

# Instituto Politécnico

Universidad Nacional de Rosario Universidad Nacional de

## Ondas

## 2º Año

### Física

[fisica.ips.edu.ar](http://fisica.ips.edu.ar)  
[www.ips.edu.ar](http://www.ips.edu.ar)

Cód- 7201-18

Silvia Belletti  
Germán Blesio



Dpto. de Física

Masterización: RECURSOS PEDAGÓGICOS



## **ONDAS**

### **INTRODUCCIÓN**

En la naturaleza los cuerpos están sometidos a una gran variedad de movimientos. Algunos son complejos, como el volar de un pájaro, o un insecto que describen trayectorias caprichosas, o el recorrido de una pelota de fútbol durante un juego. Otros son más sencillos, como el movimiento de un tren, que limitado por las vías, se mueve en línea recta, o describe un movimiento circular, si gira, en una curva.

En determinadas circunstancias, se origina un movimiento singular que da lugar a fenómenos que ocurren a nuestro alrededor tales como, las olas del mar, el sonido de un violín, la luz que percibimos, o la información que nos llega por radio y televisión. Estos fenómenos, en apariencia no están relacionados entre si, pero al poseer características comunes, nos permitirán estudiarlos mediante un único modelo.

El concepto de modelo no es nuevo, recordemos que en el curso anterior de Física, trabajamos con el modelo de átomo, que nos permitió interpretar un conjunto de fenómenos que, aunque distintos, por compartir algunas características comunes se pueden analizar mediante un modelo único.

En este curso estudiaremos el modelo de ondas mediante el cual se podrán estudiar otro conjunto de fenómenos como el movimiento de las olas del agua, los fenómenos del sonido, algunas características de la luz, y otros fenómenos complejos como las recientemente detectadas ondas gravitacionales, mediante un modelo común. Para ello es necesario dar respuesta a interrogantes como: ¿qué tienen en común los fenómenos antes nombrados?, ¿qué es una onda?, ¿cómo se propaga?, ¿necesita de un medio material para propagarse?

### **ACTIVIDAD N°1**

- 1- Identifica algunos fenómenos que ocurren en la naturaleza, que conozcas y que a tu criterio estén asociados con ondas. Realiza en la carpeta una lista de ellos.
- 2- Investiga: ¿A qué tipo de onda se llama mecánica? ¿A qué tipo de onda se llama electromagnética?

## **ONDAS MECÁNICAS**

### **VIBRACIONES Y ONDAS**

Imaginemos que nos encontramos a la orilla de un lago tranquilo y sobre su superficie se halla flotando una hoja. Si lanzamos una piedra sobre el agua se producen una sucesión de círculos concéntricos que se expanden. Al cabo de cierto tiempo observamos que la hoja se mueve verticalmente de arriba hacia abajo es decir oscila alrededor de su posición de equilibrio cuando es alcanzada por la perturbación sin desplazarse en dirección del movimiento de los círculos en el agua.

El comportamiento de las partículas del agua es análogo al de la hoja, las moléculas del agua que se encuentran debajo de la hoja, así como todas las otras en la superficie

efectúan solo pequeñas vibraciones hacia arriba y hacia abajo. El movimiento del conjunto es el de una perturbación que viaja desde una fuente que la provoca (la piedra que cayó al agua) hacia los confines del medio (agua). En otras palabras, esa perturbación que se propaga la asociamos a una onda que puede viajar a grandes distancias, pero una vez que la perturbación ha pasado, las partículas que constituyen el agua y la hoja, quedan en el lugar donde se encontraban, es decir no se desplazan respecto de su posición inicial o punto fijo tomado como referencia (por ejemplo la costa).

Si miramos a nuestro alrededor veremos que existen muchos otros ejemplos tal como, el movimiento de una bandera en un día ventoso. Las ondas que se producen se propagan a lo largo del tejido sin que éste se desplace, mientras que las partículas que lo componen vibran hacia un lado y hacia el otro.

De lo expuesto en los ejemplos podemos concluir que en el modelo ondulatorio hay dos aspectos que debemos tener en cuenta: el movimiento individual de las partículas que constituyen el medio y el movimiento del conjunto como respuesta a ese movimiento individual. El análisis de ambos aspectos nos permitirá comprender este modelo.

### ACTIVIDAD N°2

Te proponemos tres experimentos.

Para cada uno de ellos comenta si a tu criterio, el fenómeno observado es una onda. De ser así identifica la fuente de la perturbación (qué o quién la provoca) y el medio en el que se propaga. Describe también el movimiento de cada partícula del medio y el movimiento del conjunto.

#### Experimento N°1

Para realizar el experimento dos alumnos sujetan los extremos de una cuerda estirada a la que habrán atado una pequeña cinta de color en un punto intermedio.

Uno de los alumnos mueve la cuerda hacia arriba y abajo como indica la Fig. 1.

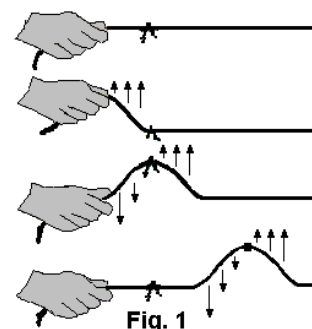


Fig. 1

#### Experimento N°2

Coloca sobre una mesa tres monedas, dos de las cuales se encuentren en contacto, Con un dedo presiona fuertemente una de ellas sobre la mesa. Luego arroja la tercera moneda como indica la Fig. 2.

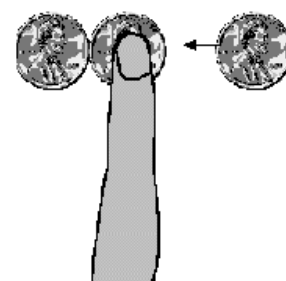


Fig. 2

#### Experimento N° 3

Apoya los dedos de la mano alrededor de tu garganta. Emite un sonido



### ACTIVIDAD N°3

En una primera aproximación intenta explicar que es una onda mecánica.

#### MODELO DE ONDA MECÁNICA

Cualquier tipo de onda es el resultado de una perturbación que viaja en el tiempo, si la onda sólo puede propagarse en un medio material (ya sea sólido, líquido o gaseoso) se denomina **onda mecánica**. Vale aclarar que según sea el medio las ondas se propagan de maneras diferentes, esto se detallará más adelante.

**Cuando un medio es perturbado se le imparte energía, y la propagación de esa energía se produce por la interacción entre las partículas que constituyen el medio.**

El **modelo de onda** supone que el medio material en el que se propaga es un medio "**continuo**" (recordando que la materia es discontinua nos referimos a un medio **continuo**, como una porción del sistema donde sus partículas interactúan entre sí). Así por ejemplo, el modelo simplificado de un sólido describe las fuerzas intermoleculares de enlace como resortes. Las moléculas unidas por estas fuerzas elásticas influyen unas sobre otras. Si por algún medio una molécula es perturbada entonces hay una fuerza de restauración que tiende a regresarla a su posición original con lo que comienza a oscilar. Al hacerlo, afecta a la molécula adyacente que también empieza a oscilar. Esto es algo que se inicia en un punto del material en un tiempo y causa un acontecimiento similar en otro punto en otro tiempo y así sucesivamente, esto se conoce como propagación de una perturbación.

Podemos concluir que:

1. **Una onda mecánica es un proceso colectivo** que ocurre en un **medio** como resultado de un movimiento individual de las partículas que lo constituyen.
2. Para describir la onda, construimos un **modelo** del medio, suponiéndolo **continuo** y estudiamos los **cambios de alguna magnitud física** del medio.
3. Podemos reconocer **cambios** que ocurren en **cada punto del medio** y también **cambios** que se perciben en el medio como un **todo**.
4. Para que se produzca la onda, debe haber una **fuerza** que excite el medio en un punto o diferentes puntos

### ACTIVIDAD N° 4

Analiza en cada uno de los experimentos realizados en la Actividad N°2, cual es la **magnitud física del medio** que se modifica cuando se propaga la onda.

### ONDAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES:

Si producimos una onda en una cuerda agitando uno de sus extremos, el movimiento de oscilación de cada partícula que constituye la cuerda es perpendicular a la dirección de propagación de la onda como se observa en la Fig.1 de la página 2. A este tipo de ondas se las llama **ondas transversales**.

*Una onda transversal es una onda en la cual las partículas del medio oscilan en dirección perpendicular a la dirección de propagación.*

Un ejemplo de ellas son las que se producen en la superficie de los líquidos, en las cuerdas de los instrumentos y las ondas sísmicas tipo S.

Cuando las partículas del medio se mueven de un lado a otro en la misma dirección en que se propaga la onda, ésta se llama **onda longitudinal**.

*Una onda longitudinal es una onda en la cual las partículas del medio oscilan en una dirección paralela a la dirección de propagación.*

Ejemplo de ellas son las ondas sonoras. Otro ejemplo son las ondas sísmicas tipo P.

### TRABAJO PRÁCTICO Nº 1: Ondas transversales y longitudinales

*Objetivo:* Analizar ondas transversales y longitudinales.

*Materiales:* resorte

#### **Procedimiento:**

Entre dos alumnos deben realizar los siguientes experimentos:

1- Apoyar el resorte sobre el suelo, cada alumno debe sujetar un extremo del resorte, y mientras uno lo mantiene fijo el otro agita hacia un lado y hacia otro.

2- Cada alumno debe sujetar un extremo del resorte, y mientras uno lo mantiene fijo el otro aleja y acerca las espiras próximas a él.

3- Reflexiona sobre las siguientes cuestiones:

- \* ¿Se propaga alguna perturbación? ¿En qué dirección?
- \* ¿Cómo es el movimiento de cada porción del resorte respecto de la propagación de la perturbación?
- \* Si se trata de una onda, ¿qué tipo de onda es? ¿Por qué?
- \* ¿Qué sucede con el sentido de propagación luego de que la onda llega al alumno que mantiene fijo al resorte? ¿Cómo se llama este fenómeno?
- \* ¿Qué tipo de ondas corresponden a cada experimento?
- \* ¿Es posible que en un mismo medio material puedan propagarse ondas transversales y longitudinales?

4- Confecciona un informe sobre ambos experimentos.



## CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

### Ondas transversales

#### Crestas y valles

Supongamos que generamos una onda transversal agitando un extremo de una cuerda. Si tomáramos una fotografía de la cuerda, podríamos utilizarla para describir algunas características de la onda.

Para cuantificar dichas características, agregamos a la imagen un par de ejes cartesianos con una escala convenientemente elegida. El conjunto resultaría en una representación como la siguiente:

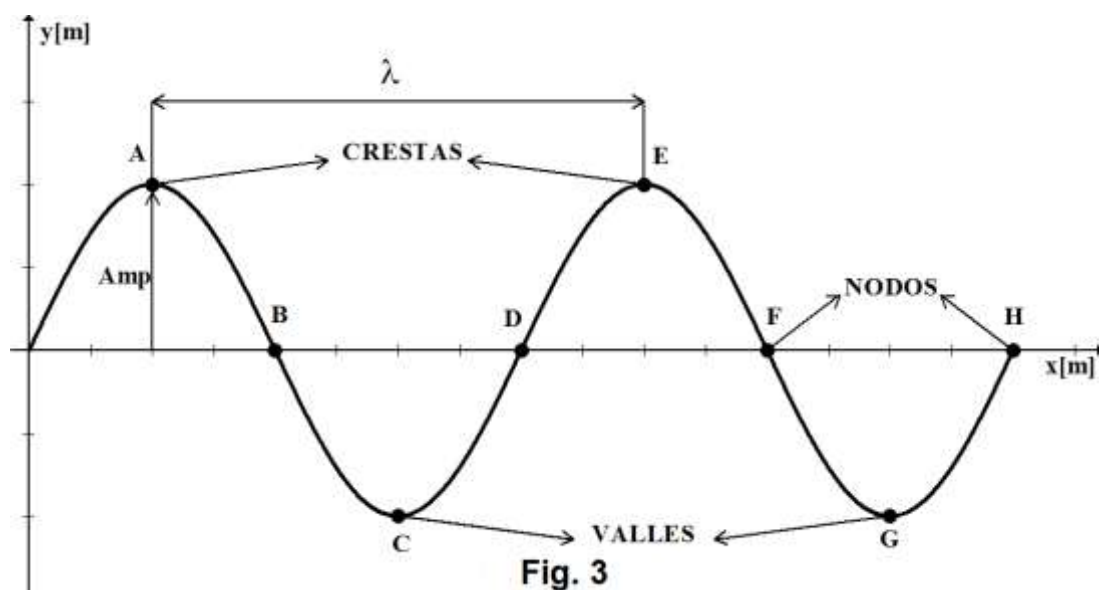


Fig. 3

El eje horizontal se dibuja en la posición que la cuerda asume si no está perturbada. Decimos que es la “posición de equilibrio o de reposo”. El eje vertical lo ubicamos en el comienzo de uno de los pulsos.

Cuando se perturba el medio, las partículas de la cuerda comienzan a vibrar hacia arriba y hacia abajo.

