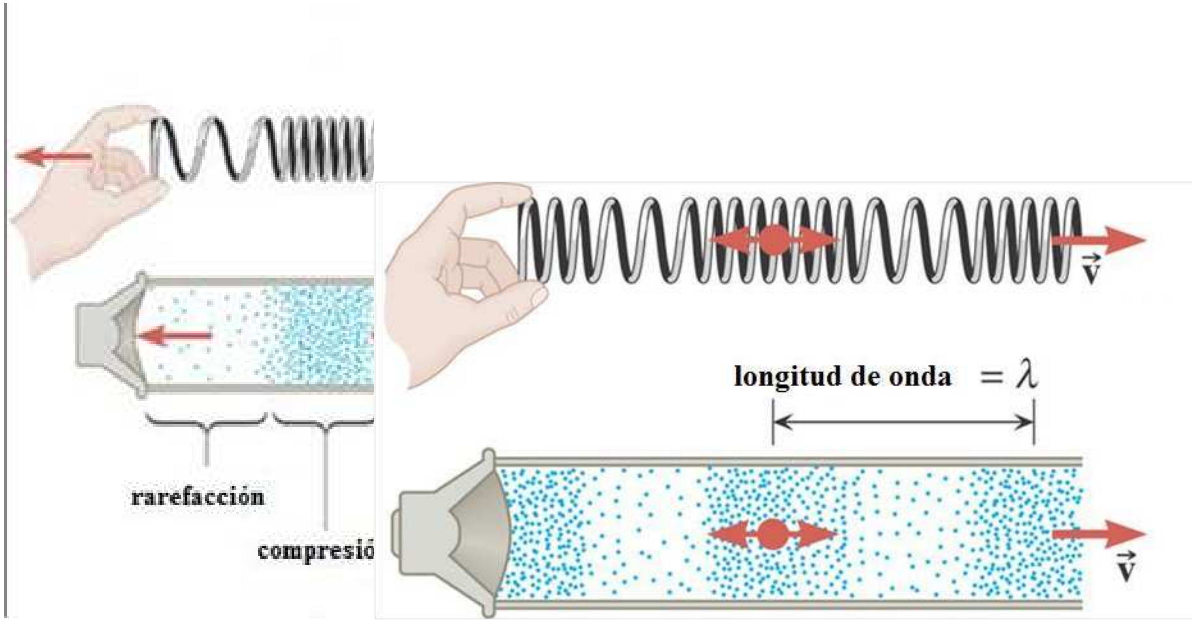
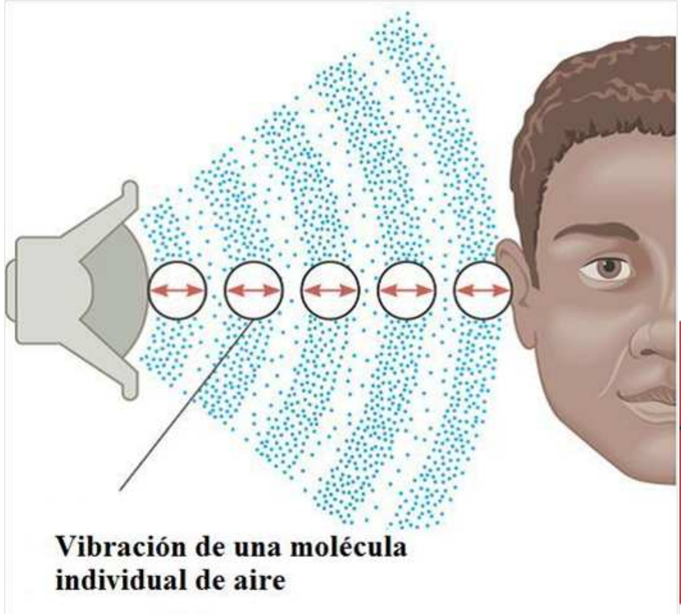
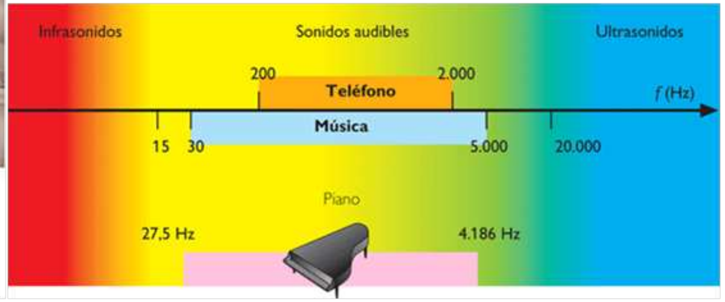
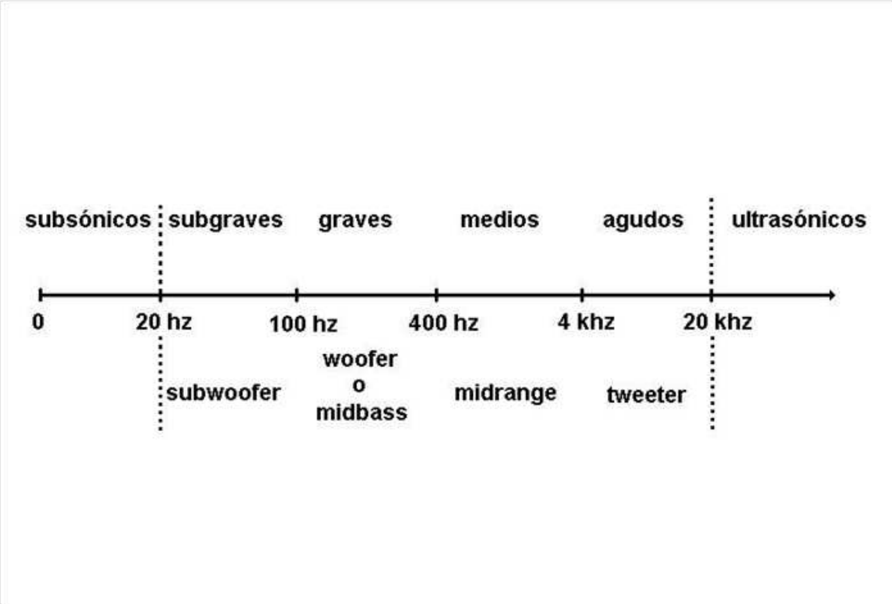
1 Ondas Sonoras




