

ACONDICIONAMIENTO 1

SECCIÓN 2: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

TEMA 9:

Reverberación Tratamientos absorbentes

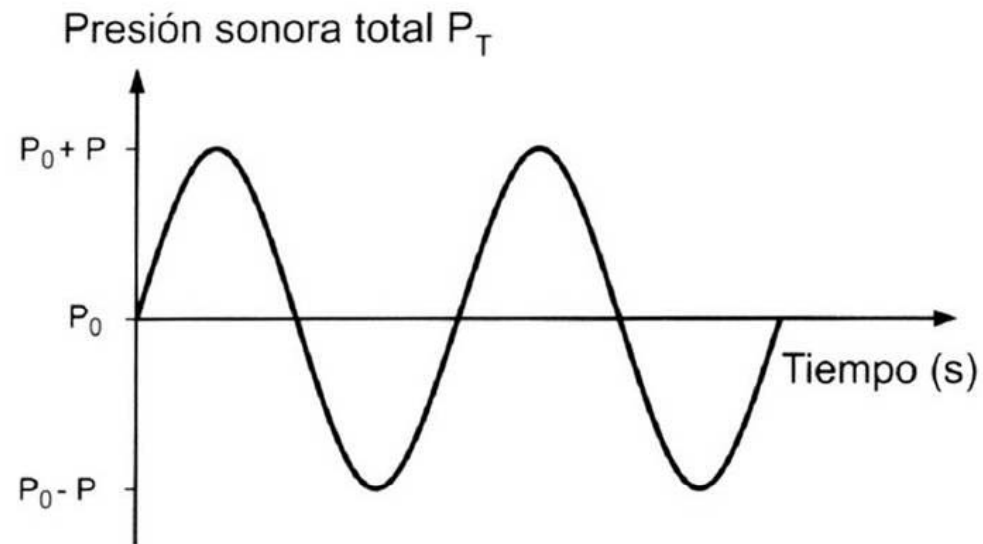


INTRODUCCIÓN

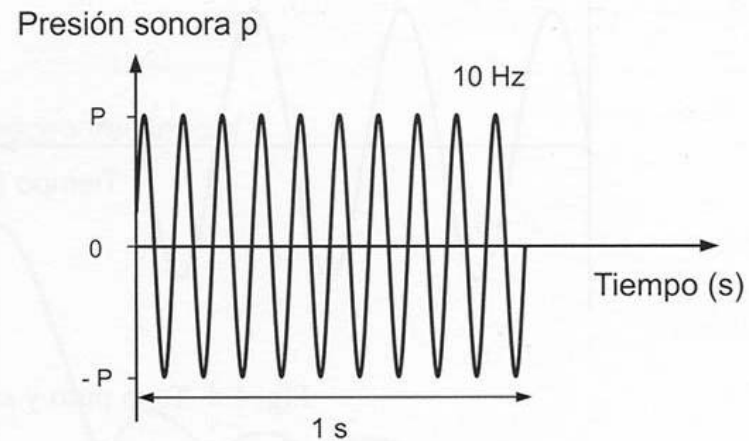
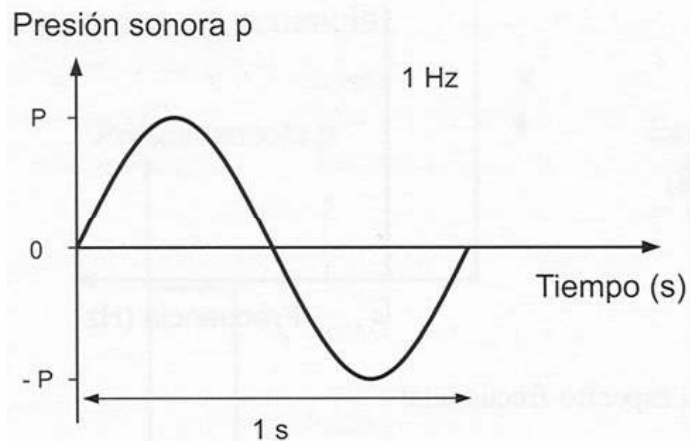


Simphony Hall de Boston

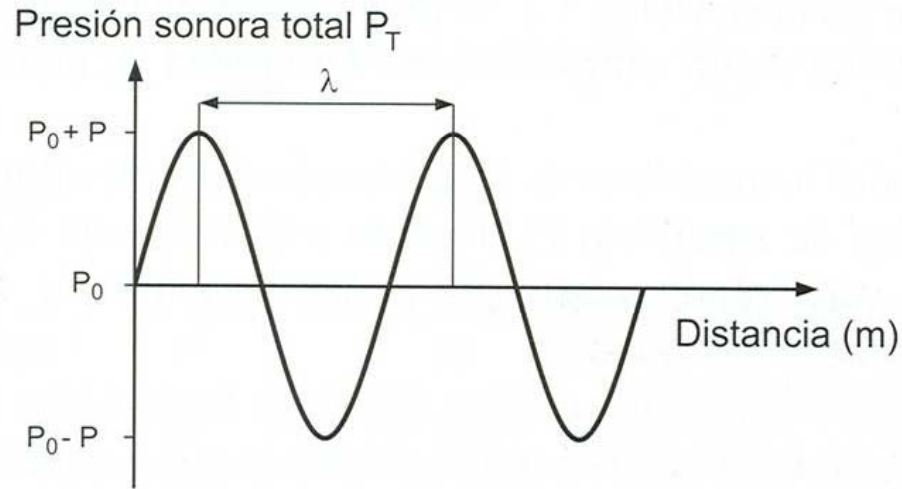
SONIDOS AUDIBLES



Evolución de la presión sonora total P_T en función del tiempo en un punto cualquiera del espacio

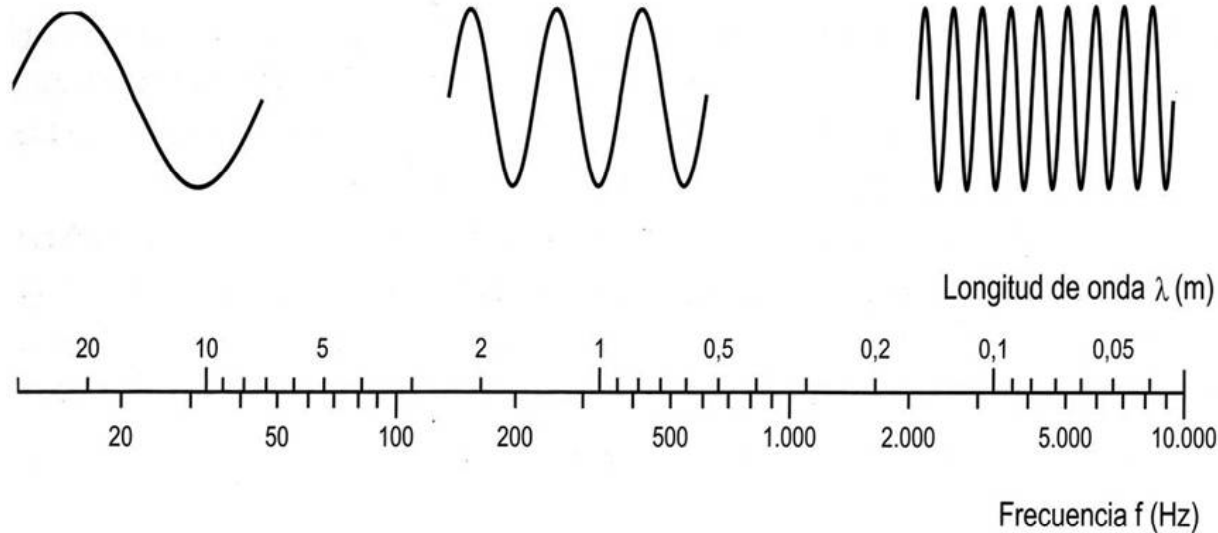


SONIDOS AUDIBLES



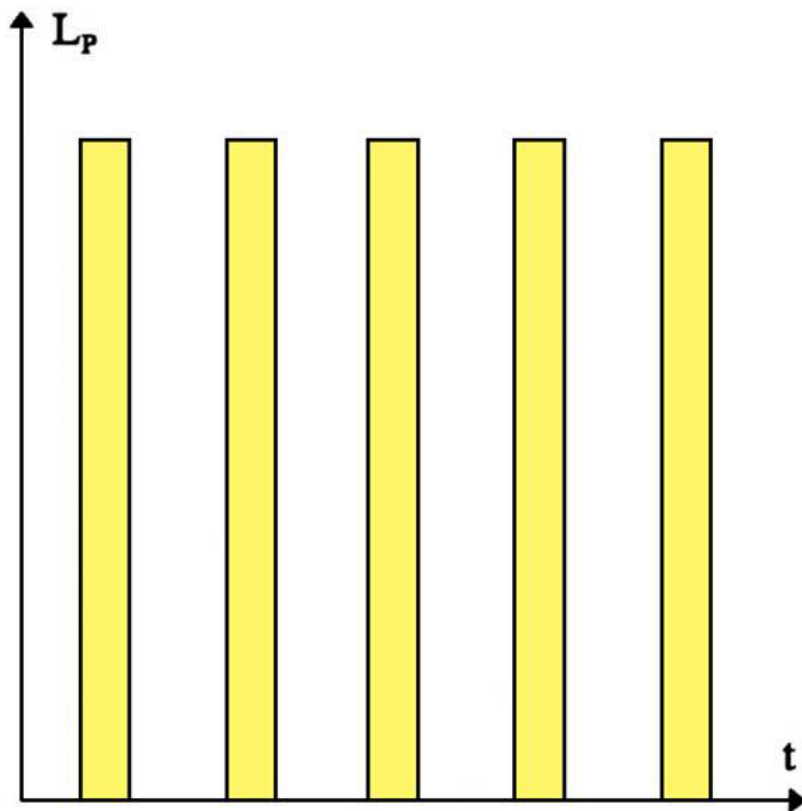
$$c = \frac{\lambda}{T} \rightarrow c = \lambda \cdot f$$

