

PROYECTO:

"Control de reverberación en una sala de conferencias"

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"

PROPÓSITO:

En el diseño de una sala de conferencias, el objetivo es:

- Conseguir **condiciones de confort acústico adecuadas** para lograr una **buena inteligibilidad de la palabra**.

Se recomienda lograr que el porcentaje de palabras correctamente interpretadas por el oyente sea **mayor que el 90%**.

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"

Confort acústico adecuado:

Es necesario atender dos aspectos fundamentales:

- El **aislamiento acústico** que brinde la envolvente del recinto, para protegerlo del ruido exterior y evitar que interfiera con las condiciones de audición exigidas por la actividad a desarrollar en él.
➡ *GARANTIZAR UN RUIDO DE FONDO BAJO*
- El **acondicionamiento acústico interior**, adecuando la sala al uso al que estará destinada (dimensiones, forma, materiales, sistema de refuerzo sonoro, etc.)
➡ *CONTROLAR LA REVERBERACIÓN*

Inteligibilidad de palabra

El **nivel de inteligibilidad IL** depende del porcentaje de pérdida de articulación de consonantes AL_{cons} y está dado por:

$$\% IL = 100 - \% AL$$

AL_{cons} Articulation Loss of Consonants

Pérdida de articulación de consonantes (%ALCons):

$$\begin{aligned} \%AL &= \frac{200\, d^2\, T_{60}^2}{Q\, V} && \text{para } d \leq 3,16\, Dc \\ \%AL &= 9\, T_{60} && \text{para } d > 3,16\, Dc \end{aligned}$$

$$Dc = 0,06 \sqrt{\frac{Q \cdot V}{T_{60}(1 - \bar{\alpha})}} = 0,15 \sqrt{Q \cdot R}$$

con : $\left(R = \frac{A}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{0,161 \cdot V}{T_{60}(1 - \bar{\alpha})} \right)$

Inteligibilidad de palabra

Valoración subjetiva del grado de inteligibilidad:

%ALcons	Valoración
< 3%	Excelente
3% - 7%	Buena
7% - 10%	Aceptable
10% - 15%	Pobre
> 15%	Mala

DATOS de PROYECTO:

- Dimensiones del local en planta (largo y ancho)
- Recinto destinado "a la palabra"
- Porcentaje de palabras correctamente interpretadas por el oyente sea **mayor que el 90%**

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Etapas 1:

Determinación del volumen del recinto y de su aforo

Etapas 2:

Diseño de tratamiento acústico para la sala

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Etapla 1: Determinar el volumen del recinto, en m³

Debemos minimizar la formación de ondas estacionarias en el recinto:

1. Elección de la altura para que la sala cumpla con el **Criterio de Densidad de Modos**.
2. Si la altura que resulte de aplicar este criterio no es adecuada para el proyecto, se deberá elegir otra y justificar la elección.
3. Recordar que se puede recurrir a otras soluciones técnicas que contribuyan a evitar las ondas estacionarias:
 - Superficies no paralelas
 - Colocación de difusores

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Criterio de Bonello o de "Densidad de Modos"

1. Se calculan todas las frecuencias de modos propios del recinto que estén por debajo de la **frecuencia de Schroeder**:

$$f_s = 1893 \sqrt{\frac{TR}{V}} \approx 2000 \sqrt{\frac{TR}{V}}$$

La **frecuencia de Schroeder** está en la zona de transición de la respuesta en frecuencia de un recinto que separa la región de baja frecuencia, dominada por modos separados, y la región de frecuencias dominada por una gran superposición de modos.

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Cálculo de frecuencias de modos de resonancia o modos propios:

$$f_m = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2 + \left(\frac{q}{W}\right)^2 + \left(\frac{r}{H}\right)^2}$$

Siendo:

f_m : la frecuencia del modo de resonancia

c : la velocidad del sonido, en m/s


p, q, r : números enteros que denotan el número de medias longitudes de onda en las 3 direcciones (0, 1, 2,...)

L, W, H : las dimensiones del recinto, en m

Según el valor que tomen p, q y r :

- Si uno es distinto de cero, son modos axiales,
- Si dos son distintos de cero, son modos tangenciales,
- Si los tres son distintos de cero, son modos oblicuos.

Curso: “Introducción a la Acústica de Recintos”




Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

2. Se divide el espectro en tercios de octava, pues el análisis por tercios satisface a la discriminación de frecuencias del oído.