Vibración de una molécula
individual de aire


Infrasonidos
Sonidos audibles
Ultrasonidos
200
2.000
Teléfono
f (Hz)
Música
15
30
5.000
20.000
Piano
27,5 Hz
4.186 Hz



-Son ondas longitudinales.

-Clasificación de acuerdo a su frecuencia:

i)Ondas audibles. Frecuencias detectables por el oído humano.

ii) Ondas infrasónicas con frecuencias por debajo de la región audible. Los elefantes las usan para comunicarse

iii) Ondas ultrasónicas, con frecuencias mayores que la región audible. Las detectan los perros y se usan para ecografías.

Rapidez de las ondas sonoras:

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

donde B es el módulo volumétrico del medio y ρ su densidad.

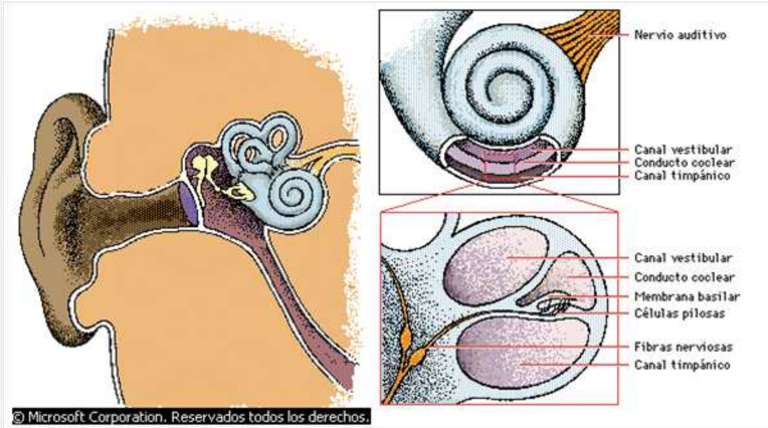
La velocidad depende de la temperatura también. Para el aire se tiene:

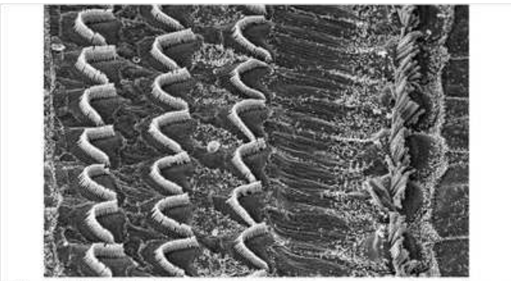
$$v = (331 m/s)\sqrt{1 + \frac{T_c}{273^0 C}}$$

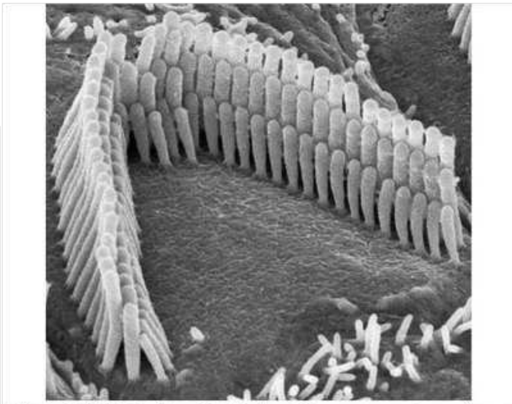
T_c es la temperatura en grados Celsius.

