

ABSORCIÓN SONORA

CRISTIAN D. CARRIZO¹, JOSE S. MELIAN¹ y GUILLERMO STETTLER¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN, FRC).
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, Argentina.
carrizo.cristiand@gmail.com, lianjosh@hotmail.com, guille_085@hotmail.com

Resumen – *El éxito en el diseño acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definidas sus formas, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del mismo con objeto de obtener tiempos de reverberación óptimos. Además, según el tipo de espacio acústico, resulta necesario potenciar la aparición de primeras reflexiones y/o conseguir una buena difusión del sonido. En este trabajo se describen los diferentes tipos de materiales y elementos utilizados a tal efecto, así como sus características básicas.*

1. INTRODUCCIÓN

En un recinto cualquiera, la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto en su propagación a través del aire como cuando inciden sobre sus superficies límite, es determinante en la calidad acústica final del mismo.

Básicamente, dicha reducción de energía, en orden de mayor a menor importancia, es debida a la absorción.

El objeto de este trabajo es estudiar la absorción sonora y analizar las características absorbentes de los materiales utilizados en la construcción de recintos y cómo la absorción sonora varía dependiendo algunos parámetros.

2. ABSORCIÓN SONORA

Cuando una onda sonora incide sobre una pared de un recinto, la mayor parte de la onda se refleja, pero un porcentaje de la misma es absorbida por la superficie[2].

Una superficie –o medio– reflectora (“opaca”) es aquella que refleja toda señal que incide sobre ella. En la naturaleza, como es de esperar, no existe tal superficie, ya que todas, en mayor o menor medida, absorben alguna porción de la energía de la onda sonora incidente.

En un recinto de características generales, la absorción puede ser producida por:

- Las personas
- Las sillas (o cualquier mueble presente)
- Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores), expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimientos del recinto.
- Todas aquellas superficies límite de la sala susceptibles de entrar en vibración (como por

ejemplo, puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras).

- El aire
- Los materiales rígidos y no porosos utilizados en la construcción de las paredes y techo del recinto (como por ejemplo, el hormigón).

2.1 Coeficiente de absorción sonora

Las características de absorción de los materiales absorbentes y de los resonadores dependen no sólo de sus propiedades físicas, sino también en gran parte de un sinfín de condicionantes y de detalles constructivos (frecuencia de la onda sonora, ángulo de incidencia sobre la superficie, etc.), que varían sustancialmente si se particulariza el estudio y que resultan prácticamente muy complejas al momento de modelarlas matemáticamente.

Es por esta imposibilidad que se utiliza el coeficiente de absorción sonora α , que se define como el cociente entre la energía absorbida y la energía total de la onda sonora incidente. Para calcularlo se utiliza una fórmula desarrollada por Wallace Clement Sabine, que involucra el volumen de un recinto, su tiempo de reverberación (TR60) y los coeficientes de absorción multiplicados por las superficies de absorción.

Como el estudio del tiempo de reverberación escapa a los fines de esta investigación, solo diremos que es el tiempo que tarda una onda sonora en extinguirse (dentro de un recinto) una vez que se suprimió la fuente de dicha señal.

3. ELEMENTOS ABSORBEDORES COMUNES EN RECINTOS

Los siguientes, son elementos que se encuentran comúnmente en un recinto de características generales:

- 1) Aire
- 2) Materiales utilizados en la construcción de las paredes y techo de un recinto y
- 3) Materiales vibrantes.

3.1 Aire

La energía absorbida por el aire es considerable solamente en recintos de grandes dimensiones, a frecuencias relativamente altas (mayores a los 2 kHz) y con porcentajes de humedad relativa (del orden de un 30 a un 70%). Esta absorción se representa por la denominada constante de atenuación del sonido en el aire m .

La figura 1 muestra una gráfica con una familia de curvas mediante las cuales podemos determinar el valor del producto $4m$ en condiciones normales de presión y temperatura ($P_0 = 105 \text{ Pa}$ y $20 \text{ }^\circ\text{C}$), para cada frecuencia y porcentaje de humedad relativa del aire.