En el instante en que se tomó la “fotografía” una partícula en el medio puede estar sobre o debajo de la posición de reposo.

Los puntos A y E en el diagrama representan las crestas de esta onda. La **cresta** de una onda es el punto en el medio que exhibe el máximo desplazamiento respecto de la posición de equilibrio. Los puntos C y G en el diagrama representan los valles de esta onda. El **valle** de una onda es el punto en el medio que exhibe el máximo desplazamiento negativo respecto de la posición de equilibrio. Los puntos B, D, F y G de la imagen representan los nodos de una onda. El **nodo** es el punto en el medio que se encuentra en la posición de equilibrio o reposo.

Un ciclo de una onda es la secuencia de etapas que atraviesa hasta que reproduce una etapa anterior. Puede identificarse en el diagrama como el recorrido entre dos puntos consecutivos de igual perturbación, es decir que poseen el mismo desplazamiento y se

mueven de igual forma. Por ejemplo los recorridos OABCD, CDEFG y ABCDE, entre otros, representan un ciclo de la onda.

### Amplitud de la onda

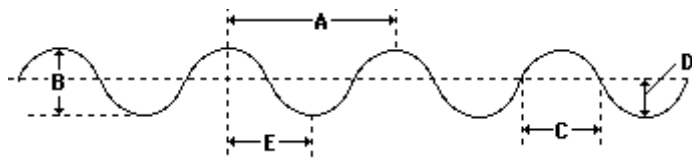
La onda mostrada arriba se puede describir a través de diversas características. Una de ellas es la amplitud. La **amplitud** de una onda es el máximo desplazamiento de una partícula del medio respecto de su posición de reposo. En ese sentido, la amplitud es la distancia **desde la posición de equilibrio a la cresta**. También puede medirse la amplitud desde la posición de equilibrio al valle. Observa que en el diagrama la amplitud está indicada con **Amp**.

### Longitud de onda

La longitud de onda es otra característica de una onda que se muestra en la Fig. 3. La **longitud de onda ( $\lambda$ )** es simplemente la longitud de un ciclo completo de la onda. Es la distancia entre dos puntos consecutivos que tienen en un instante dado la misma perturbación. La longitud de onda se puede medir, por ejemplo, como la distancia de cresta a cresta o de valle a valle sucesivos. En el diagrama, la longitud de onda es la distancia de A a E, o la distancia de B a F, o la distancia de C a G, o la distancia de D a H. Cualquiera de estas medidas permite determinar la longitud de onda.

### ACTIVIDAD N° 5

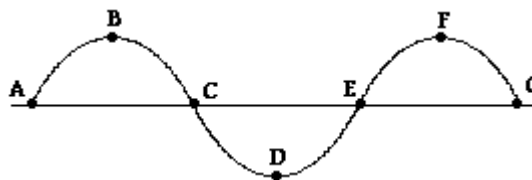
1- Considera el diagrama para contestar las preguntas a) y b)



- a) La longitud de onda es la distancia marcada con la letra \_\_\_\_\_.
- b) La amplitud de la onda es la distancia marcada con la letra \_\_\_\_\_.

2- Indica el/los intervalo/s que representa/n un ciclo completo de la onda.

- a) ABC  
b) BCD  
c) ABCDEFG  
d) CDEFG  
e) ABCDE



### Período

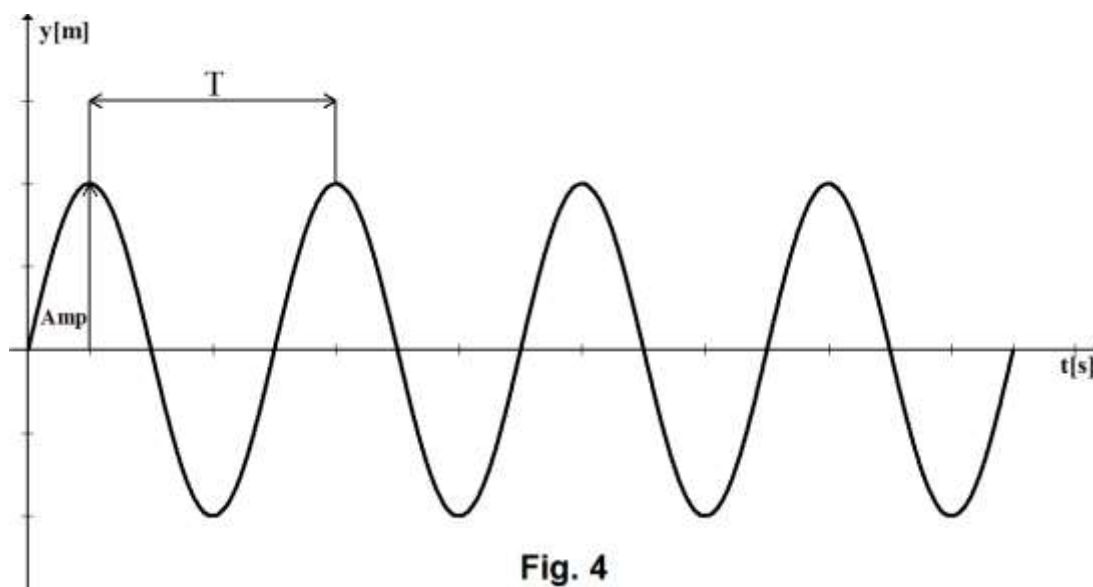
Usemos nuevamente el ejemplo de la cuerda, pero supongamos ahora que pintamos una pequeña sección de la misma. Si observamos el movimiento de esa porción de la



cuerda, y registramos su posición a lo largo del tiempo, podemos representar esos datos en un sistema de ejes coordenados, obteniendo una gráfica como la de la Fig. 4.

En esta gráfica también se observa las crestas, valles y nodos, así como también la amplitud. **Pero no debe confundirse con la Fig. 3, ahora estamos observando el movimiento de una partícula a lo largo del tiempo.** Por este motivo en el eje horizontal dice "t" de tiempo (suele ser útil observar la unidad que en este caso es segundo). Hay entonces dos representaciones de importancia para una onda:

- la que corresponde a una foto en un instante dado (Fig. 3) en la que su eje horizontal indica una posición
- la que corresponde al movimiento de una partícula a lo largo del tiempo (Fig. 4) cuyo eje horizontal representa el tiempo.



Se conoce como **período (T)** al intervalo de tiempo en que una partícula del medio realiza un ciclo vibratorio completo. Por ello puede identificarse en la gráfica como el tiempo transcurrido entre dos puntos consecutivos de igual perturbación. Empezando a contar el período a partir de un punto de máximo desplazamiento (cresta), como necesitamos un ciclo completo, terminaremos cuando llega nuevamente a una cresta, es decir, el tiempo entre dos crestas consecutivas (como se marca en la gráfica).

Por ser un intervalo de tiempo, el período se mide en unidades de tiempo (generalmente, segundos).

La noción de período se usa también para otras situaciones en las que hay un ciclo que se repite (acontecimientos periódicos), aunque no se trate de una onda. Por ejemplo, decimos que el período de la Tierra en su órbita alrededor del sol es aproximadamente 365 días (le lleva 365 días a la Tierra completar un ciclo) o que el período del minuterero de un reloj es 3600 segundos.



### Frecuencia

La palabra frecuencia es parte de nuestro lenguaje común, cotidiano. Por ejemplo, podemos preguntar "¿con qué frecuencia riega usted el césped durante los meses del verano?" La respuesta sería, por ejemplo, "3 veces por semana."

La frecuencia se refiere a cuantas veces por unidad de tiempo se reitera o repite un suceso o proceso (ciclo)

Consideremos nuevamente la cuerda que tiene una pequeña porción pintada. Supongamos que la mano que sostiene un extremo de la cuerda (la fuente) se mueve para arriba y para abajo haciendo dos ciclos completos en un segundo. El extremo de la cuerda, que está unida a la mano vibra alternadamente también a razón de 2 ciclos por segundo. La porción siguiente al extremo también vibra a 2 ciclos por segundo, comenzando un poco después. Cada porción de la cuerda vibra a 2 ciclos por segundo. Este índice de 2 ciclos por segundo se denomina **frecuencia de la onda**.

La **frecuencia (f)** de una onda indica el ritmo en que las partículas del medio vibran cuando una onda pasa en el medio.

En términos matemáticos, la frecuencia es el número de ciclos completos de vibración de un medio en una unidad de tiempo (segundo). En función de esta definición, la frecuencia tendrá unidades de 1/segundo. La unidad para medir la frecuencia es el Hertz (o hertzio) que equivale a 1/segundo.

$$1 \text{ Hz (Hertz)} = \frac{1}{\text{segundo}} = \frac{1}{\text{s}}$$

Si una porción de cuerda realiza 2 ciclos vibratorios en un segundo, entonces la frecuencia es 2 Hertz. Si realiza 3 ciclos vibratorios en un segundo, entonces la frecuencia es 3 Hertz. Y si hace 8 ciclos vibratorios en 4 segundos, entonces la frecuencia es 2 Hertz (8 ciclos en 4 s = 2 ciclos por segundo).

### ¿Qué determina la frecuencia?

**La fuente es la que determina cuál es la frecuencia de la onda.** El ritmo a que vibra la fuente se repite luego sucesivamente en los diferentes puntos del medio.

### Relaciones entre el período y la frecuencia

La frecuencia y el período son magnitudes diferentes, pero están relacionadas.

Para una onda, la frecuencia es la cantidad de ciclos que realiza cualquier partícula del medio por segundo (ciclos/segundos), mientras que el período es la cantidad de segundos que demora la partícula en completar un ciclo (segundos/ciclo).

Si conocemos la frecuencia, podemos determinar fácilmente el período y viceversa.

Supongamos que la frecuencia de una onda es 2 Hz. Eso significa que la fuente (y cada punto) vibra a razón de dos ciclos por segundo.

*Entonces ...¿cuánto demora cada punto en realizar un ciclo?,  
Es decir, ¿cuál es el período?*

Si en un segundo hace dos ciclos, es evidente que cada ciclo demora medio segundo (0,5 s = ½ s).



Del mismo modo, si la frecuencia fuera 10 Hz, el período sería 0,1 s, o sea 1/10 segundos.

Vemos que el período y la frecuencia son recíprocos. Cuanto mayor es la frecuencia, menor es el período. En general, podemos escribir la siguiente relación matemática entre el período y la frecuencia:

$$\text{frecuencia} = \frac{1}{\text{período}} \quad \text{o} \quad \text{período} = \frac{1}{\text{frecuencia}}$$

Generalmente utilizamos el símbolo **f** para la frecuencia y el símbolo **T** para el período. Entonces:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{o} \quad T = \frac{1}{f}$$

### ACTIVIDAD N° 6

1- Las sillas voladoras de un parque de diversiones efectúan 22 vueltas en dos minutos. La frecuencia de su movimiento es \_\_\_\_\_.

- a) 11 Hz                      b) 0,54 Hz                      c) 0,091 Hz                      d) 0,183 Hz

2- La frecuencia cardíaca normal en reposo oscila entre 50 y 100 latidos por minuto. Este intervalo en Hz equivale a entre \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_.

- a) 0,5 Hz                      b) 0,83 Hz                      c) 1 Hz                      d) 1,67 Hz

3- La frecuencia de la rotación del segundero de un reloj es \_\_\_\_\_.

- a) 1/60 Hz                      b) 1/12 Hz                      c) el 1/2 Hz                      d) 1 Hz                      e) 60 Hz

4- Un período de 5.0 segundos corresponde a una frecuencia de \_\_\_\_\_ Hertz.

- a) 0.2 Hz                      b) 0.5 Hz                      c) 0.02 Hz                      d) 0.05 Hz                      e) 0.002 Hz

5- El período de una onda de sonido de 440 Hz es \_\_\_\_\_.

6- Si la frecuencia de una onda-aumenta su valor, el período \_\_\_\_\_.

- a) disminuye                      b) aumenta                      c) se mantiene igual

### Ondas longitudinales

#### Compresiones y expansiones

Podemos crear una onda longitudinal en un resorte (slinky) como lo hicimos en el Trabajo Práctico N°1.

Si tomamos una foto para *congelar* la forma del resorte en determinado instante de tiempo, aparecería un diagrama como el siguiente.

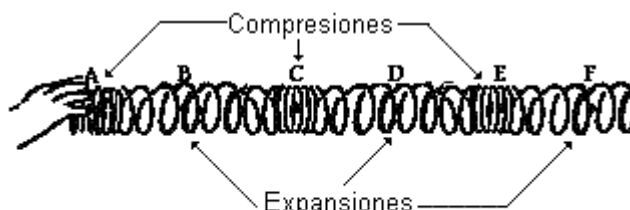


Fig. 5

Como las espiras del resorte están vibrando longitudinalmente, hay regiones donde se juntan y otras regiones donde se separan. Una región donde las espiras se juntan en una cantidad de espacio pequeña se conoce como compresión. Una **compresión** es un punto, en un medio por el cual está viajando una onda longitudinal, que tiene densidad máxima. Una región donde las espiras se separan, maximizando la distancia entre espiras, se conoce como expansión o rarefacción. Una **expansión** es un punto de un medio en el cual una onda longitudinal esté viajando que tiene la densidad mínima. Los puntos A, C y E en el diagrama de arriba representan compresiones y B, D, y F representan expansiones. Mientras que una onda transversal tiene un patrón que se alterna de crestas y de valles, una onda longitudinal tiene un patrón que se alterna de compresiones y de expansiones.