Las bandas de octavas que normalmente se utilizan son:

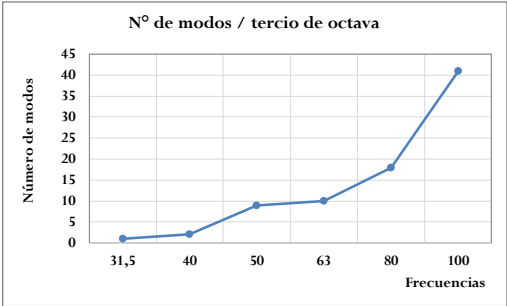
f_1 (límite inferior de banda)	f_0 (frecuencia central)	f_2 (límite superior de banda)
45	50	56
56	63	71
71	80	90
89	100	112
111	125	140
143	160	180
178	200	224

Curso: “Introducción a la Acústica de Recintos”



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

3. Se calcula y grafica la “densidad de modos” (cantidad de modos por cada tercio de octava). Por ejemplo:



Curso: “Introducción a la Acústica de Recintos”



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Criterio:

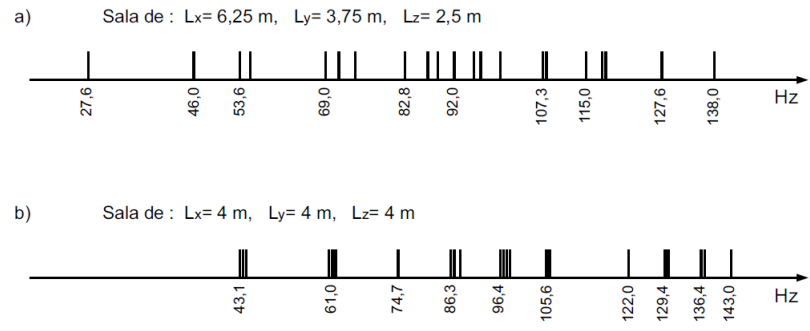
- La curva de densidad de modos debe ser monótonamente creciente, o a lo sumo tener la misma cantidad de modos en dos tercios de octava sucesivos.
- No deben existir modos dobles y, si los hubiera, se los tolera en tercios de octava con densidad de modos mayor que cinco.

Curso: “Introducción a la Acústica de Recintos”



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Ejemplos de obtención de modos:



Distribución de las frecuencias propias para:

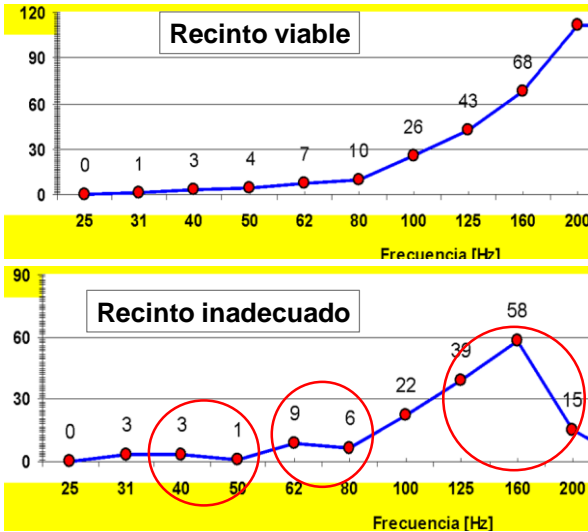
- a) Una sala rectangular de proporciones óptimas
- b) Una sala cúbica

Curso: “Introducción a la Acústica de Recintos”



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Ejemplos de gráficos de densidad de modos:

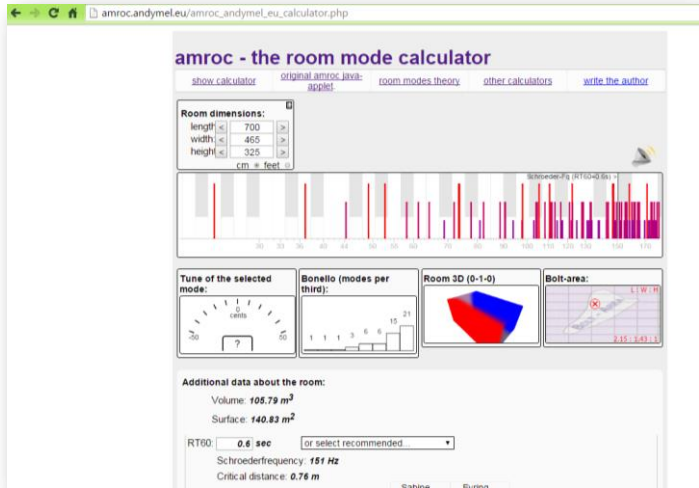


Curso: “Introducción a la Acústica de Recintos”



