UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Física III (sección 1) (230006-230010) Ondas, Óptica y Física Moderna

Profesor: M. Antonella Cid
Departamento de Física, Facultad de Ciencias
Universidad del Bío-Bío

Carreras: Ingeniería Civil Civil, Ingeniería Civil Mecánica, Ingeniería Civil Industrial

Definición de onda

En el siglo XV Leonardo da Vinci ya comprendía el concepto de onda:

“A menudo sucede que la onda escapa del sitio de su creación, mientras que el agua no. Como las ondas que se forman en un campo de trigo por efecto del viento, donde las vemos correr a través del campo mientras las espigas permanecen en su lugar”

Definición y clasificación de ONDA

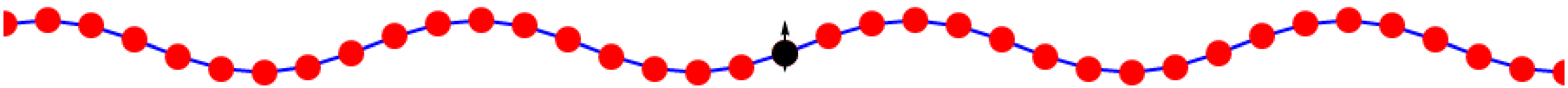
perturbación que se propaga desde el punto en el cual se produjo hacia el medio que rodea ese punto

ONDA

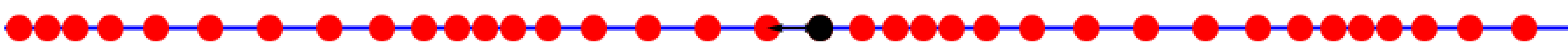
Es posible transportar energía sin transportar masa, mediante ONDAS

Mecánicas	**Electromagnéticas**
Necesitan un medio para propagarse	No necesitan un medio, pueden propagarse en el vacío

Clasificación ondas mecánicas



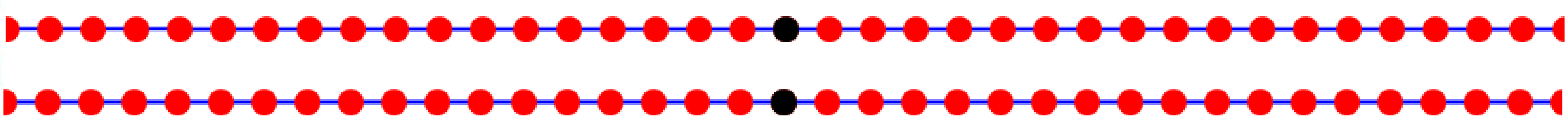
	Transversales	**Longitudinales**
Ejemplo:	Ondas en cuerdas	Ondas de sonido
Medio propagación:	Cuerda	Gas, Líquido, Sólido
Dirección propagación:	Horizontal	Horizontal
Dirección oscilación:	*Vertical*	*Horizontal*



A nivel microscópico las fuerzas entre los átomos (propiedades mecánicas) son las responsables de la propagación de estas ondas

Ondas mecánicas

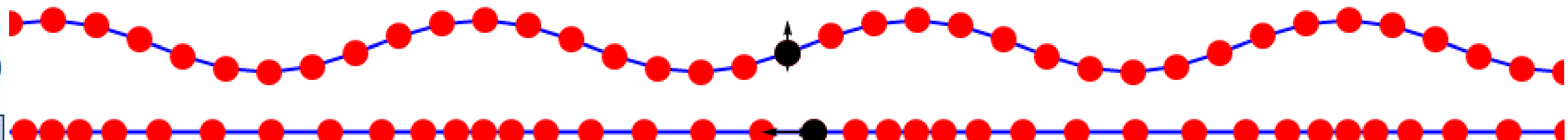
Pulsación: cada partícula del medio permanece en reposo hasta que la pulsación llega a ésta, luego se mueve por un tiempo corto y una vez que el pulso ha pasado permanece nuevamente en reposo



Tren de Ondas: movimiento de vaivén continuo en un extremo de la onda, el tren de ondas viaja a lo largo de la cuerda.

Si el movimiento de vaivén es periódico el tren de ondas es periódico.

