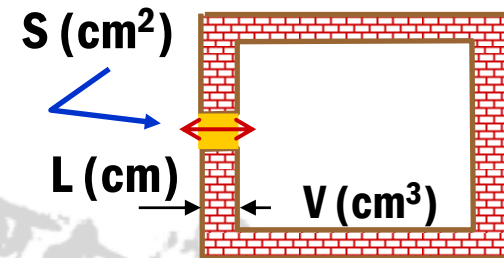
× Coca-Cola $Q = 276$

× Usual $1 < Q < 5$

☑ Eficaz a frec. medias $L_{ef} = L + 1.6r$

☑ Con longitud efectiva (circular)

☒ Se instalan agrupados (ánforas teatro romanos, Berlin Philharmonie)



Absorbentes resonadores



Reson. Helmholtz acoplados

☒ Paneles perforados/ranurados

☑ $S_{\text{perf}} < 25\%$.

☑ Frecuencia de resonancia $f_0 = 5480 \sqrt{\frac{S}{LV}} = 5480 \sqrt{\frac{p}{Dd}} \text{ Hz}$

☑ Longitud efectiva de perforaciones

$$\times D_{\text{ef}} = D + 1.6r$$

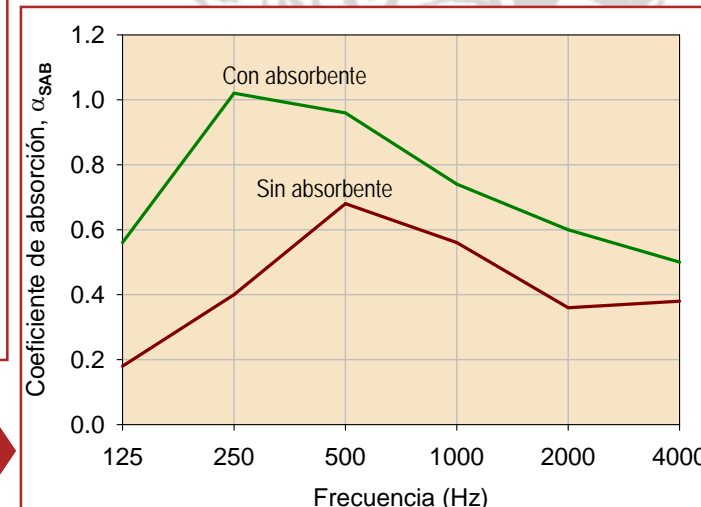
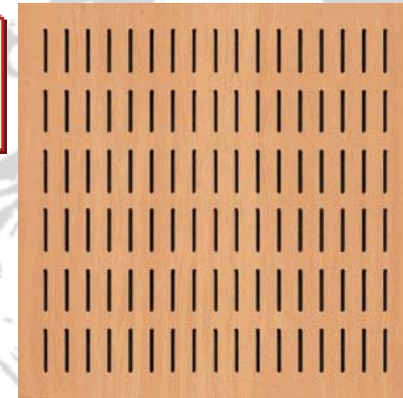
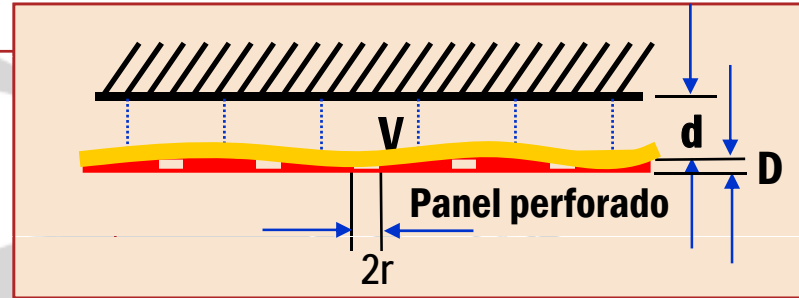
☑ Menos selectivo que el reson. simple

