

## MATERIAL: FM-24

## ONDAS II

**EL SONIDO**

El sonido es una onda mecánica longitudinal que se produce por la vibración de un medio elástico que puede ser sólido, líquido o gaseoso y se transmite por variaciones de presión del medio.

**Características del sonido****i) Intensidad**

Es la característica que permite distinguir cuando un sonido es fuerte o débil. Depende fundamentalmente de la amplitud de la onda, correspondiendo a sonidos fuertes ondas de gran amplitud y a sonidos débiles, ondas de menor amplitud. Para medir la intensidad del sonido se utiliza un instrumento llamado sonómetro. La unidad de medida del nivel de intensidad, es el decibel (dB)

dB	Fuente de Sonido
0	Ausencia de ruido
30	Canto de un pájaro pequeño
50	Conversación normal
90	Alguien gritando cerca
100	Obras de carretera con maquinaria pesada
120	Cerca de un escenario de un concierto de rock
140	Exposición permanente a un ruido de este nivel producirá daños en el tímpano. Estando a 50m de un avión comercial a punto de despegar; en este nivel el sonido causará dolor y posibles náuseas.

**ii) Tono o altura**

Es la característica que permite distinguir cuando un sonido es más agudo o más grave que otro. Depende principalmente de la frecuencia de la onda sonora, correspondiendo a los sonidos agudos a frecuencias altas y los sonidos graves a las frecuencias bajas.

**iii) Timbre o calidad**

Es la característica que permite diferenciar dos o más sonidos de igual altura e intensidad emitidos por fuentes sonoras distintas.

#### iv) Velocidad de propagación

La velocidad de propagación de una onda sonora depende del medio a través del cual se propaga. Siendo dos los factores importantes: la temperatura del medio y la densidad del medio. Cualquier variación de estos factores hará variar la velocidad de propagación. La siguiente tabla nos muestra algunos valores de velocidad del sonido en distintos medios y a distinta temperatura.

Medio	Velocidad
Hidrógeno	1286 m/s
Oxígeno (a 0°C)	317 m/s
Helio (a 0°C)	972 m/s
Aire seco (a 0°C)	331 m/s
Aire seco (a 20°C)	340 m/s
Agua (a 25°C)	1493 m/s
Agua (a 15°C)	1450 m/s
Agua (a 8°C)	1435 m/s
Alcohol metílico (a 25°C)	1493 m/s
Agua de mar (a 25°C)	1553 m/s
Aluminio (a 25°C)	5100 m/s
Cobre (a 25°C)	3560 m/s
Hierro y acero (a 2°C)	5130 m/s
Plomo (a 25°C)	1322 m/s

**Nota:** La velocidad de propagación de la onda sonora es independiente de la frecuencia y de la longitud de onda, en un medio homogéneo y a temperatura constante esta velocidad es también constante.

#### iv) Rango de audibilidad

Hay vibraciones de frecuencia muy baja o muy alta que el oído humano no puede escuchar. Es conocido que el sistema auditivo humano típico puede apreciar sonidos cuyas frecuencias están entre 20 Hz y 20.000 Hz. Sonidos con frecuencias bajo 20 Hz son infrasonido y sobre 20.000 Hz son ultrasonido.

Infrasonido	Sonido	Ultrasonido
Menores de 20 Hz	20-20.000 Hz	Mayores a 20.000 Hz

## Fenómenos que ocurren en el sonido

El sonido por ser una onda se puede reflejar, refractar, difractar y además cumple con el principio de superposición.

### Reflexión

La **reverberación** es un fenómeno derivado de la **reflexión** del **sonido** consistente en una ligera prolongación del sonido una vez que se ha extinguido el original, debido a las ondas reflejadas. Estas ondas reflejadas sufrirán un retardo no superior a 100 milisegundos (0,1 s), que es el valor de la **persistencia acústica**, tiempo que corresponde a una distancia recorrida de 34 metros a la velocidad de 340 m/s (el camino de ida y vuelta a una pared situada a 17 metros de distancia). Cuando el retardo es mayor ya no hablamos de reverberación, sino de **eco**. La reverberación se puede corregir sin cambiar la geometría de la sala colocando materiales tanto en las paredes como en el suelo o techo que absorban la mayor parte del sonido.

