

Taller. Ecuación de la Onda.

Objetivos.

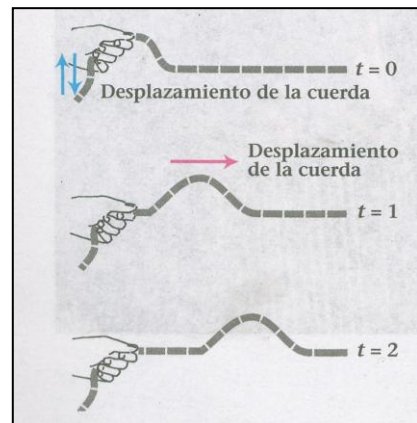
- ✓ Determinar la ecuación del movimiento de una onda.
- ✓ Establecer la ecuación de velocidad de propagación de una onda.
- ✓ Representar gráficamente un movimiento ondulatorio.

Conceptos Clave.

- ✓ Ecuación de onda.
- ✓ Velocidad de propagación transversal.
- ✓ Velocidad de propagación longitudinal.
- ✓ Potencia promedio.
- ✓ Intensidad.

Introducción.

La forma más sencilla para iniciar el estudio de las ondas es considerar la propagación de un pulso a lo largo de una cuerda. Si un extremo de una cuerda estirada tensamente se perturba en forma brusca y vuelta a su posición inicial, la acción genera un pulso de onda que viaja a lo largo de la cuerda hasta el otro extremo. Como puede ver en la figura, la vibración de la cuerda debido a este pulso de onda es perpendicular respecto a la dirección en la cual viaja el pulso. Por esta razón a este tipo de movimiento se le llama pulso de onda transversal. Si observamos



muy estrechamente cualquier punto particular de la cuerda, vemos que el movimiento de ese punto a lo largo de la dirección de la cuerda es muy ligero en comparación con el movimiento perpendicular a la cuerda. Cada sección de la cuerda hace una sola oscilación hacia arriba y hacia abajo. Pero las oscilaciones no son independientes, porque cada sección de la cuerda está conectada a las secciones adyacentes. Así, la propagación de un pulso de onda transversal a lo largo de la cuerda es un movimiento colectivo de la cuerda entera, no simplemente el comportamiento aislado de alguna sección.

Además de distinguir entre el movimiento de un pulso, o de una onda, y el movimiento del medio (en este caso la cuerda), debemos distinguir la clase de movimientos que participan. Por ejemplo, la velocidad de una onda en una cuerda puede ser constante, mientras que la velocidad transversal de un punto de la cuerda puede ser senoidal en el tiempo. En este caso, las partículas de la cuerda oscilan hacia atrás y hacia adelante respecto a una posición de equilibrio, mientras que la onda se propaga a lo largo de la cuerda a su propia velocidad.

Las ondas en una cuerda, las ondas electromagnéticas, como las de luz y de radio, son diferentes pues no requieren de un medio para su propagación.

El pulso que hemos descrito se llama **onda viajera**. El pulso ocurre en un lugar en un momento y en otro lugar en un tiempo posterior. La distancia que el pulso viaja es proporcional al tiempo transcurrido. Aquí tenemos una descripción muy general de una onda: **onda** es una perturbación que transfiere energía de un punto a otro sin impartir movimiento neto, a través del cual se propaga. Esta onda es muy general y como se puede apreciar, no requiere que la onda sea repetitiva.

Actividad 1: “Ondas armónicas”.

“Supongamos que el extremo de un medio material es obligado a vibrar periódicamente, variando el desplazamiento “y” (transversal o longitudinal) con el tiempo”.

Establecer de acuerdo con la ecuación del movimiento armónico simple la ecuación que rige el movimiento.



Lo anterior se interpreta como: durante medio período, a través del medio el desplazamiento es en un cierto sentido, y durante otro medio período se propaga con un desplazamiento en el otro sentido.

Actividad 2: “Gráfica de ondas armónicas”.

Construya una gráfica de ondas armónicas, de acuerdo a la siguiente tabla:

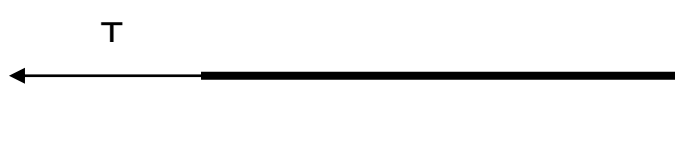
Y(0,t)									
t	0	T/8	T/4	3T/8	T/2	5T/8	3T/4	7T/8	T

Actividad 3: “Ecuación de velocidad”.

Deduzca la ecuación de la velocidad constante con la que la onda se propaga, cuando avanza una distancia igual a una longitud de onda en un intervalo de tiempo de un período.

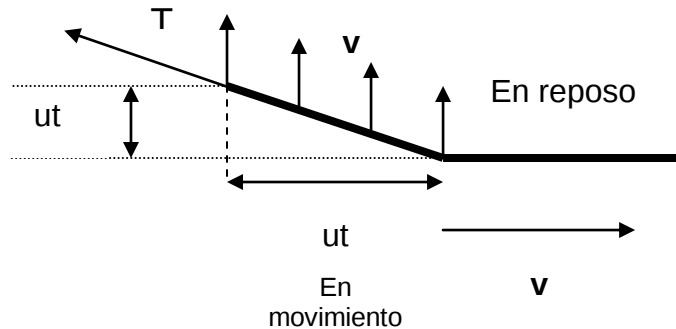
Actividad 4: “Velocidad de propagación transversal en una cuerda”.

Consideremos la cuerda representada en la figura, sometida a una tensión T y con una densidad lineal (masa por unidad de longitud) “ μ ”.



La cuerda se encuentra en reposo. En $t = 0$, se comunica al extremo izquierdo de la cuerda una velocidad transversal v .

La figura siguiente muestra la forma de la cuerda después de transcurrido un tiempo “ t ”.



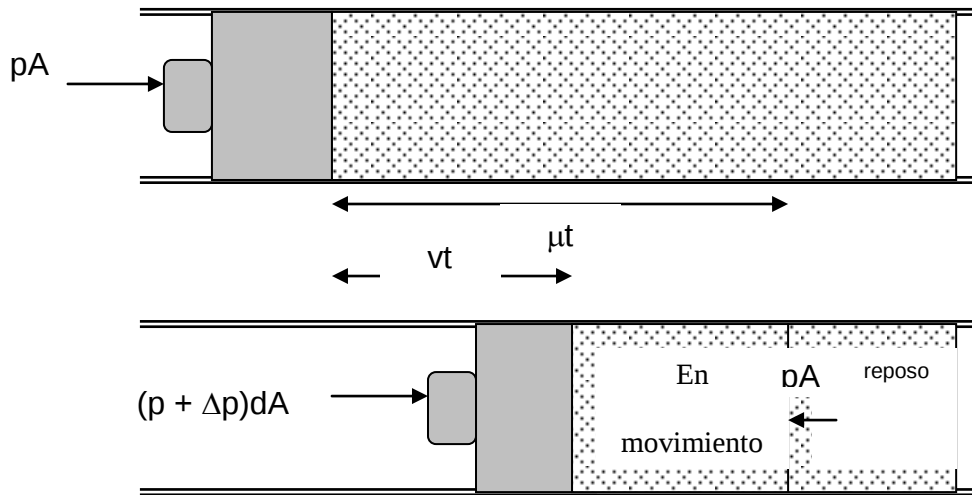
El límite que separa las partes móvil y fija avanza hacia la derecha con velocidad de propagación “ v ”.

