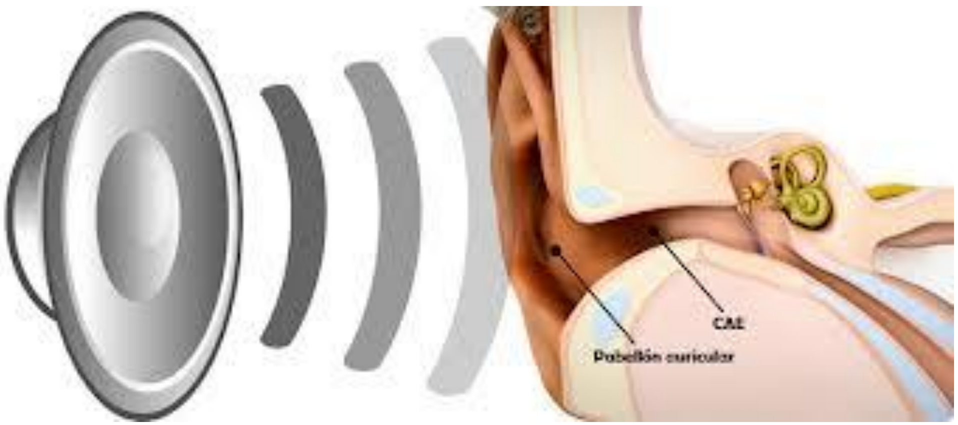
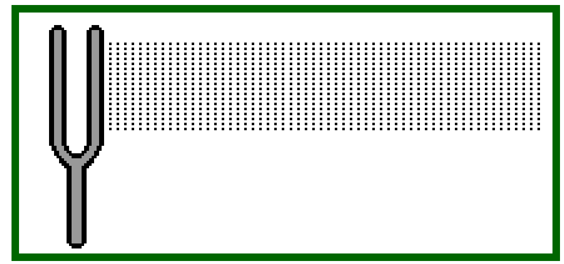
FÍSICA I – 2014

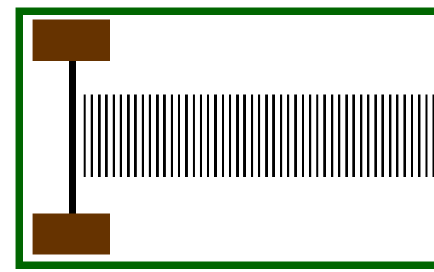
CLASE 18

Ondas sonoras

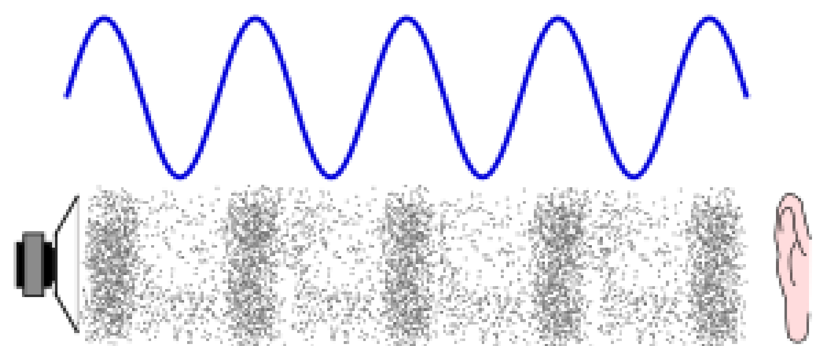
Están constituidas por ondas longitudinales de compresión y expansión en un medio gaseoso, líquido o sólido.







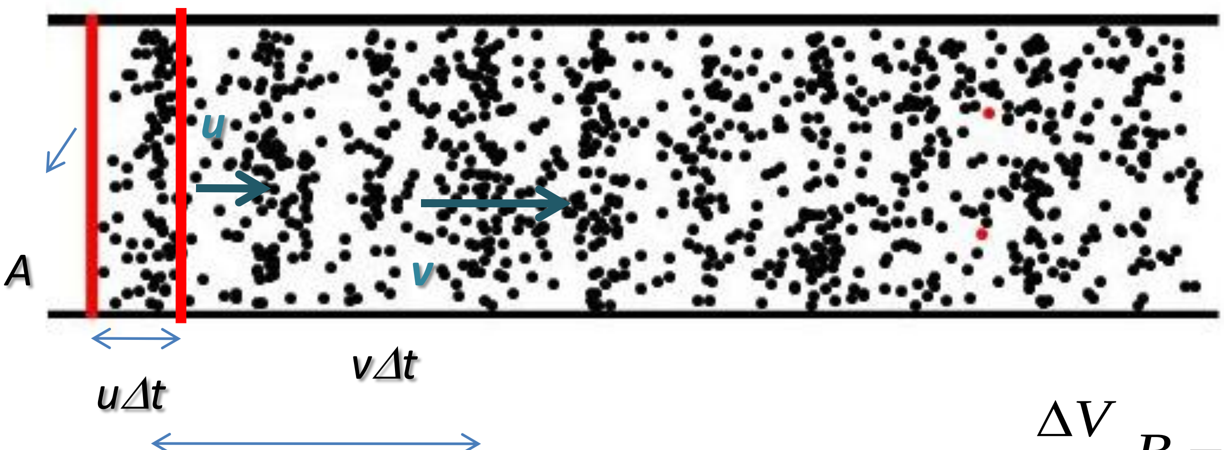
Las funciones de onda pueden ser descriptas bien por el desplazamiento longitudinal: *s(x±vt)*; o por ondas de presión *p(x±vt)*