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

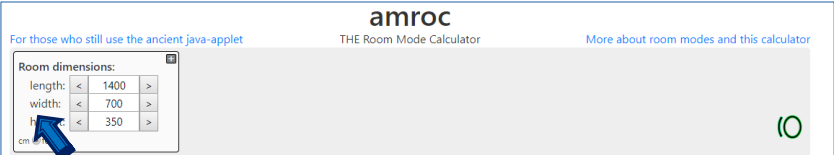
Ejemplo de software para cálculo de modos: “AMROC”
http://amroc.andymel.eu/amroc_andymel_eu_calculator.php



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Ejemplo de software para cálculo de modos: “AMROC”

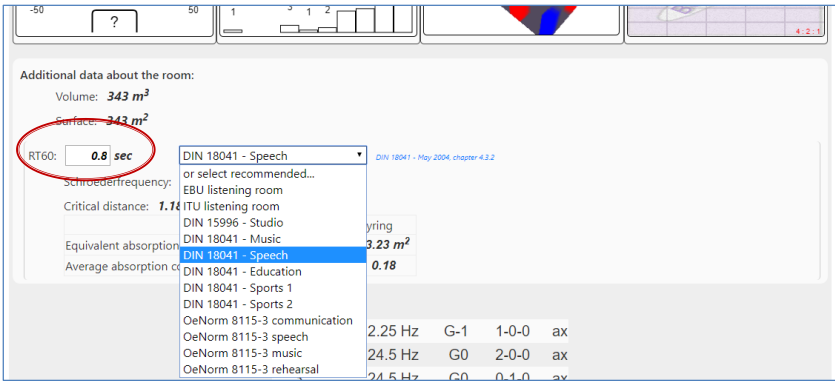
1) Anotamos las dimensiones del recinto, en cm (debe seleccionarse la unidad correctamente al pie del menú)



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Ejemplo de software para cálculo de modos: “AMROC”

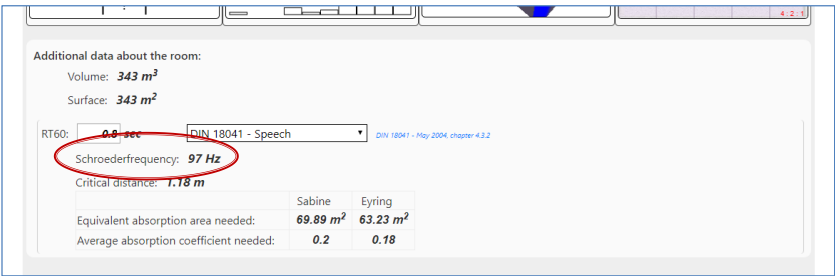
2) Del menú desplegable, seleccionamos la norma correspondiente para tener un valor de TR adecuado:



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Ejemplo de software para cálculo de modos: “AMROC”

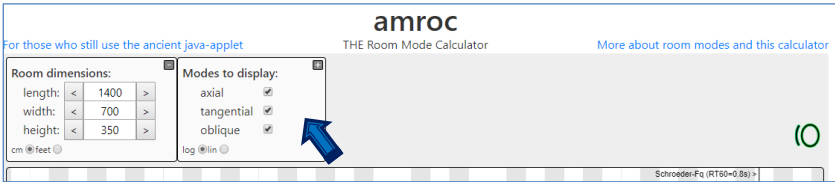
3) Esto permite que el programa calcule la frecuencia de Schroeder:



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Ejemplo de software para cálculo de modos: “AMROC”

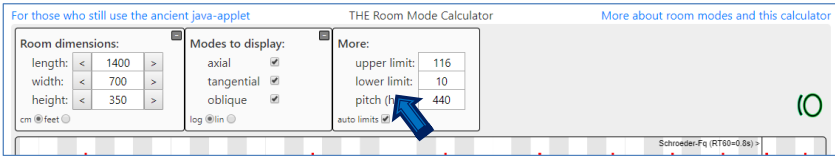
4) Desplegando los menús superiores, podemos elegir qué tipo de modos deseamos incluir en el análisis:



Criterio de Bonello o de “Densidad de Modos”

Ejemplo de software para cálculo de modos: “AMROC”

4) Desplegando los menús superiores, podemos elegir qué tipo de modos deseamos incluir en el análisis, y los límites de frecuencia para el rango de estudio:



Dependiendo de cómo se elija esta última opción, los límites de frecuencia para el rango de estudio pueden ser elegidos en forma manual (por el usuario), o en forma automática por el mismo programa (en este caso, dependerá de la frecuencia de Schroeder y/o del valor de TR elegido).