Un ejemplo de onda periódica es la **onda armónica**, en la cual cada partícula del medio experimenta *movimiento armónico simple*

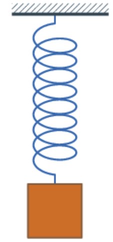


Movimiento Armónico Simple (MAS)

Si combinamos la *ley de Hooke* (la fuerza que siente una masa m unida al extremo de un resorte de constante elástica k) con la segunda ley de Newton obtenemos una ecuación diferencial lineal de segundo orden:

$$F_e = -kx(t) = m\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

Oscilador armónico



cuya solución más general es dada por:

$$x(t) = a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t)$$

donde a y b son constantes que dependen de las condiciones iniciales y $\omega^2 = \frac{k}{m}$

Debido a las propiedades de las funciones sinusoidales, $x(t)$ se puede reescribir como:

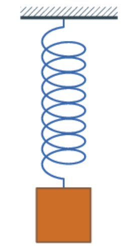
$$x(t) = x_m\cos(\omega t + \phi_1) = x_m\sin(\omega t + \phi_2)$$

Movimiento Armónico Simple (MAS)

Si combinamos la *ley de Hooke* (la fuerza que siente una masa m unida al extremo de un resorte de constante elástica k) con la segunda ley de Newton obtenemos una ecuación diferencial lineal de segundo orden:

$$F_e = -kx(t) = m\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

Oscilador armónico



cuya solución más general es dada por:

$$x(t) = a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t)$$

donde a y b son constantes que dependen de las condiciones iniciales y $\omega^2 = \frac{k}{m}$

Debido a las propiedades de las funciones sinusoidales, $x(t)$ se puede reescribir como:

$$x(t) = x_m\cos(\omega t + \phi_1) = x_m\sin(\omega t + \phi_2)$$

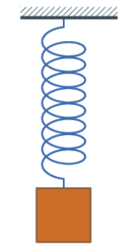
amplitud

Movimiento Armónico Simple (MAS)

Si combinamos la *ley de Hooke* (la fuerza que siente una masa m unida al extremo de un resorte de constante elástica k) con la segunda ley de Newton obtenemos una ecuación diferencial lineal de segundo orden:

$$F_e = -kx(t) = m\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

Oscilador armónico



cuya solución más general es dada por:

$$x(t) = a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t)$$

donde a y b son constantes que dependen de las condiciones iniciales y $\omega^2 = \frac{k}{m}$

Debido a las propiedades de las funciones sinusoidales, $x(t)$ se puede reescribir como:

$$x(t) = x_m\cos(\omega t + \phi_1) = x_m\sin(\omega t + \phi_2)$$

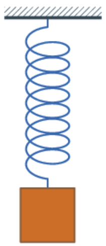
frecuencia angular

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Movimiento Armónico Simple (MAS)

Si combinamos la *ley de Hooke* (la fuerza que siente una masa m unida al extremo de un resorte de constante elástica k) con la segunda ley de Newton obtenemos una ecuación diferencial lineal de segundo orden:

Oscilador armónico



$$F_e = -kx(t) = m\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

cuya solución más general es dada por:

$$x(t) = a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t)$$

donde a y b son constantes que dependen de las condiciones iniciales y $\omega^2 = \dfrac{k}{m}$

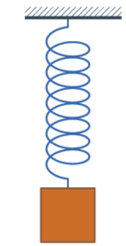
Debido a las propiedades de las funciones sinusoidales, $x(t)$ se puede reescribir como:

$$x(t) = x_m\cos(\underbrace{\omega t + \phi_1}_{\text{fase}}) = x_m\sin(\omega t + \phi_2)$$

Movimiento Armónico Simple (MAS)

Si combinamos la *ley de Hooke* (la fuerza que siente una masa m unida al extremo de un resorte de constante elástica k) con la segunda ley de Newton obtenemos una ecuación diferencial lineal de segundo orden:

Oscilador armónico



$$F_e = -kx(t) = m\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

cuya solución más general es dada por:

$$x(t) = a\cos(\omega t) + b\sin(\omega t)$$

donde a y b son constantes que dependen de las condiciones iniciales y $\omega^2 = \dfrac{k}{m}$

Debido a las propiedades de las funciones sinusoidales, $x(t)$ se puede reescribir como:

$$x(t) = x_m\cos(\omega t + \phi_1) = x_m\sin(\omega t + \phi_2)$$

constante de fase

Movimiento armónico simple

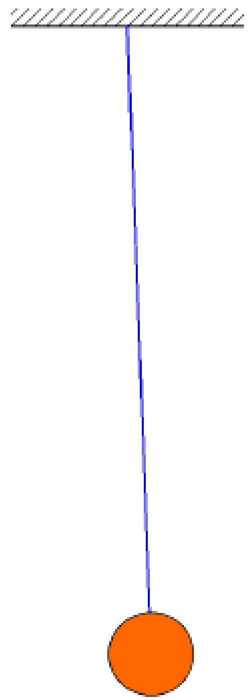
$$\boxed{x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi)}$$