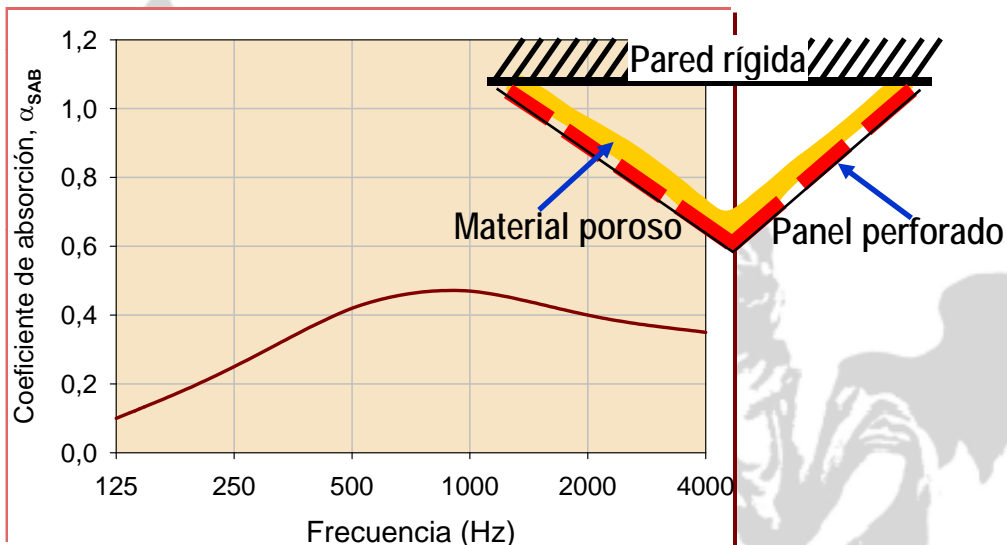
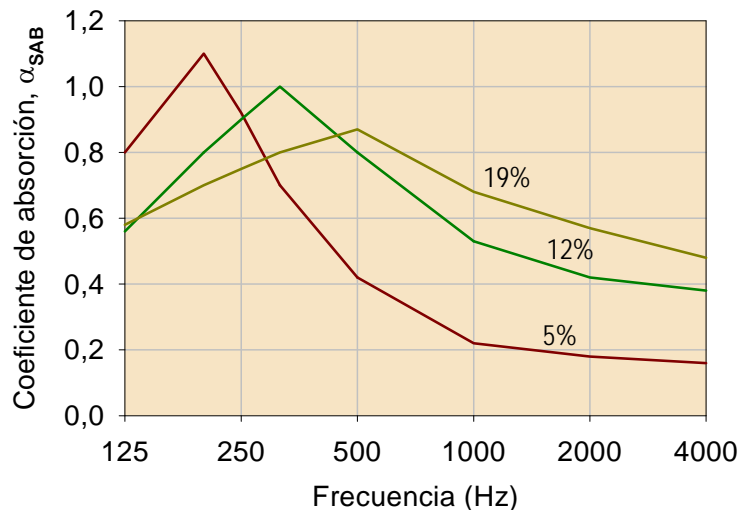
☑ α aumenta al rellenar con absorbente y disminuye f_0

☑ Efecto de colocación absorbente

\times Separar del panel \Rightarrow más selectivo

Cartón-yeso 13 mm perforado 18%
cámara de 100 mm, lana vidrio 80 mm



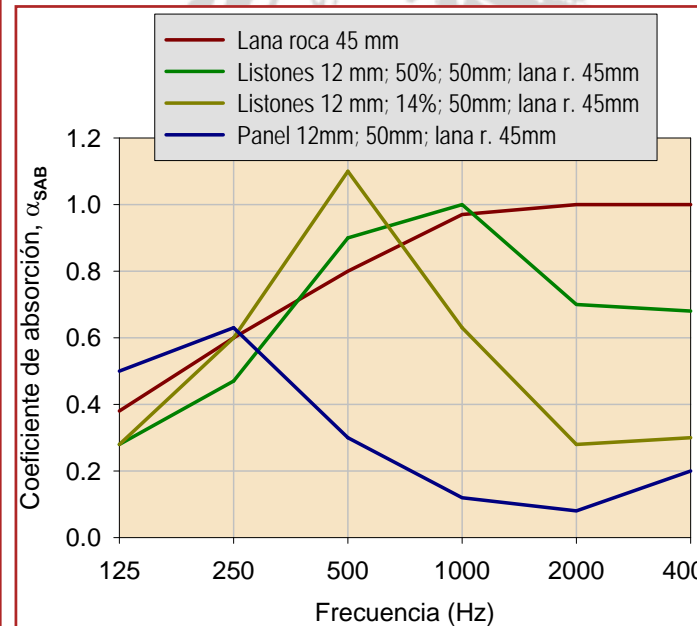


Reson. Helmholtz acoplados

☒ Paliar carácter selectivo:

- ☑ Combinar paneles con dif. perforac.
- ☑ Variar la distancia panel-pared
- ☑ Variar densidad de perforación

