UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Física III
clase 1

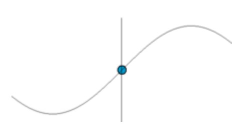
Profesor: M. Antonella Cid
Departamento de Física, Facultad de Ciencias
Universidad del Bío-Bío

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

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

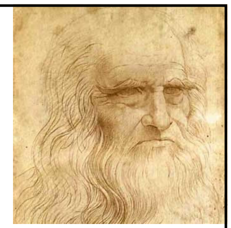
Definición

- Una onda es una perturbación que viaja desde el punto en el cual se produjo hacia el medio que rodea ese punto
- Las ondas se clasifican en:
  - ***Mecánicas:*** necesitan un medio para propagarse
  - ***Electromagnéticas:*** pueden propagarse en el vacío
- Es posible transportar energía sin transportar masa, mediante ONDAS



UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

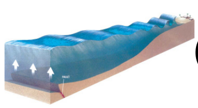
Leonardo da Vinci



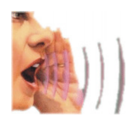
- En el siglo XV Leonardo da Vinci ya comprendía el concepto de onda:

"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"

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO



Ondas mecánicas

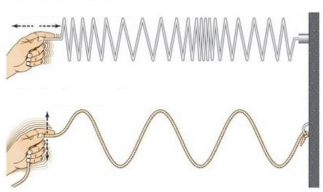


- Ondas superficiales en agua y ondas sonoras
- Viajan a través de un medio deformable o elástico
- Se originan cuando cierta parte del medio se desplaza de su posición normal y se libera
- Debido a las propiedades elásticas del medio, la perturbación se propaga a través de éste.
- A nivel microscópico las fuerzas entre los átomos (propiedades mecánicas) son las responsables de la propagación de estas ondas

Clasificación de ondas mecánicas

- De acuerdo a cómo se relaciona la dirección de propagación de la onda con el movimiento de las partículas
  - ***Ondas Transversales:*** la dirección de propagación es perpendicular al movimiento de las partículas de materia
  - ***Ondas Longitudinales:*** la dirección de propagación es paralela al movimiento de las partículas de materia

Ondas longitudinales



Ondas transversales

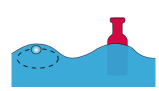
ondas de sonido

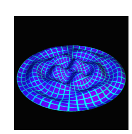
ondas en cuerdas

Ondas en varías dimensiones

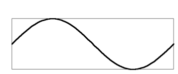
- *3 dimensiones:*
  - Ondas luminosas
  - Ondas de sonido

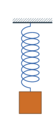
- *2 dimensiones:*
  - Ondas superficiales en agua
  - Ondas en membranas





- *1 dimensión:*
  - Ondas en cuerdas y resortes

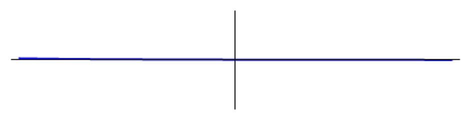




Clasificación

- Según el movimiento de las partículas del medio:

  – ***Pulsación:*** cada partícula del medio permanece en reposo hasta que la pulsación llega a ésta, luego se mueve por un tiempo corto y permanece nuevamente en reposo

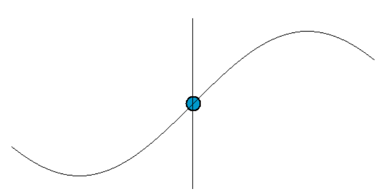


Clasificación

- Según el movimiento de las partículas del medio:

  – ***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*

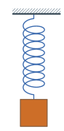


UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

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:

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



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 $\omega^2 = \frac{k}{m}$

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

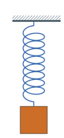
$$x(t) = x_m\cos(\omega t + \phi_1) = x_m\sin(\omega t + \phi_2)$$

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:

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



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 $\omega^2 = \frac{k}{m}$

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

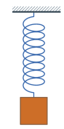
$$x(t) = x_m\cos(\omega t + \phi_1) = x_m\sin(\omega t + \phi_2)$$

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:

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



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:

fase

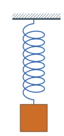
$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi_1) = x_m \sin(\omega t + \phi_2)$$

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:

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



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 $\omega^2 = \frac{k}{m}$

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

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

constante de fase

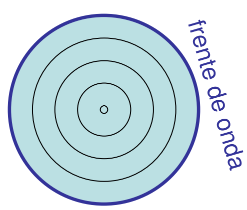
UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Propiedades funciones sinusoidales

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

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Frente de Onda



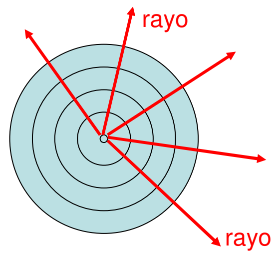
Frente de onda circular (2D) Frente de onda plano (2D)