Energía del MAS: $$E = K + V = \frac{1}{2} x_m^2 k$$

Período (T): tiempo más corto que transcurre para que el estado de movimiento sea el mismo $$T = \frac{2\pi}{\omega} [s]$$

Frecuencia (f): número de cíclos por unidad de tiempo $$f = \frac{1}{T} [Hz]$$

Ejemplo MAS: péndulo simple

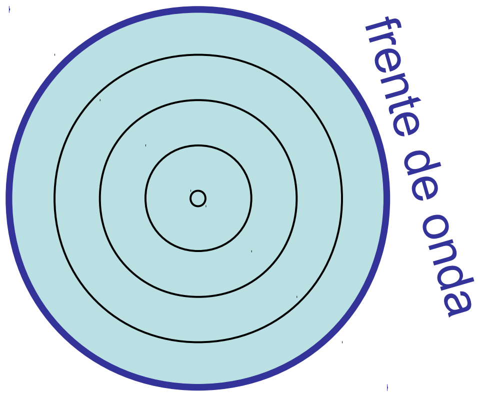


¡Use la aproximación de ángulo pequeño!

Propiedades funciones sinusoidales

$$\begin{aligned}
\sin(\alpha+\beta) &= \sin\alpha\cos\beta+\sin\beta\cos\alpha \\
\cos(\alpha+\beta) &= \cos\alpha\cos\beta-\sin\alpha\sin\beta \\
c\cos(\omega t+\phi) &= a\cos(\omega t)+b\sin(\omega t) \\
d\sin(\omega t+\psi) &= a\cos(\omega t)+b\sin(\omega t) \\
\cos\alpha &= \cos(-\alpha) \\
\sin\alpha &= -\sin(-\alpha) \\
\sin\alpha &= \sin(\alpha+2\pi) \\
\cos\alpha &= \cos(\alpha+2\pi)
\end{aligned}$$

Frente de Onda



Frente de onda circular (2D)

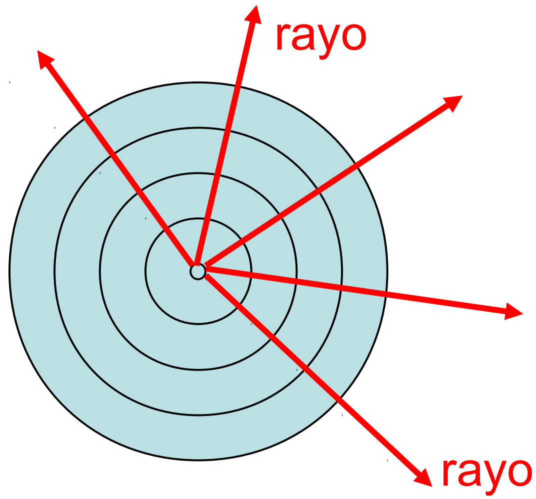
3D → Ondas esféricas

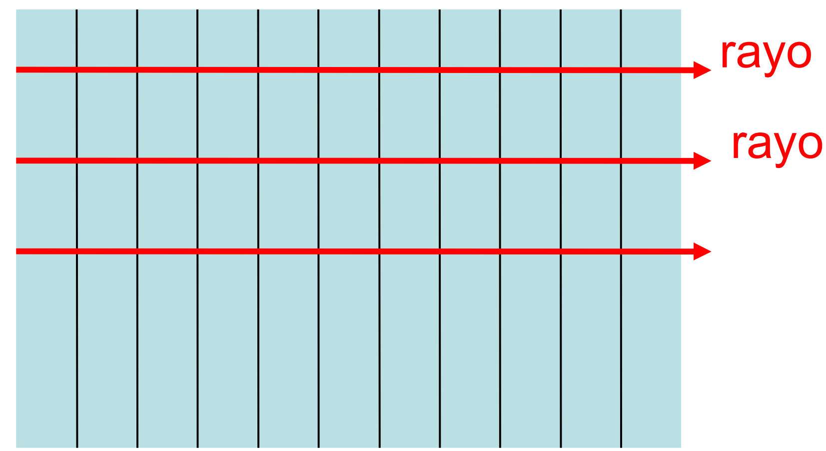
Frente de onda plano (2D)

3D → Ondas planas

Los puntos en un frente de onda tienen el mismo estado de movimiento

Frente de Onda





Frente de onda circular (2D)

3D → Ondas esféricas

Frente de onda plano (2D)

