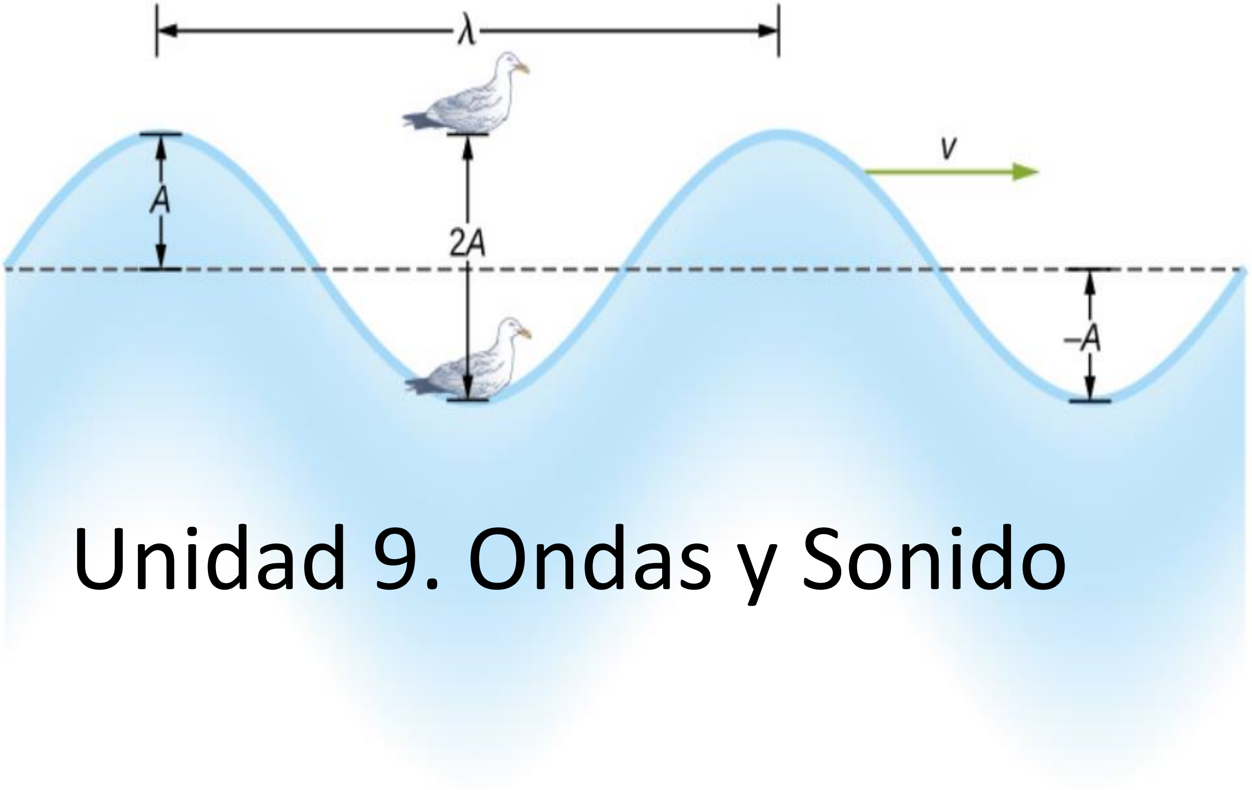
FÍSICA 1

Cs. Biológicas y Profesorado de Cs. Biológicas



Unidad 9. Ondas y Sonido

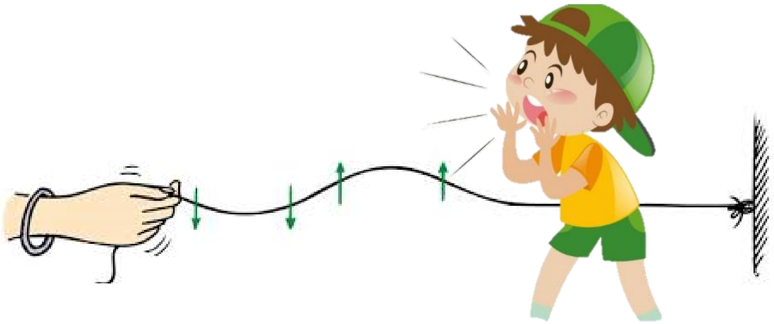
Temario:

- **Ondas en General**
  - **Introducción**
  - **Parámetros que caracterizan a la onda**
  - **Clasificación de Ondas**
  - **Función de Onda**
  - **Principio de Superposición**
  - **Reflexión y transmisión**
- **Ondas en una Cuerda**
  - **Ondas estacionarias en una cuerda**
  - **Onda viajera en una Cuerda**
- **Ondas Sonoras**
  - **Ondas Sonoras estacionarias**
  - **Ondas Sonoras viajeras**

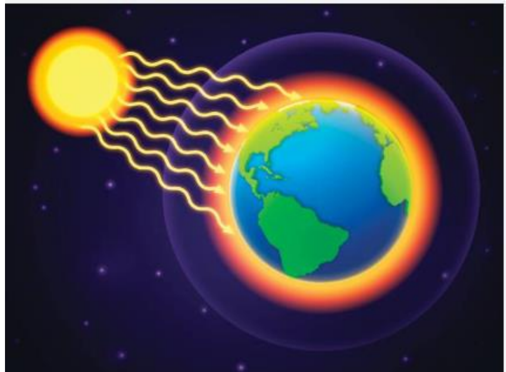
Ondas

- **Definiciones:**
- Una onda es un fenómeno que transporta energía por medio de una perturbación en el espacio.
- La perturbación del espacio se manifiesta como la variación oscilatoria de una magnitud física medible

Según el medio por el que se transmitan, se dividen en:



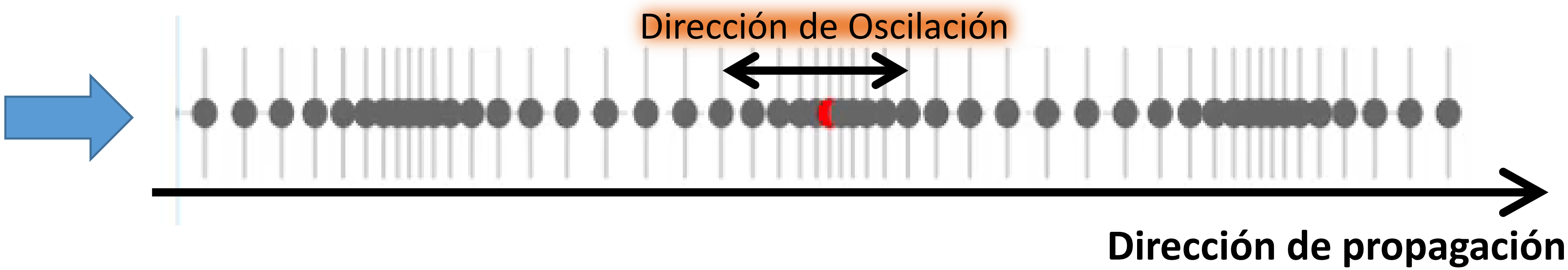
Ondas mecánicas: se transmiten por un medio material (Ondas en la superficie del agua, ondas en una cuerda, sonido, etc.)



Ondas electromagnéticas: se transmiten por el vacío (Luz, ondas de radio, radiación térmica, etc.)

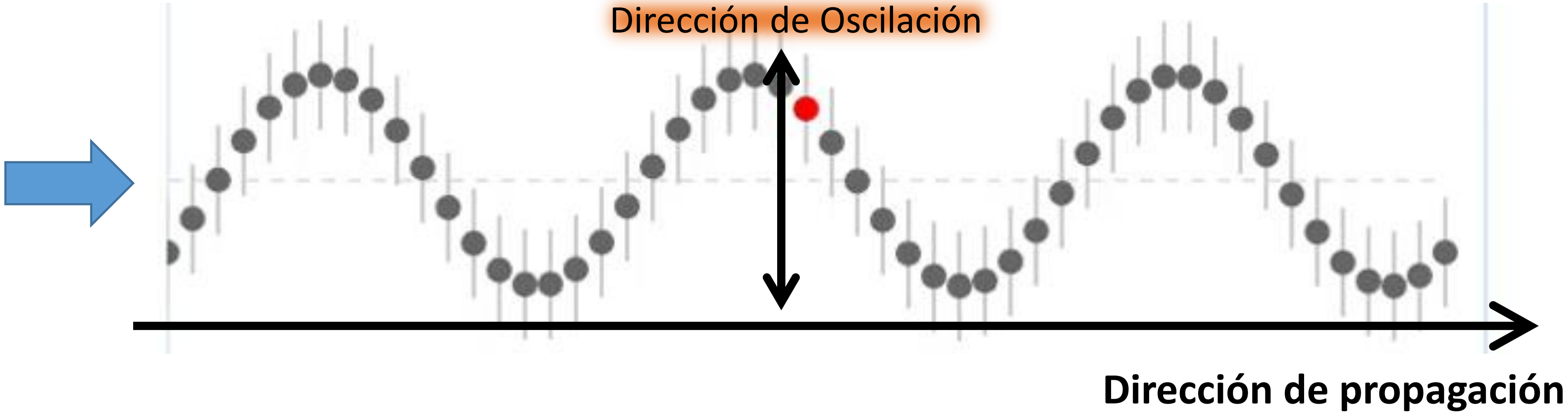
Según la dirección de la oscilación, se dividen en:

Longitudinal



Cada punto está describiendo un MAS

Transversal

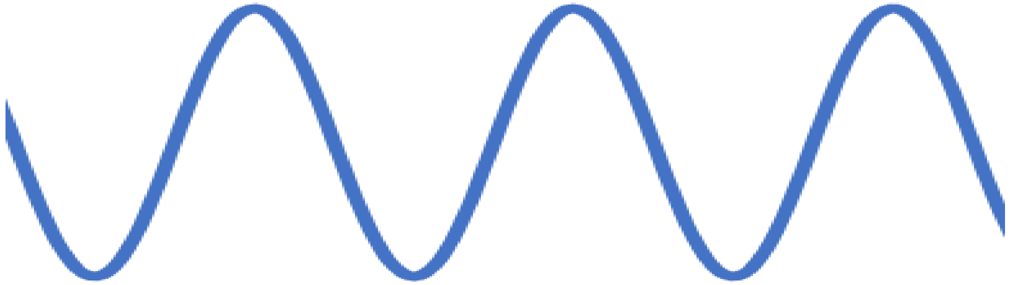


Experimento con resorte

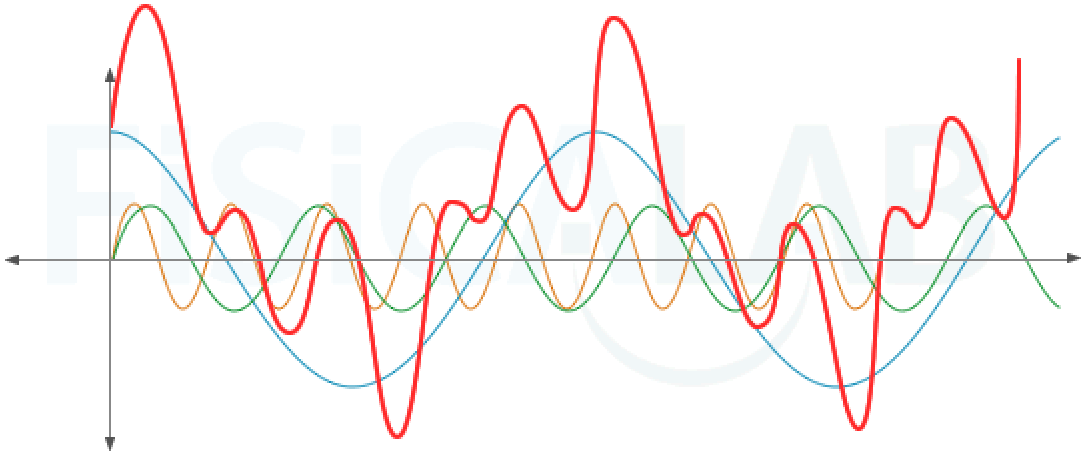
http://www.educaplus.org/luz/ondas.html

Según la forma de la oscilación, se dividen en:

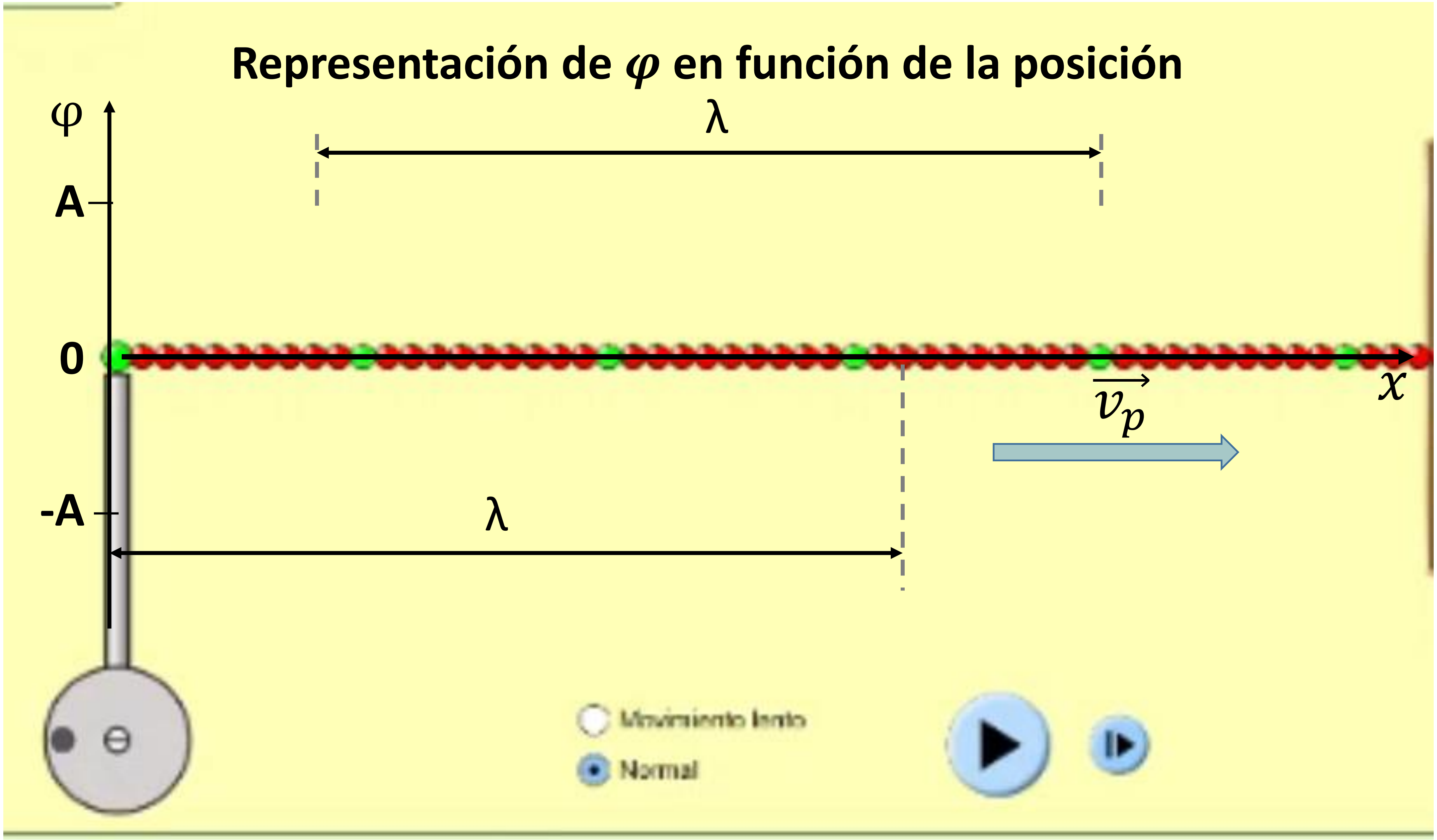
Armónicas



No armónicas



Simulación

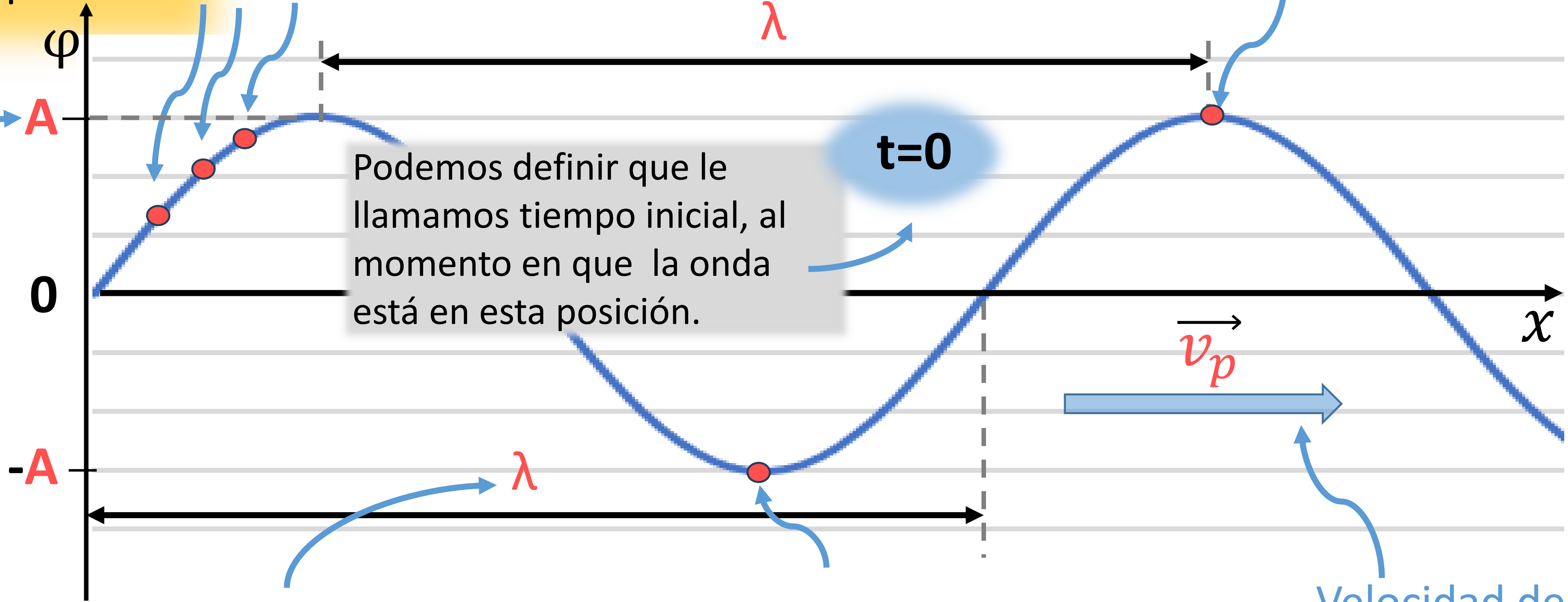

Representación de φ en función de la posición
φ
λ
A
0
-A
λ
$\overrightarrow{v_p}$
x
Movimiento lento
Normal

Parámetros que caracterizan a las ondas y pueden verse en esta representación

Elongación $\varphi; y$: Valor de la variable que oscila, para un punto del espacio en un momento dado.

Cresta: punto que tiene la máxima elongación posible

Amplitud: Valor máximo de la elongación.



