

Acondicionamiento acústico interior de una sala para conferencias

Etapas 1

Determinar la altura del techo del recinto para que la distribución de modos de la sala cumpla con el *Criterio de Densidad de Modos*. En caso, de no poder cumplir en forma completa con el criterio, justificar la elección de la altura elegida.

Informe de resultados:

- Carátula con logotipo de la FI-UBA, datos de alumnos y datos de docentes
- Cálculo y verificación de los modos presentes (gráfico de distribución de modos por tercios de octava)
- Altura elegida del recinto
- Esquema de planta: ubicación de butacas, oradores y parlantes, puertas, pasillos, etc.

Etapas 2

Calcular los tiempos de reverberación óptimos y diseñar el tratamiento acústico de la sala, teniendo en cuenta que la misma va a ser utilizada para palabra.

Informe de resultados:

- Cálculo de los TR óptimos dados el volumen y destino, y banda de tolerancia.
- Cálculo del tiempo de reverberación de la sala desocupada, en octavas entre 125 y 4000 Hz
- Porcentaje de ocupación de la sala elegido para el cálculo
- Cálculo de los TR considerando el criterio de ocupación elegido
- Lista de los materiales seleccionados para lograr el TR requerido (tipo, cantidad y ubicación)
- Tiempos de reverberación logrados con el diseño final y con el estado de ocupación elegido.
- Analizar si todas las filas de butacas se encuentran a partir de la distancia crítica. Analizar la importancia de cumplir esta condición en un recinto como el diseñado.
- Cálculo de la inteligibilidad de palabra dentro del recinto.
- Esquema final de la planta: ubicación de butacas, oradores y parlantes (si hubo variación respecto del presentado en la Etapa 1).

PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO

La finalidad es conseguir condiciones acústicas adecuadas para una buena inteligibilidad de la palabra en una sala de conferencias. Se debe lograr que el porcentaje de palabras correctamente interpretadas por el oyente sea mayor que el 90%.

Para ello 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.
- El acondicionamiento acústico interior, adecuando la sala al uso al que estará destinada (dimensiones, forma, materiales, etc.)

En este proyecto consideraremos que el aislamiento acústico ya ha sido calculado adecuadamente.

Datos:

- Largo y ancho del local

Parámetros a determinar:

- V : volumen del recinto, en m^3
- T_{60} : TR del recinto
- Distancia crítica
- Inteligibilidad

Para calcular el volumen del recinto se debe determinar su altura. Esto puede hacerse aplicando el “*criterio de modos*”. Partiendo de que la existencia de modos propios es inevitable, de acuerdo con este criterio conviene elegir una relación entre las dimensiones de la sala tal que la distribución de los mismos en el eje de frecuencias sea lo más uniforme posible. De esta manera se consigue evitar concentraciones de energía en bandas estrechas de frecuencias o, lo que es lo mismo, coloraciones intensas del sonido.

Si la altura que resulte de aplicar este criterio no es adecuada para el proyecto, se deberá elegir otra y justificar la elección.

Recordar que siempre se puede recurrir a otras soluciones técnicas para evitar la formación de ondas estacionarias:

- Superficies no paralelas (ni horizontal ni verticalmente)
- Colocación de difusores

Los valores de TR óptimos se pueden calcular empleando modelos matemáticos que contemplen el uso al que estará destinado el recinto (palabra o diferentes géneros musicales).

TRATAMIENTO DE LOCALES CON FONOABSORBENTES

Para adecuar acústicamente un local mediante tratamiento con fonoabsorbentes, se debe conocer su tiempo de reverberación original, su volumen, su superficie interior y el uso al que estará destinado (tipo de música o palabra).

Los pasos a seguir son:

1. Calcular los TR óptimos dados el volumen y destino, y una banda de tolerancia elegida como criterio de diseño. En una tabla y en un mismo gráfico, presentar los valores de TR óptimos y sus bandas de tolerancia, para las octavas con frecuencias centrales comprendidas entre 125 y 4000 Hz.
2. Seleccionar los materiales con que estarán construidas las superficies interiores del recinto (piso, techo, paredes), dimensionar las puertas, elegir el tipo y cantidad de muebles (mesas o escritorios para oradores, si habrá tarima, el número y tipo de asientos que se instalarán).
3. Seleccionar el porcentaje de ocupación con el que se desea lograr los tiempos de reverberación óptimos en el proyecto.
4. Calcular el tiempo de reverberación inicial correspondiente a la sala con muebles y en el estado de ocupación que se elija (porcentaje de ocupación para el proyecto), para las octavas con frecuencias centrales comprendidas entre 125 y 4000 Hz.
5. Si es necesario, diseñar un tratamiento acústico con diversos fonoabsorbentes para ajustar los TR en cada octava.