Criterio de Bonello o de "Densidad de Modos"

Ejemplo de software para cálculo de modos: "AMROC"

5) El programa calculará las frecuencias de modos del recinto de acuerdo con los datos proporcionados, y las ordenará en forma creciente, para luego calcular la **densidad de modos** y presentar el gráfico:

1	12.25 Hz	G-1	1-0-0	ax
2	24.5 Hz	G0	2-0-0	ax
3	24.5 Hz	G0	0-1-0	ax
4	27.39 Hz	A0	1-1-0	tan
5	34.65 Hz	C1#	2-1-0	tan
6	36.75 Hz	D1	3-0-0	ax
7	44.17 Hz	F1	3-1-0	tan
8	49 Hz	G1	0-2-0	ax
9	49 Hz	G1	4-0-0	ax
10	49 Hz	G1	0-0-1	ax
11	50.51 Hz	G1#	1-0-1	tan
12	50.51 Hz	G1#	1-2-0	tan
13	54.78 Hz	A1	4-1-0	tan
14	54.78 Hz	A1	2-2-0	tan
15	54.78 Hz	A1	2-0-1	tan
16	54.78 Hz	A1	0-1-1	tan
17	56.14 Hz	A1	1-1-1	obl
18	60.01 Hz	B1	2-1-1	obl
19	61.25 Hz	B1	3-2-0	tan
20	61.25 Hz	B1	5-0-0	ax

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"

FACULTAD DE INGENIERIA
Universidad de Buenos Aires

Criterio de Bonello o de "Densidad de Modos"

Ejemplo de software para cálculo de modos: "AMROC"

6) El usuario debe analizar si se cumplen las pautas del "Criterio de modos de Bonello":

- La curva de densidad de modos debe ser monótonamente creciente, o a lo sumo tener la misma cantidad de modos en dos tercios sucesivos.
- No deben existir modos dobles y, si los hubiera, se los tolera en octava con densidad de modos mayor que cinco.

1	12.25 Hz	G-1	1-0-0	ax
2	24.5 Hz	G0	2-0-0	ax
3	24.5 Hz	G0	0-1-0	ax
4	27.39 Hz	A0	1-1-0	tan
5	34.65 Hz	C1#	2-1-0	tan
6	36.75 Hz	D1	3-0-0	ax
7	44.17 Hz	F1	3-1-0	tan
8	49 Hz	G1	0-2-0	ax
9	49 Hz	G1	4-0-0	ax
10	49 Hz	G1	0-0-1	ax
11	50.51 Hz	G1#	1-0-1	tan
12	50.51 Hz	G1#	1-2-0	tan
13	54.78 Hz	A1	4-1-0	tan
14	54.78 Hz	A1	2-2-0	tan
15	54.78 Hz	A1	2-0-1	tan
16	54.78 Hz	A1	0-1-1	tan
17	56.14 Hz	A1	1-1-1	obl
18	60.01 Hz	B1	2-1-1	obl
19	61.25 Hz	B1	3-2-0	tan
20	61.25 Hz	B1	5-0-0	ax

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"

FACULTAD DE INGENIERIA
Universidad de Buenos Aires

Etapa 1: Informe de resultados

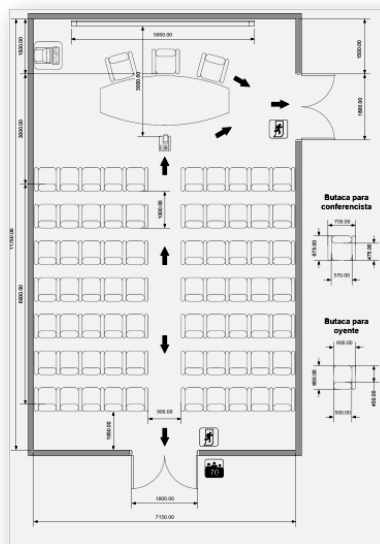
- Cálculo y verificación de los modos presentes (gráfico de distribución de modos por tercios de octava).
- Altura elegida del recinto. Justificación.
- Capacidad de la sala (# de asientos)
- Esquema de planta con indicación de ubicación de:
 - butacas para el público
 - mesa y butacas para oradores
 - puertas principales y de emergencia

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Etapa 1:

Ejemplo de esquema de planta: ubicación de butacas, oradores y puertas

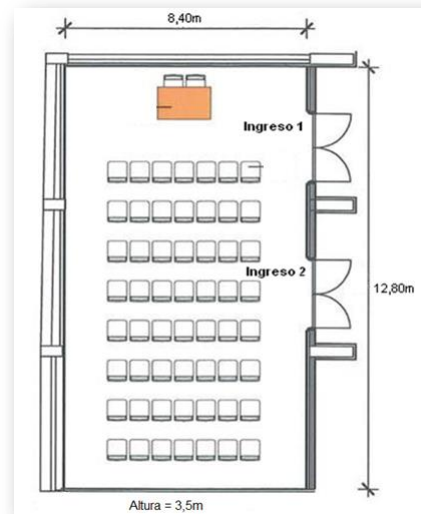


Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Etapa 1:

Ejemplo de esquema de planta: ubicación de butacas, oradores y puertas



Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"

FACULTAD
DE INGENIERIA
Universidad de Buenos Aires

Etapa 2: Determinar los valores de TR del recinto, T_{60} en s

- Trabajar en 6 bandas de octavas (de 125 a 4000 Hz)
- Calcular los valores de **TR óptimos** para el recinto
- Calcular los **TR iniciales** correspondientes a la sala con ocupación parcial y con muebles
- Diseñar un **tratamiento acústico** con diversos fonoabsorbentes para ajustar los TR en cada octava (si fuese necesario)
- Calcular los **TR finales** (esperables por proyecto), correspondientes a la sala con muebles y con la cantidad de personas que se haya elegido.

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"

FACULTAD
DE INGENIERIA
Universidad de Buenos Aires

Cálculo del tiempo de reverberación (TR)

TR ÓPTIMOS SEGÚN EL VOLUMEN Y DESTINO DE USO (Knudsen)

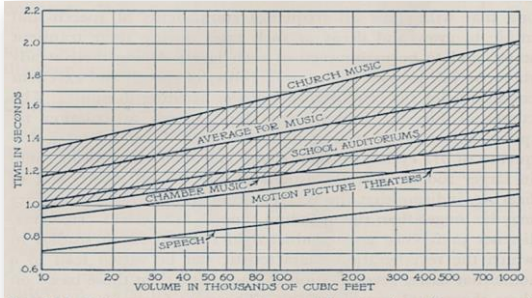


Fig. 9.11 Optimum reverberation time at 512 cycles for different types of rooms as a function of room volume.

Las curvas indican los tiempos de reverberación ideales para $f \geq 512 \text{ Hz}$
El volumen está expresado en miles de pies cúbicos
($1 \text{ m}^3 = 35,315 \text{ ft}^3$)

Cálculo del tiempo de reverberación (TR)

TR ÓPTIMOS SEGÚN EL VOLUMEN Y DESTINO DE USO (Knudsen)

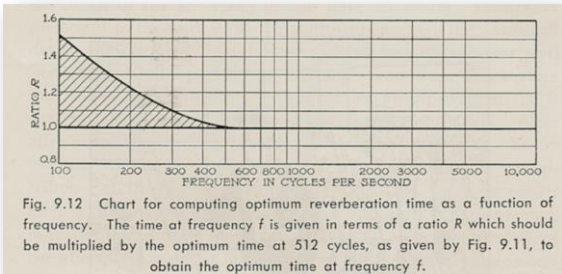


Fig. 9.12 Chart for computing optimum reverberation time as a function of frequency. The time at frequency f is given in terms of a ratio R which should be multiplied by the optimum time at 512 cycles, as given by Fig. 9.11, to obtain the optimum time at frequency f .


Las curvas indican los tiempos de reverberación ideales para $f < 512 \text{ Hz}$

Cálculo del tiempo de reverberación (TR) (Knudsen)

Dando valores analíticos y combinando las curvas anteriores, se obtiene:


Tabla 1: Ecuaciones para cálculo de TR _{óptimos}	
Uso de la sala: PALABRA	
Frecuencias [Hz]	TR _{óptimos} [s] (con V en m ³)
125	TR ₁₂₅ = 0,41 + 0,26 log V
250	TR ₂₅₀ = 0,32 + 0,21 log V
≥ 500	TR ₅₀₀ = 0,28 + 0,18 log V

31



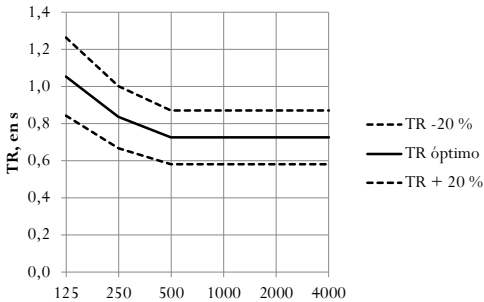
FACULTAD
DE INGENIERIA
Universidad de Buenos Aires

CURSO: ACÚSTICA (66.67)




LACEAC
Laboratorio de Acústica y Electroacústica

Gráfico de valores de TR óptimos y sus bandas de tolerancia




Frecuencia [Hz]	TR -20% [s]	TR óptimo [s]	TR +20% [s]
125	1.15	1.05	0.85
250	1.00	0.85	0.65
500	0.85	0.75	0.55
1000	0.85	0.75	0.55
2000	0.85	0.75	0.55
4000	0.85	0.75	0.55