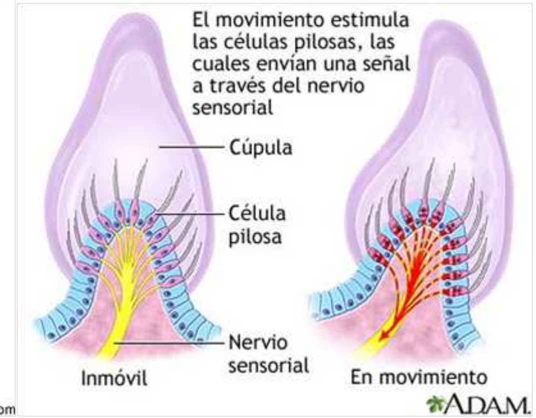
2 EL OIDO

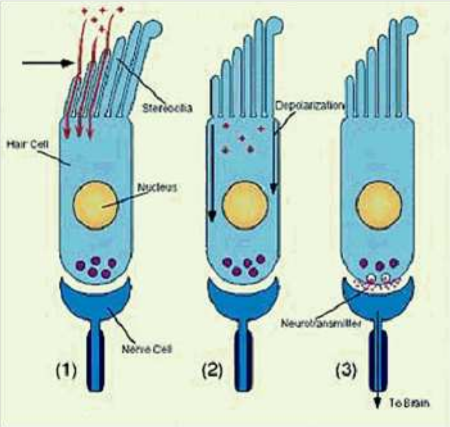

El oído
Una de las funciones principales del oído es la de convertir las ondas sonoras en vibraciones que estimulen las células nerviosas, para ello el oído tiene tres partes claramente identificadas. Estas secciones están interconectadas y son el oído externo, el medio y el interno. Cada parte tiene funciones específicas dentro de la secuencia de procesamiento del sonido.
Conducto auditivo externo
Estribo
Yunque
Cartílago
Martillo
Conductos semicirculares
Conducto endolinfático
Nervio auditivo
Utrículo
Vestíbulo
Sáculo
Pelos
Caracol
Cerumen
Glándula ceruminosa
Trompa de Eustaquio
Tímpano
Ventana oval
Oído externo
Oído medio
Oído interno


© Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
Nervio auditivo
Canal vestibular
Conducto coclear
Canal timpánico
Canal vestibular
Conducto coclear
Membrana basilar
Células pilosas
Fibras nerviosas
Canal timpánico






El movimiento estimula las células pilosas, las cuales envían una señal a través del nervio sensorial
Cúpula
Célula pilosa
Nervio sensorial
Inmóvil
En movimiento
ADAM.



2.1 Ondas Sonoras Periódicas

Si consideramos las expansiones y compresiones en un tubo acústico veremos que los desplazamientos del aire,respecto a su posición de equilibrio en cada punto, son en la direcci'on de propagación de la onda y están dados por:

$$s(x,t) = s_m cos(kx - \omega t)$$

donde s_m es el desplazamiento máximo del medio respecto a su posición de equilibrio(La amplitud de la onda).

-Variación de la presión al pasar la onda:

La definición del módulo volumétrico permite escribir:

$$\Delta P = -B \frac{\Delta V}{V_i}$$

Se tiene:

$$V_i = A\Delta x$$

$$\Delta V = A\Delta s$$

Por lo tanto(en el lí mite $\Delta x -> d\,x$)

