TEMA 9

MOVIMIENTO ONDULATORIO

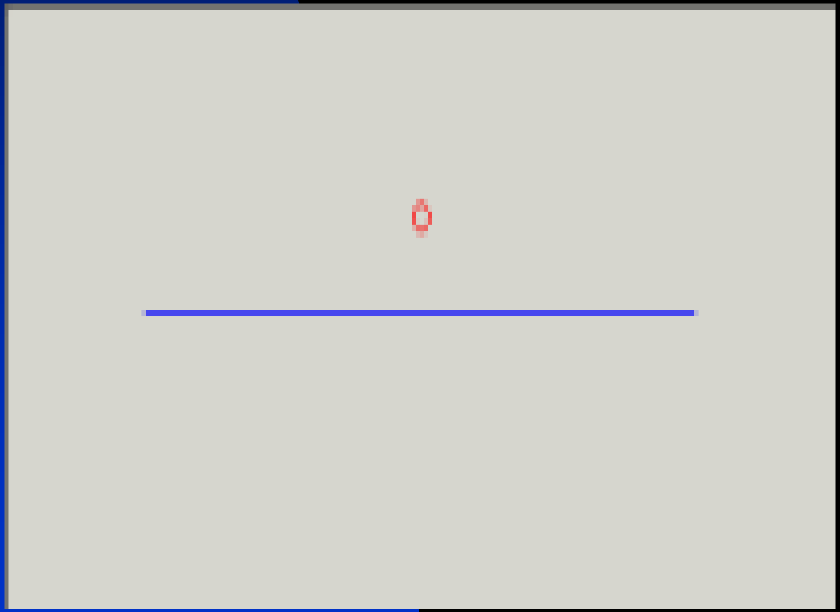
Objetivos específicos:

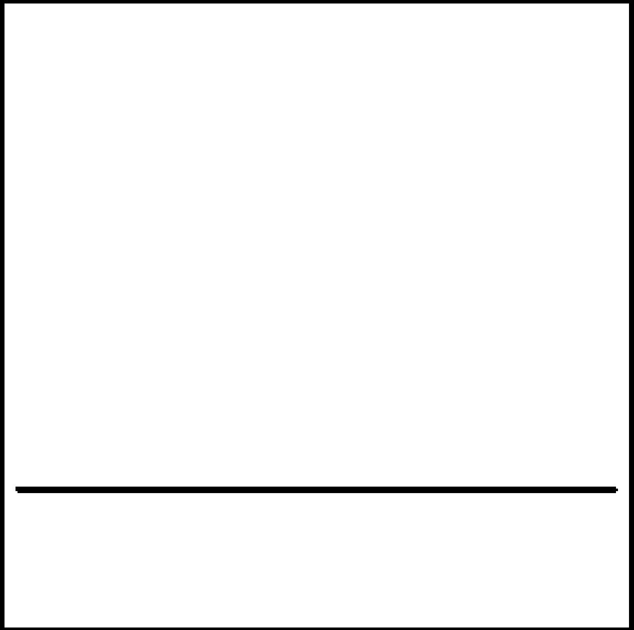
Que el alumno logre:

- Identificar las características fundamentales del movimiento ondulatorio.
- Distinguir y ejemplificar correctamente las ondas longitudinales y las transversales.
- Reconocer las variables que inciden en la velocidad de propagación de las ondas longitudinales y transversales.
- Identificar las variables que caracterizan a un sonido.
- Predecir la frecuencia aparente de un sonido.

Onda

- Es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio material o incluso en el vacío.





Clasificación según su naturaleza

- ONDAS MECÁNICAS
- ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

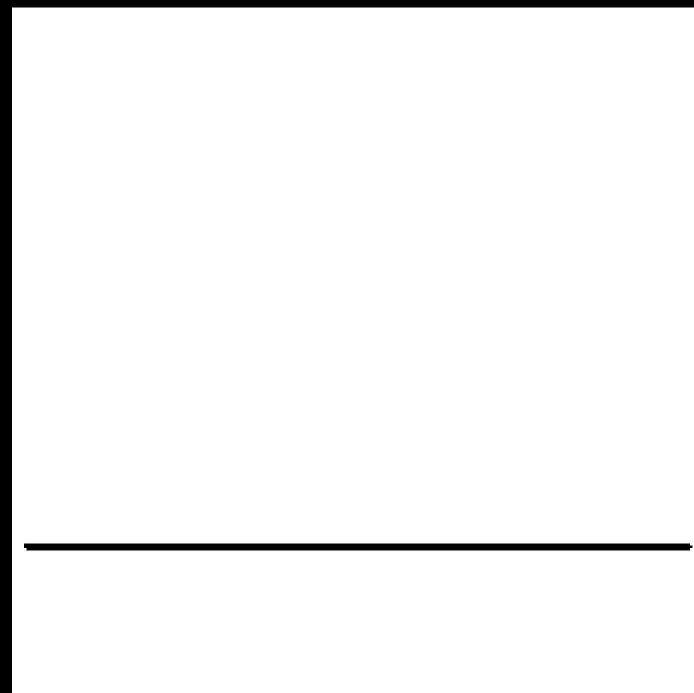
Clasificación según cómo se generan

- **ONDAS PERIÓDICAS**
  - **Armónicas**
    - **Cosenoidales**
    - **Senoidales**
- **NO PERIÓDICAS.**

Clasificación según su propagación

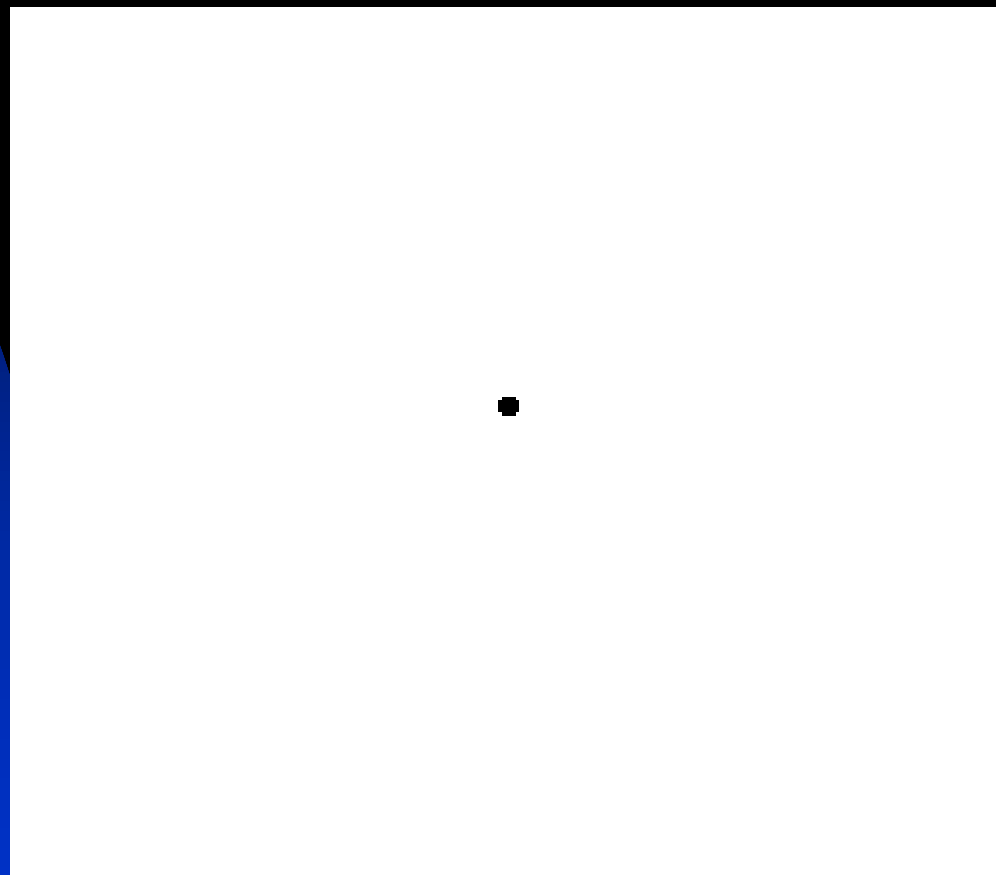
- Ondas unidimensionales
- Ondas bidimensionales o superficiales
- Ondas tridimensionales o esféricas

