

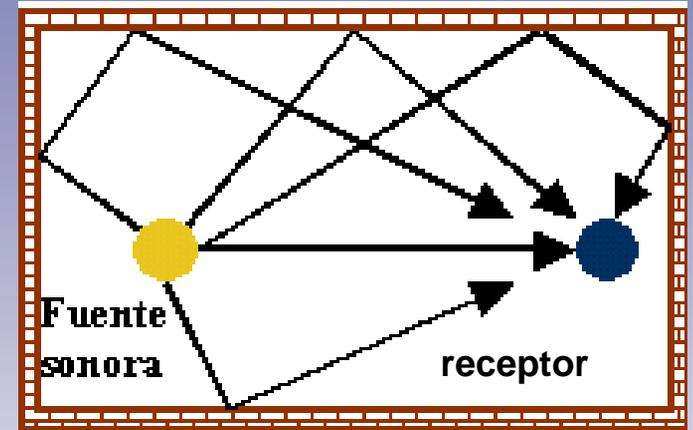
TEMA 5

Acústica de recintos

5.1. Introducción

- Propagación sonido en un recinto: reflexión en paredes, techo, suelo, objetos...
- Evolución del campo acústico: difícil de determinar

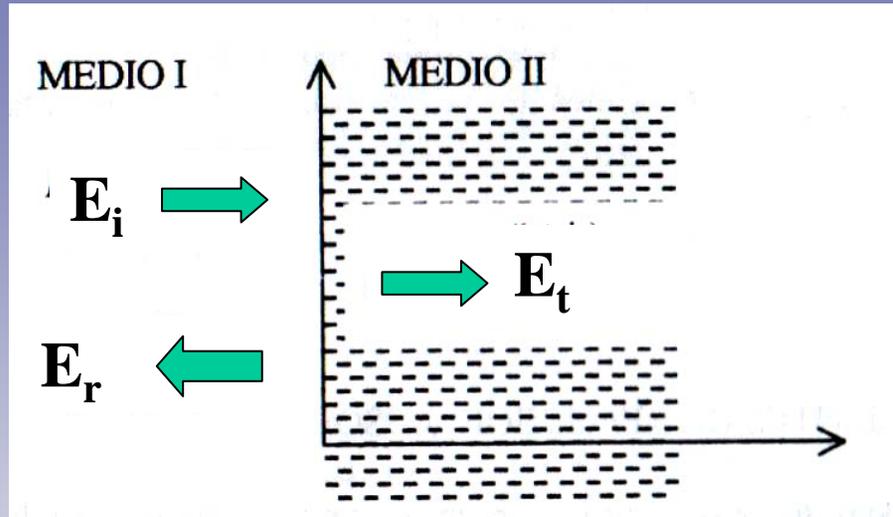
**CALIDAD DEL SONIDO:
PROCESO DE REVERBERACION**



CAMPO SONORO DENTRO DEL RECINTO:

- CAMPO DIRECTO
- CAMPO SONORO REVERBERANTE: ondas reflejadas al menos una vez
- ZONA DE CAMPO DIRECTO: próxima a fuente sonora
- ZONA CAMPO REVERBERANTE: lejos de fuente sonora

5.2. Coeficientes de reflexión y absorción



Coeficiente de reflexión:
$$\alpha_r = \frac{E_r}{E_i}$$

Coeficiente de absorción:
$$\alpha = 1 - \alpha_r = \frac{E_i - E_r}{E_i}$$

Potencia absorbida por superficies interiores del recinto:

$$W_a = A \cdot I$$

Absorción del recinto:

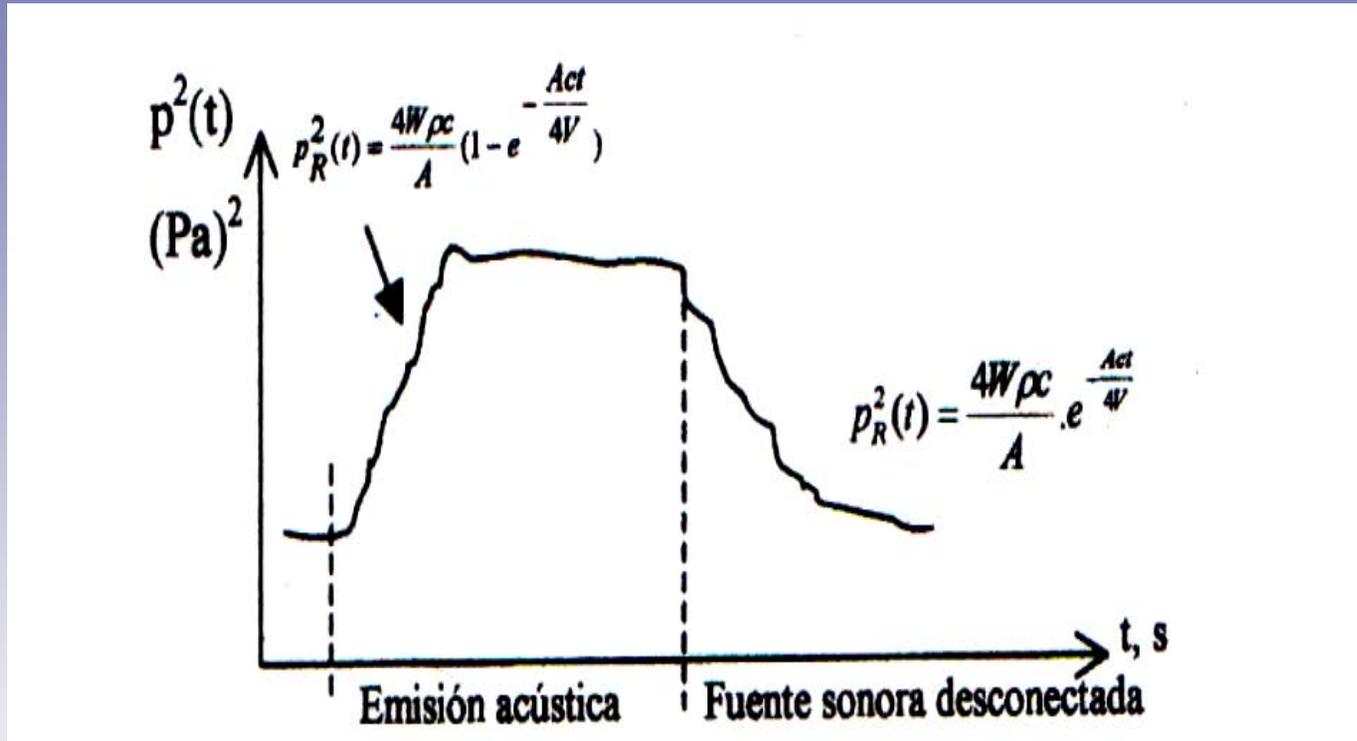
$$A = A_{\text{superficies}} + A_{\text{aire}} + A_{\text{personas}} + A_{\text{mobiliario}}$$

$$A_{\text{superficies}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

$$A_{\text{aire}} = 4mV \quad (\text{a partir de } 300 \text{ m}^3, m \text{ coeficiente de atenuación})$$

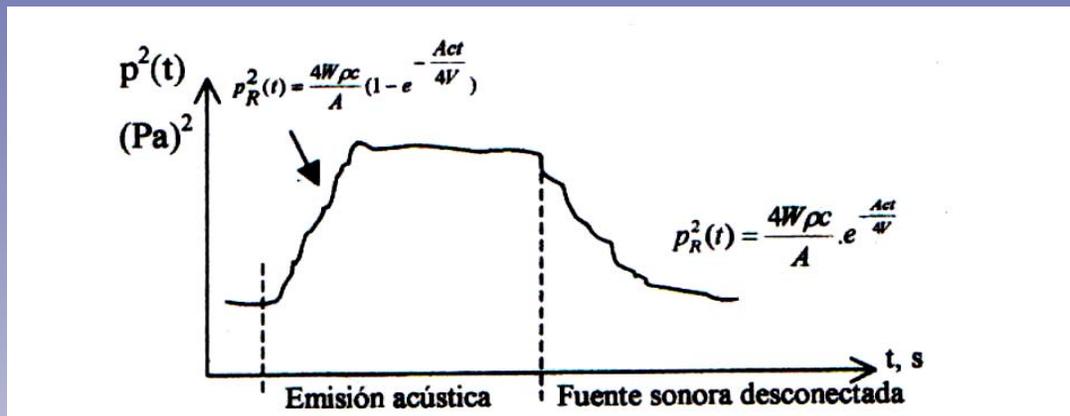
$A_{\text{personas}}, A_{\text{mobiliario}}$: área de absorción acústica equivalente