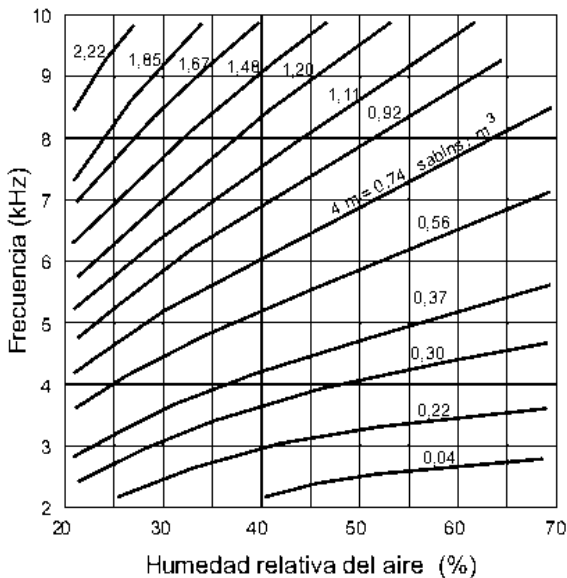


Figura 1: Gráficas para la determinación del producto $4m$ (m es la constante de atenuación del sonido en el aire)

Teniendo este producto ($4m$) como dato, como así también el volumen V del recinto, podemos hallar el tiempo de reverberación del mismo, teniendo en cuenta la atenuación producida por el aire. La fórmula que utilizaremos es la de Sabine completa:

$$TR = \frac{0,161 \cdot V}{A_T + 4m \cdot V} \quad (1)$$

Siendo A_T la absorción total del recinto (en sabins).

3.2 Absorción de los materiales utilizados en la construcción de las paredes y techo de un recinto

Estos materiales son muy rígidos, por ende tienen una muy exigua porosidad, lo que hace que la absorción sonora sea prácticamente nula. Si se trata el tema de forma rigurosa, la disipación de energía en forma de calor -y por tanto- la absorción del sonido,

se lleva a cabo en las capas de aire adyacentes a cada una de las superficies consideradas, a efectos prácticos, se le otorga al fenómeno coeficientes de absorción asignados a dichas superficies.

El efecto comienza a ser significativo cuando no hay materiales absorbentes en el recinto. Un ejemplo de esto es la cámara de reverberante, que es especialmente diseñada para que los tiempos de reverberación sean altos.

En la tabla 2 se indican los valores de los coeficientes de absorción α_{SAB} de una serie de materiales utilizados comúnmente en la construcción de recintos.

Frecuencia [kHz]	0,5	1	2	4
Hormigón macizo	0,02	0,03	0,04	0,04
Bloques de hormigón pintados	0,05	0,07	0,09	0,08
Ladrillo revestido con yeso	0,02	0,03	0,04	0,04

Tabla 1: Coeficientes de absorción α_{SAB} de materiales habitualmente utilizados en la construcción de recintos.

Si bien todos los valores son muy bajos, el material con una mayor rugosidad presenta unos coeficientes de absorción ligeramente más elevados. Esto es debido a que su superficie es mayor y, por tanto, la capa de aire adyacente donde se produce la disipación de energía también lo es.

3.3 Superficies vibrantes

Si en el recinto hay materiales susceptibles de entrar en vibración, como por ejemplo, puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras, también se produce debido a ellas cierta absorción que es conveniente tener en cuenta.

A diferencia de los materiales absorbentes (en cuyo caso la mayor absorción se produce de una forma totalmente controlada y va asociada a un proceso de disipación de energía, es decir, de conversión de energía sonora en calor), los materiales vibrantes, una parte de la energía de vibración es radiada hacia el exterior. La energía, en rigor, atraviesa la superficie vibrante y es absorbida por ella, el efecto es equivalente a una verdadera absorción, ya que la onda incidente se refleja con menor energía una vez que ha interactuado con la superficie vibrante.

Dicha aproximación tiene validez solamente para valores de la fracción próximos a cero.

(1.1) La vibración de un material, por ejemplo una pared, puede provocar la falta de aislamiento acústico hacia el exterior. Esta problemática no es objeto de este texto.