La velocidad de propagación transversal de una cuerda es:

$$V = (T/\mu)^{1/2}$$

Actividad 5: "Velocidad de propagación longitudinal en un fluido".

La figura representa un fluido (líquido o gas) de densidad " ρ " contenido en un tubo de sección transversal " A " y a la presión " p ".



- ✓ En la primera figura el fluido se encuentra en reposo. En el instante $t = 0$, se pone en movimiento el pistón situado en el extremo izquierdo del tubo, con una velocidad v .
- ✓ En la segunda figura el fluido se muestra después de transcurrido un tiempo " t ". Todo el fluido situado a la izquierda del trazo vertical se mueve con velocidad v , mientras que el situado a la derecha está todavía en reposo.
- ✓ El límite que separa la parte móvil de la fija se mueve hacia la derecha con velocidad de propagación " μ ". El pistón ha recorrido una distancia " vt " y el límite de separación ha avanzado una distancia " μt ".
- ✓ Cantidad de movimiento longitudinal = $\rho \mu t A v$.

Utilizando el módulo de compresibilidad, se tiene:

B = Variación de la presión/Disminución unitaria de volumen.

$$B = \Delta p / A v t / A \mu t$$

$$\Delta p = B v / \mu$$

$$\text{Impulso longitudinal} = \Delta p A t = B v A t / \mu$$

Aplicando el Teorema de la Cantidad de Movimiento, se tiene:

$$B v A t / \mu = \rho \mu t A v.$$

De aquí, se obtiene la velocidad de propagación longitudinal en un fluido:

$$\mu = (B/\rho)^{1/2}$$

Para una barra, la velocidad de propagación longitudinal será:

$$\mu = (Y/\rho)^{1/2}$$

Actividad 6: “Ecuación de una onda”.

Supongamos que una onda sinusoidal (transversal o longitudinal) está avanzando hacia la derecha en un medio que se extiende indefinidamente en la dirección “x”. En un instante cualquiera, “t”, la elongación “y” de una partícula depende de su posición, o sea de su abscisa, “x”.

- 6.1. Analice la ecuación de la onda, escribiéndola en función de “x” y de “t”.
- 6.2. Grafique la ecuación de la onda en función de “x” y “t”.

Actividad 7: “Ecuación de la onda en un sentido”.

Se observa que “y” es función de las variables independientes “x” y “t”. Escriba la ecuación de la onda sinusoidal (transversal o longitudinal) que se propaga en el sentido positivo de “x”.

Actividad 8: “Onda sinusoidal”.

En las ondas viajeras hemos supuesto que el desplazamiento “y” es cero en la posición $x = 0$ en el tiempo $t = 0$. Esto no tiene que ser siempre así.

La expresión general para una onda sinusoidal que viaje en la dirección “x” positiva es:

$$Y(x,t) = y_m \sin(Kx - \omega t + \phi)$$

Donde:

$(Kx - \omega t + \phi)$: fase de la onda.

“Se dice que dos ondas con la misma fase (o con fases que difieren en cualquier múltiplo entero de 2π) están en “fase”; ejecutan el mismo movimiento al mismo tiempo.

ϕ : constante de fase.

“La constante de fase no afecta a la forma de onda; mueve a la onda hacia delante o hacia atrás en el espacio o en el tiempo”.

Actividad 9: “Potencia Promedio e Intensidad”.

A menudo se considera que la entrada de potencia a la cuerda es el promedio en un periodo del movimiento.

La potencia promedio abastecida, entre t y $(t+T)$, es:

$$P_{\text{promedio}} = (1/T) \int P dt$$

Donde “T” es el período.

También se puede anotar como:

$$P_{\text{promedio}} = (1/2) y_m^2 \mu v \omega^2$$

La intensidad “I” se define como:

$$I = P_{\text{promedio}}/A$$

A: área normal a la dirección en que viaja la onda.

Nota: Cuando se transmite energía a lo largo de la cuerda, la energía se almacena en cada elemento de la cuerda como una combinación de energía cinética y de energía potencial de deformación. Esto es similar al caso del oscilador armónico simple.

Actividad 10: “Ejemplos”.

Ejemplo 1.

Un alambre de acero de 6 [m] de longitud tiene una masa de 60 g y está sometido a una tensión de 100 [N]. ¿Cuál es la velocidad de propagación de una onda transversal en el alambre?

Ejemplo 2.

La ecuación de una onda transversal que se propaga en una cuerda es:

$Y(x,t) = 2\cos[\pi(0,5x - 200t)]$, en la que “x” e “y” se miden en centímetros y “t” en segundos.

- Calcular la amplitud, longitud de onda, frecuencia, periodo y velocidad de propagación.
- Hacer un esquema de la forma de la cuerda para los siguientes valores de t: 0; 0,0025; y 0,005 [s].
- Si la masa de la cuerda por unidad de longitud es 5 g/cm, calcular la tensión.

Ejemplo 3.

La ecuación de una onda transversal que se propaga por una cuerda es:

$Y(x,t) = 6\cos[\pi(0,5x - 200t)]$, en la que “x” e “y” se miden en centímetros y “t” en segundos.

Determine la distancia entre los puntos P y Q que se encuentran ambos en $y = 2$ [cm].

Actividad 11: "Tarea".

Una onda armónica que se mueve en la dirección "x" positiva tiene una amplitud de 3,0 cm, una velocidad de 40 cm/s y una longitud de onda de 40 cm. Calcule el desplazamiento debido a la onda a:

- a) $X = 0,0$ [cm], $t = 2,0$ [s].
- b) $X = 10$ [cm], $t = 20$ [s].

Actividad 12: "Bibliografía".

- ✓ Halliday, Resnick, Walker - Física Vol. 1- Pág. 28 - Editorial CECSA-2002.
- ✓ Tipler-Física, conceptos y aplicaciones-Pág. 21-Editorial M^cGraw Hill-2001.
- ✓ Sears, Zemansky, Young, Freedman - Física- Pág. 22-Editorial Pearson Educación.
- ✓ Jones&Childers - Física Contemporánea - Pág. 15 -Editorial McGraw Hill-2001.

Guía de Ejercicios.
Tema: Ondas Armónicas.