32



FACULTAD
DE INGENIERIA
Universidad de Buenos Aires

CURSO: ACÚSTICA (66.67)



LACEAC
Laboratorio de Acústica y Electroacústica

Inicialmente, el área equivalente del **local SIN muebles y SIN público** será:

$$A_{LOCAL \text{ VACÍO}} = A_L = A_{PISO} + A_{TECHO} + A_{PAREDES} + A_{PUERTAS} + A_{VENTANAS}$$

$$\Rightarrow A_L = \left[S_{pi} \cdot \alpha_{pi} + S_{te} \cdot \alpha_{te} + S_{pa} \cdot \alpha_{pa} + S_{pu} \cdot \alpha_{pu} + S_{ve} \cdot \alpha_{ve} \right]$$

Para tener en cuenta la **absorción sonora que aportan los muebles**, se deberán considerar:

- las butacas
- las mesas de oradores
- Las tarimas (si las hay)

El área equivalente del **local CON muebles y SIN público** (A_1), será:

$$A_1 = A_L + A_{MUEBLES} = A_L + A_{MESAS} + A_{BUTACAS \text{ VACÍAS}}$$

$$A_1 = \sum_{i=1}^n S_{MAi} \alpha_{MAi} + \sum_{j=1}^n n_{MUj} A_{MUj}$$

$$A_1 = \overbrace{S_{pi} \cdot \alpha_{pi} + S_{te} \cdot \alpha_{te} + S_{pa} \cdot \alpha_{pa} + S_{pu} \cdot \alpha_{pu} + S_{ve} \cdot \alpha_{ve}}^{A_L} + N_{me} \cdot A_{me} + N_{bu} \cdot A_{bu}$$

$$\Rightarrow A_1 = A_L + N_{me} \cdot A_{me} + N_{bu} \cdot A_{bu}$$

Para tener en cuenta la **absorción sonora que aportan las personas**, se deberá elegir:

- El porcentaje de ocupación (cantidad de personas para los cálculos)

Como **criterio de diseño**, se deberá elegir la cantidad de personas que deberían estar presentes para lograr los valores de TR recomendados.

Un buen criterio puede ser elegir: $70 \leq p\% \leq 80$

Un valor típico podría ser: $p\% = 75\%$

***NOTA:** con este criterio se tiene en cuenta que la sala no suene "muy reverberante" aunque no esté completamente ocupada.*

El área equivalente del **local CON muebles y CON público** (A_2 , con $p\%$ de ocupación), será:

$$A_2 = A_L + A_{MESAS} + A_{BUTACAS \text{ VACÍAS}} + A_{PERSONAS \text{ EN BUTACAS}}$$

$$A_2 = A_L + N_{me} \cdot A_{me} + N_{bu \text{ vac}} \cdot A_{bu} + N_{per} \cdot A_{per}$$

siendo:

$N_{bu \text{ vac}}$: Número de butacas desocupadas

A_{bu} : Absorción sonora equivalente de cada butaca vacía, en m^2

N_{per} : Número de personas sentadas en las butacas

A_{per} : Absorción sonora equivalente de cada persona sentada en butaca, en m^2

Ejemplos de valores de **área equivalente de absorción sonora de butacas:**

ABSORCIÓN SILLA VACIA SEGÚN % TAPIZADO (Beranek 1.996)						
Hz	125	250	500	1000	2000	4000
BAJO	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
MEDIO	0,56	0,64	0,7	0,72	0,68	0,62
ALTO	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79

ABSORCIÓN SILLA OCUPADA SEGÚN % TAPIZADO (Beranek 1.996)						
Hz	125	250	500	1000	2000	4000
BAJO	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
MEDIO	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
ALTO	0,76	0,83	0,88	0,91	0,91	0,89

Ejemplos de valores de **área equivalente de absorción sonora de personas:**

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Persona de pie sin abrigo	0,12	0,24	0,59	0,98	1,13	1,12
Persona de pie con abrigo	0,17	0,41	0,91	1,3	1,43	1,47

El área equivalente del **local CON muebles y CON público** (A_2 , con p% de ocupación), será:

$$A_2 = A_L + A_{MESAS} + A_{BUTACAS\ VACÍAS} + A_{PERSONAS\ EN\ BUTACAS}$$

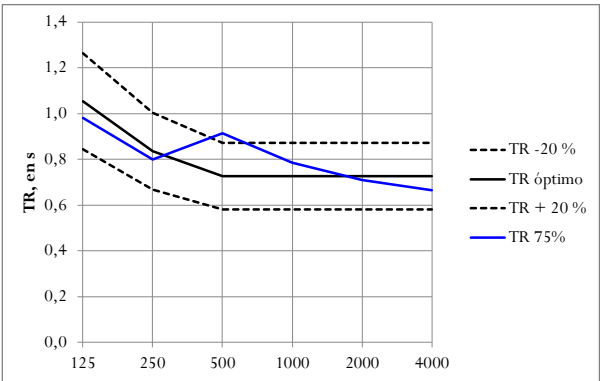
$$A_2 = A_L + N_{me} \cdot A_{me} + N_{bu\ vac} \cdot A_{bu} + N_{per} \cdot A_{per}$$