http://web.educastur.princast.es/

Ondas sonoras

Un fluido de densidad δ, que se comprime por la acción de un pistón. Sufre una variación de presión ΔP en un intervalo de tiempo Δt:



¿Cómo se genera el pulso?

$$I = F\Delta t = \Delta P A \Delta t$$

$$\Delta p = \Delta m u = \delta \Delta V u = \delta A v \Delta t u$$

$$I = \Delta p$$

$$\Delta P A \Delta t = \delta A v \Delta t u$$

$$\Delta P = \delta v u; \quad \Delta P = -\frac{\Delta V}{V} B$$

$$-\frac{\Delta V}{V} B = \delta v u = -\frac{A u \Delta t}{A v \Delta t} B$$

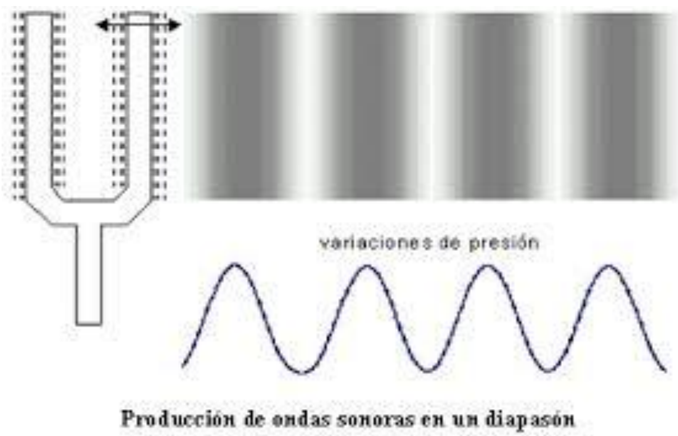
$$\frac{u}{v} B = \delta v u \Rightarrow \boxed{v^2 = \frac{B}{\delta}}$$

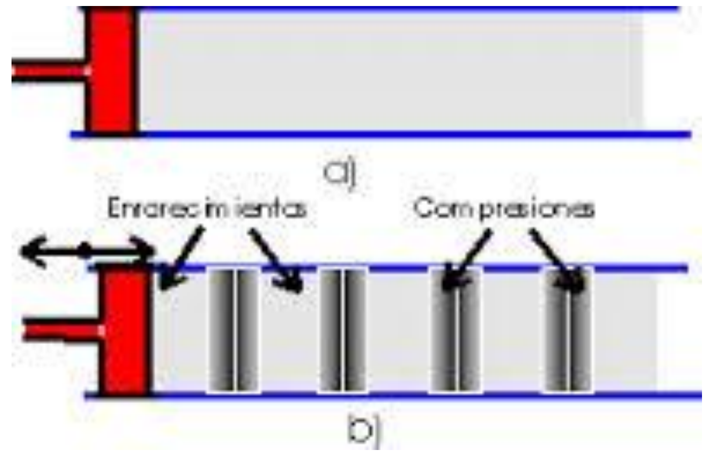
Es la *velocidad de propagación del sonido.*

En un gas: $v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$

Ondas sonoras armónicas

Si la excitación es tal que las partículas del aire se mueven son M.A.S.:



