

**Unidad 1:****VIBRACIONES Y ONDAS****TEMA 3.****EL SONIDO**

Desde el punto de vista fisiológico, el sonido es lo que oímos; pero desde el punto de vista físico, el sonido es transmisión de energía y por tanto habría sonido aunque no haya un oído que lo perciba.

Algunas propiedades del sonido se pueden describir físicamente; otras, en cambio, solo se pueden percibir. Luego, la descripción del sonido es en parte *objetiva* y en parte *subjetiva*.

**3.1. NATURALEZA DEL SONIDO**

Para explicar la naturaleza del sonido es necesario tener en cuenta tres etapas:

**a) Formación del sonido: Fuentes sonoras.**

Cualquier objeto que produce sonido, lo realiza porque dicho objeto vibra

**b) Propagación del sonido: Ondas sonoras.**

Las vibraciones del objeto en cuestión comprimen las capas de aire en contacto con él, y éstas a su vez a las siguientes lo que provoca *contracciones* y *dilataciones*; son las ondas sonoras que llegan a nuestro oído. Estas ondas suelen ser armónicas (se puede comprobar en un osciloscopio) y longitudinales, ya que las partículas de aire vibran en la misma dirección en que se propaga la onda

*Una onda sonora es una oscilación de presión que se propaga por un medio.*

**\* Velocidad de propagación de las ondas sonoras**

1. Velocidad en un sólido:

$$v = \sqrt{\frac{J}{\rho}}$$

J: el módulo de Young que determina la elasticidad del sólido.  
Se mide en N/m<sup>2</sup> o Pascales (Pa)  
 $\rho$  : densidad de volumen en Kg/m<sup>3</sup>

2. Velocidad del sonido en los gases:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$

$\gamma$ : Coeficiente adiabático del gas. Para el aire  $\gamma = 1,4$   
R: Cte de los gases (R = 8,31 J/mol °K)  
M: Masa molar del gas

3. Velocidad en los líquidos

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

B: el módulo volumétrico de cada líquido y mide su elasticidad y compresibilidad  
 $\rho$  : densidad del líquido en Kg/m<sup>3</sup>

**\* Propiedades de las ondas sonoras.** Tienen las mismas propiedades que otras ondas

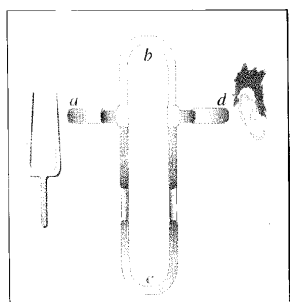
**1. Pueden reflejarse.-** El retumbar del trueno es en parte debido a las reflexiones del sonido contra las nubes, capas de aire y superficie del suelo. La profundidad de los mares se mide valiéndose de las reflexiones de las ondas sonoras.

El **eco** es la repetición del sonido originado por la reflexión. Es un fenómeno que llama la atención pues no se observa con frecuencia, debido a que el oído humano solo puede percibir dos sonidos como distintos cuando están separados por un tiempo de 0,1 sg; es decir, desde que emitimos el sonido hasta que lo percibimos ha de transcurrir, al menos, 0,1sg de tiempo.

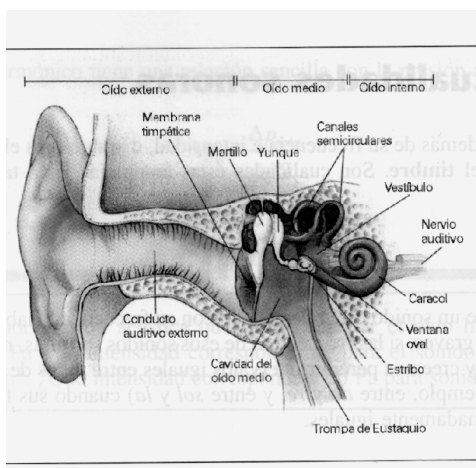
*Ejercicio: Determina a qué distancia mínima debemos encontrarnos de una pared para recibir el eco.*

La **reverberación** es un fenómeno debido a la reflexión del sonido. Se produce cuando el obstáculo en que se reflejan las ondas está a menos de 17m del punto emisor. En una habitación vacía, sin muebles, cortinas, etc., al hablar parece que las palabras se alargan y hacen incomprensibles debido a que el oído no distingue los sonidos que llegan tan poco separados en el tiempo. Este fenómeno se evita al recubrir las paredes con materiales que reflejen mal el sonido, como moquetas, corcho, etc.