El **eco** es otro fenómeno relacionado con la **reflexión del sonido**. La señal acústica original se ha extinguido, pero aún devuelve **sonido** en forma de onda reflejada.

Se produce eco cuando la **onda sonora** se refleja perpendicularmente en una pared. Para que se produzca eco, la superficie reflectante debe estar separada del foco sonoro una determinada distancia: 17 m para sonidos musicales, lo que se debe a la persistencia acústica. El **oído** puede distinguir separadamente sensaciones que estén por encima del tiempo de **persistencia acústica**, que es 0,1 s para sonidos musicales. Por tanto, si el oído capta un sonido directo y, después de los tiempos de persistencia especificados, capta el sonido reflejado, se apreciará el efecto del eco.

### Refracción

Ocurre cuando una onda sonora cambia de medio. La refracción del sonido a veces no es fácil de distinguir, pues como el sonido que sale de una fuente sonora se dirige en todas las direcciones, en forma tridimensional, será difícil percibir la desviación que ocurre al entrar a otro medio. Sin embargo, si se pudiera aislar una onda sonora se verificaría esta propiedad.

### Difracción

Al pasar por una abertura (una ventana abierta, por ejemplo), el sonido hace que la abertura se comporte como una fuente sonora. Por ello, alguien que este fuera del recinto donde se produce el sonido podría creer que éste proviene de esa abertura.

Algo similar ocurre cuando el sonido, en su trayectoria se encuentra con un borde (de una pared, por ejemplo). Ahí el frente de ondas sufrirá una deformación, de tal forma que ese borde se comporta como una fuente de ondas sonoras.

## **Interferencia**

Recordemos que la superposición de ondas se conoce como interferencia. Si la interferencia se produce en fase, las ondas se interferirán de forma constructiva.

La reverberación es un ejemplo de interferencia constructiva de ondas sonoras, percibiremos un sonido de mayor volumen. Esto ocurre porque la amplitud del sonido aumenta y, en consecuencia, en la zona donde se produce esta interferencia la onda sonora transportará una mayor cantidad de energía. Si la interferencia es destructiva, se generan zonas de silencio, es decir, zonas donde no se escucha sonido alguno.

## **Efecto Doppler**

Cuando una ambulancia se acerca a nosotros a gran velocidad, tocando la sirena, percibimos el sonido en forma las aguda y cuando se aleja lo percibimos mas grave. Este fenómeno se conoce como efecto Doppler, en honor al físico austriaco Christian J. Doppler.

Para comprender este fenómeno consideremos una ambulancia en movimiento con sus sirenas emitiendo sonido. Esta tiende a alcanzar las ondas sonoras que se propagan delante de ella y a alejarse de las que se propagan detrás. Esto da por resultado que, para un observador estático, aparentemente las ondas se compriman delante y se expandan detrás de la fuente en movimiento. De esta forma, una persona que esté delante de ambulancia le llegará más crestas de onda por segundo por lo que aprecia una frecuencia mayor que la producida por la fuente de sonido. En cambio, a una parada detrás de la ambulancia le llegarán menos crestas por segundo y percibirá una frecuencia menor que la frecuencia emitida por la fuente.



fig. 1

Cuando el receptor (R) y la fuente emisora (E) se mueven simultáneamente (a lo largo de una misma recta), la frecuencia que detectará el receptor depende, naturalmente, de las velocidades de ambos y está dada por

donde:

$$f_R = f_E \left( \frac{v_S \pm v_R}{v_S \pm v_E} \right)$$

$f_R$  es la frecuencia del receptor.

$f_E$  es la frecuencia del emisor.

$v_E$  es la velocidad del emisor.

$v_R$  es la velocidad del receptor.

$v_S$  es la velocidad de la onda.