Longitud de onda (λ) del sonido

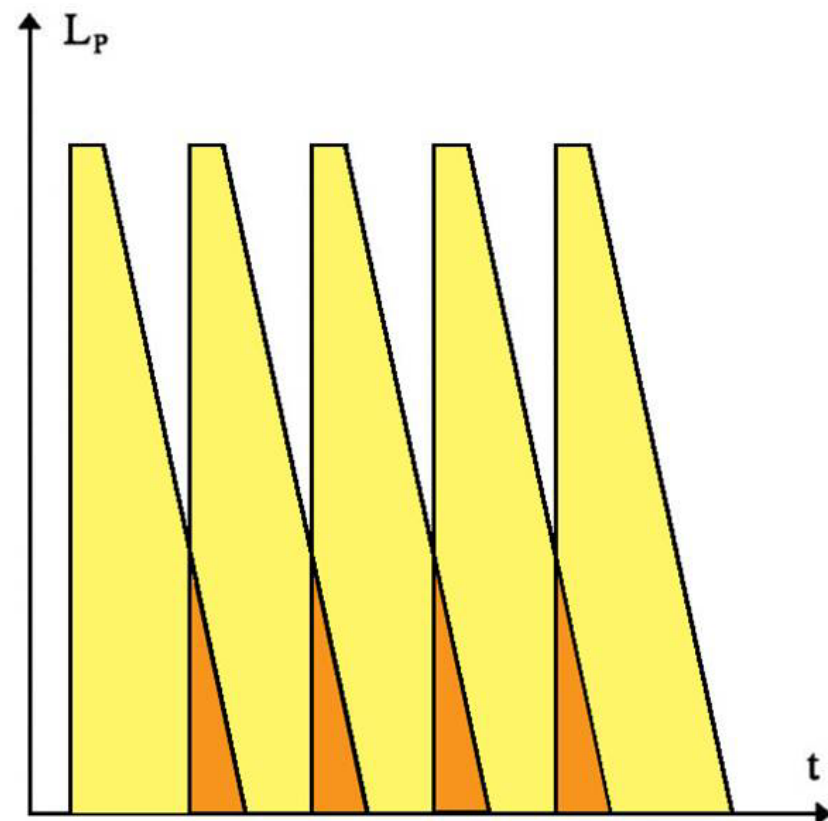


Relación entre longitud de onda (λ) y frecuencia (f) en el aire

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

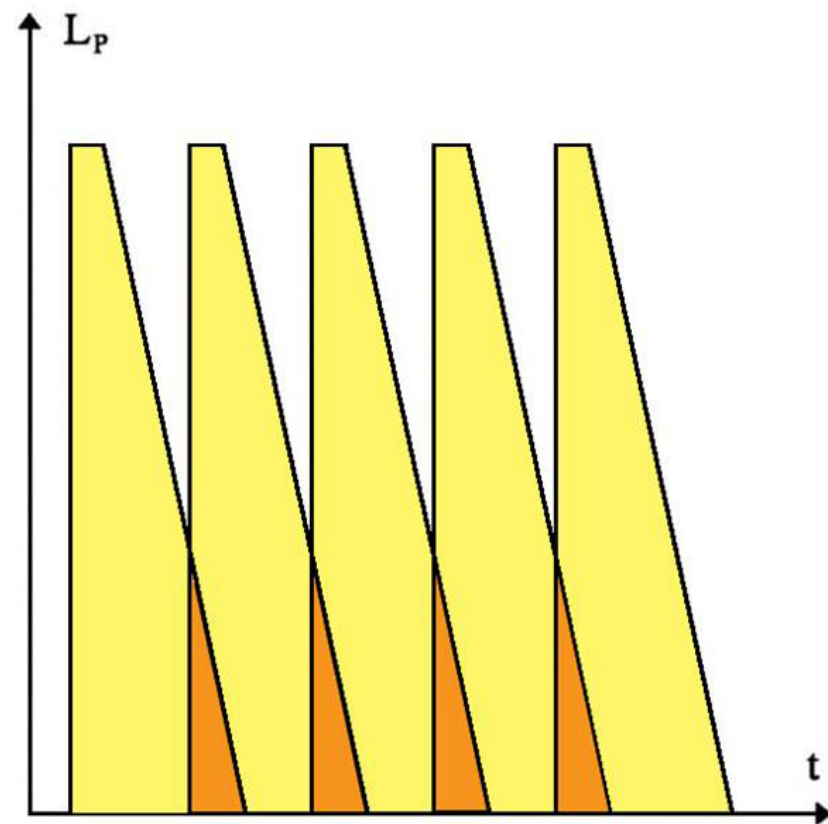
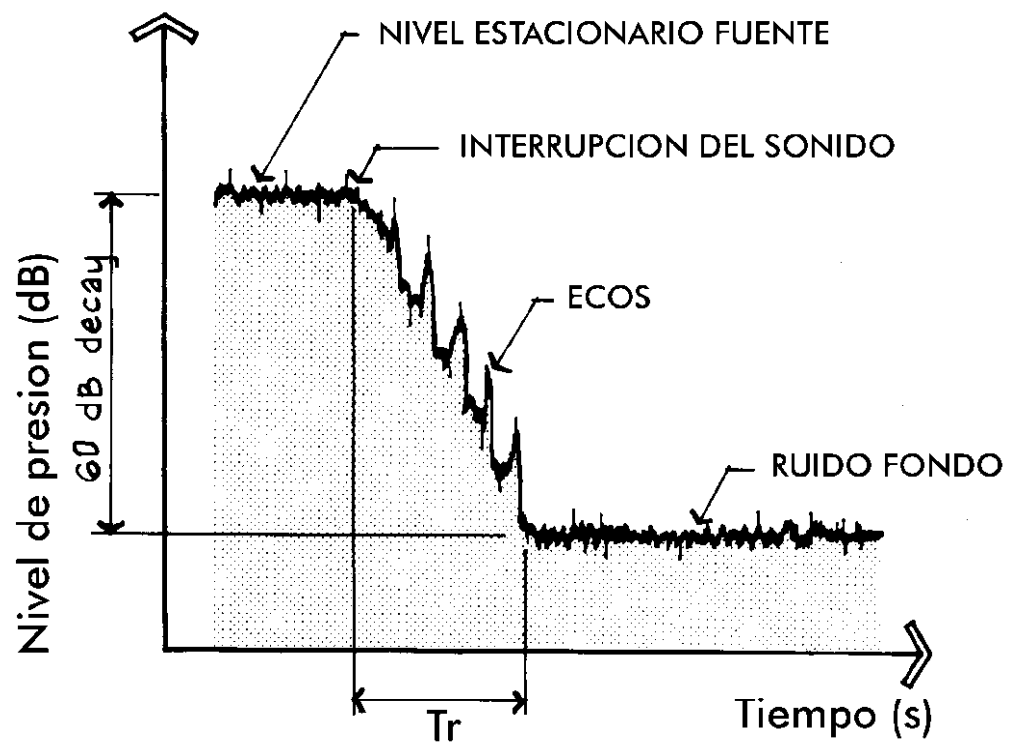


Impulsos en un recinto anecoico



Impulsos en un recinto reverberante

TIEMPO DE REVERBERACIÓN



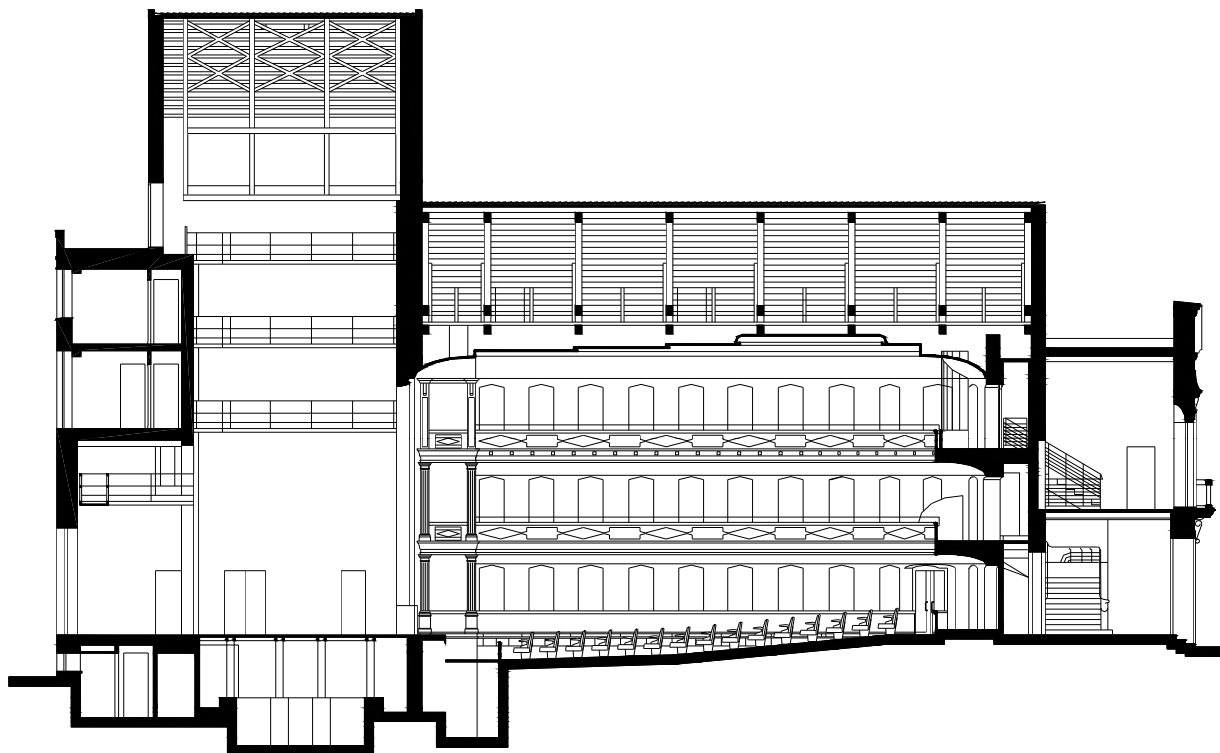
Impulsos en un recinto reverberante

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

VALORES DE 4m PARA EL AIRE

Humedad (%)	T(°C)	2000 Hz	4000 Hz	6300 Hz	8000 Hz
30%	15	0.0143	0.0486	0.1056	0.136
	20	0.0119	0.0379	0.0840	
	25	0.0114	0.0313	0.0685	
	30	0.0111	0.0281	0.0564	
50%	15	0.0099	0.0286	0.0626	0.086
	20	0.0096	0.0244	0.0503	
	25	0.0095	0.0235	0.0444	
	30	0.0092	0.0233	0.0426	
70%	15	0.0088	0.0233	0.0454	0.060
	20	0.0085	0.0213	0.0399	
	25	0.0084	0.0211	0.0388	
	30	0.0082	0.0207	0.0383	