$$\Delta P = -B\frac{\partial s}{\partial x}$$

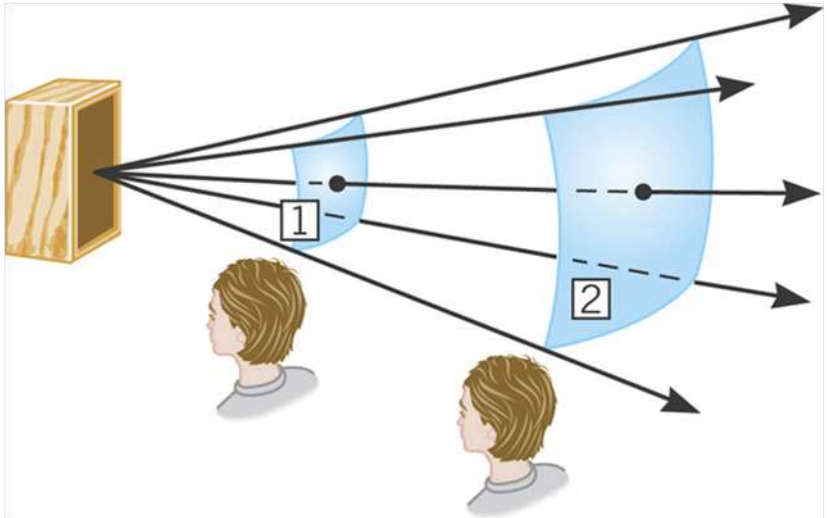
Para una onda sinusoidal:

$$\Delta P = \rho v^2 k\, s_m s\,e\,n(k\,x - \omega t)$$

2.2 Intensidad de las ondas sonoras periódicas

Una onda transmite energía.
La cantidad de energía por unidad de tiempo es la potencia transmitida por la onda.
En MKS se mide en Watt.
La intensidad corresponde a una potencia distribuida en una superficie.

$$I = \frac{P}{A}$$



La misma potencia se distribuye en 2 superficies distintas. Cambia la intensidad.

PARA UNA FUENTE PUNTUAL SE USA UNA ESFERA: ¸$A = 4\pi R^2$

La energía mecánica total de una columna de aire de ancho dx es(A es la sección transversal del tubo):

$$d\,E = \frac{1}{2}\rho A\,d\,x((\frac{\partial s(x,t)}{\partial t})^2 + \omega^2 s(x,t)^2)$$

Esto es:

$$d\,E = \frac{1}{2}\rho A\,d\,x\,s_m^2\omega^2$$

La energí a por unidad de tiempo(Potencia) es:

$$P = \frac{1}{2}\rho A\, v\, s_m^2 \omega^2$$

La intensidad está dada por:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho v\, s_m^2 \omega^2$$

En forma equivalente:

$$I = \frac{\Delta P_m^2}{2\rho v}$$

2.3 Decibeles

Debido a la enorme sensibilidad del oí do humano, se mide el nivel sonoro β usando una escala logarí tmica:

$$\beta = 10 l\, o\, g(\frac{I}{I_0})$$

donde I_0 es la intensidad de referencia (el umbral auditivo$=10^{-12} W/m^2$) e I es la intensidad en $w\, a\, t\, t\, s/m^2$. β se mide en **decibeles (dB)**.

El umbral auditivo corresponde a 0 decibeles. El límite del dolor a 120 decibeles.

	I (W/m^2)	β (dB)
UMBRAL AUDITIVO	1.0×10^{-12}	0
HOJAS DESLIZANDO EN EL SUELO	1.0×10^{-11}	10
susurro	1.0×10^{-10}	20
CONVERSACION NORMAL (1m)	3.2×10^{-6}	65
EN UN AUTO EN EL TRÁFICO	1.0×10^{-4}	80
AUTO SIN SILENCIADOR	1.0×10^{-2}	100
CONCIERTO DE ROCK	1.0	120
UMBRAL DEL DOLOR	10	130

EJEMPLO: UN SISTEMA DE AUDIO SUENA A 90 dB y otro a 93 dB. Calcular la razón entre sus intensidades.

2.4 Ondas Planas y esféricas

Si la fuente del sonido tiene simetrí a esférica, se producirá una onda esférica. Por conservación de la energí a se tiene que la intensidad en una onda esférica satisface:

$$I = I_0 \frac{r_0^2}{r^2}$$

donde I_0 es la intensidad a una distancia r_0 del centro de la fuente.
Comparando con la intensidad de una onda plana lineal vemos que la función de onda para una onda esférica debe ser:

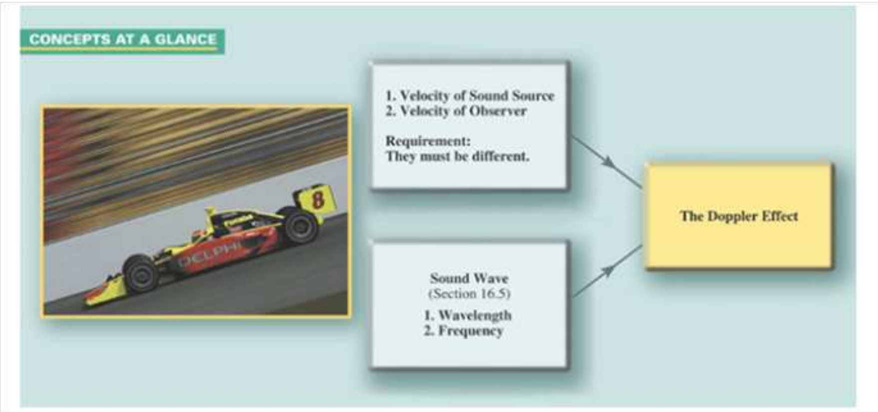
$$\psi(r,t) = \frac{s_0}{r} sen(kr - \omega t)$$

Si estamos muy lejos de la fuente y miramos una sección pequeña del frente de onda, el frente de onda es un plano. Se trata de una onda plana.
Para una onda plana se tiene que:

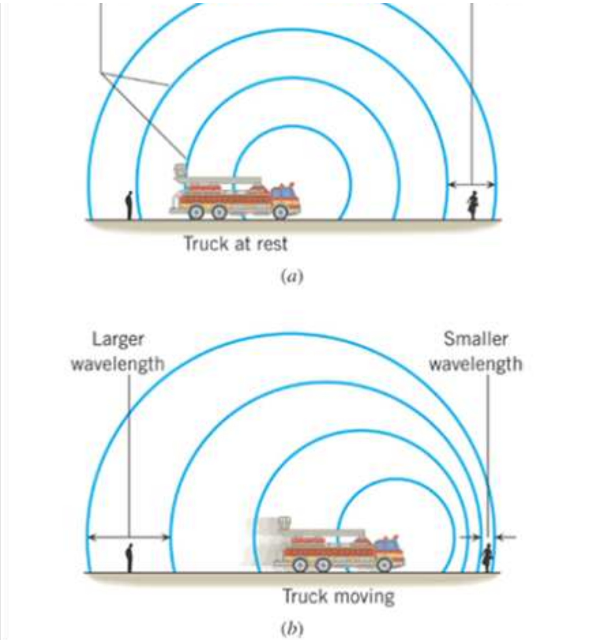
$$\psi(x,t) = A\,sen(kx - \omega t)$$

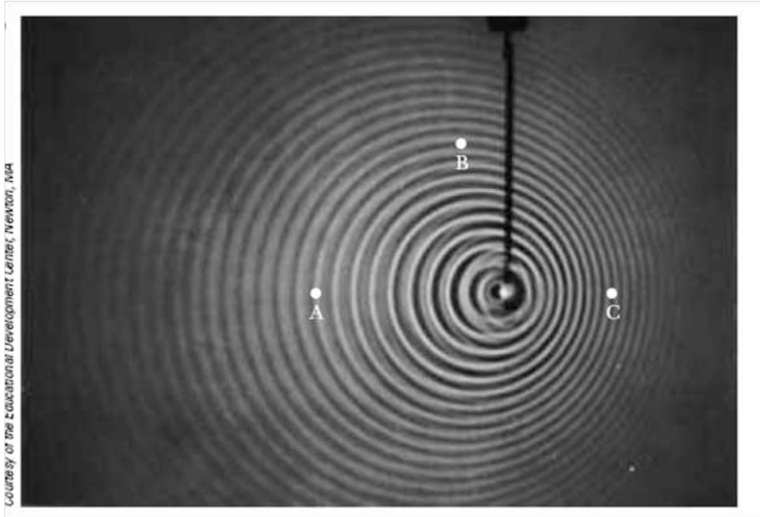
En este caso la onda se propaga en la dirección del eje x.