**2. Puede difractarse,** dispersándose al pasar por una pequeña abertura. Dos ondas sonoras también pueden **interferir**. La interferencia destructiva puede hacer que en un auditorio se formen nodos, en donde casi no se puede oír el sonido.



En la figura , se muestra el aparato de Quincke para poner de manifiesto la interferencia de las ondas sonoras. La onda sonora entra por *a*, y una parte se propaga por la rama *b* y otra por *c*. Si el trayecto recorrido por ambas ondas es el mismo o la diferencia de recorrido ( $x_2 - x_1$ ) es  $2\lambda, 3\lambda, 4\lambda, \dots, n\lambda$  , llegan en concordancia de fase a *d* y el sonido tiene doble intensidad. Si el recorrido es distinto y la diferencia es  $\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots, (2n+1)\lambda/2$  el sonido se anula y no se oír, pues llegan desfasadas  $180^\circ$ .



**c) Percepción del sonido: Audición**

Un detector de sonido transforma la energía que transporta la onda sonora en otros tipos de energía. El elemento fundamental de un detector es el diafragma que vibra a la misma frecuencia de las ondas que percibe.

El oído es un detector de sonido asombroso, capta una gran variedad de frecuencias e intensidades y puede distinguir entre muchas calidades de sonido.

Cuando una onda sonora llega al oído, éste convierte los cambios de presión de la onda en impulsos nerviosos, que son posteriormente procesados en el cerebro.

El oído se divide en tres partes:

**\*Oído externo.-** Consta de la parte visible o pabellón auditivo (recoge las ondas sonoras del aire), del canal auditivo (por donde viajan las ondas) y del tímpano (vibra con la misma frecuencia que las ondas procedentes de la fuente emisora).

**\*Oído medio.-** Consta de tres huesos pequeños que transmiten las vibraciones del tímpano

hasta una ventana ovalada en el oído interno.

**\*Oído Interno.-** Está lleno de un líquido acuoso. Las vibraciones se transmiten a través del líquido hasta las células sensibles de la membrana basilar que se extiende a lo largo de la espiral de la cóclea. La rama coclear del nervio auditivo transmite pequeñas vibraciones de las células sensibles a través de fibras nerviosas que van hacia el cerebro produciendo la sensación del sonido.

**Conclusiones:**

- El sonido se produce por la vibración de cuerpos materiales y se percibe por el oído.  
**Objetivamente** las ondas sonoras son mecánicas, longitudinales y de presión  
**Subjetivamente** el sonido es la sensación que nos produce en el oído dicha vibración.
- Para que la vibración sea perceptible a nuestros oídos la frecuencia debe estar comprendida entre 20Hz y 20.000Hz llamados **límites de audición**
- Según este criterio las ondas mecánicas longitudinales y de presión la podemos clasificar en los siguientes tipos:
  - Ondas sónicas o sonidos:** son ondas longitudinales y de presión cuya frecuencia se encuentra dentro de los límites de audición. Si la frecuencia es baja el sonido es grave, si la frecuencia es alta el sonido es agudo.
  - Ondas infrasónicas o infrasonidos:** son ondas mecánicas longitudinales y de presión cuya frecuencia es inferior a 20Hz. Se producen por oscilaciones de grandes dimensiones: un temblor de tierra, por ejemplo
  - Ondas ultrasónicas u ultrasonidos:** son ondas mecánicas longitudinales y de presión cuya frecuencia es superior a 20.000Hz hasta 10<sup>6</sup>Hz. En estas condiciones la longitud de onda puede ser del orden de 5 · 10<sup>-5</sup>m, semejante a la longitud de onda de la luz visible. Murciélagos, delfines, algunos insectos, etc se comunican por ultrasonidos; los perros también los escuchan.