☒ A modo de resumen



☒ **Público disperso: a_p (sabins)** → $A_p = N_p a_p$

☑ **Varía con el vestido**

☑ **Sobre todo a medias y altas frecuencias**

☒ **Público concentrado: α** → $A_p = S_p \alpha_{SA}$

☑ **$A \propto$ Superficie ocupada asientos**

☑ **$S_p = S_{\text{butacas}} + \text{pasillo } 0.5 \text{ m}$**

PERSONAS	125	250	500	1k	2k	4k
De pie con abrigo	0.17	0.41	0.91	1.30	1.43	1.47
De pie sin abrigo	0.12	0.24	0.59	0.98	1.13	1.12
Músico sentado con instrumen.	0.60	0.95	1.06	1.08	1.08	1.08

Absorción de la audiencia y mobiliario

VACÍAS

OCUPADAS

BUTACAS	125	250	500	1k	2k	4k
Grado tapizado alto	0.72	0.79	0.83	0.84	0.83	0.79
Grado tapizado medio	0.56	0.64	0.70	0.72	0.68	0.62
Grado tapizado bajo	0.35	0.45	0.57	0.61	0.59	0.55
Grado tapizado alto	0.76	0.83	0.88	0.91	0.91	0.89
Grado tapizado medio	0.68	0.75	0.82	0.85	0.86	0.86
Grado tapizado bajo	0.56	0.68	0.79	0.83	0.86	0.86

Art.14. Exigencias básicas de protección frente al ruido (HR)

- ❌ **OBJETIVO:** limitar en los edificios el riesgo de molestias o enfermedades debidas al ruido
- ❌ **Proyectar, construir y mantener elementos constructivos:**
 - ✅ Reducir la transmisión del ruido aéreo
 - ✅ Reducir la transmisión de ruido de impactos
 - ✅ Reducir la transmisión de ruido y vibraciones de instalaciones
 - ✅ Limitar el ruido reverberante
- ❌ **“DB HR”** especifica **parámetros objetivos** y **sistemas de verificación** para asegurar cumplimiento de las **exigencias básicas** y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de protección frente al ruido.

Ámbito de aplicación del DB-HR

✘ Art. 2 (parte I) del CTE

✘ Excepciones

- ✓ Recintos ruidosos (reglamentación específica)
- ✓ Recintos especiales: auditorios, teatros,... (considerar **recintos de actividad** respecto de los colindantes)
- ✓ Aulas/salas de conferencia con $V > 350 \text{ m}^3$ (considerar **recintos protegidos** respecto a colindantes y exterior)
- ✓ Obras de ampliación, reforma y rehabilitación (salvo si es integral).
- ✓ Rehabilitación de edificios protegidos por catalogación

DB-HR: 1.- Generalidades sobre acondicionamiento

- ✘ **NO** superar valores límite de **tiempos de reverberación**
- ✘ **Debe alcanzarse valor límite de absorción acústica**
 - ✓ **Coefficientes de absorción**
 - ✓ **Absorciones equivalentes unitarias de objetos**
 - ✓ **Ensayos UNE o valores tabulados de Documentos Reconocidos**
 - ✓ **Diseñar/dimensionar recinto tipo (con diferente forma, tamaño o elementos constructivos)**
- ✘ **Justificación documental: fichas L3 y L4**

DB-HR: 2.- Caracterización y cuantificación de las exigencias

- Se aplican a elementos constructivos acabados
- Valor límite de absorción acústica zona común: **$0.2 \text{ m}^2/\text{m}^3$**
- Valor límite de tiempo de reverberación
 - Aulas y salas conferencias vacías $V < 350 \text{ m}^3 \rightarrow \text{TR} < 0.7 \text{ s}$
 - Aulas y salas conferencias con butacas $V < 350 \text{ m}^3 \rightarrow \text{TR} < 0.5 \text{ s}$
 - Restaurantes y comedores vacíos $\rightarrow \text{TR} < 0.9 \text{ s}$

DB-HR: 3.- Diseño y dimensionado: absorción acústica

☒ Datos previos y procedimiento

- ☑ Calcular absorción acústica A de las zonas comunes
- ☑ Usar α y absorciones acústicas equivalentes (A_0) de ensayos UNE o tabuladas en Documentos Reconocidos del CTE
- ☑ Diseñar y dimensionar un recinto de cada tipo diferente (forma - tamaño - elementos constructivos)

☒ Método de cálculo de la absorción acústica

- ☑ Valores medios de 500, 1000 y 2000 Hz
- ☑ Dispersión de valores de TR para cada frec. < 35 %
- ☑ Valores de m_f en 500 , 1000 y 2000 Hz (0.003, 0.005, 0.01)
- ☑ ($4\langle m_m \rangle V = 4 \times 0.006 \times V$) despreciable si $V < 250 \text{ m}^3$

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{0,m,j} + 4\overline{m_m} \cdot V \quad \left[\text{m}^2 \right]$$

DB-HR: 3.- Diseño y dimensionado: TR

✗ Datos previos y procedimiento

✓ A se calcula como se ha indicado antes

$$T = \frac{0.16 V}{A} \quad [s]$$

✗ Opción simplificada

✓ Tratamiento absorbente uniformes en el techo.