Ondas unidimensionales

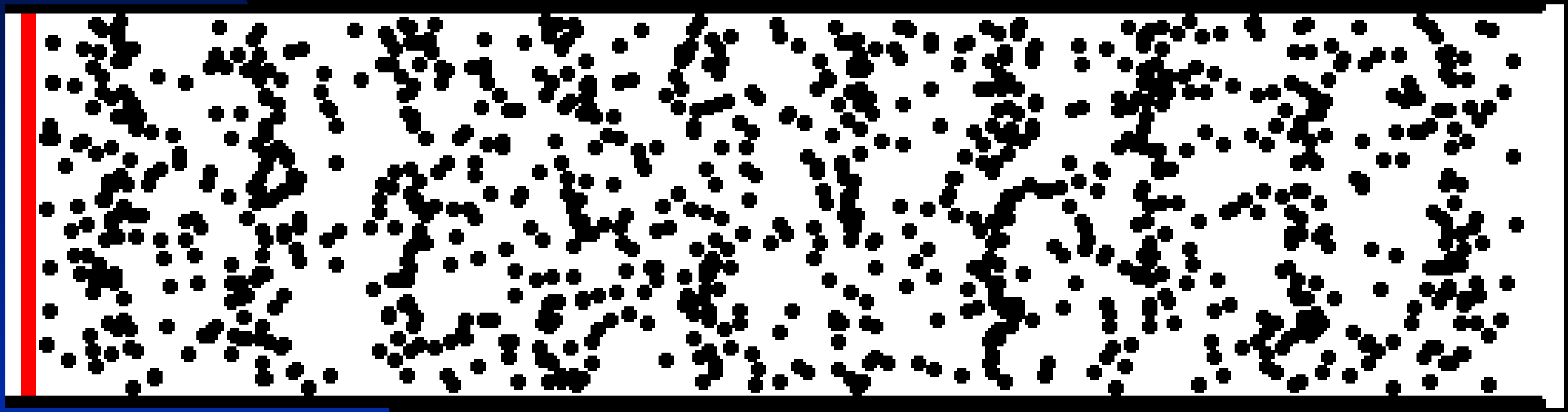


Ondas bidimensionales

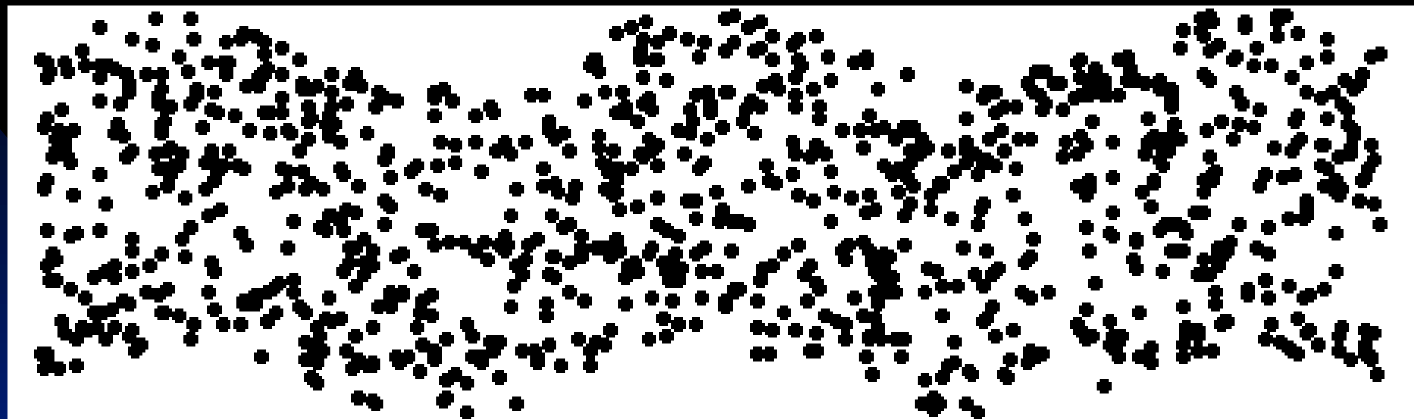
Ondas tridimensionales

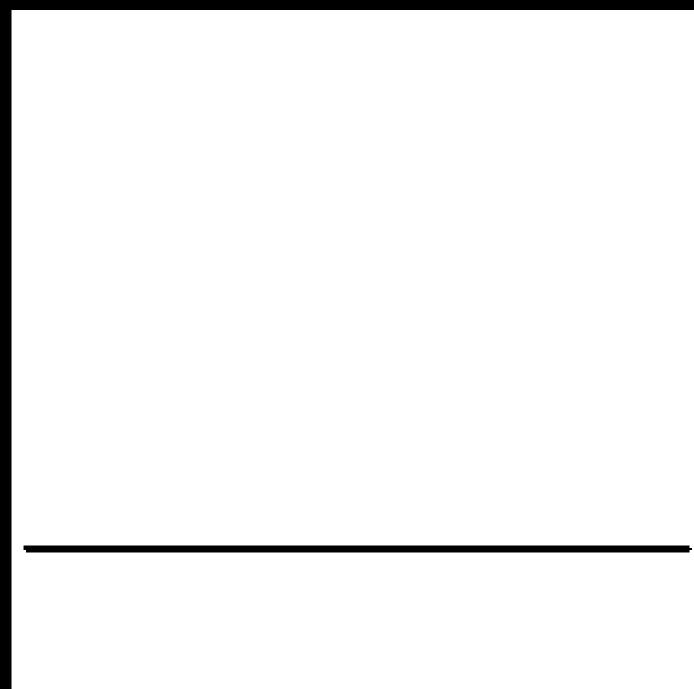


Ondas longitudinales



Ondas transversales





Clasificación según el Sentido de propagación de la onda

- *Progresivas o viajeras,* transportan energía y cantidad de movimiento desde el origen a otros puntos del *entorno;*
- *Estacionarias,* no transmiten energía pero si intercambian energías cinética y potencial en sus elongaciones.

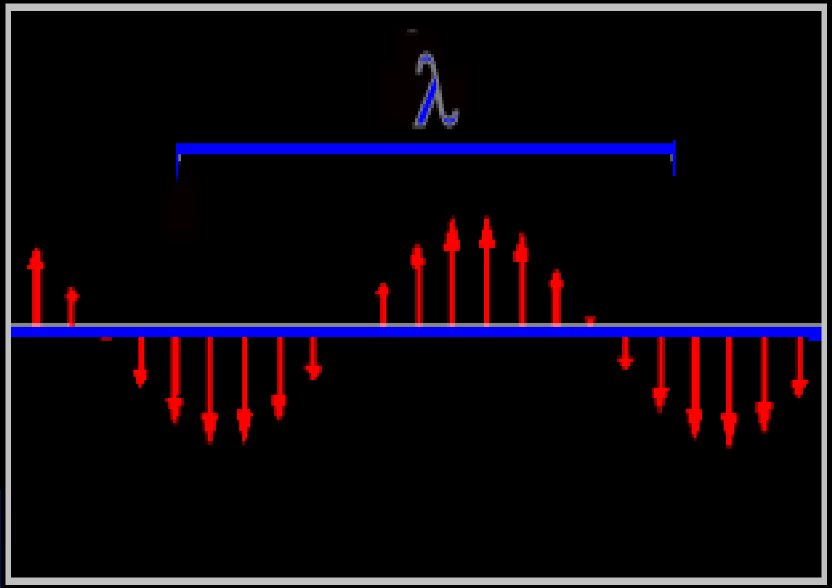
Clasificación

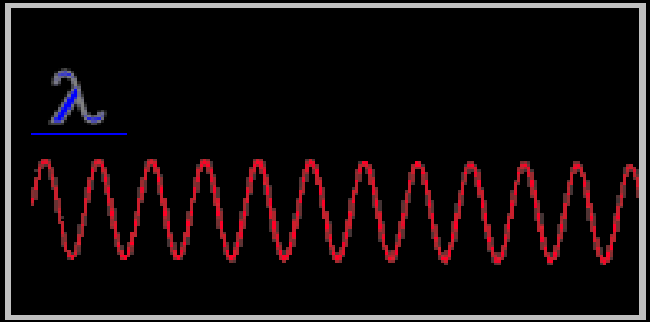
- **Ondas**
  - **Mecánicas**
    - **Necesitan medio de propagación**
      - **Longitudinales**
      - **Transversales**
  - **Electromagnéticas**
    - **No Necesitan Medio de propagación**
      - **Transversales**

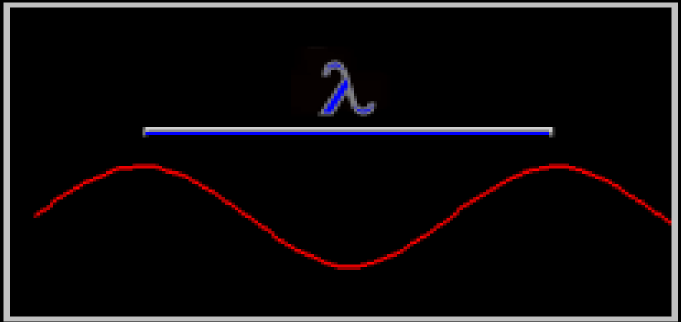
Parámetros característicos de una onda

- **Longitud de onda (λ)**
- **Frecuencia (f) ; (υ)**
- **Período**
- **Velocidad de propagación**
- **Amplitud**

Longitud de Onda (λ)







Frecuencia (f)