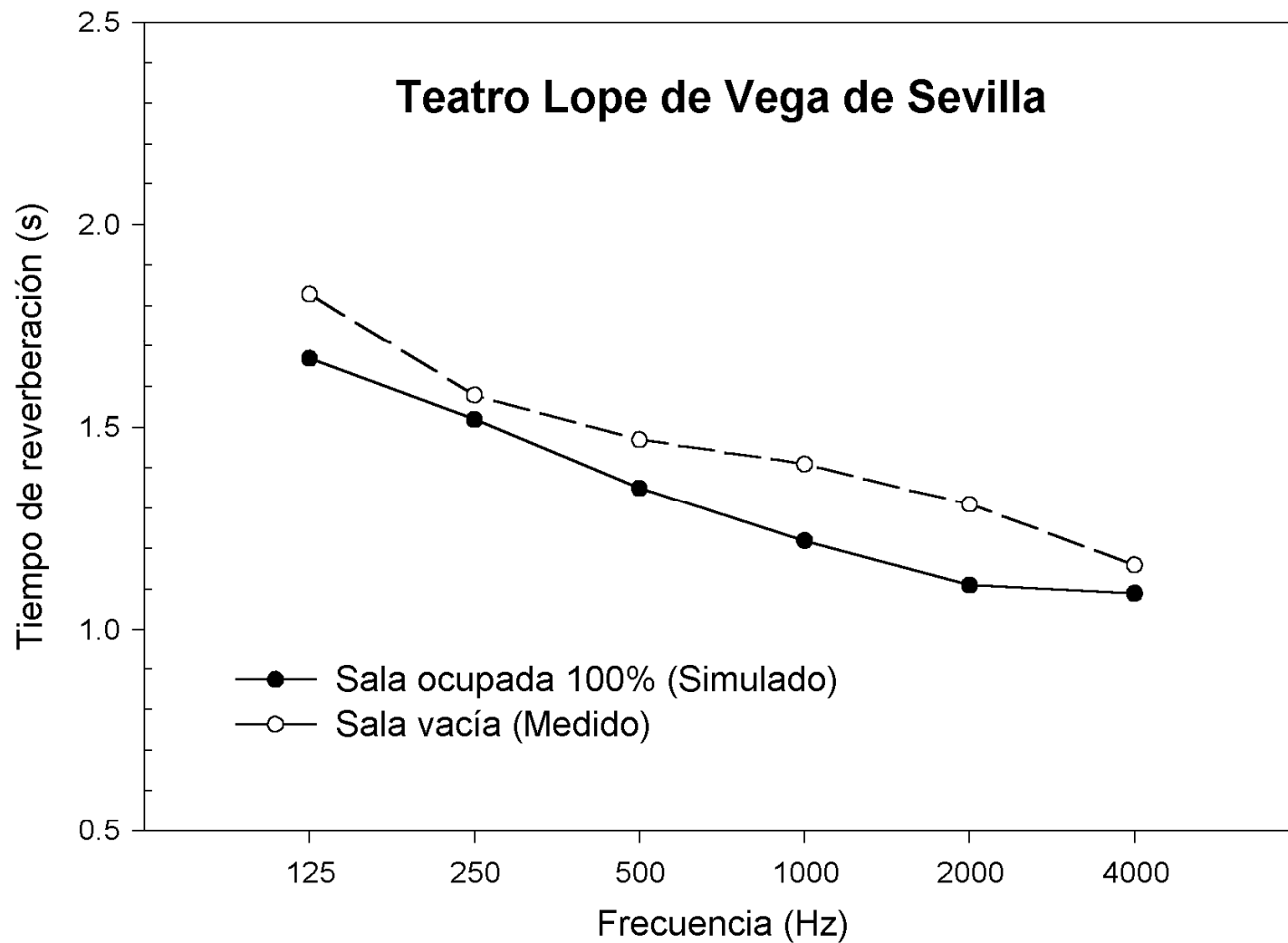
TIEMPO DE REVERBERACIÓN



Relación P/H	125 Hz	500 Hz	2000 Hz
2.5	0.30	0.50	0.60
3.0	0.40	0.65	0.75

Coeficientes de absorción de la superficie virtual de separación

TIEMPO DE REVERBERACIÓN



Curvas tonales de una sala

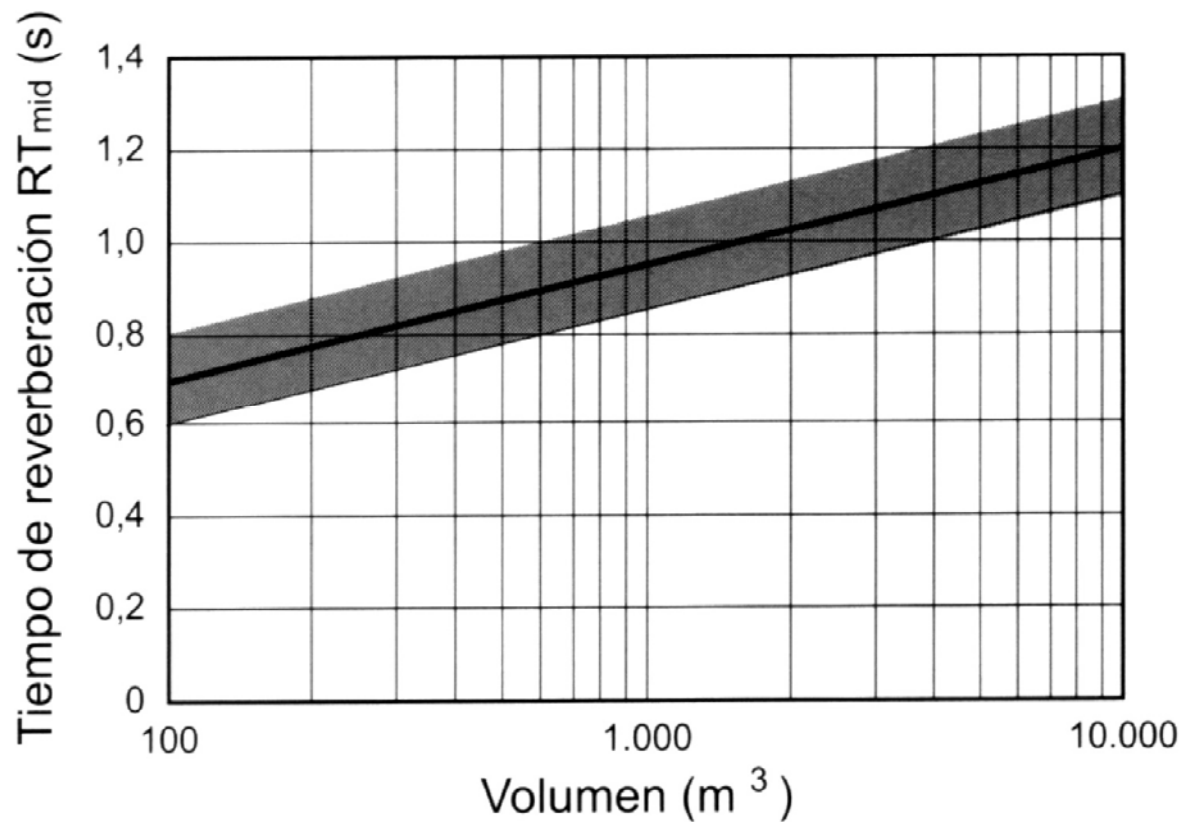
TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Coeficiente	Frecuencia en banda de octava					
f	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	1.30	1.15	1.00	0.90	0.90	0.90
u	Uso del recinto					
	Palabra	Música de ópera	Música de cámara	Música sinfónica	Música wagneriana	Música religiosa
	0.075	0.080	0.085	0.090	0.095	0.100
i	Existencia de apoyo electroacústico					
	Con apoyo electroacústico			Sin apoyo electroacústico		
	0.85			1		

$$\text{Pérez Miñana: } TR_{\text{opt}}: f \cdot u \cdot i \cdot V^{1/3}$$

Expresión del Tr óptimo según Pérez Miñana. Valores de los coeficientes

TIEMPO DE REVERBERACIÓN



Margen de valores recomendados de RT_{mid} en función del volumen del recinto (sala ocupada)