La expresión aproximada del coeficiente de absorción α de una superficie vibrante, en función de la frecuencia, es:

$$\alpha = \left(\frac{2 \cdot \rho_0 \cdot c}{\omega \cdot M} \right)^2 \quad (2)$$

donde:

$\rho_0 = \text{densidad del aire} = 1,18 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$
 $\omega = 2\pi f$
 $f = \text{frecuencia (en Hz)}$
 $M = \text{masa por unidad de superficie (Kg/m}^2\text{)}$

4. MATERIALES ABSORBENTES

Dependiendo del tipo de material que utilicemos para revestir las superficies límites del recinto, va a ser la absorción de la onda sonora y su dependencia en frecuencia. La elección correcta del material nos permitirá adecuar el diseño a la banda de frecuencia de interés.

Puede ocurrir que la absorción en una o más bandas de frecuencias sea muy elevada, lo que se traduce en un coeficiente de absorción α_{SAB} mayor que 1. Lo cual no debe interpretarse erróneamente como que la onda reflejada tiene mayor energía que la incidente. Lo que sucede es que, debido a un efecto de difracción, la superficie a tener en cuenta para realizar la obtención de α es más grande que la real.

Con la utilización de los materiales absorbentes se buscan algunos de los siguientes objetivos:

- Tiempos de reverberación adecuados a la aplicación a la que se ha destinado el recinto
- Prevención o eliminación de ecos
- Reducción del nivel de campo reverberante en espacios ruidosos

La absorción tiene lugar cuando la onda sonora entra en contacto con los canales que poseen estos materiales. A mayor número de canales, mayor absorción.

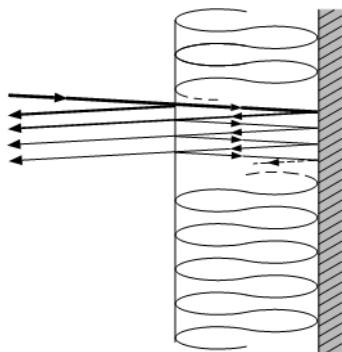


Figura 2: Proceso de disipación de energía en el interior de un material poroso situado delante de una pared rígida.

En la figura 2 se ilustra el proceso de absorción, la onda sonora incidente es parcialmente reflejada. La onda que no fue reflejada, atraviesa el material absorbente y pierde parte de su energía; se refleja contra la pared rígida y vuelve a atravesar el material produciéndose una nueva atenuación. Desde el punto de vista teórico, este proceso se repite indefinidamente.

Este mecanismo es propio de todos los materiales porosos. Normalmente tales materiales están formados por sustancias fibrosas o granulares a las que se les confiere un grado suficiente de compacidad mediante la aplicación de un prensado o

de tejeduría. Los materiales absorbentes de este tipo por lo general se fabrican a partir de:

- Lana de vidrio
- Lana mineral
- Espuma a base de resina de melamina
- Espuma de poliuretano

4.1 Variación del coeficiente de absorción en función del espesor del material.

La absorción que se produce en este tipo de materiales aumenta conforme aumenta el espesor del mismo. No describiremos el proceso que justifica esta dependencia, pero sí diremos que, una forma simple de explicarlo es que, a mayor espesor mayor es el recorrido de la onda sonora y por tanto es mayor el contacto que tiene la misma con los poros del material.

La absorción también depende de la relación que existe entre la longitud de onda de la señal sonora y el espesor del material, cuando la magnitud del segundo es mucho menor que la magnitud de la primera, la absorción es relativamente baja. La figura 3 muestra la variación de la absorción en función de la frecuencia para diferentes espesores de un material absorbente comercial a base de lana de vidrio.

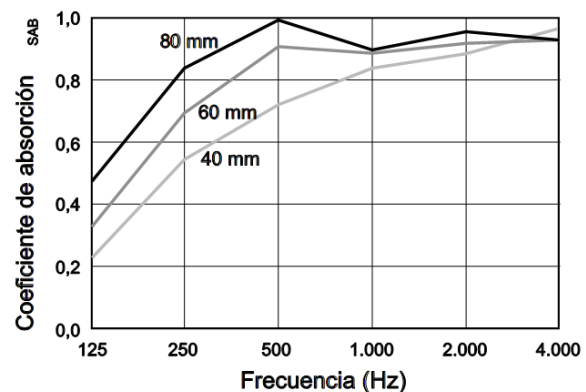


Figura 3: Variación de la absorción en función de la frecuencia para diferentes espesores de un material absorbente comercial a base de lana de vidrio.