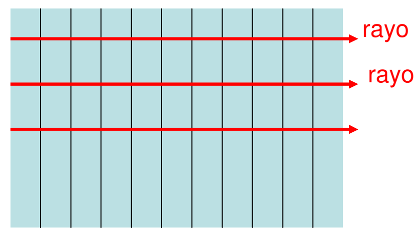
3D → Ondas esféricas 3D → Ondas planas

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

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Frente de Onda





Frente de onda circular (2D) — Frente de onda plano (2D)

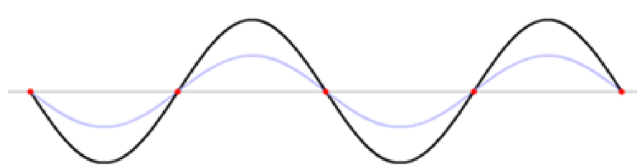
3D → Ondas esféricas — 3D → Ondas planas

- 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

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Ondas en cuerdas

- Estudiaremos las ondas que se propagan en una dimensión en una ***cuerda*** (medio de propagación).
- En una ***cuerda ideal*** la pulsación o el tren de ondas mantiene su forma mientras viaja por este medio.
- Si la pulsación o el tren de ondas que viaja por el medio se deforma, entonces decimos que se trata de un ***medio dispersivo***

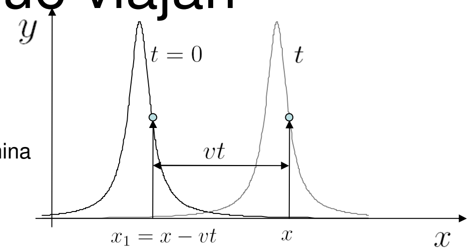


UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Pulsos que viajan

La forma y movimiento del pulso se describen en términos de una función $y(t,x)$

La velocidad v es constante y se denomina ***velocidad de fase***, corresponde a la velocidad con que se mueve el pulso.



Deseamos describir la altura de un punto en el pulso en el instante $t=0$ y en el instante t , respecto de un sistema coordenado que se mueve con el pulso.

Dado que el pulso no cambia de forma: $y(t,x) = y(0,x_1) = y(0,x-vt) = f(x-vt)$

Para que el pulso no cambie de forma se requiere: $y(t,x) = f(x-vt)$

Un pulso que se mueve a la derecha será descrito por: $y(t,x) = f(x-vt)$
Un pulso que se mueve a la izquierda será descrito por: $y(t,x) = f(x+vt)$

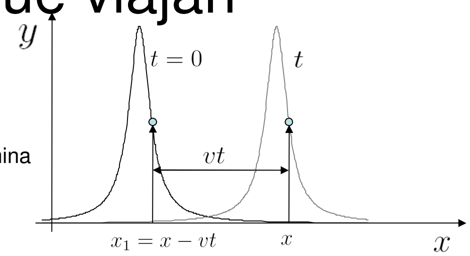
Notamos que $x-vt$ debe ser una constante, puesto que $v = \frac{dx}{dt}$ es constante

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Pulsos que viajan

La forma y movimiento del pulso se describen en términos de una función $y(t,x)$

La velocidad v es constante y se denomina ***velocidad de fase***, corresponde a la velocidad con que se mueve el pulso.



Deseamos describir la altura de un punto en el pulso en el instante $t=0$ y en el instante t , respecto de un sistema coordenado que se mueve con el pulso.

Dado que el pulso no cambia de forma: $y(t,x) = y(0,x_1) = y(0,x-vt) = f(x-vt)$

Para que el pulso no cambie de forma se requiere: $y(t,x) = f(x-vt)$

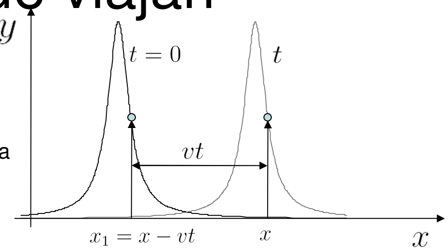
Un pulso que se mueve a la derecha será descrito por: $y(t,x) = f(x-vt)$
Un pulso que se mueve a la izquierda será descrito por: $y(t,x) = f(x+vt)$

Notamos que $x-vt$ debe ser una constante, puesto que $v = \frac{dx}{dt}$ es constante

Pulsos que viajan

La forma y movimiento del pulso se describen en términos de una función $y(t,x)$

La velocidad v es constante y se denomina ***velocidad de fase***, corresponde a la velocidad con que se mueve el pulso.



Deseamos describir la altura de un punto en el pulso en el instante $t=0$ y en el instante t , respecto de un sistema coordenado que se mueve con el pulso.