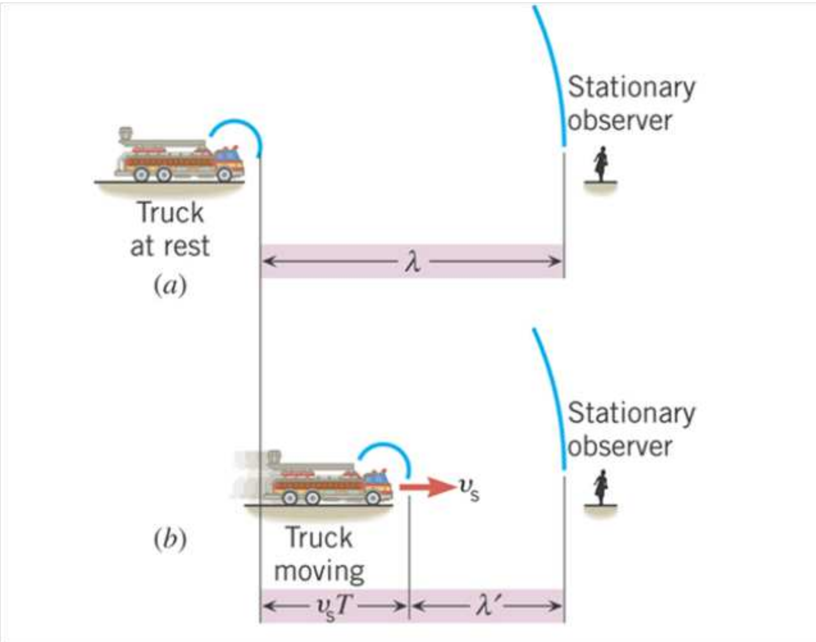
3 El Efecto Doppler, 1842

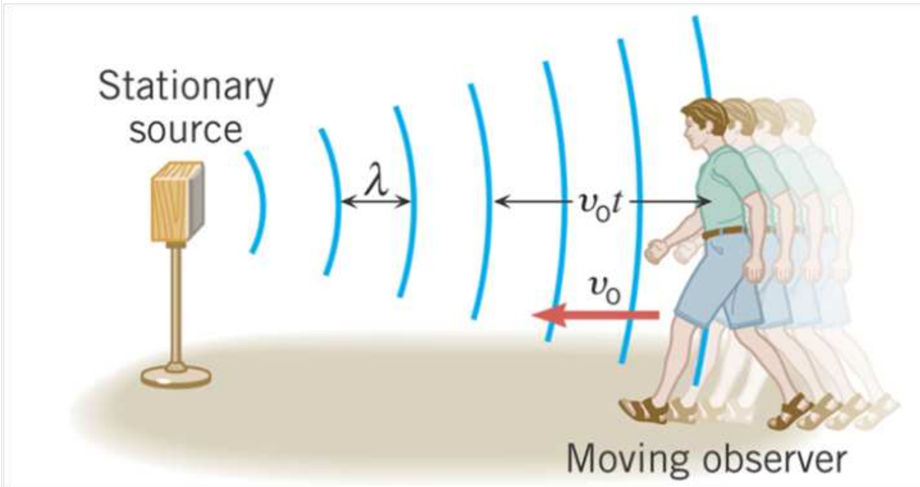


Si te sitúas en una carretera y escuchas la bocina de un auto que se acerca hacia tí notarás un cambio abrupto de frecuencia cuando el auto cruza frente a tí. Al acercarse, la bocina suena más aguda (mayor frecuencia) de lo que serí a de estar el auto en reposo. Al alejarse se produce el efecto contrario: La frecuencia disminuye. Esto es el efecto Doppler.


Truck at rest
(a)
Larger wavelength
Smaller wavelength
Truck moving
(b)


B
A
C


Stationary observer
Truck at rest
(a)
λ
Stationary observer
(b)
v_s
Truck moving
v_sT
λ′


Stationary source
λ
v_0t
v_0
Moving observer

La velocidad del sonido en el aire es u.
Podemos distinguir dos situaciones:
1) La fuente(F) fija en el sistema de referencia en que el aire está en reposo y el observador(O) acercándose con velocidad v. Para simplificar el análisis, supondremos que O se acerca a F en línea recta.
En este caso la longitud de onda λ no cambia, pero O percibe una frecuencia mayor, dada por

$$\bar{\nu} = \frac{(u+v)}{\lambda}$$

Dado que$\lambda\nu = u$, se tiene:

$$\bar{\nu} = \nu\frac{(u+v)}{u}$$

Si O se aleja de la fuente v es negativo y la frecuencia disminuye.
2) O en reposo respecto al aire y F acercándose a O con velocidad v. En este caso,