Cálculo de tiempos de reverberación óptimos

Con el volumen, y a partir de modelos matemáticos empíricos, se calculan los tiempos de reverberación óptimos. Cabe destacar que existen diversos criterios de diseño y no hay uniformidad de opinión entre los autores de la bibliografía especializada.

Por ejemplo, en la Figura 1 se presenta un conjunto de curvas de tiempos de reverberación óptimos. Entrando a las curvas con el volumen¹, y dependiendo del uso al que está destinado el recinto, se puede leer en el eje de ordenadas el valor del tiempo de reverberación recomendado para la frecuencia de 500 Hz. Para las frecuencias inferiores a 500 Hz, los TR óptimos se obtienen multiplicando el TR_{500Hz} por un factor mayor que 1, que puede ser leído en el gráfico de la Figura 2. Para simplificar la tarea, en la Tabla 1 se presentan las expresiones analíticas para el cálculo de los TR óptimos aplicables al caso de salas destinadas a la palabra, para las distintas frecuencias de interés y en función del volumen (en m^3).

Cabe destacar que éste es un modelo matemático, y que existen otros.

¹ Notar que en ese gráfico el volumen está dado en miles de pies cúbicos.

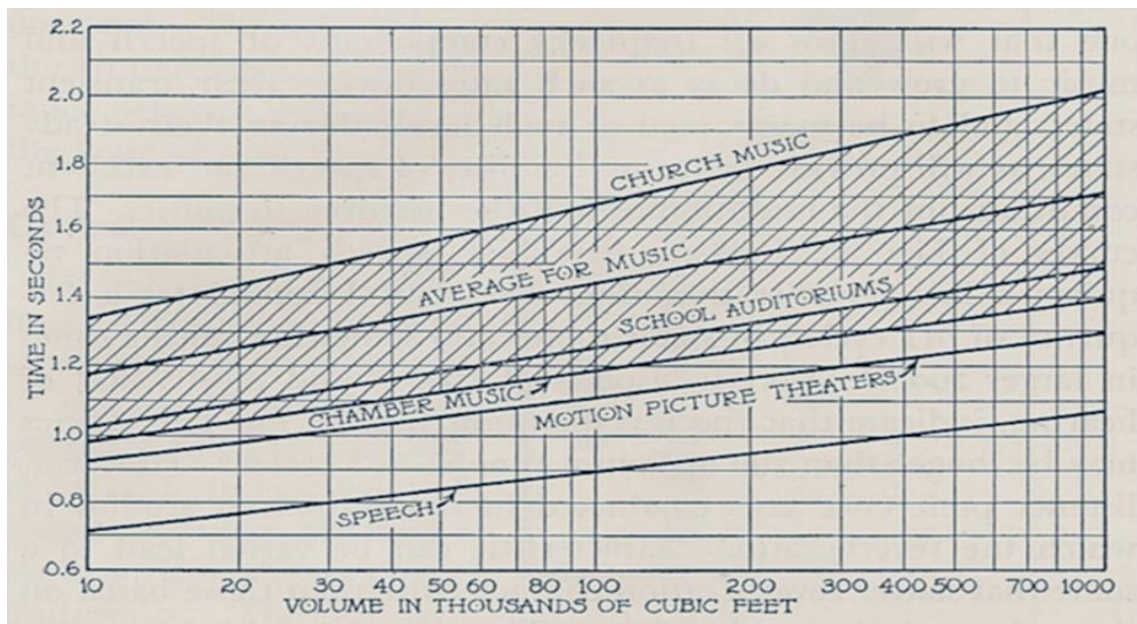


Figura 1: TR óptimo a 512 Hz para diferentes tipos de salas en función de su volumen (en pie^3)