Observe que los signos "+" en el numerador y "-" en el denominador corresponden a un aumento de frecuencia (aproximación entre la fuente y el receptor). Por otra parte, los signos "-" en el numerador y "+" en el denominador corresponden a una disminución de la frecuencia (alejamiento entre la fuente y el receptor).

Las ecuaciones anteriores, aunque hayan sido deducidas para ondas mecánicas, pueden aplicarse también a las ondas luminosas, si las velocidades del emisor y el receptor son mucho menores que la velocidad de la luz en el vacío. Cuando esto no ocurre, las ecuaciones se alteran debido a efectos relativistas.

### **Frecuencia Natural**

Se llama frecuencia natural al sonido característico de un objeto cuando vibra. La frecuencia natural depende de factores tales como la elasticidad y la forma del objeto. Dos objetos diferentes, por lo general, emiten sonidos distintos cuando vibran.

### **Resonancia**

Se denomina vibración forzada a la vibración inducida sobre un cuerpo por otro que esta vibrando. Cuando la frecuencia de las vibraciones forzadas que se generan en un objeto coincide con la frecuencia del mismo se produce un aumento notable en el volumen del sonido que emiten. Este fenómeno se denomina resonancia.

Los ejemplos más notables de la resonancia son:

- Si una cantante mantiene una nota de cierta frecuencia, puede llegar a inducir vibraciones en un vaso hasta que se rompa.
- Los soldados rompen el paso para atravesar un puente, ya que el paso de la marcha regular puede hacer vibrar un puente y causar su destrucción.
- El viento (1940) hizo oscilar el puente Tacoma Narrows de Washington poniéndolo en movimiento y destruyéndolo.

### **Pulsaciones**

Otro caso de interferencia ocurre cuando dos tonos de frecuencia ligeramente distintas suenan al mismo tiempo. La sonoridad de los sonidos combinados fluctúa; primero se eleva, luego descende, luego se eleva, luego vuelve a descender, y así sucesivamente. Estas variaciones periódicas de la sonoridad del sonido se conocen como pulsaciones o batido. El número de pulsaciones que ocurren en la unidad de tiempo son  $|f_1 - f_2|$  donde  $f_1$  y  $f_2$  son dos frecuencias distintas de valores parecidos.

**El sistema auditivo humano.** El sistema auditivo humano es un delicado y complejo mecanismo que permite la recepción del sonido. Está formado por tres partes principales: **el oído externo, el oído medio y el oído interno.**

El **oído externo** esta constituido por el pabellón auditivo u oreja, el conducto auditivo y la membrana conocida como tímpano. La oreja, por su forma y dimensiones, facilita la recepción del sonido.

El **oído medio** es un conducto estrecho y lleno de aire que por un lado limita con el tímpano y por el otro con la ventana oval y la ventana redonda que permiten la comunicación con el oído externo. Se comunica con la nariz y la garganta a través de ala trompa de Eustaquio. En su interior se encuentran cuatro huesos pequeños y móviles (el martillo, el yunque, el lenticular y el estribo) cuya función es conectar acústicamente la ventana oval.

El **oído interno** o laberinto es una cavidad llena de líquido viscoso y contiene los órganos de la audición y del equilibrio. Está constituido por 3 cavidades: el vestíbulo, los tres canales semicirculares y el caracol.