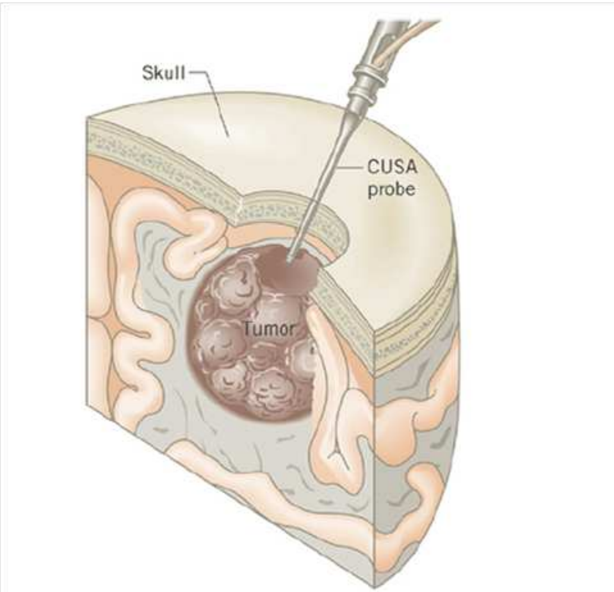
$$\bar{\lambda} = \lambda - vT$$

o

$$\bar{\nu} = \nu\frac{u}{u-v}$$

Si F se aleja de O v es negativo y la frecuencia disminuye.
Notar que para u=v, estas expresiones presentan una singularidad. Algo debe pasar cuando la fuente alcanza la velocidad del sonido en el aire.

3.1 Algunas Aplicaciones



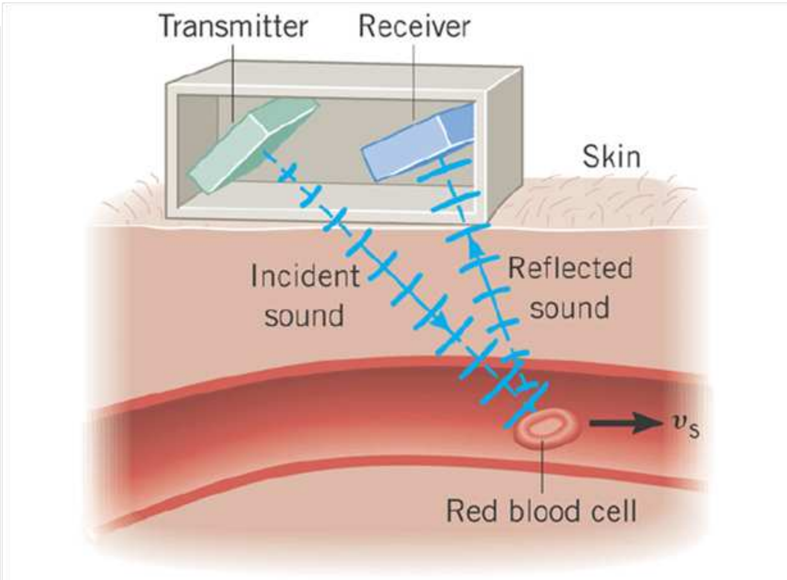


Figure 16-36 A Doppler flow meter measures the speed of red blood cells.

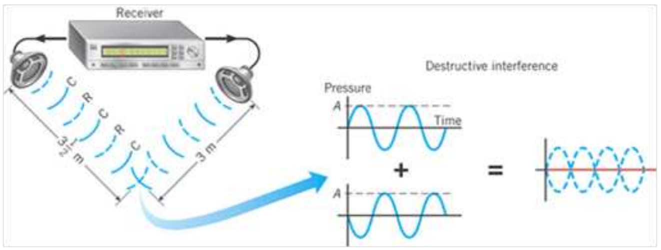
4 Ondas de Choque

En efecto, cuando v=u, se produce una onda de choque. El efecto es similar al cono producido por la proa de un bote que supera la velocidad de las olas en el mar.
La onda de choque est'a concentrada en un cono, con vértice en la fuente y ángulo en el v'ertice dado por:

$$s\,e\,n\theta = \frac{u}{v}$$

$\frac{v}{u}$ se llama el número de Mach y el frente de onda cónico que se produce para velocidades supersónicas se llama onda de choque.
Cuando un avión supera la velocidad del sonido en un aire se siente la onda de choque como una discontinuidad de la presión (sonido).

5 Interferencia



EJERCICIOS

Tres tubos de órgano de extremo cerrado producen sonido de frecuencias fundamentales 261.7 Hz, 293.7 Hz, y 329.7 Hz, respectivamente. Tomando como valor para la velocidad del sonido 343 m/s, encuentre la longitud de cada tubo.

Resp.: 0.3277 m, 0.2920 m, 0.2601 m.

21.- Un diapasón se hace vibrar sobre un tubo vertical abierto, lleno de agua. Se permite que el nivel del agua baje lentamente. A medida que baja el agua, el aire en el interior del tubo empieza a resonar con el diapasón cuando la distancia entre la boca del tubo y la superficie del agua es 0.125 m, y lo hace nuevamente cuando es 0.395 m. ¿Cuál es la frecuencia del diapasón?

Resp.: 635 Hz.