5.3. El campo reverberante difuso en un recinto



MODELO DE SABINE – FRANKLIN – JAEGER DE LOS RECINTOS REVERBERANTES

Descriptor del decaimiento exponencial de la energía acústica en un recinto:



TIEMPO DE REVERBERACIÓN (Sabine, finales siglo XIX):

intervalo de tiempo que debe transcurrir para que la presión acústica en el recinto disminuya en 60 dB una vez que la fuente sonora ha dejado de emitir

(o densidad de energía acústica decrece a una millonésima parte de su valor inicial)

$$T_{60} = T_{Sabine} = \frac{55,2V}{cA} \approx \frac{0,16V}{A}$$

$$T_{60} = T_{Sabine} = \frac{55,2V}{cA} \approx \frac{0,16V}{A}$$

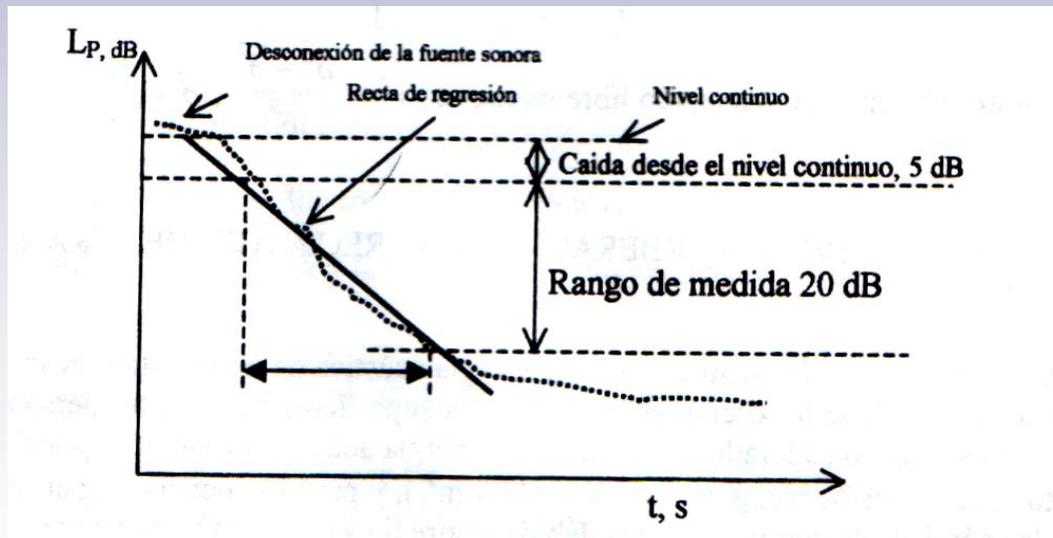
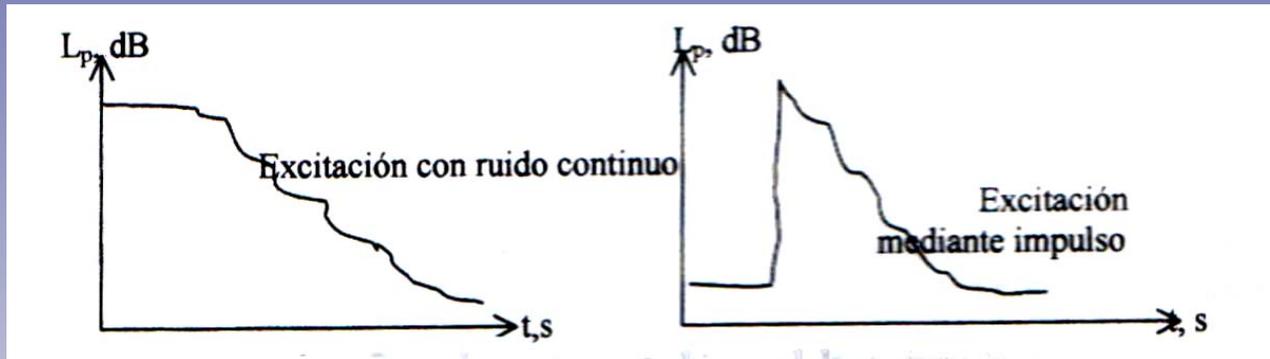
- α y T_{60} : dependientes de la frecuencia (bandas de tercio de octava)
- T_{60} : disminuye al aumentar la frecuencia
- T_{medio} : único valor: media aritmética de las bandas 500 Hz, 1kHz y 2 kHz