1.- La función que describe cierto movimiento ondulatorio es:

$$y(x,t) = 0,05 \sin(16\pi(t-x/4))$$

Determine la amplitud, la frecuencia, el período, la longitud de onda y la velocidad de propagación de este movimiento.

Nota: x en metros y t en segundos.

$$\text{Resp: } A = 0,05 \text{ [m]}; w = 16\pi \text{ [rad/s]}; v = 4 \text{ [m/s]}$$

2.- Escriba la función que representa a una onda que se propaga en el sentido negativo del eje x, con velocidad de 40 [ciclos/s].

$$\text{Resp: } Y(x,t) = y_0 \cos(Kx + 80\pi t)$$

3.- Se genera una onda transversal sinusoidal en un extremo de una cuerda horizontal larga, mediante una barra que mueve el extremo hacia arriba y hacia abajo una distancia de 0,15 [m]. El movimiento es continuo y se repite regularmente dos veces cada segundo (MAS).

- (a) Si la cuerda tiene una densidad lineal de 0,24 [Kg/m] y una tensión de 8,9 [N], calcular la velocidad, amplitud, frecuencia y longitud de onda del movimiento ondulatorio.
- (b) Suponiendo que la onda se propaga de izquierda a derecha y que para $t=0$, el extremo de la cuerda ($x=0$) se encuentra en la posición de equilibrio $y=0$, escribir la ecuación de la onda.
- (c) Al propagarse el tren de, cada partícula de la cuerda oscila en dirección perpendicular a la de propagación. Determinar la velocidad y aceleración de una partícula a 3,05 [m] del extremo ¿Puede escribirse la ecuación del movimiento de esta partícula para $t=4$ [s]?

4.- Una partícula (A) de una onda transversal ha efectuado una oscilación completa. ¿A qué distancia de su posición de equilibrio se halla otra partícula (B) situada a 3 [cm] de (A), hacia delante? Considere que la amplitud es 5 [cm] y la longitud de onda es de 15 [cm].

5.- La ecuación de una onda transversal que se mueve a lo largo de una cuerda viene dada por $y(x,t) = 0,3 \sin \pi (0,5x - 50t)$, donde "x" e "y" están dados en centímetros y "t" en segundos.

- (a) Hallar la amplitud, la longitud de onda, el número de ondas, la frecuencia, el período y la velocidad de la onda.
(b) Hallar la velocidad transversal máxima de cualquier partícula de la cuerda.

Resp: (a) 0,3 cm; 4 cm; $0,5\pi$; 25 Hz; 0,04 s; 100 cm/s; (b) 47,1 cm/s

6.- Considérese una onda en el mar con $T = 10$ [s] y $\lambda = 15$ [m]. Un bote avanza con una velocidad de 0,5 [m/s] hacia la orilla (en la misma dirección de onda). ¿Con qué frecuencia sube y baja?

Determine una expresión para la frecuencia del bote, si este parte en el instante $t=0$ con velocidad 0,5 [m/s] y se acelera uniformemente con 0,1 [m/s²].

Resp: 0,03 [Hz]; $w = a/(v \cdot \tan \phi)$

7.- Un pescador en un bote anclado observa que las crestas de las olas lo pasan cada 2 [s] y que las crestas de las olas emplean 4 [s] para llegar a una boya a 13 [m] del bote. Calcular la longitud de onda de la ola.

Resp: $(13/2)$ [m]

8.- Una onda superficial de mar, de $\lambda = 8$ [m] avanza hacia la orilla con velocidad de 10 [m/s] de magnitud. Una balsa a 100 [m] de la orilla se encuentra en cierto instante en la altura máxima. ¿Cuánto tiempo después le toca a un bote que se encuentra a 60 [m] de la orilla estar en la mitad de su altura máxima?

Resp: 4,13 [s]

9.- Una onda transversal armónica de 10 [cm] de amplitud y de 200 [cm] de longitud de onda, viaja de izquierda a derecha a lo largo de una cuerda horizontal, larga y tensa, con rapidez de 100 [cm/s]. Considere el origen de un sistema de coordenadas en el extremo izquierdo de la cuerda no perturbada y el instante $t = 0$ cuando ese extremo pasa por el origen moviéndose hacia abajo.

- (a) Calcule la frecuencia, la frecuencia angular y la constante de propagación de la onda.
- (b) Determine la ecuación del movimiento del extremo izquierdo de la cuerda, la función de la onda y la ecuación del movimiento de una partícula de la cuerda a 150 [cm] a la derecha del origen.
- (c) Calcule la magnitud máxima de la velocidad transversal de cualquier partícula de la cuerda.
- (d) Calcule la velocidad transversal de una partícula a 150 [cm] a la derecha del origen, en el instante $t = 3,25$ [s].
- (e) Haga un gráfico de las formas de la cuerda en los instantes $t = 0$ y $t = 3,25$ [s], que represente los primeros 500 [cm] de la cuerda.

Resp: 0,5 [Hz]; π [rad/s]; π [rad/m].

10.- Una onda de frecuencia 500 [ciclos/s] tiene una velocidad de fase de 350 [m/s].

- (a) ¿Qué distancia hay entre dos puntos que tienen una diferencia de fase de 60° ?
- (b) ¿Cuál es la diferencia de fase entre dos desplazamientos que ocurren en cierto punto con un intervalo de 0,001 [s]?

11.- Una onda armónica se propaga a lo largo del eje x en el sentido positivo. Considérese dos puntos a una distancia de $3\lambda/4$ entre ellos. ¿Cuál es la diferencia de fase que presentan las perturbaciones producidas por la onda debida a tal separación? Si la frecuencia de la onda es 20 [ciclos/s] y la amplitud es de 10 [mm]. ¿Cuál será la perturbación del segundo punto 50 [m] después que se produjo la perturbación máxima en el primero?

12.- Un centro emisor de 1 [Watt] emite ondas esféricas en un medio isotrópico no absorbente. ¿Cuál es la intensidad de onda a 1 [m] del centro emisor?

13.- Una onda transversal sinusoidal de longitud de onda 20 [cm] se propaga por una cuerda. En el instante $t = T/4$ un punto ubicado a 4 [cm] del origen tiene una elongación igual a un tercio de la amplitud. ¿A qué distancia del origen se hallará un punto que en dicho instante ha alcanzado su posición extrema superior?

Resp: 0,08 m.

14.- Una onda transversal en una cuerda produce en cierto instante y en cierto lugar un desplazamiento de 0,5 [cm]. El desplazamiento máximo es 8 [cm], la magnitud de la velocidad de propagación vale 50 [m/s] y la frecuencia de vibración en un extremo es 20 [ciclos/s]. Calcule cuánto tiempo después un elemento de cuerda situado a 10 [m] más adelante tiene una velocidad de magnitud máxima.

15.- Una onda transversal sinusoidal de longitud $\lambda = 20$ [cm] se propaga por una cuerda hacia la derecha. En el instante $t = T/4$, el punto ubicado en el origen ha alcanzado su posición extrema superior.