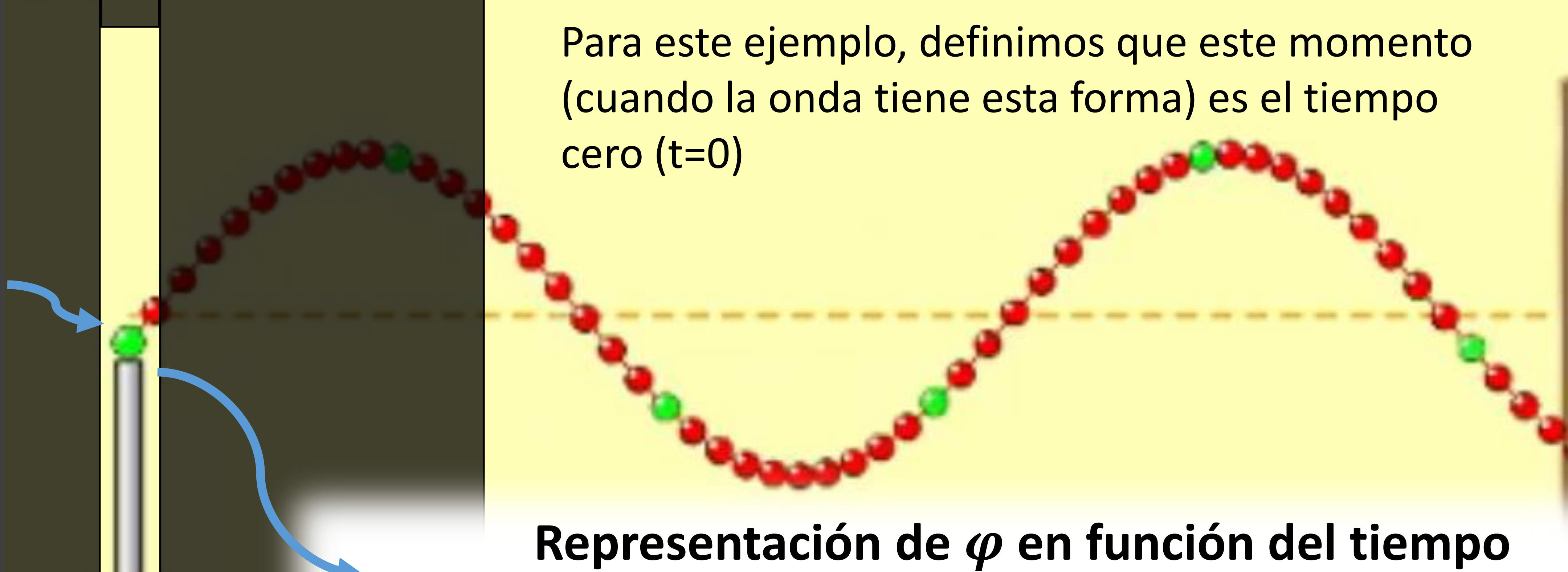
Longitud de Onda λ: Distancia, en el eje de propagación, entre 2 puntos equivalentes de dos ciclos consecutivos.

Valle: punto que tiene la mínima elongación posible

Velocidad de propagación: velocidad de avance del fenómeno

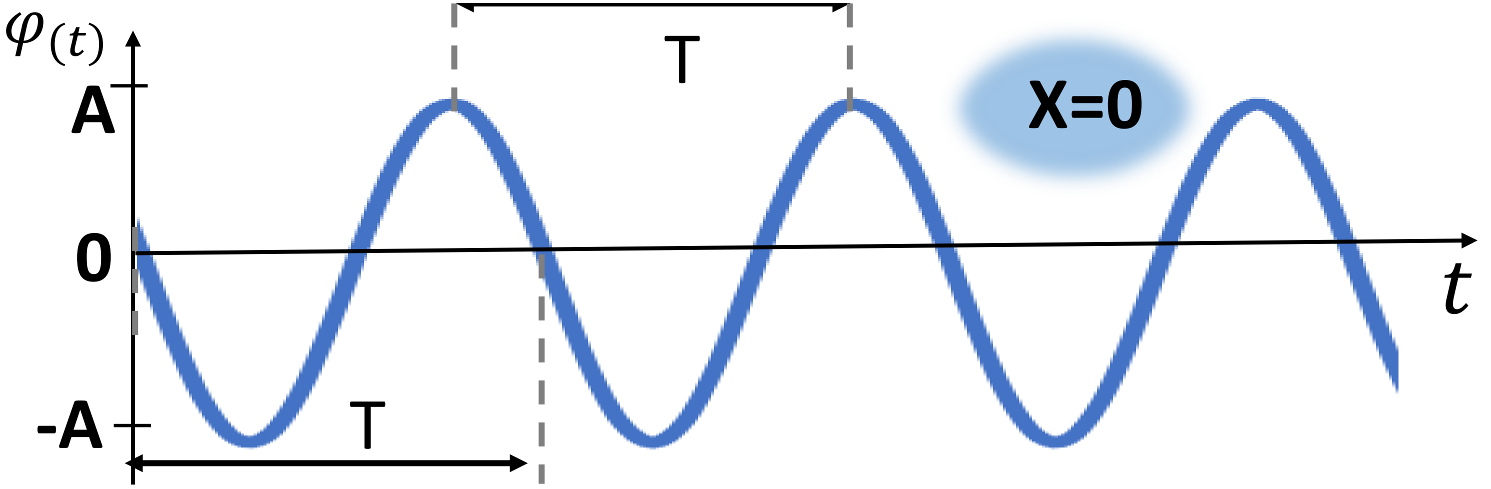
Vamos a graficar la posición de esta parte de la onda en función del tiempo

Para este ejemplo, definimos que este momento (cuando la onda tiene esta forma) es el tiempo cero (t=0)



Simulación

Representación de φ en función del tiempo

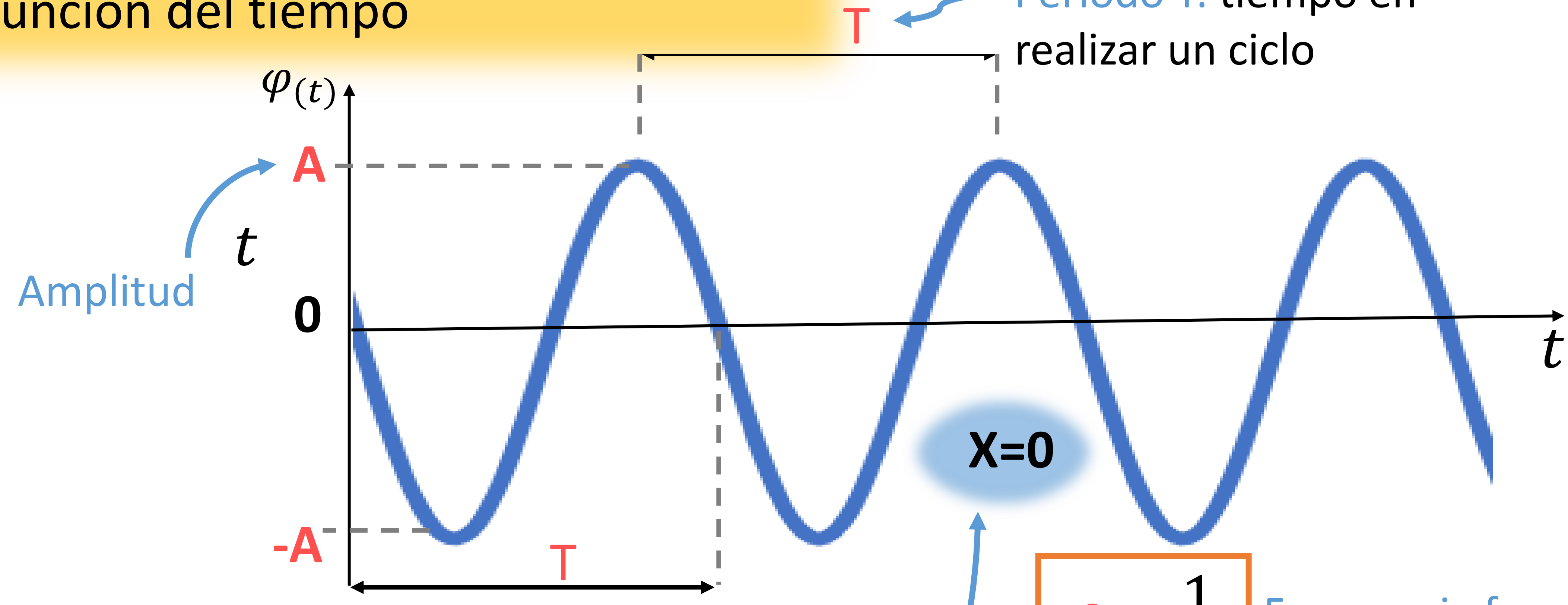


Este gráfico muestra la elongaciones del punto donde se origina la onda en función del tiempos

Parámetros que caracterizan a las ondas, y pueden verse en una representación en función del tiempo

Representación de φ en función del tiempo

Período T: tiempo en realizar un ciclo



$$f = \frac{1}{T}$$

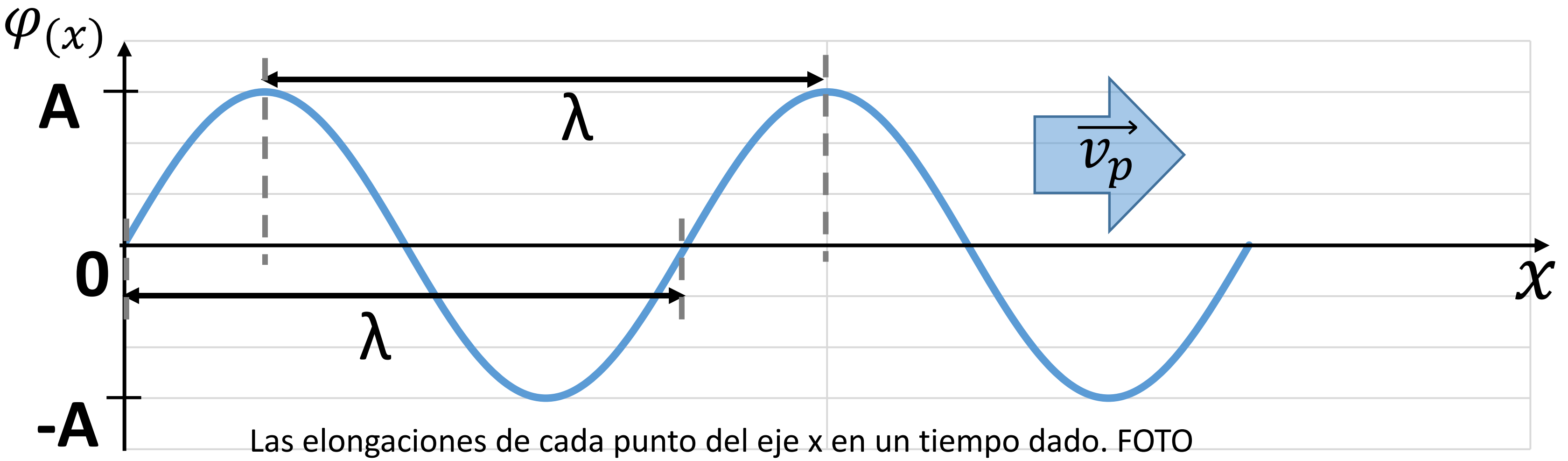
Frecuencia f: cantidad de ciclos por segundo

Este tipo de gráficos, nos muestran los cambios en la elongaciones de alguna parte de la onda (alguna coordenada x) en función del tiempo. Este gráfico muestra la elongación de la onda en x=0.

Parámetros que caracterizan a la onda

Velocidad de propagación

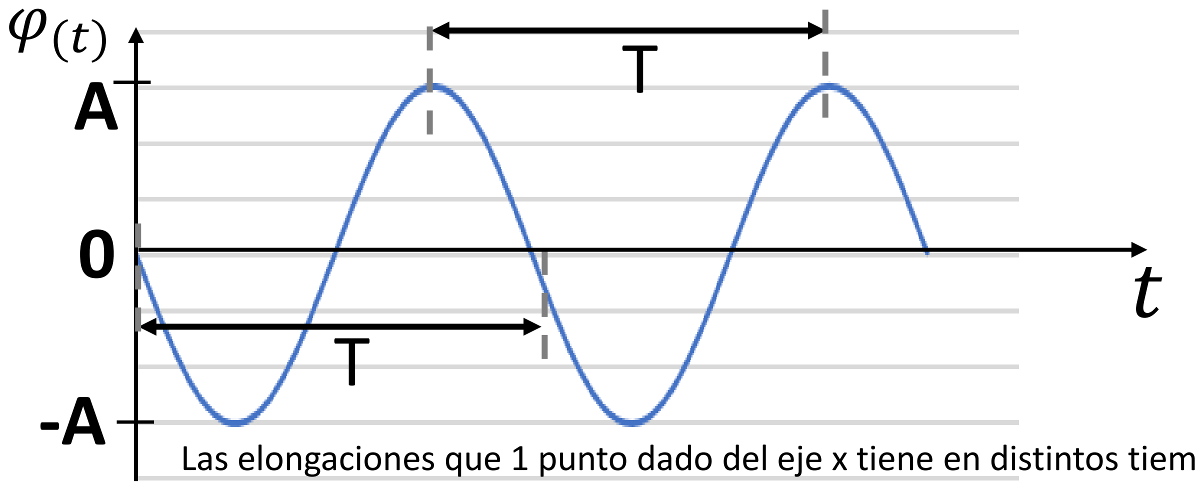
$$v_p = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$



Las elongaciones de cada punto del eje x en un tiempo dado. FOTO

Cuando la onda realiza un ciclo en un tiempo T, avanza una distancia λ. Entonces:

$$\boxed{v_p = \frac{\lambda}{T}}$$



Las elongaciones que 1 punto dado del eje x tiene en distintos tiempos. VIDEO

Función de Onda

La función de onda es una función que representa como cambia la elongación (φ) par los diferentes posiciones en el espacio (x) y para los distintos tiempos (t).

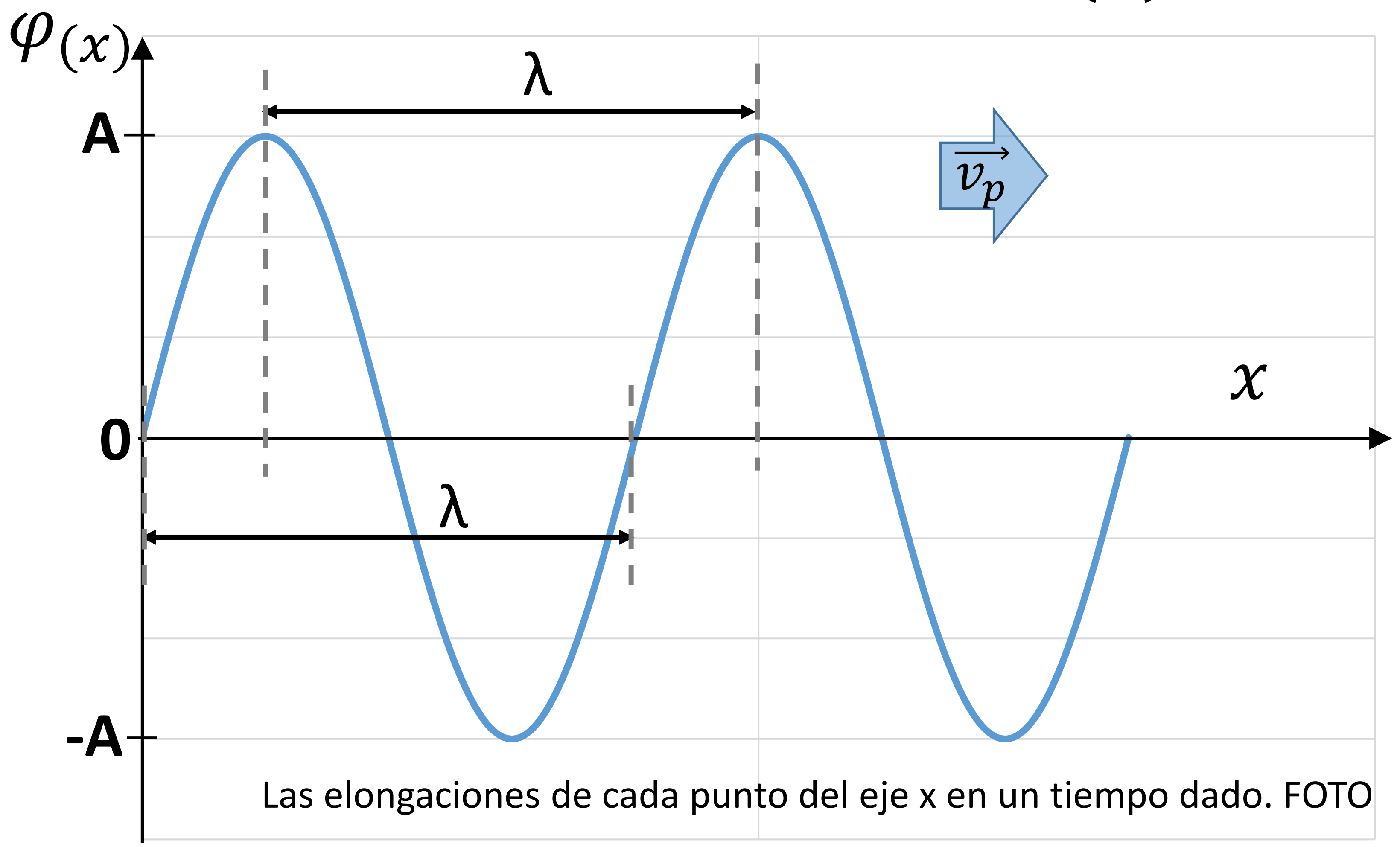
$$\varphi = f_{(x;t)}$$

Analicemos primero $\varphi = f_{(x)}$

Ahora vamos a encontrar una función que represente la elongación de todos los puntos de la onda, pero solo para un tiempo determinado.

Función de Onda

$$\varphi = f_{(x)}$$



ARMÓNICA

$$\boldsymbol{\varphi_{(x)} = A.\sin(k.x)}$$

k debe tener un valor tal, que cuando $x = \lambda$, el argumento $k.x$ sea igual a 2π , ya que en $x = \lambda$ cumple un siclo.

Entonces:

$$k.\lambda = 2.\pi$$

$$\boxed{\boldsymbol{k = \frac{2\pi}{\lambda}}}$$

Función de Onda

Ya tenemos una función que describe la forma de la onda en un determinado tiempo. ➡ $\varphi_{(x)} = A.\sin(k.x)$

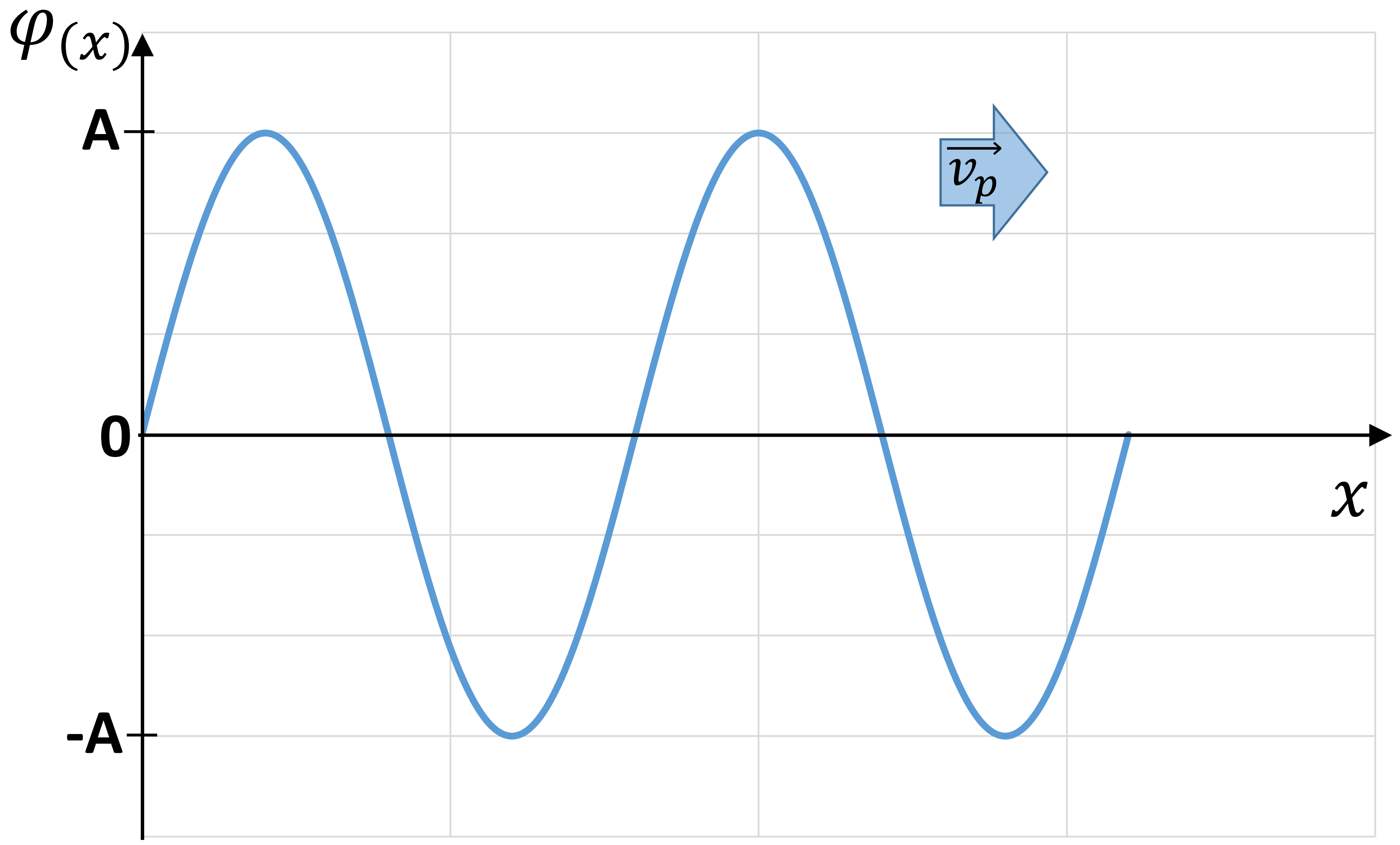
Ahora le agregaremos un término que represente como se modifica la elongación de cada punto a medida que transcurre el tiempo.

