MOVIMIENTO ONDULATORIO

1. CONSIDERACIONES GENERALES

La mayor parte de información del mundo que nos rodea la percibimos a través de los sentidos de la vista y del oído. Ambos son estimulados por medio de ondas de diferentes características. Podemos definir una onda como ***una propagación (o transporte) de energía sin que haya propagación (o transporte) de materia.*** Además de la luz y del sonido, que son fenómenos ondulatorios y que estudiaremos con detalle, otros ejemplos de ondas son los siguientes:

- Las olas que se forman en un estanque al caer una piedra.
- Al agarrar una cuerda por un extremo y mover éste hacia arriba y hacia abajo, cada punto de la cuerda se mueve también hacia arriba y hacia abajo, pero lo que avanza a través de la cuerda es la onda.
- Cuando las fichas de dominó caen una detrás de otra. Lo que se propaga hasta el final es una onda, cada ficha pasa a la siguiente su energía cinética, pero las fichas no se desplazan, lo único que se desplaza es la energía.

2. MAGNITUDES QUE CARACTERIZAN A UNA ONDA.

Si en un extremo de una cuerda damos una única sacudida producimos una única onda. Las partículas de la cuerda están en reposo hasta que les llega la onda, cuando llega oscilan en torno a la posición de equilibrio, y cuando pasa vuelven al reposo.

Si en vez de una sacudida damos varias sacudidas, al mismo ritmo, producimos un **tren de ondas**, esto hace que todas las partículas de la cuerda estén en movimiento, viéndose una onda que se mueve a una cierta velocidad. Se pueden medir las siguientes magnitudes:

- **Elongación.** La distancia a la que está un punto de la cuerda de su posición de reposo.
- **Amplitud.** La elongación máxima.
- **Período (T).** El tiempo que tarda un punto en dar una oscilación completa.
- **Frecuencia (f).** El número de oscilaciones que da un punto en 1 segundo.
- **Longitud de onda (λ).** Lo que mide una onda completa. Es también el espacio recorrido por una onda en el tiempo de 1 período.

$$f = \frac{1}{T} \quad \Rightarrow \quad T \cdot f = 1 \qquad\qquad v = \frac{\lambda}{T} \quad \Rightarrow \quad v = \lambda \cdot f$$

- **La energía** que transporta una onda es *energía cinética*, porque está en movimiento, y *energía potencial elástica*, ya que el movimiento armónico es consecuencia de una fuerza conservativa. Por último debemos saber que la **energía** que transporta una onda es proporcional al cuadrado de la frecuencia de la onda, es decir, cuanto mayor sea la frecuencia de la onda (y, por lo tanto, menor la longitud de onda), mayor será la energía que transporta.

$$E = \tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2 A^2 = \tfrac{1}{2}\, m\, 4\pi^2 f^2 A^2$$

3. TIPOS DE ONDAS

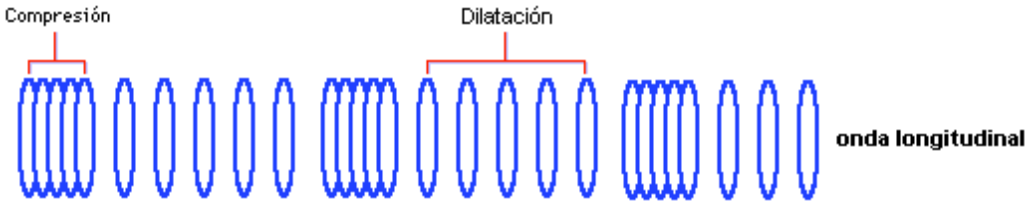
Podemos clasificarlas según tres criterios.

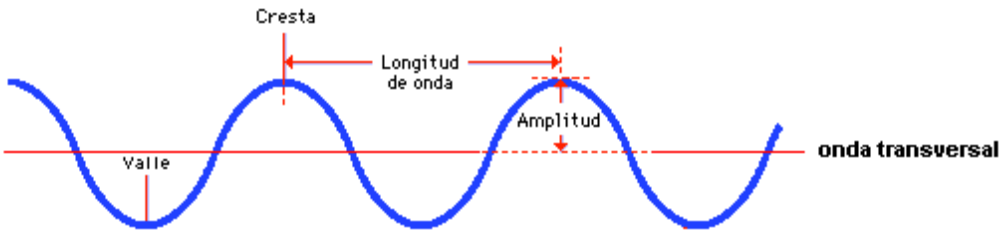
I) Según el tipo de energía que transportan.

- **Mecánicas (o materiales),** cuando propagan energía mecánica, para ello "*precisan de un soporte material de propagación*". Es el caso de la cuerda y del sonido. Cuanto más denso sea el medio, mayor es la velocidad de propagación.
- **Electromagnéticas**, cuando propagan energía electromagnética, como **la luz**. "*Se pueden propagar en el vacío*". Cuanto más denso sea el medio, menor es la velocidad de propagación.