- Es el número de ondas que se producen en la unidad de tiempo.
- Dimensión: $[T^{-1}]$
- Unidades:

$$1/s = 1 \text{ Hertz (Hz)}.$$

Periodo T

- Es el tiempo en que se produce un onda completa.

$$T = 1/f$$

- Dimensión: [T]
- Unidades: s

- La longitud de onda y la frecuencia de cada onda están relacionadas por:

$$\lambda . f = v$$

Donde v es la velocidad de propagación en el medio

Por lo que

$$\lambda = v / f$$

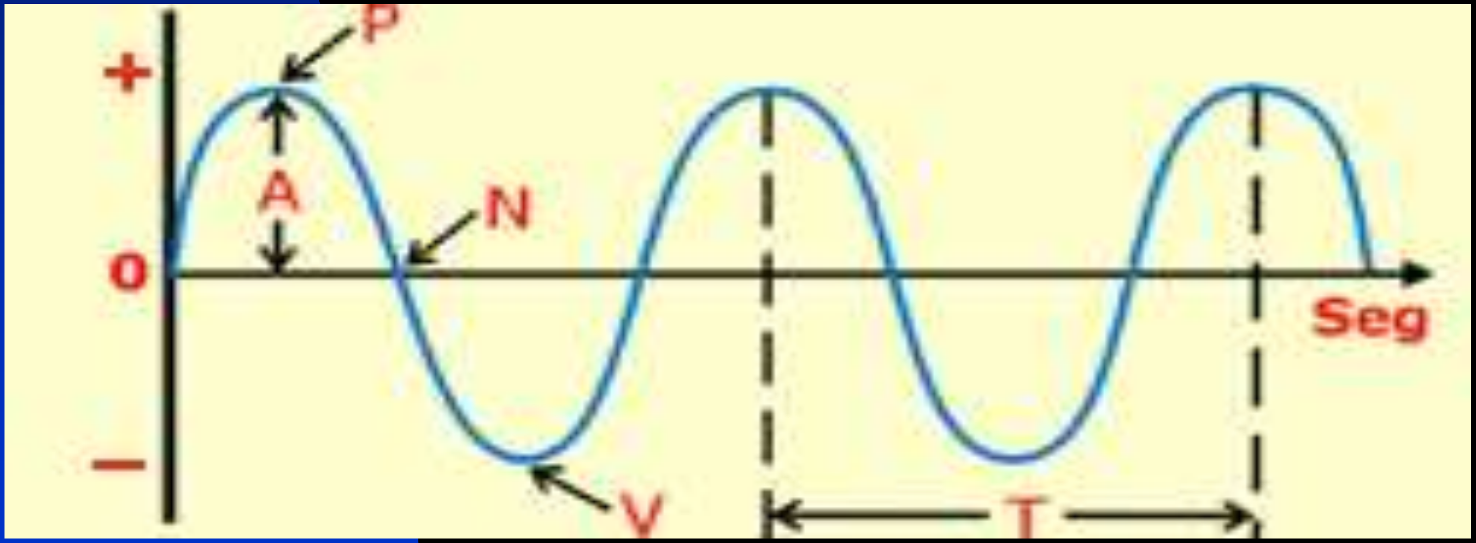
O bien $$f = v / \lambda$$

y $$T = \lambda / v$$

Amplitud

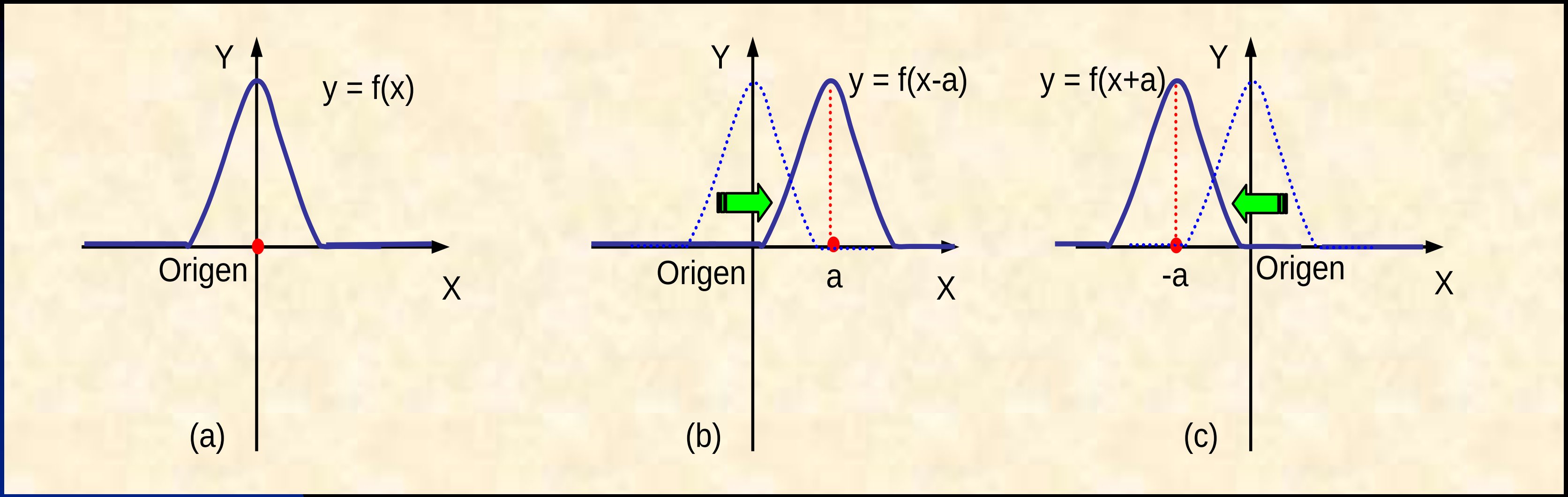
- **La amplitud constituye el valor máximo que puede alcanzar la cresta o pico de una onda.**

$$I \propto A^2$$



Toda onda transporta energía de un lugar a otro del espacio

Ecuación de la onda



Función para t = 0

Función "desplazada" a la (b) derecha, (c) izquierda.

$$y = f(x)$$

$$y(x,t) = f(x - vt).$$

$$y(x,t) = f(x + vt).$$

En general será:

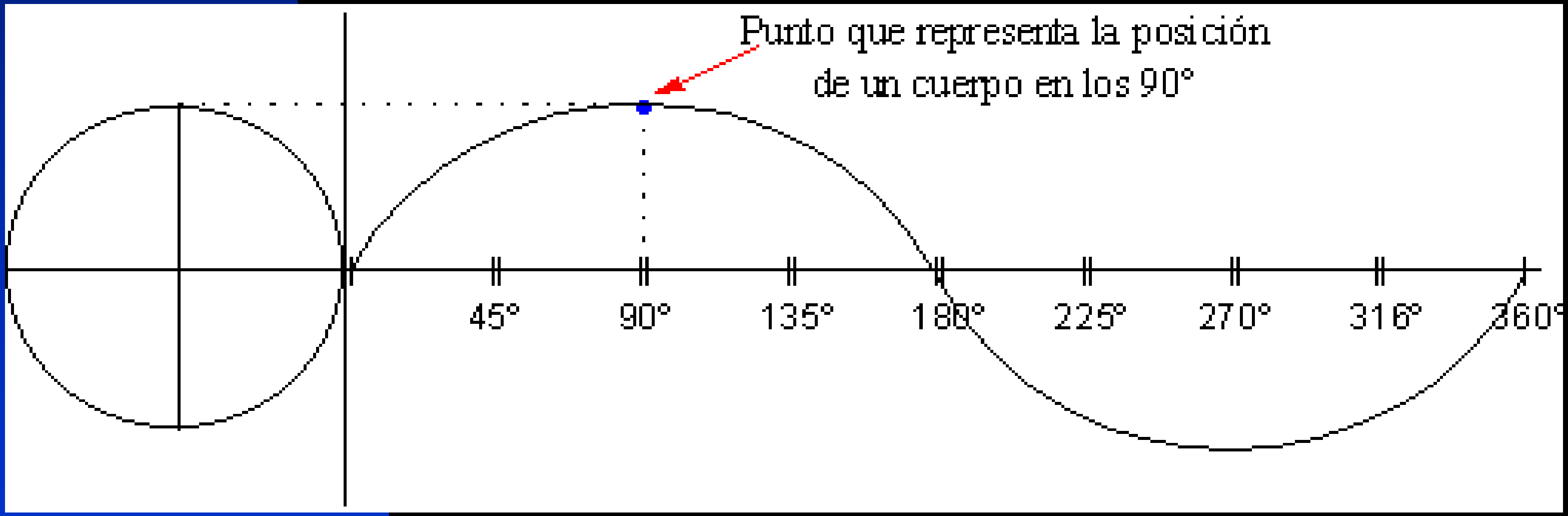
$$y(x,t) = f(x \pm v\,t)$$

Ecuación de un tren de ondas armónicas

Para $t = 0$

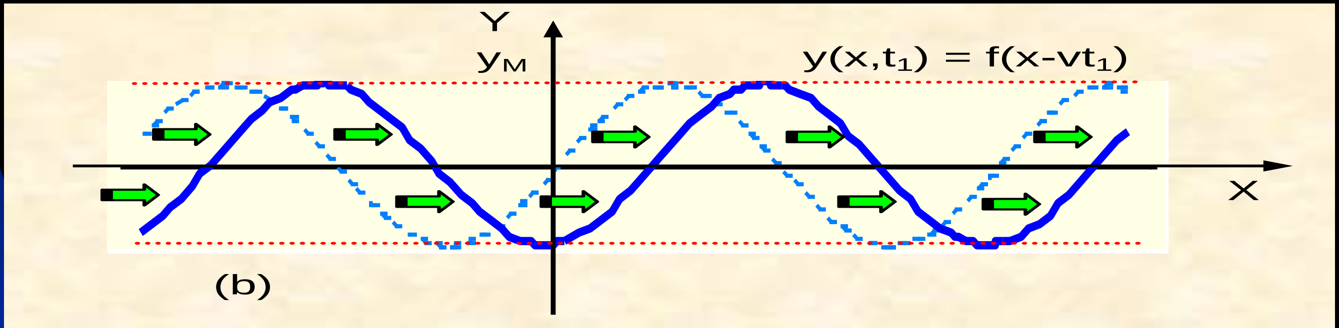
$$y(x,t) = f(x) = Y_M \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) = Y_M \operatorname{sen}(kx)$$

donde $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$. número de ondas, representa el número de λ que hay en la longitud 2π



La función de la onda desplazándose hacia la derecha, con rapidez de propagación v, para cualquier tiempo, será:

$$y(x,t) = f(x - vt) = y_M \operatorname{sen}[k(x - vt)];$$



$$y(x,t) = y_M \operatorname{sen}(kx - kvt),$$

$$y(x,t) = y_M \operatorname{sen}(kx - \omega t).$$

donde $\omega = kv,$ Frecuencia angular

La frecuencia f y el periodo T están relacionados con la frecuencia angular mediante:

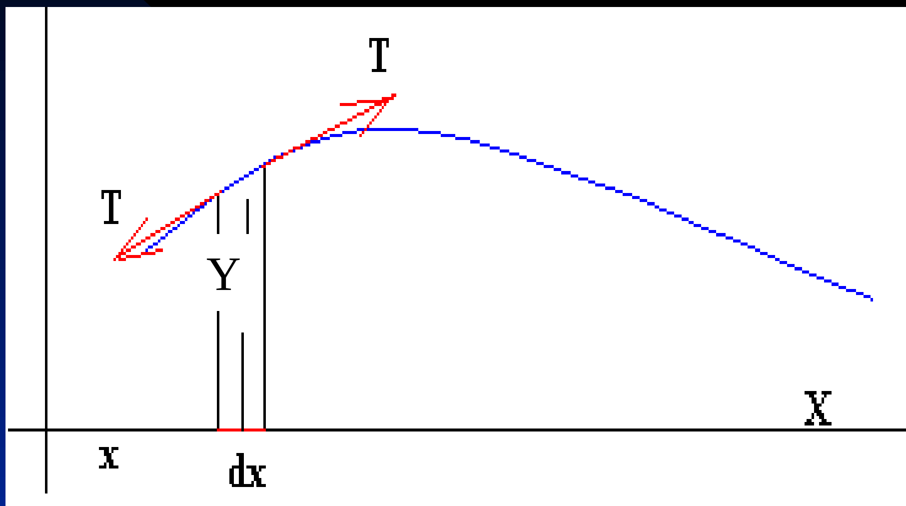
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T},$$

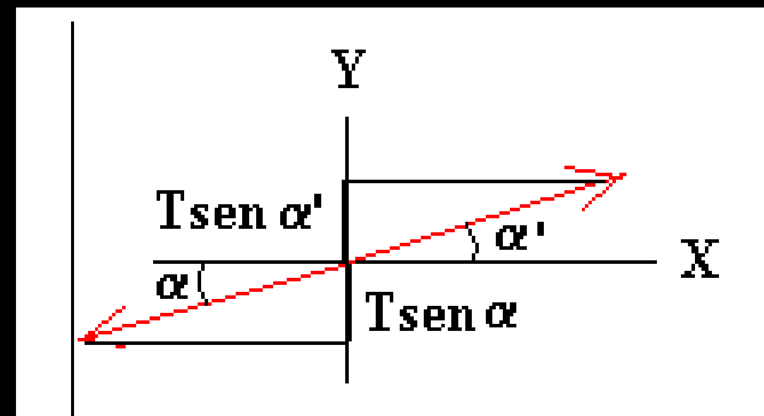
de tal manera que otras formas de escribir a la función de onda armónica son:

$$y(x,t) = y_M \operatorname{sen}\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - ft\right)\right];$$

$$y(x,t) = y_M \operatorname{sen}\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right].$$

Ecuación diferencial de ondas unidimensionales





$$dF_y = T(\text{sen } \alpha' - \text{sen } \alpha) = T(\text{tg } \alpha' - \text{tg } \alpha) = T.\Delta(\text{tg } \alpha) = \Delta m.a$$

Definimos: $\mu = \Delta m / \Delta x \qquad \Delta m = \mu . \Delta x$

$$T.\Delta\left(\frac{dy}{dx}\right) = \mu.\Delta x.\frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$T.\frac{\Delta}{\Delta x}\left(\frac{dy}{dx}\right)=\mu.\frac{d^2y}{dt^2}$$

En el límite para $\Delta x \rightarrow 0$

$$\mathrm{T}.\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dx}}\left(\frac{\mathrm{dy}}{\mathrm{dx}}\right)=\mu.\frac{\mathrm{d}^2\mathrm{y}}{\mathrm{dt}^2}$$

$$\left(\frac{\mathrm{d}^2\mathrm{y}}{\mathrm{dx}^2}\right)=\frac{\mu}{\mathrm{T}}.\frac{\mathrm{d}^2\mathrm{y}}{\mathrm{dt}^2}$$

Ordenando $$\frac{\mathrm{d}^2\mathrm{y}}{\mathrm{dt}^2}=\frac{\mathrm{T}}{\mu}.\frac{\mathrm{d}^2\mathrm{y}}{\mathrm{dx}^2}$$

Donde $$\mathrm{v}=\sqrt{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}$$

Ecuación diferencial del movimiento ondulatorio unidimensional

- **Ondas Transversales (Ondas en cuerda)**

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{T}{\mu} \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

Donde

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

- **Ondas longitudinales (En gas)**

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{k.\delta_0} \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

Donde

$$v = \sqrt{\frac{1}{k.\delta_0}}$$

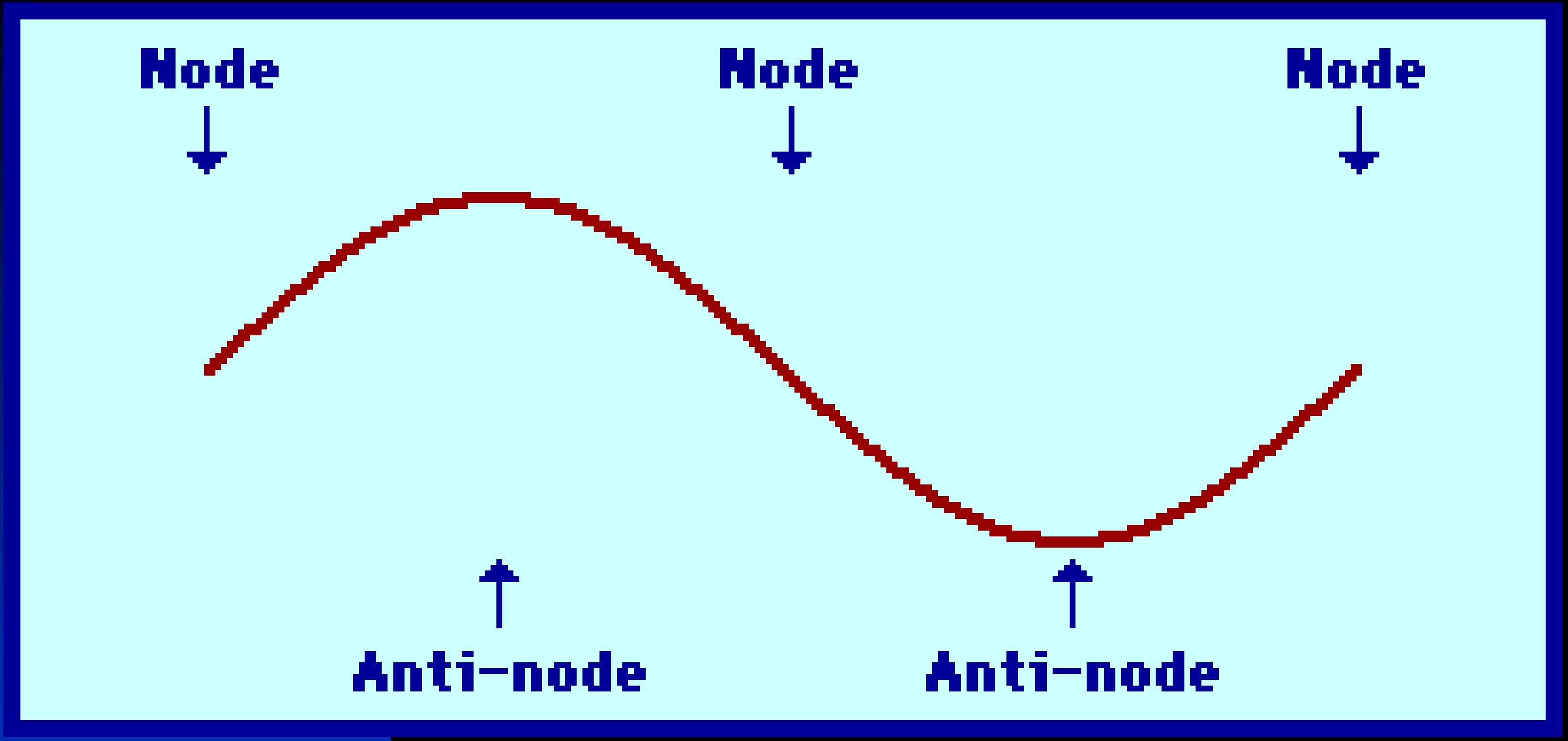
Siendo k= coeficiente de compresibilidad