⬇

$$\varphi = f_{(x;t)}$$

Función de Onda

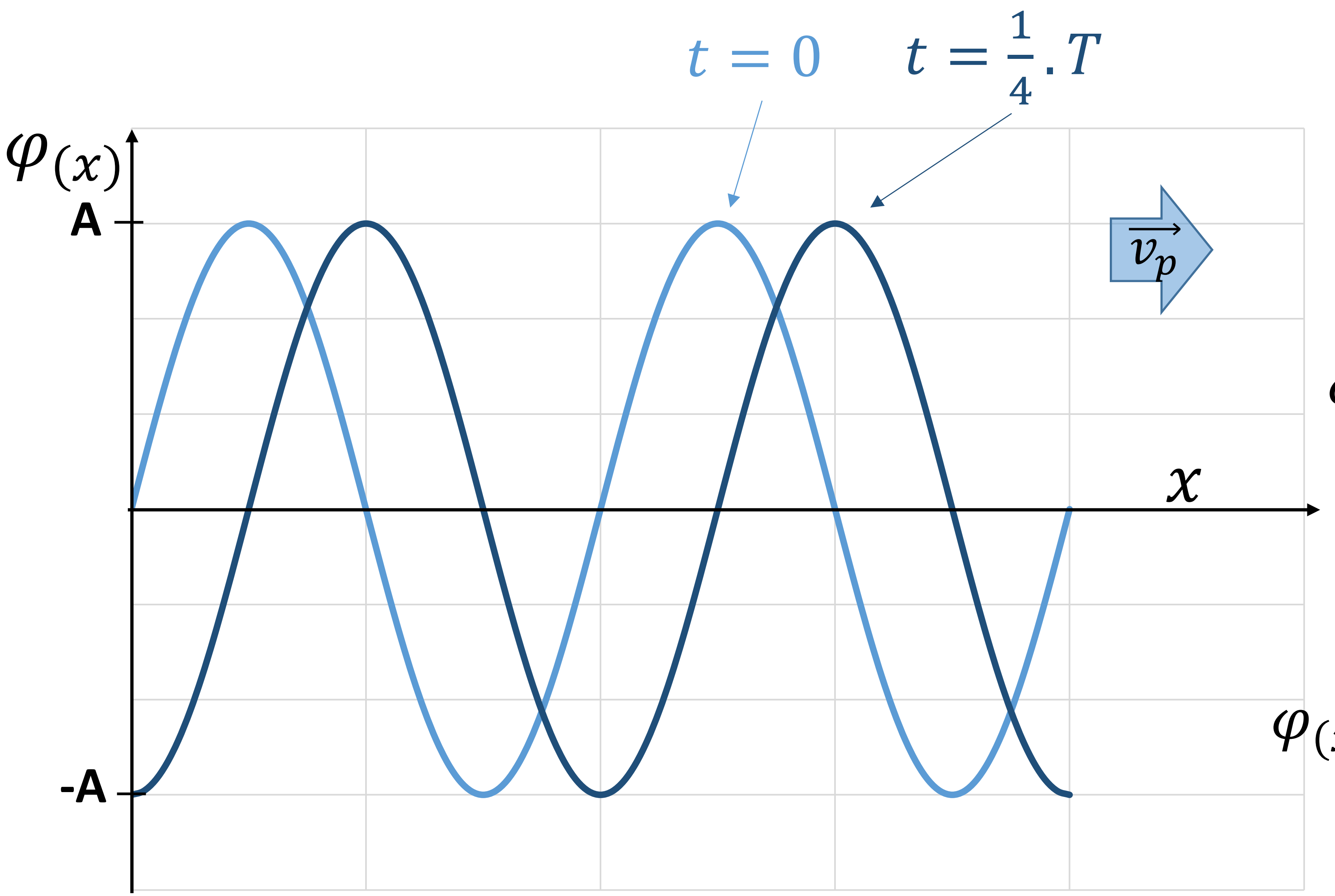
$$\varphi_{(x)} = A.\sin(k.x)$$



Como la onda se propaga en el eje x, con el tiempo debe avanzar a la derecha.

Simulación

Función de Onda



$$\varphi_{(x)} = A.\sin(k.x)$$

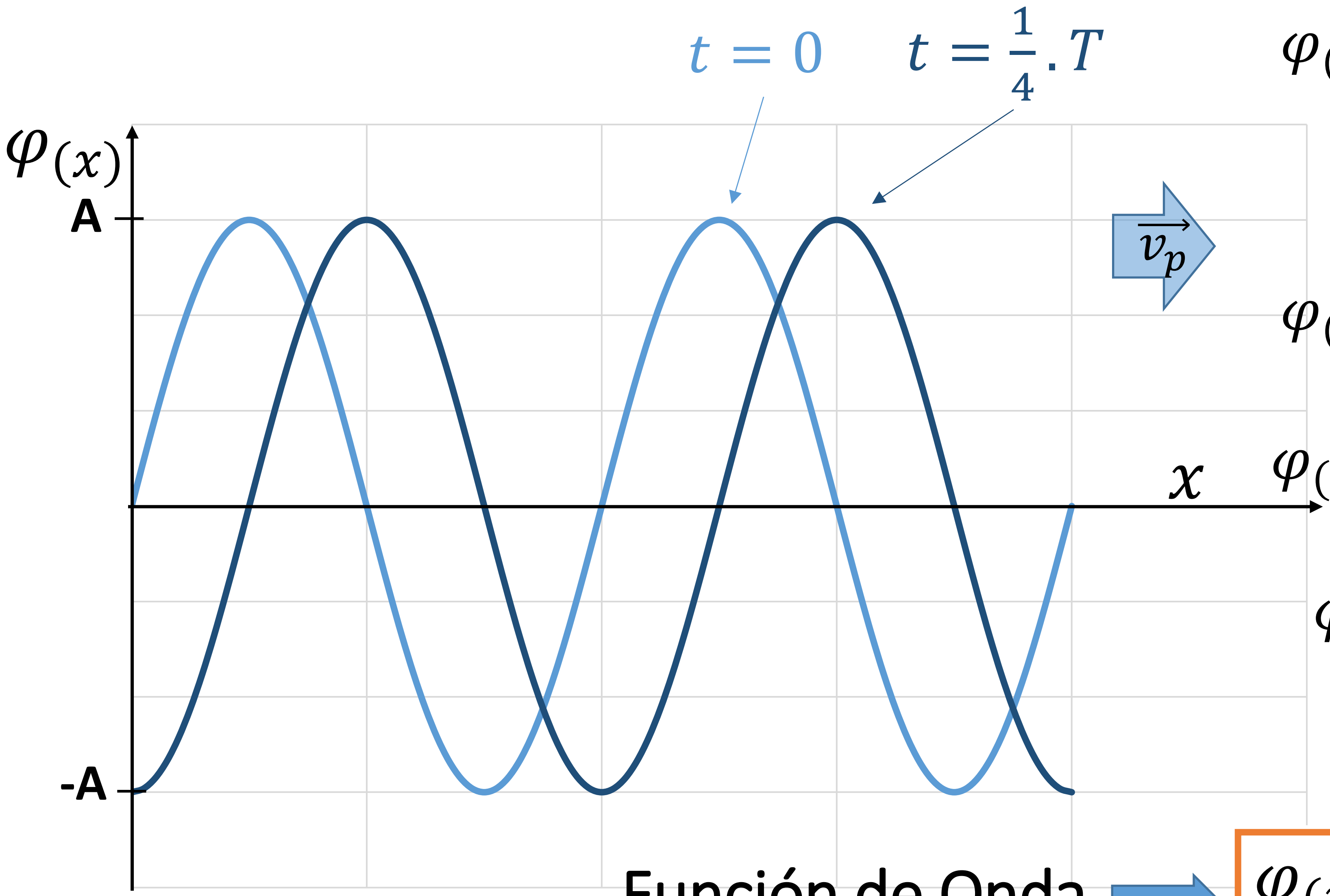
Como la onda se propaga en el eje x, con el tiempo debe avanzar a la derecha.

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin\left(k.\left(x - f_{(t)}\right)\right)$$

$$f_{(t)} = v_p.t \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}.\left(x - v_p.t\right)\right)$$

Función de Onda



$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}.\left(x - v_p.t\right)\right)$$

$$v_p = \frac{\lambda}{T}$$

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}.\left(x - \frac{\lambda}{T}.t\right)\right)$$

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}.x - \frac{2\pi}{\cancel{\lambda}}.\frac{\cancel{\lambda}}{T}.t\right)$$

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}.x - \frac{2\pi}{T}.t\right)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}}$$

Función de Onda $\rightarrow$ $\boxed{\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)}$

Función de Onda

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)$$

REPRESENTACIONES GRÁFICAS

EN FUNCIÓN DE x PARA DIFERENTES t

$$\varphi_{(x,t=0)} = A.\sin(k.x)$$

$$\varphi_{(x,t=\frac{1}{4}T)} = A.\sin\left(k.x - \omega.\frac{1}{4}T\right)$$

$$\varphi_{(x,t=\frac{1}{2}T)} = A.\sin\left(k.x - \omega.\frac{1}{2}T\right)$$

"Foto" de todo el espacio para cada tiempo

EN FUNCIÓN DE t PARA DIFERENTES x

$$\varphi_{(t,x=0)} = A.\sin(-\omega.t)$$

$$\varphi_{(t,x=\frac{1}{4}\lambda)} = A.\sin\left(k.\frac{1}{4}\lambda - \omega.t\right)$$

$$\varphi_{(t,x=\frac{1}{2}\lambda)} = A.\sin\left(k.\frac{1}{2}\lambda - \omega.t\right)$$

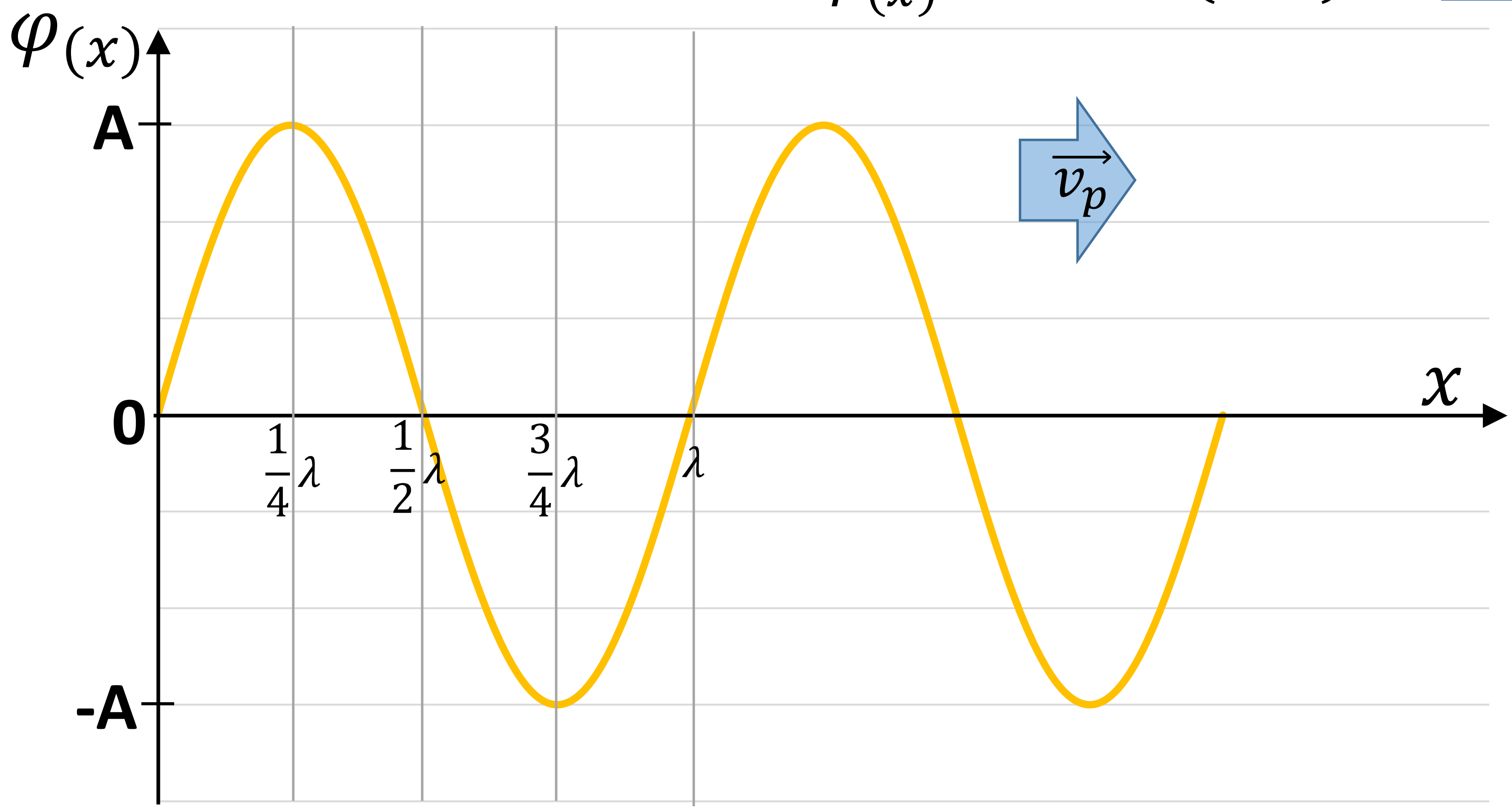
"Video" para cada punto del espacio

Función de Onda

$$\boxed{\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)}$$

Forma de la onda para tiempo t=0.

$$\varphi_{(x)} = A.\sin(k.x)$$



Para graficar vamos reemplazando a x por proporciones de λ:

$$x = 0$$
$$x = \frac{1}{4}\lambda$$
$$x = \frac{1}{2}\lambda$$
$$x = \frac{3}{4}\lambda$$
$$x = \lambda$$

Teniendo siempre presente que $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Función de Onda

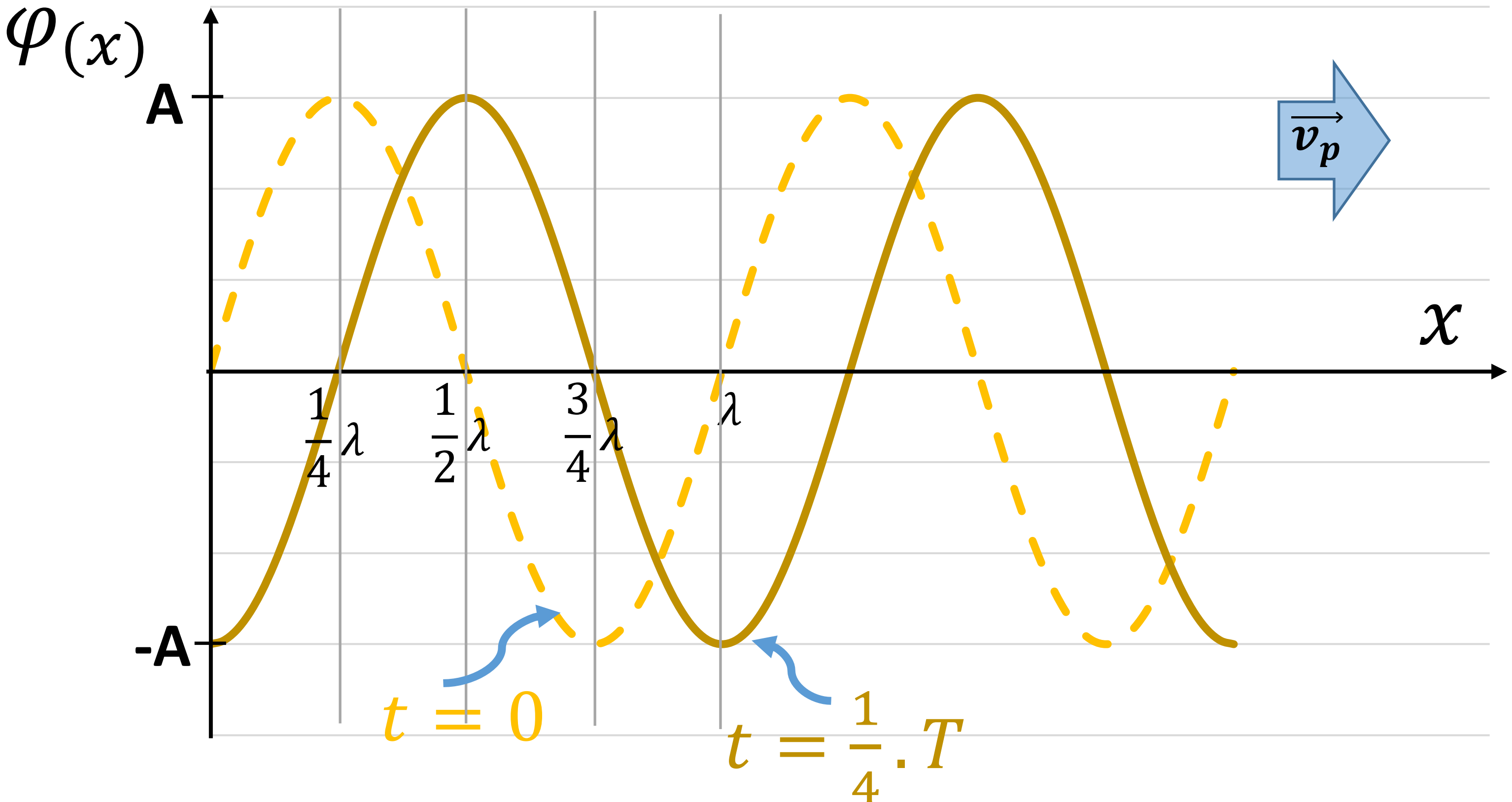
Forma de la onda para tiempo $t = \frac{1}{4}T$

$$\boxed{\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)}$$

$$\varphi_{(x)} = A.\sin\left(k.x - \omega.\frac{1}{4}T\right)$$

Para graficar vamos reemplazando a x por proporciones de λ:

$$x = 0$$
$$x = \frac{1}{4}\lambda$$
$$x = \frac{1}{2}\lambda$$
$$x = \frac{3}{4}\lambda$$
$$x = \lambda$$



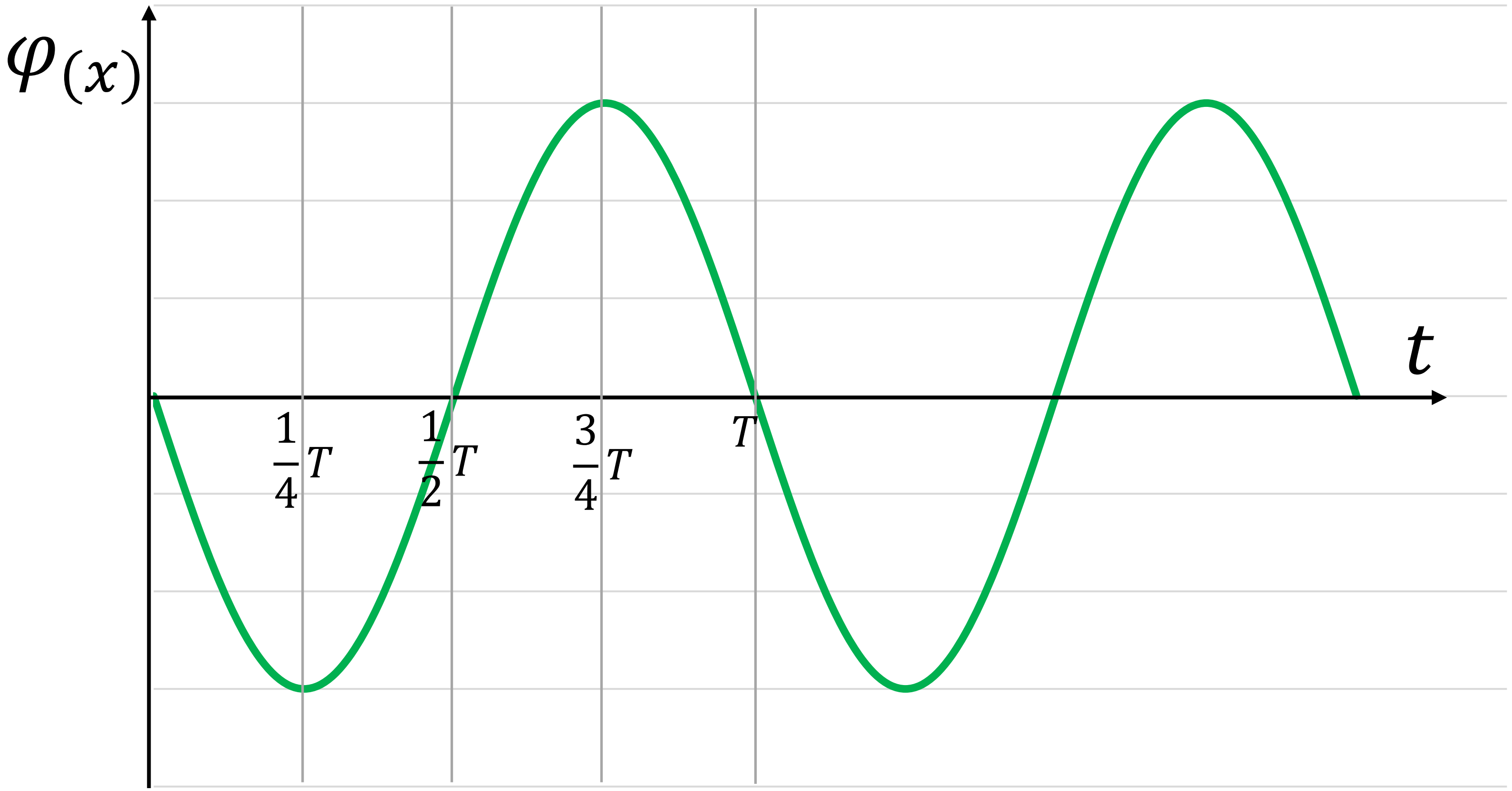
Teniendo siempre presente que $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ y que $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Función de Onda