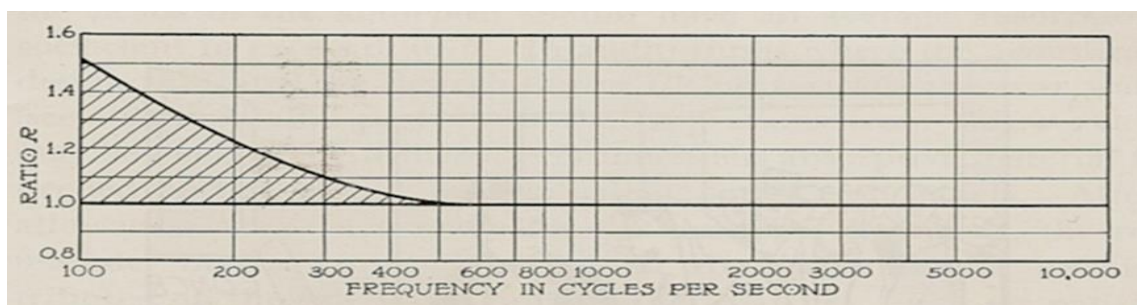


Figura 2: Factor de multiplicación del $\text{TR}_{500 \text{ Hz}}$ para obtener el TR óptimo a frecuencias inferiores a 500 Hz

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

Absorción sonora equivalente

Inicialmente, el área de absorción sonora equivalente de la sala desocupada (con muebles, sin personas), estará dada por la de los materiales con los que estén construidas las superficies que componen la envolvente y por la absorción de los muebles y objetos que se coloquen (butacas, mesas, escritorios, etc).

Empezamos por caracterizar la absorción del local, sin muebles ni personas. Solamente consideramos los materiales de sus superficies (piso, techo y paredes), y los materiales de las aberturas (por ejemplo: puertas). El **área equivalente del local sin muebles ni personas, A_L** , será:

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

$$A_{LOCAL \text{ VACÍO}} = A_L = \left[S_{pi} \cdot \alpha_{pi} + S_{te} \cdot \alpha_{te} + S_{pa} \cdot \alpha_{pa} + S_{pu} \cdot \alpha_{pu} + S_{ve} \cdot \alpha_{ve} \right]$$

A continuación, consideramos el agregado de muebles. Supongamos que instalamos:

- N_{me} mesas para oradores, y que cada una absorbe $A_{me} \text{ m}^2$
- N_{bu} butacas (considerando las del público más las de los oradores), y que cada una absorbe $A_{bu} \text{ m}^2$

El **área equivalente del local con muebles y sin público, A_1** , será:

$$A_1 = A_L + A_{MUEBLES} = A_L + A_{MESAS} + A_{BUTACAS}$$

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

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

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

Siendo:

n_{MUj} : Número de objetos del tipo j-ésimo

A_{MUj} : Área equivalente de absorción sonora del objeto tipo j-ésimo, en m^2

Al considerar la absorción del público, al cálculo anterior debemos agregarle la absorción de las personas sentadas en las butacas (absorción de butaca+persona), y restar la absorción de las butacas que ya no están desocupadas.

La cantidad de personas que consideraremos en los cálculos surge de la aplicación de un criterio de diseño: se debe elegir un porcentaje de ocupación para el cual se espera que el TR sea el óptimo, por ejemplo: 70%, 80% ó 100%. Un criterio comúnmente utilizado es considerar un 75% de ocupación.

El **área equivalente del local con muebles y con público, A_2** , será:

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

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

donde:

$N_{bu\ vac}$: 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

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

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

Si con este valor no se han logrado los $T_{R\ óptimos}$ (aun teniendo en cuenta una banda de tolerancia), será necesario agregar materiales fonoabsorbentes, teniendo en cuenta la factibilidad de realización del tratamiento propuesto, (tipo de materiales seleccionados, ubicación de los mismos, funcionalidad del diseño, etc.). Ver ANEXO A.

Al cubrir con un material fonoabsorbente de coeficiente α_F una parte de la superficie interior ($S_F\ m^2$), por ejemplo en la pared, se agregará un área equivalente de absorción sonora:

$$A_F = \alpha_F \cdot S_F$$

Al mismo tiempo, por cada material fonoabsorbente que se agregue, deberemos tener en cuenta que habrá una superficie inicial que ya no estará expuesta al sonido.