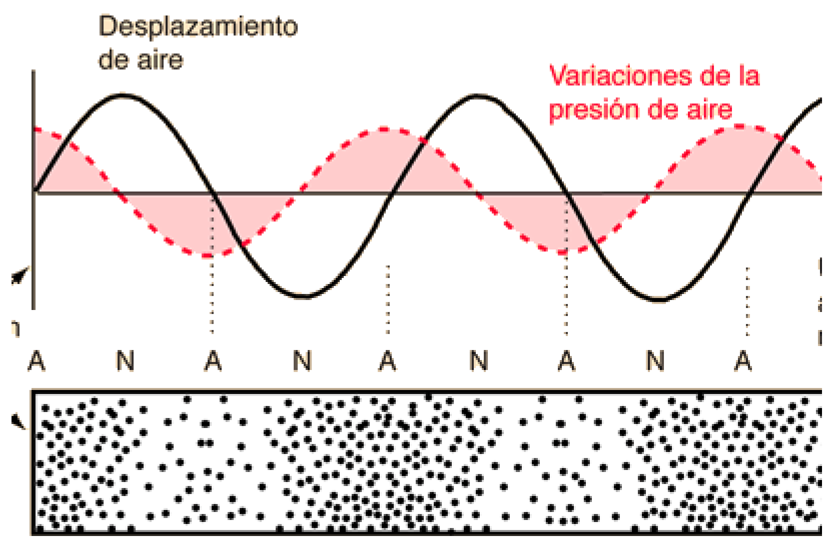


$$p = p_0 sen(kx - \omega t)$$

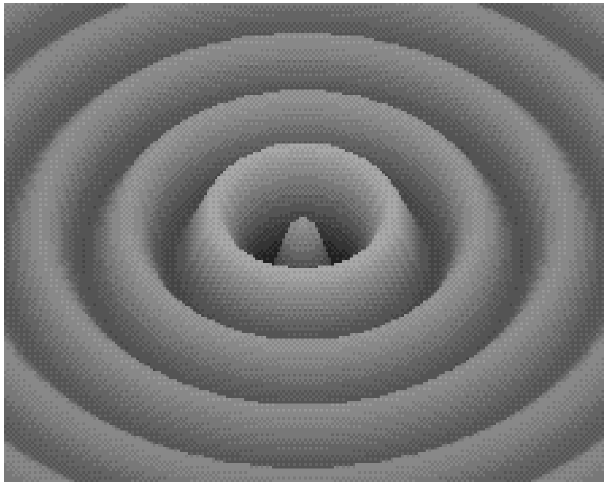
$$s = s_0 sen(kx - \omega t + \pi / 2)$$

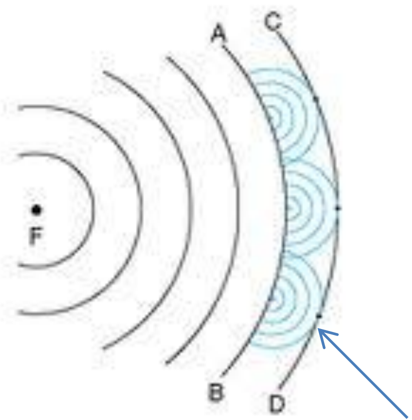
$$p_0 = \delta \omega v s_0$$

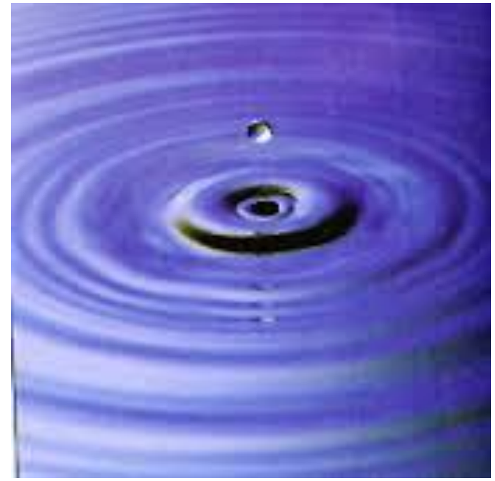
Las ondas de presión y de desplazamiento están desfasadas en $\pi/2$.



Ondas en tres dimensiones







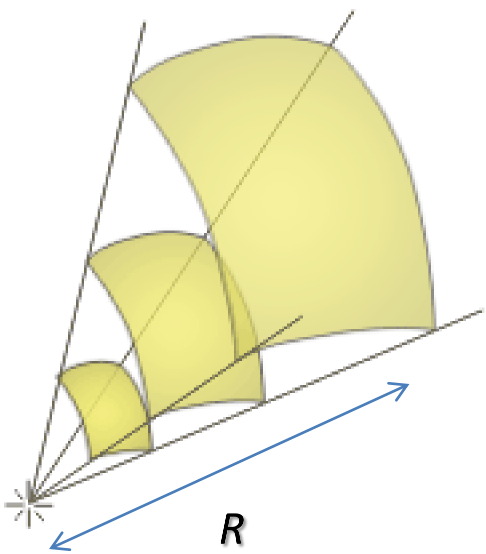
Frente de onda

La intensidad es la potencia transmitida por unidad de área:

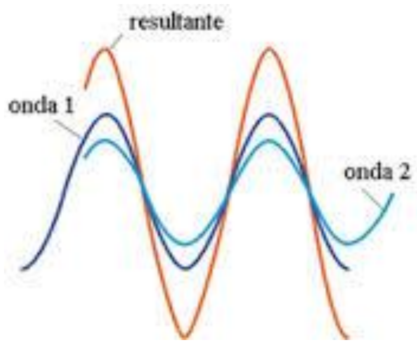
$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2}$$

$$[I] = \frac{watts}{m^2}$$

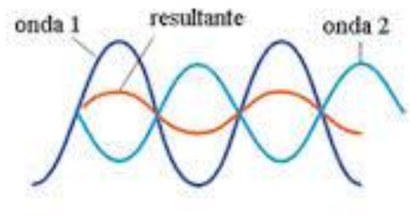
La intensidad disminuye con la inversa del cuadrado de la distancia a la fuente.



Superposición e interferencia de ondas armónicas



Constructiva



destructiva

La superposición de ondas armónicas se denomina *interferencia*. La interferencia dependerá de la *diferencia de fases* entre las ondas.

$$y_1(x,t) = Asen(kx - \omega t)$$

$$y_2(x,t) = Asen(kx - \omega t + \phi)$$

$$y_1(x,t) + y_2(x,t) = Asen(kx - \omega t) + Asen(kx - \omega t + \phi)$$

$$Si\,\phi = 0; y_1(x,t) + y_2(x,t) = 2Asen(kx - \omega t)$$

Interferencia Constructiva

$$Si\,\phi = \pi \Rightarrow y_1(x,t) + y_2(x,t) = 0$$

Interferencia Destructiva

Para una diferencia de fase ϕ cualquiera:

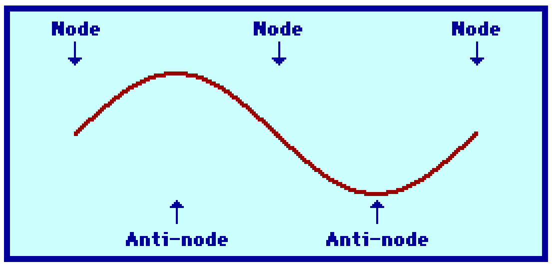
$$\theta_1 = kx - \omega t; \theta_2 = kx - \omega t + \phi$$

$$sen\,\theta_1 + sen\,\theta_2 = 2\cos 1/2(\theta_1 - \theta_2) sen 1/2(\theta_1 + \theta_2)$$

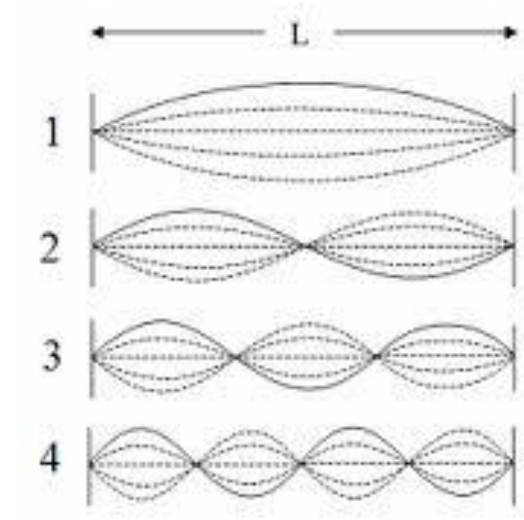
$$\boxed{y_1(x,t) + y_2(x,t) = 2A\cos\phi/2 \quad sen(kx - \omega t + \phi/2)}$$

Ondas estacionarias

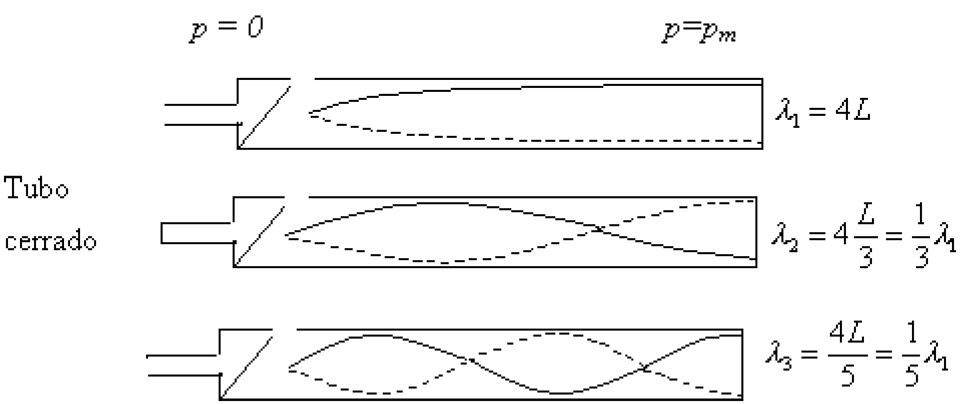
Cuando las ondas están confinadas en el espacio, como las cuerdas en un instrumento musical, se producen reflexiones en los extremos que dan lugar a *fenómenos de interferencia*.