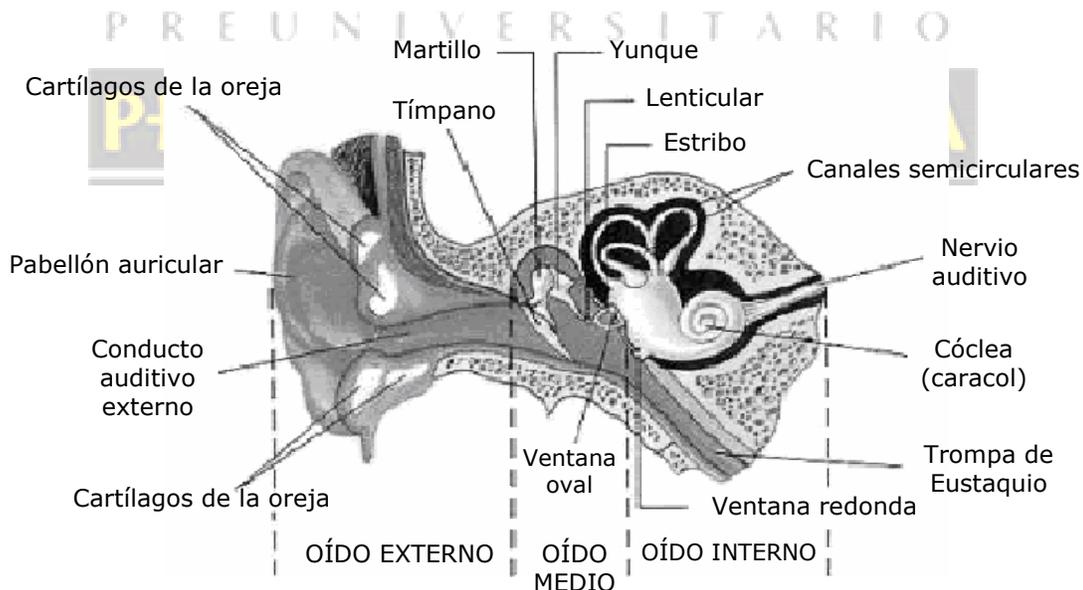


fig. 2

## EJEMPLOS

1. Para tocar en una flauta un sonido de una nota más alta, ¿cuál de las siguientes propiedades del sonido se debe incrementar?
  - A) El periodo.
  - B) La longitud de onda.
  - C) La frecuencia.
  - D) La amplitud.
  - E) El timbre.
  
2. Un sonido muy agudo se caracteriza porque es una onda de
  - A) gran velocidad.
  - B) gran amplitud.
  - C) gran longitud de onda.
  - D) alta frecuencia.
  - E) periodo muy largo.
  
3. Si el sonido es una onda mecánica, podemos decir que
  - A) se puede propagar por el vacío.
  - B) se propaga sólo en los medios gaseosos.
  - C) no se puede propagar en los medios sólidos.
  - D) se propaga más rápido en los sólidos que en el gas.
  - E) se propaga más lento en los más densos.
  
4. Si se considera que la velocidad del sonido es de 340 m/s en un día cuya temperatura bordea los 25°C y la presión atmosférica es de 1 atmosfera. Podremos afirmar correctamente que si la temperatura del sector desciende a -10°C
  - A) la longitud de onda del sonido no varía.
  - B) la velocidad del sonido disminuye.
  - C) la frecuencia del sonido aumenta.
  - D) la frecuencia del sonido disminuye.
  - E) la amplitud del sonido aumenta.

5. Se afirma que la frecuencia de una onda puede medirse en

- I)  $s^{-1}$
- II) r.p.s
- III) MHz

Es (son) correcta(s)

- A) sólo I.
- B) sólo II.
- C) sólo III.
- D) sólo I y II.
- E) I, II y III.

6. Una onda sonora se propaga en un medio elástico, recorriendo una distancia de 45 [m] en 15 [s]. Si en 1 [min] se producen 15 ciclos, entonces

- I) la rapidez de la onda sonora es de 3 [m/s].
- II) la frecuencia de la onda es de 0,25 [Hz].
- III) la longitud de la onda sonora es de 12 [m].

Es (son) verdadera(s)

- A) sólo I.
- B) sólo II.
- C) sólo III.
- D) sólo I y II.
- E) todas ellas.

7. Un piano y una guitarra son instrumentos de cuerda. Si éstos son tocados con la misma altura y con el mismo volumen, podremos diferenciar el piano de la guitarra por

- A) el timbre.
- B) la intensidad.
- C) la dispersión del sonido.
- D) el tono.
- E) la refracción.