Dado que el pulso no cambia de forma: $y(t,x) = y(0,x_1) = y(0,x-vt) = f(x-vt)$

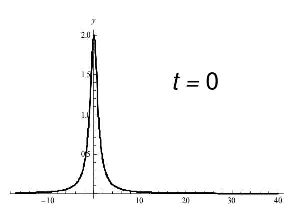
Para que el pulso no cambie de forma se requiere: $y(t,x) = f(x-vt)$

Un pulso que se mueve a la derecha será descrito por: $y(t,x) = f(x-vt)$
Un pulso que se mueve a la izquierda será descrito por: $y(t,x) = f(x+vt)$

Notamos que $x - vt$ debe ser una constante, puesto que $v = \dfrac{dx}{dt}$ es constante

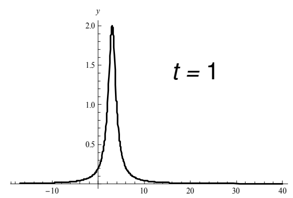
Ejemplo

- Dibujar la función $y(t,x) = \dfrac{2}{(x-3t)^2+1}$ para $t = 0,1,2,3$



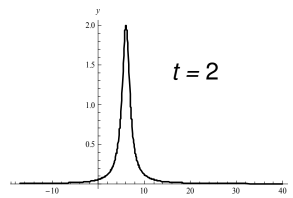
Ejemplo

- Dibujar la función $y(t,x) = \dfrac{2}{(x-3t)^2+1}$ para $t = 0,1,2,3$



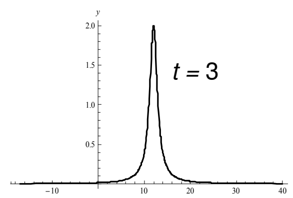
Ejemplo

- Dibujar la función $y(t,x) = \dfrac{2}{(x-3t)^2+1}$ para $t = 0,1,2,3$

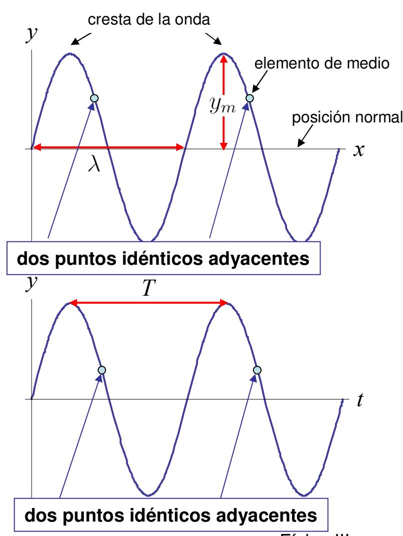


Ejemplo

- Dibujar la función $y(t,x) = \dfrac{2}{(x-3t)^2+1}$ para $t = 0,1,2,3$



Ondas Sinusoidales o Armónicas



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

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

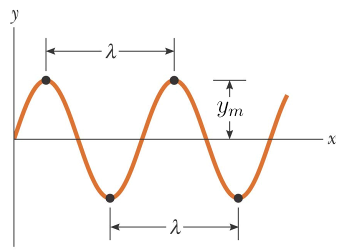
Amplitud (y_m):
corresponde al desplazamiento máximo de un elemento de medio respecto de su *posición normal*

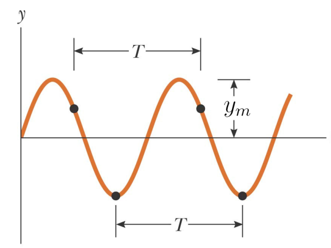
Frecuencia (f):
número de crestas por unidad de tiempo

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

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Ondas Sinusoidales o Armónicas



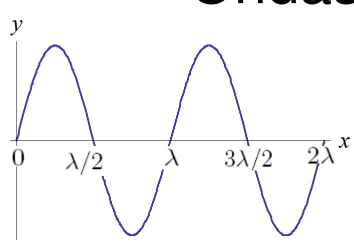


Es una foto de la onda!

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

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Ondas armónicas



Para tiempo constante:

$$y(x) = b\sin(ax)$$

$$y(0) = y(\lambda/2) = 0 \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$y(\lambda/4) = y_m \quad \Rightarrow \quad b = y_m$$

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

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

v se denomina ***velocidad de fase***, λ es la ***longitud de onda*** e y_m es la ***amplitud***

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 se presenta la siguiente relación: $\lambda = vT \quad \Rightarrow \quad \omega = vk$

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***

- Se dice que: dos ondas con la misma fase (o con fases que difieren en un múltiplo entero de 2π) ***"están en fase"***, ejecutan el mismo movimiento al mismo tiempo.

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

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