¿Cuánto tiempo más tarde una partícula a 6 [cm] del origen alcanzará una elongación igual a $\frac{1}{4}$ de la amplitud por debajo de su posición de equilibrio?

16.- Un bote avanza con velocidad de 2 [m/s] en la misma dirección de las olas. Para esta $T = 10$ [s], $v = 3$ [m/s]. Otro bote lo persigue con velocidad V_2 habiendo partido en un instante en que se encontraba en una cúspide a 50 [m] del primer bote, y lo alcanza cuando tiene (el bote 2) por quinta vez la altura máxima. Calcular V_2 .

Taller
Tema: Ondas Sonoras.

Objetivo:

- Comprender los conceptos fundamentales relacionados con el sonido.
- Determinar valores de frecuencias mediante las ecuaciones que estudian el Efecto Doppler.

Conceptos Clave:

- ✓ Sonido.
- ✓ Intensidad del sonido.
- ✓ Velocidad del sonido.
- ✓ Ondas ultrasónicas.
- ✓ Decibel.
- ✓ Efecto Doppler.
- ✓ Ondas de choque.
- ✓ Espectro de radiación electromagnética.

Introducción:

Deben darse dos factores para que exista el sonido. Es necesaria una fuente de vibración mecánica y también un medio elástico, a través del cual se propague la perturbación. La fuente puede ser un diapasón, una cuerda que vibre o una columna de aire vibrando en un tubo de órgano. Los sonidos se producen por materia que vibra.

La necesidad de la existencia de un medio elástico se puede demostrar colocando un timbre eléctrico dentro de un frasco conectado a una bomba de vacío. A medida que va saliendo el aire del frasco, el sonido del timbre se vuelve cada vez más débil hasta que finalmente ya no se escucha. Cuando se permite que el aire penetre de nuevo al frasco, el timbre vuelve a sonar. Por lo tanto, el aire es necesario para transmitir el sonido.

Actividad 1: “La Leyenda del Eco”.

“Los antiguos griegos, explicaban el fenómeno del extraño caso de la reflexión del sonido por medio de la leyenda del “Eco”.

Según esta, Eco era una ninfa que tenía el defecto de hablar demasiado, lo que había inducido a Hera a prohibirle que hablara sino le dirigía antes la palabra alguien y, en tal caso, sólo estaba autorizada para repetir lo que oyera.

Entristecida por su destino, Eco se dedicó a vagar por los bosques repitiendo las palabras de otros.

Un día se enamoró del apuesto Narciso, sin lograr ser correspondida.

La ninfa fue entonces consumida por la ansiedad hasta el punto de que solo quedó su voz vagando por los bosques y las rocas y repitiendo siempre las palabras de los otros”.

Actividad 2: ¿Qué es el Sonido?

El Sonido es una onda longitudinal que se propaga en un medio material (sólido, líquido o gaseoso), y cuya frecuencia está comprendida, aproximadamente, entre 20 y 20.000 [Hz].

El infrasonido y el ultrasonido.

- Una onda longitudinal que se propaga en un medio material con una frecuencia inferior a 20 [Hz] se denomina infrasonido.
- Si la frecuencia es superior a 20.000 [Hz], recibe el nombre de ultrasonido.

Experimentos recientes demuestran que:

- Un perro, por ejemplo, es capaz de percibir ultrasonidos cuyas frecuencias alcanzan hasta los 50.000 [Hz].
- A ello se debe que algunos perros amaestrados escuchen los ultrasonidos (producidos por silbato especiales) que una persona no puede percibir.
- También se sabe que los murciélagos, aún cuando son casi ciegos, puedan volar sin chocar con ningún obstáculo, porque emiten ultrasonidos que luego captan sus oídos después de ser reflejados por dichos obstáculos.
- Las frecuencias ultrasónicas que emite el murciélago y oye después, pueden llegar hasta los 120.000 [Hz].
- En un dispositivo electroacústico denominado sonar, los ultrasonidos se emplean para localizar objetos y medir la distancia entre ellos, de modo similar a lo que hacen los murciélagos.

Actividad 3: "Velocidad del sonido".

Tabla de Velocidad del Sonido para diferentes medios materiales.

Medio Material	Velocidad [m/s]
Caucho (o hule)	54
Oxígeno (0°C]	317
Aire (20°C)	340
Hidrógeno (0°C)	1300
Agua	1450
Hierro	5100
Granito	6000

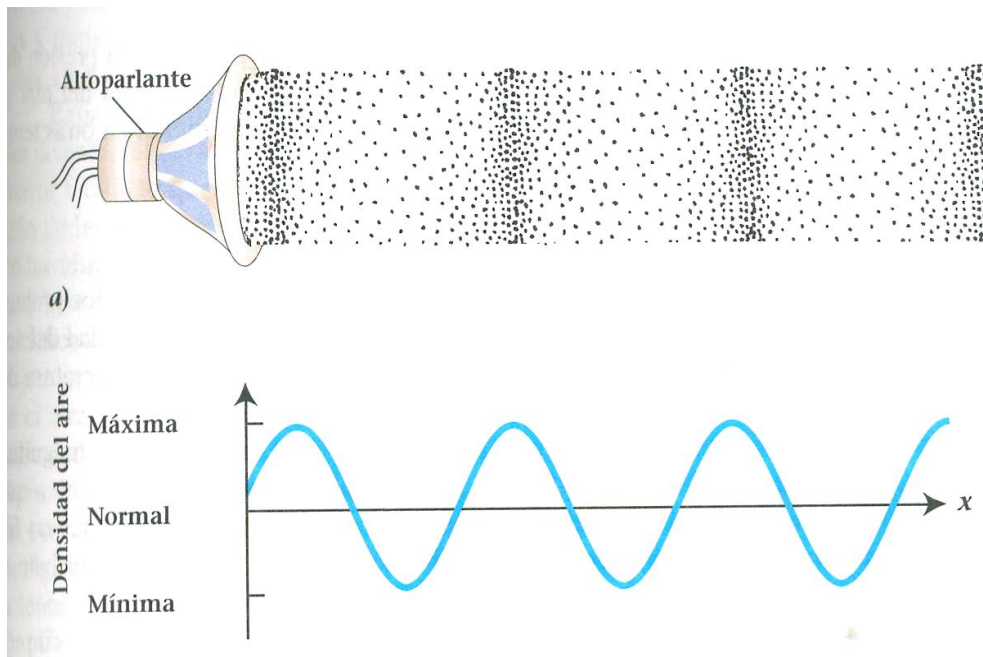
Actividad 4: "Intensidad del Sonido".

- La intensidad es una propiedad del sonido que se relaciona con la energía de vibración de la fuente que emite la onda sonora.
- Al propagarse, esta onda transporta energía, distribuyéndola en todas las direcciones.
- Cuanto mayor sea la cantidad de energía (por unidad de tiempo) que una onda sónica transporta hasta nuestro oído, tanto mayor será la intensidad del sonido que percibimos.
- La cantidad de energía transportada por una onda es tanto mayor cuanto mayor sea la amplitud de la misma.
- La intensidad de un sonido es mayor cuando así lo es la amplitud de la onda sonora.