Como la energía de un movimiento vibratorio es proporcional al cuadrado de la frecuencia, la vibración ultrasónica emite gran cantidad de energía. De ahí la multitud de aplicaciones que tienen los ultrasonidos. Ej: ahuyentadores de insectos

**3.2. CUALIDADES DEL SONIDO**

Los sonidos se caracterizan y distinguen unos de otros por una serie de **cualidades subjetivas: la sonoridad, el tono y el timbre**, que deberán estar relacionados con propiedades físicas de las ondas

**a) Sonoridad e intensidad.-** *la sonoridad es la cualidad por la que se perciben los sonidos con mayor o menor fuerza.*

Cuanto más lejos está la fuente sonora menos se oye.  
 Cuanto más separamos la cuerda de una guitarra más se oye

Luego la sonoridad depende de la amplitud y la distancia; es decir, depende de la intensidad (se mide en J/m² s ó w/m²)

\* La relación entre la sonoridad percibida y la intensidad de una onda sonora es tal que a intervalos iguales de sonoridad corresponden múltiplos iguales de intensidad. Ver tabla

\* El nivel subjetivo de sonoridad a una frecuencia dada se expresa en **fonios**.

\* El **umbral de audición** es la intensidad más baja ( $10^{-12} \text{ w/m}^2$ ) que se puede oír para una frecuencia dada y corresponde a una sonoridad de cero fonios

\* La intensidad fluctúa entre  $I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$  y aproximadamente  $I = 1 \text{ w/m}^2$

$I = 10^{12} I_0$  ; esto indica que la intensidad superior audible es un billón de veces la del umbral de audición.

Para comparar un nivel de intensidad con otro se establece una escala de niveles de intensidad conocida como **intensidad de umbral de audición**. Se trata de una escala logarítmica definida por:

Donde:  $\beta$  = nivel de intensidad del sonido. Se mide en **decibelios**  $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$

$I$  = intensidad de un sonido determinado

$I_0$  = intensidad umbral:  $10^{-12} \text{ w/m}^2$

**b) Tono y frecuencia.-** El tono es la cualidad del sonido que depende de la frecuencia

Por el tono se dividen los sonidos en **agudos**, cuando el número de vibraciones es grande, y **graves** cuando es pequeño.

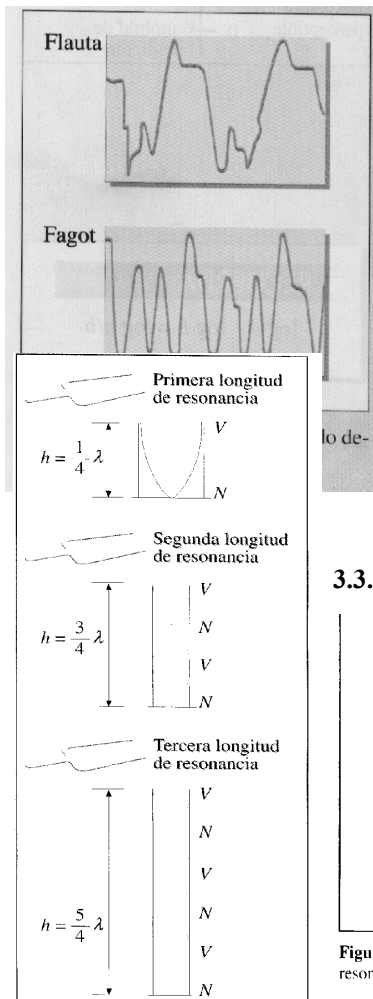


Figura 3.15. En el aire de un tubo cerrado entra en resonancia cuando su longitud es igual a  $\lambda/4, 3\lambda/4, \dots$

**c) Timbre y forma de la onda.-** Si tocas la misma nota de un piano o un violín distinguimos perfectamente una de otra, al igual que cuando cantan dos personas la misma nota. Esto es debido a que además del sonido fundamental se originan otros más débiles que reciben el nombre de **armónicos o sobretonos**.