Casos que no predice:

- CÁMARA REVERBERANTE: $\alpha = 0 \Rightarrow T_{60} \rightarrow \infty$
- CÁMARA ANECOICA: $\alpha = 1$ ($T \neq 0$)

Recintos habituales no son reverberantes difusos

Medida del tiempo de reverberación en un recinto:



T_{30}

T_{20}

5.4. El campo acústico estacionario en un recinto

Superposición campo directo y campo reverberante: $p^2 = p_D^2 + p_R^2$

$$p^2 = \frac{\rho c W Q}{4\pi r^2} + \frac{4\rho c W}{\mathfrak{R}} = W\rho c \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{\mathfrak{R}} \right)$$

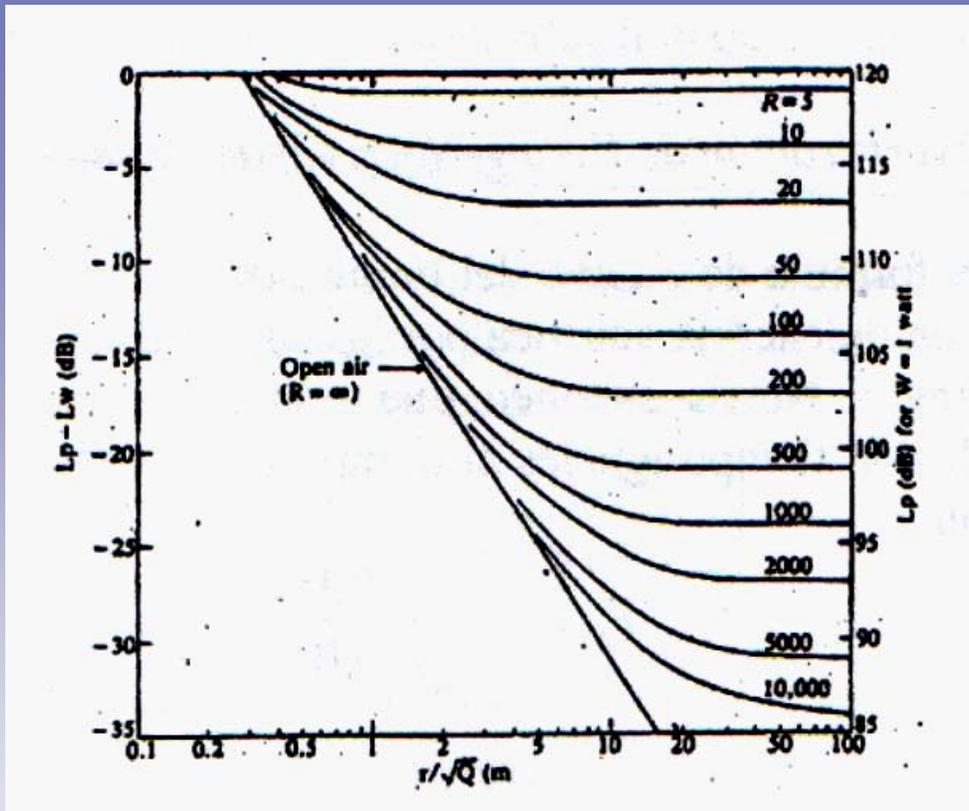
CONSTANTE DE LA SALA

$$\mathfrak{R} = \frac{A}{1 - \alpha}$$

En general: $\mathfrak{R} = A$

¿CÓMO CONTROLAR LA CONTRIBUCIÓN

DEL CAMPO REVERBERANTE? Q y \mathfrak{R}



$$p^2 = W\rho c \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{\mathcal{R}} \right)$$

