

2. MODULO 2: FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL SONIDO

2.1. NATURALEZA DE LAS ONDAS SONORAS

El sonido es una onda mecánica que se produce cuando un cuerpo vibra y transmite esa vibración a un medio material, como el aire, el agua o un sólido.

¿Qué significa que sea una onda?

Una onda es una perturbación que transporta energía de un lugar a otro. En el caso del sonido, esa perturbación se da por cambios de presión en el medio.

¿Qué significa que sea mecánica?

Significa que necesita un medio material para propagarse. El sonido no viaja en el vacío porque no hay partículas que transmitan la vibración.

¿Cómo se genera?

Cuando un objeto vibra, mueve las partículas del medio que lo rodea. Estas partículas empujan a las siguientes, y así la energía sonora se va propagando.

Ejemplo claro: Cuando una persona habla, sus cuerdas vocales vibran. Esa vibración mueve el aire cercano y genera zonas donde el aire se comprime y se expande. Esas variaciones viajan por el aire hasta llegar al oído de otra persona.

Otro ejemplo

Si golpeas una campana:

- la campana vibra,
- esa vibración mueve el aire,
- el aire transmite la energía,
- y escuchas el sonido.

Idea importante: Las partículas del aire no viajan desde la fuente hasta tu oído; lo que viaja es la energía de la vibración.

En acústica las ondas sonoras en aire suelen ser longitudinales, porque las partículas vibran en la misma dirección en que avanza la onda.

2.2. FRECUENCIA, AMPLITUD Y LONGITUD DE ONDA

Estos son tres parámetros fundamentales para describir cualquier onda sonora.

2.2.1 FRECUENCIA

La frecuencia es la cantidad de ciclos o vibraciones que ocurren en un segundo. Su unidad es el hertz (Hz).

$f = \text{número de ciclos por segundo}$

¿Qué representa en el sonido?

La frecuencia está relacionada con qué tan grave o agudo percibimos un sonido.

- Frecuencias bajas = sonidos graves
- Frecuencias altas = sonidos agudos

Ejemplos

- Un bombo o un trueno tienen baja frecuencia
- Una flauta o un silbido tienen alta frecuencia
- La voz masculina suele tener frecuencias más bajas que la voz femenina

Ejemplo práctico

Un sonido de 100 Hz significa que la fuente vibra 100 veces por segundo.

Aplicación en acústica

La frecuencia es muy importante porque:

- los materiales no absorben igual todas las frecuencias,
- los sonidos graves suelen atravesar más fácilmente algunos cerramientos,
- los agudos tienden a reflejarse o absorberse distinto.

2.2.2 AMPLITUD

La amplitud es el valor máximo de desplazamiento o variación de la onda respecto a su posición de equilibrio.

¿Qué representa en el sonido?

Está relacionada con la intensidad o fuerza del sonido.

En términos simples:

- mayor amplitud = sonido más fuerte
- menor amplitud = sonido más débil

Ejemplo claro

Si golpeas suavemente una mesa, produces una vibración pequeña y el sonido es bajo.
Si la golpeas con mucha fuerza, la vibración es mayor y el sonido será más fuerte.

Importancia: La amplitud se vincula con la cantidad de energía que lleva la onda sonora.

Ojo: Amplitud no es exactamente lo mismo que volumen percibido, porque la percepción humana también depende de la frecuencia y del oído.

2.2.3 LONGITUD DE ONDA

La longitud de onda es la distancia que ocupa un ciclo completo de la onda. Se representa con la letra λ .

$$\lambda = v/f$$

Donde:

- λ = longitud de onda
- v = velocidad del sonido
- f = frecuencia

¿Qué significa esto?

La longitud de onda depende de dos cosas:

- la velocidad con que viaja el sonido,
- la frecuencia de la onda.

Ejemplo

Si el sonido viaja en aire a 340 m/s y la frecuencia es 170 Hz:

$$\lambda = 340/170 = 2\text{m}$$

La longitud de onda será de 2 metros.

Interpretación

- Baja frecuencia = gran longitud de onda
- Alta frecuencia = pequeña longitud de onda

Ejemplo cotidiano

Los sonidos graves, como el de un subwoofer, tienen longitudes de onda grandes.
Los sonidos agudos, como un pitido, tienen longitudes de onda pequeñas

Importancia en ingeniería acústica

Esto explica por qué:

- los graves rodean mejor los obstáculos,
- los graves son más difíciles de controlar,
- las dimensiones de un recinto influyen en ciertas frecuencias.