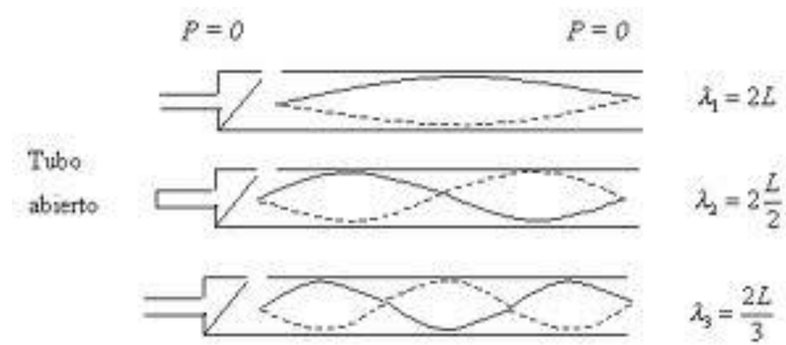


Modo fundamental y armónicos



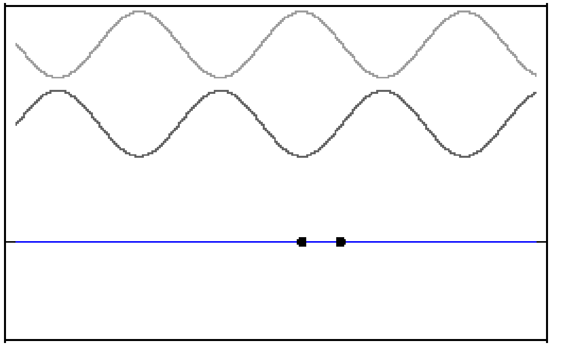
Existen ciertas frecuencias para las cuales la superposición da un esquema vibratorio estacionario, denominado *onda estacionaria*.





Ondas estacionarias

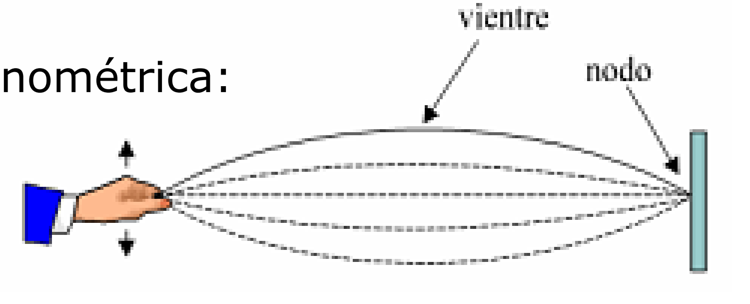
Una onda estacionaria es el resultado de la superposición de dos movimientos ondulatorios armónicos de igual amplitud y frecuencia que se propagan en sentidos opuestos a través de un medio.



$$y_1(x,t) = Asen(kx - \omega t)$$

$$y_2(x,t) = Asen(kx + \omega t)$$

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t) = Asen(kx - \omega t) + Asen(kx + \omega t)$$



Renombrando variables y usando la identidad trigonométrica:

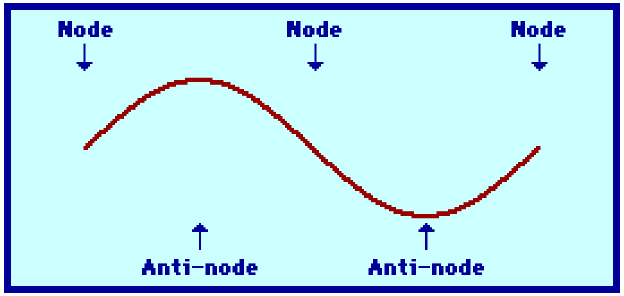
$$\theta_1 = kx - \omega t; \theta_2 = kx + \omega t$$

$$sen\,\theta_1 + sen\,\theta_2 = 2\cos 1/2(\theta_1 - \theta_2) sen 1/2(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\boxed{y(x,t) = 2A\cos(\omega t) sen(kx)}$$

Ecuación de onda estacionaria. Las variables ***x*** y ***t*** están separadas.