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

5.5. Determinación del coeficiente de absorción acústica

- En condiciones reales de montaje: difícil determinar su valor
- Importante conocer valores orientativos de laboratorio:
con ellos se diseñan y corrigen algunos parámetros acústicos en recintos

DOS MÉTODOS HABITUALES:

- CÁMARA REVERBERANTE
- TUBO DE IMPEDANCIA O TUBO DE KUNDT

En general (materiales porosos), no hay procedimiento para relacionar resultados de ambos

a) Método de la cámara reverberante:

CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA:

- campo sonoro difuso
- absorción acústica equivalente muy pequeña

TIPO DE MUESTRAS:

- materiales acústicos utilizados en tratamientos de paredes y techos
- área plana: 10 – 12 m²
- montaje debe realizarse según especificaciones NORMA

a) Método de la cámara reverberante:

Coeficiente de absorción en situaciones parecidas a las reales:

$$\alpha_S = \frac{55,3V}{cS} \left(\frac{1}{T_{60,2}} - \frac{1}{T_{60,1}} \right)$$

S: área de la muestra de ensayo

$T_{60,1}$: cámara vacía

$T_{60,2}$: con muestra de ensayo

a) Método del tubo de impedancia:

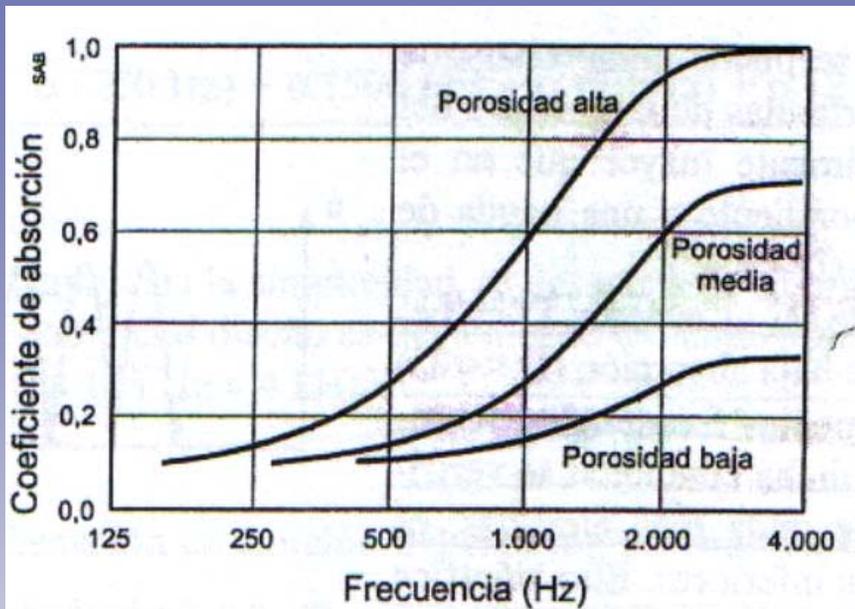
Coeficiente de absorción para incidencia normal: $\alpha = 1 - |R|^2$

Configuración tubo grande: 50-1600 Hz



Configuración tubo pequeño: 300-6400 Hz





FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón macizo	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Bloques de hormigón pintados	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Ladrillo revestido con yeso	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04

SILLAS VACIAS

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

SILLAS OCUPADAS

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

5.6. Tiempos óptimos de reverberación

Acondicionamiento acústico:

MÁXIMA CALIDAD ACÚSTICA SEGÚN SU USO

CONTROL DE ENERGÍA SONORA:

- mejorar inteligibilidad de la palabra
- eliminar ecos no deseados
- claridad de la música