II) Según las direcciones de propagación de la onda, y de vibración de las partículas:

- **Longitudinales**, la dirección de vibración es la misma que la de propagación. Por ejemplo, el sonido, o una onda que se propaga por un muelle al contraerlo y estirarlo.
- **Transversales**, si la dirección de propagación de la onda es perpendicular a la de vibración de las partículas, como en el caso de la cuerda, o en el de las olas en un estanque al tirar una piedra. También la ondas electromagnéticas pueden considerarse transversales.





III) Según el número de dimensiones en el que se propaga la energía:

- **Unidimensionales**. Una sola dimensión, como la cuerda.
- **Bidimensionales**. Se propagan en dos dimensiones (caso del estanque).
- **Tridimensionales**. Si la propagación es por todo el espacio, como el sonido y la luz.

4. ONDAS ARMÓNICAS

«Son las que se originan por la propagación en un medio elástico de un movimiento armónico simple». Pueden expresarse matemáticamente por una función seno o coseno.

Consideraciones:

- En una onda existen dos movimientos, uno el movimiento vibratorio de las partículas, al cual es aplicable todo lo relacionado con el M.A.S. y el otro movimiento es el de propagación de la onda que se realiza con velocidad constante (velocidad de fase o de propagación de la onda).

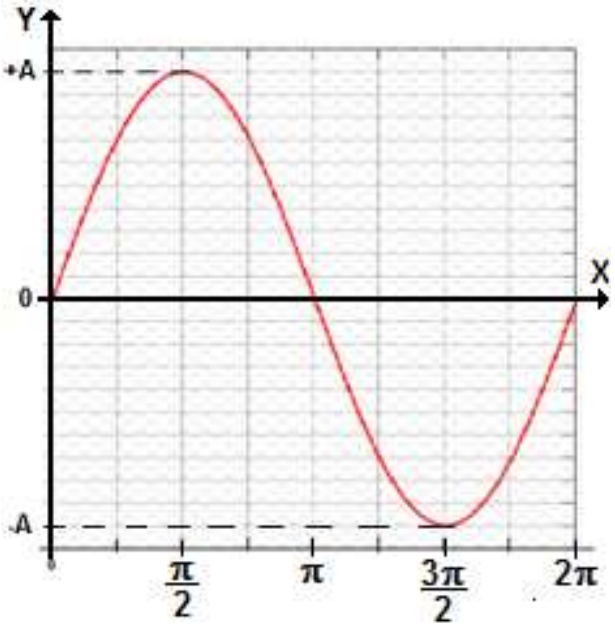
$$\text{velocidad de vibración de las patículas} = \frac{dy}{dt}$$

$$\text{velocidad de propagación de la onda} = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

- La ecuación de una onda permite calcular la elongación de cualquier punto de la onda en cualquier instante.

Ecuación de una onda

Sea y = A sen (ω t) la ecuación de vibración de un punto O, que se va a constituir en foco emisor de una onda. Otro punto cualquiera P, de esa onda va a realizar exactamente la misma vibración que el punto O sólo que con un cierto retraso: el tiempo que tarda la onda en llegar de O a P, que es x/v.



Luego la ecuación de la onda, será la de un punto genérico P, y será la misma que la del punto O, sustituyendo t por (t – x/v). Es decir:

$$y = A \text{ sen } \omega\left(t - \frac{x}{v}\right) \text{ y como } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\boxed{y = A\, sen\, 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)} \xrightarrow{k=\frac{2\pi}{\lambda} \quad \omega=\frac{2\pi}{T}}$$

$$\boxed{y = A \text{ sen } (\omega t - kx + \varphi_0)}$$

ω = Frecuencia angular (s^{-1})
k = nº de onda (m^{-1})
φ_0 = fase inicial

- Se trata de una función de dos variables **y = f(x, t)** y es periódica respecto a **x** y respecto a **t**, es decir, es **doblemente periódica**.

- Periódica respecto a x. Si consideramos fija la variable t, obtenemos una función y = f(x + nλ), es decir, la elongación **y** de las partículas, se repite de forma periódica cada λ metros.
- Periódica respecto a t. Si consideramos fija la variable x, obtenemos una función y = f(t + nT), es decir, la elongación **y** de una determinada partícula, se repite de forma periódica cada T segundos.

⇨ DESFASE (Φ) ENTRE DOS PARTÍCULAS DE LA ONDA SEPARADAS POR UNA DISTANCIA ΔX

$$\Phi = (\omega t - kx_1) - (\omega t - kx_2) = k\,(x_2 - x_1) \qquad \boxed{\Phi = k\,\Delta x}$$

⇨ DESFASE (Φ) DE UNA PARTÍCULA DE LA ONDA EN UN INTERVALO DE TIEMPO Δt

$$\Phi = (\omega t_2 - kx) - (\omega t_1 - kx) = \omega\,(t_2 - t_1) \qquad \boxed{\Phi = \omega\,\Delta t}$$

EJERCICIO DE APLICACIÓN

Una onda armónica transversal se propaga en una cuerda tensa de gran longitud y está representada por la siguiente expresión:

$y = 0{,}5 \text{ sen } (2\pi t - \pi x + \pi)$ (x e y en metros y t en segundos).