Ondas estacionarias



$$y(x,t) = 2A\cos(\omega t)sen(kx)$$

- No es una onda viajera, ya que no tiene el término *($kx \pm \omega t$)*, sino que cada punto de la cuerda vibra con una frecuencia angular ω y con una amplitud *2A sen(kx).*

- La amplitud puede alcanzar distintos valores según la posición, *x*, del punto. Algunos puntos tendrán amplitud cero y no vibrarán nunca (puntos estacionarios): son los llamados *nodos*. Estos puntos tienen una amplitud mínima, *2A sen(kx)=0,* por lo que $kx=n\pi$ siendo *n* =1, 2, 3, ... ($k=2\pi/\lambda$), o bien, $x = \lambda/2, \lambda, 3\,\lambda/2$, ... La distancia entre dos nodos consecutivos es media longitud de onda, $\lambda/2$.

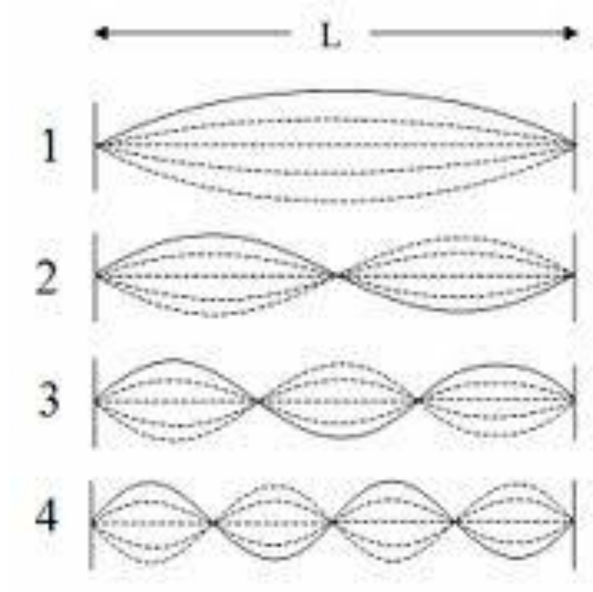
- Los puntos que pueden alcanzar un máximo de amplitud igual a "*2A*" sólo pueden hacerlo cada cierto tiempo, cuando *cos(ω t)* sea igual a 1.

Ondas estacionarias

Cuerda fija en ambos extremos:

$$y(x,t) = 2A\cos(\omega t)sen(kx)$$

Se deben cumplir las *condiciones de contorno*:



$$y(0,t) = 0 \wedge y(L,t) = 0$$

$$y(0,t) = 2A\cos(\omega t)sen(k0) = 0$$

$$y(L,t) = 2A\cos(\omega t)sen(kL) = 0 \Rightarrow senkL = 0$$

$$k_n L = n\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda_n} L = n\pi \Rightarrow \lambda_n = {}^{2L}\!/_{n}$$

$$\boxed{f_n = \frac{nv}{2L}}; n = 1,2,3..$$

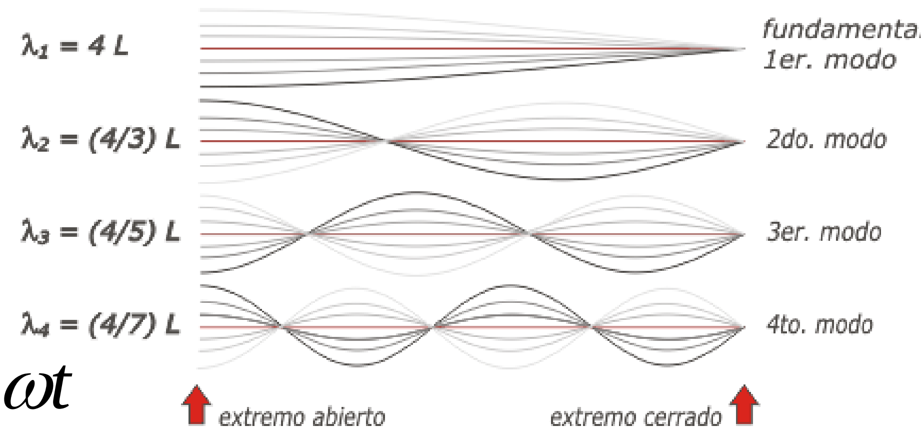
Modo fundamental y armónicos

Coincide con la condición de la onda de presión en un tubo abierto

Ondas estacionarias

Cuerda fija en un solo extremo:

$$y(x,t) = 2A\cos(\omega t)sen(kx)$$



Se deben cumplir las *condiciones de contorno*:

$$y(0,t) = 0 \wedge y(L,t) = 2A\cos\omega t$$

$$y(0,t) = 2A\cos(\omega t)sen(k0) = 0$$

$$y(L,t) = 2A\cos(\omega t)sen(kL) = 2A\cos(\omega t) \Rightarrow senkL = 1$$

$$k_n L = (2n+1)\frac{\pi}{2} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda_n} L = (2n+1)\frac{\pi}{2} \Rightarrow \lambda_n = 4L/(2n+1)$$