También el sonido es una onda longitudinal, por lo que podemos representar la transmisión del sonido en el aire con un dibujo similar al del resorte. En el caso del sonido, una vibración hará oscilar las moléculas de aire, por lo tanto, en algunas regiones las moléculas estarán más juntas (compresión) y en otras zonas más separadas (rarefacción antes llamadas expansiones). Estos movimientos vibratorios se transmiten a las moléculas vecinas, y viajan a través del medio, aire en este caso, hasta llegar a nuestros oídos. Es importante insistir que las moléculas sólo vibran alrededor de una posición, **no se desplazan** a través del medio donde sí se propaga la perturbación.

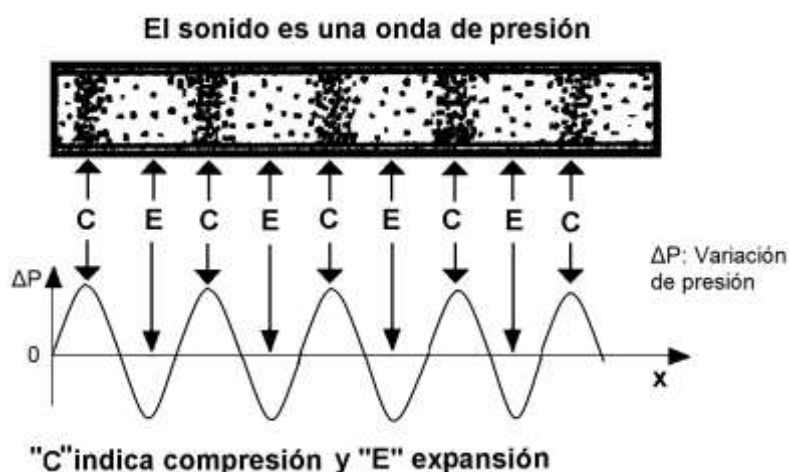


Fig. 6



Las zonas de compresión y de expansión que se producen en el aire cuando se propaga un sonido se representan en la parte superior de la Fig. 6. (Observa las similitudes con el diagrama del resorte)

Para este tipo de ondas es posible confeccionar un diagrama mostrando los cambios de presión que se producen en cada punto del medio en el instante de estudio (parte inferior de la Fig. 6)

Esta gráfica es similar a la que se hizo para ondas transversales con una salvedad: **en el eje vertical dice presión**. Tanto para ondas longitudinales como para ondas transversales se puede observar el estado del medio en un instante dado (es decir, "sacarle una foto") y nos vamos a dar cuenta que tipo de onda es a partir de que el eje vertical diga presión (si es longitudinal) o desplazamiento (si es transversal). En la naturaleza existen ondas que al representarlas, en el eje vertical se detallan otras magnitudes físicas pero, en este curso, vamos a trabajar principalmente con las mencionadas (presión y desplazamiento).

### Longitud de onda en la onda longitudinal

La longitud de onda es la longitud de un ciclo completo de una onda. Al igual que en las ondas transversales, en las ondas longitudinales también se determina midiendo la distancia entre dos puntos sucesivos que tengan la misma perturbación; por ejemplo, la distancia de una compresión a la compresión siguiente o de una rarefacción a la rarefacción siguiente.

En el diagrama anterior (Fig. 6), la longitud de onda se puede determinar a partir del eje horizontal, con una escala adecuada.

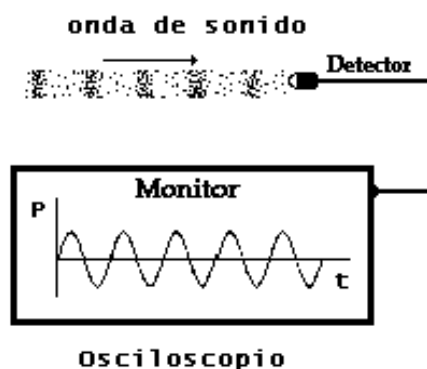


Fig. 7

### Período y frecuencia de ondas longitudinales:

Supongamos que se produce una onda sonora.

Usando un instrumento llamado osciloscopio se puede detectar el movimiento de las partículas del aire cercanas a él, es decir el sonido que le llega. Estas vibraciones aparecen graficadas en el monitor del osciloscopio. La forma de onda que aparece nos brinda información acerca del sonido.

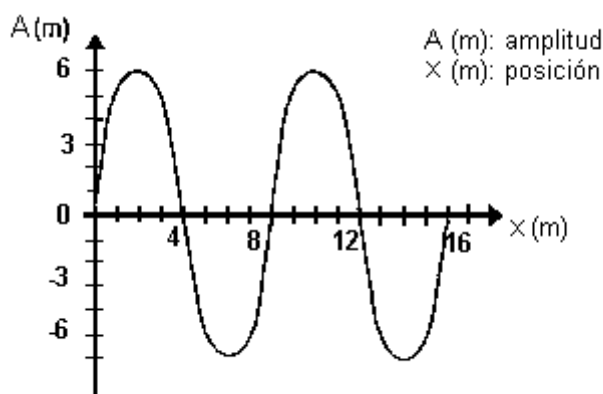
El dispositivo descrito se esquematiza en la Fig. 7 donde se observa la representación de la variación de la presión del medio (aire) con el tiempo. Nuevamente la gráfica formada por la onda

longitudinal se diferencia de la formada por la onda transversal sólo en el eje vertical. A partir de este tipo de representación, es posible obtener el período de la onda (tiempo en que una partícula del medio realiza un ciclo vibratorio completo) y la frecuencia (el número de ciclos completos de vibración del medio en una unidad de tiempo).

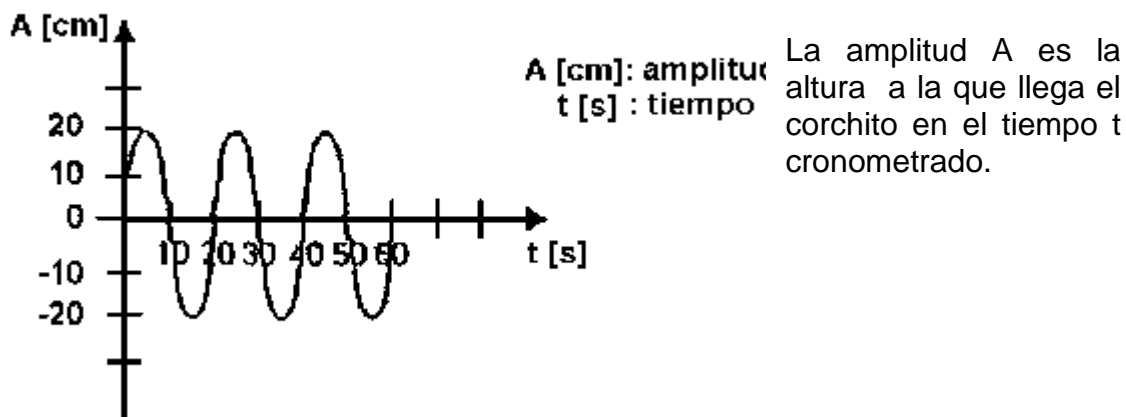
### ACTIVIDAD Nº 7

#### Ejercicios

- 1) Observa la gráfica e identifica:
  - a) El tipo de onda representada (Justifica)
  - b) ¿Qué movimiento es representado, el de una partícula o de todo el medio? (Justifica)
  - c) La longitud de onda y la amplitud.



2- Si observamos un corcho flotando en el agua y a éste le llega una perturbación ocasionada por la caída de una piedra, comenzará a oscilar hacia arriba y abajo. Si tomamos un cronómetro y medimos en distintos instantes de tiempo la posición del corchito respecto del equilibrio, resultará una gráfica como la que se representa a continuación:



- a) ¿Qué tipo de onda se generó? (Justifica)
- b) Identifica el período y la amplitud de la onda en el gráfico. ¿Cuál es su frecuencia?

3- Representa en un gráfico dos ondas: A y B, tales que la amplitud de A sea igual a la amplitud de B, y la longitud de onda de A sea la mitad de, la longitud de onda de B.

4- Representa en otro gráfico dos ondas: A y B, tales que la amplitud de A sea el doble de la amplitud de B, y el período de A sea igual al período de B.

5-Usualmente se escucha o se leen las expresiones como: kilohertz, megahertz. Investiga que significa.



## VELOCIDAD DE ONDA

La velocidad de onda  $v$ , es la velocidad a la que se desplaza la perturbación y coincide con la velocidad con que se mueven las crestas. Esta velocidad no debe confundirse con la velocidad de las partículas del medio.

Por ejemplo, para una onda que viaja a lo largo de una cuerda, como muestra la Fig. 8, la velocidad de la onda, es hacia la derecha a lo largo de la cuerda, mientras, que la velocidad de una partícula de la cuerda, es perpendicular a la misma (es decir, hacia arriba o hacia abajo).

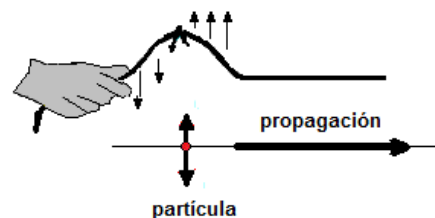


Fig. 8

Sabemos que la frecuencia de una onda depende de la **fente emisora**, pero ¿De qué depende su **velocidad de propagación**?

Investiguemos un poco al respecto con el siguiente Trabajo Práctico.

## TRABAJO PRÁCTICO Nº 2: Velocidad de onda

Realiza un experimento con los siguientes objetivos:

- Construir un oscilador.
- Observar la propagación de ondas.
- Identificar factores que modifican la velocidad de una onda en el oscilador.

### *Materiales*

Cinta aisladora; pajitas para bebida (por lo menos tres docenas de ellas; cuantas más usen, mejor); clips; algún material maleable, como masilla o plastilina.

### *Procedimiento*

1- Cortar una tira de cinta aisladora de 1,5m de largo colocarla sobre una mesa con la parte del pegamento hacia arriba. Es conveniente adherir sus extremos a la mesa, doblándolos hacia abajo.

2- Colocar un clip en cada extremo de las pajitas y pegar el centro de cada una de ellas en la cinta, a intervalos de 2,5cm una de otra, hasta que todas estén sujetas. Dejando aproximadamente 10cm libre en los extremos de la cinta.

3- Tensar levemente la cinta sujetándola verticalmente por ambos extremos. Dar un golpe que haga girar la pajita que está abajo y observar qué sucede. Mirar con mucha atención qué ocurre en cada extremo del dispositivo, es decir, cómo se mueven las pajitas que están abajo y las que están arriba.

4- Dejar que el dispositivo se aquiete, aumentar bastante la tensión en la cinta y repetir los pasos anteriores

5- Modelar con la plastilina bolitas de tamaño algo mayor que una arveja y colocarlas en cada extremo de las pajitas que se encuentran en la mitad superior del oscilador. Repetir el procedimiento de dar un golpe en la pajita que se encuentra en la parte inferior y observar atentamente qué pasa. Analizar con mucho detalle lo que ocurre en cada tramo del dispositivo (tramo 1: con clips, tramo 2: clips con bolitas).

6- Reflexiona sobre las siguientes cuestiones:

\* ¿Por qué se puede decir que el golpe que se le da a la primer pajita es una perturbación?

\* ¿Cuál es el medio por el que se propaga la perturbación?

\* ¿Cómo clasificas la onda?

\* ¿Cambia la velocidad de la onda al aumentar la tensión de la cinta?

\* ¿Cambia la velocidad de la onda cuando pasa de una zona de la cinta a otra que posee las bolitas? ¿Qué sucedería con la velocidad si se hubieran aumentado el tamaño de las bolitas?

\* ¿De qué factores depende la velocidad de propagación de la onda mecánica producida en el experimento?

7- Confecciona el informe del experimento

### ¿De qué depende la velocidad de propagación de una onda mecánica?

La **velocidad**, para un mismo tipo de onda, depende sólo de las propiedades del **material** en la que la misma se propaga. Esta última afirmación es muy importante: **para cualquier tipo de onda su velocidad sólo cambia si cambia el medio.**

Sin embargo, es importante destacar que para un mismo medio (por ejemplo el resorte) las ondas transversales y las longitudinales tienen diferentes velocidades.

Entonces, la velocidad de propagación de la onda depende únicamente del medio; pero tendrá valores diferentes para cada tipo de onda (longitudinal o transversal).

### ¿Podemos calcular la velocidad de onda?

Intuitivamente sabemos que la velocidad de la onda es la distancia recorrida por la perturbación en una unidad de tiempo.

