

## 04.03. Aspectos físicos del sonido

### 04.03.01. PROPAGACIÓN DEL SONIDO

Normalmente se entiende como sonido solamente el que se propaga en gases, especialmente en el aire. Evidentemente, también es posible la propagación de sonidos en los líquidos y en los sólidos.

Como la propagación en gases y en líquidos obedece a las mismas leyes físicas, se pueden estudiar conjuntamente, y luego, por separado, la propagación en sólidos.

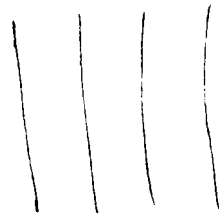
#### a) En gases y líquidos

Aquí, la propagación del sonido no puede ser objeto de tensiones transversales, y las ondas sonoras son ondas de densidad con movimiento longitudinal. Esta propagación se puede caracterizar con dos magnitudes: la presión sonora,  $p$ , (contracciones y dilataciones de volumen: variación de densidad), y la velocidad del sonido,  $c$  (movimiento).

Estas ondas longitudinales se propagan fundamentalmente de dos formas:

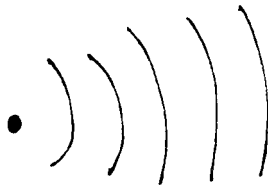
- Ondas planas progresivas (pistón indeformable).

Fuente muy alejada



- Ondas esféricas (esfera radiante).

Fuente próxima



#### b) En sólidos

En este caso, además de las ondas longitudinales, el sonido también se puede propagar mediante ondas transversales. La propagación mediante unos tipos u otros de ondas depende, en parte, de la geometría del cuerpo sólido considerado.

Existen varios tipos de ondas según tengan componente longitudinal, transversal o ambos.

- Longitudinales: Ondas de densidad.
- Transversales: Ondas transversales y ondas de torsión.
- Longitudinales-transversales: Ondas de alargamiento, ondas superficiales o de Rayleigh y ondas de flexión.

Las más importantes desde el punto de vista de aislamiento acústico son las *ondas de flexión*. La particularidad de este tipo de ondas es que su velocidad de propagación « $c$ », al contrario que en los otros tipos de ondas, no es constante, sino que es proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia ( $c = \sqrt{\omega} \sqrt[4]{B/M}$ , donde  $M$ =masa superficial;  $B$ =rigidez a la flexión). Con este tipo de ondas, se produce una dispersión espacio-temporal de las diversas longitudes de onda a su paso por el sólido; es decir, que en la propagación de un impulso con un amplio espectro de frecuencias llegan primero las altas frecuencias a un punto alejado del sólido.

### 04.03.02. REFLEXIÓN DEL SONIDO

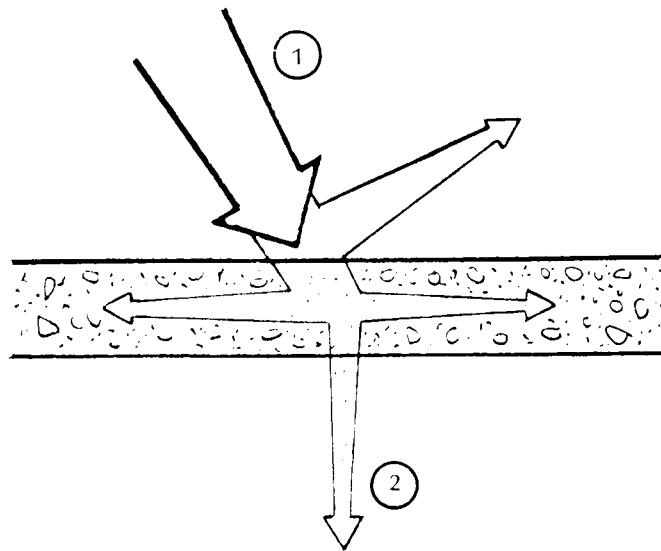


Fig. 4.

En la figura anterior aparecen dos medios 1 y 2 cuyas impedancias son, respectivamente,  $Z_1$  y  $Z_2$ . Consideramos una onda incidente «i» que va del medio 1 al 2. Al llegar al límite, parte de la energía sonora se refleja mediante una onda reflejada «r», y otra parte se transmite al medio 2 mediante una onda transmitida «t».