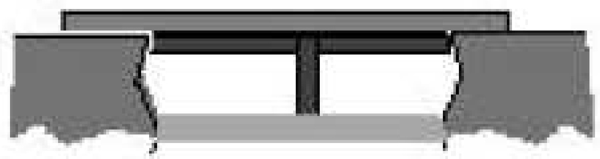
22.- Dos cuerdas de piano deberían vibrar a 132 Hz, pero al tocarlas simultánemente, un afinador percibe una pulsación cada 2.0 s. a) Si una de las cuerdas vibra a 132 Hz, ¿cuál será la frecuencia de la otra? ¿Hay sólo una respuesta? b) En qué porcentaje debe aumentar o disminuir la tensión para que ambas cuerdas queden afinadas?

Resp.: a) 155.5 Hz y 130.5 Hz, b) 2.3%.

23.- Un amplificador stéreo A tiene una potencia estimada de 250 W por canal, mientras que un amplificador B más modesto, tiene una potencia estimada de 40 W por canal. Calcule el nivel de intensidad en decibeles que se percibiría en un punto situado a 3 metros de un parlante conectado a uno de los amplificadores, y luego al otro.

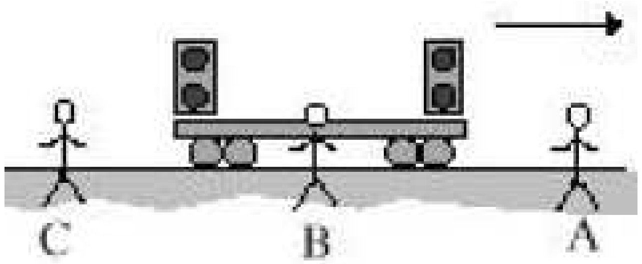
Resp.: 123 dB, 115 dB.

24.- Se observa que un puente que pasa sobre una carretera resuena con un ciclo completo cuando un pequeño terremoto sacude el suelo verticalmente a 3.0 Hz. La compañía encargada del mantenimiento de la carretera coloca un pilar de apoyo justo en el centro del puente, anclándolo al suelo. a) ¿Qué frecuencia resonante se espera tendrá ahora el puente? b) Si los terremotos raramente producen sacudidas con frecuencias superiores a 5 ó 6 Hz, ¿fué útil la modificación de la estructura?



Resp.: a) 6.0 Hz, b) si.

25.- Dos parlantes están colocados en los extremos opuestos de un carro de tren, en el momento que éste pasa a 10 m/s por una estación en que se encuentra un observador estacionario. Si ambos parlantes emiten sonido con frecuencia 200 Hz, ¿cuál será la frecuencia de pulsación que escuchada por el observador cuando se encuentra a) en la posición A de la figura, antes que pase el carro, b) en la posición B, entre los dos parlantes, c) en la posición C, luego de haber pasado el carro.



Resp.: a) 0, b) 12 Hz, c) 0.

26.- Dos parlantes se colocan uno frente al otro separados 20 m. Ambos producen sonido con idéntica frecuencia, amplitud y fase, y con longitud de onda 0.5 m. Describir cualitativamente los máximos y mínimos de intensidad que deberían oirse al caminar con velocidad v_0 en términos de un fenómeno interferencial que conduce a ondas estacionarias, y b) las pulsaciones entre las frecuencias de desplazamiento Doppler recibidas en los parlantes.

Resp.: b) $\mathrm{n_b} = \mathrm{n_s}(2\mathrm{v_o}/\mathrm{v_s}) = \mathrm{v_o}/(0.25\ m)$.

27.- Suponga que una fuente de sonido de frecuencia n_f se mueve con velocidad v_f respecto de un observador en reposo. La dirección de v_f está en ángulo instantantáneo a respecto de la dirección entre la fuente y el observador. a) Encuentre la longitud de onda l que percibe el observador. b) Encuentre la frecuencia no que percibe el observador, ambas como función de a, n_f, v_f y v_s, la velocidad del sonido.

Resp.: a) , b)

8.- Un altoparlante genera en un concierto rock 10-2 W/m^2 de potencia acústica, medidos a 20 m de distancia y a una frecuencia de 1 kHz. Suponiendo que el parlante emite igualmente en todas direcciones y que no hay reflexiones de sonido, a) ¿Cuál es el nivel de intensidad a los 20 m?, b) ¿Cuál es la potencia acústica total emitida por el parlante?, c) ¿A qué distancia del parlante se alcanzará el umbral de dolor de 120 dB?, d) ¿Cuál es el nivel de intensidad a 30 m del parlante?

Resp.: a) 100 dB, b)25.1 W, c) 2 m, d) 96.5 dB.