Elongación en función del tiempo para $x = 0$

$$\boxed{\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)}$$

$$\varphi_{(t)} = A.\sin(-\omega.t)$$



Para graficar vamos reemplazando a t por proporciones de T:

$$t = 0$$
$$t = \frac{1}{4}T$$
$$t = \frac{1}{2}T$$
$$t = \frac{3}{4}T$$
$$t = T$$

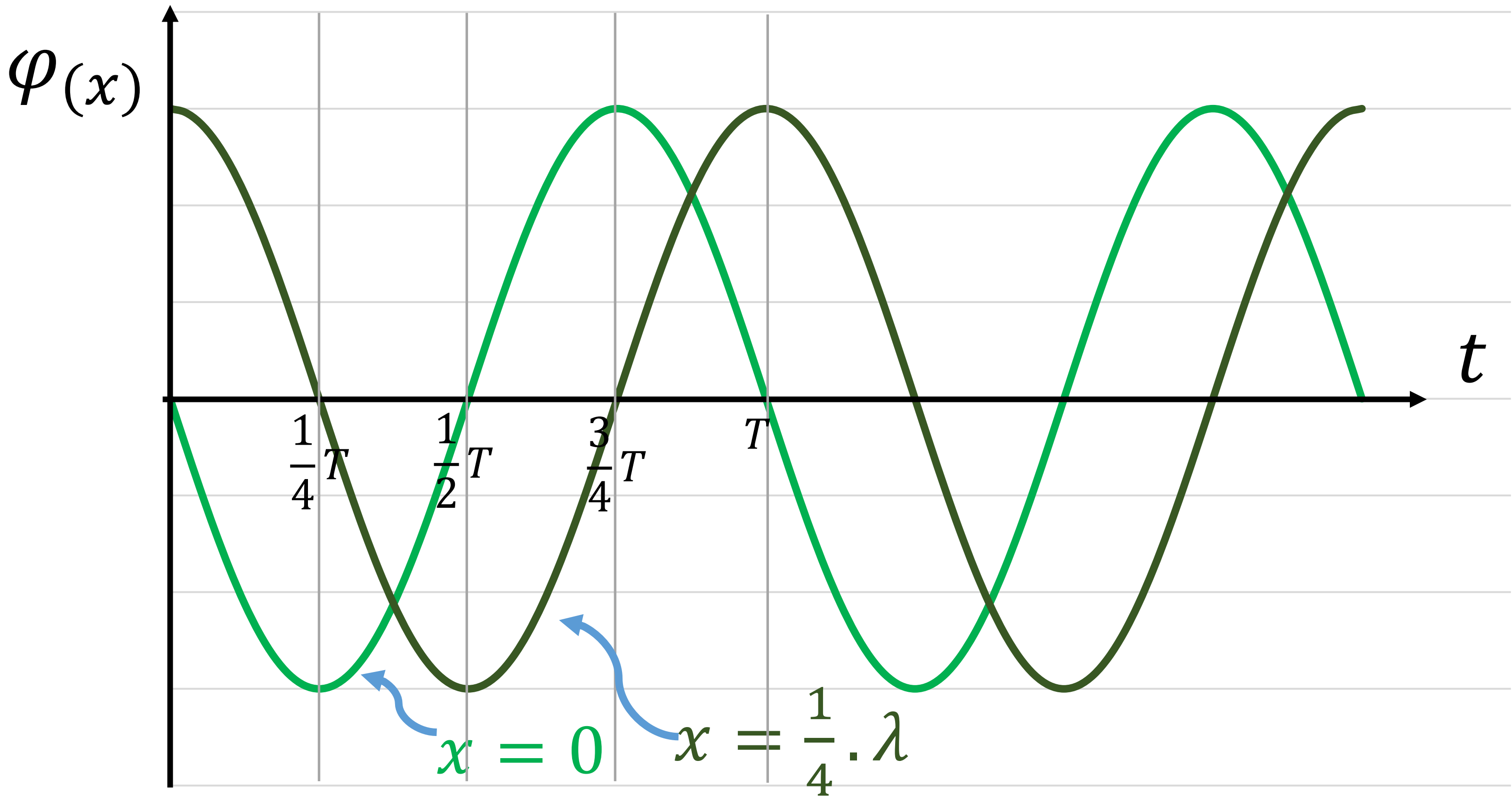
Teniendo siempre presente que $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Función de Onda

Elongación en función del tiempo para $x = \frac{1}{4}\lambda$

$$\boxed{\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)}$$

$$\varphi_{(t)} = A.\sin\left(k.\frac{1}{4}\lambda - \omega.t\right)$$



Para graficar vamos reemplazando a t por proporciones de T:

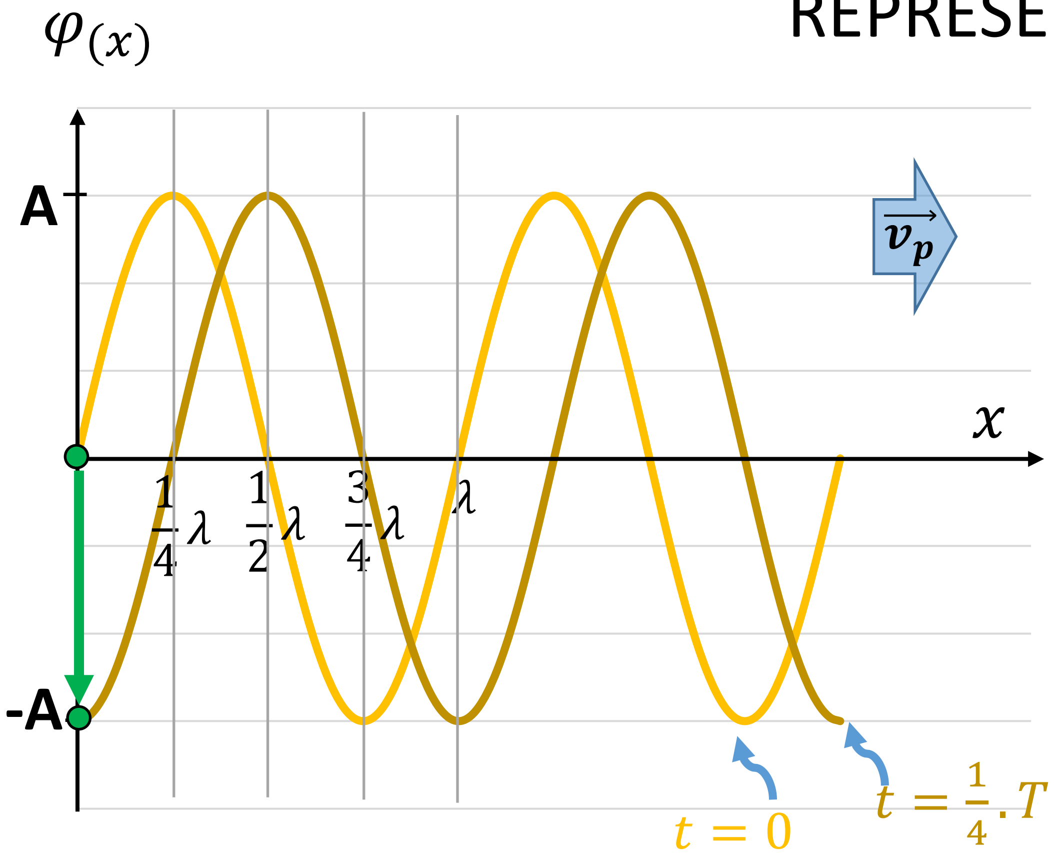
$$t = 0$$
$$t = \frac{1}{4}T$$
$$t = \frac{1}{2}T$$
$$t = \frac{3}{4}T$$
$$t = T$$

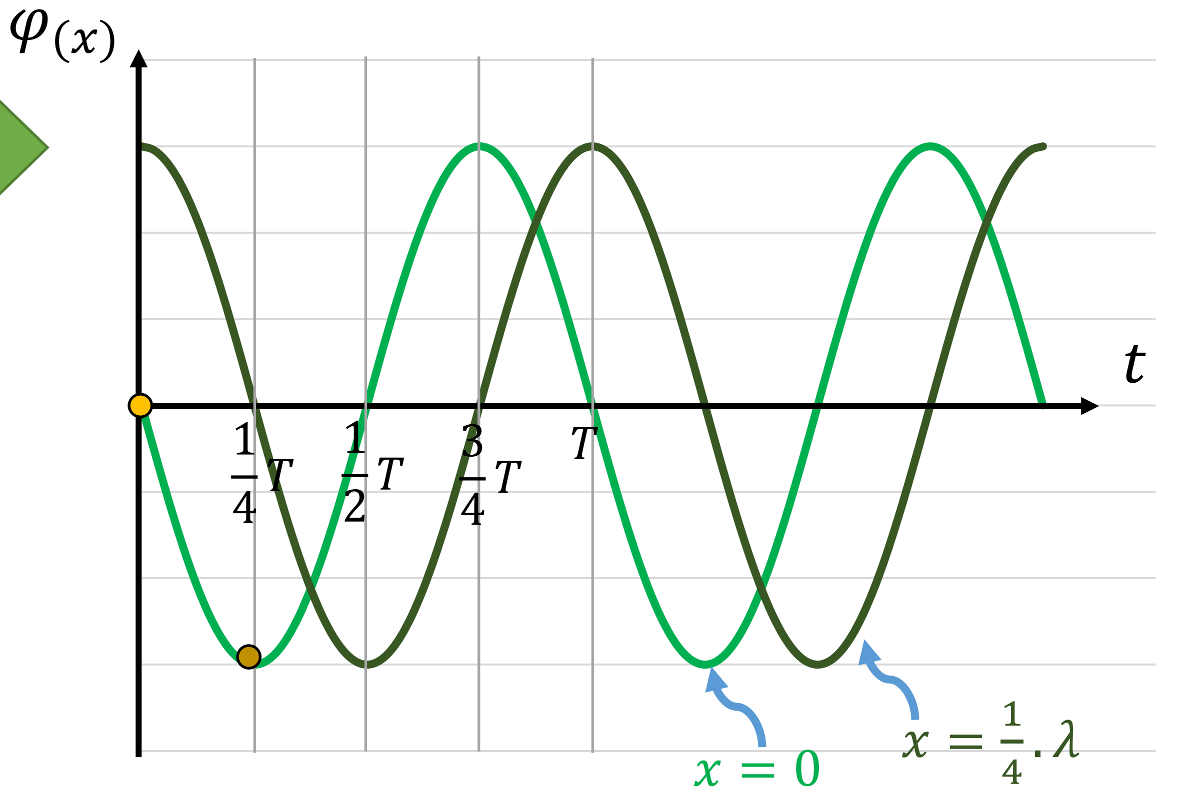
Teniendo siempre presente que $\omega = \frac{2\pi}{T}$ y que $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Función de Onda

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)$$

REPRESENTACIONES GRÁFICAS

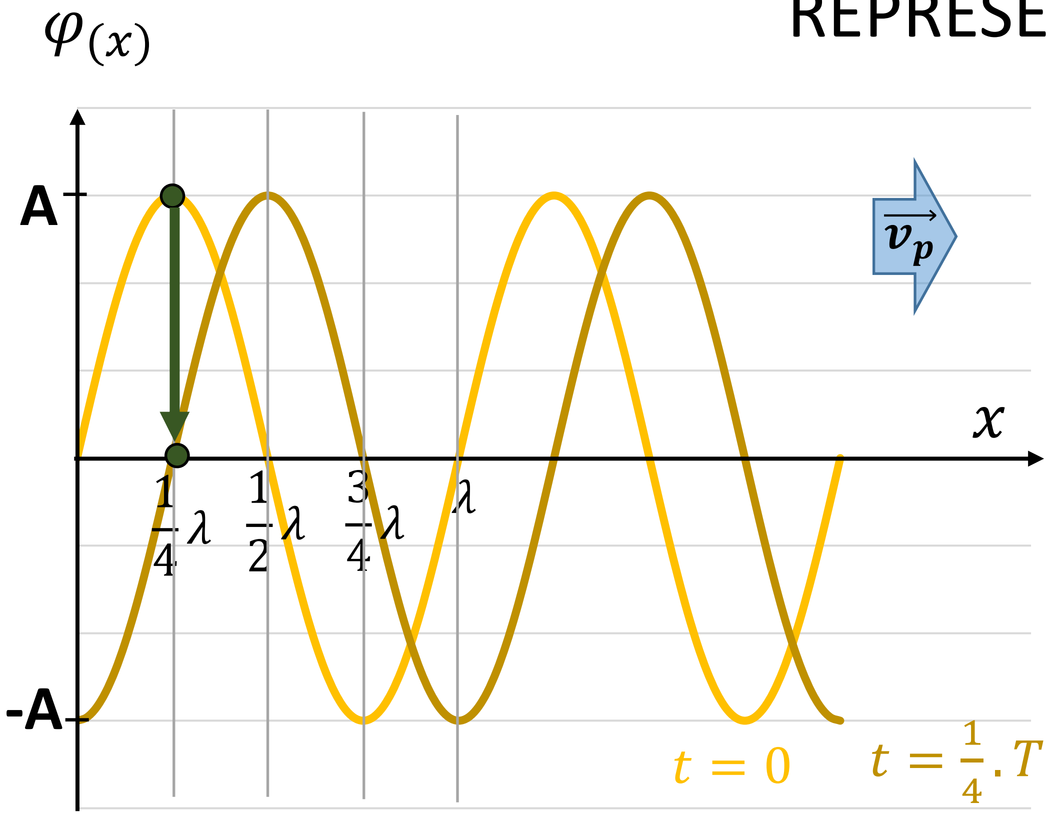


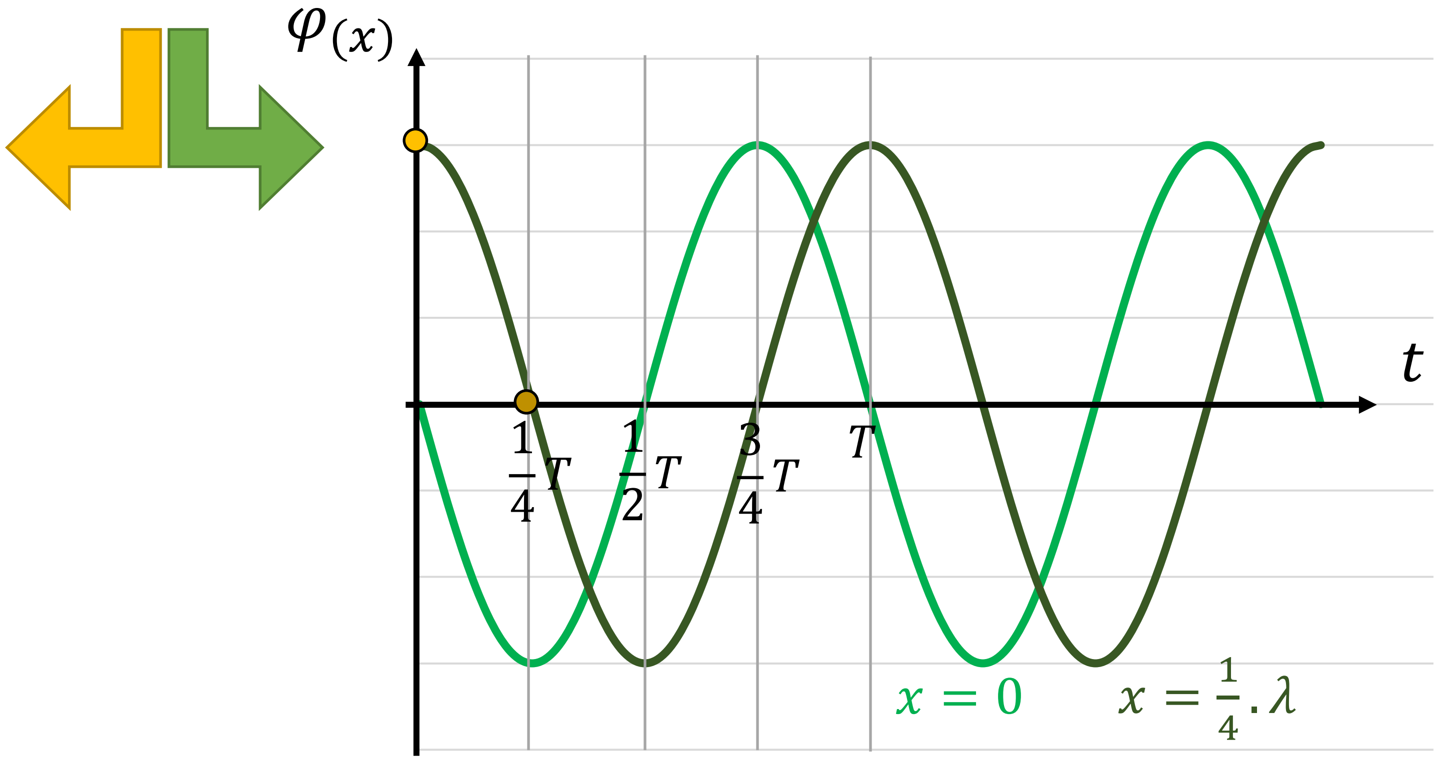


Función de Onda

$$\varphi_{(x,t)} = A.\sin(k.x - \omega.t)$$

REPRESENTACIONES GRÁFICAS

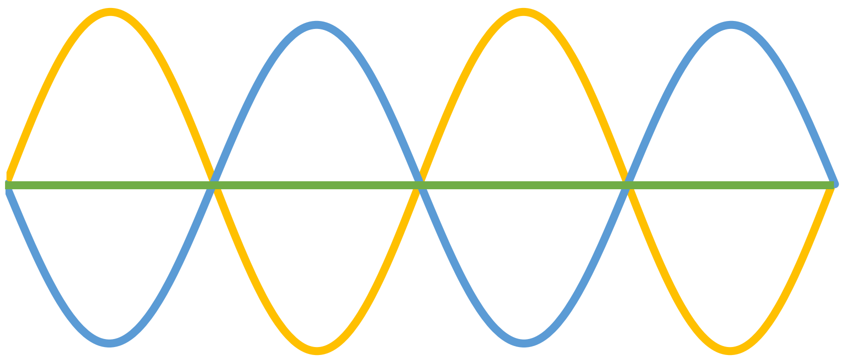


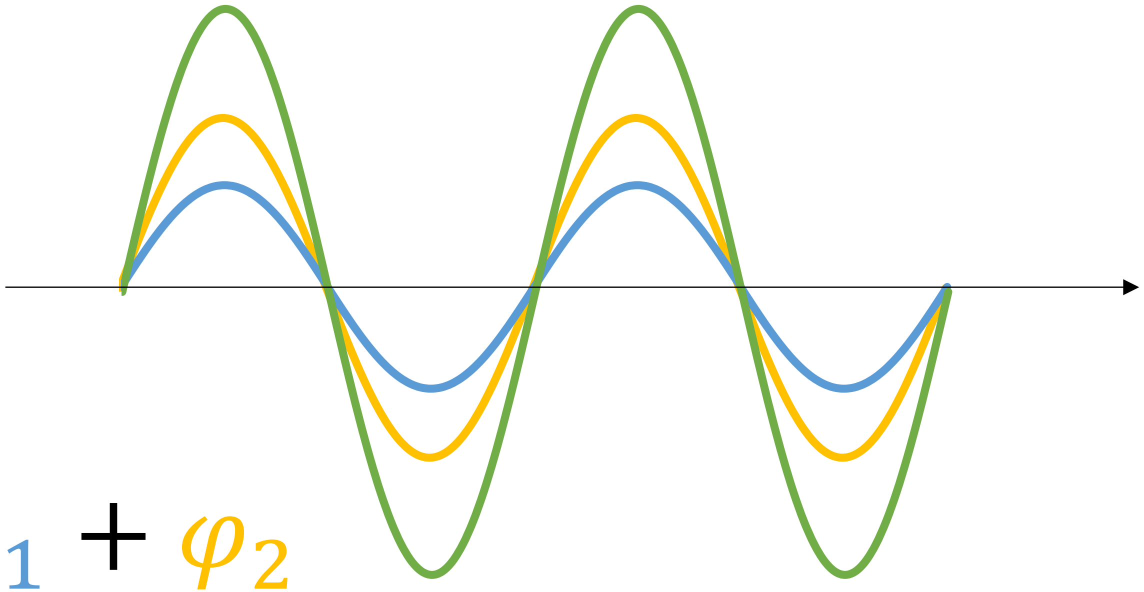


Principio de Superposición

Si 2 o más ondas de igual naturaleza coinciden en el espacio, en cada punto e instante, la onda resultante es la suma algebraica de ellas.