Se define:

$$\text{Factor (o coeficiente) de transmisión } t = \frac{P_t}{P_i} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$\text{Factor (o coeficiente) de reflexión } r = \frac{P_r}{P_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Esta última ecuación nos indica que cuanto mayor sea la diferencia entre  $Z_1$  y  $Z_2$ , la reflexión será mayor y, por tanto, existirá una elevada amortiguación del sonido. Por ejemplo: si  $Z_1$  es pequeño, como en el caso del aire, se elegirá para una buena amortiguación un  $Z_2$  grande; por el contrario, si  $Z_1$  es grande, como en el caso del agua y de los sólidos, se elegirá una materia de impedancia  $Z_2$  pequeña.

#### Grado de absorción

Generalmente, en lugar del factor de reflexión  $r$  se emplea el *grado de absorción* ( $\alpha$ ), que se define como la fracción de energía de onda incidente que no es reflejada. Como vimos en 2.2, la energía es proporcional al cuadrado de la presión sonora; entonces podemos escribir:

$$\alpha = 1 - r^2$$

Para hacerse una idea, veamos un ejemplo: el grado de absorción de paredes sin revestir, empleando materiales de construcción usuales, es, en general, menor del 5% ( $\alpha < 0,05$ ) (imaginarse una habitación vacía). Además, si tenemos presente que con un grado de absorción del 10% ( $\alpha = 0,1$ ) son necesarias más de 20 reflexiones para que la energía de una señal sonora se reduzca en unos 10 dB; es decir, a una décima parte, está claro que la naturaleza de las paredes juega un papel decisivo en la intensidad del interior de un recinto.

### 04.03.03. ABSORCIÓN DEL SONIDO EN EL MEDIO FÍSICO

La propagación del sonido no se realiza nunca sin pérdidas, sino que está supeditada siempre a una mayor o menor amortiguación; es decir, la presión o la velocidad disminuyen al aumentar la distancia al foco sonoro.

Para esta amortiguación existen diferentes causas que dependen de las características del medio físico y de la frecuencia del sonido.

— Amortiguación «clásica», que incluye:

- Efecto de roce interno de las partículas excitadas por la vibración, condicionado a la viscosidad del medio.
- Efecto de la transmisión del calor generado por el roce de las partículas, dependiente de los coeficientes de transmisión.

— Amortiguación por relajación molecular térmica, debido a las necesidades de energía para el retorno a la posición de equilibrio de las partículas excitadas por las vibraciones. Esta amortiguación es complementaria a la «clásica».

Por ser el aire el medio de propagación habitual, digamos que la amortiguación en dicho medio depende de la frecuencia del sonido considerado, de la humedad relativa y de la temperatura. Los sonidos de alta frecuencia son amortiguados en mayor medida que los de baja frecuencia. Por otra parte, la humedad relativa influye de manera importante en la amortiguación. En la figura 5 puede verse cómo influye la humedad relativa en la amortiguación y para diferentes frecuencias. El máximo de amortiguación se obtiene para un aire muy seco.

También como se ha indicado, influye la temperatura en la amortiguación, disminuyendo ésta al aumentar la temperatura para cualquier grado de humedad (especialmente a partir de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para arriba).

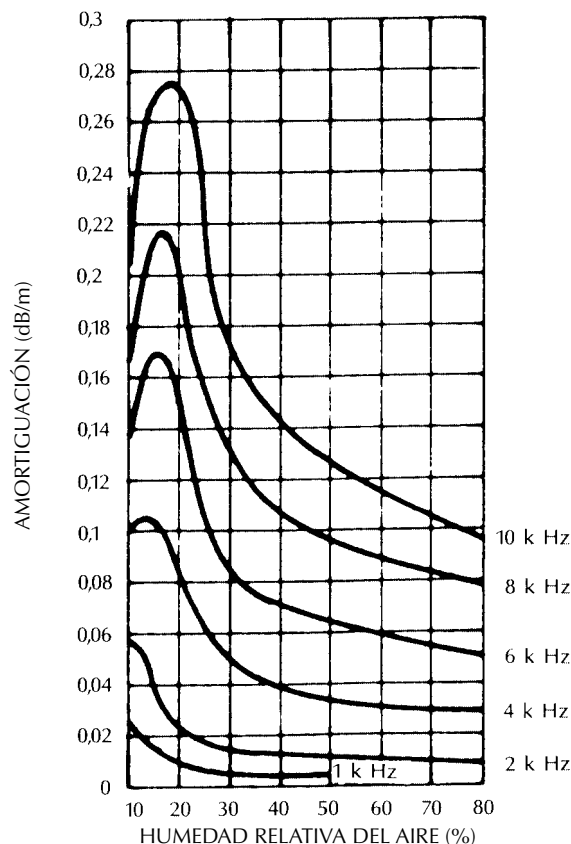


Fig. 5.