

## Aspectos fundamentales del sonido

### 1 ¿Qué es el sonido?

#### 1.1 Definiciones

Como la luz, el sonido es un fenómeno físico definido por la percepción humana. La luz es la sección visible de las vibraciones electromagnéticas (ondas). Similarmente, **el sonido es la sección audible de las vibraciones mecánicas o las ondas.**

La **fente de sonido** es siempre un material en vibración mecánica, por ejemplo, gases (instrumentos de viento), sólidos (cuerda, cuerda vocal) o líquidos.

El **sonido es transmitido** al oído a través del aire **que lo transporta**:

Las vibraciones de un sólido, por ejemplo, son transferidas al aire circundante y transmitidas en forma de fluctuaciones de presión periódica como una onda sonora de vibración longitudinal. Longitudinal significa que la onda está vibrando en la dirección de la propagación.

**Percepción del sonido y transducción acústica:** en el oído humano, las ondas sonoras primero se dirigen en forma de haz y se amplifican (“amplificación de fuerza”) y luego en el oído interno se convierte en una onda coclear progresiva, la cual, a su vez, genera impulsos eléctricos y, por lo tanto, actividad neuronal.

#### 1.2 Categorización por frecuencia

Las ondas sonoras se categorizan por sus frecuencias en los intervalos siguientes:

- **Sonido audible**  
El oído humano puede oír las ondas sonoras con frecuencias entre 16 Hz y 20 000 Hz.
- **Infrasonido**  
Vibraciones sonoras con frecuencias menores de 16 Hz, las cuales ocurren como vibraciones del terreno o edificios y que pasan desapercibidas por el oído humano. Sin embargo, el cuerpo humano puede sentir las subconscientemente. Los elefantes, por ejemplo, se comunican en este intervalo.
- **Ultrasonido**  
Frecuencias entre aproximadamente 20 kHz y  $10^7$  kHz. Las ondas ultrasónicas se utilizan en medicina, por ejemplo, para diagnósticos. En el reino animal, los murciélagos, por ejemplo, utilizan este intervalo como “radar acústico”.
- **Hipersonido**  
Las frecuencias superiores a  $10^7$  kHz están en el intervalo de movimiento térmico del material (por ejemplo, se las utiliza para determinar propiedades físicas como dureza, elasticidad, etc.).

Aunque estos intervalos de frecuencia difieren con respecto a la percepción humana, no obstante, siempre conllevan ondas mecánicas. (Analogía con la luz: ultravioleta, infrarroja, microondas).

### 2 Tipos de sonido

En forma ideal, las ondas sonoras están basadas en ondas de forma sinusoidal (curva sinusoidal). En principio, varias ondas, cada una de diferente frecuencia, podría superponerse para formar una envolvente, la cual se considera que “envuelve” todas las ondas en cuestión. Se pueden diferenciar los siguientes tipos de sonido por la duración total, amplitud y forma de la curva de sonido envolvente:

- **Tono**

Un **tono puro** es el tipo físicamente más sencillo de vibración sonora, a saber, una onda sinusoidal monofrecuencia. En otras palabras, las fluctuaciones de presión de un tono puro tienen una pauta temporal y sinusoidal espacial. Los tonos se caracterizan por su repetición (frecuencia) y nivel (amplitud).

Ejemplos: el único tono verdaderamente puro es un tono de prueba de un generador electrónico. El tono de un diapasón es prácticamente puro (pocos sobretonos, tonos adicionales únicamente cuando se lo golpea).

- **Armónica**

Al igual que cualquier otra vibración, se puede formar sonido al **sobreponer curvas sinusoidales de la misma frecuencia**. Varios tonos en un conjunto de relaciones “significativas” entre sí producen una “armónica”: este conjunto de relaciones “significativas” surge si las frecuencias de los varios tonos son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de una onda sinusoidal. El resultado, la armónica, es una onda periódica pero ya no completamente sinusoidal.

Ejemplos: el tono de una sola cuerda (!) de guitarra, cuerda de violín, etc.

- **Sonido complejo**

Surge de vibraciones sinusoidales con cualquier frecuencia.