$$\varphi_{(x,t)_{Total}} = \varphi_{(x,t)_1} + \varphi_{(x,t)_2} + \cdots + \varphi_{(x,t)_n}$$





$$\varphi_{Total} = \varphi_1 + \varphi_2$$

Ondas en una Cuerda

- Se trata de ondas mecánicas, transversales.
- Requieren que la cuerda esté en tensión.
- La velocidad de propagación está dada por la siguiente ecuación:

$$v_p = \sqrt{\frac{\mathbb{T}}{\mu}}$$

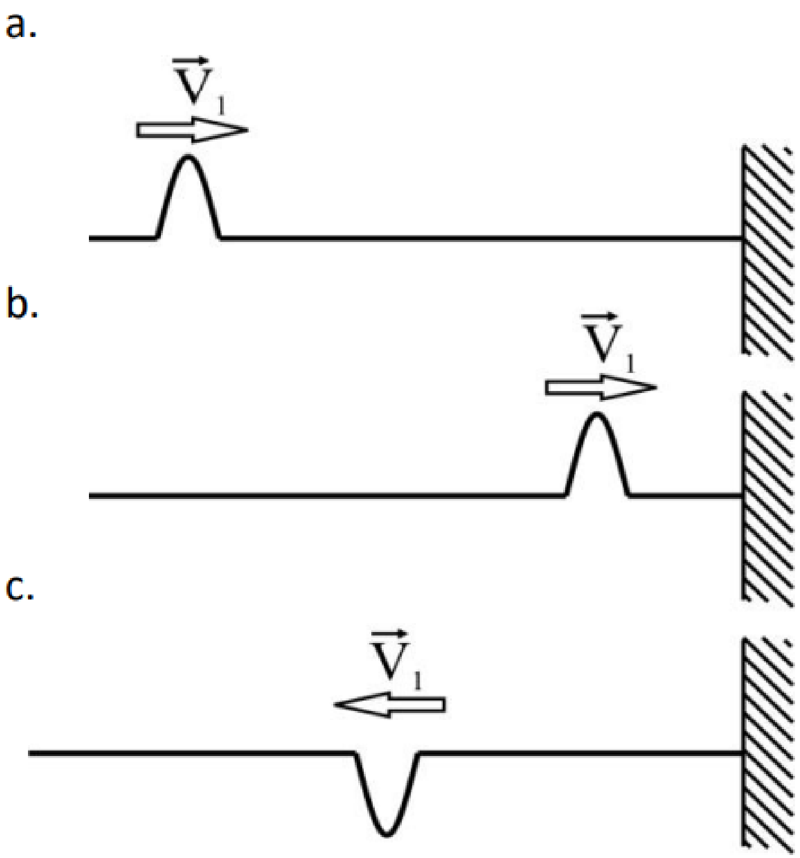
$\mathbb{T} = [N]$: Tensión

$\mu = \left[\frac{Kg}{m}\right]$: Masa por unidad de longitud

Experimento de V con soga elástica

Ondas en una Cuerda

- Al llegar a un cambio de medio en un punto fijo puede reflejarse



Esto es para un pulso. Pero si la onda es periódica, la onda que va (de izquierda a derecha), se encuentra con la que vuelve (de derecha a izquierda) y hay que analizar **el principio de superposición**.

Ondas Estacionarias

Experimento con resorte

Ondas Estacionaria

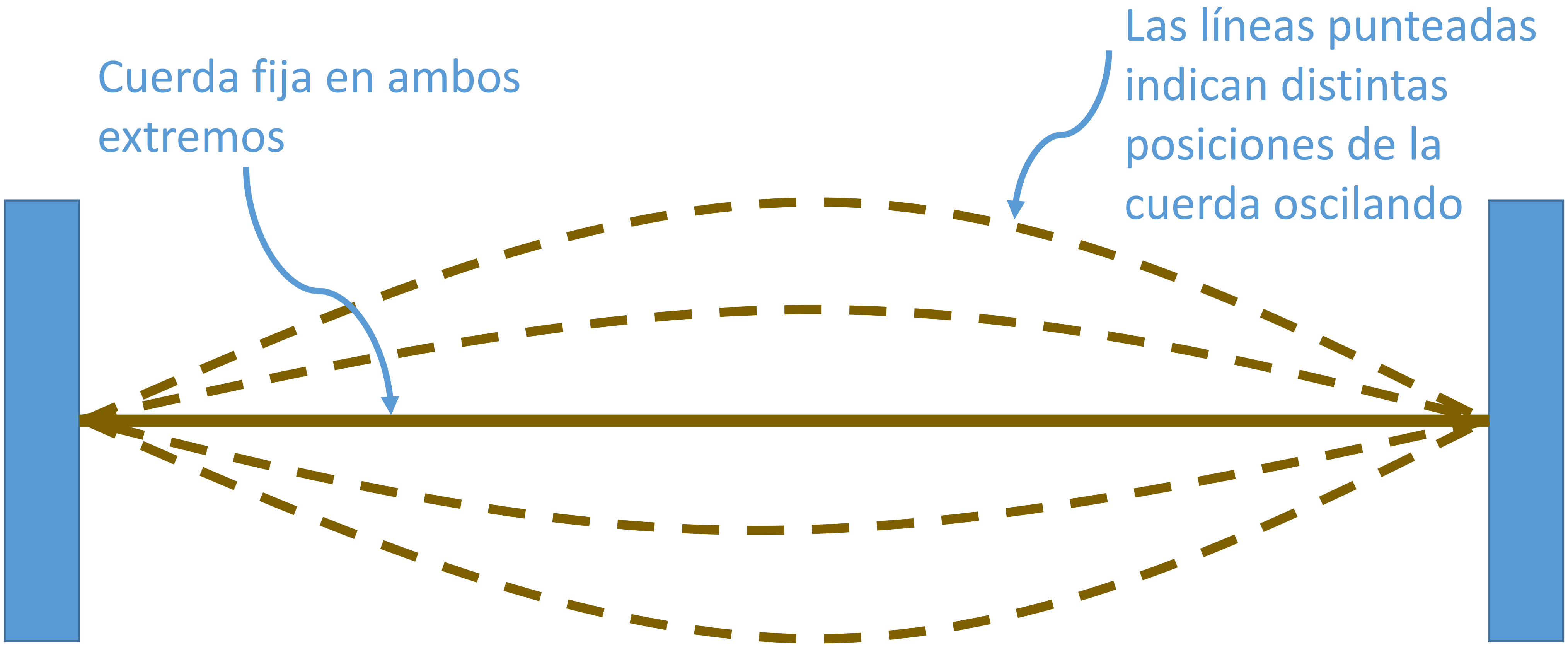
- ONDAS ESTACIONARIAS:
  - Para que ocurran deben superponerse 2 ondas con igual amplitud y longitud de onda.

Medio de Propagación	Vacío: O. Electromagnéticas
	Medio Material: O. Mecánicas
Dirección de Oscilación	O. Longitudinales
	O. Transversales
Repetición del ciclo	1 vez: O. no periódica (pulso)
	Muchas veces: O. Periódica
Expresión Analítica	Armónica
	No Armónica
Transporte de Energía	Sí. O. Viajera
	No. O. Estacionaria

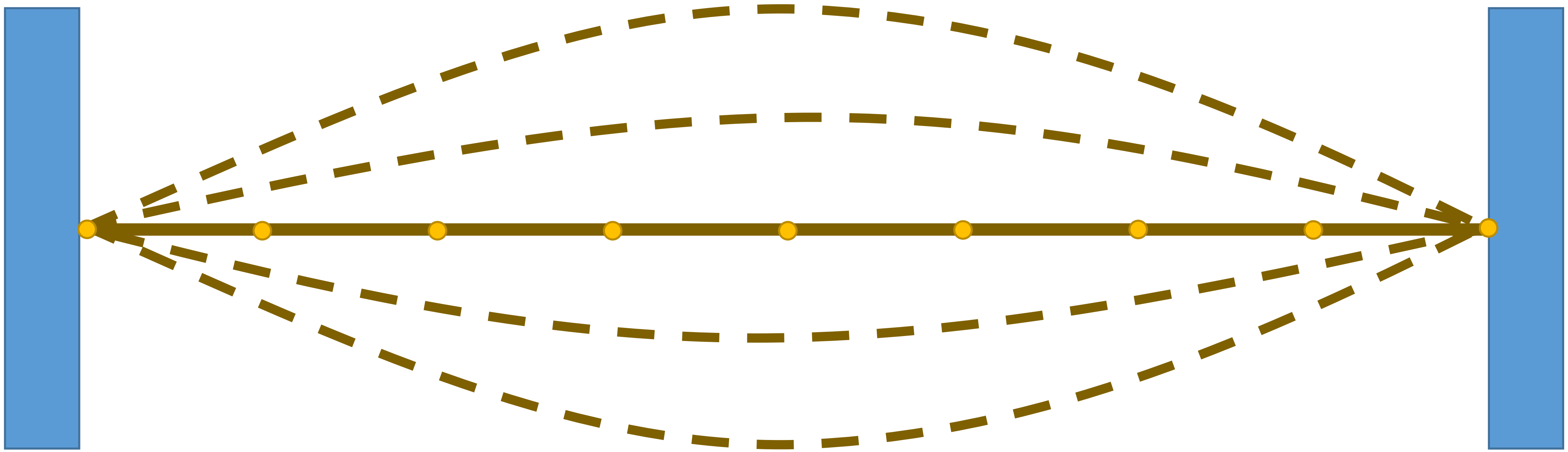
Ondas Estacionaria en una Cuerda

Experimento con soga elástica

Ondas Estacionaria en una Cuerda



FÍSICA 1 - Unidad 9. ONDAS Y SONIDO.
Ondas Estacionaria en una Cuerda

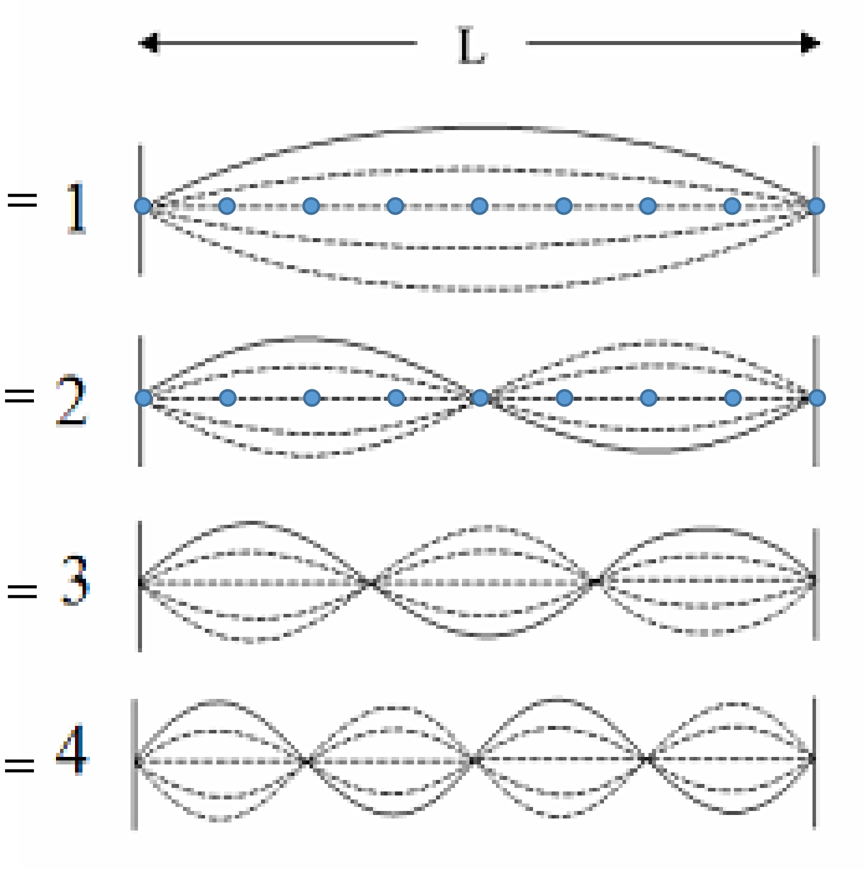


Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS:
  - Características
    - En un ciclo, cada punto vibra con diferente amplitud.
    - Existen puntos que no oscilan “NODOS”.
    - Todos los puntos oscilan con la misma frecuencia.
    - No hay transferencia de energía de un punto al de al lado.
    - En cada punto de la cuerda, la energía se convierte de cinética a potencial y viceversa
    - Cada punto de la cuerda se mueve con un MAS

Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS
    - 1^{ER} ARMÓNICO
    - 2º ARMÓNICO
    - 3^{ER} ARMÓNICO
    - 4º ARMÓNICO

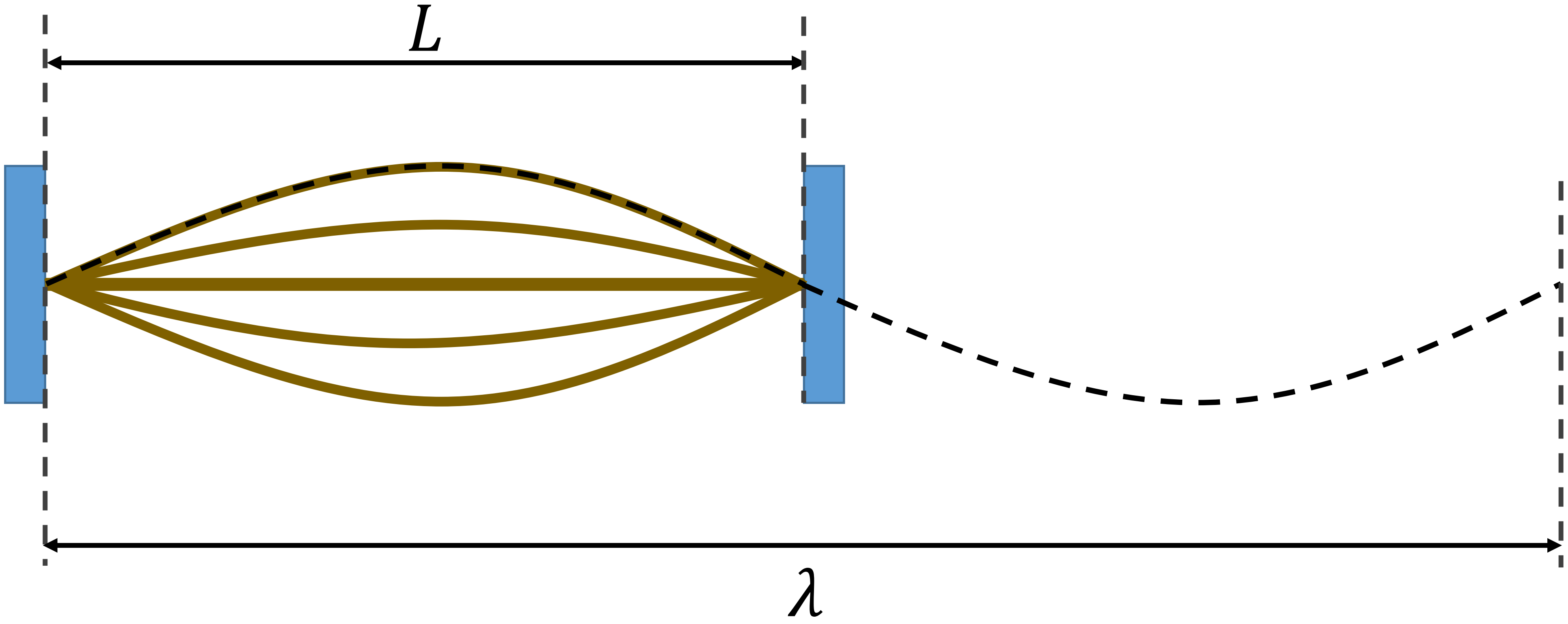


Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS
    - 1ER ARMÓNICO $n = 1$

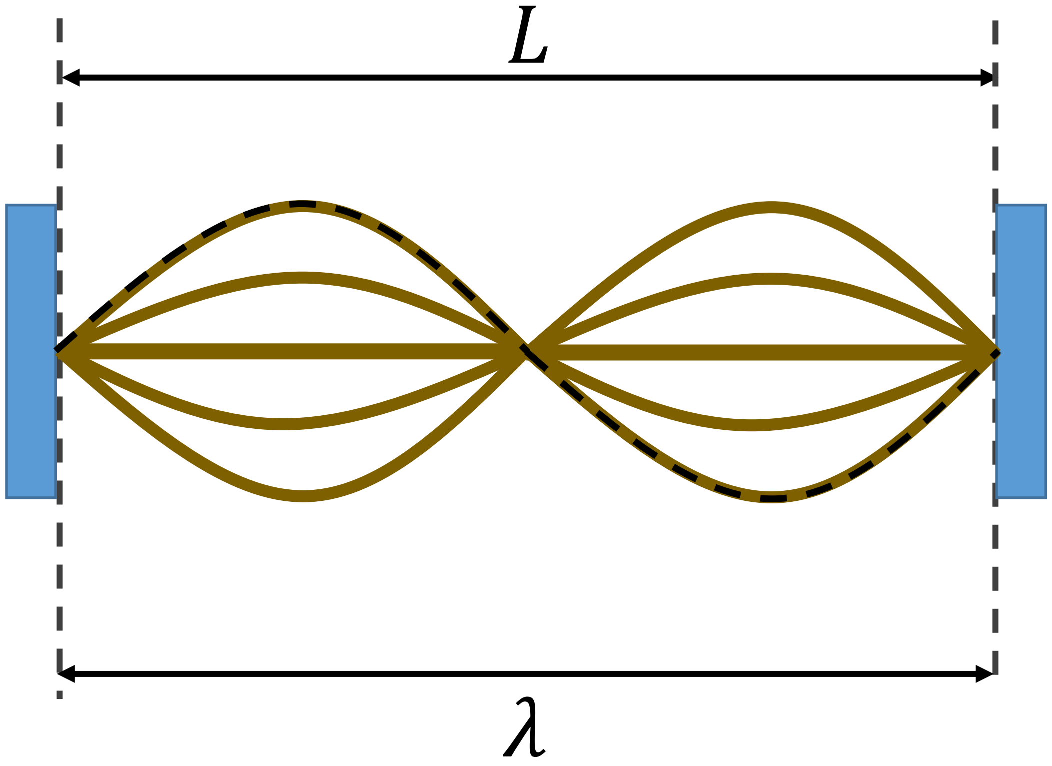
¿Relación entre L y λ?