✓ Valor de $\langle \alpha_{m,t} \rangle$ mínimo

○ Aulas con $V < 350 \text{ m}^3$

- ✗ h altura
- ✗ S_t superficie techo

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{SIN but. tapiz.} \rightarrow \alpha_{m,t} = h \left(0.23 - \frac{0.12}{\sqrt{S_t}} \right) \\ \text{CON but. tapiz.} \rightarrow \alpha_{m,t} = h \left(0.32 - \frac{0.12}{\sqrt{S_t}} \right) - 0.26 \end{array} \right.$$

○ Restaurantes y comedores

- ✗ h altura
- ✗ S_t superficie techo

$$\alpha_{m,t} = h \left(0.18 - \frac{0.12}{\sqrt{S_t}} \right)$$

DB-HR: 3.- Diseño y dimensionado: TR

✘ Tratamientos absorbentes adicionales al del techo

- ✓ $\langle \alpha_{m,i} \rangle$ coeficiente de absorción material aplicado a S_i
- ✓ $\alpha_{m,t}$ coeficiente de absorción techo dado por las ecuaciones anteriores
- ✓ S_t superficie techo

$$\alpha_{m,t} \cdot S_t = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i$$

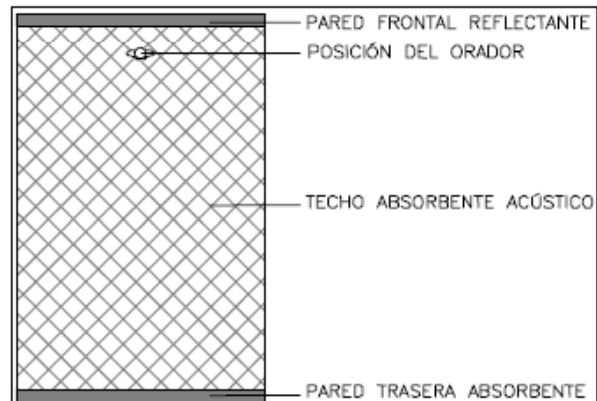
✘ Ejecución: acabados superficiales (pinturas) no deben modificar propiedades absorbentes

✘ Control de la obra terminada:

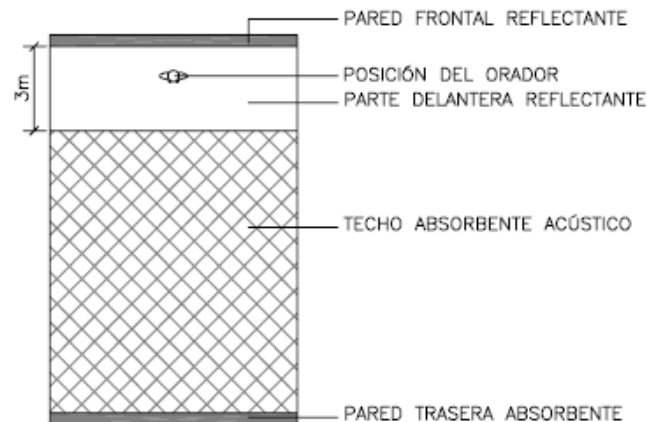
- ✓ Medidas de tiempo de reverberación según UNE EN ISO 3382
- ✓ Se admiten tolerancias de 0.1 s para cumplimiento de las exigencias básicas

ANEJO K.- Recomendaciones de diseño acústico para aulas y salas de conferencias

- ❌ **Objetivo:** mejorar la inteligibilidad de la palabra
- ❌ **Evitar recintos cúbicos o prismáticos con razones entre dimensiones = n° entero**
- ❌ **Recomendaciones al poner materiales absorbentes**
- ❌ **Mejor un pasillo central que dos laterales**



Opción 1



Opción 2

CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE Mayo 2008

Tipo	α			α_m
	500Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Hormigón visto	0,03	0,04	0,04	0,04
Hormigón pintado	0,06	0,07	0,09	0,07
Bloque de hormigón visto	0,05	0,08	0,14	0,09
Bloque de hormigón pintado	0,08	0,09	0,10	0,09
Ladrillo cerámico vistos	0,03	0,04	0,05	0,04
Ladrillo cerámico pintados	0,02	0,02	0,02	0,02
Enfoscado de mortero	0,06	0,08	0,04	0,06
Enlucido de yeso	0,01	0,010	0,02	0,01
Placa de yeso laminado	0,05	0,09	0,07	0,06
Placas de escayola	0,04	0,05	0,05	0,05
Piedra	0,01	0,02	0,02	0,02
Madera y paneles de madera	0,08	0,08	0,08	0,08
Parquet	0,04	0,05	0,05	0,05

CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE Mayo 2008

Tipo	α			α_m
	500Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Tarima	0,08	0,09	0,10	0,09
Tarima sobre rastreles	0,06	0,05	0,05	0,05
Corcho	0,08	0,19	0,21	0,06
Metales	0,015	0,02	0,02	0,02
Revestimientos textiles	0,09	0,14	0,29	0,17
Moqueta, espesor ≤ 10 mm	0,06	0,15	0,30	0,17
Moqueta, espesor ≥ 10 mm	0,15	0,30	0,45	0,30
PVC	0,04	0,05	0,05	0,05
Linóleo	0,03	0,03	0,04	0,03
Caucho	0,04	0,04	0,02	0,03
Terrazo	0,01	0,02	0,02	0,02
Baldosas, plaquetas.	0,01	0,02	0,02	0,02
Vidrio	0,05	0,04	0,03	0,04

Caract. del local:

Largo: 6 m

Ancho: 4 m

Alto: 3 m

Volumen: 72 m³

Característica materiales:

Paredes y techo: Enlucidas

Suelo: Baldosas cerámicas

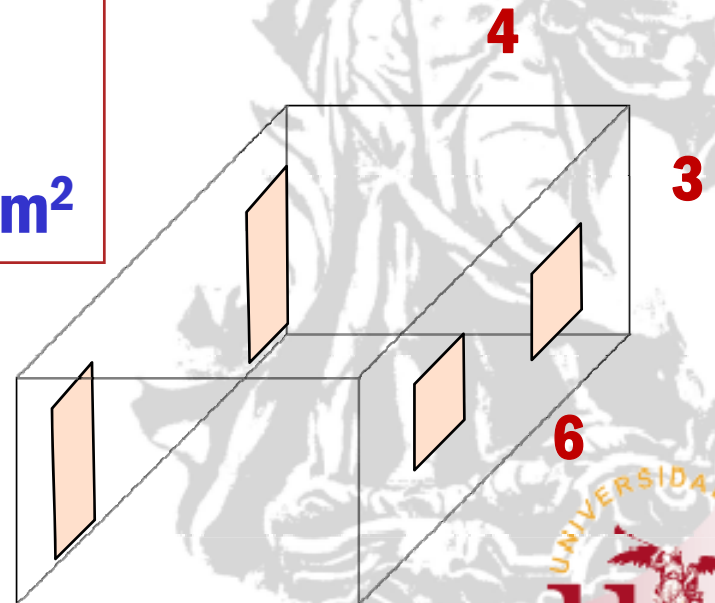
Puertas: Doble laminado

Ventanas: Vidrio simple 5 mm

Dimensiones accesos

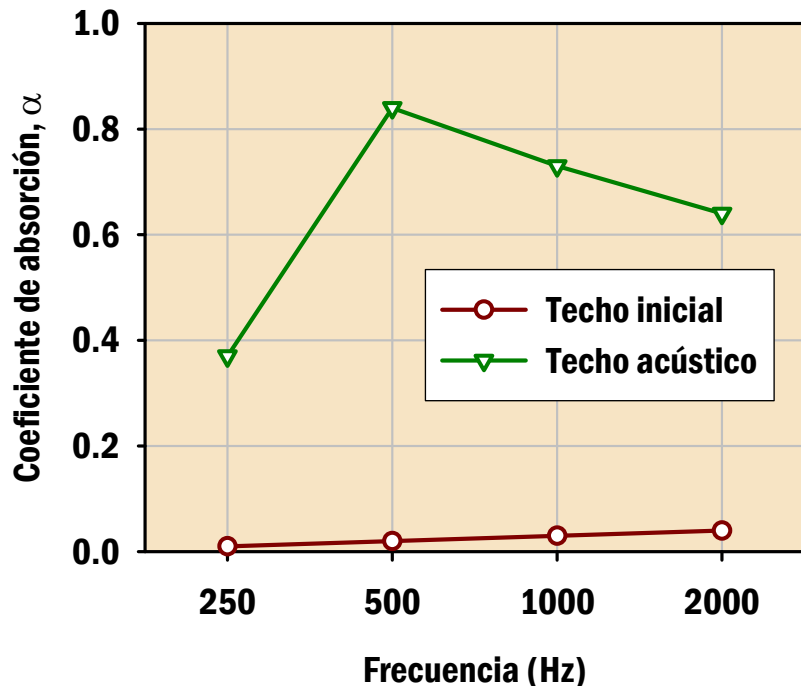
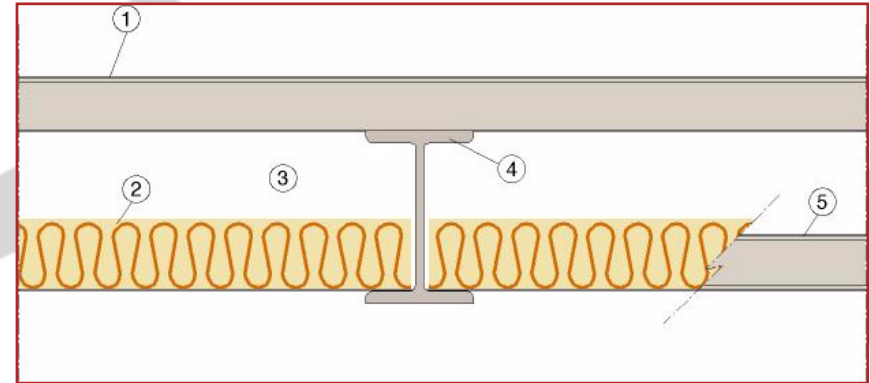
Ventanas: 2 de $2 \times 1,5 = 6 \text{ m}^2$