El valor de TR_2 , de la sala ocupada un p%, será:

$$TR_2 = \frac{0.161 V}{A_2}$$

Si $TR_2 > TR_{ÓPTIMO} \Rightarrow$ **TRATAMIENTO FONOABSORBENTE**

**Gráfico de valores de TR
(óptimos, bandas de tolerancia, de proyecto)**



$$\text{Si } TR_2 > TR_{\text{ÓPTIMO}} \Rightarrow \text{TRATAMIENTO FONOAORSORBENTE}$$

Si con TR_2 no se han logrado los TR óptimos (aun teniendo en cuenta una banda de tolerancia):

- será necesario agregar materiales fonoabsorbentes,
- tener en cuenta la factibilidad de realización del tratamiento propuesto: tipo de materiales seleccionados, ubicación de los mismos, funcionalidad del diseño, etc.

Agregado de materiales fonoabsorbentes:

Cuando se deban agregar materiales fonoabsorbentes, cubriendo algunas superficies interiores, estos materiales aportarán un área de absorción equivalente A_F :

$$A_F = \sum_{k=1}^n S_{Fk} \alpha_{Fk}$$

Siendo:

- α_{Fk} : coeficiente de absorción sonora del material k
 S_{Fk} : superficie del local cubierta con el material k

NOTA: Se deberá descontar la absorción de la superficie que se cubra con cada nuevo material, y que ya no estará expuesta al sonido.

El área equivalente del **local con muebles, con público y con tratamiento fonoabsorbente** será:

$$A_3 = A_{LOCAL} + A_{MESAS} + A_{BUTACAS \text{ VACÍAS}} + A_{PERSONAS \text{ EN BUTACAS}}$$
$$A_3 = \left[S_{pi} \cdot \alpha_{pi} + S_{te} \cdot \alpha_{te} + S_{pa} \cdot \alpha_{pa} + S_{pu} \cdot \alpha_{pu} + S_{ve} \cdot \alpha_{ve} + \sum_{k=1}^n S_{Fk} \cdot \alpha_{Fk} \right] +$$
$$+ [N_{me} \cdot A_{me}] + [N_{bu \text{ vacías}} \cdot A_{bu \text{ vacías}}] + [N_{per} \cdot A_{per}]$$

Expresión completa de A_{TOTAL}

Siendo S_L la superficie interior total del local:

$$S_L = S_{pi} + S_{te} + S_{pa} + S_{pu} + S_{ve} + \sum_{k=1}^n S_k$$

⇒ **Tiempo de reverberación final:**

$$TR_F = TR_3 = \frac{0,163 \cdot V}{A_3}$$

Recordar que:

Los cálculos deben realizarse para cada una de las 6 bandas de octavas (de 125 a 4000 Hz)

Código Técnico de la Edificación (CTE de España)

Recomendaciones de diseño acústico para aulas y salas de conferencias

En el caso de aulas y salas de conferencias de volumen hasta 350 m³, para mejorar la inteligibilidad de la palabra se recomienda:

- 1. Evitar los recintos cúbicos o con proporciones entre lados que sean números enteros.
- 2. Comenzar por aplicar materiales fonoabsorbentes en el techo

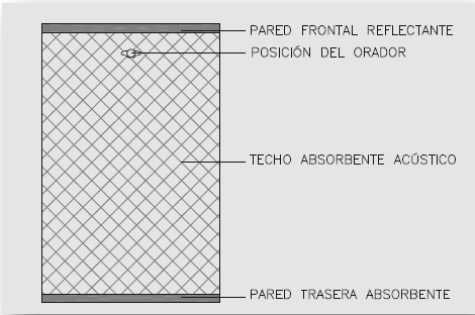
Código Técnico de la Edificación (CTE de España)

Recomendaciones de diseño acústico para aulas y salas de conferencias

3. Para la distribución de materiales fonoabsorbentes, se recomienda adoptar una de las siguientes opciones:

Opción 1:

- Disponer material absorbente acústico en toda la superficie del techo
- La pared frontal reflectante
- La pared trasera absorbente