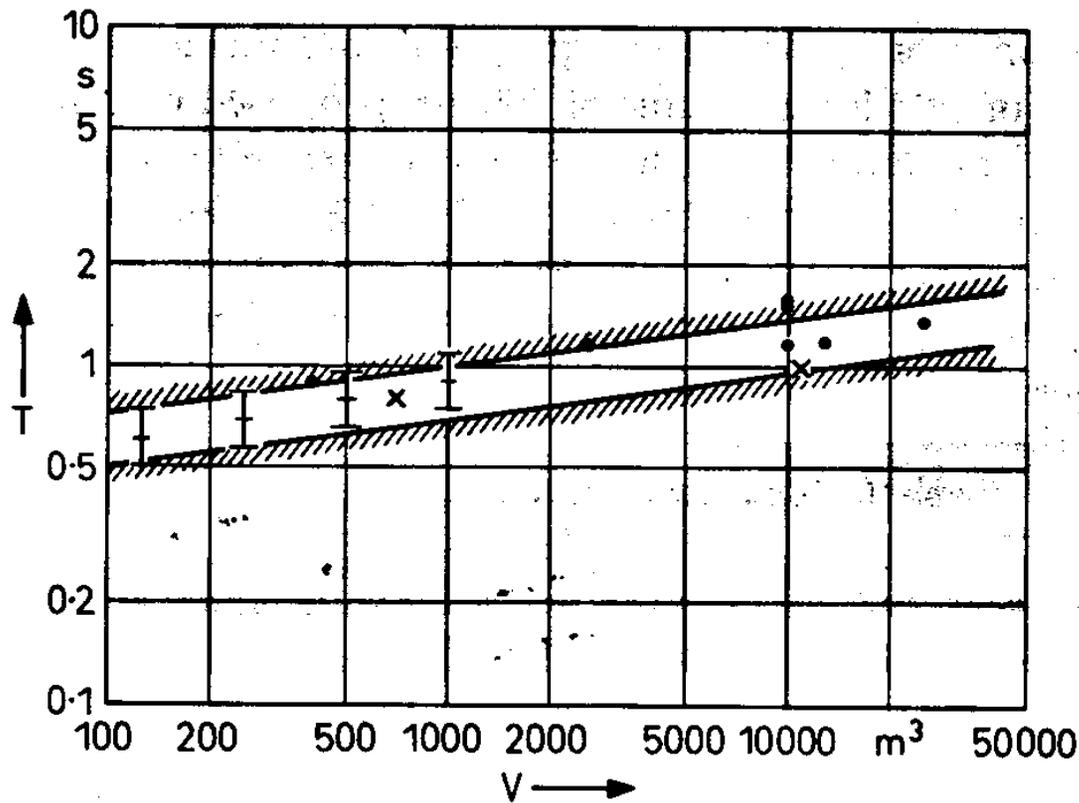
Reflexiones deben llegar al oyente dentro de 50 ms (15 m)