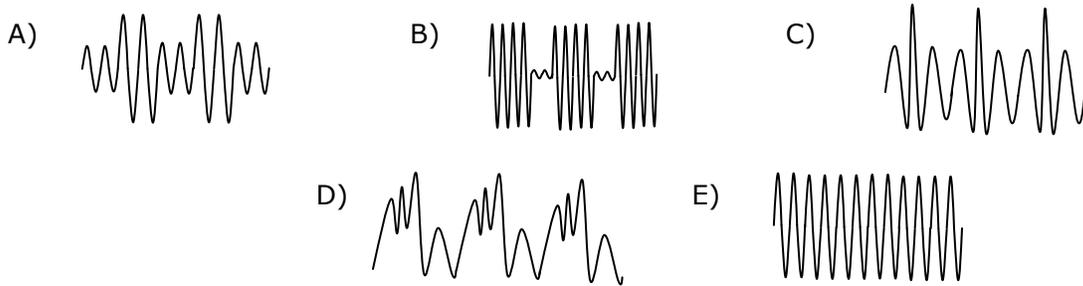
## PROBLEMAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE

1. El largo de una cuerda de una guitarra es de 36 [cm]. ¿Cuál es la longitud de onda del tercer armónico para esta cuerda?
  - A) 72 [cm].
  - B) 36 [cm].
  - C) 24 [cm].
  - D) 12 [cm].
  - E) 6 [cm].
  
2. Un murciélago puede detectar pequeños objetos, como por ejemplo insectos, cuyo tamaño es aproximadamente igual a la longitud de la onda del sonido que emite el murciélago. Si él emite un chillido de 60 [KHz] de frecuencia y se propaga con una rapidez de 600 [m/s], ¿qué tamaño mínimo deberá tener el insecto para que el murciélago lo detecte?
  - A) 100,00 m.
  - B) 10,00 m.
  - C) 1,00 m.
  - D) 0,10 m.
  - E) 0,01 m.
  
3. Una cuerda fija en sus extremos al oscilar determina un sonido (como la guitarra). Si aumentamos la frecuencia con la que oscila la cuerda debería pasar que
  - A) el período aumenta.
  - B) la velocidad disminuye.
  - C) el período no se altera.
  - D) la velocidad aumenta.
  - E) la longitud de onda disminuye.
  
4. La cuerda de un violín es 15 [cm] de largo. Si una onda en esa cuerda se mueve a 240 [m/s], ¿cuál es la frecuencia fundamental?
  - A) 30 [Hz].
  - B) 16 [Hz].
  - C) 15 [Hz].
  - D) 8 [Hz].
  - E) 1/8 [Hz].
  
5. La rapidez del sonido es aproximadamente 340 [m/s] y la frecuencia de la sirena de una ambulancia es 320 [Hz]. La ambulancia está viajando a 72 [km/h] hacia un observador en reposo, por tanto la frecuencia que percibe el observador es
  - A) 302 [Hz]
  - B) 320 [Hz]
  - C) 340 [Hz]
  - D) 360 [Hz]
  - E) 640 [Hz]

6. Un niño está parado frente a un acantilado, emite un sonido, el cual se refleja. Si en ir y volver el sonido se demoró 0,8 [s] y la rapidez del sonido en el aire es de 340 [m/s], ¿a qué distancia se encuentra el niño del acantilado?

- A) 1.360,0 [m]
- B) 272,0 [m]
- C) 136,0 [m]
- D) 27,2 [m]
- E) Ninguna de las anteriores.

7. Al mezclar dos sonidos de frecuencias muy cercanas entre ellas la onda resultante será parecida a la que se muestra en



8. Un sonido emitido en el aire viaja a 340 [m/s] y su longitud de onda es de 20 [cm], entonces al entrar este sonido al agua tendrá una frecuencia de

- A) 6.800,00 [Hz].
- B) 1.700,00 [Hz].
- C) 17,00 [Hz].
- D) 0,20 [Hz].
- E) 0,06 [Hz].