Puertas: 2 de $0,8 \times 2,15 = 3,44 \text{ m}^2$



Techo acústico

- 1.- Cubierta, forjado
- 2.- Manta de lana de roca
- 3.- Plenum
- 4.- Viga soporte
- 5.- Perfil secundario



Tratamiento acústico

Manta lana de roca 25 mm. espesor

Densidad: 85 Kg/m³

Plenum de 300 mm

Cálculo de la absorción: reducción de nivel

Absorción en función de la frecuencia

Volumen 72 m3	Frecuen.	250		500		1000		2000	
	Superficie	α	S α	α	S α	α	S α	α	S α
Paredes	50,56	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00
Techo	24	0,01	0,24	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96
Suelo	24	0,01	0,24	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96
Puertas	3,44	0,22	0,75	0,17	0,58	0,09	0,31	0,10	0,34
Ventanas	6	0,25	1,50	0,18	1,08	0,12	0,72	0,07	0,42
Absorción "A" expresado en m2		3,23		3,62		3,47		3,68	
$T = 0,16 \times V/A \rightarrow$		3,50		3,20		3,30		3,10	

Reducción del tiempo de reverberación (TR)

Mediante la aplicación de un falso techo de lana mineral

Volumen 72 m3	Frecuen.	250		500		1000		2000	
	Superficie	α	S α	α	S α	α	S α	α	S α
Paredes	50,56	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00
Techo	24	0,37	8,88	0,84	20,16	0,73	17,52	0,64	15,36
Suelo	24	0,01	0,24	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96
Puertas	3,44	0,22	0,75	0,17	0,58	0,09	0,31	0,10	0,34
Ventanas	6	0,25	1,50	0,18	1,08	0,12	0,72	0,07	0,42
Absorción "A" expresado en m2		11,87		23,20		20,27		18,08	
$T = 0,16 \times V/A \rightarrow$		0,90		0,40		0,50		0,60	

Cálculo de la absorción: reducción de nivel

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Absorción en función de la frecuencia

Volumen 72 m3	Frecuen. Superficie	250		500		1000		2000	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
Paredes	50,56	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00
Techo	24	0,01	0,24	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96
Suelo	24	0,01	0,24	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96
Puertas	3,44	0,22	0,75	0,17	0,58	0,09	0,31	0,10	0,34
Ventanas	6	0,25	1,50	0,18	1,08	0,12	0,72	0,07	0,42
Absorción "A" expresado en m2		3,23		3,62		3,47		3,68	
$T = 0,16 \times V/A \rightarrow$		3,50		3,20		3,30		3,10	

Reducción del tiempo de reverberación (TR)

Mediante la aplicación de un falso techo de lana minera

Volumen 72 m3	Frecuen. Superficie	250		500		1000		2000	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
Paredes	50,56	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00
Techo	24	0,37	8,88	0,84	20,16	0,73	17,52	0,64	15,36
Suelo	24	0,01	0,24	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96
Puertas	3,44	0,22	0,75	0,17	0,58	0,09	0,31	0,10	0,34
Ventanas	6	0,25	1,50	0,18	1,08	0,12	0,72	0,07	0,42
Absorción "A" expresado en m2		11,87		23,20		20,27		18,08	
$T = 0,16 \times V/A \rightarrow$		0,90		0,40		0,50		0,60	