$$\boxed{f_n = \frac{(2n+1)v}{4L}}; n = 0,1,2,3..$$

Modo fundamental y armónicos

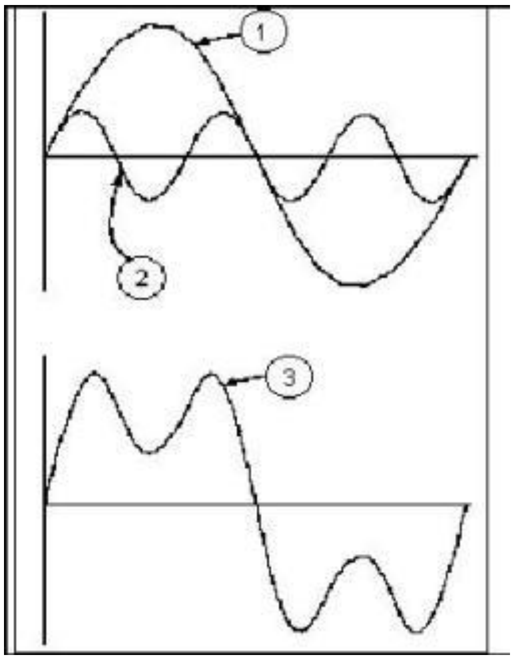
Coincide con la condición de la onda de presión en un tubo semi-abierto

Superposición de ondas estacionarias

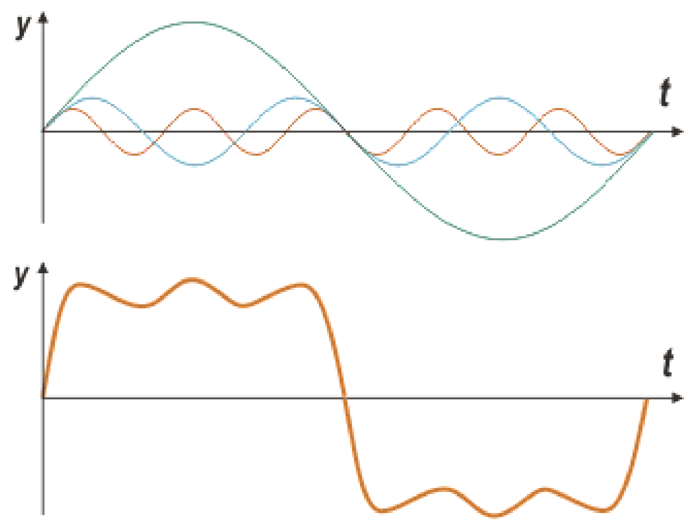
Em gral. un sistema vibrante no vibra con un solo armónico aislado, sino que lo hace con una superposición de todos. Con amplitudes diferentes. La expresión más general:

$$y(x,t)=\sum_n 2A_n\cos(\omega_n t+\delta_n)sen(k_n x)$$

Amplitudes, constantes *Condiciones iniciales*



Superposición del fundamental y tercer armónico



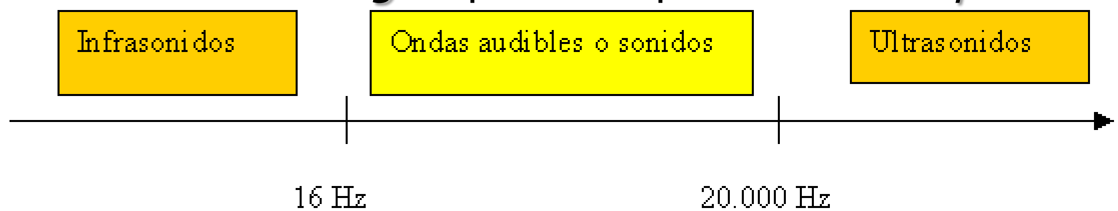
Superposición del fundamental, segundo y tercer armónico

Características del sonido

Desde el punto de vista de la percepción del sonido por el ser humano los sonidos se caracterizan por su *intensidad*, *tono* y *timbre*.

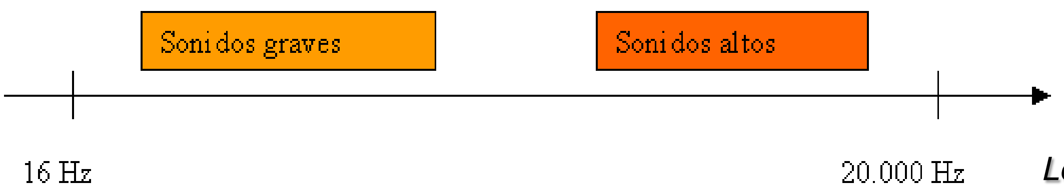
Intensidad

La intensidad o el volumen es la cualidad que nos permite clasificar los sonidos en fuertes o débiles y esta relacionada directamente con la magnitud física *Intensidad de la onda* que es la cantidad de *energía* que transporta la onda *por unidad de superficie y unidad de tiempo*.