**Timbre** es la cualidad por la que se distinguen dos sonidos de la misma sonoridad y del mismo tono.

Este efecto sensorial está relacionado con la forma de la onda.

J. B. Fourier (1768-1830) demostró que las ondas periódicas con formas complicadas se pueden considerar como la suma de una serie de ondas armónicas sencillas.

### 3.3. RESONANCIA ACÚSTICA.

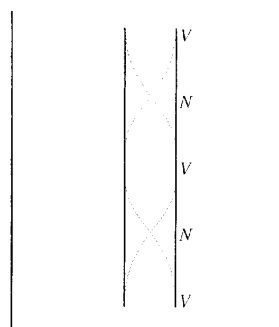


Figura 3.17. Un tubo abierto entra en resonancia cuando su longitud es  $n\lambda/2$ .

**Resonancia** es el fenómeno por el que, al vibrar un cuerpo, vibra otro próximo a él, y sucede cuando la frecuencia de las vibraciones del **resonador** coincide con las del **vibrador**.

Experiencias 1, 2 y 3 de las páginas 61 y 62

### 3.4. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.

De entre los agentes contaminantes conocidos hemos de añadir **el ruido** como uno más. Éste consiste en una mezcla de un gran número de frecuencias sin ninguna relación entre sí. Si todas las frecuencias tienen la misma amplitud, el resultado es lo que se llama **ruido blanco**(se ha encontrado que éste tiene un efecto relajante)

#### ¿Por qué el ruido es un agente contaminante del medio ambiente?

- \* Los ruidos de gran intensidad, por encima de 120 dB causan dolor al oído. Exposiciones breves a niveles de 140 a 150 dB pueden romper el tímpano y ocasionar sordera permanente.
- \* Exposiciones prolongadas, a niveles superiores a 60 dB también pueden dañar al oído, con pérdida de audición en cierto intervalo de frecuencias.

#### Efectos nocivos del ruido excesivo

- \* Provoca la pérdida gradual de la audición, interfiere en el sueño y capacidad de concentración.
- \* Puede originar alteraciones fisiológicas en el sistema cardiovascular (aumento de la tensión arterial, alteraciones en el ritmo cardiaco)
- \* Puede provocar trastornos en el aparato digestivo y aumento de la secreción de adrenalina (conducta más agresiva)
- \* Daña el sistema nervioso

#### Medidas que tienden a mitigar la contaminación sonora

- \* Usar, en ciertas profesiones, protectores para el oído
- \* Planificar las vías de mayor circulación fuera de zonas residenciales.
- \* Insonorizar edificios
- \* Instalar barreras acústicas (pantallas antirruidos y plantaciones de árboles) en zonas de mucho tráfico rodado
- \* Propiciar una educación ambiental que fomente el gusto por el silencio y sonidos naturales y musicales.

*FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (leer pag 66, 67)*

*Aplicaciones de algunas ondas mecánicas:*

*1. Ondas de baja frecuencia como las **ondas sísmicas**. En un seísmo se propagan tres tipos de ondas*

- **Ondas internas longitudinales (ondas P)**.- son las primeras en llegar (7,5 - 14Km/h)
- **Ondas internas transversales (ondas S)**.- llegan en 2º lugar (4 - 7,5Km/h)
- **Ondas superficiales (ondas L)**.- se propagan sobre la superficie a unos 4Km/h

*2. Ondas de alta frecuencia o **ultrasonidos** con múltiples aplicaciones*

Video:           - Resonancia    “Universo mecánico”  
                  - El sonido       “Enciclopedia Británica”

**3.5. EFECTO DOPPLER**

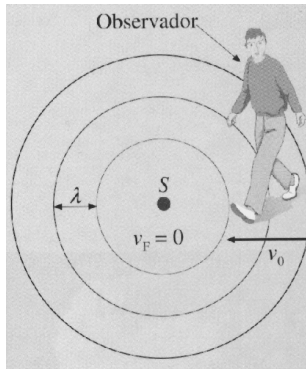
Cuando viajamos en un automóvil observamos que al cruzarse un vehículo que hace sonar el claxon, el tono del sonido varía en el momento en que pasa frente a nosotros. También ocurre si estamos en reposo.