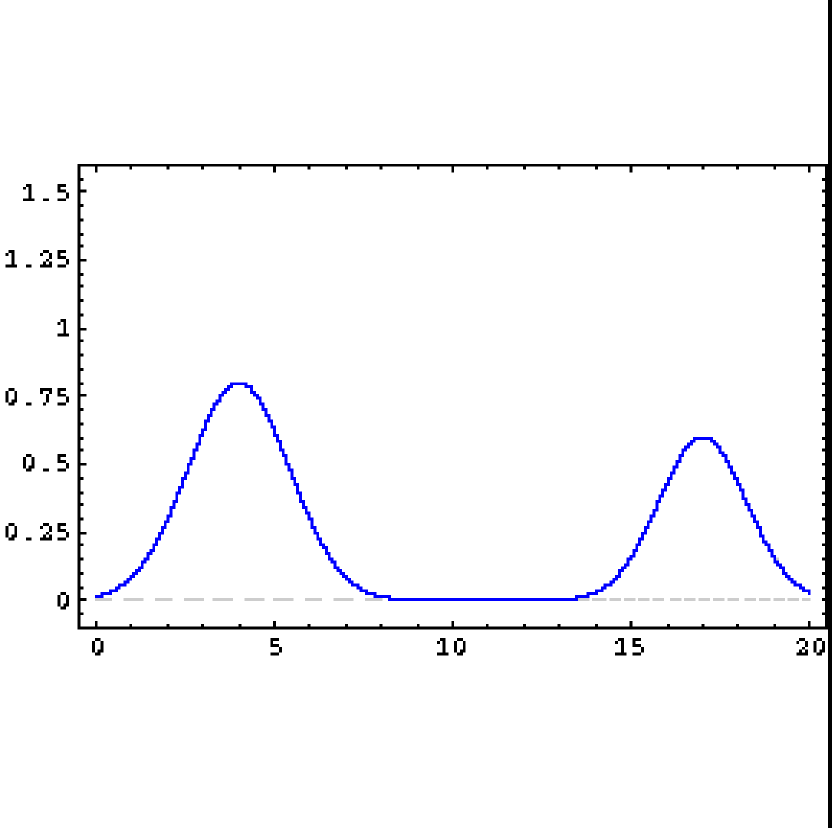
δ_0 = Densidad del gas

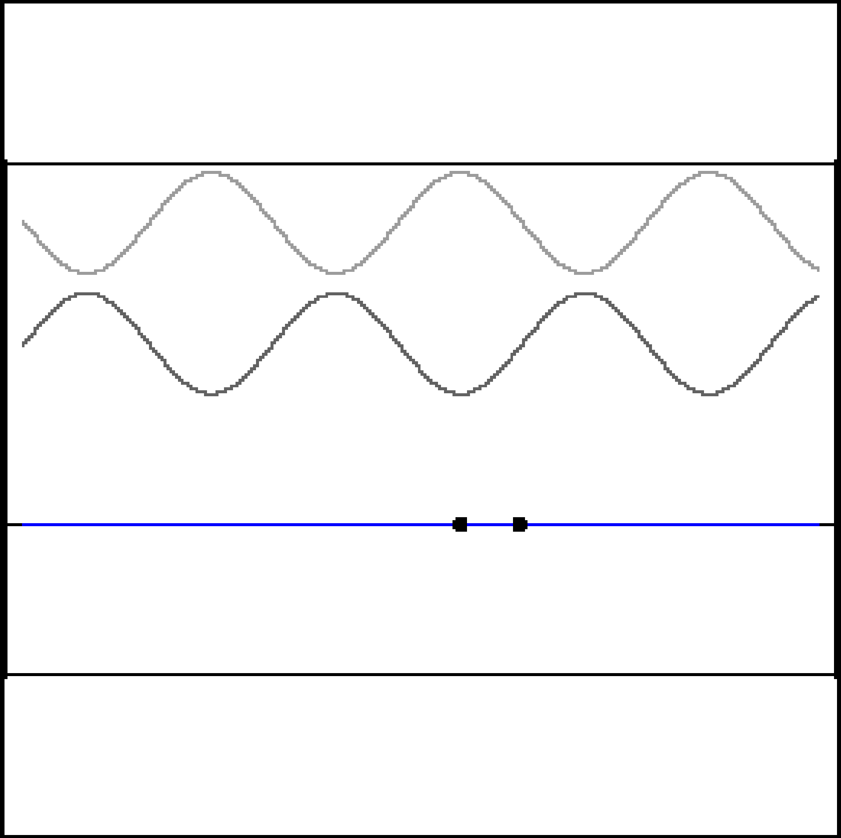
Ondas estacionarias en una dimensión

Ondas estacionarias

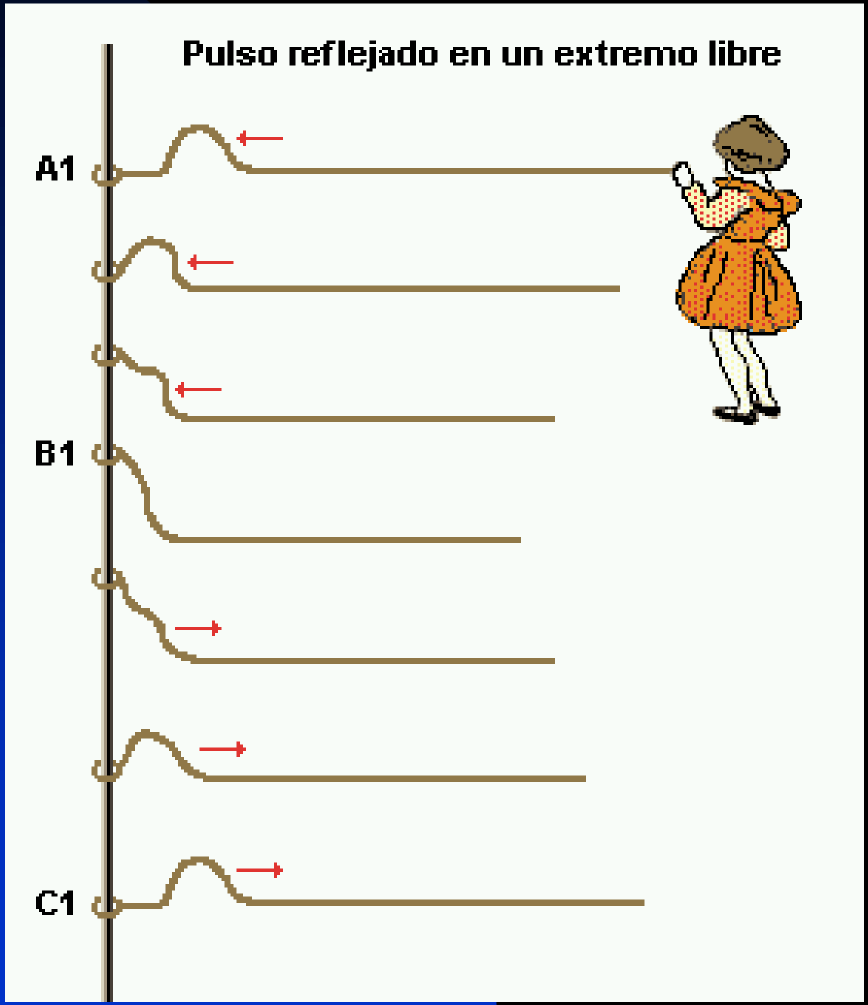
- Son las que resultan de dos ondas viajeras que viajan en sentidos contrarios.
- Una onda estacionaria se forma cuando una onda viajera incide sobre un punto fijo y se refleja.
- Ambas ondas, interfieren dando origen a una onda que pareciera que está detenida con lugares de vibración nula *(nodos)* y lugares de vibración máxima *(antinodos)*.