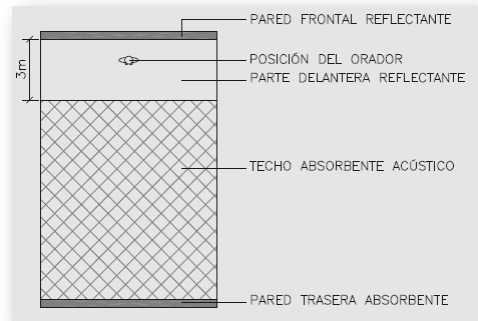


Código Técnico de la Edificación (CTE de España)

Recomendaciones de diseño acústico para aulas y salas de conferencias

Opción 2:

- Disponer material absorbente acústico en el techo, cubriendo sólo la parte trasera, dejando una banda de 3 m de ancho de material reflectante en la parte delantera del techo.
- La pared frontal será reflectante.
- En la pared trasera se dispondrá un material absorbente acústico.



Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Etapla 2: Cálculo de inteligibilidad dentro del recinto

El nivel de inteligibilidad IL depende de la pérdida de articulación de consonantes AL y está dado por:

$$\%IL = 100 - \%AL$$

Se debe lograr que el porcentaje de palabras correctamente interpretadas por el oyente sea mayor que el 90%

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"



Etapa 2: Cálculo de inteligibilidad dentro del recinto

Pérdida de articulación de consonantes (%ALCons):

$$\%AL = \frac{200 d^2 T_{60}^2}{Q V} \quad \text{para } d \leq 3,16 Dc$$
$$\%AL = 9 T_{60} \quad \text{para } d > 3,16 Dc$$

siendo:

- d distancia entre el orador y el receptor, en m
- T_{60} tiempo de reverberación de la sala, en s (**para $f = 2$ kHz**)
- Q factor de directividad de la fuente sonora
- V volumen de la sala, en m^3
- Dc distancia crítica, en m

Distancia crítica (Dc):

$$Dc = 0,06 \sqrt{\frac{Q \cdot V}{T_{60}(1 - \bar{\alpha})}} = 0,15 \sqrt{Q \cdot R}$$
$$\text{con : } \left(R = \frac{A}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{0,161 \cdot V}{T_{60}(1 - \bar{\alpha})} \right)$$

Siendo:

- R constante de la sala, en m^2
- A área equivalente de absorción sonora de la sala, en m^2
- $\bar{\alpha}$ coeficiente medio de absorción de la sala (adimensional, para $f = 2$ kHz)

Directividad de la fuente:
En este caso, la fuente sonora será una persona hablando.
Su directividad se puede considerar: $Q = 2$

Directividad de la voz humana

- En general, cualquier fuente sonora radia más potencia en unas direcciones que en otras y, por tanto, presenta una cierta directividad.
- Dicha directividad depende de la frecuencia y aumenta con la misma.
- La **directividad de la voz humana** está determinada por el sistema de fonación y por la forma de la cabeza, siendo la dirección frontal la de mayor directividad.

Directividad de la voz humana

- Si bien la directividad aumenta con la frecuencia, a los efectos prácticos se considera que **el factor de directividad de la voz humana en la dirección frontal es: $Q = 2$**

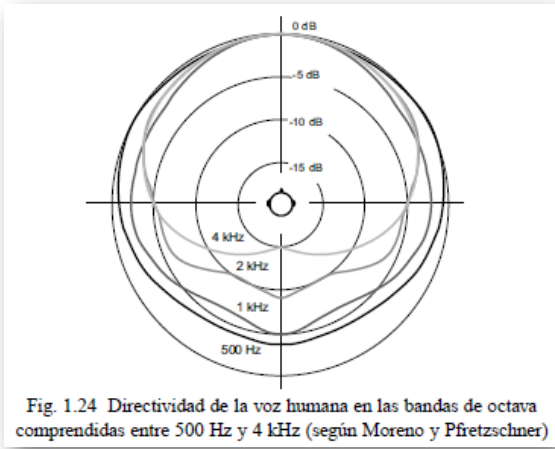


Fig. 1.24 Directividad de la voz humana en las bandas de octava comprendidas entre 500 Hz y 4 kHz (según Moreno y Pfitzschner)

Etapla 2: Informe de resultados

- Cálculo de TR óptimos según uso de Sala (125 a 4000 Hz)
- Porcentaje de ocupación de la sala elegido para el cálculo (p%)
- Cálculo de los TR considerando ocupación parcial (p%)
- Lista de materiales elegidos para lograr el TR requerido (tipo, cantidad, ubicación, absorción)
- Tiempos de reverberación esperables (125 a 4000 Hz)
- Cálculo de la inteligibilidad

Curso: "Introducción a la Acústica de Recintos"