4.2 Variación de la absorción en función de la porosidad del material

Como mencionamos anteriormente, la absorción aumenta a mayor porosidad del material.

En la figura 4 grafica la absorción en función de la frecuencia de un mismo material con tres grados de porosidad diferentes.

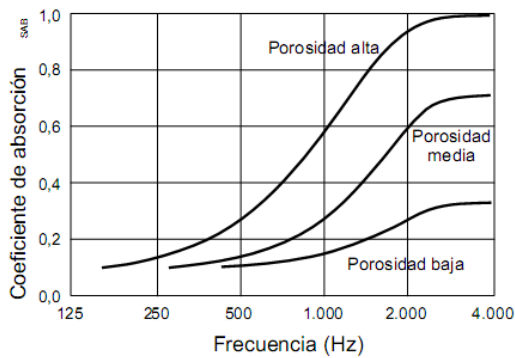


Figura 4: Variación de la absorción en función de la frecuencia de un material absorbente con distintos grados de porosidad.

4.3 Variación de la absorción en función de la densidad del material

Si la densidad del material es baja, existen pocas pérdidas por fricción y, en consecuencia, la absorción es pequeña. A medida que la densidad va aumentando, se produce un incremento progresivo de absorción hasta llegar a un valor límite, a partir del cual la absorción disminuye, debido a que existe una menor penetración de la onda sonora en el material, es decir, una mayor reflexión de energía.

En la figura 5 se muestran los valores de los coeficientes de absorción de una lana de roca de 60 mm de espesor y densidades de 40 y 100 Kg/m³, respectivamente.

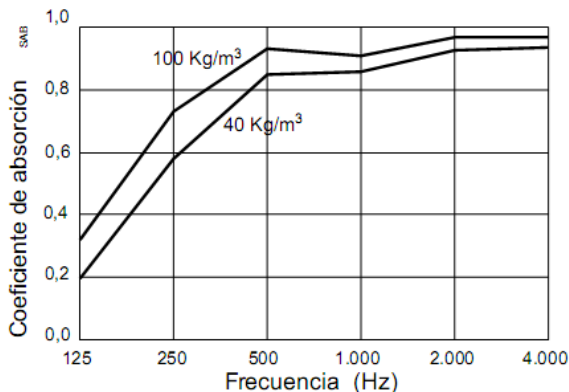


Figura 5: Coeficientes de absorción de una lana de roca de 60 mm de espesor y densidades de 40 y 100 Kg/m³.

5. ELEMENTOS ABSORBENTES SELECTIVOS (RESONADORES)

Se trata de elementos que presentan una curva de absorción con un valor máximo a una determinada frecuencia. Dicha frecuencia recibe el nombre de frecuencia de resonancia, y depende de las características tanto físicas como geométricas del resonador. Generalmente, está situada por debajo de los 500 Hz.

Los resonadores pueden utilizarse de forma independiente, o bien, como complemento a los materiales absorbentes.

Básicamente, existen los siguientes tipos de resonadores:

- De membrana o diafragmático;
- Simple de cavidad (Helmholtz);

- Múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados y
- Múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de listones

Por motivos de espacio, solo describiremos levemente los dos primeros.

5.1 Resonador de membrana

Está formado por un panel de un material no poroso y flexible, como por ejemplo la madera, montado a una cierta distancia de una pared rígida con objeto de dejar una cavidad cerrada de aire entre ambas superficies.

Cuando una onda sonora incide sobre el panel, éste entra en vibración como respuesta a la excitación producida. Dicha vibración, provoca una cierta deformación del material y la consiguiente pérdida de una parte de la energía sonora incidente, que se disipa en forma de calor.

El aire atrapado en *d* y la masa del panel, constituyen un sistema resonante que entra, valga la redundancia, en resonancia para frecuencias cercanas a *f*₀, siendo la misma la frecuencia de diseño.

En la figura 6 se representa un esquema básico de un resonador de membrana constituido por un panel de masa por unidad de superficie *M*, separado una distancia "*d*" de la pared rígida.