RT_{mid}: Media aritmética valores a 500 Hz y 1 kHz

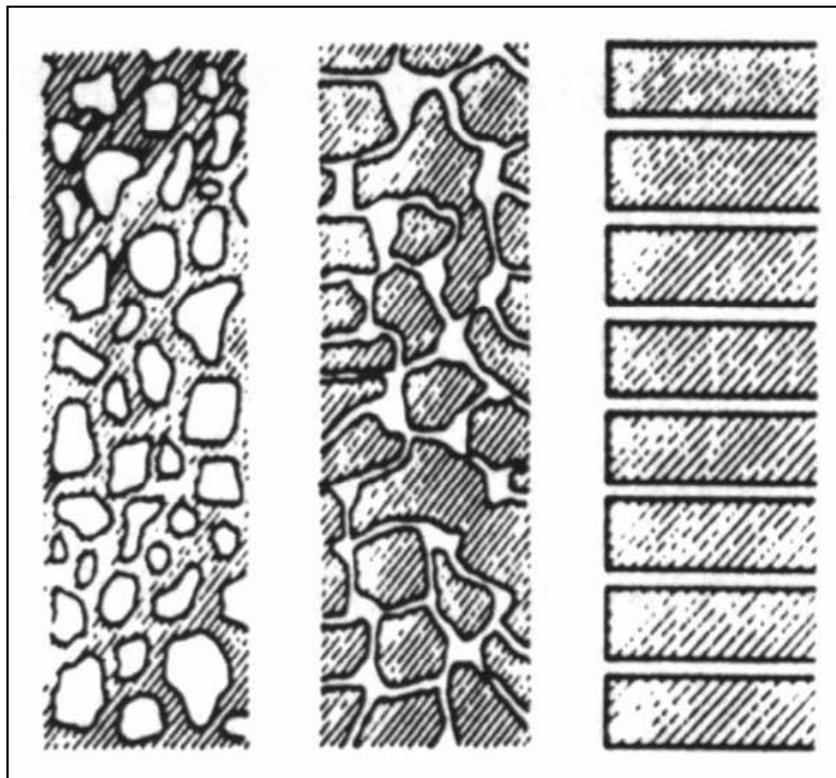
TIEMPO DE REVERBERACIÓN

TIPO DE SALA	RT_{mid} , SALA OCUPADA (EN s)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

Márgenes de valores recomendados de Tr_{mid} en función del tipo de sala (recintos ocupados)

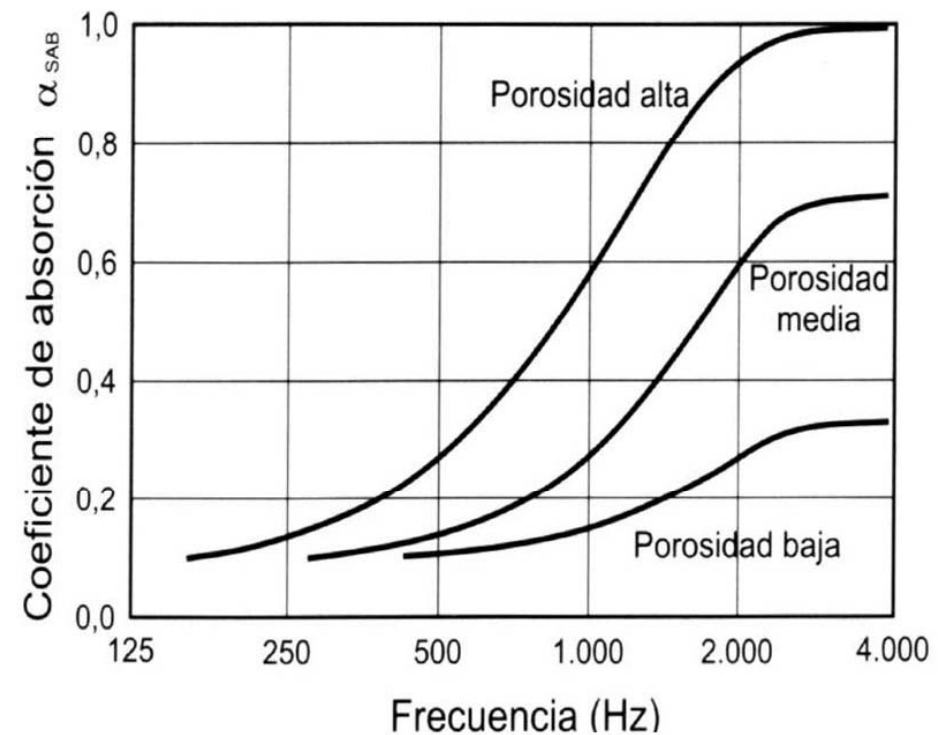
TRATAMIENTOS ABSORBENTES

Frecuencias ALTAS



Materiales porosos de diferentes tipos

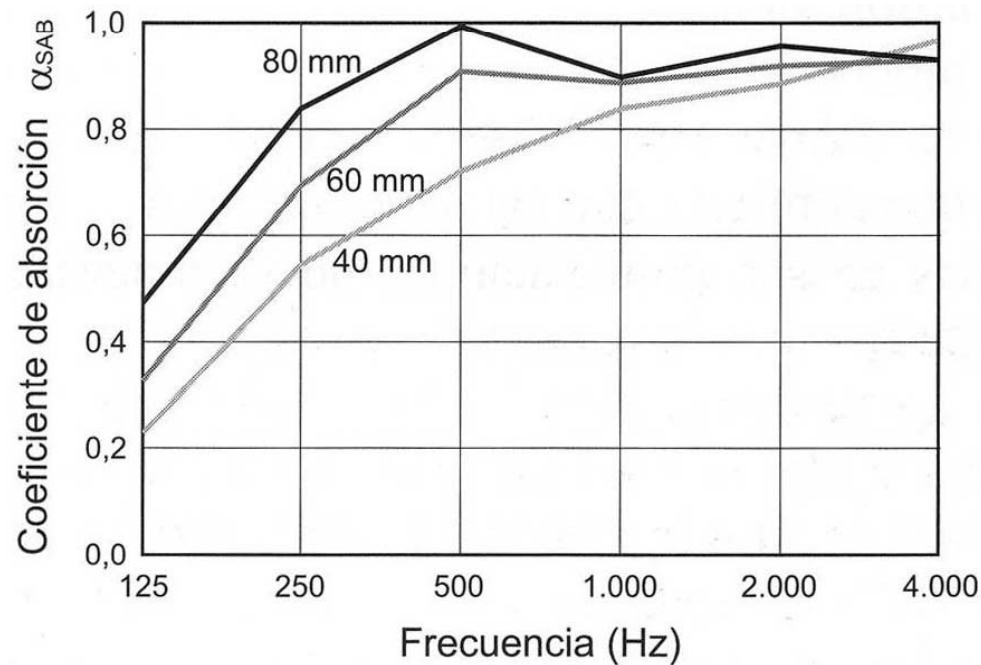
ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL MATERIAL



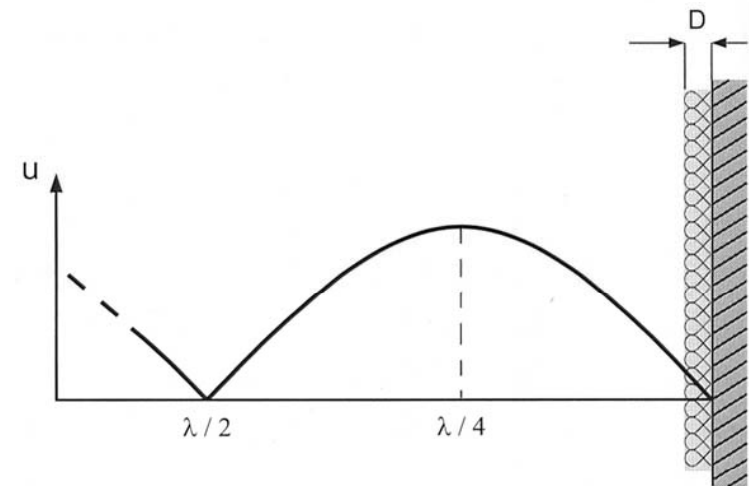
Variación de la absorción en función de la frecuencia de un material absorbente con distintos grados de porosidad

TRATAMIENTOS ABSORBENTES

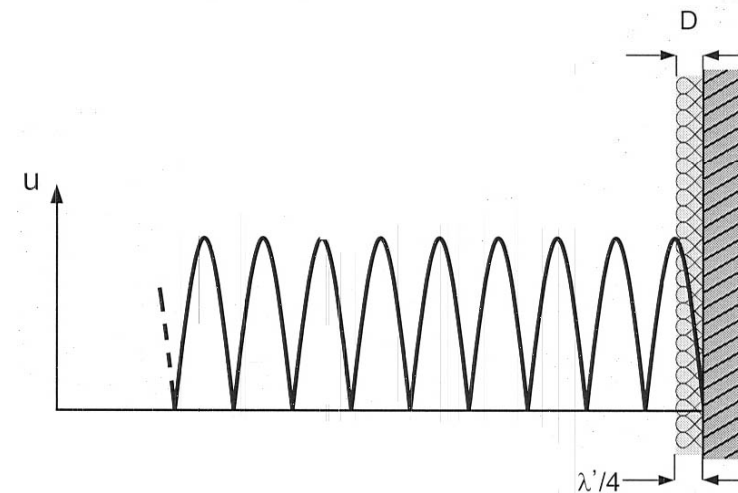
ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL MATERIAL



Variación de la absorción en función de la frecuencia para diferentes espesores de un material absorbente comercial a base de lana de vidrio