Así, el **área equivalente del local completo: con tratamiento fonoabsorbente, con muebles y con público, A_3** , será:

$$A_3 = A_{LOCAL} + A_{MESAS} + A_{BUTACAS\ VACÍAS} + A_{PERSONAS\ EN\ BUTACAS}$$

$$A_3 = \left[S_{pi} \cdot \alpha_{pi} + S_{te} \cdot \alpha_{te} + S_{pa} \cdot \alpha_{pa} + S_{pu} \cdot \alpha_{pu} + S_{ve} \cdot \alpha_{ve} + \sum_{k=1}^n S_{Fk} \cdot \alpha_{Fk} \right] +$$

$$+ [N_{me} \cdot A_{me}] + [N_{bu\ vacías} \cdot A_{bu\ vacías}] + [N_{per} \cdot A_{per}]$$

Siendo S_L la superficie interior total del local:

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

Resultando un tiempo de reverberación final dado por:

$$TR_3 = \frac{0.161 \cdot V}{A_3}$$

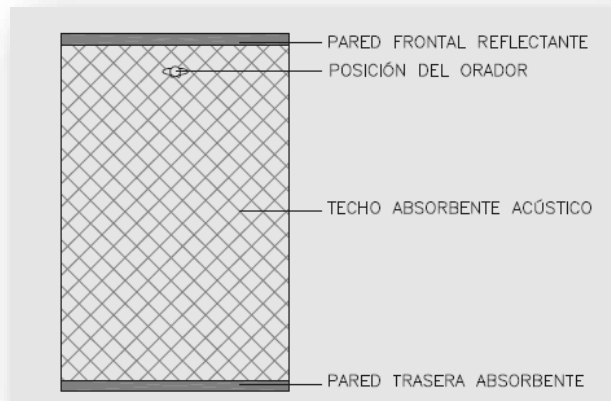
Código Técnico de la Edificación (CTE de España) **Recomendaciones de diseño acústico para aulas y salas de conferencias**

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

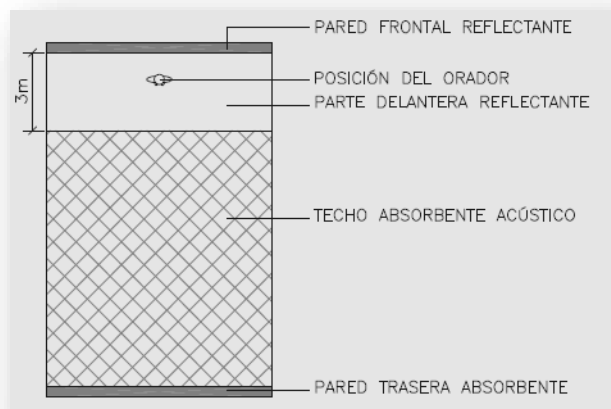
Opción 1:

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



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



NIVEL INTELIGIBILIDAD Y PÉRDIDA DE ARTICULACIÓN DE CONSONANTES

En general, una palabra consta de vocales y consonantes. Cada una de ellas tiene una característica específica:

- Una vocal posee componentes en baja frecuencia, un nivel sonoro 12 dB superior al de una consonante y de mayor duración (90 ms). Por ello, aportan nivel a la voz, siendo máxima su contribución en la banda de 500 Hz.
- Una consonante presenta una mayor aportación de altas frecuencias, una menor duración (20 ms) y un nivel sonoro inferior.

Puesto que la comprensión de un mensaje oral depende fundamentalmente de la correcta percepción de sus consonantes, es de vital importancia percibir bien las altas frecuencias.

En la tabla 2 aparece una clasificación, en bandas de octavas, de la contribución de las frecuencias a la inteligibilidad de la palabra y al nivel sonoro. En ella se aprecia que las frecuencias de la octava centrada en 2 kHz son las que tienen mayor influencia en la inteligibilidad de la palabra. Por este motivo en la práctica, se suelen hacer los cálculos para 2 kHz.

Tabla 2: Contribución de la inteligibilidad de la palabra para cada banda de octava					
Frecuencias [Hz]	250	500	1k	2k	4k
Nivel sonoro	22%	46%	20%	3%	2%
Inteligibilidad	5%	13%	20%	31%	26%

Para evaluar la inteligibilidad hay varios métodos, de los cuales, uno de los más difundidos es el que se basa en el estudio de la pérdida real de consonantes.

A principios de la década de los años 70, el investigador holandés Peutz llevó a cabo un exhaustivo trabajo a partir del cual estableció una fórmula para el cálculo de la inteligibilidad.