$$\lambda_{n=1} = 2.L$$



Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS
    - 2º ARMÓNICO $n = 2$

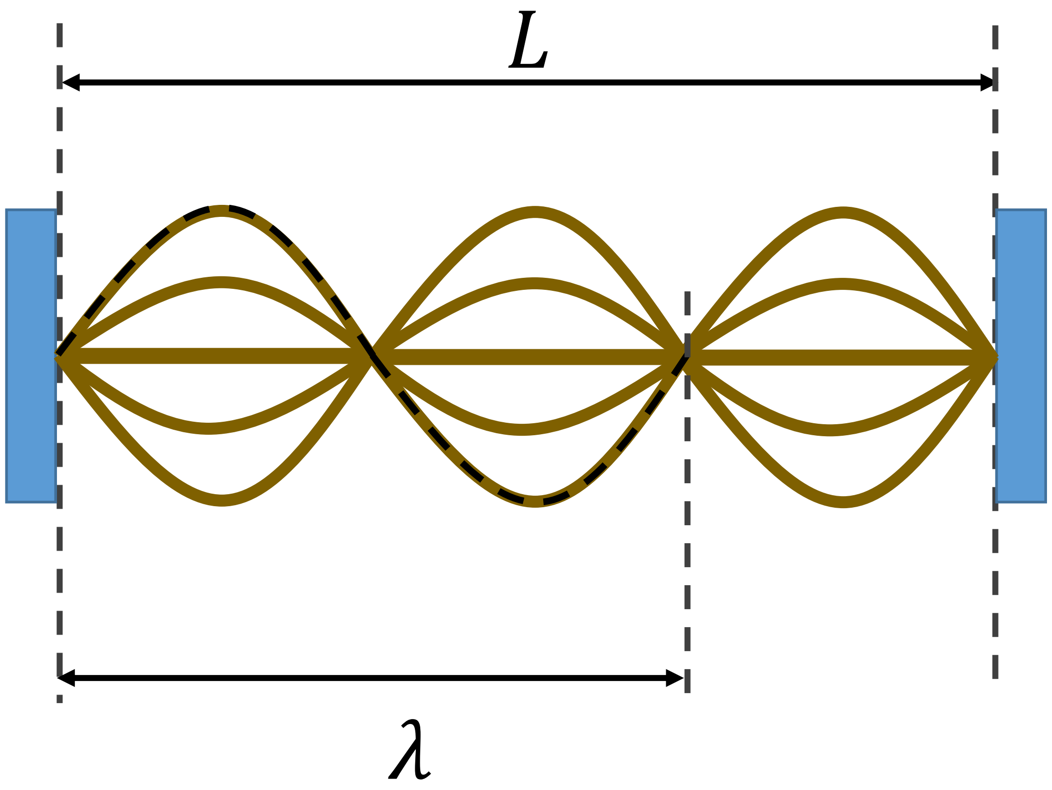


¿Relación entre L y λ?

$$\lambda_{n=2} = L$$

Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS
    - 3ER ARMÓNICO $n = 3$

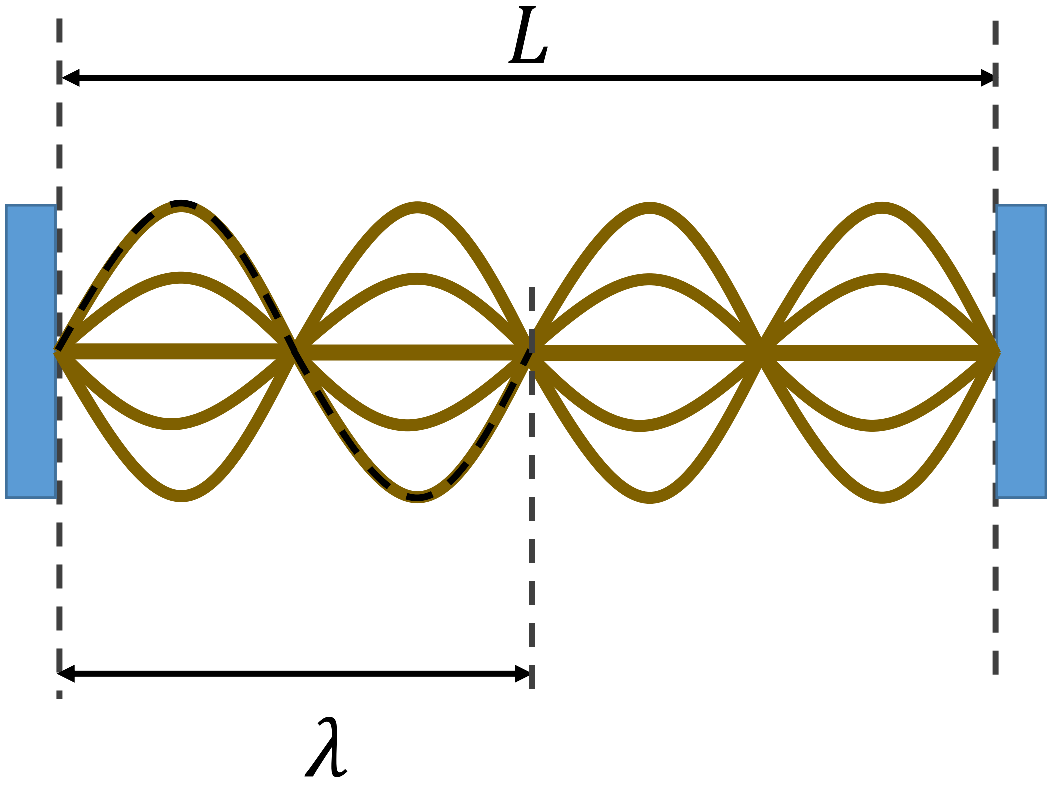


¿Relación entre L y λ?

$$\lambda_{n=3} = \frac{2}{3} . L$$

Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS
    - 4º ARMÓNICO $n = 4$



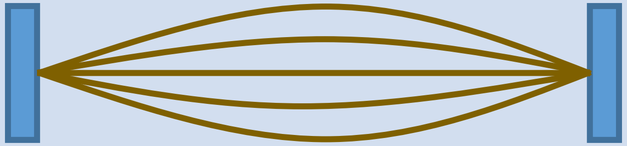
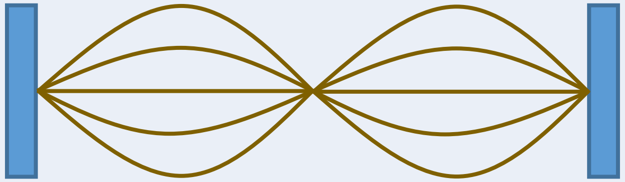
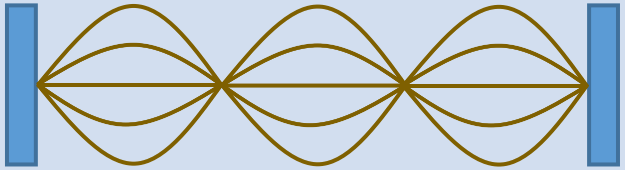
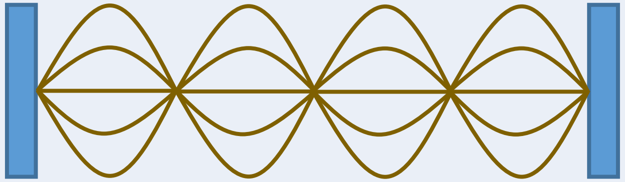
¿Relación entre L y λ?

$$\lambda_{n=4} = \frac{2}{4} . L$$

Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS

Debemos encontrar una expresión general que nos permita conocer la frecuencia de cada armónico.

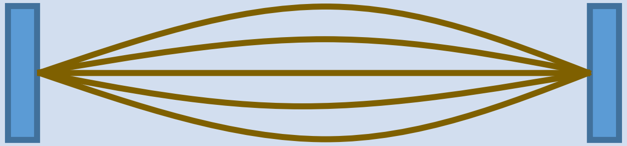
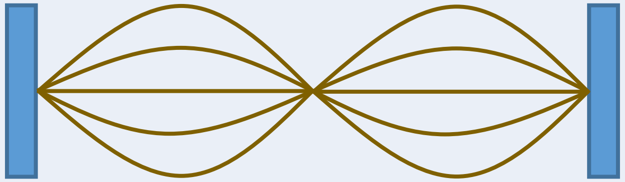
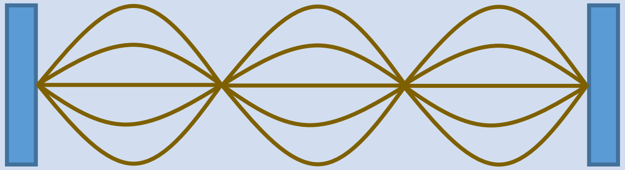
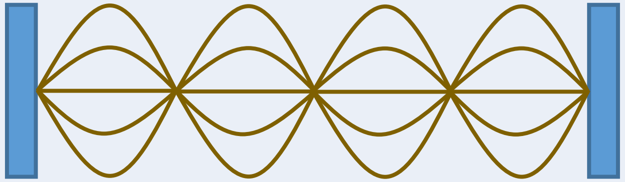
ARMÓNICO n	REPRESENTACIÓN	REACION $\lambda - L$
1º $n = 1$		$\lambda_{n=1} = 2.L$
2º $n = 2$		$\lambda_{n=2} = L$
3º $n = 3$		$\lambda_{n=3} = \frac{2}{3}.L$
4º $n = 4$		$\lambda_{n=4} = \frac{2}{4}.L$

¿?

Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS

Debemos encontrar una expresión general que nos permita conocer la frecuencia de cada armónico.

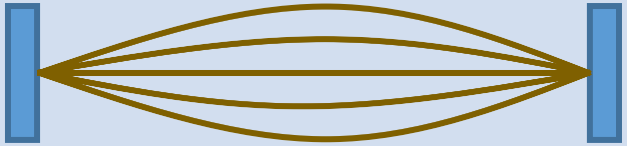
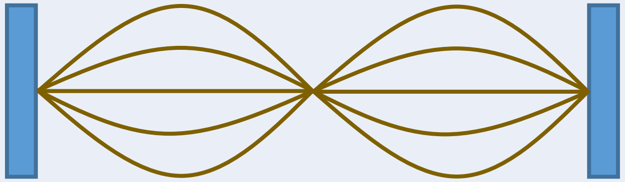
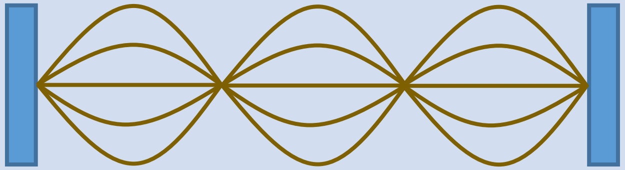
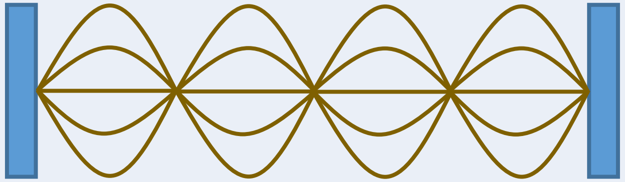
ARMÓNICO n	REPRESENTACIÓN	REACION $\lambda - L$
1º $n = 1$		$\lambda_{n=1} = \frac{2}{1}.L$
2º $n = 2$		$\lambda_{n=2} = L$
3º $n = 3$		$\lambda_{n=3} = \frac{2}{3}.L$
4º $n = 4$		$\lambda_{n=4} = \frac{2}{4}.L$

Onda Estacionaria en una Cuerda

Debemos encontrar una expresión general que nos permita conocer la frecuencia de cada armónico.

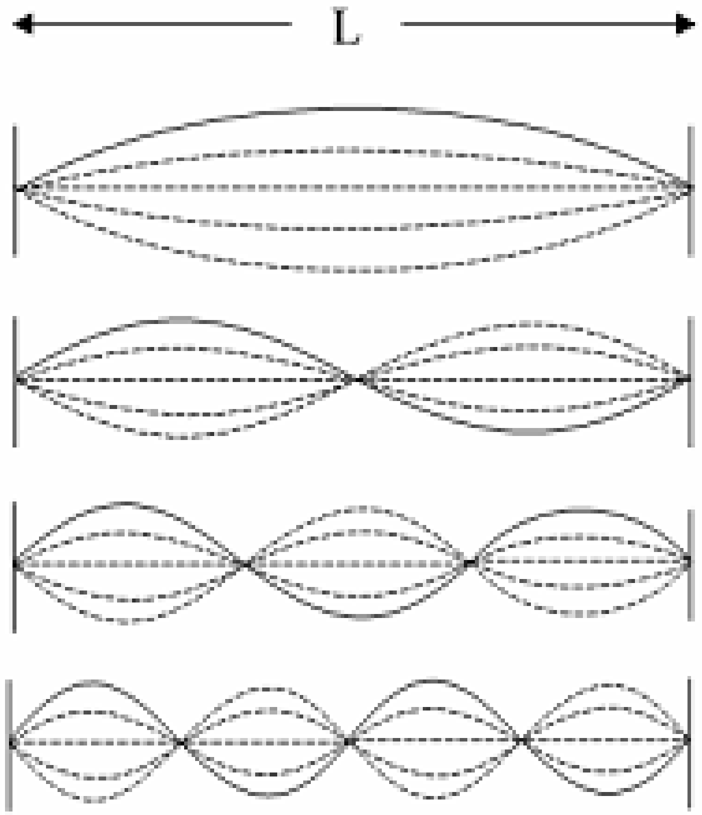
$$\lambda_n = \frac{2.L}{n}$$

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS

ARMÓNICO n	REPRESENTACIÓN	REACION $\lambda - L$
1º $n = 1$		$\lambda_{n=1} = \frac{2}{1}.L$
2º $n = 2$		$\lambda_{n=2} = \frac{2}{2}.L$
3º $n = 3$		$\lambda_{n=3} = \frac{2}{3}.L$
4º $n = 4$		$\lambda_{n=4} = \frac{2}{4}.L$

Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 2 EXTREMOS FIJOS
    - 1ER ARMÓNICO
    - 2º ARMÓNICO
    - 3ER ARMÓNICO
    - 4º ARMÓNICO



$$\boxed{\lambda_n = \frac{2.L}{n}}$$

Y si queremos encontrar la frecuencia para cada armónico:

$$v_p = \frac{\lambda}{T} = \lambda.f$$

$$f = \frac{v_p}{\lambda}$$

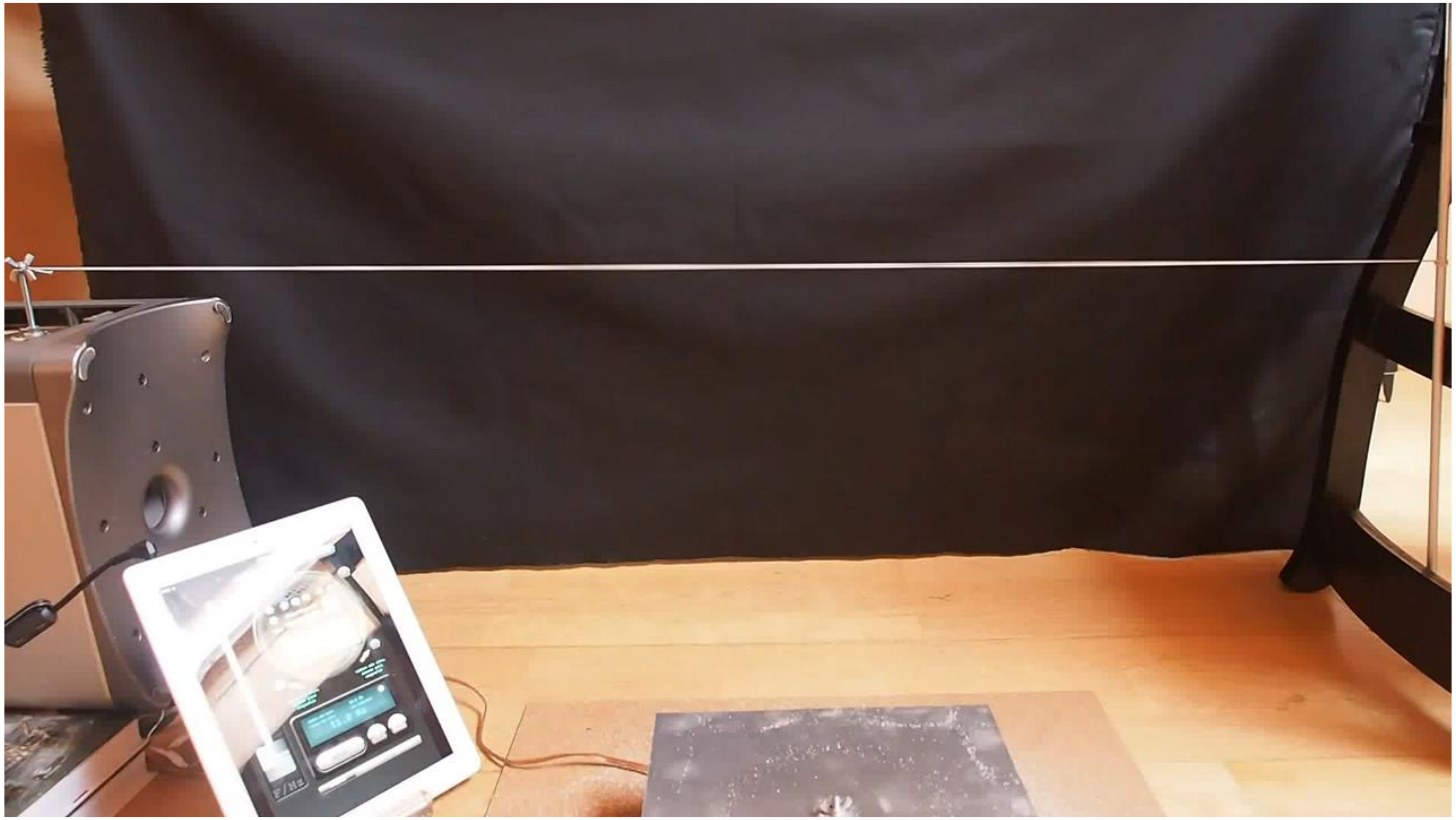
Frecuencia necesaria para que se establezca el primer armónico