**Cálculo según
DB-HR CTE**



$$T = \frac{0.16 \times 72}{0.02 \times 50.56 + 0.03 \times 24 + 0.03 \times 24 + 0.12 \times 3.44 + 0.12 \times 6} = 3.2 \text{ s}$$

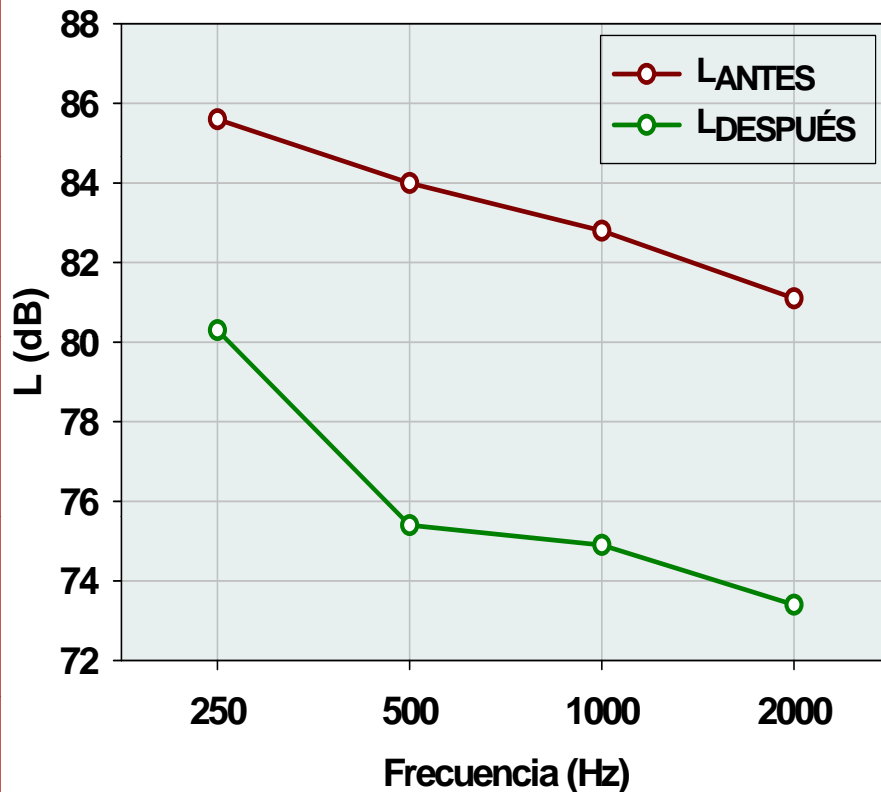
$$T = \frac{0.16 \times 72}{0.02 \times 50.56 + 0.73 \times 24 + 0.03 \times 24 + 0.12 \times 3.44 + 0.12 \times 6} = 0.6 \text{ s}$$



Cálculo de la atenuación sonora

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{4}{R} \right) \approx L_w + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right)$$

Efecto del incremento de absorción



Frec	250	500	1000	2000
A_{ANT}	3,5	3,2	3,3	3,1
A_{DESP}	11,9	23,2	20,3	18,1
L_w	85,0	83,0	82,0	80,0
L_{ANT}	85,6	84,0	82,8	81,1
L_{DESP}	80,3	75,4	74,9	73,4
ΔL	5,3	8,6	7,9	7,7

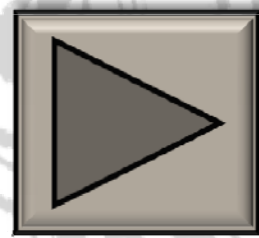
L.3 Fichas justificativas del método general del tiempo de reverberación y de la absorción acústica

La tabla siguiente recoge la ficha justificativa del cumplimiento de los valores límite de tiempo de reverberación y de absorción acústica mediante el método de cálculo

Tipo de recinto:.....			Volumen, V (m ³): <input type="text"/>				
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α_m Coeficiente de absorción acústica medio				Absorción acústica (m ²) $\alpha_m \cdot S$
			500	1000	2000	α_m	
Suelo							
Techo							
Paramentos							
Objetos ⁽¹⁾	Tipo	N número	Área de absorción acústica equivalente media, A _{O,m} (m ²)				A _{O,m} · N
			500	1000	2000	A _{O,m}	
Absorción aire ⁽²⁾		V Volumen	Coeficiente de atenuación del aire, \bar{m}_m (m ⁻¹)				4 · \bar{m}_m · V
			500	1000	2000	\bar{m}_m	
			0,003	0,005	0,01	0,006	
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante		$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$					
T, (s) Tiempo de reverberación resultante		$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$					
Absorción acústica resultante de la zona común		A (m ²)= <input type="text"/>		Absorción acústica exigida		=0,2·V	
Tiempo de reverberación resultante		T (s)= <input type="text"/>		Tiempo de reverberación exigido		<input type="text"/>	

