

Taller N°4. Tema: Ondas Sonoras.

Objetivos:

- 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.
- ✓ Decibel.

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: ¿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 silbatos 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 2: “Velocidad del sonido”.

Tabla de Velocidad del Sonido para diferentes 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

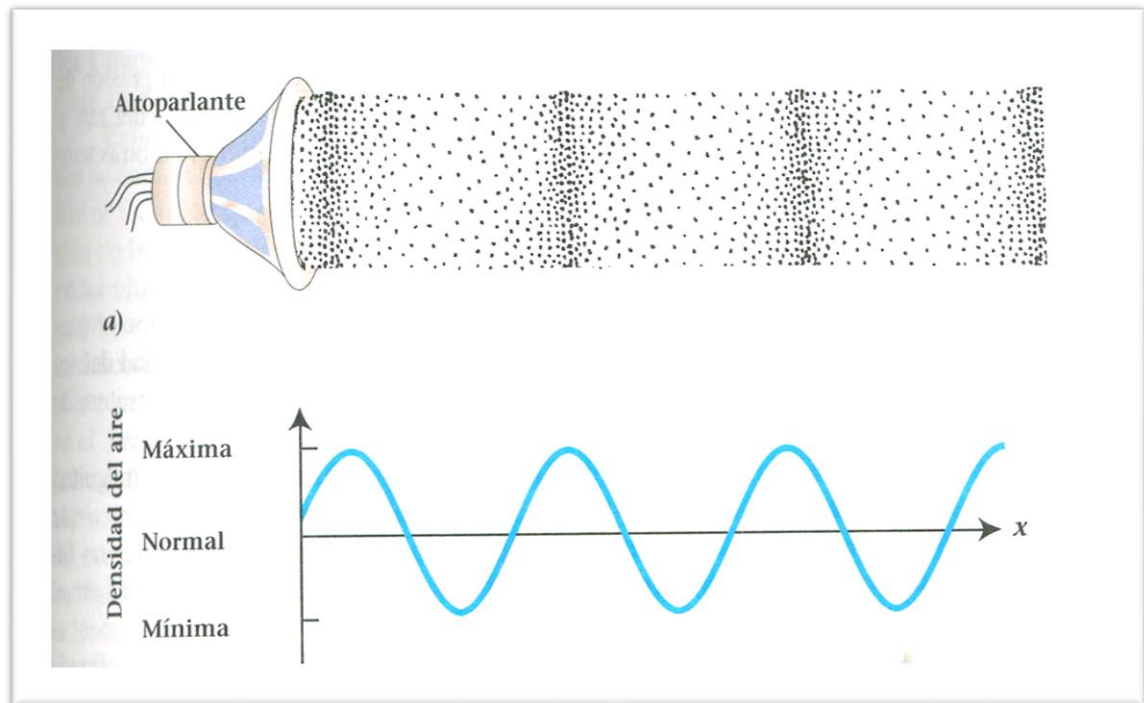
Actividad 3: "Intensidad del Sonido".

- 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 4: "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”.

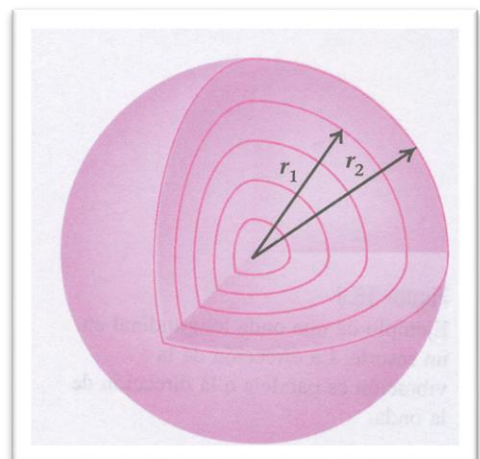


Actividad 5: “Relación Intensidad del sonido-Radio de propagación”.

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:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



Actividad 6: “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 otras temperaturas se representa en forma adecuada por la expresión:

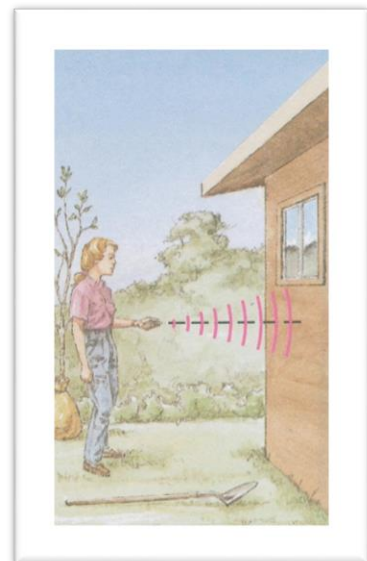
$$v(T) = (331,5 + 0,67T) \left(\frac{m}{s} \right)$$

donde la temperatura “T” está en grados Celsius.