2.3. PERÍODO Y FASE

2.3.1 PERÍODO

El período es el tiempo que tarda una onda en completar un ciclo. Se representa con **T** y se mide en segundos.

$$T=1/f$$

Ejemplo

Si una onda tiene frecuencia de 250 Hz:

$$T=1/250=0.004 \text{ s}$$

Eso significa que cada ciclo dura 0.004 segundos.

¿Qué relación tiene con la frecuencia?

- Si la frecuencia aumenta, el período disminuye
- Si la frecuencia disminuye, el período aumenta

Ejemplo sencillo

Una fuente que vibra muy rápido tiene alta frecuencia y ciclos muy cortos.

Una fuente que vibra más lentamente tiene baja frecuencia y ciclos más largos.

Aplicación

El período sirve para describir el ritmo temporal de la onda y ayuda a entender su comportamiento repetitivo.

2.3.2 FASE

La fase indica en qué punto del ciclo se encuentra una onda en un instante determinado.

¿Por qué importa?

Porque dos ondas pueden tener:

- la misma frecuencia,
- la misma amplitud,
- pero estar desfasadas.

Eso cambia la forma en que interactúan entre sí.

Ejemplo simple

Imagina dos personas empujando un columpio.

- Si ambas empujan al mismo tiempo, el movimiento aumenta.
- Si una empuja hacia adelante y la otra hacia atrás al mismo tiempo, se contrarrestan.

Eso se parece a lo que pasa con las ondas en fase o fuera de fase.

En sonido

- Si dos ondas están en fase, se refuerzan

- Si están en oposición de fase, pueden cancelarse parcial o totalmente

Ejemplo aplicado

En sistemas de audio, una mala conexión de fase entre parlantes puede hacer que el sonido se escuche débil o extraño.

2.4. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN DIFERENTES MEDIOS

El sonido necesita un medio material para desplazarse. La propagación depende del tipo de medio.

Tipos de medios

- Gases, como el aire
- Líquidos, como el agua
- Sólidos, como el concreto, madera o metal

¿Cómo ocurre?

Las partículas del medio transmiten la vibración de una a otra.

2.4.1 EN EL AIRE

Es el medio más común para estudiar acústica ambiental, arquitectónica y ocupacional.

Ejemplo

Cuando hablas en una habitación, tu voz se propaga a través del aire hasta llegar a otra persona.

Característica: El sonido viaja relativamente más lento en aire que en líquidos o sólidos.

2.4.2 EN EL AGUA

El sonido se propaga más rápido que en el aire porque las partículas están más juntas.

Ejemplo

Los submarinos usan sonido para detección porque el agua transmite muy bien las ondas sonoras.

2.4.3 EN SÓLIDOS

El sonido suele propagarse más rápido en sólidos porque sus partículas están más unidas.

Ejemplo claro

Si golpeas una tubería metálica, el sonido puede viajar por el metal y oírse a distancia.

Ejemplo en edificaciones

A veces se escuchan pasos, golpes o arrastre de muebles desde otro piso. Eso ocurre porque parte del sonido se transmite por la estructura del edificio.

Importancia en acústica

Esto ayuda a entender la diferencia entre:

- transmisión aérea, cuando el sonido viaja por el aire,
- transmisión estructural, cuando viaja por elementos sólidos.

2.5. VELOCIDAD DEL SONIDO

La velocidad del sonido es la rapidez con la que la onda sonora se mueve a través de un medio.

¿De qué depende?

Depende de:

- tipo de medio,
- densidad,
- elasticidad,
- temperatura.

Valores aproximados

- Aire a 20 °C: 343 m/s
- Agua: 1480 m/s aprox.
- Acero: más de 5000 m/s aprox.

Ejemplo comparativo

Si una persona grita debajo del agua, el sonido se propaga más rápido que en el aire.

Influencia de la temperatura

En el aire, cuando aumenta la temperatura, aumenta la velocidad del sonido.

En aire frío, el sonido viaja un poco más lento que en aire caliente.

Aplicación sencilla

Si ves un rayo y luego escuchas el trueno varios segundos después, eso pasa porque la luz viaja muchísimo más rápido que el sonido.