Actividad 5: "Onda sonora longitudinal".

Ahora estudiaremos más detalladamente las ondas sonoras longitudinales en el aire que proceden de una fuente que produce vibraciones. Una tira metálica delgada se sujeta fuertemente en su base, se tira de uno de sus lados y luego se suelta. Al oscilar el extremo libre de un lado a otro con movimiento armónico simple, se propagan a través del aire una serie de ondas sonoras longitudinales periódicas que se alejan de la fuente. Las moléculas de aire que colindan con la lámina metálica se comprimen y se expanden alternativamente, transmitiendo una onda como la que se muestra en la figura. Las regiones densas en las que gran número de moléculas se agrupan acercándose mucho entre sí se llaman **compresiones**. Son exactamente análogas a las condensaciones estudiadas para el caso de ondas longitudinales en un resorte en espiral. Las regiones que tienen relativamente pocas moléculas se conocen como **rarefacciones**. Las compresiones y rarefacciones se alternan, a través del medio en la misma forma que las partículas de aire individuales oscilan de un lado a otro en la dirección de la propagación de la onda.

Puesto que una compresión corresponde a una región de alta presión y una rarefacción corresponde a una región de baja presión, una onda sonora puede representarse trazando en una gráfica el cambio de presión "P" como una función de la distancia "x".

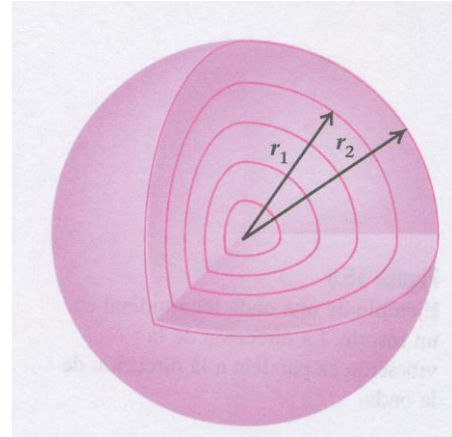


Actividad 6: “Relación Intensidad del sonido-Radio de propagación”.

A medida que la onda esférica se expande, la energía se conserva si el amortiguamiento es despreciable, como sucede en los intervalos cortos en el aire. Por tanto la potencia que pasa a través de una capa esférica de un radio es la misma que pasa, a través de una capa de otros radios. La potencia que pasa a través de una capa de radio “r” es el producto de la intensidad “I” con el área de la capa, $4\pi r^2$.

Para dos diferentes radios r_1 y r_2 , podemos escribir:

$$I_2/I_1 = r_1^2/r_2^2$$



Actividad 7: “Características de la velocidad del sonido”.

- ✓ La velocidad a la cual se propaga el sonido en el aire depende de la presión de la atmósfera, la temperatura y la humedad. A la presión estándar a nivel del mar y 0°C, la velocidad del sonido en aire seco es 331,5 [m/s]. Dicha velocidad a tras temperaturas se representa en forma adecuada por la expresión:

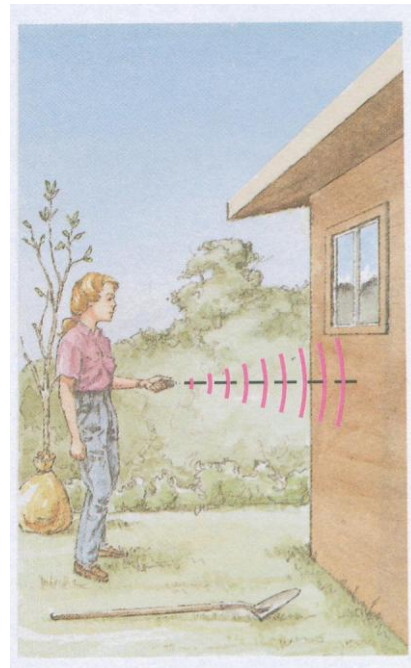
$$V(T) = (331,4 + 0,67T) \text{ [m/s]},$$

donde la temperatura “T” está en grados Celsius.

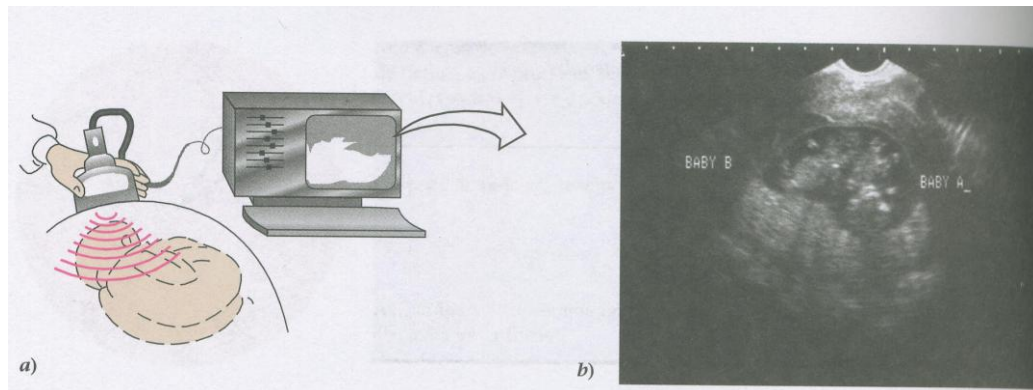
- ✓ El sonido viaja lo suficientemente lento para que podamos percibir su magnitud finita. El retraso entre el destello de un rayo y el estadillo del trueno se debe a que la velocidad del sonido es mucho menor que la de la luz.
- ✓ La vibración de la cubierta de un tambor o del cuerpo de una guitarra empuja en contra al aire para producir ondas de presión que se propagan a nuestros oídos y son percibidas.
- ✓ Las frecuencias vibratorias por encima de 20.000 [Hz] se denominan ultrasónicas.
- ✓ El tono de un sonido o nota musical es un juicio subjetivo de lo alto o bajo que es. Se determina principalmente por su frecuencia; un tono elevado corresponde a una alta frecuencia. Sin embargo, la sonoridad de un sonido a una frecuencia dada puede influir en su tono aparente.

Actividad 8: “Aplicaciones de las ondas ultrasónicas”.