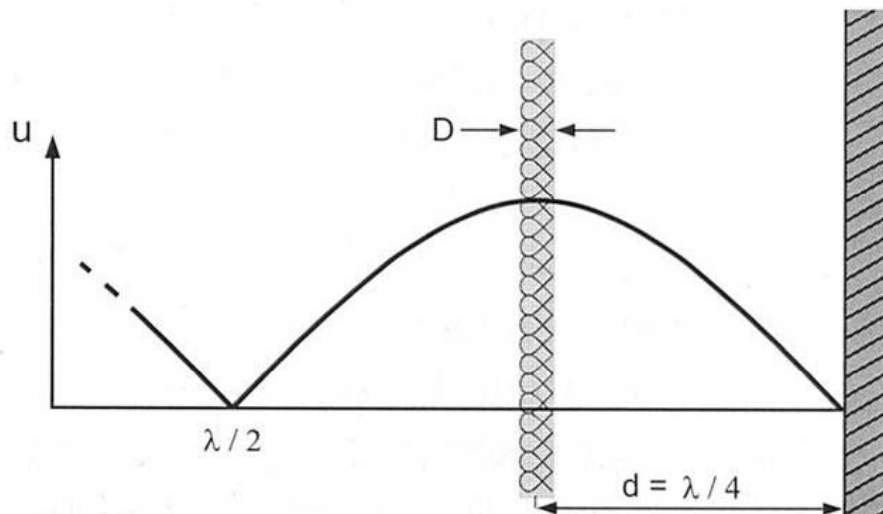
Evolución de la amplitud de la velocidad “ u ” de las partículas de aire en función de la distancia a la pared rígida ($D \ll \lambda'$)



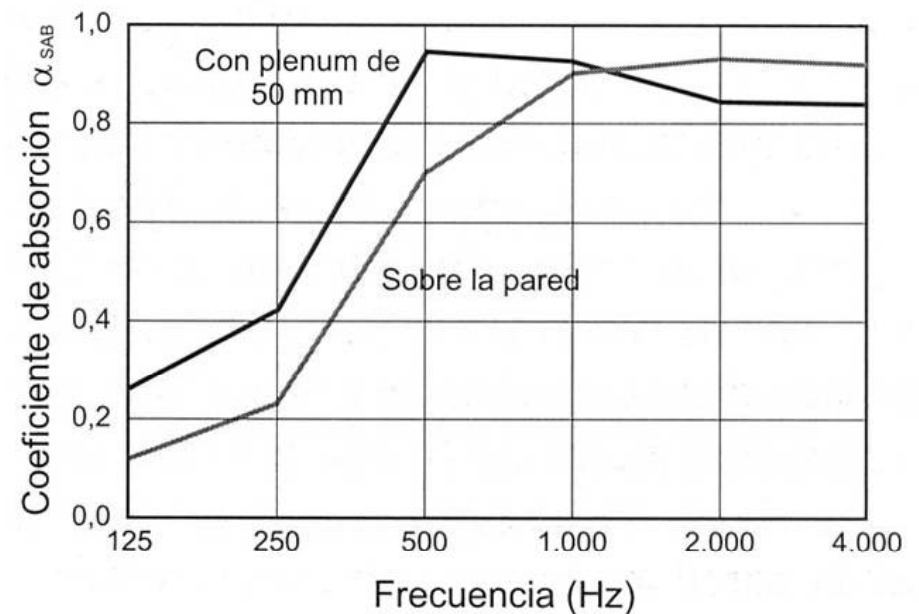
Evolución de la amplitud de la velocidad “ u ” de las partículas de aire en función de la distancia a la pared rígida ($D = \lambda'/4$)

TRATAMIENTOS ABSORBENTES

ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA A LA PARED RÍGIDA



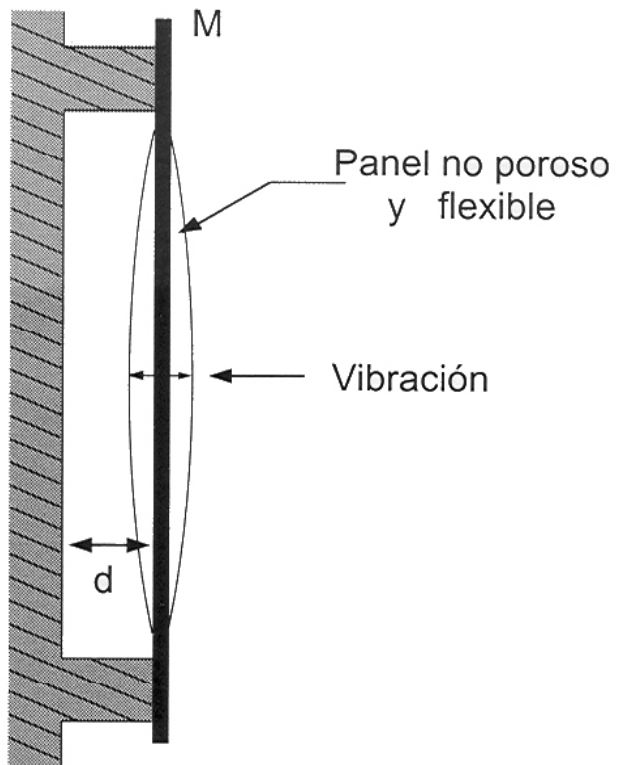
Amplitud de la velocidad “u” de las partículas de aire en el interior de un material absorbente situado a una distancia de la pared rígida $d = \lambda/4$



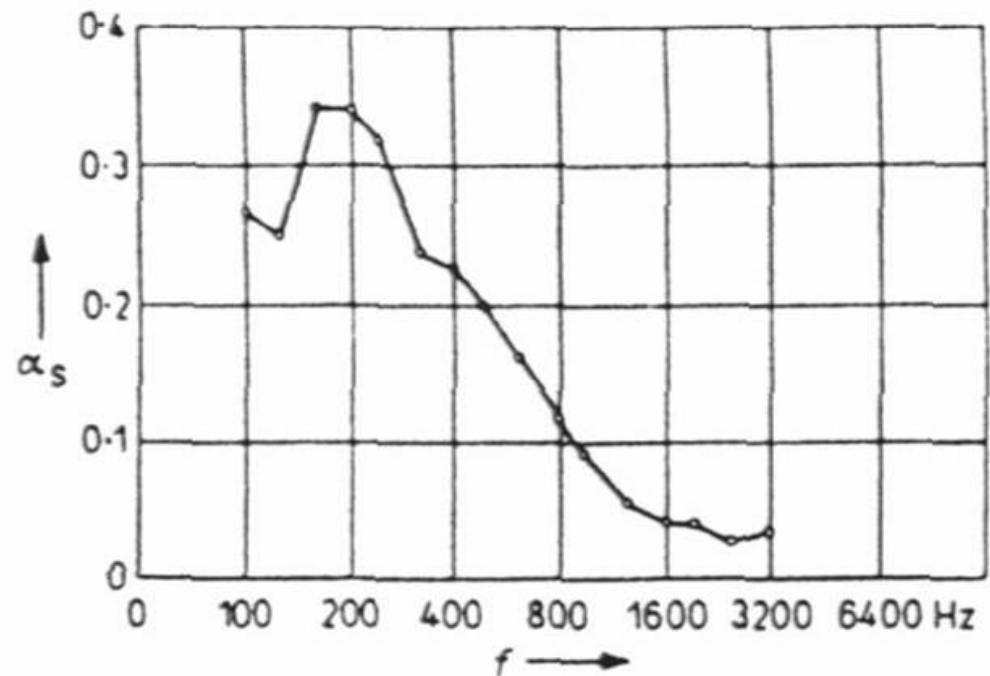
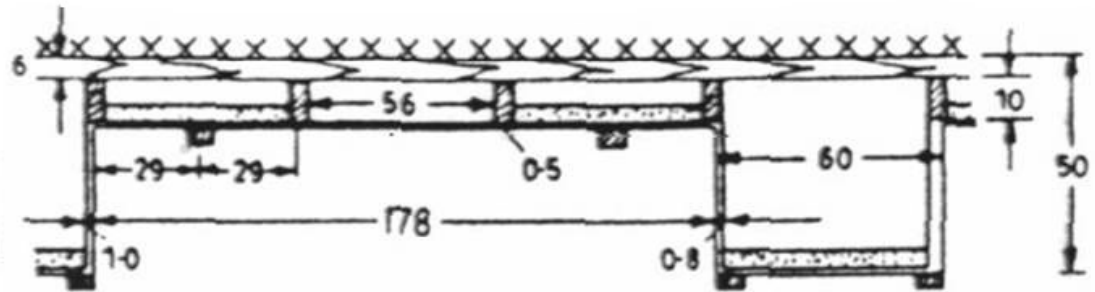
Coeficientes de absorción de una lana de roca de 30 mm de espesor y 46 Kg/m³ de densidad, montada: a) sobre una pared de hormigón; b) a una distancia de 50 mm de la pared