$$\boxed{f_n = \frac{n}{2.L}v_p}$$

Onda Estacionaria en una Cuerda

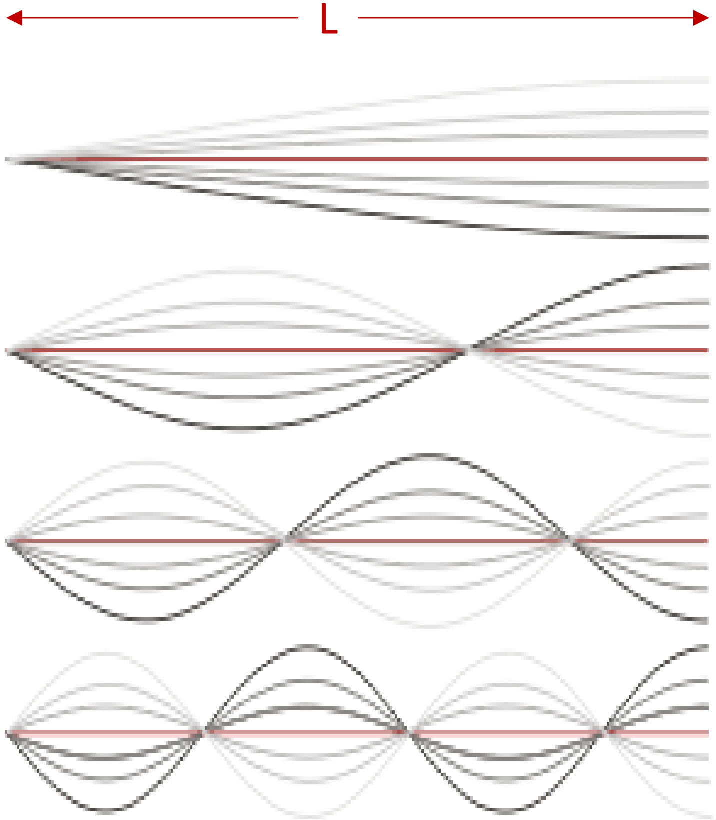
$$\lambda_n = \frac{2.L}{n}$$

$$f_n = \frac{n}{2.L} v_p$$



Onda Estacionaria en una Cuerda

- ONDAS ESTACIONARIAS
  - 1 EXTREMO FIJO Y EL OTRO LIBRE



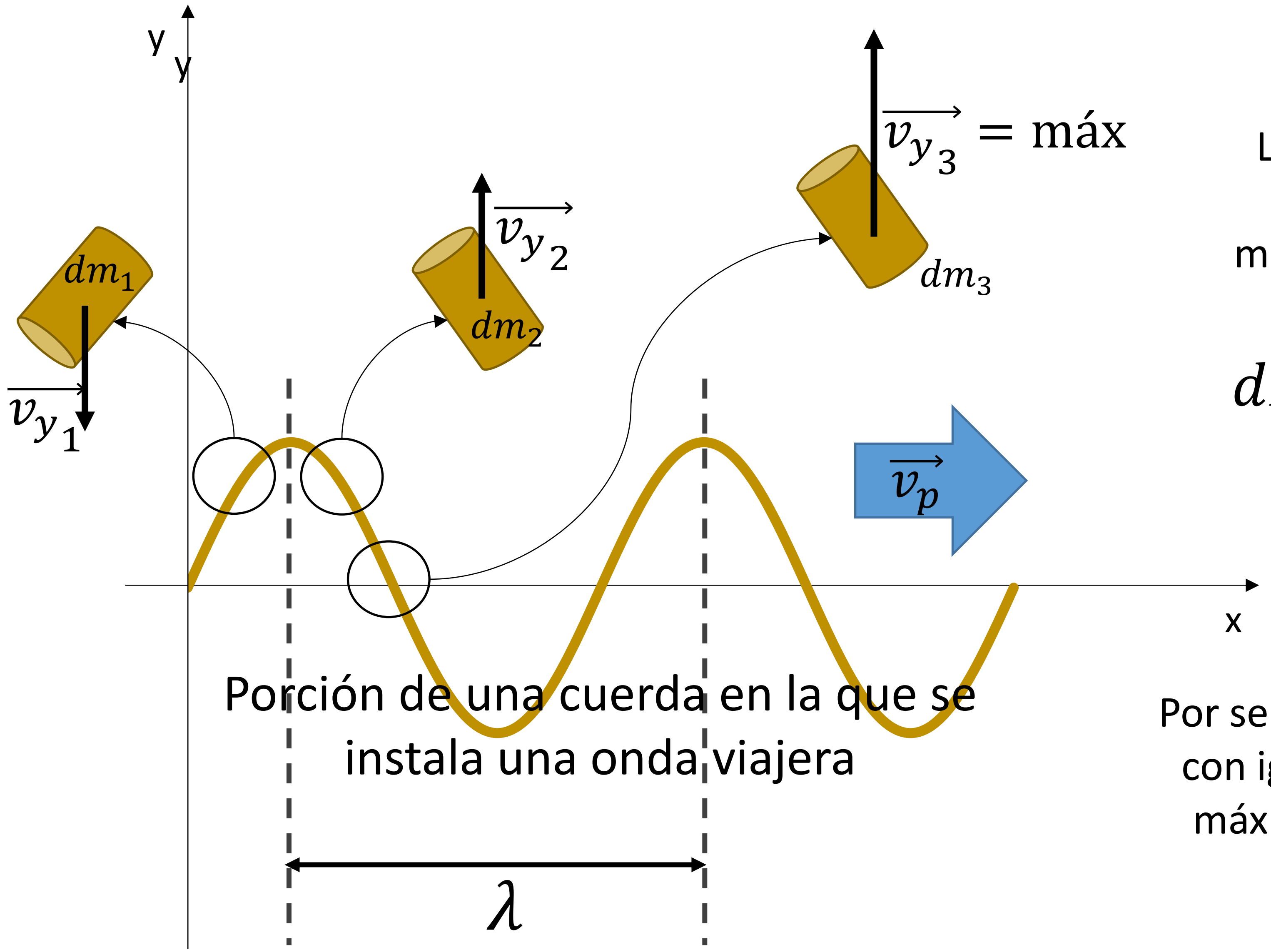
- 1^{ER} ARMÓNICO $\quad n = 1$
- 2º ARMÓNICO $\quad n = 2$
- 3^{ER} ARMÓNICO $\quad n = 3$
- 4º ARMÓNICO $\quad n = 4$

$$\lambda_n = \frac{4.L}{2n-1}$$

$$f = \frac{v_p}{\lambda}$$

$$\boxed{f_n = \frac{v_p}{4.L}.(2n-1)}$$

Energía de Ondas Viajeras en una Cuerda



$$dE_{C_i} = \frac{1}{2} . dm_i . {v_y}_i^{\,2}$$

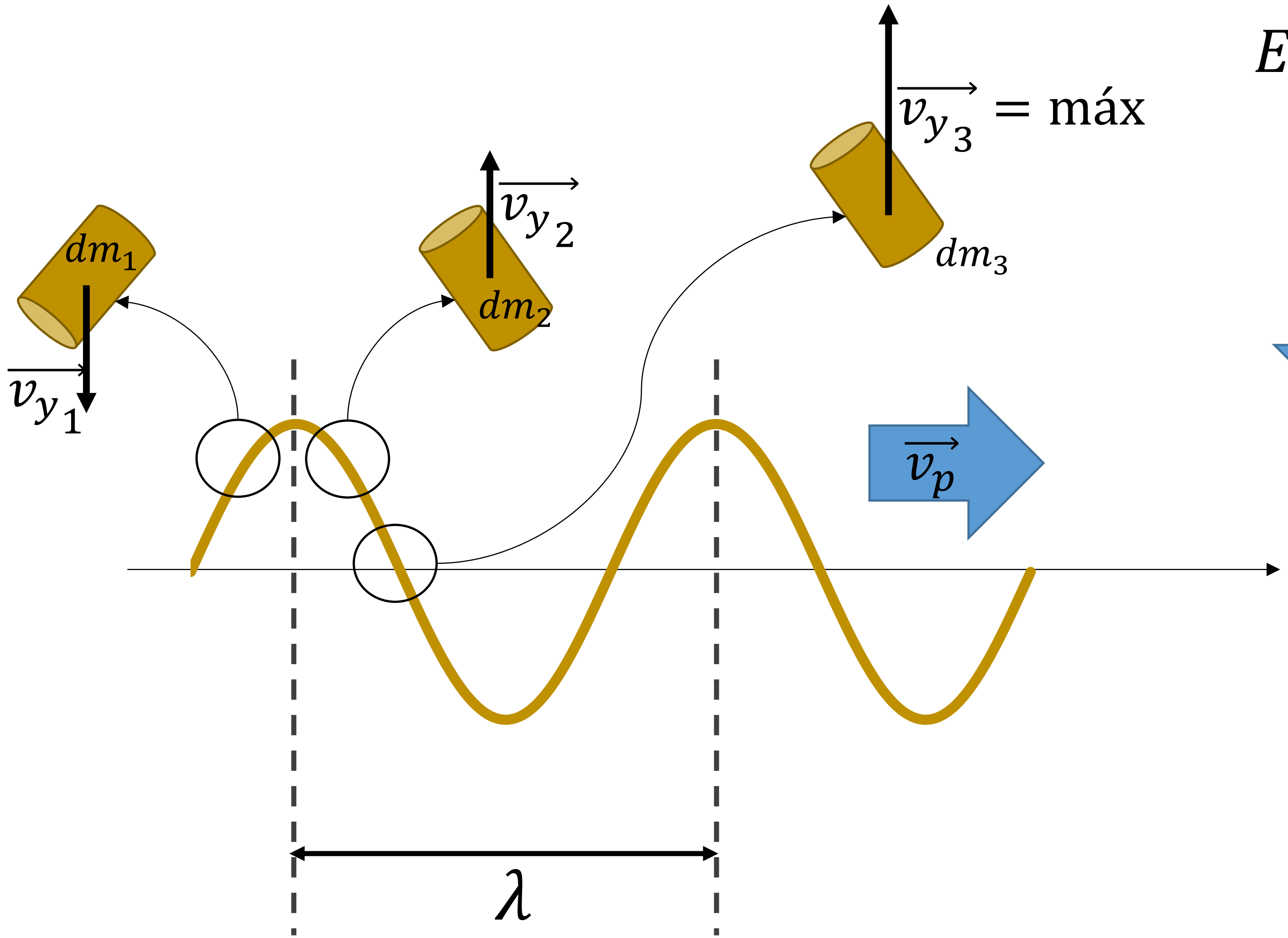
Los dm que estén con perturbación nula, no tendrán E_{Pel}. Por lo que tendrán $\overrightarrow{v_y}$ y E_C máximas, y la E_C será igual a la mecánica total.

$$dE_T = dE_{C_{máx}} = \frac{1}{2} . dm_i . {v_y}_{máx}^{\,2}$$

En el resto de las posiciones, tendrá E_{Pel} y E_C, pero la suma de ambas se mantendrá constante.

Por ser una onda viajera, todos los puntos oscilan con igual amplitud y tienen la misma velocidad máxima. Entonces: Todos los dm de la cuerda tienen el mismo dE_T

Energía de una Onda Viajera en una Cuerda



Para encontrar la E_T de un tramo de cuerda que ocupa un espacio λ:

$$E_{T\lambda} = E_{C\,máx\,\lambda} = \frac{1}{2}.m_\lambda.{v_y}_{máx}^{\;2}$$

$$\mu = \frac{m}{L} \;\rightarrow\; m = \mu.L \;\rightarrow\; m_\lambda = \mu.\lambda$$

$$E_{T\lambda} = \frac{1}{2}.\mu.\lambda.{v_y}_{máx}^{\;2}$$

Recordemos la función ${v_y}_t = \frac{dy}{dt}$

$$E_{T\lambda} = \frac{1}{2}.\mu.\lambda.(\omega.A)^2$$

$$\boxed{E_{T\lambda} = \frac{1}{2}.\mu.\lambda.\omega^2 A^2}$$

Potencia de una Onda Viajera en una Cuerda

$$E_\lambda = \frac{1}{2}.\mu.\lambda.\omega^2 A^2$$

Potencia

Potencia es la cantidad de Energía (J) involucrada por unidad de tiempo(s)

$$P = \frac{E}{t} = \left[\frac{J}{s} = W\right]$$

Como estamos considerando la energía de una λ, para el tiempo corresponde considerar un T

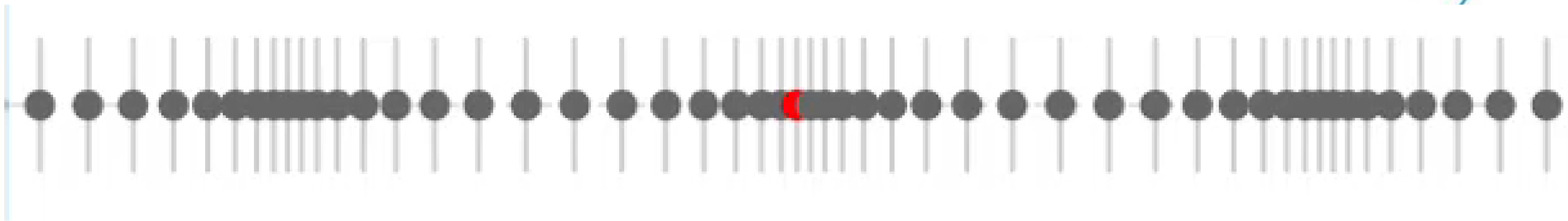
$$P = \frac{E_\lambda}{T} = \frac{1}{2}.\mu.\frac{\lambda}{T}.\omega^2 A^2$$

$$v_p = \frac{\lambda}{T}$$

$$\boxed{P = \frac{1}{2}.\mu.v_p.\omega^2 A^2}$$

Ondas Sonoras

- Se trata de ondas mecánicas, longitudinales.
- Las moléculas del material por el que se propaga el sonido oscilan hacia adelante y hacia atrás, en el mismo eje de propagación.



- Aparecen lugares donde hay muchas moléculas (alta presión) y lugares donde hay pocas moléculas (baja presión)

Ondas Sonoras

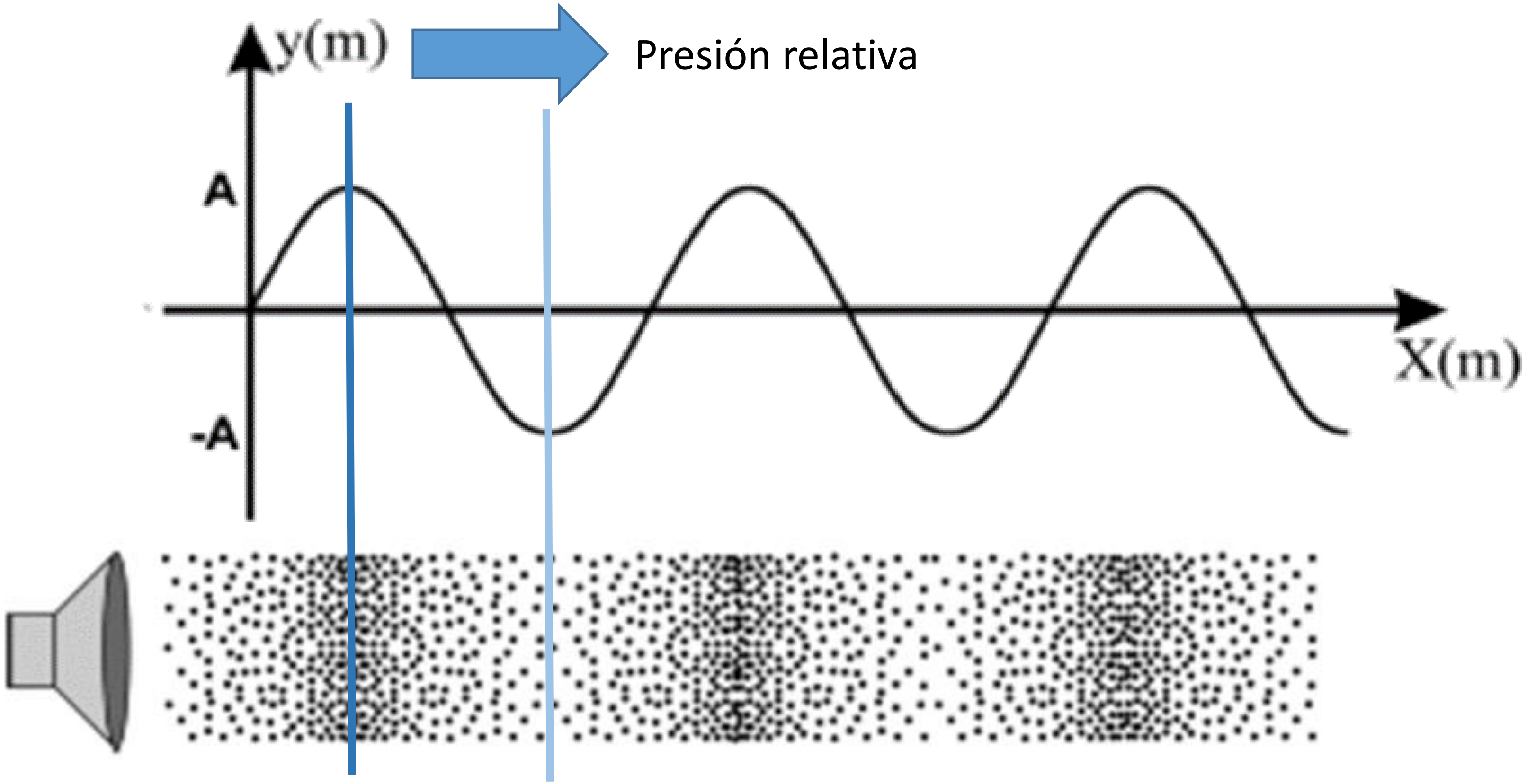
- Infrasonido: Ondas sonoras de frecuencias menores a 20 Hz. No son percibidas por el humano

- Sonido audible (por el humano): Ondas sonoras con frecuencias entre 20 Hz y 20 KHz (varía entre personas)

- Ultrasonido: Ondas sonoras de frecuencias mayores a 20 KHz, . No son percibidas por el humano

Ondas Sonoras

- Aparecen lugares donde hay muchas moléculas (alta densidad y presión) y lugares donde hay pocas moléculas (baja densidad y presión)



Ondas Sonoras

- La velocidad de propagación del sonido depende del medio material en el que se propague.

$$v_p = \sqrt{\frac{k}{\delta}}$$

$k = [Pa]$: Módulo de compresibilidad adiabática

$\delta = \left[\frac{kg}{m^3}\right]$: Densidad del medio de propagación

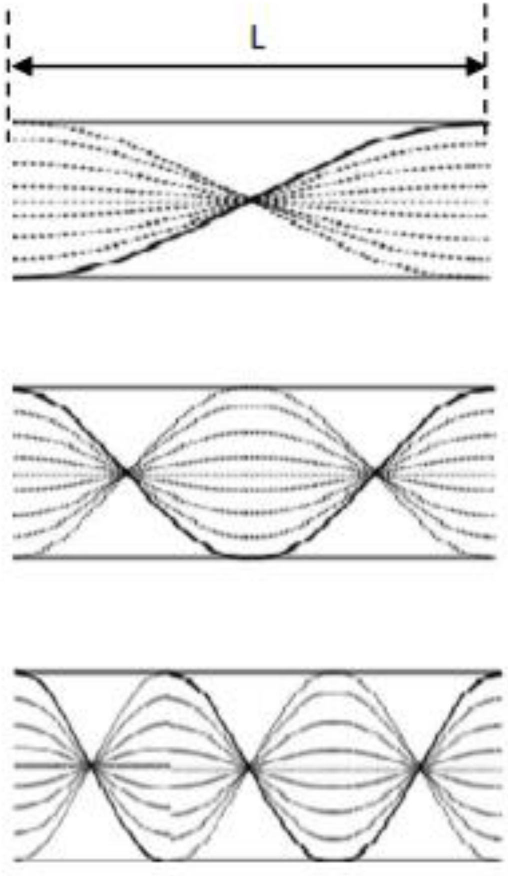
$$\left.\begin{array}{l} k_g \ll k_l \; y \; k_s \\ \delta_g < \delta_l \; y \; \delta_s \end{array}\right\} v_{p_g} < v_{p_l} < v_{p_s}$$

- La velocidad del sonido en el aire depende de factores como la temperatura y la presión, pero ronda el valor de 343 m/s

Ondas Sonoras Estacionarias

- Se forman en tubos y tienen todas las características de as estacionarias.