⁽¹⁾ Sólo para salas de conferencias de volumen hasta 350 m³
⁽²⁾ Sólo para volúmenes mayores a 250 m³

Ficha justificativa L3 Método general



Herramienta de cálculo del DB-HR



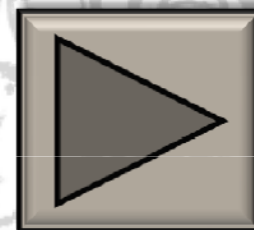
Ficha justificativa L4 (método simplificado)

L.4 Fichas justificativas del método simplificado del *tiempo de reverberación*

La tabla siguiente recoge la ficha justificativa del cumplimiento de los valores límite de *tiempo de reverberación* mediante el método simplificado.

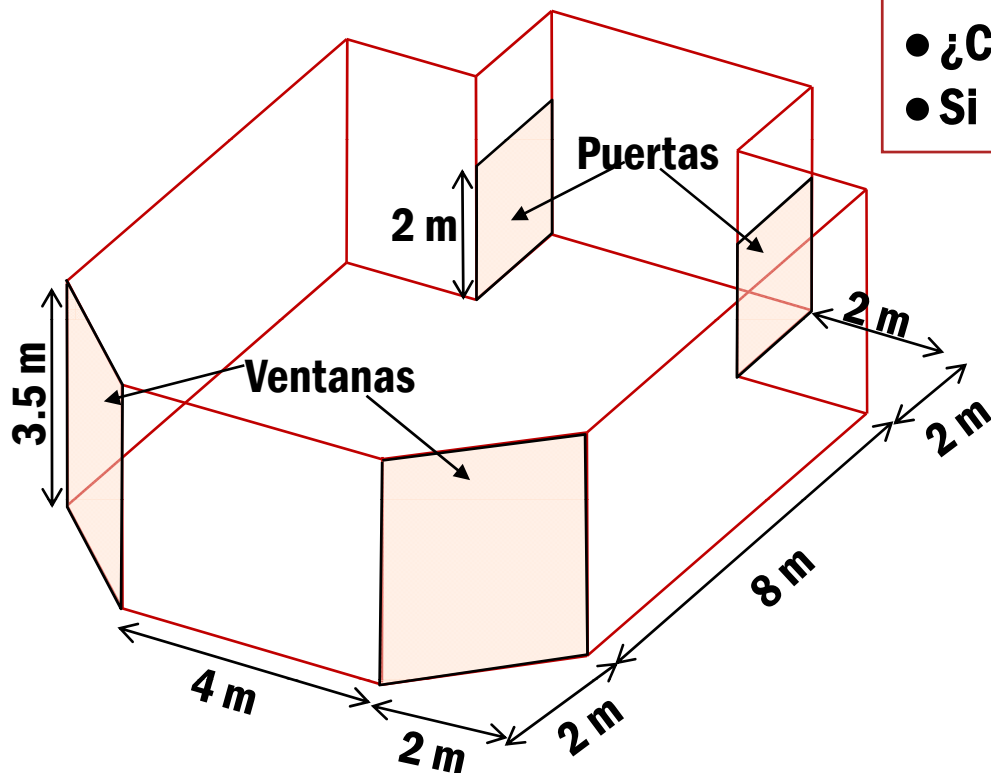
Tratamientos absorbentes uniformes del techo:				
Tipo de recinto		h Altura libre, (m ²)	S _t Área del techo. (m ²)	α _{m,t} Coeficiente de absorción acústica medio
Aulas (hasta 200 m ³)	Sin butacas tapizadas			$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,23 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) = \text{[]}$
	Con butacas tapizadas			$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,32 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) - 0,26 = \text{[]}$
Restaurantes y comedores				$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,18 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) - 0,10 = \text{[]}$

Tratamientos absorbentes adicionales al del techo:						
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio			Absorción acústica (m ²) α _m · S
			500	1000	2000	
$\sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i = \alpha_{m,t} \cdot S_t =$						



Herramienta de cálculo del DB-HR

Ejercicio Propuesto



- Sala de conferencias sin butacas.
- Estado inicial:
 - Paredes: Enlucido yeso
 - Techo: Enlucido yeso
 - Suelo: Parquet
 - Puertas: Madera
 - Ventanas: Vidrio
- ¿Cumple las exigencias del DB-HR?
- Si no cumple, tratamiento a ejecutar

GRACIAS POR LA ATENCIÓN

T. Zamarreño



teofilo@us.es

IUACC - E.T.S. de Arquitectura