TRATAMIENTOS ABSORBENTES

Frecuencias BAJAS

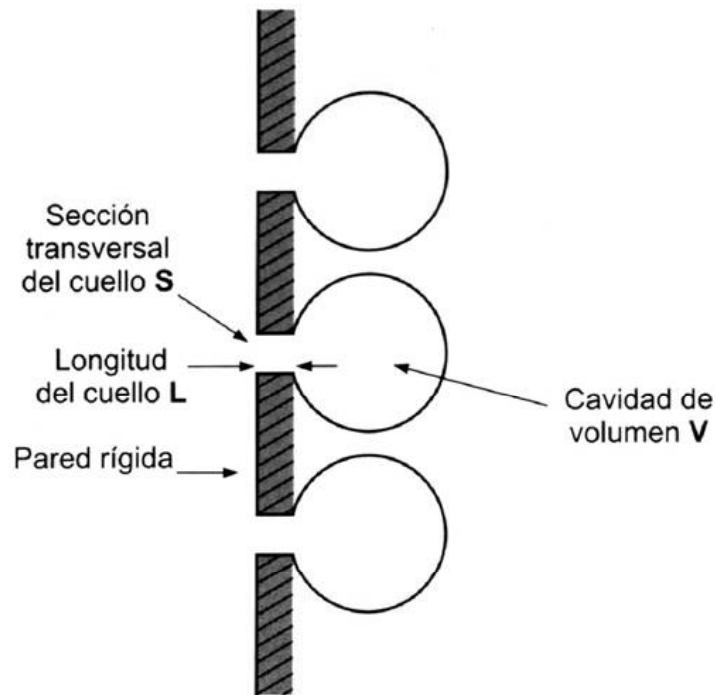


RESONADORES DE MEMBRANA



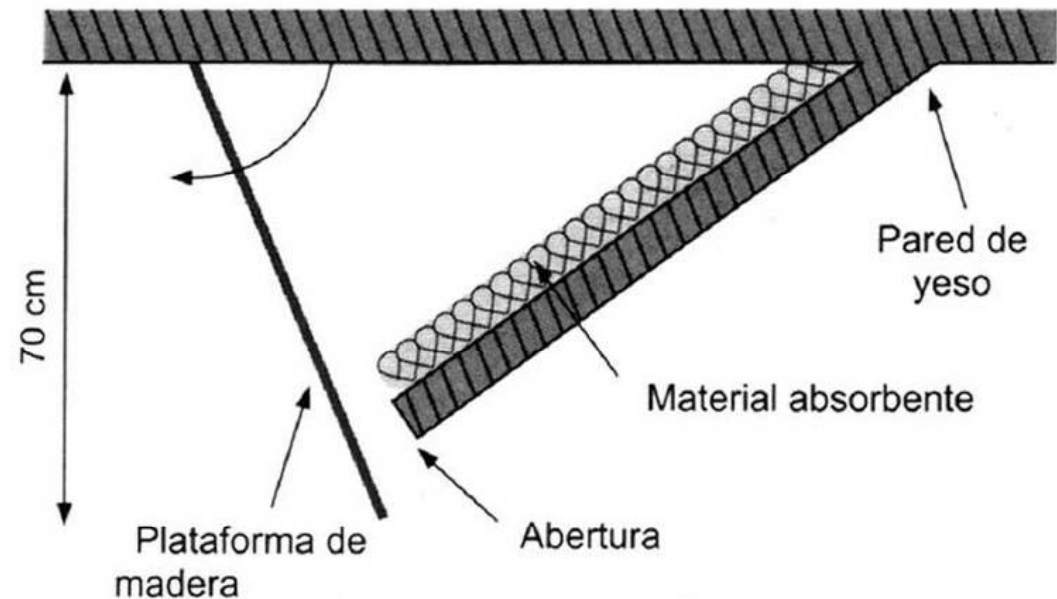
TRATAMIENTOS ABSORBENTES

Frecuencias BAJAS



Esquema básico de una agrupación de resonadores simples de cavidad (Helmholtz) montados en una pared

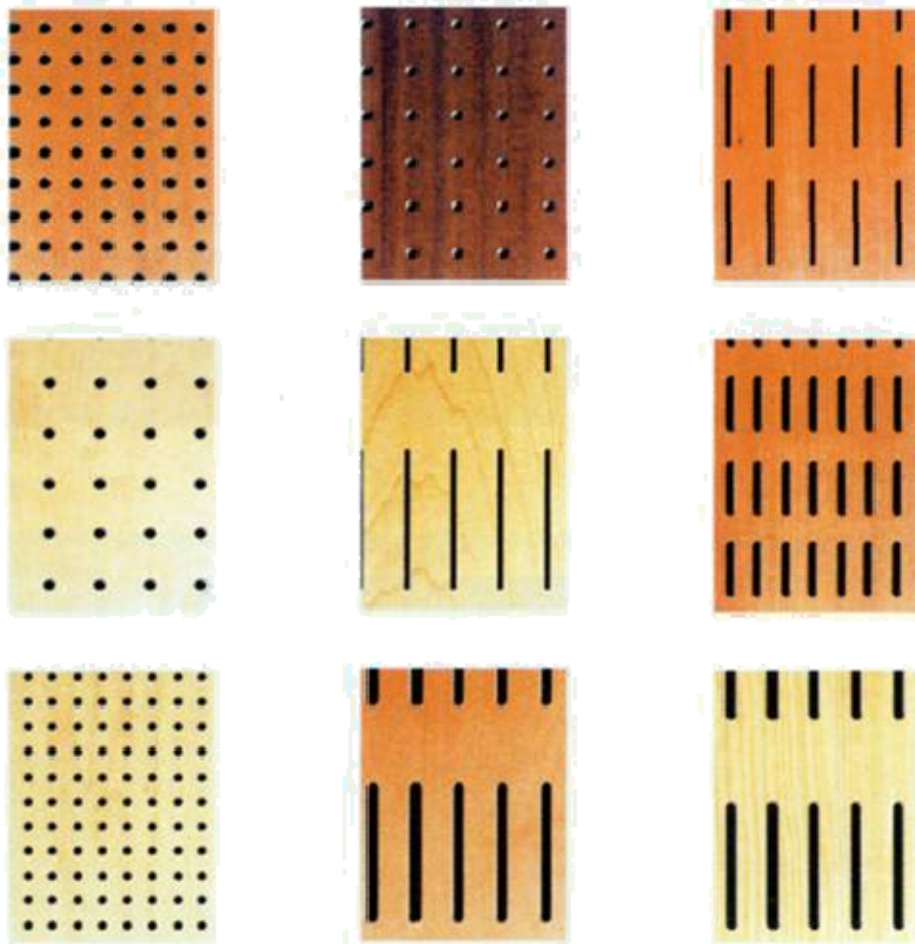
RESONADORES SIMPLES (HELMHOLTZ)



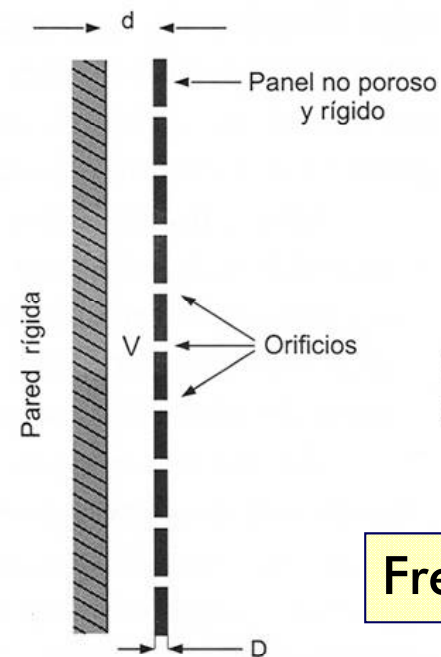
Corte transversal del tipo de resonador simple de cavidad (Helmholtz) instalado en la Berlin Philharmonie (Alemania)

TRATAMIENTOS ABSORBENTES

RESONADORES MÚLTIPLES (HELMHOLTZ)

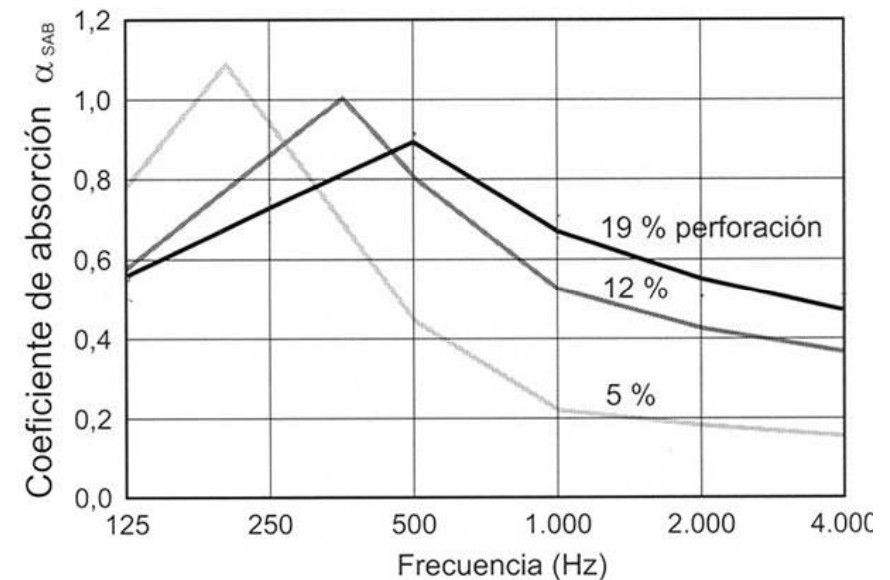


Paneles ranurados y perforados



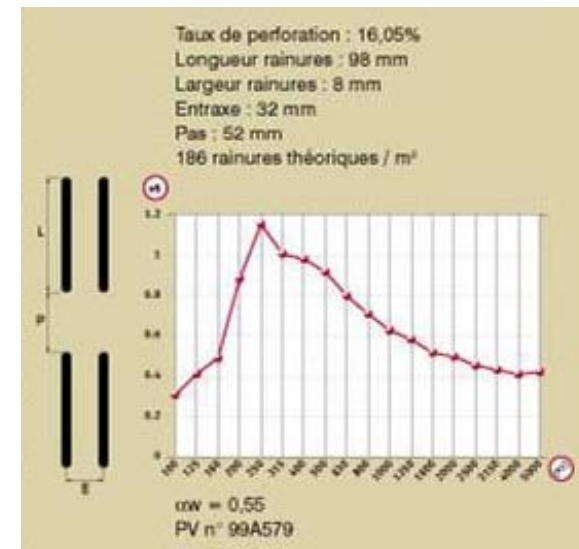
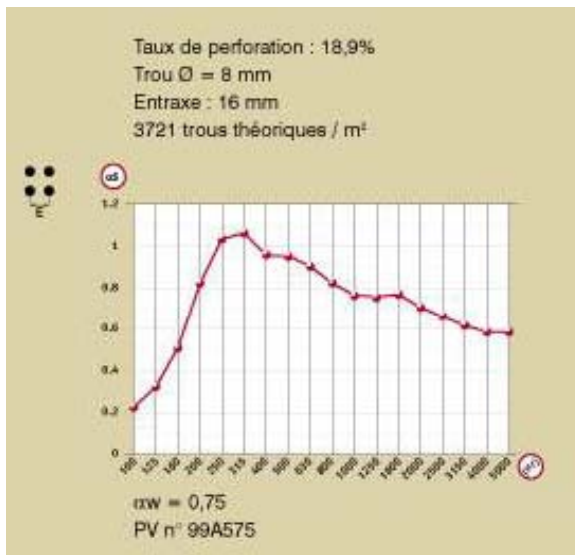
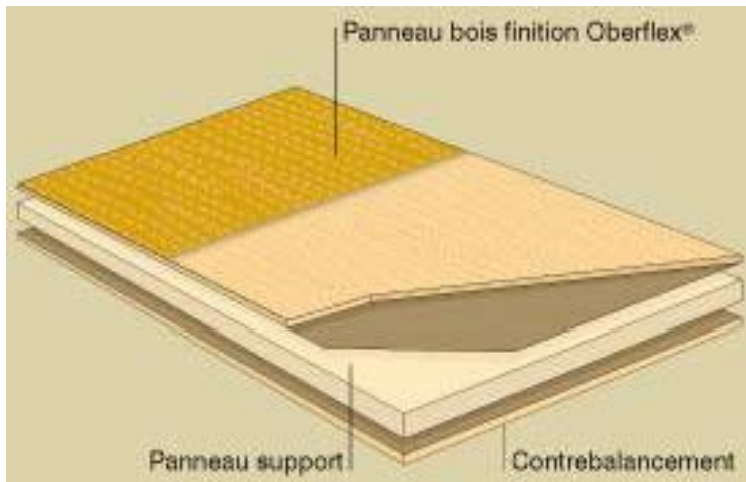
Esquema básico de un resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados

Frecuencias MEDIAS



TRATAMIENTOS ABSORBENTES

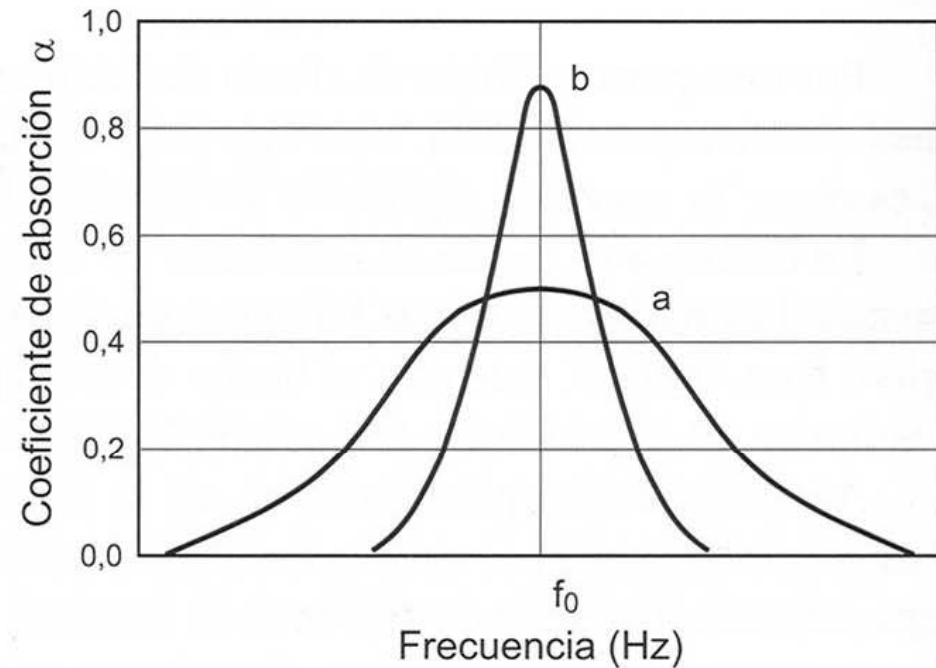
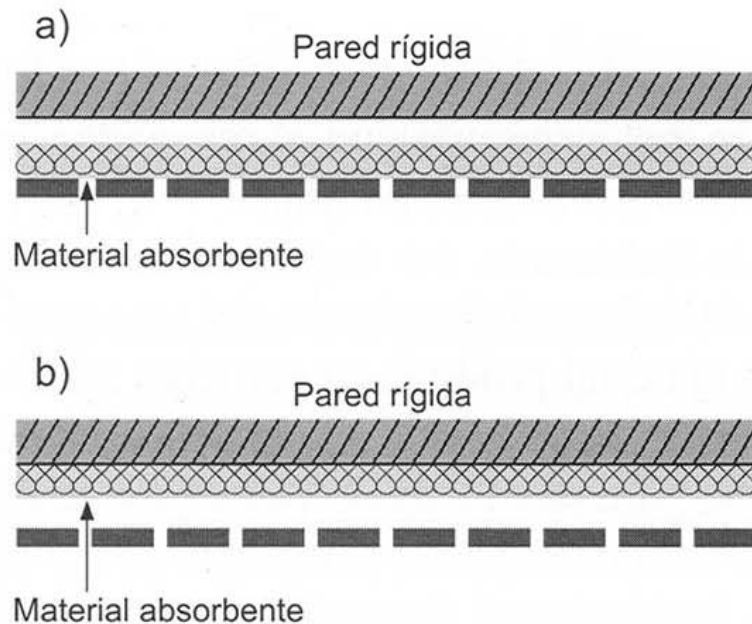
Frecuencias MEDIAS



Ejemplos de paneles perforados y ranurados

TRATAMIENTOS ABSORBENTES

Frecuencias MEDIAS



Coeficientes de absorción genéricos de un resonador múltiple: a) con el material absorbente en contacto con el panel; b) con el material adosado a la pared rígida

ABSORCIÓN DE BUTACAS

FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79
Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada	0,56	0,64	0,70	0,72	0,68	0,62
Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55

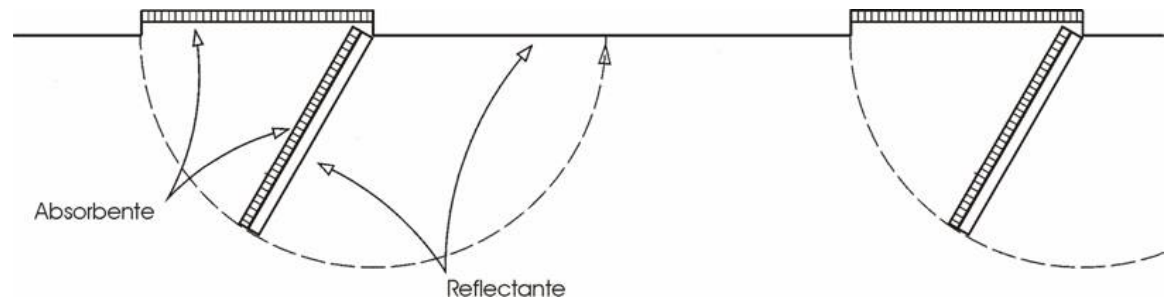
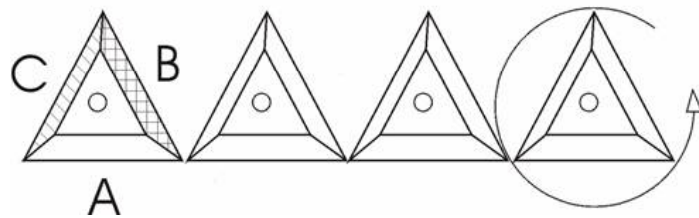
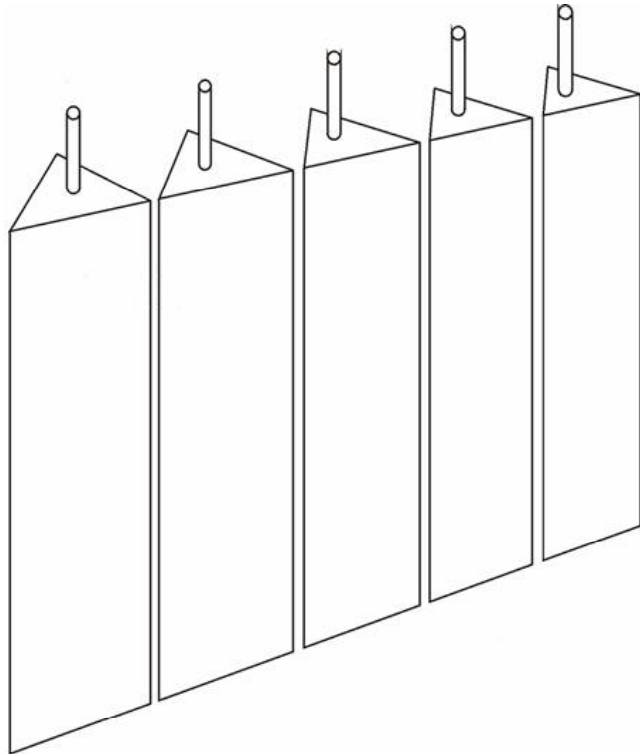
Coeficientes de absorción de sillas vacías (según Beranek, 1.996)

FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada	0,76	0,83	0,88	0,91	0,91	0,89
Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86

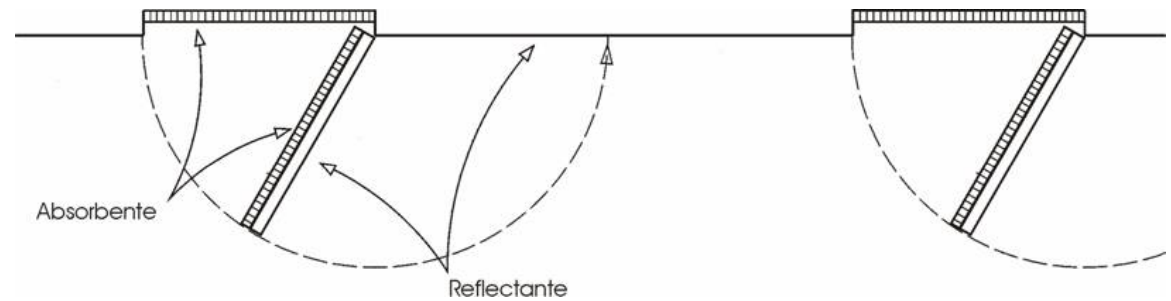
Coeficientes de absorción de sillas ocupadas (según Beranek, 1.996)