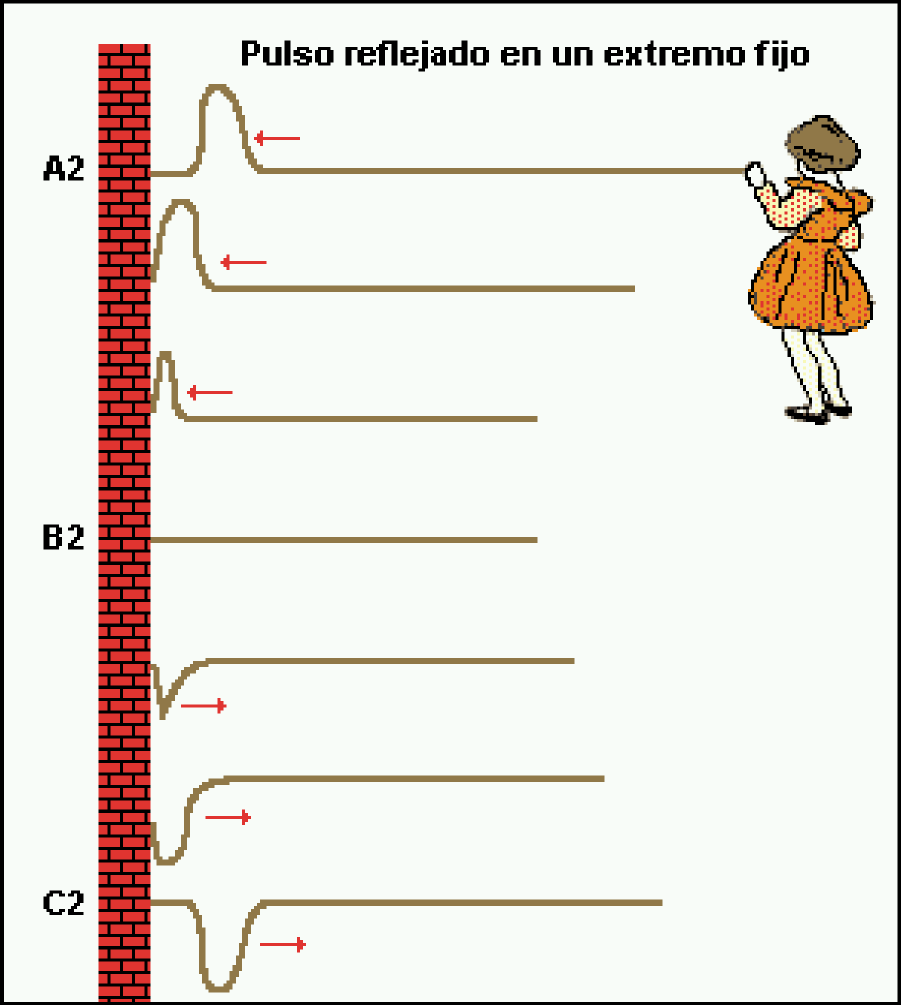

Node
Node
Node
Anti-node
Anti-node


1.5
1.25
1
0.75
0.5
0.25
0
0
5
10
15
20

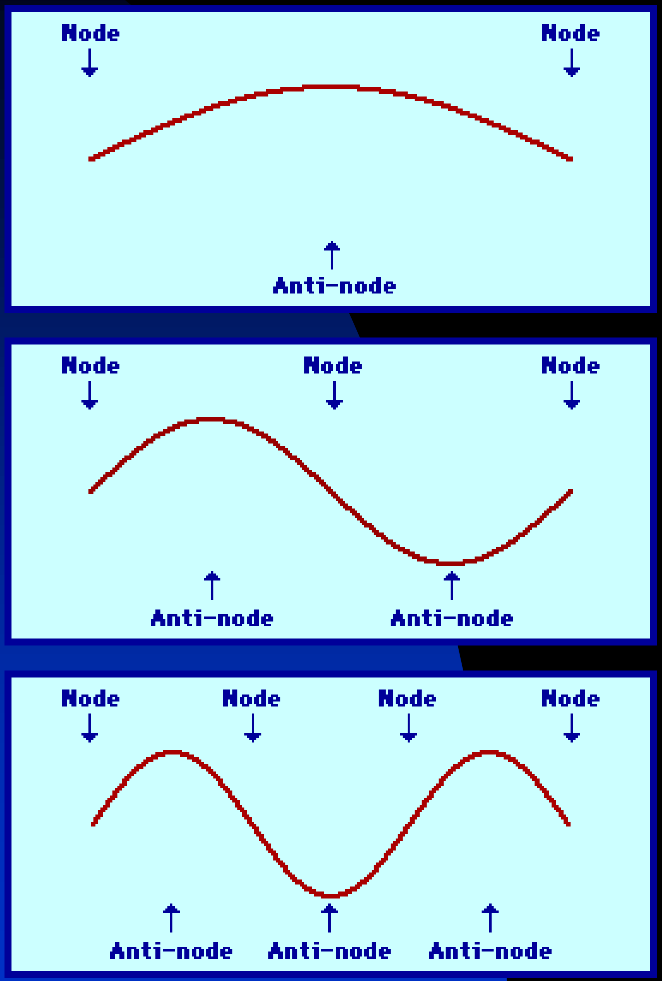


Reflexión de una onda en cuerda





Si la cuerda está fija en ambos extremos



Nodos — Frecuencia $f=v/\lambda$

$L=\lambda/2 \rightarrow \lambda= 2L \rightarrow f = v/2L =f_o$

$L= \lambda \rightarrow f = v / L= 2.f_o$

$L=3.\lambda/2 \rightarrow \lambda=2L/3 \rightarrow f = 3v/ 2L= 3.f_o$

Generalizando

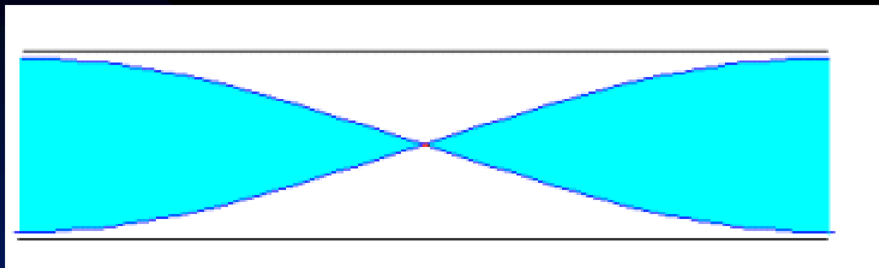
$L=n.\lambda/2 \rightarrow \lambda=2L/n \rightarrow f=n.v/ 2L=n.f_0$