Determine:

a) La amplitud, periodo, longitud de onda y velocidad de propagación de la onda.
b) La diferencia de fase para dos posiciones de una misma partícula, cuando el intervalo de tiempo transcurrido es de 2 s.
c) La diferencia de fase en un mismo instante, entre las vibraciones de dos puntos separados entre si Δx = 1m
d) La velocidad máxima de vibración de cualquier punto de la cuerda alcanzado por la onda.

6. INTENSIDAD DE UNA ONDA

Se llama intensidad de un movimiento ondulatorio en un punto *a la cantidad de energía que atraviesa perpendicularmente la unidad de superficie colocada en dicho punto, en la unidad de tiempo.*

$$I = \frac{E}{S \cdot t} = \xrightarrow{\text{Potencia } P = \frac{E}{t}} I = \frac{P}{S}$$

Se mide en $W \cdot m^{-2}$ (W = vatios)

I. La intensidad se puede demostrar que *es directamente proporcional al cuadrado de la Amplitud y al cuadrado de la frecuencia.*

II. Si las ondas son esféricas (como el sonido), la superficie es $S = 4\pi r^2$ con lo cual, *la Intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia*. Resulta la expresión:

$$\boxed{I = \frac{P}{4\pi r^2}}$$

III. Si es una onda luminosa (electromagnética en general), la energía de una partícula (fotón), viene dada por **E = h·f** (h = constante de Planck = $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J·s)

ONDAS SONORAS

Las ondas sonoras son el ejemplo más importante de ondas longitudinales, consisten en sucesivas compresiones y dilataciones del medio de propagación, producidas por un foco con movimiento vibratorio. Si la vibración llega a nuestro oído, provoca en el tímpano vibraciones que son transmitidas al oído interno y, de allí, al cerebro, produciendo una sensación que llamamos sonido.

CUALIDADES DEL SONIDO

Los sonidos se caracterizan y distinguen unos de otros por una serie de **cualidades subjetivas: el "nivel de intensidad sonora" (sonoridad), el "tono" y el "timbre".**

I) Nivel de intensidad sonora (Sonoridad)

Es la cualidad por la que se perciben los sonidos con mayor o menor fuerza (intensidad del sonido). La sonoridad *depende de la intensidad* y se define como:

$$S = 10 \log \left(\frac{I}{I_o} \right) \qquad I = I_o \cdot 10^{\frac{S}{10}}$$

S = *Sonoridad* o *Nivel de intensidad sonora*, se mide en **decibelios**

I = Intensidad de un sonido determinado

I_o = Intensidad umbral de audición humana = 10^{-12} $W \cdot m^{-2}$

II) Tono

Una cuerda de violín produce un sonido más agudo que la cuerda de una viola. Una persona adulta tiene un *tono de voz* más grave que un niño pequeño.

Por el tono se dividen los sonidos en **agudos**, cuando el número de vibraciones (frecuencia) es grande, y **graves** cuando es pequeño. Por lo tanto el tono es la cualidad del sonido que *depende de la frecuencia*.

III) Timbre

Si tocas la misma nota en un piano y en un violín, distingues perfectamente cuándo se toca el piano y cuándo el violín. Del mismo modo distinguimos cuando canta una persona u otra, aunque las notas sean exactamente iguales.

Timbre es la cualidad por la que se distinguen dos sonidos de la misma sonoridad y del mismo tono. *Depende de la forma de la onda*.

EJERCICIOS DE SONIDO

1. La potencia de la bocina de un automóvil, que se supone foco emisor puntual, es de 0,1 W.

a) Determine la intensidad de la onda sonora y el nivel de intensidad sonora a una distancia de 8 m del automóvil.

b) Determine las distancias desde el automóvil para las que el nivel de intensidad sonora es menor de 60 dB:

2. Se realizan dos mediciones del nivel de intensidad sonora en las proximidades de un foco sonoro puntual, siendo la primera de 100 dB a una distancia x del foco, y la segunda de 80 dB al alejarse en la misma dirección 100 m más.

a) Obtenga las distancias al foco desde donde se realizan las mediciones.

b) Determine la potencia sonora del foco.

3. Un sonido es 700 veces más intenso que otro. a) ¿Cuál es la relación entre las amplitudes de las ondas sonoras respectivas?; b) ¿Cuál es la diferencia entre sus respectivos niveles de intensidad sonora?

4. Un foco sonoro puntual emite ondas sonoras con una potencia de salida de 0,3 W.

a) ¿A qué distancia del foco la intensidad sonora alcaza el umbral de dolor de 120 dB?

b) ¿A qué distancia del foco se oiría un susurro de 30 dB?.

c) ¿A qué distancia del foco el sonido se hace imperceptible?

Dato: Intensidad umbral de audición humana: $I_0 = 10^{-12}$ W m^{-2}