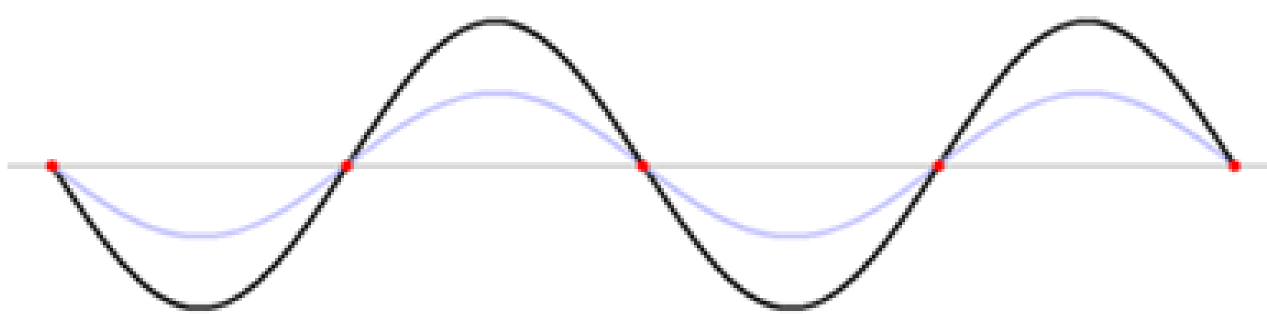
3D → Ondas planas

El rayo indica la dirección de propagación del frente de onda
y es perpendicular a los frentes de onda
si el medio tiene densidad uniforme

Ondas en cuerdas

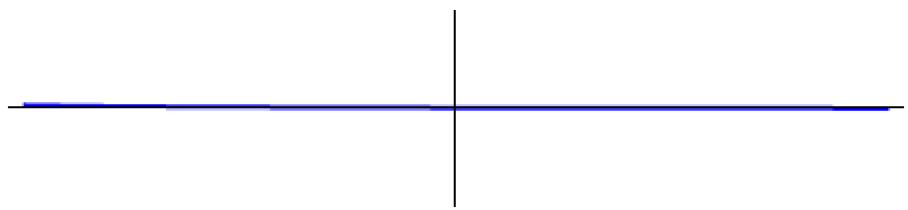
- Estudiaremos las ondas que se propagan en una dimensión en una ***cuerda*** (medio de propagación).

- Estudiaremos ondas en una ***cuerda ideal*** donde la pulsación o el tren de ondas mantiene su forma mientras viaja por este medio.

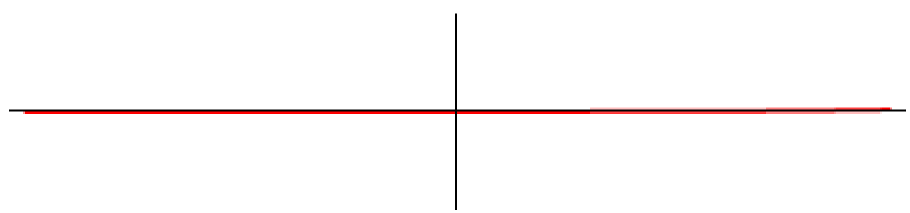


Pulsos que viajan

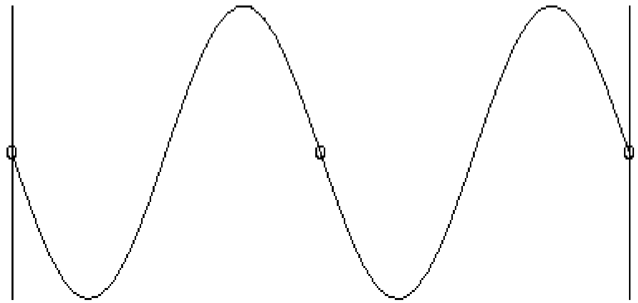
Un pulso que se mueve a la derecha con rapidez constante se describe por una función del tipo: $f\left(x-vt\right)$



Un pulso que se mueve a la izquierda con rapidez constante se describe por una función del tipo: $f\left(x+vt\right)$



Ondas Armónicas



Cresta o Valle de la Onda:
punto en el cual el desplazamiento del **elemento de medio** es máximo respecto de su posición normal