9. Tres pulsos están viajando desde P hacia Q, ver figura 3, y se reflejan al llegar al punto Q, la rapidez de los pulsos es 1,5 [cm/s] entonces después de un segundo estarán como se muestra en

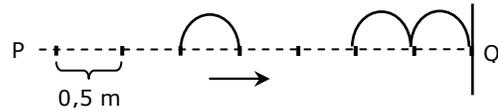
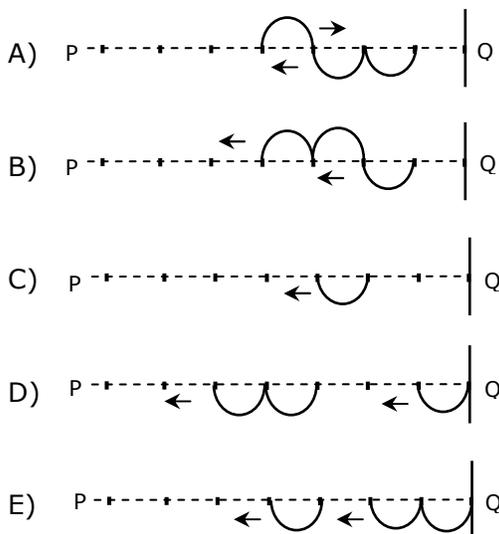


fig. 3

10. Un carro bomba viaja con velocidad haciendo sonar su sirena, una persona que se encuentra en una calle perpendicular a la que utiliza el carro bomba (a la vuelta de la esquina) logra escuchar la sirena, el fenómeno que permite que esta persona escuche el sonido del carro bomba es
- A) interferencias constructivas.
  - B) efecto doppler.
  - C) resonancia.
  - D) refracción.
  - E) difracción.
11. El oído humano solo puede percibir sonidos que están en el rango de
- A) 80 [Hz] – 2 [KHz]
  - B) 0,02 [KHz] – 2 [KHz]
  - C) 0,02 [KHz] – 20 [KHz]
  - D) 0,2 [Hz] – 2000 [Hz]
  - E) 20 [Hz] – 2000 [Hz]
12. En ciudades como Santiago no solo existe contaminación atmosférica sino que también existe contaminación acústica, este fenómeno se relaciona con
- A) la frecuencia de la onda.
  - B) la velocidad de la onda.
  - C) el timbre de la onda.
  - D) la amplitud de la onda.
  - E) la longitud de onda de la onda
13. A través de una varilla de acero que tiene uno de sus extremos hundido en el agua se emite una señal sonora, por su extremo libre, de modo que la señal sigue su viaje por medio acuático. Centrando nuestra atención en la transferencia del sonido, del acero al agua, podemos afirmar que
- A) la frecuencia del sonido cambia, al pasar el agua.
  - B) la longitud de onda cambia, pero no la velocidad de transmisión.
  - C) la longitud de onda y la velocidad aumentan.
  - D) se produce el fenómeno de refracción que hace decrecer tanto la velocidad como la longitud de onda.
  - E) la onda pasa de ser longitudinal a ser transversal.

14. Respecto del efecto Doppler, podemos afirmar que

- I) se produce solamente en ondas sonoras.
- II) es una variación transitoria de la frecuencia del sonido emitido.
- III) es una variación relativa de la longitud de onda y de la frecuencia.

Es (son) correcta(s)

- A) sólo I.
- B) sólo III.
- C) sólo I y II.
- D) sólo II y III.
- E) I, II y III.

15. Respecto a los fenómenos de refracción y difracción, es correcto afirmar que ambos tienen en común

- I) que se pueden presentar en los dos tipos de ondas: transversales y longitudinales, sin excepciones.
- II) que en ambos fenómenos ocurre una variación de la dirección de las ondas durante el respectivo fenómeno.
- III) en el primer fenómeno se produce un cambio en la velocidad y en el segundo un cambio en la longitud de onda.

- A) Sólo I
- B) Sólo III
- C) Sólo I y II
- D) Sólo II y III
- E) I, II y III.

#### **CLAVES DE LOS EJEMPLOS**

1C    2D    3D    4B    5E    6E    7A

**DMDFM-24**

**Puedes complementar los contenidos de esta guía visitando nuestra web  
<http://www.pedrodevaldivia.cl/>**