MECANISMOS DE ABSORCIÓN VARIABLE



MECANISMOS DE ABSORCIÓN VARIABLE



REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

VALORES LÍMITE DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN (Ap. 2.2)

LOCAL / USO	SITUACIÓN / ESTADO	LIMITACIÓN
AULAS Y SALAS DE CONFERENCIAS $V < 350 \text{ m}^3$	VACÍAS Sin mobiliario	$Tr \leq 0.7 \text{ s}$
	VACÍAS Con mobiliario (BUTACAS)	$Tr \leq 0.5 \text{ s}$
RESTAURANTES Y COMEDORES	VACÍOS	$Tr \leq 0.9 \text{ s}$
ZONAS COMUNES (Uso residencial público, docente y hospitalario)	Zona común colindante con RECINTOS PROTEGIDOS con los que comparten puertas	$A(\text{m}^2) \geq 0.2 \cdot V (\text{m}^3)$

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

MÉTODOS DE CÁLCULO

- **MÉTODO DE CÁLCULO GENERAL** (Ap. 3.2.2.):

- ❑ Se obtiene el tiempo de reverberación a partir de:
 - Volumen de la sala “V” en m^3
 - Absorción sonora de la sala “A” en m^2

- **MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO**(Ap. 3.2.3.):

- ❑ Consiste en un tratamiento absorbente aplicado, inicialmente, sólo al techo del recinto:
- ❑ Solamente válido en los siguientes casos:
 - Aulas y salas de conferencia ($V < 350 m^3$)
 - Restaurantes y comedores.

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

❑ **AULAS y SALAS DE CONFERENCIAS:**

- Ambas opciones de cálculo son aplicables si los recintos son de formas prismáticas rectas o asimilables

❑ **ABSORCIÓN ACÚSTICA DE ZONAS COMUNES:**

- Cálculo de la absorción siguiendo el método de cálculo general.

❑ **PARÁMETROS NECESARIOS:**

- Coeficiente de absorción medio α_m de los revestimientos y acabados superficiales (si no se dispone de α_m se puede tomar el valor ponderado α_w).
- Área de absorción acústica equivalente medio $A_{o,m}$ del mobiliario fijo (butacas).

❑ **CÁLCULOS NECESARIOS:**

- Uno por cada recinto diferente en forma, tamaño y acabados y/o revestimientos.

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

MÉTODO DE CÁLCULO GENERAL DEL T. REVERBERACIÓN (Ap. 3.2.2.)

$$T(s) = \frac{0.16 \cdot V(m^3)}{A(m^2)}$$

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$$

$\alpha_{m,i}$ coeficiente de absorción acústica medio de cada paramento, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz;

$$\alpha_m = \frac{\alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{3}$$

S_i área de paramento cuyo coeficiente de absorción es α_i , [m²];

$A_{O,m,j}$ área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente [m²];

V volumen del *recinto*, [m³].

$\overline{m}_m$ coeficiente de absorción acústica medio en el aire, para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz y de valor 0,006 m⁻¹.

El término $4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$ es despreciable en los *recintos* de volumen menor que 250 m³.

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

LIMITACIÓN RUIDO REVERBERANTE DE ZONAS COMUNES

$$A(m^2) \geq 0.2 \cdot V(m^3)$$

- Para limitar el ruido reverberante en las zonas comunes, la absorción acústica de los elementos constructivos que delimitan una zona común de un edificio de uso residencial público, docente y hospitalario colindante con recintos protegidos con los que comparten puertas, será al menos 0,2 m² por cada metro cúbico del volumen del recinto.

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO. TRAT. ABSORBENTES. (Ap. 3.2.3.)

TRATAMIENTOS ABSORBENTES UNIFORMES DEL TECHO



- AULAS y SALAS DE CONFERENCIAS $v < 350 \text{ m}^3$

sin butacas tapizadas:

$$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,23 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right)$$

con butacas tapizadas fijas:

$$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,32 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) - 0,26$$



- RESTAURANTES y COMEDORES

$$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,18 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right)$$

siendo

h altura libre del *recinto*, [m];

S_t área del techo, [m²].

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO. TRAT. ABSORBENTES. (Ap. 3.2.3.)

TRATAMIENTOS ABSORBENTES ADICIONALES

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



• ABSORBENTES EN PAREDES

- $\alpha_{m,t}$ coeficiente de absorción acústica medio del techo obtenido de las expresiones 3.27, 3.28 y 3.29, según corresponda;
- S_t área del techo, [m²];
- $\alpha_{m,i}$ coeficiente de absorción acústica medio del material utilizado para tratar el área S_i ;
- S_i área de paramento cuyo coeficiente de absorción es $\alpha_{m,i}$, [m²].

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

RECOMENDACIONES DE DISEÑO (Anejo K)

☐ **APLICACIÓN:**

- Aulas y salas de conferencias $V \leq 350 \text{ m}^3$.

☐ **OBJETIVO:**

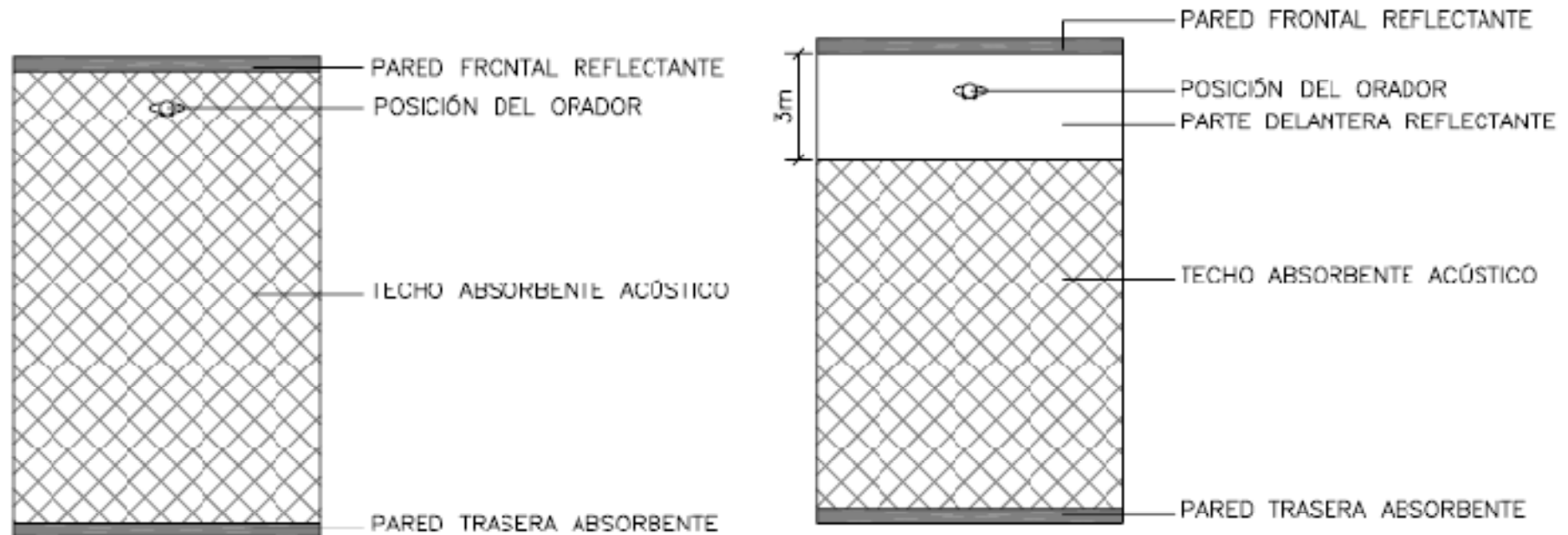
- Mejorar la inteligibilidad de la palabra.

☐ **RECOMENDACIONES:**

- Evitar recintos cúbicos o con proporciones entre lados que sean números enteros.
- Distribuir el material absorbente según alguna de las dos opciones siguientes.
- Es más recomendable disponer un pasillo central que dos pasillos laterales.

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

RECOMENDACIONES DE DISEÑO (Anejo K)



❑ OPCIÓN 1:

- Absorbente en toda la superficie del techo.
- Pared frontal reflectante y la de fondo absorbente

❑ OPCIÓN 2:

- Parte delantera del techo reflectante (3m).
- Pared frontal reflectante y la de fondo absorbente ($\alpha_{m,p} \sim \alpha_{m,t}$).

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

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):			
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⁾		N número	Coeficiente de atenuación del aire, $\overline{m}_m$ (m ⁻¹)				4 · $\overline{m}_m$ · V
			500	1000	2000	$\overline{m}_m$	
			0,003	0,005	0,01	0,008	
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante			$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$				
T, (s) Tiempo de reverberación resultante			$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$				
Absorción acústica resultante de la zona común A (m ²)=			Absorción acústica exigida =0,2 · V				
Tiempo de reverberación resultante T (s)=			Tiempo de reverberación exigido				

⁽¹⁾ Sólo para salas de conferencias de volumen hasta 350 m³

⁽²⁾ Sólo para volúmenes mayores a 250 m³

REVERBERACIÓN y ABSORCIÓN EN EL CTE-DB-HR

K.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)	S_t Área del techo. (m ²)
		$\alpha_{m,t}$ Coeficiente de absorción acústica medio	
Aulas (hasta 250 m ³)	Sin butacas tapizadas		$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,23 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) =$
	Con butacas tapizadas		$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,32 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) - 0,26 =$
Restaurantes y comedores			$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,18 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) =$

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