Difusión rápida y uniforme del campo reverberante sonoro

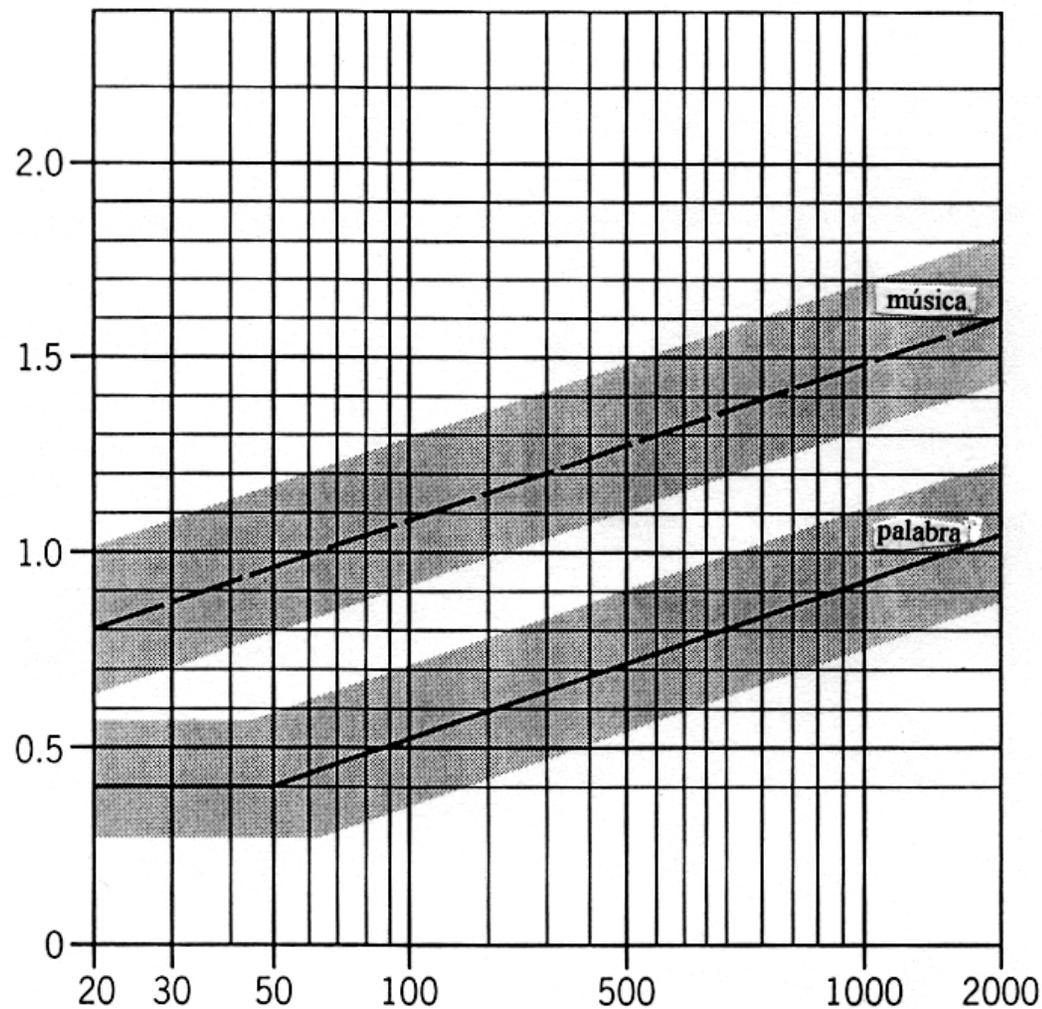
$$T_{60} = T_{Sabine} \approx \frac{0,16V}{A}$$

Tabla de tiempos óptimos de reverberación:

TIPO DE SALA	T(s), sala ocupada
Aulas de enseñanza primaria y secundaria	0.5-0.8
Sala de conferencias (volumen entre 100 y 10.000 m ³)	0.7-1.2
Cines	0.8-1.2
Salas polivalentes	1.2-1.5
Teatros (volumen entre 100 y 10.000 m ³)	0.7-1.2
Teatro 1500 plazas	1.2-1.4
Teatro 500 plazas	1.0-1.2
Teatros de opera	1.4-1.8
Salas ce concierto: música de cámara	1.3-1.7
Salas ce concierto: música barroca y clásica	1.6-1.8
Salas ce concierto: música sinfónica	1.7-2.1
Iglesia, catedral: órgano y canto coral	2.0-3.0
Recintos deportivos	1.0-3.0
Locutorio de radio	0.2-0.4



Intervalos de tiempos de reverberación recomendados a frecuencias medias para locales dedicados a la palabra Cremer&Müller, **Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik**, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1.978



Building Bulletin 93, (2003). Tiempos óptimos de reverberación a frecuencias medias, para la palabra y la música en función del volumen. Para locales terminados, pero sin mobiliario y ocupantes.

Absorción de un recinto depende del número de personas \Rightarrow VOLUMEN

Volumen por asiento, m ³ /persona		
Tipo de recinto	Mínimo	Máximo
Salas de conciertos	6,5	10
Salas de opera	5,0	8
Salas multifuncionales	5,5	8,5
Teatros	4,0	6,0
Iglesias	5,7	11,9
Cines	4,5	6,0
Aulas	3	5