Ejemplo de eco

Si una persona grita frente a una pared lejana y escucha el eco 2 segundos después, puede calcular aproximadamente la distancia usando la velocidad del sonido.

Si el sonido viaja a 340 m/s:

- en 2 segundos hace ida y vuelta,
- entonces la distancia total es:

$$340 \times 2 = 680\text{m}$$

Como fue ida y vuelta, la pared está a:

$$680/2 = 340\text{m}$$

2.6. COMPORTAMIENTO ONDULATORIO

El sonido, al ser una onda, presenta ciertos fenómenos cuando interactúa con objetos, materiales y espacios.

2.6.1 REFLEXIÓN

La reflexión ocurre cuando la onda sonora choca contra una superficie y rebota.

Ejemplo

Hablar en una habitación vacía con paredes duras. La voz rebota varias veces.

Consecuencia

Puede generar:

- eco,
- reverberación,
- aumento de ruido dentro del recinto.

Ejemplo cotidiano

En un salón sin cortinas ni muebles, una palmada suele sonar más larga porque el sonido se refleja mucho.

2.6.2 REFRACCIÓN

La refracción ocurre cuando el sonido cambia de dirección porque cambia su velocidad al pasar por zonas con distintas propiedades.

Ejemplo

En exteriores, diferencias de temperatura del aire pueden desviar la trayectoria del sonido.

Caso práctico

De noche, en ciertas condiciones, el ruido de una carretera puede escucharse más lejos debido a cómo cambia la propagación en las capas de aire.

2.6.3 DIFRACCIÓN

La difracción es la capacidad del sonido para rodear obstáculos o pasar por aberturas.

Ejemplo claro

Aunque no veas a una persona detrás de una pared o una esquina, puedes escucharla.

Importancia: Los sonidos graves difractan más fácilmente que los agudos.

Ejemplo aplicado

La música con muchos bajos puede sentirse desde otra habitación aunque la puerta esté cerrada, porque las bajas frecuencias rodean y atraviesan mejor.

2.6.4 INTERFERENCIA

La interferencia ocurre cuando dos o más ondas coinciden en el mismo lugar.

Puede ser:

- constructiva, cuando se suman
- destructiva, cuando se restan

Ejemplo simple

Si dos parlantes emiten la misma señal, en algunos puntos el sonido puede sentirse más fuerte y en otros más débil por el efecto de interferencia.

Aplicación

Esto es clave en:

- sistemas de sonido,
- diseño de recintos,
- cancelación de ruido,
- estudio de fase.

2.6.5 ABSORCIÓN

La absorción ocurre cuando un material capta parte de la energía sonora y evita que todo rebote.

Ejemplo

Una cortina gruesa absorbe más sonido que una pared de concreto.

Otros materiales absorbentes

- espuma acústica,
- paneles de fibra mineral,
- alfombras,
- tapices,

- butacas acolchadas.

Importancia

La absorción se usa para:

- reducir reverberación,
- mejorar inteligibilidad de la voz,
- hacer más confortables los espacios.

2.6.6 RESONANCIA

La resonancia ocurre cuando un sistema vibra con mayor amplitud porque recibe energía a una frecuencia cercana a su frecuencia natural.

Ejemplo sencillo

Si empujas un columpio con el ritmo justo, este aumenta su movimiento cada vez más. Eso es un efecto parecido a la resonancia.

Ejemplo acústico

Una ventana puede vibrar intensamente cuando recibe un sonido de cierta frecuencia.

Importancia

La resonancia puede:

- aumentar ruido,
- generar vibraciones molestas,
- afectar estructuras o equipos.

Ejemplo integrador completo

Imagina una sala de reuniones donde una persona habla:

- La voz se genera por la vibración de las cuerdas vocales
- Esa vibración produce una onda sonora en el aire
- La onda tiene frecuencia, amplitud, período y longitud de onda
- Viaja por el aire con una velocidad cercana a 343 m/s
- Al llegar a paredes de vidrio y concreto, se refleja
- Si hay cortinas o paneles, parte del sonido se absorbe
- Algunas frecuencias pueden reforzarse por resonancia
- Si hay obstáculos o aberturas, el sonido puede difractarse
- Todo eso determina si el habla se entiende bien o mal

Eso demuestra que los fundamentos físicos no son teoría aislada: explican lo que realmente pasa en espacios, máquinas y edificaciones.