1. A causa de sus longitudes de onda relativamente cortas, se pueden enfocar en haces angostos y dirigirse con mayor facilidad que un sonido audible.
2. Se usan para medir distancias. Un pulso de ondas de frecuencia entre 25 y 40 [KHz] es emitido a partir del dispositivo clasificador, el cual mide en forma automática el tiempo para que regrese el eco o pulso. La distancia a la pared u otro objeto se calcula a partir del tiempo de viaje del pulso y de la velocidad del sonido en el aire, tomando en cuenta la dependencia de su velocidad de la temperatura y la humedad. El cálculo se hace por microcircuitos dentro del aparato clasificador, y el resultado se despliega sobre una placa numérica. Estos instrumentos pueden medir con una precisión de aproximadamente 0,6 [cm]. Se utilizan dispositivos similares en algunas cámaras de enfoque automático para determinar la posición apropiada de la lente.
3. Cuando las ondas ultrasónicas chocan contra la pared, son reflejadas parcialmente, transmitidas parcialmente y absorbidas parcialmente. Las reflexiones ocurren siempre que las ondas encuentran una diferencia en densidad, en este caso la frontera entre el aire y la pared. La magnitud de la reflexión depende de las velocidades relativas del sonido en cada lado de la frontera (este comportamiento es una propiedad general de las ondas, no solamente de las ondas ultrasónicas).



4. El regreso de las señales que se reflejan de cada frontera se puede emplear para generar una imagen de los objetos encontrados por las ondas. Dentro de su cuerpo, las ondas ultrasónicas incidentes son reflejadas a partir de zonas límite entre tejidos, huesos y fluidos de densidades diferentes. Las imágenes ultrasónicas se utilizan rutinariamente para “ver” dentro del cuerpo humano. La imagen visual se reconstruye con base en la información contenida en la amplitud y fase de las ondas reflejadas. La obtención de imágenes ultrasónicas se considera generalmente como una técnica más segura que la obtención de imágenes por rayos X.



Actividad 9: “Medición de niveles sonoros”.

- ✓ La unidad de medición de intensidad sonora es el **decibel**, dB. La unidad decibel es el décimo de tamaño que el bel (una unidad nombrada en honor del inventor del teléfono, Alexander Graham Bell).
- ✓ El nivel de intensidad L_I en decibeles se define como diez veces el logaritmo de la relación de dos intensidades I e I_0 ; esto es:

$$L_I \text{ (en decibeles)} = 10\log_{10}(I/I_0).$$

Donde I_0 es la intensidad de referencia.

- ✓ Dado que la medición del nivel de intensidad de un sonido es en realidad una comparación de dos intensidades, un nivel de sonido dado no se puede establecer en unidades de decibeles a menos que se conozca el nivel de referencia. El nivel de referencia estándar de intensidad de sonido es 10^{-12} $[W/m^2]$, el cual es aproximadamente la intensidad que apenas puede ser escuchada por una persona con buena audición. Esta intensidad se denomina el **umbral de audición**.

Actividad 10: “Niveles aproximados de intensidad de sonido para un conjunto de fuentes de sonido familiares”.

Niveles Sonoros y Respuesta Humana		
Sonidos característicos	Nivel de presión sonora [dB]	Efecto
Zona de lanzamiento de cohetes (sin protección auditiva)	180	Pérdida auditiva irreversible
Operación en pista de jets Sirena antiaérea	140	Dolorosamente fuerte
Trueno	130	
Despegue de jets (60 m) Bocina de auto (1 m)	120	Máximo esfuerzo vocal
Martillo neumático Concierto de Rock	110	Extremadamente fuerte
Camión recolector Petardos	100	Muy fuerte
Camión pesado (15 m) Tránsito urbano	90	Muy molesto Daño auditivo (8 Hrs)
Reloj Despertador (0,5 m) Secador de cabello	80	Molesto
Restaurante ruidoso Tránsito por autopista Oficina de negocios	70	Difícil uso del teléfono
Aire acondicionado Conversación normal	60	Intrusivo
Tránsito de vehículos livianos (30 m)	50	Silencio
Líving Dormitorio Oficina tranquila	40	
Biblioteca Susurro a 5 m	30	Muy silencioso
Estudio de radiodifusión	20	
	10	Apenas audible
	0	Umbral auditivo

Actividad 11: “Efecto Doppler”

Se da, por ejemplo, con la elevación y descenso posterior del tono de la bocina de un automóvil cuando éste se aproxima y cuando ha pasado. A medida que se aproxima a un observador fijo, las ondas del sonido se aprietan causando un aumento en la frecuencia del sonido que se oye. Después que el vehículo ha pasado y se está alejando del observador, las ondas se esparcen y la frecuencia observada es menor.

Las ecuaciones que ayudan a entender este fenómeno son: (puede encontrar la deducción en el texto de Física de Resnick-Halliday).

Fuente en movimiento, observador en reposo.

$$f' = f(1 \pm V_s/V)$$

V: velocidad del sonido.

V_s : velocidad de la fuente.

(+): indica que la fuente se está alejando (baja frecuencia).

(-): indica que la fuente se aproxima al observador (alta frecuencia).

Fuente en reposo, observador moviéndose.

$$f' = f(1 \pm V_o/V)$$

V: velocidad del sonido.

V_o : velocidad del observador.

(+): indica que el observador se acerca a la fuente del sonido (alta frecuencia).

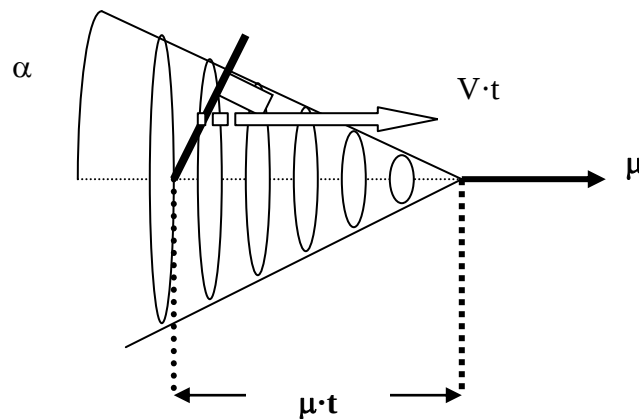
(-): indica que el observador se aleja de la fuente del sonido (baja frecuencia).

Nota: El efecto Doppler no está limitado solamente a ondas sonoras, sino que también se aplica a otras clases de ondas. Incluso se aplica a las ondas electromagnéticas como la luz y el radar, aunque las ecuaciones son diferentes.

Actividad 12: “Formación de una onda de choque”.

Ondas de Mach u Ondas de Choques.

Cuando un observador está en reposo y una fuente que se mueve con una velocidad $\mu > v$ (v : velocidad de propagación de la onda), entonces en un tiempo dado la fuente avanza más rápido que el frente de onda.



$$\text{Sen } \alpha = v \cdot t / \mu \cdot t \Rightarrow \text{Sen } \alpha = v / \mu$$

α : es la apertura del cono.

“Todas las ondas esféricas son tangentes al cono”.

Para una carga “q” que se mueve con velocidad $V_q > V$, las ondas electromagnéticas en superficies cónicas forman con la dirección de propagación de la fuente de carga un ángulo “ α ” dado por:

$$\text{Sen } \alpha = V / V_q$$

“Estas ondas reciben el nombre de Cherenkov”.