*El efecto que se aprecia consiste en que el sonido es más agudo (la frecuencia aumenta) cuando el emisor se nos acerca y más grave (la frecuencia disminuye) cuando se aleja de nosotros.* Este cambio de frecuencia se le denomina **efecto Doppler** (Christian J. Doppler 1840, físico austriaco). Aplicaciones:

- El radar de la policía para medir la velocidad de los coches
- El sonar de los barcos de pesca para detectar bancos de peces
- Para medir la velocidad relativa de las estrellas. Etc

Casos:

**1. El observador se encuentra en movimiento y la fuente está en reposo**



- $v_0$  : velocidad del observador
- $f$  : frecuencia emitida por la onda
- $v$  : velocidad del sonido
- $v' = v + v_0$  velocidad relativa de las ondas respecto al observador cuando éste se aproxima
- $v' = v - v_0$  velocidad relativa de las ondas respecto al observador cuando éste se aleja

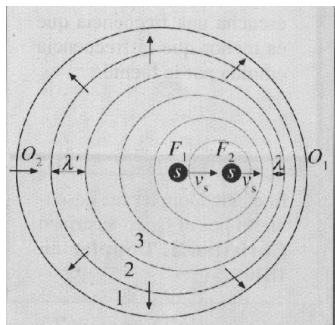
En este caso:  $\lambda = \text{cte}$  (no cambia), mientras que la  $v'$  (velocidad percibida por el observador) **si cambia**

Como la longitud de onda no varía, entonces la frecuencia escuchada por el observador será:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_0}{\lambda} = f \frac{v + v_0}{v} \quad \text{El observador se aproxima}$$

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v - v_0}{\lambda} = f \frac{v - v_0}{v} \quad \text{El observador se aleja}$$

**2. El observador está quieto y la fuente F está en movimiento**



- $v_F$  : velocidad de la fuente
- $f$  : frecuencia emitida por la onda
- $v$  : velocidad del sonido  $v = \lambda f$

*Si la fuente se acerca al observador los frentes de onda que ve el observador se encontrarán más juntos; es decir la  $\lambda'$  medida por el observador es menor que la longitud de onda  $\lambda$  en la fuente.*

En éste caso:  $\lambda$  si cambia ( $\lambda' = \lambda - v_F/f$  ----  $\lambda' = \lambda + v_F/f$ ), mientras que la velocidad percibida por el observador **permanece constante**:

$$v = \lambda' \cdot f' = \lambda \cdot f$$

$$\lambda' = \lambda \pm \frac{v_F}{f}$$

también sabemos que  $f' = \frac{v}{\lambda'}$  luego:  $f' = \frac{v}{\lambda \pm \frac{v_F}{f}} = f \frac{v}{v \pm v_F}$

Si la fuente se aleja del observador los frentes de onda que ve el observador se encontrarán más separados; es decir la  $\lambda'$  medida por el observador es mayor que la longitud de onda  $\lambda$  en la fuente.

$$\lambda' = \lambda + \frac{v_F}{f}$$

también sabemos que  $f' = \frac{v}{\lambda'}$  luego:  $f' = \frac{v}{\lambda + \frac{v_F}{f}} = f \frac{v}{v + v_F}$

### 3. Caso General: la fuente y el observador están en movimiento

La frecuencia percibida se puede calcular en dos etapas:

- a) Si el foco se mueve, la frecuencia viene dada por:  $f_1' = f \frac{v}{v \pm v_F}$  (-) se aproxima observador  
 (+) se aleja                      b) Si el también se mueve:  $f' = f_1' \frac{v \pm v_0}{v}$

--Operando, se obtiene una fórmula general:

$$f' = f \frac{v}{v \pm v_F} \frac{v \pm v_0}{v} = f \frac{v \pm v_0}{v \pm v_F}$$

Video:- Ondas “Universo mecánico”

- Efecto Doppler “Cosmos”

Lectura complementaria: “Corrimiento Doppler” Pag. 275 Enc. Astronomía Orbis