Entonces, si una onda mecánica viaja una distancia “L” en un tiempo “t”, su velocidad de propagación puede calcularse a partir de la relación:

$$v = \frac{L}{t}$$



Consideremos por ejemplo una onda que viaja sobre la superficie de un lago:

Si por un punto pasan dos crestas por segundo, y si la longitud de onda es de 3 metros, entonces, cada segundo pasan  $2 \times 3$  metros de ondas.

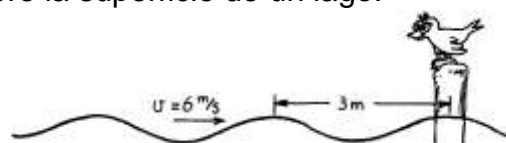


Fig. 9

Por lo tanto, las ondas se desplazan a 6 metros por segundo. Es decir:  $v = 6 \text{ m/s}$

En particular, si una cresta de onda viaja una distancia de una longitud de onda  $\lambda$  en un período  $T$ , la velocidad puede calcularse a partir de la relación:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Esta relación es válida para todo tipo de ondas, incluso para ondas electromagnéticas.

Además, recordando que  $T = \frac{1}{f}$ , también podemos escribir:

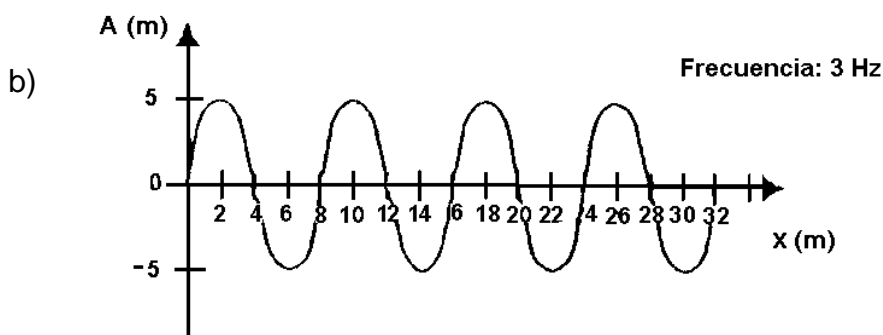
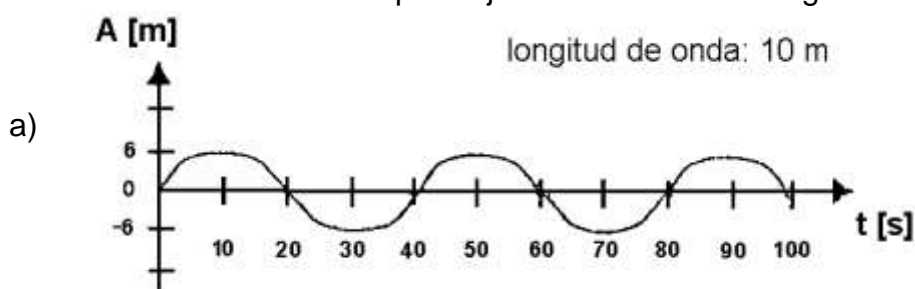
$$v = \lambda \cdot f$$

Cabe aclarar que mientras la frecuencia depende de la **fente emisora** de la onda, la **velocidad**, para un mismo tipo de onda mecánica, depende sólo del **material** en la que la misma se propaga, por lo que la longitud de onda resulta de esa relación.

## ACTIVIDAD Nº 8

### Ejercicios

1- Identifica la velocidad con que viajan las ondas de los siguientes gráficos.





2- ¿Cuál es la velocidad de una onda longitudinal cuya longitud es de 100m y cuya frecuencia es 3Hz?

3-¿Cuál será la longitud de onda, para una onda longitudinal de frecuencia 10 Hz que viaja en el mismo medio que la del ítem anterior?

4-Una onda se propaga en la superficie de un estanque. Dos corchos flotan en él separados por una distancia de 60 cm, describiendo 150 oscilaciones por minuto. Sabiendo que en cierto instante los corchos ocupan dos crestas consecutivas, calcula la velocidad de propagación de la onda.

5-Un extremo de una cuerda tensa horizontal de 4 m de longitud describe una onda transversal. Se ha medido que la perturbación tarda 0,8 s en llegar de un extremo de la cuerda al otro.

(a) Calcula la velocidad de propagación de la onda.

(b) Sabiendo que la distancia entre dos valles consecutivos es de 1m, determina la frecuencia, el período y la longitud de onda.

(c) Si el máximo desplazamiento vertical del extremo de la cuerda es 50 cm, realiza una representación gráfica de la onda, indicando claramente qué representás en cada eje.

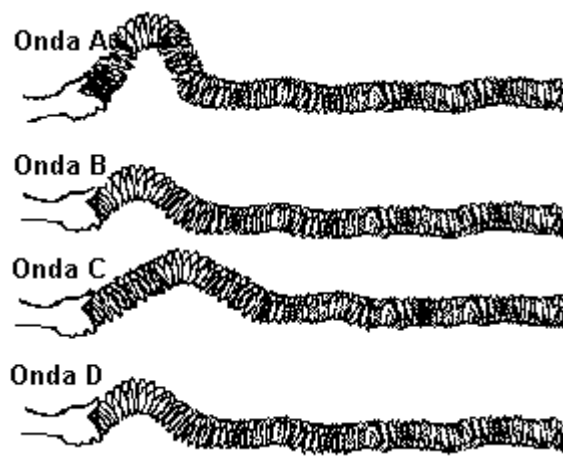
6- Una onda tiene una amplitud de 2 centímetros y de una frecuencia de 12 Hz, y la distancia de una cresta al valle más cercano se mide en 5 centímetros.

(a) Calculá el período, la longitud de onda y la velocidad de propagación de tal onda.

(b) Si el máximo desplazamiento vertical del extremo de la cuerda es 50 cm, realiza una representación gráfica de la onda, indicando claramente qué representás en cada eje.

7- Un chico unió un slinky a la pared y comenzó a introducir pulsos de diversa amplitud. ¿Cuáles de los dos pulsos (A o B) a la derecha alcanzará la pared primero? Justifica tu respuesta.

8- El chico comienza luego a introducir pulsos de diferentes longitudes de onda. ¿Cuáles de los dos pulsos (C o D) alcanzará la pared primero? Justifica tu respuesta.

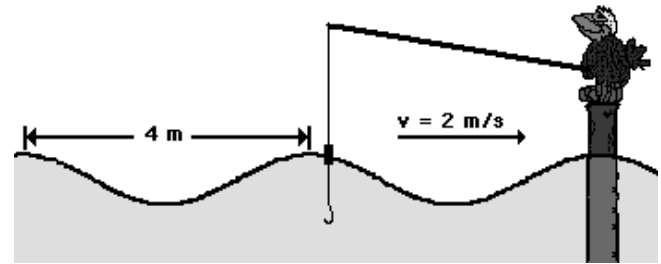


9- Dos ondas viajan a través de un depósito que contiene gas de nitrógeno. La onda A tiene una longitud de onda de 1,5 m. La onda B tiene una longitud de onda de 4,5 m. La relación entre las velocidades de A y B es:

- a) 1 a 9    b) la mitad    c) iguales    d) tres veces más grande que B



10- Analizando el dibujo, responde:  
¿cuánto tiempo transcurre entre la llegada de dos crestas sucesivas hasta el poste donde se encuentra el pájaro?,  
¿cuál es la frecuencia del movimiento del corchito?



## VELOCIDAD DEL SONIDO

Si analizamos las ondas sonoras, su velocidad de propagación varía con otros factores tales como: la temperatura del medio, la presión o con el estado de agregación del medio (sólido, líquido o gaseoso).

La velocidad del sonido en los sólidos es mayor que en los líquidos y que en los gases, ya que las moléculas de un sólido están más juntas en comparación con los líquidos y gases, por lo tanto, reaccionan propagando más rápidamente la perturbación.

En los gases, depende de la presión y de la temperatura. Al aumentar la presión y la temperatura, aumenta la agitación de las moléculas, lo que aumenta la velocidad de propagación del sonido. También la presencia de vapor de agua incrementa su velocidad.

En un sólido, la velocidad del sonido, depende de la densidad y de la elasticidad. La elasticidad, es la capacidad de un material en cambiar de forma como consecuencia de la aplicación de una fuerza y recuperar su forma original cuando la fuerza desaparece. Un ejemplo es el acero, que es un material elástico, en contraste está la plastilina que es inelástica, cuando ésta se deforma no vuelve a su forma inicial.

En los líquidos, la velocidad varía debido a la presión, profundidad, temperatura, salinidad y otros factores.

## MEDICION DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN LA HISTORIA

En el **Siglo XVII**, Pierre Gassendi, científico y filósofo francés, fue el primero en tratar de medir la velocidad del sonido en el aire. Suponiendo que la velocidad de la luz es infinitamente grande comparada con la velocidad del sonido, Gassendi, midió desde una cierta distancia la diferencia de tiempo que había entre el fogonazo de la explosión de un arma de fuego y el sonido emitido. Obtuvo un valor bastante grande: 478,4m/s. Además observó que la velocidad del sonido era independiente de la frecuencia.

Con posterioridad en **1650** Giovanni Borelli y Vincenzo Viviani, usando el mismo método de Gassendi obtuvieron una velocidad de 350m/s. Finalmente en **1738**, en la Academia de Ciencias de París, se midió nuevamente la velocidad del sonido con un resultado de 332m/s muy cercano al que hoy se conoce de 331,29m/s a 0°C.

A continuación se presenta una tabla donde se indica, en valores aproximados, la velocidad del sonido en distintos medios a determinada temperatura

### Velocidad de propagación del sonido

Medio	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)
Aire	0	330
Aire	20	340
Hidrógeno	0	1285
Agua	20	1400
Acero	20	5100

### ACTIVIDAD Nº 9

a- Responde:

- 1- ¿Cómo se propaga el sonido en un sólido?
- 2- La velocidad de propagación del sonido en un sólido es, ¿mayor, menor o igual a la velocidad de propagación en un gas?
- 3- ¿Qué influencia tiene la temperatura en la velocidad de una onda sonora?
- 4- ¿Por qué la velocidad del sonido en el aire aumenta cuando la presión atmosférica es mayor?
- 5- En alguna película habrás visto que una persona intenta averiguar si un tren se acerca pegando el oído a la vía férrea. ¿Qué relación puede tener este comportamiento con la velocidad del sonido en el aire y a través de un metal?
- 6- ¿Por qué un astronauta, cuando está afuera de su nave no puede escuchar el ruido que ésta hace?

b- Resuelve las siguientes cuestiones:

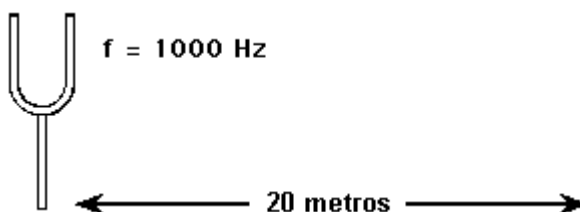
- 1- Una onda cuya longitud es de 30m y cuyo período es de 0,1s, se propaga por el agua a temperatura ambiente. ¿Podrá ser una onda sonora?
- 2- Francisco vive cerca del estadio en el que juega su equipo preferido. Como está enfermo, mira el partido por televisión. De repente, observa que el delantero de su equipo convierte un gol. Dos segundos más tarde, escucha el grito de las tribunas. ¿A qué distancia de la cancha vive Francisco?
- 3- Sonia vive a 1km de un bosquecito donde suelen ir a cazar palomas. Si en este momento escucha un disparo, ¿cuánto tiempo hará que dispararon el arma?
- 4- Si una persona ubicada a 344 m de una montaña grita, ¿cuánto tiempo tardará en escuchar su eco?
- 5- Una cámara fotográfica automática enfoca los objetos por medio de una onda sonora ultrasónica. La cámara fotográfica envía ondas sonoras que se reflejan en objetos distantes y vuelven a la cámara fotográfica. Un sensor detecta el tiempo que demoran las ondas en ir y volver y en base a ello determina la distancia entre el objeto y la cámara fotográfica. Si la onda sonora



(velocidad = 340 m/s) vuelve a la cámara 0,150 segundos después de dejarla, ¿a qué distancia está el objeto?

6- El tiempo requerido por las ondas sonoras ( $v = 340$  m/s) para viajar del diapasón al punto P es

- a) 0,020 s
- b) 0,059 s
- c) 0,59 s
- d) 2,9 s



7- Indica si es verdadero o falso

- a) Al duplicar la frecuencia de la fuente, se duplica la velocidad de las ondas.
  - b) Cuanto mayor es la amplitud de una onda, mayor es la velocidad de propagación
  - c) Cuanto mayor es el período de una onda, mayor es la frecuencia
  - d) La fuente es quién define la frecuencia de una onda
  - e) El sonido viaja más rápidamente en el aire que en el agua
  - f) Si quieres que una onda en una cuerda vaya más rápido, debes mover más rápidamente la mano que la excita.
  - g) La velocidad de propagación de una onda sólo depende de características del medio
  - h) Cuando una onda se propaga en un medio, cuanto mayor es frecuencia, menor es la longitud de onda.
  - i) Las ondas en una cuerda son más veloces cuanto más tirante está esa cuerda.
  - j) Las ondas sonoras se propagan en un medio sólido a una velocidad mucho menor que en el aire.
- 8- El avión Concorde puede verse primero y notar su ruido más tarde. Vos podés ver un relámpago y oír el trueno más tarde. De estas interpretaciones, ¿cuál es la más adecuada para explicar estas observaciones?.
- a) Tu vista es más sensible que tu oído.
  - b) La luz viaja más rápido que el sonido.
  - c) Tu cerebro capta más rápidamente las imágenes que los sonidos.
  - d) Se necesita cierto tiempo para producir un sonido.

## CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

Diferentes sonidos llegan a tus oídos constantemente, para caracterizar cada uno de ellos se recurre a las siguientes cualidades: altura, intensidad y timbre.

### Altura o tono

Según esta cualidad los sonidos pueden clasificarse en **graves o bajos** y **agudos o altos**. Esta clasificación está relacionada con la frecuencia de la onda sonora. Un sonido agudo es de mayor frecuencia que un sonido grave; es decir que los sonidos de mayor frecuencia tienen un tono mayor.

En una guitarra, las cuerdas finas vibran con mayor frecuencia que las gruesas, realizan más vibraciones cada segundo y producen un sonido agudo. Por lo contrario, las cuerdas más gruesas vibran más despacio, hacen menos vibraciones por segundo y emiten un sonido grave.

El oído humano percibe sonidos cuyas frecuencias están entre 20Hz y 20000Hz. Los sonidos de menos frecuencia a 20Hz se llaman infrasonidos, y las ondas sonoras superiores a 20000Hz se llaman ultrasonidos.

Los animales perciben otras frecuencias como por ejemplo los perros entre 50Hz y, 45000Hz, los gatos entre 45Hz y 85000Hz, mientras que los delfines distinguen hasta frecuencias cercanas a 200000Hz. En cuanto los elefantes poseen una capacidad de percibir sonidos entre 5Hz (infrasonido) y hasta 10000Hz.

### ACTIVIDAD Nº 10

Investiga:

- 1- ¿Por qué en general, la voz de las mujeres tiene un tono más alto que el de los hombres?
- 2- ¿Qué es lo que causa el cambio del tono de voz en la pubertad?
- 3- ¿Cómo puede distinguirse a simple vista, si un instrumento musical de cuerda produce un sonido agudo o grave?

### Timbre

Si dos instrumentos por ejemplo un violín y un piano emiten la misma nota musical, con la misma frecuencia y la misma amplitud, el oído percibe una diferencia en los sonidos. Esta cualidad llamada **timbre** nos permite distinguir entre dos fuentes sonoras cuando ambas están originando sonidos de igual tono o altura e intensidad.

El timbre es una característica que está vinculada con la forma de la onda sonora.

Un diapasón produce una nota pura, con una única frecuencia. Si observamos la onda sonora emitida por un diapasón con un osciloscopio tendrá la forma que se ve en la Fig. 10.

Otros instrumentos musicales producen muchas frecuencias llamadas armónicas al mismo tiempo. Estas armónicas se superponen y dan como resultado ondas de formas más complejas. En un osciloscopio se verían como lo indicado en la Fig. 11.

En general, escuchamos sonidos que resultan de la superposición de sonidos de distintas intensidades y alturas emitidos simultáneamente por la misma fuente sonora. La onda resultante es la característica de esa fuente sonora.

Así, cada instrumento musical, como la voz humana de cada persona, produce una vibración característica. Las vibraciones se propagan por el aire formando ondas sonoras que al llegar al oído nos permiten identificar el instrumento/persona aunque no lo veamos.

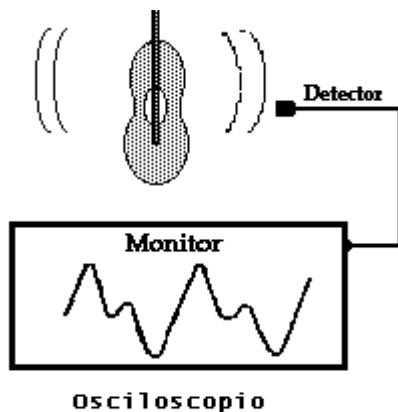


Fig.11

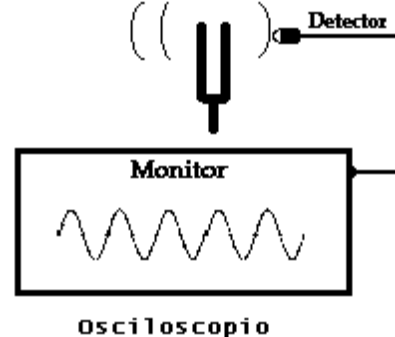


Fig. 10: Onda del diapasón

### Intensidad

Esta cualidad permite distinguir entre sonidos fuertes y débiles. La **intensidad** sonora está relacionada con la amplitud de la onda. La intensidad del sonido es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda sonora resultante de la vibración de un cuerpo material.

Observando la Fig. 12, ¿qué sonido será más intenso, el de la onda A o el de la B?

Para el caso de las ondas de la Fig. 12, como la amplitud de B es el doble de la amplitud de A, la intensidad sonora de B es el cuádruple de A.

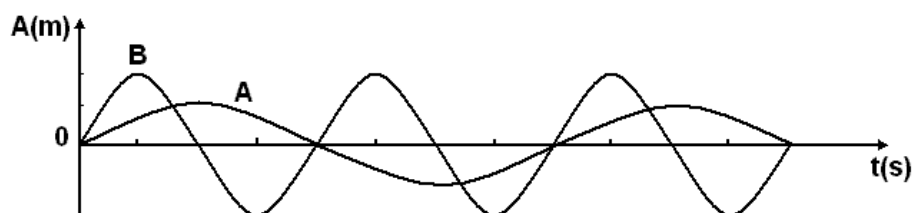


Fig.12

Existe otra magnitud física relacionada con la forma en que el oído humano percibe las diferencias de intensidad sonora llamada **nivel sonoro o nivel de intensidad** y su unidad es el **Decibel (db)**. Como se observa en la Fig. 13, con esta magnitud se representan mejor los sonidos a los que estamos acostumbrados.

El oído humano está adaptado para escuchar sonidos cuyo nivel de intensidad sea inferior a 130db, sonidos más intensos pueden provocar trastornos de salud.

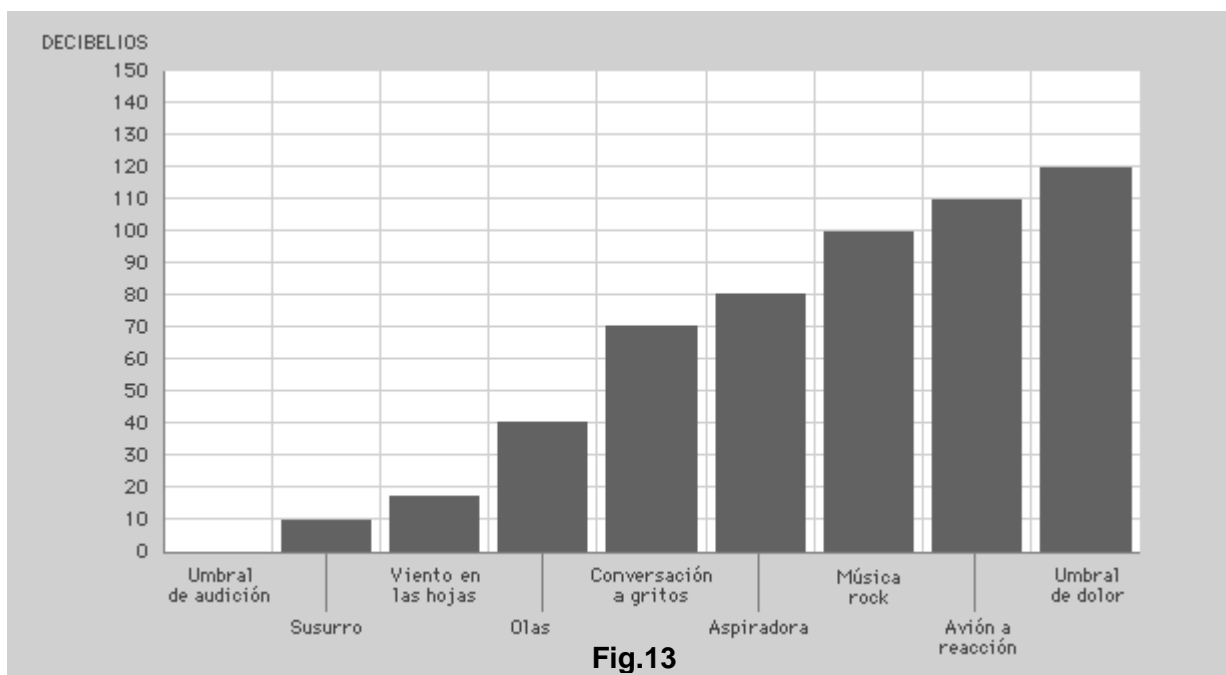


Fig.13

### ACTIVIDAD Nº 11

- 1- Averigua cuales son los métodos para proteger a la gente de los sonidos fuertes.
- 2- Al variar la intensidad de los golpes, ¿se produce variación en la frecuencia del sonido emitido por la membrana de un tambor?
- 3- Depende el tono del sonido emitido por un cuerpo de la amplitud con que se lo haga vibrar? ¿Por qué?

### FRENTE DE ONDAS

Existen ondas unidimensionales, es decir que se propagan sólo en una línea recta como las que se producen en una cuerda, y también ondas bidimensionales, como las ondas que se propagan sobre la superficie de un líquido, o en un caso más general, ondas tridimensionales, como las ondas sonoras que se propagan en el aire.

Si tocamos con la punta de un palito el agua contenida en un recipiente, en un mismo punto, una y otra vez, a intervalos regulares de tiempo producimos una onda bidimensional. Un conjunto de puntos sobre la superficie son alcanzados al mismo tiempo por el movimiento ondulatorio. La superficie compuesta por todos estos puntos se llama **frente de onda**, y en nuestro ejemplo como tiene forma circular se llama frente de onda circular. En la Fig. 14 observamos una fotografía de un frente de ondas circular, similar al del ejemplo.

La foto fue tomada en una cubeta de ondas. La cubeta consta básicamente de una bandeja con base transparente o espejada, que contiene 1 o 2 cm de

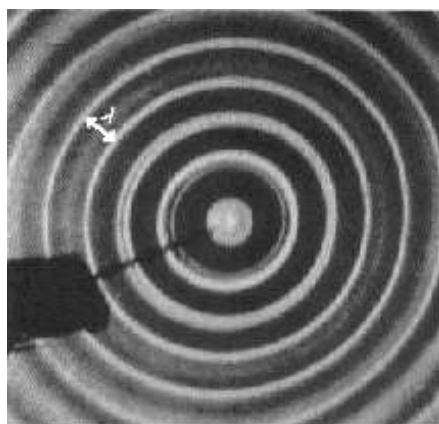


Fig. 14



agua, la cual se ilumina desde arriba. Una pantalla recibe la imagen de los reflejos de la luz en la superficie del agua. En general este dispositivo se utiliza para estudiar los fenómenos ondulatorios.

Las zonas más claras de la imagen son las crestas y las más oscuras los valles. La distancia entre crestas indicada en la Fig.14 corresponde a la longitud de onda  $\lambda$ .

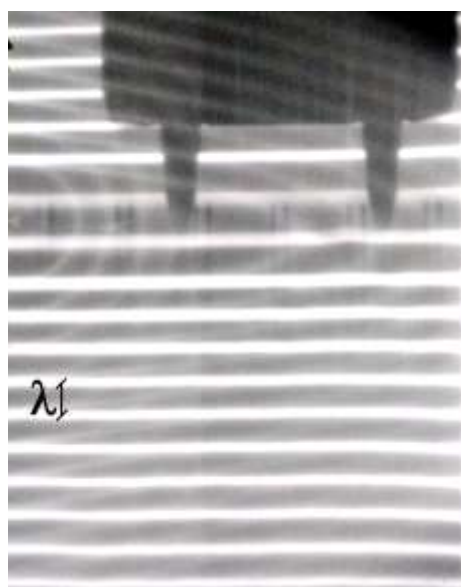


Fig. 15

En la Fig. 15 se observa un frente de ondas plano. La foto fue tomada de la imagen obtenida en una cubeta de ondas.

Es importante destacar, que la dirección de propagación de una onda, es siempre perpendicular al frente de onda. En el caso de la Fig. 15, eso quiere decir que la onda se propaga en dirección vertical (a partir de la ubicación de la fuente se determinará si se propaga hacia arriba, o hacia abajo).

Así como para las ondas bidimensionales los frentes de onda son figuras planas (por ejemplo círculos o rectas para las ondas en la superficie del agua), en el caso de las ondas tridimensionales los frentes de onda son superficies, por ejemplo para los sonidos provocados por una fuente puntual, son esféricas concéntricas.