Tono

El tono es una cualidad del sonido que nos permite clasificar los sonidos en altos y graves y está relacionada principalmente con la *frecuencia fundamental.* Los sonidos graves son los de frecuencia baja y los sonidos altos son los de gran frecuencia.



Mayor T, mayor f_0

$$f_0 = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Rodear cuerdas con alambre

Longitud de la cuerda: violín, viola, violoncello, piano

Timbre

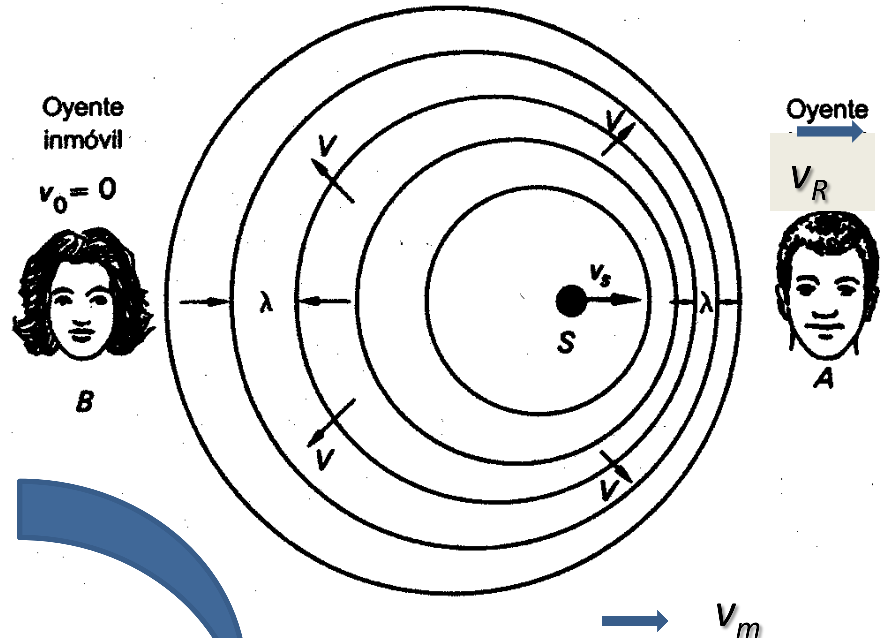
El timbre nos permite distinguir dos sonidos de la misma intensidad y la misma frecuencia. Por ejemplo nos permite distinguir el sonido de una trompeta y un violín aunque emitan la misma nota con la misma intensidad.

Depende del número de armónicos y sus amplitudes.

Efecto Doppler

Cuando un foco sonoro, un observador o ambos están en movimiento respecto del aire, la frecuencia del sonido recibido por el observador es diferente al caso en que ambos se encuentren en reposo. → *Efecto Doppler*

Sea un foco que emite ondas sonoras con f_0, consideremos un sistema de referencia fijo al que se refieren todas las velocidades.



Para la fuente emisora:

$(V + v_m)t$ — *Distancia que avanza la onda en t.*

$N = f_0 t$ — *Número emitido de ondas en t*

$(V + v_m)t - v_s t$ — *Distancia entre dos frentes de onda.*

$$\lambda = \frac{(V + v_m)t - v_s t}{f_0 t} \Rightarrow \lambda = \frac{V + v_m - v_s}{f_0}$$

Para el receptor:

$V + v_m - v_R$ — *La velocidad de las ondas según el receptor*

$$f' = \frac{v'}{\lambda}$$ *La frecuencia percibida por el receptor*

$$\boxed{f' = \frac{V + v_m - v_R}{V + v_m - v_s} f_0}$$

Sensación sonora y nivel de intensidad

La intensidad transmitida:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{1}{2}\frac{p_0^2}{\delta v}$$

$$[I] = \frac{watts}{m^2}$$

El oído humano tiene un umbral de audición de 10^{-12} watts/m^2 y un umbral de dolor de 1watt/m^2, que corresponden a presiones de 3×10^{-5} y 30 Pa, respectivamente.

Se suele utilizar una escala logarítmica

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12} \, watts / m^2$$

$$\beta = 10 \log \frac{I_0}{I_0} = 0db$$ *umbral de audición*

$$\beta = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 10 \log 10^{12} = 120db$$ *umbral de dolor*

- *Conversación en voz baja: 30db*
- *Tráfico denso: 70db*
- *Ruido de consrucción: 110db*