Para $n = 1,2,3,4...$

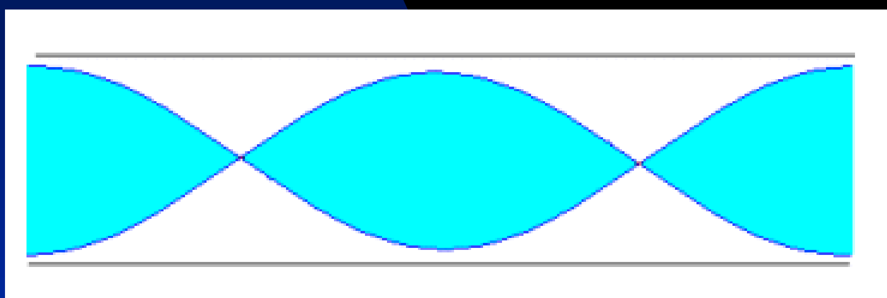
Ondas estacionarias en columnas de aire

- **Tubos abiertos**
- **Tubos cerrados**

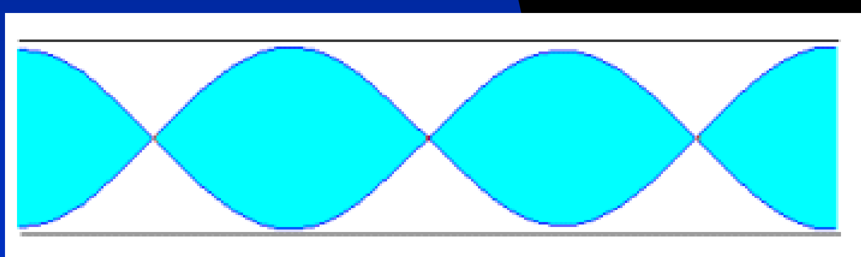
Tubos abiertos



$L=\lambda/2 \rightarrow \lambda=2L \rightarrow f=v/2L= f_o$



$L=\lambda \rightarrow \lambda=L \rightarrow f=v/L= 2.f_o$

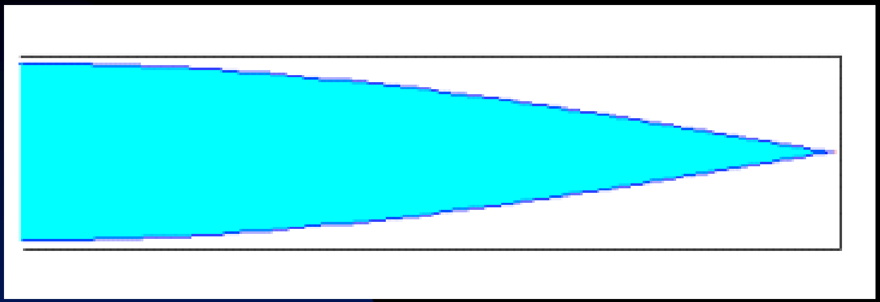


$L=3\lambda/2 \rightarrow \lambda=2L/3 \rightarrow f=3v/2L$

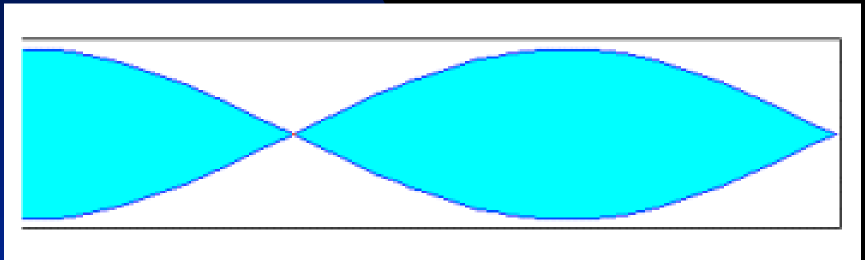
Generalizando $L=n\lambda/2 \rightarrow \lambda= 2L/n \rightarrow f = n.v/2L$

Para n = 1,2,3….

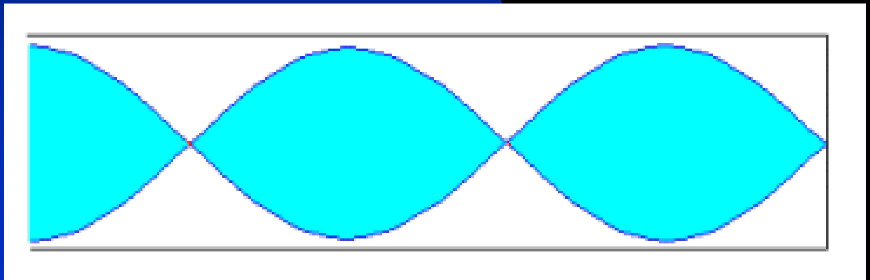
Tubos cerrados



$L=\lambda/4 \rightarrow \lambda=4L \rightarrow f=v/4L= f_o$



$L=3\lambda/4 \rightarrow \lambda=4L/3 \rightarrow f=3.v/4L=3.f_o$



$L=5\lambda/4 \rightarrow \lambda=4L/5 \rightarrow f=5.v/4L=5.f_o$

Generalizando

$$L=(2n+1)\lambda/4 \rightarrow \lambda=4L/(2n+1) \rightarrow f= (2n+1)v/4L=(2n+1).f_o$$

Para $n = 0,1,2,3\ldots$

Sonido

- Es la sensación producida en el oído por la vibración de las partículas que se desplazan a través de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) que las propaga.

Velocidad del sonido

- La velocidad de propagación de la onda sonora (velocidad del sonido) depende de las características del medio en el que se realiza dicha propagación y no de las características de la onda o de la fuerza que la genera.

Ondas sonoras

Son ondas:

- **Mecánicas**
- **Longitudinales**
- **Tridimensionales**

Características del Sonido

- **Tono.**
- **Intensidad.**
- **Timbre.**

Tono

- Depende de la frecuencia fundamental.
- Distingue a los sonidos en graves (bajas frecuencias) y agudos (altas frecuencia).

Intensidad

- Es la cantidad de energía acústica que transporta el sonido.
- Depende de la amplitud de la onda.($I \sim A^2$)
- Para cada frecuencia hay
  - una intensidad mínima (umbral de audición) por debajo de la cual no se oye
  - una intensidad máxima que produce sensación de dolor (umbral doloroso).

- El nivel de intensidad sonoro, se mide en decibelios (dB)

$$dB = 10.\log (I/I_0)$$

I_0, es la intensidad inferior de audición que se toma como punto de referencia y vale: $I_o=10^{-12}\ W/m^2$ (en el aire).

Timbre

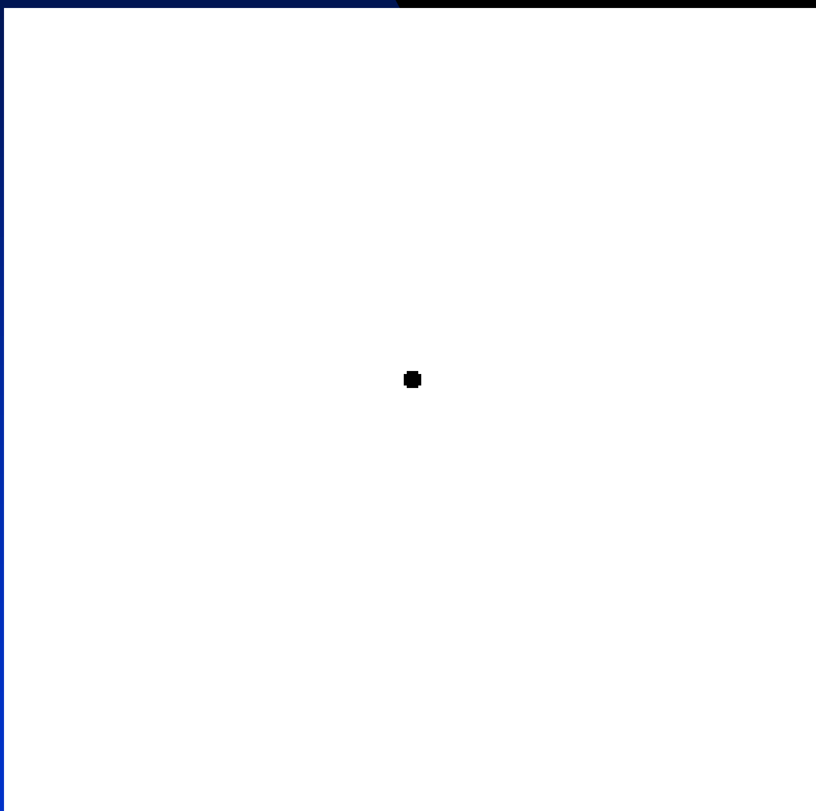
- Es la cualidad que le confiere al sonido los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental.
- Es lo que nos permite diferenciar el sonido de la voz humana al sonido de un piano o una guitarra.

Efecto Doppler

- **Es el fenómeno por el cual se produce una modificación de la frecuencia emitida de un sonido**
- **Se produce cuado la fuente sonora y el observador están en movimiento relativo con respecto al medio material en el cual la onda se propaga.**

Si la fuente sonora está en reposo ($v_E=0$) y el observador está en reposo ($v_o=0$)

La separación entre dos frentes de onda es una longitud de onda, $\lambda = v/f$



La longitud de onda medida por el emisor y por el observador es la misma

$$\lambda_E=\lambda_O=\lambda$$

El observador en reposo percibe $\boxed{\dfrac{v.t}{\lambda}}$ **ondas en un t**

- Si el observador se acerca hacia la fuente emisora con una velocidad v_{o},

Entonces recibe $\dfrac{v_o . t}{\lambda}$ ondas adicionales

Como $f = v/\lambda$ o bien f= Nº de ondas recib./ t

$$f' = \frac{v.t + v_o.t}{\lambda.t} = \frac{v + v_o}{\lambda} = \frac{v + v_o}{v/f}$$

$$f' = f.\frac{v + v_o}{v} = f\left(1 + \frac{v_o}{v}\right)$$

- Cuando el observador se mueve alejándose de la fuente hay una disminución de frecuencia $f.(v_o/v)$, que corresponde a las ondas que NO llegan a él debido a su movimiento, por lo tanto:

$$f' = f.\left(1 - \frac{v_o}{v}\right)$$

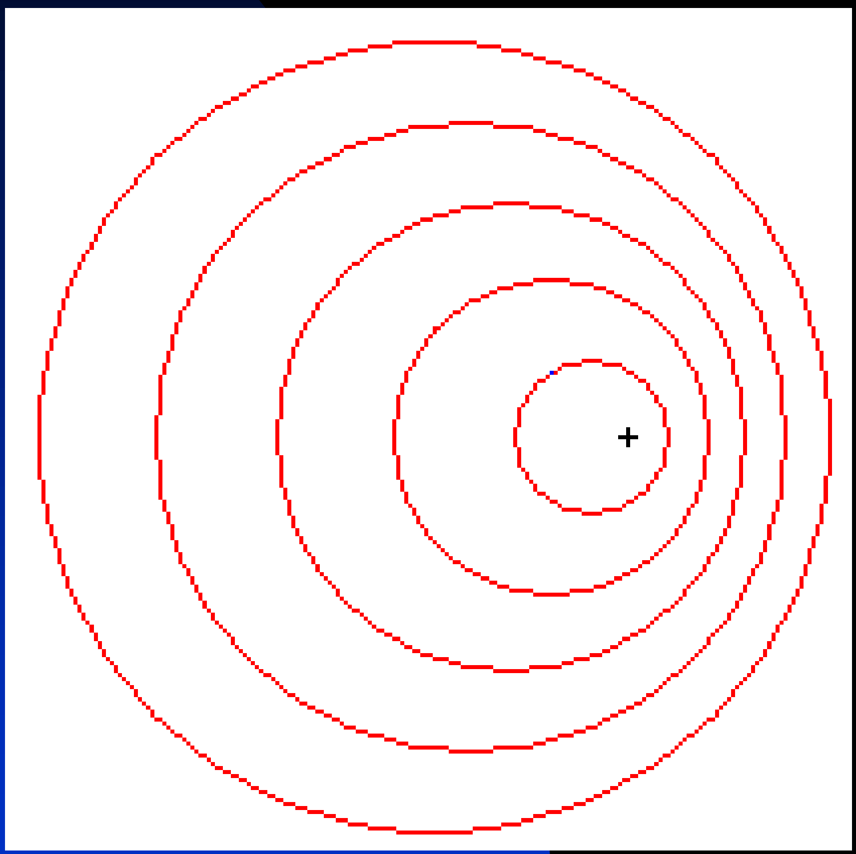
Combinando ambos casos:

+ cuando se acerca

- cuando se aleja

$$f' = f.\left(\frac{v \pm v_o}{v}\right)$$

Si la fuente emisora se mueve hacia el observador ($v_E < v_s$) y el observador en reposo ($v_o = 0$)



- **Observador situado a la derecha del emisor**

  $\lambda_O < \lambda_E$ y $f_O > f_E$

Durante cada vibración la fuente avanza una distancia v_E/f y cada long. de onda que llega al observador es:

$$\lambda' = \frac{v}{f} - \frac{v_E}{f}$$

- **La frecuencia del sonido que percibe el observador aumenta en un valor:**

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_E}{f}} = f.\left(\frac{v}{v - v_E}\right)$$

Si la fuente se aleja del observador λ´es mayor

$$\lambda' = \frac{v}{f} + \frac{v_E}{f} \therefore f' = f\left[\frac{v}{(v + v_E)}\right]$$

Generalizando:

$$f' = f.\left(\frac{v}{v \mp v_E}\right)$$

\- Cuando se acerca

\+ Cuando se aleja

Si tanto la fuente como el observador se mueven:

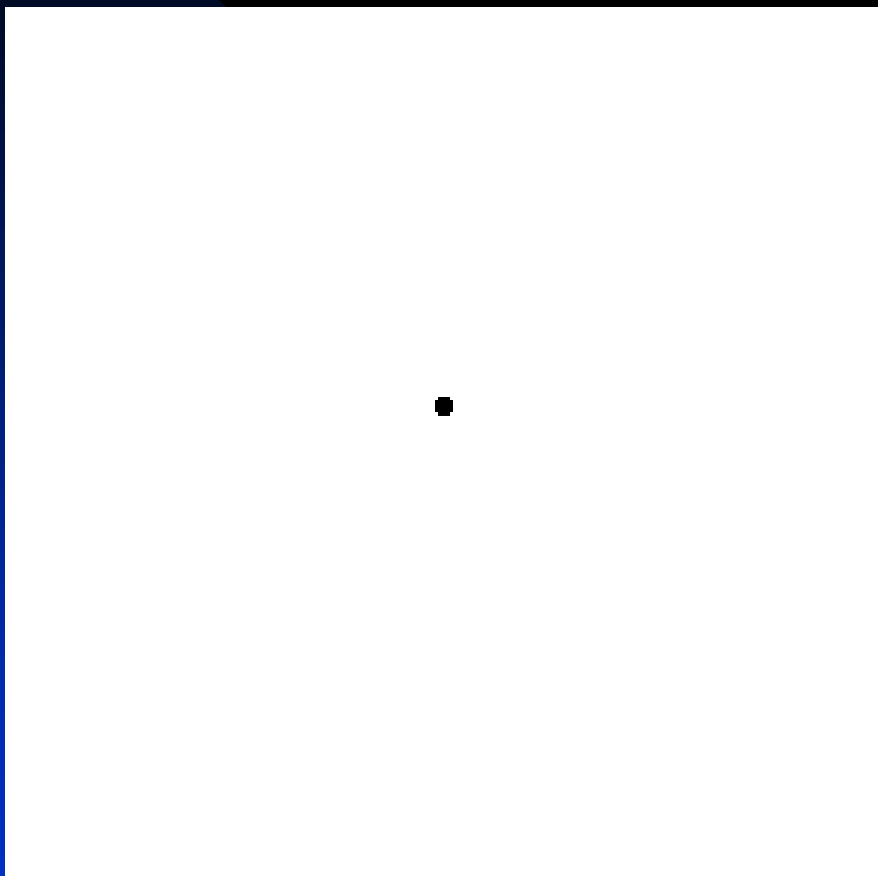
$$f' = f.\left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_E}\right)$$

Los signos de arriba cuando se acercan, los de abajo cuando se alejan.

Si existe velocidad del medio v_m

$$f' = f.\left(\frac{(v + v_m) \pm v_o}{(v + v_m) \mp v_E}\right)$$

Si la fuente emisora se mueve $(V_{E=}V_s)$

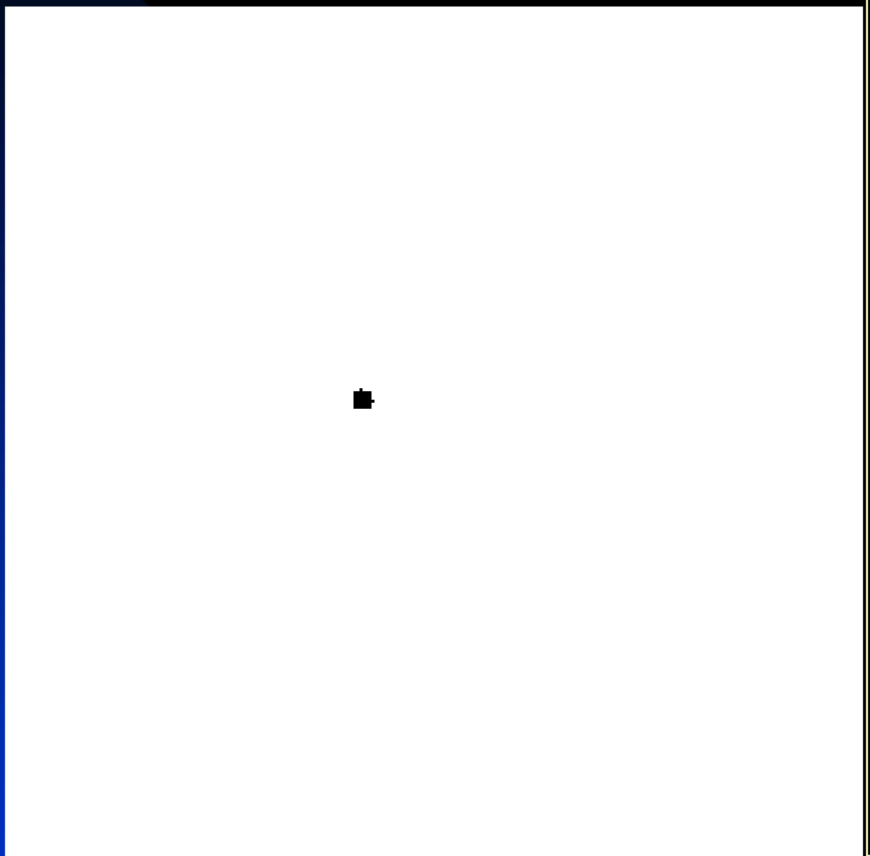


- Observador situado a la derecha del emisor

$$\lambda_O = 0 \quad \text{y} \quad f_O \rightarrow \infty$$

Si el emisor es un avión que va a la velocidad del sonido, los sucesivos frentes de las ondas emitidas se agrupan en la punta o morro del avión.

Si la fuente emisora se mueve $(V_E > V_s)$



El mov. resultante es una onda cónica (la envolvente de los sucesivos frentes de onda es un cono con el vértice en el emisor), esta onda se llama onda de Mach u onda de choque