## ACTIVIDAD N° 12

### Ejercicio

Representa gráficamente como se verían las crestas de las olas del mar desde un avión.

## FENÓMENOS DE ONDA

Entre los fenómenos comunes a todas las ondas están: la reflexión, refracción, absorción, interferencia, difracción, Doppler y resonancia. A continuación describiremos cada uno de ellos.

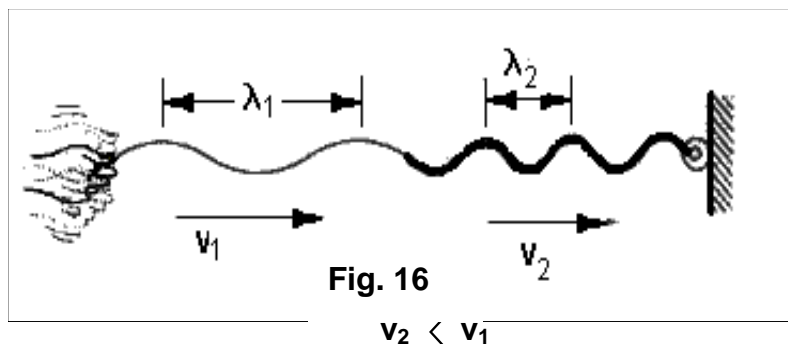
### REFRACCIÓN

Cuando una onda cruza la frontera y se transmite en otro medio con características diferentes, la velocidad de la onda cambia su valor y puede ir acompañada o no de un cambio en la dirección de su propagación. A este fenómeno se lo llama **refracción**.

Veamos algunos ejemplos:

\*Si se toman dos sogas una más gruesa que la otra, se las ata y se las tensa por igual, una misma perturbación viajará más rápidamente en la soga más delgada.

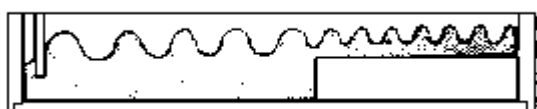




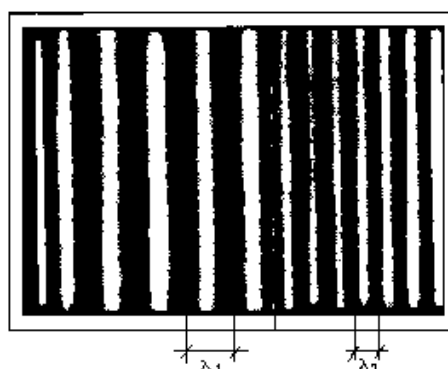
\*Se produce refracción cuando las ondas en el agua cruzan zonas de diferentes profundidades (la diferencia de profundidad hace que el agua se comporte como si fueran medios diferentes). Analicemos este ejemplo con más detalle:

En las siguientes figuras vemos dos casos de la refracción de un frente de ondas plano en agua.

a) Frente de ondas plano que incide perpendicularmente a la frontera entre dos profundidades distintas. Se produce un cambio en el valor de la velocidad de propagación pero no en su dirección:



**Fig. 17**



Sabemos que la frecuencia de la onda depende solo de la fuente, que la velocidad de propagación depende del medio y que ambas se vinculan a través de la relación  $v = \lambda \cdot f$ . En la refracción se produce un cambio en la velocidad de propagación, pero la fuente que produjo la onda es la misma por lo que la frecuencia no cambia. Entonces podemos escribir:  $v_1 = \lambda_1 \cdot f$  y  $v_2 = \lambda_2 \cdot f$ , donde los subíndices 1 y 2 hacen referencia a los dos medios que hay involucrados, y  $f$  es la misma frecuencia en ambos casos. A partir de esta relación deducimos que si la velocidad aumenta de un medio al otro, la longitud de onda también lo hace en la misma proporción.

En la Fig. 17 observamos que en la zona de mayor profundidad la velocidad de la onda es mayor, ya que como  $\lambda_1 > \lambda_2$  debe ser  $v_1 > v_2$ .

b) Refracción de un frente de ondas plano que incide en forma oblicua a la frontera entre profundidades diferentes. En este caso no solo cambia la velocidad de la onda sino que se desvía de su dirección inicial. Esta propiedad, que se puede demostrar con argumentos geométricos, se da por el simple hecho de que cambiar su dirección es



la única forma de que la onda continúe en el otro medio con una nueva velocidad (y en consecuencia, como ya vimos, una nueva longitud de onda).

En la Fig. 18 se pueden observar los dos tipos de refracción. La situación es similar a la de la Fig. 17, pero la forma de disminuir la profundidad es un bloque de forma trapezoidal que se encuentra sumergido en la cubeta de ondas. Primero, la onda que viene desde la izquierda, cruza la frontera con la zona de menor profundidad incidiendo perpendicularmente, por lo que se observa una disminución de la longitud de onda. Luego, la onda sale hacia la zona de mayor profundidad volviendo su longitud de onda "original", pero al incidir oblicuamente, se observa claramente el cambio de la dirección de propagación (ya no es más sólo de izquierda a derecha, sino que se propaga hacia la derecha y abajo).

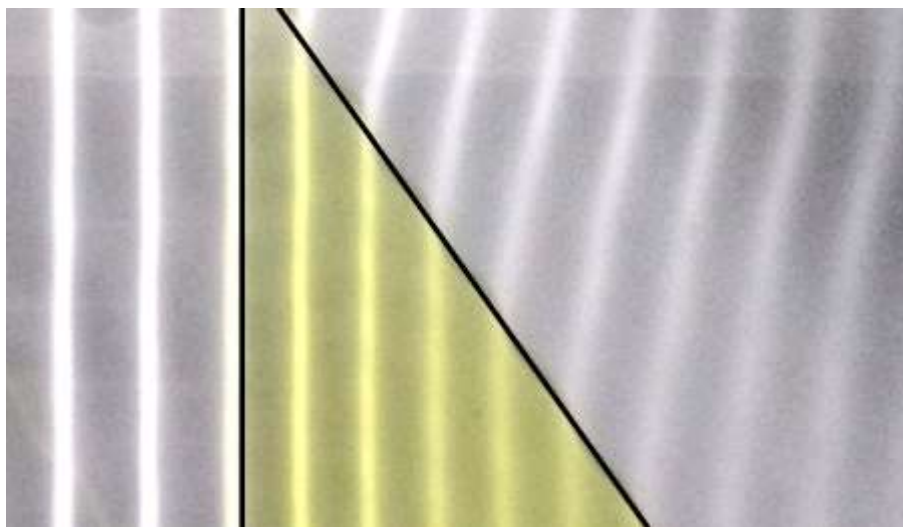


Fig. 18

Resumiendo, **la refracción es el cambio de velocidad de una onda cuando ésta pasa de un medio a otro, y en el caso de que la onda incida en forma oblicua, también se produce un cambio en su dirección de propagación.**

Otra forma de que cambie la velocidad de propagación de una onda, sin cambiar de medio, es que cambie alguna propiedad del mismo, como la temperatura. Así, las ondas sonoras también se refractan cuando atraviesan capas de aire que se encuentran a distintas temperaturas.

Por ejemplo en un día caluroso, el aire tiene mayor temperatura en las capas cercanas a la Tierra que en las más alejadas. Como consecuencia, la onda sonora al atravesar las distintas capas de aire se desvía hacia arriba, lo que dificulta la comunicación entre dos personas lo suficientemente separadas entre sí.

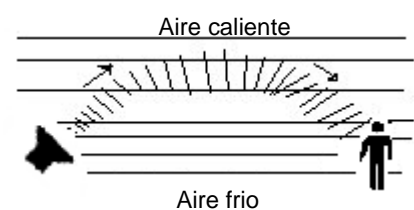


Fig. 19

Por el contrario, durante el invierno o noches de bajas temperaturas el sonido se desvía hacia abajo. En este caso el sonido que se propagó en dirección al oyente se refuerza con las ondas adicionales por la refracción, percibiéndose con mayor nitidez. Estas

amplificaciones naturales suelen tener lugar sobre la superficie de lagos de bajas temperaturas.

### ACTIVIDAD Nº 13

1- Realiza un dibujo representando la refracción de una onda sonora en capas de aire a distintas temperaturas, en invierno.

2- Observa la Fig.17 ¿Cómo relacionarías las velocidades de las ondas y las diferentes profundidades de agua?

3- Una onda se propaga en una cuerda delgada y se transmite a otra cuerda más gruesa como se puede observar en la Fig. 16.

Sabiendo que en la cuerda delgada la velocidad de propagación de la onda es  $v_1 = 1,5\text{m/s}$ , y la longitud de la onda vale  $\lambda_1 = 30\text{cm}$ , responde:

- ¿Cuál es la frecuencia a la cual oscila un punto cualquiera de la cuerda más delgada?
  - ¿Qué tiempo tarda la mano de la persona en realizar una oscilación completa?
  - ¿Cuántas vibraciones por segundo efectúa el punto de unión de ambas cuerdas?
  - ¿Cuál es la frecuencia de la onda que se propaga en la cuerda más gruesa?
  - Siendo  $v_2 = 1\text{m/s}$  la velocidad de propagación de la onda en la cuerda más gruesa, determina la distancia entre dos crestas consecutivas en dicha cuerda.
- 4- Un sonar montado sobre un submarino produce ultrasonidos de frecuencia 28000 Hz con longitud de onda de 0,05m
- Calcula la velocidad a la que se propaga la onda.
  - La onda se encuentra con un submarino enemigo hecho de acero ( $v_{\text{acero}}=5100\text{ m/s}$ ). Determine la frecuencia y la longitud de onda que tendrá la onda al propagarse por el casco de acero.

### REFLEXIÓN

Cuando una onda llega a la frontera entre dos medios, una parte de la onda o toda ella, rebota al medio de donde proviene. A éste fenómeno se lo llama reflexión, y se produce en mayor o menor proporción dependiendo de la elasticidad del segundo medio respecto a la del primer medio.

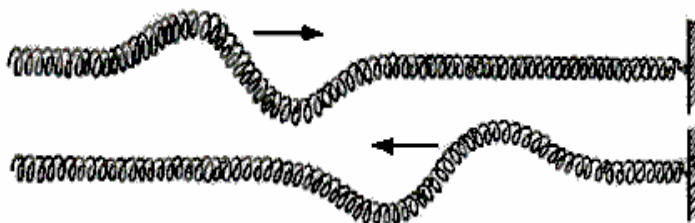


Fig. 20



Por ejemplo imaginemos que se ata un resorte a una pared y se emite un pulso (única perturbación) hacia arriba y abajo del resorte. La pared es un medio muy rígido comparado con el resorte, en consecuencia, toda la energía regresa por el resorte en lugar de transmitirse por la pared. La onda del resorte se refleja totalmente al llegar a la pared.

Si se sustituye la pared, por un medio menos rígido, como otro resorte, parte de la energía se transmite al nuevo medio, pero la otra parte de la energía de la onda se sigue reflejando. Se dice que las ondas se reflejan parcialmente.

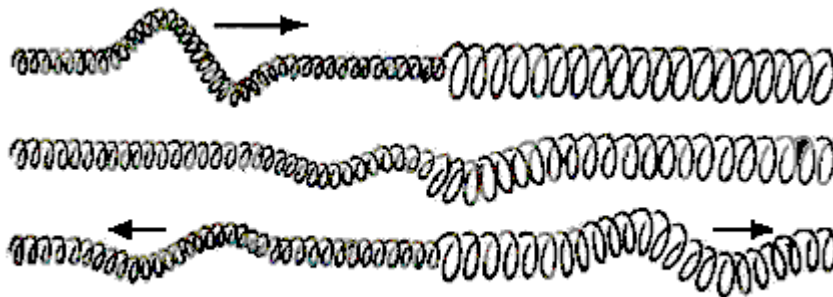


Fig. 21

Otro ejemplo de reflexión ocurre cuando una onda sonora se **refleja** en algún obstáculo que encuentra en su recorrido. Este hecho, llamado **eco**, permite explicar por qué los sonidos se oyen más intensamente en una habitación cerrada o por qué nuestra voz se escucha repetidas veces al gritar cerca de una montaña.

Algunos animales tienen el sentido de la audición tan desarrollado que lo utilizan para poder “ver” el mundo que lo rodea. Los delfines y los murciélagos emiten vibraciones sonoras para ubicar a sus presas. El eco del sonido emitido les permite determinar la posición en que se produjo la reflexión. Este sistema se conoce como **ecolocalización**.

Una onda se refleja en un objeto cuando su longitud de onda es pequeña comparada con las dimensiones del mismo. Para ecolocalizar presas pequeñas o detectar sus finos detalles, es necesario utilizar ondas tales que su longitud sea tanto o más pequeñas que éstas. Por ese motivo, los animales que emplean este método de orientación emiten sonidos de muy alta frecuencia (ultrasonidos).

Aunque todavía no existen suficientes pruebas, se supone que también otros animales, como los leones y musarañas, recurren a la ecolocalización.