Actividad 13: "Espectro de Radiación Electromagnética".

Las ondas electromagnéticas cubren un alto margen de frecuencia y ellas incluyen ondas clasificadas de acuerdo a su frecuencia (fuente).

1. **Ondas de Radio Frecuencias:** el intervalo de longitud de onda va desde 10^9 [m] a $0,3$ [m]; el de la frecuencia de 10^{-1} [Hz] a 10^9 [Hz] y el de la energía de los fotones* (energía de las ondas electromagnéticas) de 10^5 [eV] hasta 10^{-5} [eV].

*Fotones: partículas elementales que forman la luz, no tienen masa ni carga.

Las ondas de radio frecuencia, se encuentra en la TV y radios AM y FM:

La onda de TV y FM es la que viaja en línea recta.

La onda de AM rebota, puede llegar más lejos que la onda de televisión.

2. **Microondas:** (U.H.F:Ultra high frequency)

El intervalo de longitud de onda va desde $0,3$ [m] a 10^{-3} [m]; el de la frecuencia de 10^9 [Hz] a $3 \cdot 10^{11}$ [Hz] y el de la energía de los fotones* (energía de las ondas electromagnéticas) de 10^{-5} [eV] hasta 10^{-3} [eV].

Estas ondas se usan en el radar y otros sistemas de comunicacionales, así como también en el análisis de detalles finos de estructura atómica y molecular.

3. **Infrarrojo:** aquí está comprendida la luz visible.

El intervalo de longitud de onda va desde 10^{-3} [m] a $7,8 \cdot 10^{-7}$ [m]; el de la frecuencia de $3 \cdot 10^{11}$ [Hz] a $4 \cdot 10^{14}$ [Hz] y el de la energía de los fotones (energía de las ondas electromagnéticas) de 10^{-3} [eV] hasta $1,6$ [eV].

Espectro infrarrojo:

Infrarrojo lejano: λ : 10^{-3} [m] a $3 \cdot 10^{-5}$ [m].

Infrarrojo medio: λ : $3 \cdot 10^{-5}$ [m] a $3 \cdot 10^{-6}$ [m].

Infrarrojo cercano: λ : $3 \cdot 10^{-6}$ [m] a $7,8 \cdot 10^{-7}$ [m].

Estas ondas son generadas por cuerpos calientes y moléculas. Tienen mucha aplicación en la industria, la medicina, la astronomía, etc. Es una manera de detectar cuerpos calientes.

4. **La Luz Visible o Espectro Visible:** “la retina es sensible a este espectro”.

El intervalo de longitud de onda va desde $7,8 \cdot 10^{-7}$ [m] a $3,8 \cdot 10^{-7}$ [m]; el de la frecuencia de $4 \cdot 10^{14}$ [Hz] a $8 \cdot 10^{14}$ [Hz] y el de la energía de los fotones (energía de las ondas electromagnéticas) de 1,6 [eV] a 3,2 [eV].

La luz es producida por átomos y moléculas como resultado del ajuste interno del movimiento de sus componentes, principalmente electrones.

5. **Rayos Ultravioletas:**

El intervalo de longitud de onda va desde $3,8 \cdot 10^{-7}$ [m] a $6,0 \cdot 10^{-10}$ [m]; el de la frecuencia de $8 \cdot 10^{14}$ [Hz] a $3 \cdot 10^{17}$ [Hz] y el de la energía de los fotones (energía de las ondas electromagnéticas) de 3 [eV] a $2 \cdot 10^7$ [eV].

Estos rayos son producidos por átomos y moléculas en descargas eléctricas. Su energía es del orden de magnitud de la energía involucrada en muchas reacciones químicas, lo que implica muchos de sus efectos químicos.

6. **Rayos X:**

El intervalo de longitud de onda va desde 10^{-9} [m] a $6,0 \cdot 10^{-12}$ [m]; el de la frecuencia de $3 \cdot 10^{17}$ [Hz] a $5 \cdot 10^{14}$ [Hz] y el de la energía de los fotones (energía de las ondas electromagnéticas) de $1,2 \cdot 10^3$ [eV] a $2,4 \cdot 10^{15}$ [eV].

Los rayos X se usan para el diagnóstico médico, pues la mayor absorción por parte de los huesos en comparación con otros tejidos permite una fotografía nítida. Los rayos X son peligrosos, pues destruyen los tejidos.

7. **Rayos Gamma:**

El intervalo de longitud de onda va desde $10 \cdot 10^{-10}$ [m] a $\ll 10^{-14}$ [m]; el de la frecuencia de $3 \cdot 10^{18}$ [Hz] a $3 \cdot 10^{22}$ [Hz] y el de la energía de los fotones (energía de las ondas electromagnéticas) de 10^4 [eV] a 10^7 [eV].

Actividad 14: “Ejemplos”.

Ejemplo 1.

Un altoparlante en un poste elevado levantado en un campo de pasto alto genera un sonido de alta frecuencia de una intensidad de $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ [W/m}^2\text{]}$ a la posición de los oídos de una persona que está ubicada a 8,0 [m] directamente abajo. Si la persona camina alejándose del poste de modo que esté a 24 [m] del altoparlante, ¿cuál es la intensidad del sonido en la nueva posición de sus oídos?

Ejemplo 2.

En una fiesta, un equipo musical estéreo toca a su volumen máximo. Repentinamente un invitado da un traspie sobre un cable y un parlante deja de funcionar. ¿Cuál es la reducción en el nivel de intensidad de sonido, medido en dB?

Ejemplo 3.

La bocina de una patrulla de policía emite un tono de 250 [Hz] cuando se encuentra estacionada.

- a) ¿Qué frecuencia escuchará un observador en reposo si la patrulla hace sonar su bocina mientras se aproxima a una velocidad de 27 [m/s]?
- b) ¿Qué frecuencia se oye si la sirena se hace sonar a medida que la patrulla se aleja a 27 [m/s]?

Ejemplo 4.

Si la patrulla del ejercicio anterior estuviera haciendo sonar su sirena mientras permanece estacionada, ¿qué frecuencia podría oír un observador que se estuviera aproximando a una velocidad de 27 [m/s]?

Guía de Ejercicios. Tema: Sonido.

Prob.1. Un tren está pasando a otro que viaja por rieles paralelos. Ambos emiten pitazos de 300 [ciclos/s] simultáneamente. El maquinista del primer tren escucha batimentos de 3 [ciclos/s] y observa que su rapidez es de 30 [Km/Hr]. ¿Cuál es la velocidad del otro tren?

Prob.2. Un auto se mueve con rapidez de 15 [m/s] sobre una recta a 10 [m] de su observador en reposo. Cuando el auto se ha alejado 15 [m] del observador da un bocinazo de 500 [ciclos/s]. ¿Cuál es la frecuencia del sonido escuchada por el observador?

Resp: 482 [Hz].