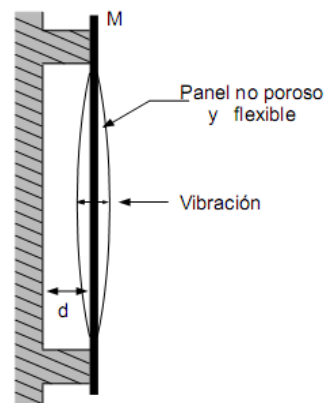


Figura 6: Esquema básico de un resonador de membrana o diafragmático

Para hallar la frecuencia de resonancia se utiliza la siguiente fórmula:

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{M \cdot d}} \text{ Hz} \quad (3)$$

Siendo: *M* = masa por unidad de superficie del panel (en Kg/m²) y
d = distancia del panel a la pared rígida (en cm)

5.2 Resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados

Trata de un esquema parecido al anterior, la diferencia reside en el hecho de que al panel ahora se le hacen una serie de perforaciones. Se puede

Interpretar este sistema como un resonador de membrana en el que la masa del panel ha sido sustituida por la masa del aire con cada perforación o ranura. En este caso, es precisamente dicho aire, y no el panel, el que entra en vibración cuando una onda sonora incide sobre el elemento.

La expresión para hallar la frecuencia de resonancia en este caso será:

$$f_0 = 5480 \sqrt{\frac{p}{D \cdot V}} \text{ Hz} \quad (4)$$

Siendo: $p = S/S_p =$ porcentaje de perforación del panel (coeficiente a dimensional)
 $D =$ espesor del panel (coincide con la longitud de los orificios) (en cm)
 $V =$ volumen de la cavidad (en cm^3)

5.3 Absorción producida por el público

El público también puede producir absorción y ésta va a depender de numerosos factores, como por ejemplo, su distribución en el tiempo y el tipo de material con que esté constituida su ropa. Es evidente que de la primera variable se puede contar con una estimación aproximada, pero en cuanto al tipo de ropa, ésta varía respecto al tiempo y ciudad que se esté tratando, por lo que solo se puede contar con datos estimativos, los cuales se los tiene que contrastar con el paso del tiempo.

Si el público está más o menos distribuido, como en el caso de un polideportivo, en lugar de usar un coeficiente unitario α , se tiene en cuenta la absorción por persona A_{pp} , medida en Sabins. En cuyo caso, la absorción total del público será:

$$A_p = N \cdot A_{pp} \quad (5)$$

Donde: $N =$ número de personas
 $A_{pp} =$ absorción de una persona, de pie o sentada (en sabins)

Frecuencia [kHz]	0,5	1	2	4
Persona de pie con abrigo	0,91	1,30	1,43	1,47
Persona de pie sin abrigo	0,59	0,98	1,13	1,12
Músico sentado con instrumento	1,06	1,08	1,08	1,08

Tabla 2: Ejemplos de absorción de una persona A_{pp} , en sabins (según Kath y Kuhl)

Con respecto a la ropa, la tabla 2 muestra la absorción calculadas por Kath y Khul para diferentes frecuencias.

6. CONCLUSION

En este trabajo se describe cuales son los factores principales para calcular la absorción de un elemento teniendo en cuenta parámetros como su espesor,

porosidad o densidad, ya que para determinar la calidad sonora de un recinto se tiene en cuenta los materiales que lo componen como así también las personas que hay en él.

Además se mencionan y describen los parámetros de mayor importancia de los elementos absorbentes más comunes usados en recintos acústicos como estudios de grabación, teatros, salas de conferencias, etc.

7. REFERENCIAS

- [1] Carrión Isbert A. “*Diseño acústicos de espacios arquitectónicos*”. Edición UPC. España. 1998.
 [2] Wikipedia, Online enciclopedia. “*Absorción (sonido)*”. Última modificación Enero 2011. [http://es.wikipedia.org/wiki/Absorción_\(sonido\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Absorción_(sonido))

8. DATOS BIOGRAFICOS

Cristian David Carrizo, nacido en La Rioja el 22/01/1983. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina.
 E-mail: carrizo.cristiand@gmail.com

José Sebastián Melián, nacido en La Rioja el 12/05/1983. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina.
 E-mail: lianjosho@hotmail.com

Guillermo Stettler, nacido en Córdoba el 25/05/1985. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina.
 E-mail: guille_085@hotmail.com