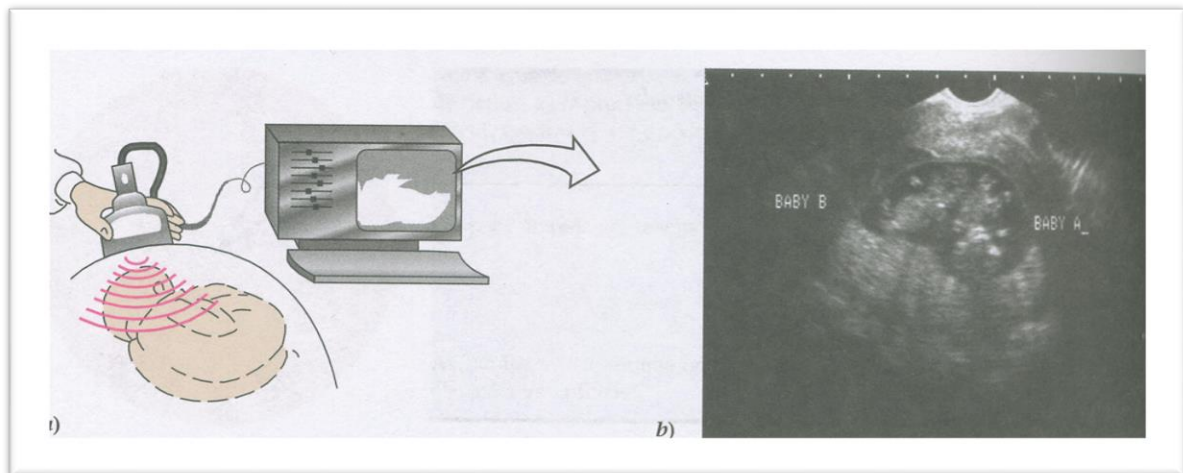
- ✓ El sonido viaja lo suficientemente lento para que podamos percibir su magnitud finita. El retraso entre el destello de un rayo y el estadillo del trueno se debe a que la velocidad del sonido es mucho menor que la de la luz.
- ✓ La vibración de la cubierta de un tambor o del cuerpo de una guitarra empuja en contra al aire para producir ondas de presión que se propagan a nuestros oídos y son percibidas.
- ✓ 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 7: “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 8: “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:

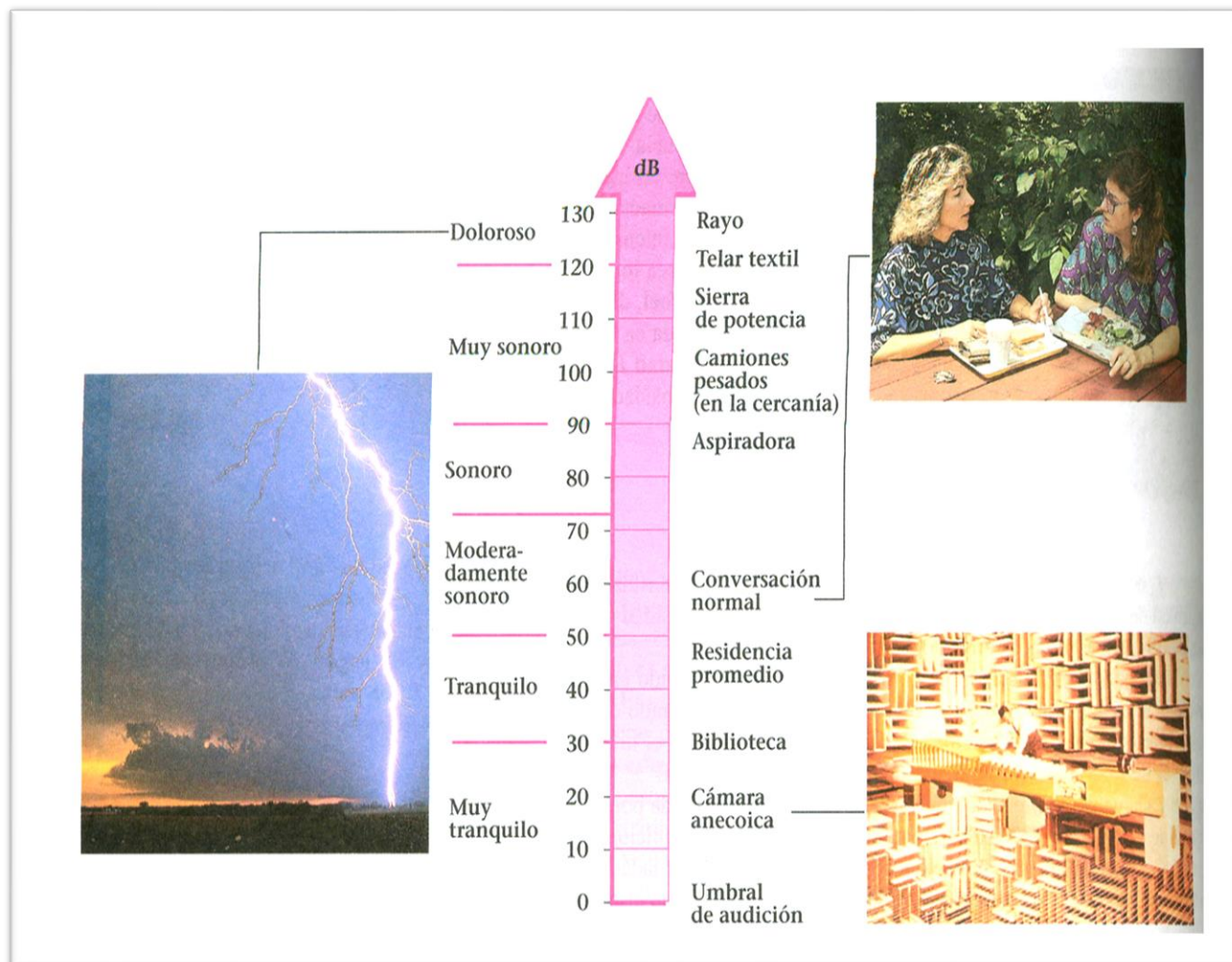
$$L_i(\text{en decibeles}) = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

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/m²], 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 9: Construir una tabla de $L=L(I)$ y luego su gráfica. Concluir acerca de lo obtenido.

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



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.

$$f' = \frac{f}{1 \pm \frac{v_s}{v}}$$

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.

$$f' = \frac{f}{1 \pm \frac{v_o}{v}}$$

v: velocidad del sonido.

v_o : velocidad del observador.

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

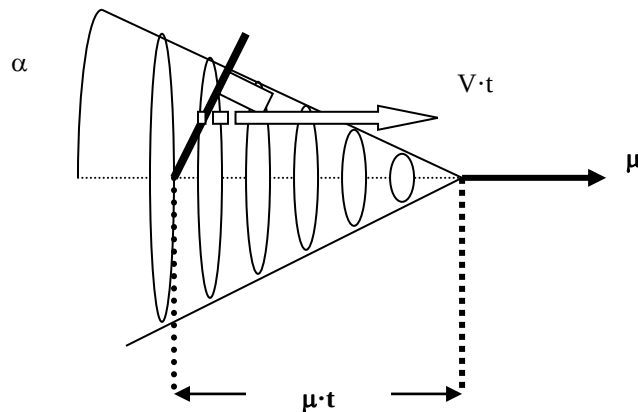
(-): indica que el observador se aleja de la fuente del sonido (baja frecuencia).

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.



$$\text{sen} \alpha = v \cdot \frac{t}{\mu} \cdot t$$

$$\text{sen} \alpha = \frac{v}{\mu}$$

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:

$$\text{sen} \alpha = \frac{V_q}{\mu}$$

“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 $5 \cdot 10^{19}$ [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 $<< 10^{-14}$ [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: EFECTO DOPPLER.**

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.

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. 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.8. 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.9. 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.10. 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.11. 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.12. 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.13. 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.14. 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.15. Dos sonidos tienen niveles de intensidad sonora de 50 dB y 70 dB, respectivamente. Calcule cuál será la relación entre sus intensidades.

Prob.16. 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.17. 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.18. ¿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.19. ¿En cuántos decibeles aumenta el nivel de sensación sonora si se duplica la intensidad de un sonido?

Prob.20. 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.21. La intensidad debida a un número de fuentes de sonido independientes es la suma de las intensidades individuales. ¿Cuántos decibeles es mayor el nivel de intensidad sonora cuando lloran cuatro niños que cuando llora uno?

Prob.22. Si nos acercamos al foco sonoro a la mitad de la distancia original. ¿Cómo varía la intensidad de sonido?