ONDAS SONORAS ESTACIONARIAS EN TUBOS CON AMBOS EXTREMOS ABIERTOS



$$L = \frac{1.\lambda_1}{2}$$

$$L = \frac{2.\lambda_2}{2}$$

$$L = \frac{3.\lambda_3}{2}$$

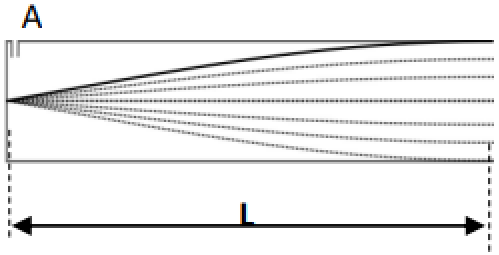
$$L = \frac{n.\lambda_n}{2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\lambda_n = \frac{2.L}{n}}$$

$$\text{f}= \frac{v_p}{\lambda}$$

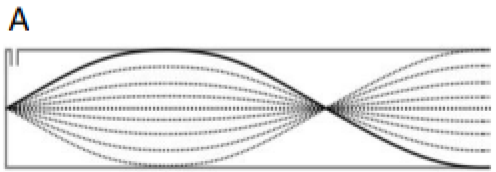
$$\boxed{f_n = \frac{n}{2.L} v_p}$$

Ondas Sonoras Estacionarias

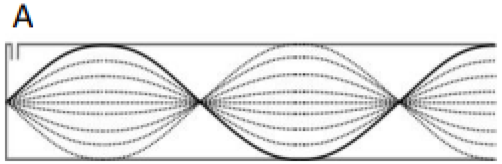
ONDAS SONORAS ESTACIONARIAS EN TUBOS CON UN EXTREMO ABIERTO Y EL OTRO CERRADO



$$L = \frac{1.\lambda_{n=1}}{4}$$



$$L = \frac{3.\lambda_{n=2}}{4}$$



$$L = \frac{5.\lambda_{n=3}}{4}$$

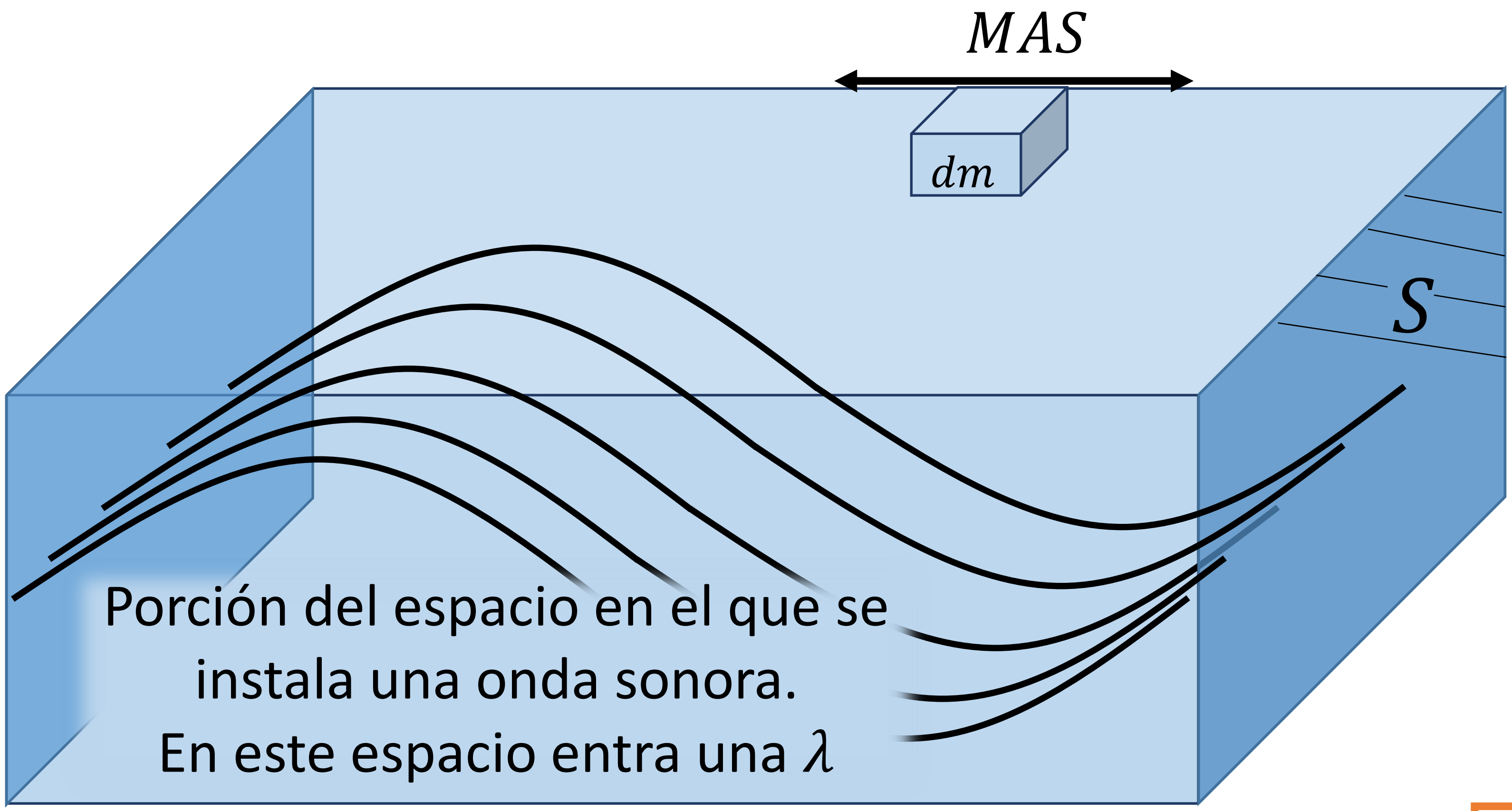
$$\boxed{\lambda_n = \frac{4.L}{2n-1}}$$

$$\boxed{f_n = \frac{v_p}{4.L}.(2n-1)}$$

Experimento con instrumento

Energía de Ondas Sonoras Viajeras

$$dE_T = dE_{C_{máx}} = dE_{P_{máx}} = dE_C + dE_P$$



$$dE_T = \frac{1}{2}.dm.{v_{x_{máx}}}^2$$

$$dm = \delta.dV$$

$$dE_T = \frac{1}{2}.\delta.dV.{v_{x_{máx}}}^2$$

$$dE_T = \frac{1}{2}.\delta.dS.dL.{v_{x_{máx}}}^2$$

$$dE_T = \frac{1}{2}.\delta.dS.dL.\omega^2.A^2$$

Energía de una λ

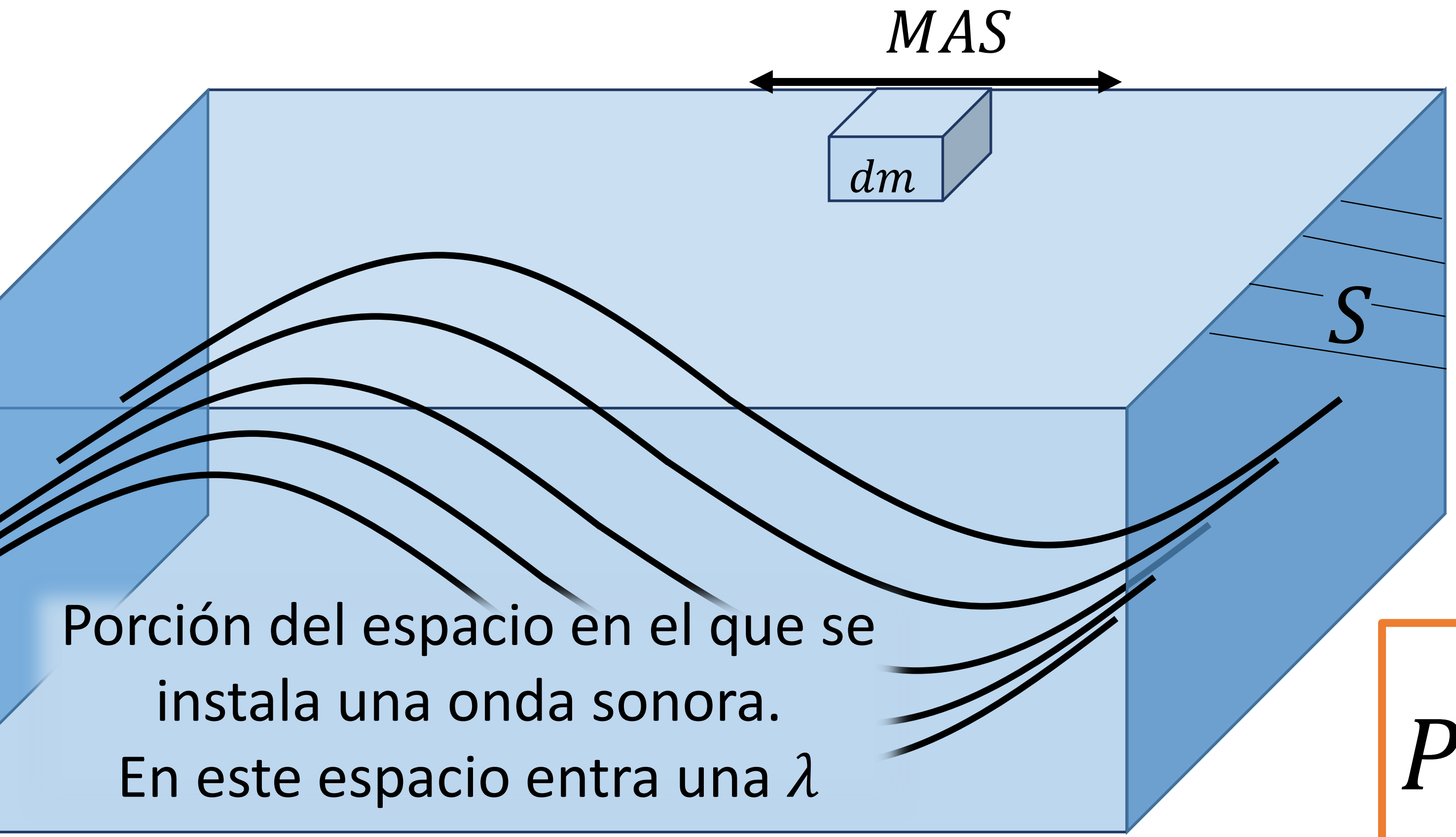
$$\boxed{E_{T\lambda} = \frac{1}{2}.\delta.S.\lambda.\omega^2.A^2}$$

Potencia de Ondas Sonoras Viajeras

$$\boxed{E_{T\lambda} = \frac{1}{2}.\delta.S.\lambda.\omega^2.A^2}$$

Potencia

$$P = \frac{E}{t} \quad \left[\frac{J}{s} = W\right]$$



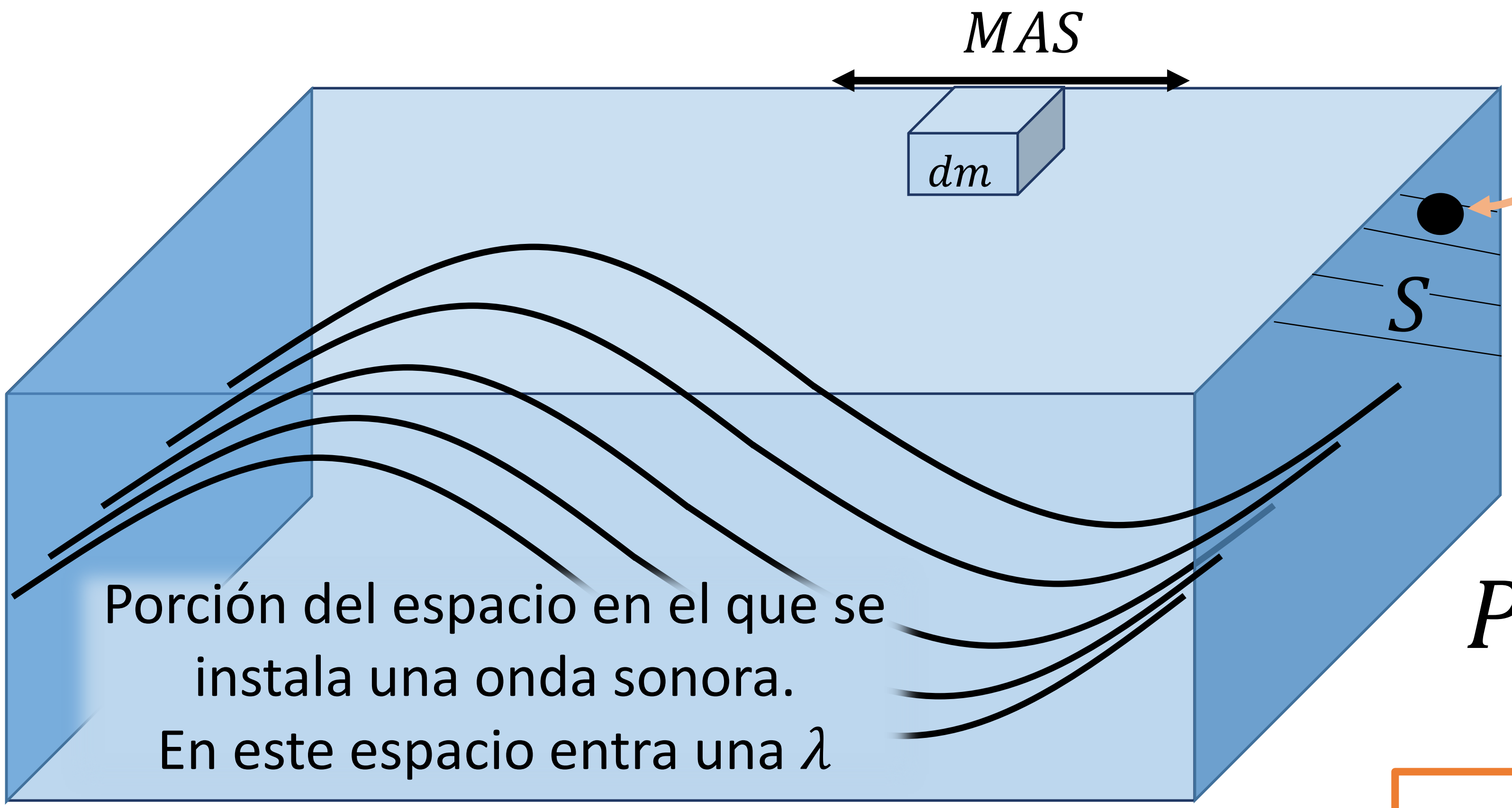
Como estamos considerando la energía de una λ, para el tiempo corresponde considerar un T

$$P = \frac{E_\lambda}{T} = \frac{1}{2}.\delta.S.\frac{\lambda}{T}.\omega^2.A^2$$

$$v_p = \frac{\lambda}{T}$$

$$\boxed{P = \frac{1}{2}.\delta.S.v_p.\omega^2 A^2}$$

Intensidad de Ondas Sonoras Viajeras



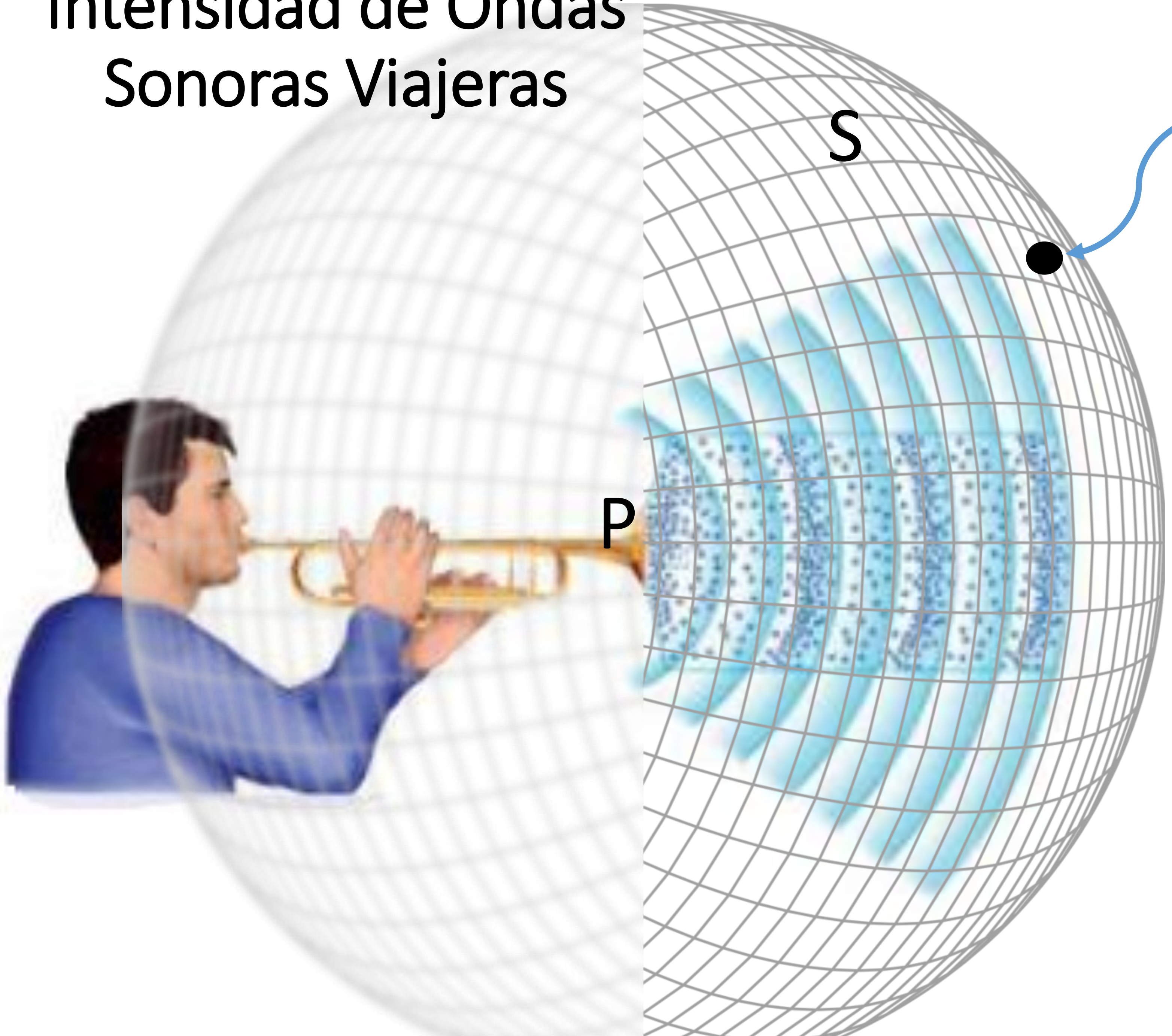
Intensidad "I" del sonido en un punto

$$\mathrm{I} = \frac{P}{S} = \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

$$P = \frac{1}{2}.\delta.S.v_p.\omega^2 A^2$$

$$\boxed{I = \frac{P}{S} = \frac{1}{2}.\delta.v_p.\omega^2 A^2}$$

Intensidad de Ondas Sonoras Viajeras



Intensidad "I" del sonido en un punto del espacio

$$\mathrm{I} = \frac{P}{S}$$

Esta ecuación también nos puede servir para conocer como cambia la intensidad al cambiar la superficie de propagación del sonido

Intensidades y frecuencias audibles por el humano

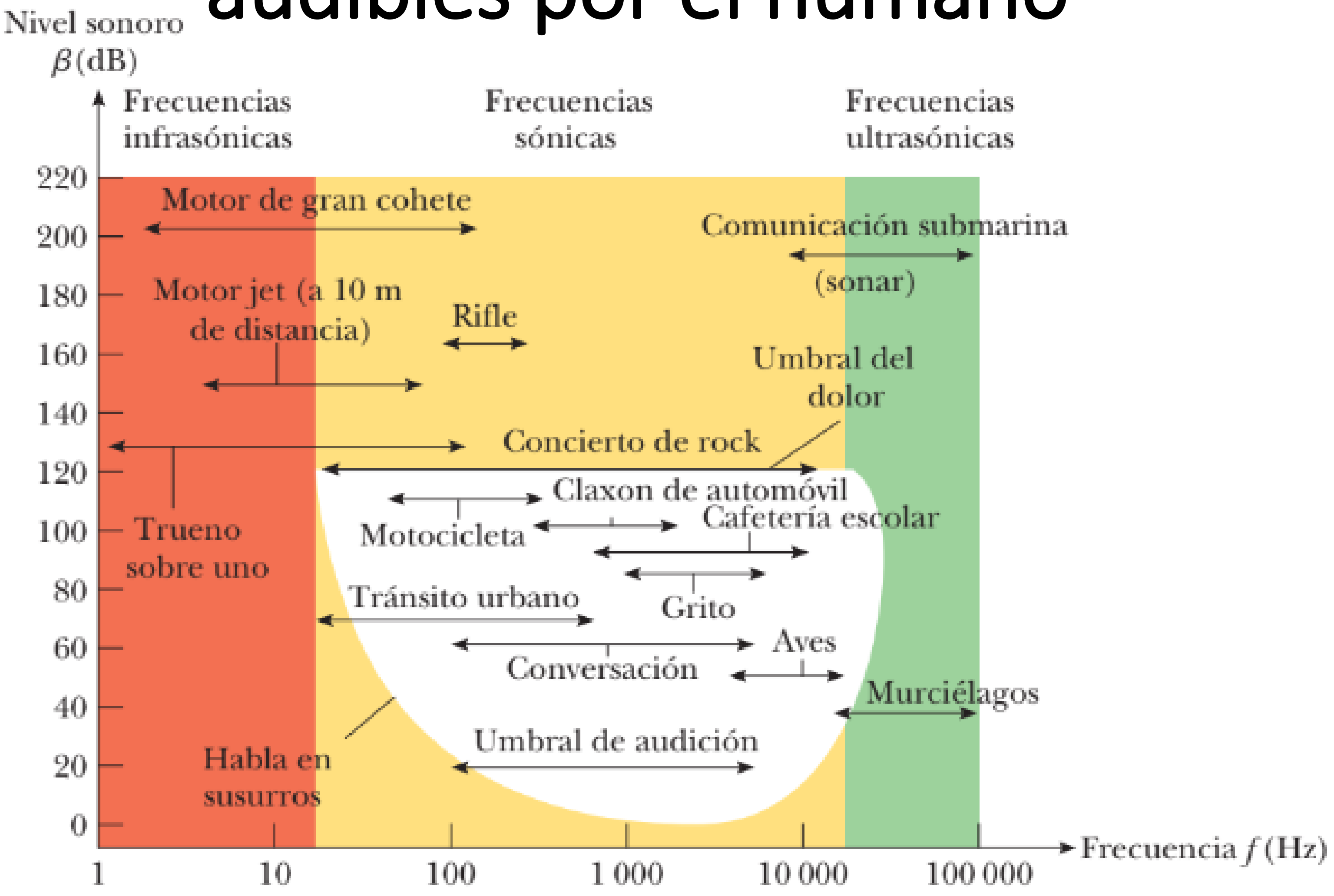


Figura 17.6 Intervalos aproximados de frecuencia y nivel sonoro de varias fuentes y la audición humana normal, que se muestra por el área blanca. (Tomado de R.L. Reese, *University Physics*, Pacific Grove, Brooks/Cole, 2000.)