Ejemplo: consonancia de varias cuerdas de violín

- **Mezcla armónica**

Una mezcla armónica comprende armónicas con tonos fundamentales de cualquier frecuencia.

Ejemplo: coro, orquesta, etc.

- **Ruido**

Todos los tipos de sonido anteriores están basados en fluctuaciones periódicas de presión. Los eventos acústicos producidos por fluctuaciones de presión sin regularidad (vibraciones sinusoidales) no son tonos ni sonidos, y se les denomina ruido.

Los expertos a menudo usan el término “tono” permisivamente en el sentido de “audio”.

Una definición orientada prácticamente de ruido es entonces: un evento acústico cuyos tonos no tengan una relación significativa estético o específica al contenido entre sí.

Ejemplos: crujido de hojas, catarata, ruidos de máquinas, etc.

- **Estallido**

Esto comprende un pequeño número de vibraciones que difieren ampliamente en frecuencia, en las cuales las amplitudes aumentan explosivamente y luego declinan rápidamente.

Ejemplo: estallido de un globo, explosión

### 3 Parámetros de la onda sonora individual

#### 3.1 Parámetros físicos básicos

Al igual que cualquier otro tipo de onda, también:

- frecuencia (longitud de onda),
- oscilación, y
- amplitud.

#### 3.2 Parámetros visibles y audibles

Las vibraciones y las ondas se describen como curvas matemáticas; por lo tanto, también se hace referencia a la forma de la vibración como “forma de la curva”. Esto se puede representar visiblemente en un osciloscopio, por ejemplo. (Nota: los modernos programas de computadora para edición de audio también tienen una función de presentación tipo osciloscopio.)

Aquí

- La **amplitud** significa el **volumen**.
- La **frecuencia** define el **tono**.
- La **forma de vibración** determina la **armónica**.

#### 3.3 Electroacústica: presentación con osciloscopio

Los tonos altos tienen formas de onda ajustada de repetición rápida; los tonos bajos tienen formas de onda más amplias y de repetición más lenta.

Nota: en el portal de medios didácticos de la Siemens Stiftung hay disponible un gran número de muestras de sonidos típicos como archivos de audio o como un video combinado (presentación de osciloscopio y tono).

#### 3.4 Velocidad del sonido en el aire

Las ondas sonoras son ondas longitudinales. En otras palabras, la energía del sonido viaja en dirección paralela a la dirección del desplazamiento de las partículas de aire. (Las ondas de agua, en comparación, son transversales.) La velocidad  $c$ , a la cual viaja la energía del sonido, se denomina la velocidad del sonido. A 0 °C y 1013 mbar en aire, es 331 m/s (= aproximadamente 1200 km/h).

#### 3.5 Velocidad del sonido en otros medios

En una vibración sonora, las partículas más pequeñas de un material (átomos, moléculas o iones) tienen que moverse unas contra otras y transmitir su movimiento.

Cuán bien pueda moverse una partícula individual depende de su masa y de cuán ajustadamente esté conectada a las demás partículas. La distancia entre ellas también influye en cuán “fácilmente” el movimiento de una partícula se pueda transmitir a las circundantes.

En resumen, las varias propiedades físicas se combinan de manera tal que en última instancia la velocidad del sonido depende únicamente del módulo de elasticidad y de la densidad del material:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Experimentamos la densidad a diario como “materiales pesados y livianos”. El módulo de elasticidad es más difícil de experimentar porque está determinado por las fuerzas de enlace y la estructura espacial atómica de los materiales. (Por cierto, puesto que únicamente los cuerpos sólidos

tienen elasticidad, se utiliza un parámetro alternativo para gases y líquidos: compresibilidad).

### 3.6 Valores de la velocidad del sonido en varios materiales

Gases [m/s]		Líquidos [m/s]		Sólidos [m/s]	
Cloro	206	Alcohol	1,168	Plomo	1,200
Oxígeno	313	Benceno	1,324	Acero	5,200
Nitrógeno	336	Agua	1,407	Vidrio de potasio y boro	5,300
Hidrógeno	1,261	Glicerina	1,900	Vidrio de cuarzo	5,370

Puesto que la densidad y la elasticidad dependen de la temperatura, la velocidad del sonido también cambia con la temperatura.