El trabajo se dividió en dos partes: la primera consistió en realizar una serie de pruebas de audiencia en diferentes recintos basadas en la emisión de un conjunto preestablecido de "logatomos" (palabras sin significado formadas por: consonante-vocal-consonante). Cada individuo receptor tomaba nota de lo que escuchaba y, posteriormente, se procesaba toda la información recogida y se establecía una estadística de los resultados obtenidos. Si, por ejemplo, el porcentaje medio de logatomos detectados correctamente en uno de los recintos era de un 85%, entonces se consideraba que la pérdida de información era de un 15%. Como dicha pérdida se asociaba a una percepción incorrecta de las consonantes, Peutz la denominó: % de Pérdida de Articulación de Consonantes, o lo que es lo mismo, %ALCons (Articulation Loss of Consonants).

La segunda parte del trabajo consistió en encontrar un modelo matemático que, a partir del conocimiento de parámetros acústicos del recinto en estudio, permitiese hallar el valor de %ALCons en diferentes puntos del mismo, sin necesidad de tener que realizar las laboriosas

pruebas de audiencia. Lógicamente, este modelo también resulta muy útil para predecir la inteligibilidad de la palabra en un recinto todavía por construir.

En una sala que tiene un valor bajo de %Alcons es más sencillo entenderse que en una que tiene un valor alto de %Alcons. El valor se basa exclusivamente en el porcentaje de consonantes medio que no pueden llegar a entender los oyentes de una sala, ya que las vocales no son necesarias para entender un mensaje.

Haciendo uso de la teoría acústica estadística, Peutz dedujo que el valor de %ALCons en un punto dado de un recinto se podía determinar a partir de conocer el tiempo de reverberación, TR, y la diferencia entre los niveles de presión sonora de campo directo, LD, y de campo reverberante, LR, en dicho punto.

La diferencia entre los niveles sonoros de campo directo y de campo reverberante, debe interpretarse como la relación señal/ruido en lo que respecta a la comprensión del lenguaje.

Peutz estableció la siguiente relación:

$$L_D - L_R = 10 \log \left(\frac{Q \cdot R}{d^2} \right) - 17 \quad (\text{en dB})$$

donde:

- Q factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada ($Q = 2$ en el caso de la voz humana, considerando la dirección frontal del orador)
- d distancia entre el emisor (orador) y el receptor, en m
- R constante acústica de la sala, en m^2 ,

Recordemos que la constante R está dada por:

$$R = \frac{A}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{0,161 \cdot V}{T_{60}(1 - \bar{\alpha})} \quad (\text{en } m^2)$$

- V volumen de la sala, en m^3
- T_{60} tiempo de reverberación de la sala, en s
- A área equivalente de absorción sonora de la sala, en m^2
- $\bar{\alpha}$ Coeficiente medio de absorción de la sala (adimensional)

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \cong \frac{A}{S_L}$$

- S_L Superficie interior del local, en m^2

A su vez, Peutz definió el *nivel de inteligibilidad*, $IL\%$, como:

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

y la pérdida de articulación de consonantes %AL (o %ALcons):

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

$$\%AL = 9 \cdot T_{60} \quad \text{para } d > 3,16 \cdot D_c$$

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

Siendo D_c la distancia crítica, en m.

Puede observarse que:

- Cuanto menor sea el TR, menor será el $\%AL_{Cons}$, es decir, mayor inteligibilidad.
- Cuanto más cerca esté situado el receptor de la fuente sonora, mejor será la relación señal/ruido (mayor valor de $L_D - L_R$).
- El valor de $\%AL_{Cons}$ va aumentando a medida que el receptor se aleja de la fuente, hasta una distancia: $r = 3,16 D_c$. Para distancias $r > 3,16 D_c$, equivalentes a $(L_D - L_R) < -10$ dB, el valor de $\%AL_{Cons}$ tiende a ser constante. Ello significa que, a partir de ese punto, la inteligibilidad de la palabra ya no empeora con el aumento de la distancia.
- Otro factor no mencionado hasta el momento, pero que contribuye sustancialmente a la pérdida de inteligibilidad, es el ruido de fondo de la sala. Como criterio de diseño, se puede considerar que su efecto es despreciable cuando el correspondiente nivel de ruido de fondo está, como mínimo, 12 dB por debajo del nivel de la señal.

Criterios de diseño:

Los cálculos deben hacerse, como mínimo, para la mayor distancia entre la fuente y el receptor (distancia hasta la última fila del recinto).

En cuanto a la variación con la frecuencia, una opción es la de trabajar con valores de la banda de octava centrada en $f = 1$ kHz, por tratarse de una de las bandas de contribución a la inteligibilidad de la palabra, y porque es la media logarítmica del espectro de voz humana [100 Hz; 1 kHz; 10 kHz].