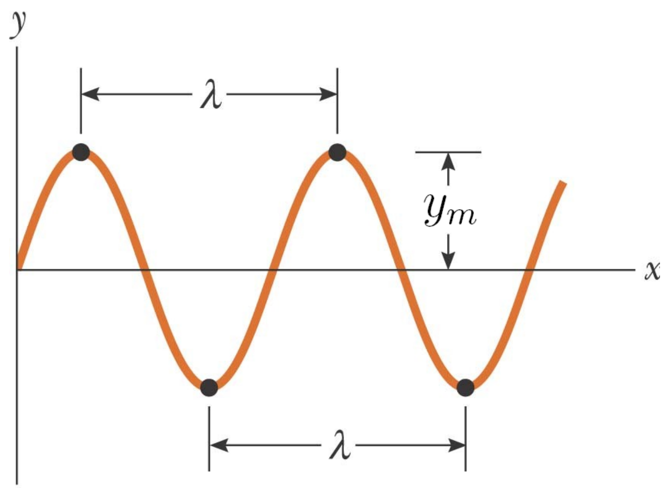
Longitud de Onda:
distancia entre dos *crestas adyacentes* o dos *puntos idénticos adyacentes*

Amplitud:
corresponde al desplazamiento máximo de un elemento de medio respecto de su *posición normal*

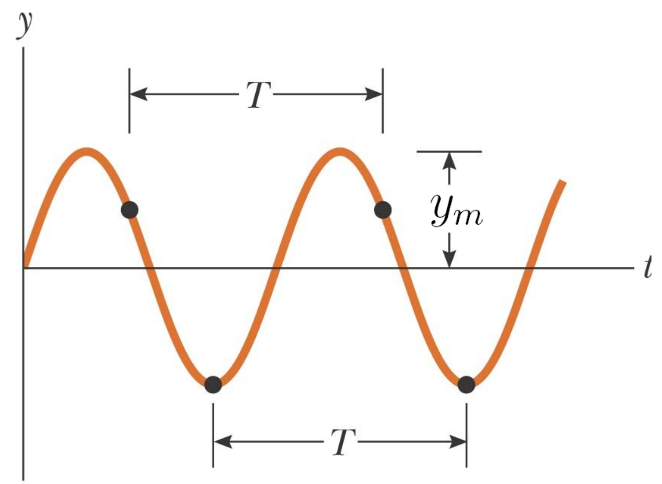
Frecuencia:
número de crestas por unidad de tiempo

Período:
tiempo que transcurre mientras dos *crestas adyacentes* o dos *puntos idénticos adyacentes* pasan por un punto

Descripción de Ondas Armónicas



Es una foto de la onda!



Representación gráfica de la posición de un elemento de medio como función del tiempo

Descripción de Ondas Armónicas

$$y(t,x) = y_m \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x - vt)\right]$$

$$y(t,x) = y_m \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x + vt)\right]$$

v se denomina ***velocidad de fase***, y es la velocidad (constante) con la cual viaja la onda, λ es la ***longitud de onda*** e y_m es la ***amplitud***

Descripción de Ondas Armónicas

- Para una onda armónica tenemos: $\lambda = vT$, luego:

$$y(t,x) = y_m \sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right]$$

- Con la función de esta forma es fácil notar la ***periodicidad*** de esta función, $y(t,x)$ tiene el mismo valor para $x, (x+\lambda), ..., (x+n\lambda), ...$ y también para $t, (t+T), ..., (t+nT), ...$
- Definimos las constantes $k = 2\pi / \lambda$ ***: número de onda*** y $\omega = 2\pi / T$***: frecuencia angular***, de modo que:

$$y(t,x) = y_m \sin(kx - \omega t)$$

$$y(t,x) = y_m \sin(kx + \omega t)$$

- Note que: $\lambda = vT \quad \Rightarrow \quad \omega = vk$

Fase y constante de fase

- La expresión más general para una onda que viaje en la dirección x positiva es:

$$\boxed{y(t,x) = y_m \sin(kx - \omega t - \phi)}$$

donde $kx - \omega t - \phi$ se denomina ***fase*** de la onda y ϕ es la ***constante de fase***

- Dos ondas con la misma fase (o con fases que difieren en un múltiplo entero de 2π *[rad]*) están ***"en fase"***, ejecutan el mismo movimiento al mismo tiempo. Dos ondas con una diferencia de fase de π *[rad]* están ***"completamente fuera de fase"***

Fase y constante de fase

- La constante de fase no afecta la forma de la onda, mueve a la onda hacia adelante o hacia atrás en el espacio o en el tiempo.

$$\boxed{y(t,x) = y_m \sin(kx - \omega t - \phi)}$$

$\phi > 0$ onda guía

$\phi < 0$ onda rezagada

$$y(t,x) = y_m \sin\left(k\left[x - \frac{\phi}{k}\right] - \omega t\right)$$

$$y(t,x) = y_m \sin\left(kx - \omega\left[t + \frac{\phi}{\omega}\right]\right)$$