Prob.3. Un proyectil se dispara con una rapidez de 2200 [ft/s]. Determinar el ángulo formado por la onda de choque con la dirección del movimiento del proyectil.

Resp: 30°

Prob.4. La rapidez de la luz en el agua es de unos tres cuartos de la rapidez de la luz en el vacío. Un haz de electrones de alta velocidad provenientes de un betatrón emite radiación Cerenkov en el agua, siendo el frente de onda un cono de un ángulo de 120°. Determinar la rapidez de los electrones en el agua.

Resp:

Prob.5. Un aeroplano de retropropulsión sobrevuela a una altura de 5000 [m] con una rapidez de 1,5 Mach.

- (a) Determine el ángulo formado por la onda de choque con la línea del movimiento del avión.
- (b) ¿Cuánto tiempo después que el avión ha pasado directamente por encima llegará la onda de choque al suelo?

Resp: (a) 48,18° ; (b) 19,73 [s].

Prob.6. Un silbato con una frecuencia de 540 [Hz] gira en un círculo de 2 [ft] de radio con una rapidez angular de 15 [rad/s]. ¿Cuál es la menor y la mayor frecuencia oída por una persona que está en reposo y a una gran distancia del centro del círculo?

Resp: 555 [Hz]; 526 [Hz].

Prob.7.(a) ¿Se podría uno acercar a un alto de semáforo lo suficientemente rápido para que pareciese un “siga”?

(b) De ser así, ¿lo multarían por exceso de velocidad?

Longitud de onda:

Rojo: 625-740 nm; Amarillo: 565-590 nm; Verde: 520-565 nm.

Resp: (a) $4,4 \cdot 10^7$ [m/s] ; (b) NO.

Prob.8.Un murciélago está volando dentro de una cueva, orientándose muy efectivamente por el uso de pulsos ultrasónicos (emisiones cortas que duran 1 milisegundo o menos y se repiten varias veces en un segundo). Supongamos que la emisión del sonido del murciélago tiene una frecuencia de 39000 [Hz]. Durante un primer descenso rápido directamente hacia una superficie plana de la pared, el murciélago se mueve a $1/40$ de la rapidez del sonido en el aire. ¿Cuál es la frecuencia del sonido que él oye reflejado en la pared?

Resp: 41000 [Hz].

Prob.9. Una fuente de ondas sonoras de frecuencia 1080 [Hz] se mueve hacia la derecha con rapidez de 108 [ft/s] respecto al piso. A su derecha hay una superficie reflectora que se mueve hacia la izquierda con rapidez 216 [ft/s] relativa al piso. Considérese que la rapidez en el aire es de 1080 [ft/s] y determine:

- (a) La longitud de onda del sonido emitido por el aire en la fuente.
- (b) El número de ondas por segundo que llegan a la superficie reflectora.
- (c) La rapidez de las ondas reflejadas.
- (d) La longitud de las ondas reflejadas.

Resp: (b) $2,66\pi$; (c) La misma velocidad con la que llega.

Prob.10. Una sirena emite un sonido con una frecuencia de 1000 [Hz] y se mueve alejándose de nosotros hacia un acantilado con una rapidez de 10 [m/s].

- (a) ¿Cuál es la frecuencia del sonido que oiríamos llegar directamente de la sirena?
- (b) ¿Cuál es la frecuencia del sonido que oiría reflejado en el acantilado?
- (c) Se podría oír la frecuencia de los batimentos?. Considérese que la rapidez del sonido en el aire es de 330 [m/s].

Prob.11. Dos automóviles “A” y “B” se enfrentan. “A” toca la bocina cuya frecuencia “f” es 850 [Hz], la cual es escuchada por “B” con una frecuencia “f’” de 920 [Hz]. “B” responde a “A” con otro toque de bocina de frecuencia “f’” de 550 [Hz], la cual es escuchada por “A” con frecuencia “f’” de 610 [Hz].

Determinar la velocidad relativa de acercamiento. Suponer 340 [m/s], para la velocidad del sonido.

Resp: 90,7 [m/s].

Prob.12. La frecuencia aparente de la bocina de un automóvil que se acerca a un observador fijo es 10% mayor que cuando se aleja de ese observador. Calcule la velocidad del automóvil, suponiendo que es constante.

Resp: 16,2 [m/s].

Prob.13. El nivel de intensidad de la sirena de un barco, percibido por un oficial en la cubierta a 10 metros de distancia de la misma, es de 70 dB.

Determinar:

- (a) El nivel de intensidad a 1 Km de distancia.
- (b) La distancia a la cual la sirena dejará de ser audible.

Prob.14. Una ventana de 1 m^2 de superficie está abierta a una calle cuyo ruido produce en la ventana un nivel de intensidad de 60 dB. ¿Cuánta “potencia acústica” entra por la ventana con las ondas sonoras?

Prob.15. Un altavoz que se puede asimilar a un foco sonoro puntual genera ondas esféricas con una potencia de 100 W.

- (a) ¿Cuáles son los valores de intensidad de la onda en dos puntos A y B que disten del altavoz 4 m y 8 m respectivamente?
- (b) ¿Cuál es la razón entre las amplitudes de las ondas sonoras en dichos puntos?

Prob.16. Dos sonidos tiene niveles de intensidad sonora de 50 dB y 70 dB, respectivamente. Calcule cuál será la relación entre sus intensidades.

Prob.17. Está Ud. de pie a una distancia “D” de una fuente esférica e isotrópica de ondas sonoras. Camina 10, 8 [m] hacia la fuente y observa que la intensidad de estas ondas se ha cuadruplicado. Determine:

- (a) La distancia “D”.
- (b) La intensidad en el punto inicial si la potencia emitida es 3,5 W y la fuente tiene un radio de 2,9 cm.
- (c) La intensidad inicial.
- (d) La potencia final.

Prob.18. El nivel sonoro de una persona gritando cerca de nosotros es de 80 dB.

- (a) Calcular la intensidad correspondiente en W/m^2 .
- (b) ¿Cuántas personas serían necesarias para que se produjeran 10 W/m^2 ?

Prob.19. ¿Cuál es el nivel de sensación sonora en decibeles correspondiente a una onda de intensidad 10^{-10} W/m^2 ?, ¿y de 10^{-2} W/m^2 ? La intensidad umbral es de 10^{-12} W/m^2 .

Prob.20. ¿En cuántos decibels aumenta el nivel de sensación sonora si se duplica la intensidad de un sonido?

Prob.21. Supongamos que al gritar una persona la intensidad del sonido es 500 veces mayor que cuando habla. ¿Cuál es la diferencia en el nivel de sensación sonora en dB?

Prob.22. La intensidad debida a un número de fuentes de sonido independientes es la suma de las intensidades individuales. ¿Cuántos decibels es mayor el nivel de intensidad sonora cuando lloran cuatro niños que cuando llora uno?

Prob.23. Si nos acercamos al foco sonoro a la mitad de la distancia original. ¿Cómo varía la intensidad de sonido?