Pero habitualmente el $\%AL_{Cons}$ se calcula en la banda de los 2 kHz, por tratarse de la banda de máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra.

De modo que para el cálculo de R podemos utilizar los valores de:

- $A_{2\text{kHz}}$: área equivalente de absorción sonora para la octava de 2 kHz, en m^2
- $\alpha_{2\text{kHz}}$: coeficiente de absorción sonora para la octava de 2 kHz, adimensional
- T_{60} : tiempo de reverberación de la banda de octava de 2 kHz, en s

ANEXO A

Tabla 2: Absorción sonora de personas, objetos y materiales

Personas u objetos	Frecuencia [Hz]	Área equivalente de absorción sonora (en m ² / unidad)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Escolares en pupitre		0,17	0,21	0,26	0,30	0,33	0,37
Jóvenes en pupitre		0,20	0,28	0,31	0,37	0,41	0,42
Adulto de pie sin abrigo		0,12	0,24	0,59	0,98	1,13	1,12
Adulto de pie con abrigo		0,17	0,41	0,91	1,3	1,43	1,47
Adulto en silla de madera		0,15	0,25	0,35	0,38	0,38	0,35
Adulto en butacas tapizadas 1		0,18	0,40	0,46	0,47	0,51	0,46
Adulto en butacas tapizadas 2		0,12	0,25	0,42	0,46	0,48	0,40
Butaca de madera		0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04
Butacas tapizadas vacías 1		0,12	0,20	0,28	0,30	0,31	0,37
Butacas tapizadas vacías 2		0,12	0,23	0,27	0,30	0,33	0,33
Mesa		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Pupitre de madera		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Plataforma de madera con gran espacio de aire debajo		0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Entablado de madera de 2,5 cm de altura		0,19	0,16	0,13	0,10	0,06	0,06

Materiales	Frecuencia [Hz]	Coeficiente de absorción sonora, α					
		125	250	500	1000	2000	4000
Baldosa enlosada		0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Baldosa plástica pegada		0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02
Cristal (panel de 1m x 1,2 m)		0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Enlucido		0,01	0,03	0,04	0,05	0,08	0,17
Hormigón		0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,07
Ladrillo pintado		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Madera barnizada		0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Mármol		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Papel pintado		0,01	0,02	0,04	0,10	0,20	0,30
Parqué pegado		0,03	0,04	0,08	0,12	0,12	0,17
Pizarra		0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07
Puerta de madera maciza		0,05	0,11	0,10	0,09	0,08	0,10
Revestimiento de cemento liso		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Ventana con persiana		0,05	0,10	0,15	0,25	0,40	0,60
Yeso/escayola pintado		0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Corcho en muro, espesor: 10 mm		0,04	0,05	0,08	0,18	0,21	0,20
Tela acolchada		0,15	0,32	0,40	0,45	0,40	0,45
Tela porosa sobre 100 mm lana de vidrio		0,40	0,59	0,90	0,96	0,95	0,87
Alfombra de bouclé 6mm		0,04	0,06	0,13	0,30	0,43	0,48
Alfombra Moqueta fina		0,10	0,12	0,15	0,30	0,35	0,32
Alfombra Moqueta gruesa		0,12	0,20	0,25	0,45	0,40	0,35
Alfombra de lana gruesa		0,15	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80
Cortina liviana de algodón, poco plegada		0,04	0,05	0,11	0,18	0,30	0,44
Cortina liviana 500g/m2 (plegada 50%)		0,07	0,31	0,49	0,57	0,66	0,55
Cortina terciopelo 600g/m2 (plegada 50%)		0,14	0,35	0,55	0,75	0,70	0,60
Cortina tela Corderoy rellena con guata (lisa)		0,04	0,04	0,10	0,28	0,70	0,70
Cortina tela Panamá rellena con guata (lisa)		0,04	0,05	0,11	0,64	0,63	0,50