## ABSORCIÓN

En la propagación de una onda mecánica se producen normalmente pérdidas de energía. Los medios no son perfectamente elásticos y debido a rozamientos, viscosidad y otros factores, la amplitud suele disminuir al alejarnos de la fuente porque parte de la energía emitida por ella va siendo absorbida por el propio medio, por medios contiguos o por objetos interpuestos en el camino de avance de la onda.

Este fenómeno se llama **absorción**. Con la absorción decae la amplitud del movimiento ondulatorio debido a que las moléculas del medio tienen dificultad para reproducir y

transmitir la vibración. Parte de la energía ondulatoria se invierte en un movimiento desordenado de dichas moléculas con lo que la energía de la onda se va transformando con mayor o menor rapidez en energía interna del medio que está siendo atravesado por ella.

En general, todos los medios tienen algún grado de absorción de la onda. Así, mientras que un sonido propagándose en el aire se absorbe muy poco, en medios de baja elasticidad, como la tela de una cortina o una pared tapizada de corcho, la absorción se da en mayor proporción.

Como se dijo, en la absorción hay una pérdida de amplitud de la onda como consecuencia de pérdidas en el medio (entre otros). Sin embargo, es importante diferenciar de otro efecto no relacionado pero con el que puede confundirse.

Para ondas bidimensionales o tridimensionales, la energía de cada pulso que emite la fuente se distribuye en frentes de onda que se amplían a medida que la onda se aleja de la fuente. Por lo que la cantidad de energía que llega a un punto dado en la trayectoria de la onda disminuye conforme la onda se aleja de la fuente. Por ejemplo, cuando estamos escuchando música en un parlante, mientras nos alejamos escuchamos más “bajo” (menor intensidad de sonido, ergo menor amplitud de onda). Esto, a pesar de que exista una mínima absorción, se da por el simple hecho de que la energía de la onda, al alejarse de la fuente, se tiene que distribuir en más volumen, y por eso la amplitud en cada porción será menor mientras más lejos estemos de la fuente. Que se entienda, esto tiene que ver con “conservación de la energía”, no con la absorción de la onda.

### ACTIVIDAD Nº 14

- 1- Observa y analiza los fenómenos de reflexión y refracción utilizando el oscilador construido en el T.P. Nº 3. Escribe tus conclusiones.
- 2- Si los murciélagos emiten sonidos entre 30.000Hz y 90.000Hz, ¿ en qué rango están comprendidos los objetos que pueden detectar por ecolocalización?. Si un animal usara estas ondas para la ecolocalización en el agua, ¿qué tamaño tendrían los objetos que podría detectar?
- 3- Explica: ¿Qué es la reverberación?
- 4- Explica por qué en las salas de conciertos o teatros colocan cortinas e las paredes.
- 5- Investiga sobre algunas aplicaciones de la reflexión del sonido.

### INTERFERENCIA

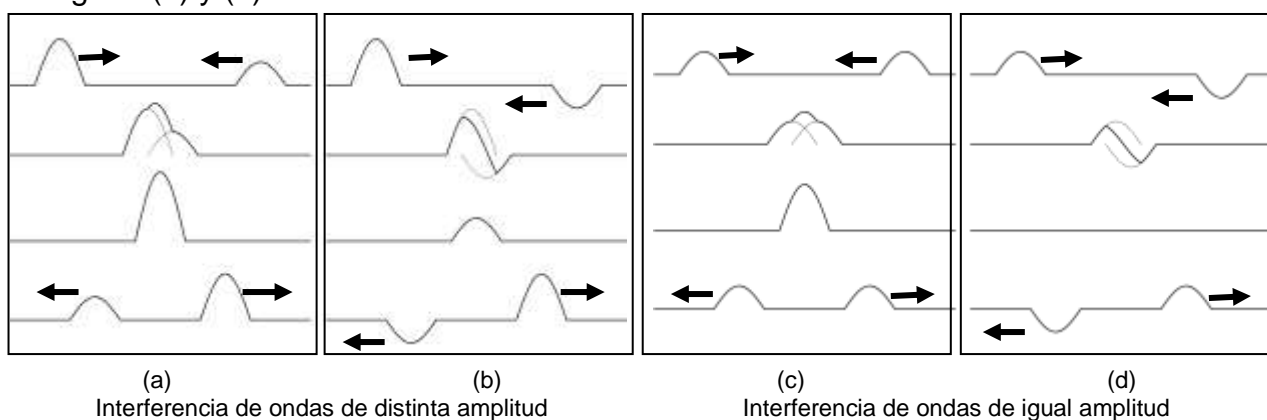
Dos cuerpos no pueden ocupar el mismo lugar en el espacio. Por sorprendente que parezca, dos ondas si pueden hacerlo. Esto reafirma el hecho de que las ondas no transportan materia sino energía. Cuando dos o más ondas se encuentran en la misma región de un medio, pasan una a través de la otra pudiendo continuar su camino sin alteración. Mientras están en la misma región se dice que las ondas se **interfieren**. **Cuando se produce interferencia en un punto del medio por el que propagan dos o más ondas, las vibraciones provocadas por cada perturbación se superponen y el**



**estado de vibración resultante del punto es la suma de los producidos individualmente por cada una de ellas.** Luego de superponerse, las ondas continúan propagándose independientemente una de otras, sin haber sufrido ningún tipo de alteración

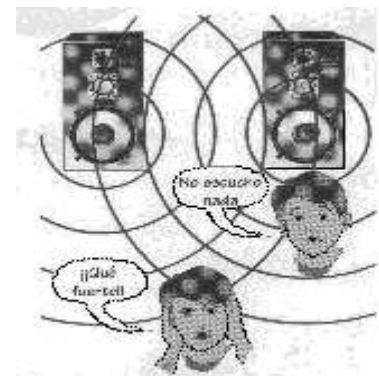
Por ejemplo si se arrojan dos piedras al agua, las ondas circulares que se forman al encontrarse se superponen de modo tal, que si se cruzan la cresta de una onda con la cresta de la otra los efectos de ambas se suman. Este fenómeno se llama **interferencia constructiva**, y se encuentra representado en la Fig. 22 (a) y (c).

Si en cambio la cresta de una onda se superpone al valle de otra onda, sus efectos se reducen, produciéndose **interferencia destructiva**, que se encuentra representado en la Fig. 22 (b) y (d).



**Fig. 22**

También se produce interferencia en ondas sonoras. Si  $F_1$  y  $F_2$  son dos fuentes sonoras cercanas, como por ejemplo dos parlantes que emiten sonidos idénticos dentro de una habitación según muestra la Fig. 23, hallaremos que hay lugares donde la intensidad del sonido es mayor (la amplitud de las ondas se refuerzan) y lugares donde la intensidad del sonido es muy baja, o hasta podría ser nula (las amplitudes de las ondas se restan o anulan). Este fenómeno se debe a la **interferencia** de las ondas sonoras emitidas por las fuentes.



**Fig. 23**

## ACTIVIDAD N°15

### Ejercicio

Los círculos que se muestran en la Fig. 24 representan, para un instante dado, las crestas de dos ondas producidas en la superficie de un líquido por las fuentes  $F_1$  y  $F_2$ . Considera los puntos A, B y C señalados en la figura.

- ¿Al punto A están llegando en el instante, dos crestas, dos valles, o bien una cresta y un valle?
- ¿Y a los puntos B y C?
- Considerando los puntos A, B, y C de la pregunta anterior, di en cuál de ellos se tiene (en el instante que muestra la figura y sabiendo que las dos ondas tienen igual amplitud): Una cresta doble, un valle doble, un nodo
- Suponiendo que la amplitud de cada onda que llega a los puntos A, B y C mencionados en el ejercicio anterior, es igual a 2,5cm, di cuál será la amplitud de la vibración del punto A, B y C.

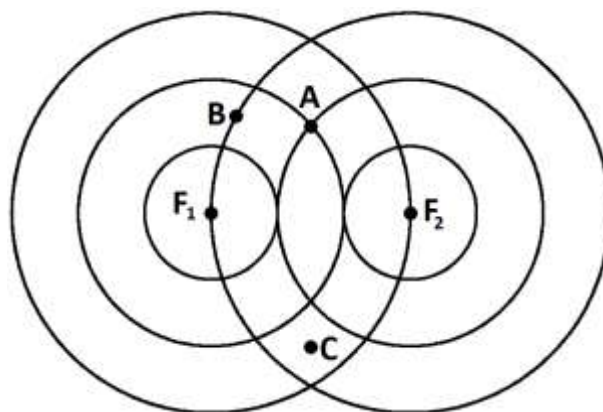


Fig. 24

### ACTIVIDAD Nº16

Investiga:

- 1- Cuando hablamos de un sonido, ¿a qué llamamos ruido? ¿Qué relación tiene con la contaminación sonora?
- 2- ¿Cómo se relacionan los auriculares con cancelación de ruidos con la interferencia? ¿Por qué se consideran importantes para la salud?

### DIFRACCIÓN

Observemos la Fig. 26 donde se representa en una cubeta de ondas un objeto interpuesto en el camino de dos frentes de onda planos con diferentes longitudes de ondas. Cuando las ondas llegan a bordes de obstáculos (Fig. 26 a) o pasan por ranuras o hendidijas (Fig. 27), se curvan, pudiendo alcanzar puntos que se hallan detrás de los obstáculos o ranuras. A este fenómeno se lo llama **difracción**.

Para que se observe bien la difracción es necesario que la longitud de onda sea del mismo tamaño o mayor que el obstáculo o ranura. Si es menor, la curvatura de los frentes de onda se produce únicamente en los bordes y puede llegar a no apreciarse (Fig 26 b).

El fenómeno de difracción es pronunciado en el caso (a) de la Fig. 26 pues las ondas ocupan el lugar detrás del objeto, en el caso (b), la zona blanca significa ausencia de ondas (sombra) por lo tanto no se produce difracción.

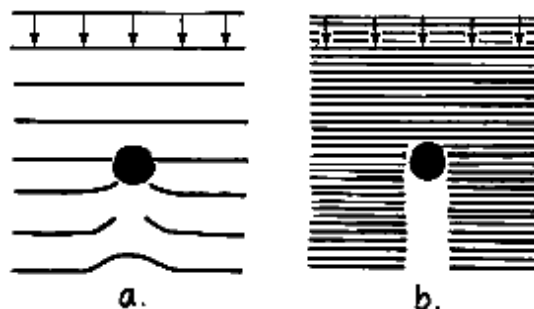
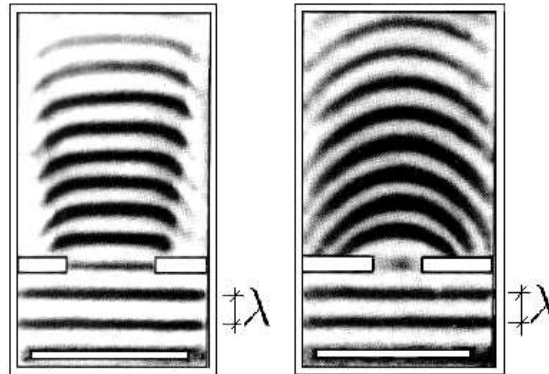


Fig. 26

- Cuando la longitud de onda es comparable al tamaño del objeto, se observa que las ondas cubren la parte posterior del objeto.
- Cuando la longitud de onda es pequeña comparada con el tamaño del objeto se observa que atrás del mismo no llegan las ondas.



Otro ejemplo es el representado en la Fig. 27 donde un frente de onda plano atraviesa aberturas de diferentes tamaños.



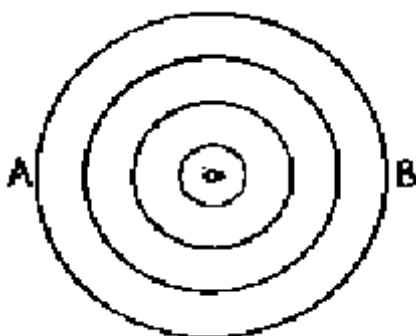
**Fig. 27**

Las ondas sonoras también se difractan, una persona puede escuchar un sonido que se produce del otro lado de una puerta entornada. La difracción es apreciable cuando su longitud de onda es mayor que el tamaño de la abertura de una puerta o los bordes de un obstáculo.

Las longitudes de onda del sonido audible están entre 3 cm y 12 m, y son habitualmente grandes comparadas con los obstáculos y aberturas (por ejemplo puertas o ventanas), por lo que la desviación de las ondas rodeando las esquinas (difracción) es un fenómeno común.

Al difractarse, las ondas alcanzan regiones que no están en su trayectoria directa. La difracción permite que el sonido pueda escucharse desde distintos ángulos detrás de un obstáculo, o hace que se puedan escuchar las bocinas de los coches que se cruzan en una bocacalle aunque no puedan verse, pues el sonido bordea la esquina.

## EFEECTO DOPPLER



**Fig. 28**

Imaginemos un insecto que sin avanzar, mueve las patitas mientras flota en el centro de una cuba con agua.

Genera de esta forma ondas circulares concéntricas de igual longitud de onda como muestra la Fig. 28.