Materiales	Frecuencia [Hz]	Coeficiente de absorción sonora, α					
		125	250	500	1000	2000	4000
Espuma ondulada (19 / 35 mm)		0,12	0,22	0,28	0,46	0,65	0,85
Espuma ondulada (22 / 50 mm)		0,13	0,27	0,39	0,61	0,86	0,99
Espuma ondulada (24 / 50 mm)		0,14	0,24	0,48	0,81	0,89	0,94
Espuma ondulada (40 / 70 mm)		0,15	0,32	0,56	0,82	0,90	1,00
Espuma ondulada (45 / 75 mm)		0,15	0,43	0,81	0,93	0,94	1,02
Espuma plana, 10 mm		0,03	0,04	0,05	0,09	0,13	0,31
Espuma plana, 30 mm		0,06	0,08	0,16	0,33	0,69	0,82
Espuma plana, 45 mm		0,15	0,40	0,93	0,99	0,99	0,98
Lana de vidrio 9 mm		0,02	0,05	0,14	0,36	0,56	0,78
Lana de vidrio 19 mm		0,05	0,19	0,46	0,76	0,97	0,99
Lana de vidrio 19 mm + 20 cm cámara aire		0,41	0,61	0,96	0,87	0,95	1,00
Lana de vidrio, 25 mm, en paneles, 35 kg/m ³		0,24	0,51	0,84	0,93	0,96	0,96
Lana de vidrio, 50 mm, en paneles, 35 kg/m ³		0,20	0,51	0,85	0,97	0,96	0,85
Lana de vidrio, 70 mm, en paneles, 35 kg/m ³		0,42	0,77	0,99	1,00	0,99	0,99
Lana de vidrio 100 mm, en rollo, 13 kg/m ³		0,40	0,59	0,90	0,96	0,95	0,87
Paneles colgantes lana de vidrio, 0.6x1mx75mm, en filas separadas 60 cm		0,15	0,33	1,02	1,10	0,84	0,64
Paneles colgantes lana de vidrio, 0.6x1mx75 mm, en cuadrados de 1mx1m		0,33	0,53	1,57	1,64	1,43	1,07
Paneles colgantes de lana de vidrio, 0.60x1.20 m x 45 mm en filas separadas 60 cm (1,4 x m ²)		0,36	0,56	0,87	1,11	0,96	0,72
Panel madera ranurado al 20%, sobre 5cm de lana de vidrio y 2,5 cm de cámara de aire		0,40	0,80	0,90	0,85	0,75	0,40
Panel madera, aglomerado 6 mm, sobre 50 mm lana de vidrio		0,61	0,65	0,24	0,12	0,10	0,06
Panel madera terciada perforada + tela delante + cámara de aire 50mm		0,09	0,25	0,62	0,74	0,44	0,68
Cielorraso 1: Panel perforado al 10%, diámetro 5mm + 25mm lana vidrio de 35 kg/m ³ + cámara aire 20 cm		0,09	0,25	0,52	0,85	0,87	0,83
Cielorraso 2: Panel perforado al 10%, diámetro 10mm + 25mm lana vidrio de 35 kg/m ³ + cámara aire 20cm		0,05	0,25	0,51	0,94	0,94	0,58
Cielorraso 3: Panel perforado al 2%, diámetro 2mm + 25mm lana de vidrio 12 kg/m ³ + cámara aire 100 cm		0,44	0,49	0,61	0,63	0,56	0,52
Cielorraso 4: Panel yeso acanalado + lana 50mm, 35 kg/m ² + 85 cm aire		0,56	0,60	1,00	0,83	0,49	0,31
Cielorraso 5: 20 mm lana de vidrio cubierta con tela trama abierta + cámara de aire 25 cm		0,68	0,82	0,67	0,79	0,82	0,80
Cielorraso 6: 20 mm lana de vidrio cubierta con tela gamuzada + cámara de aire 25 cm		0,73	0,95	0,62	0,79	0,84	0,80
Cielorraso 7 + 25 cm de cámara de aire		0,52	0,75	0,38	0,44	0,52	0,48
Cielorraso 8 + 25 cm de cámara de aire		0,47	0,70	0,46	0,50	0,50	0,47
Cielorraso 9 + 25 cm de cámara de aire		0,57	0,79	0,43	0,50	0,61	0,58
Placas yeso + 60 mm cámara aire		0,16	0,23	0,67	0,82	0,48	0,69
Placas yeso + 400 mm cámara aire		0,56	0,84	0,53	0,56	0,43	0,48
Placas yeso + 20 mm lana mineral 30 kg/m ³ + 60 mm cámara aire		0,29	0,55	0,99	0,86	0,45	0,56
Placas yeso + 20 mm lana mineral 30 kg/m ³ + 400 mm cámara aire		0,68	0,93	0,76	0,84	0,56	0,65