Si el insecto manteniendo la misma frecuencia de oscilación comienza a desplazarse con una velocidad menor que la de la propagación de la onda que produce, el frente de onda se distorsiona y deja de ser concéntrico como muestra la Fig. 29.



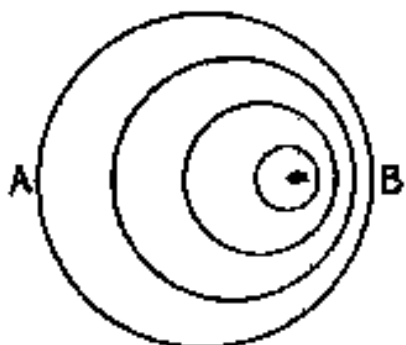


Fig. 29

Un observador ubicado en un punto B contará más crestas, en un mismo tiempo que otro observador ubicado en A. Es decir, el observador situado en B detecta una frecuencia mayor.

Esto se debe a que las crestas han de recorrer una distancia cada vez menor y, por lo tanto, llegan a B con mayor frecuencia que si el insecto no estuviera avanzando en dirección de dicho punto.

Por otro lado, un observador situado en A detecta una frecuencia menor porque las crestas tienen que recorrer una distancia cada vez mayor para llegar al observador en A, debido al movimiento del insecto.

Al cambio aparente de frecuencia de una onda debido al movimiento relativo entre de la fuente y el receptor se llama efecto **Doppler** (en honor al científico austriaco Christian Doppler 1803-1853)

Cuanto mayor sea la velocidad de la fuente o del receptor mayor será el efecto.

Para entender el efecto Doppler a veces es necesario analizar la evolución de la onda en el tiempo. En la Fig. 30 (a), se observan 4 imágenes de la propagación de la onda cuando la fuente no se desplaza ( $v=0$ ).

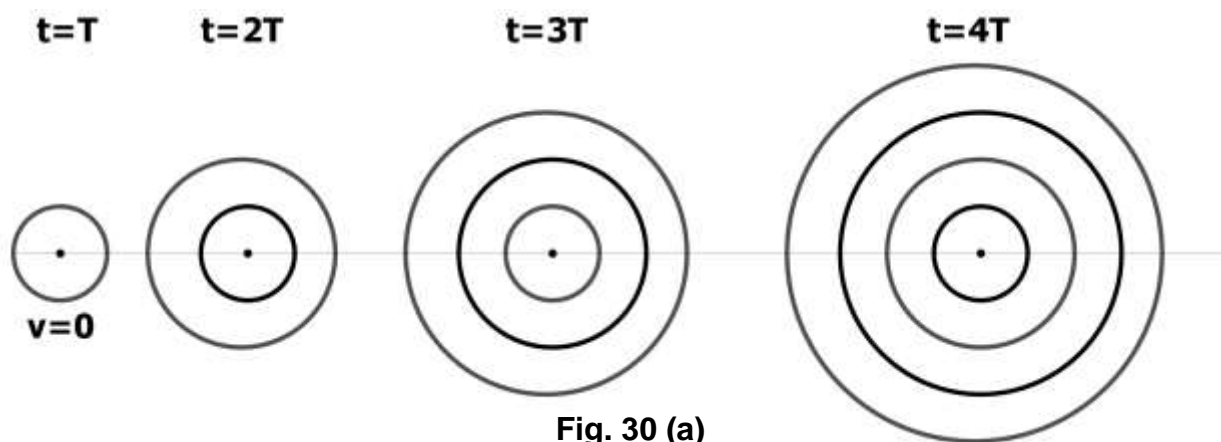
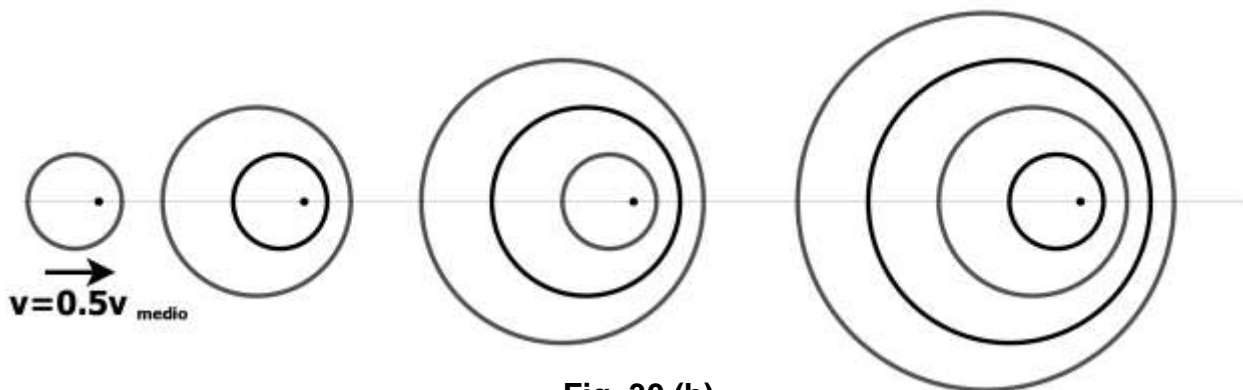


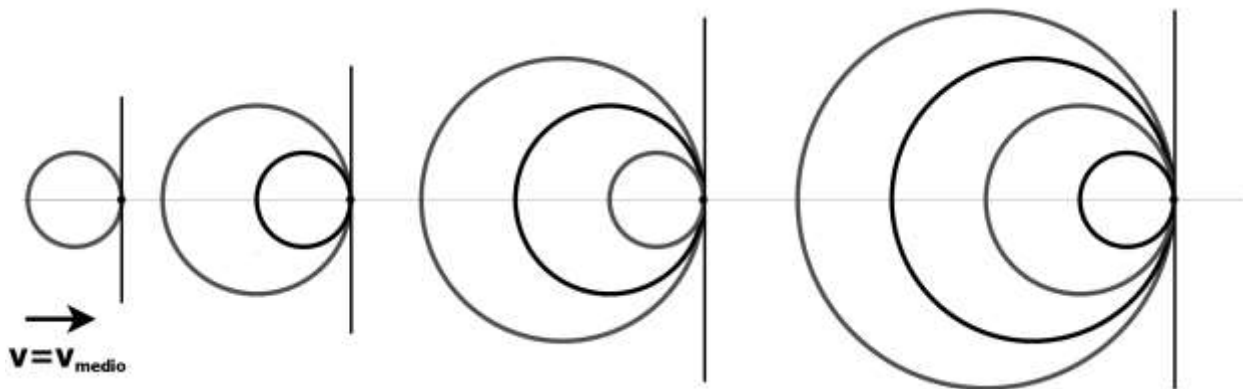
Fig. 30 (a)

Si la fuente se mueve con una velocidad menor a la velocidad de propagación de la onda en el medio, el resultado será el de la Fig. 30(b). Obsérvese la similitud con la Fig. 29.

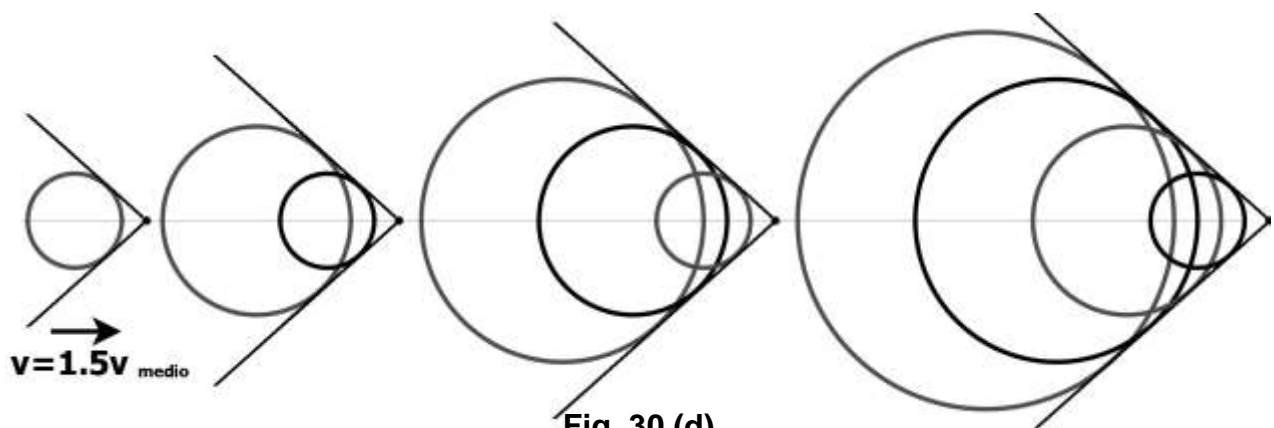


**Fig. 30 (b)**

Si la velocidad del movimiento de la fuente es mayor o igual que la de propagación de la onda, se observa un frente de choque que es la acumulación de frentes de onda. Estos se observan claramente en las Fig. 30 (c) y (d).



**Fig. 30 (c)**



**Fig. 30 (d)**

El efecto Doppler es un fenómeno perceptible en la ciudad. Seguramente habrás observado alguna vez que cuando una ambulancia se aproxima a un observador parado, el tono del sonido que emite la sirena varía, es más agudo mientras se aproxima y se torna más grave cuando la ambulancia se aleja. Lo mismo ocurre si la ambulancia está parada y es el observador el que se acerca o aleja.

Aunque el efecto Doppler, se manifiesta más en las ondas sonoras, es un fenómeno, como ya vimos, característico de todas las ondas en general.

Algunas de las aplicaciones de este fenómeno en ondas mecánicas son:

- En el sonar de los barcos de pesca, para detectar bancos de peces.
- En medicina, por ejemplo en Ecocardiología.

### ACTIVIDAD Nº 17

- a) Analiza con tus compañeros la siguiente cuestión: Cuando una fuente de onda se aproxima a ti, ¿aumenta o disminuye la velocidad de la onda?
- b) Busca otras aplicaciones del efecto Doppler.

## RESONANCIA

El fenómeno de resonancia se presenta cuando un sistema capaz de vibrar, es sometido a la acción de pulsos sucesivos cuya frecuencia coincide con la frecuencia natural característica del mismo o con una frecuencia próxima. Cuando esto ocurre, la **amplitud de vibración** del sistema aumenta notablemente.

Los fenómenos de resonancia ocurren con todos los tipos de vibraciones: hay resonancia mecánica, acústica, electromagnética, etc.

Un ejemplo de resonancia mecánica se produce cuando un niño se hamaca. Si el ritmo de los impulsos tiene la misma frecuencia con que llega la hamaca, ésta aumenta su altura (amplitud de oscilación) sin gran esfuerzo. Otro ejemplo muy conocido ocurrió en 1940: el puente de Tacoma Narrows (Estado de Washington, U.S.A.) fue destruido por la resonancia producida por el viento. (Puedes ver un video en la página de la materia)

En el caso de las ondas sonoras, un objeto vibrante interpuesto en el camino de propagación de un sonido entrará en **resonancia** con él, si su frecuencia característica o natural coincide con la del sonido.

Si agitamos una cuerda de una guitarra eléctrica que no esté conectada a un amplificador, escuchamos un sonido muy débil. Si tocamos una cuerda de una guitarra española, el sonido que percibimos es más intenso que en el caso anterior. La cuerda de la guitarra española está montada sobre una **caja de resonancia**, que es obligada por la cuerda a vibrar. Se trata de una vibración forzada.

Cuando un cantante lírico emite notas de cierta frecuencia puede romper una copa de cristal. Esto **no** depende de la intensidad del sonido sino, de su frecuencia. La energía del sonido es transferida al cristal, a la **frecuencia natural o de resonancia, que es característica de cada cuerpo**. Cuando la copa vibra de manera forzada a su frecuencia natural (resonancia), la amplitud de la vibración aumenta considerablemente, esto hace que todas sus moléculas vibren de manera tal, que puede romperse.

El fenómeno de la audición está íntimamente relacionado con la resonancia. El oído tiene más de 4000 fibras de diferente longitud, preparadas para resonar con sonidos



entre 20 y 20.000 Hz. Cuando un sonido llega al oído, se transmite hasta el caracol, donde sólo vibra la fibra que puede entrar en resonancia con el tono del sonido recibido. Los diferentes estímulos recogidos por las fibras llegan al cerebro a través de los nervios, permitiendo diferenciar los sonidos.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Alvarenga Alvares y Máximo, Ribeiro ; **Física General**; Ed. Harla, México, 1983.  
Aristegui, Baredes, Dasso.. **Física 1**; Polimodal ,Ed. Santillana, Bs. As. 1999.  
Castiglioni, Perrazo, Rela, **Física 1**; Ed. Troquel, Bs. As.1981  
Giancoli, D., **Física**, Ed. Prentice Hall, México  
Hewitt, Paul; **Física conceptual**; Ed. Addison- Wesley Iberoamericana, E.U.A. 1995.  
P. S. S. C.; **Física;. Tomo 1**, Ed. Reverté, España, 1966.  
Tipler, P.; **Física Tomo 1**. Ed. Reverté , Barcelona, 1984.  
Wilson Jerry ; **Física**; Prentice Hall, México, 1996.