

Primera Parte

Las Ondas

[1] Movimiento Ondulatorio

Un movimiento ondulatorio es la propagación de una perturbación, sin transporte neto de materia pero con transporte de energía.

Una onda es la representación de un movimiento ondulatorio.

[2] Clases de Ondas

[2.1] Ondas Mecánicas y Ondas Electromagnéticas

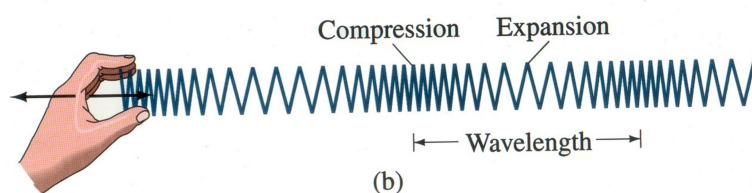
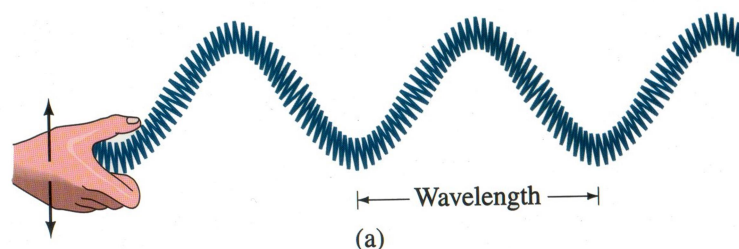
Las ondas mecánicas, como el sonido, requieren un medio material para su propagación. Las partículas del medio se transmiten, unas a otras, energía y cantidad de movimiento, es decir, vibraciones mecánicas.

Las ondas electromagnéticas, como la luz, además de propagarse por medios materiales, pueden propagarse en el vacío. Las ondas electromagnéticas no propagan una vibración mecánica, sino variaciones en la intensidad de un campo eléctrico y otro magnético, lo que permite la propagación en el vacío.

[2.2] Ondas Transversales y Ondas Longitudinales

En las ondas transversales, como la luz, la dirección de propagación y la dirección de la perturbación son perpendiculares.

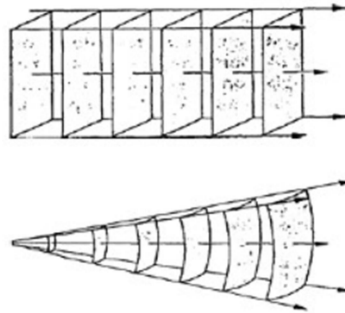
En las ondas longitudinales, como el sonido, la dirección de propagación coincide con la dirección de la perturbación. A veces, las ondas longitudinales se denominan ondas de presión.



[2.3] Ondas Planas y Ondas Esféricas

El frente de onda de una onda es el lugar geométrico de los puntos que, en un instante dado, tienen el mismo estado de vibración, es decir, que son afectados por la perturbación en el mismo momento.

Un rayo es la línea perpendicular a los frentes de onda que nos indica, mediante una punta de flecha, la dirección y el sentido de propagación de la onda.



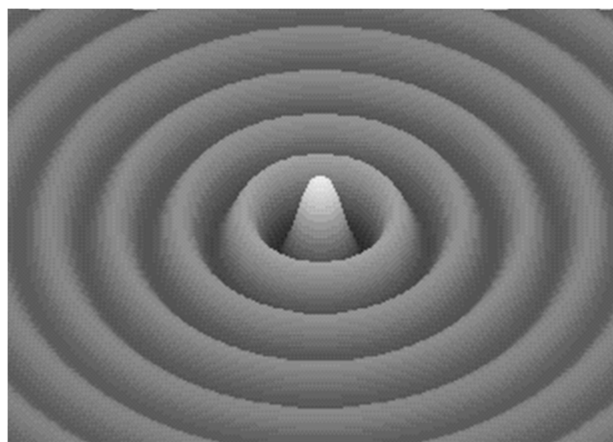
La perturbación propagada por una onda tiene siempre dirección perpendicular a los frentes de onda.

Una onda plana, como la generada en la superficie de un líquido, es aquella cuyo frente de onda es un plano o está contenido en un plano.

Una onda esférica, como el sonido, es aquella cuyo frente de onda es una superficie esférica.

[2.4] Ondas Unidimensionales, Bidimensionales y Tridimensionales

Dependiendo de las dimensiones en que se propaga, una onda puede ser unidimensional, como la que se transmite a través de una cuerda, bidimensional, como la producida en la superficie de un líquido, o tridimensional, como las ondas esféricas.



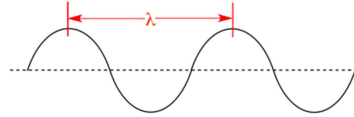
[3] Magnitudes Características del Movimiento Ondulatorio

λ

Longitud de Onda

Es la distancia entre dos puntos consecutivos que se encuentran en el mismo estado de vibración.

Su unidad es el metro (m).



y

Elongación

Es la distancia que, en un instante dado, separa a una partícula de la posición de equilibrio.

Su unidad es el metro (m).

A

Amplitud

Es el valor máximo de la elongación de las partículas del medio en su oscilación.

Su unidad es el metro (m).

T

Período

Es el tiempo que tarda la onda en recorrer una distancia igual a la longitud de onda.

Su unidad es el segundo (s).

f

Frecuencia

Es el número de oscilaciones efectuadas en la unidad de tiempo.

Su unidad es el hercio (Hz).

k

Número de Ondas

Se define como $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Su unidad es m^{-1}

ω

Frecuencia Angular o Pulsación

Se define como $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$

Su unidad es radianes por segundo (rad/s).

v

Velocidad de Propagación

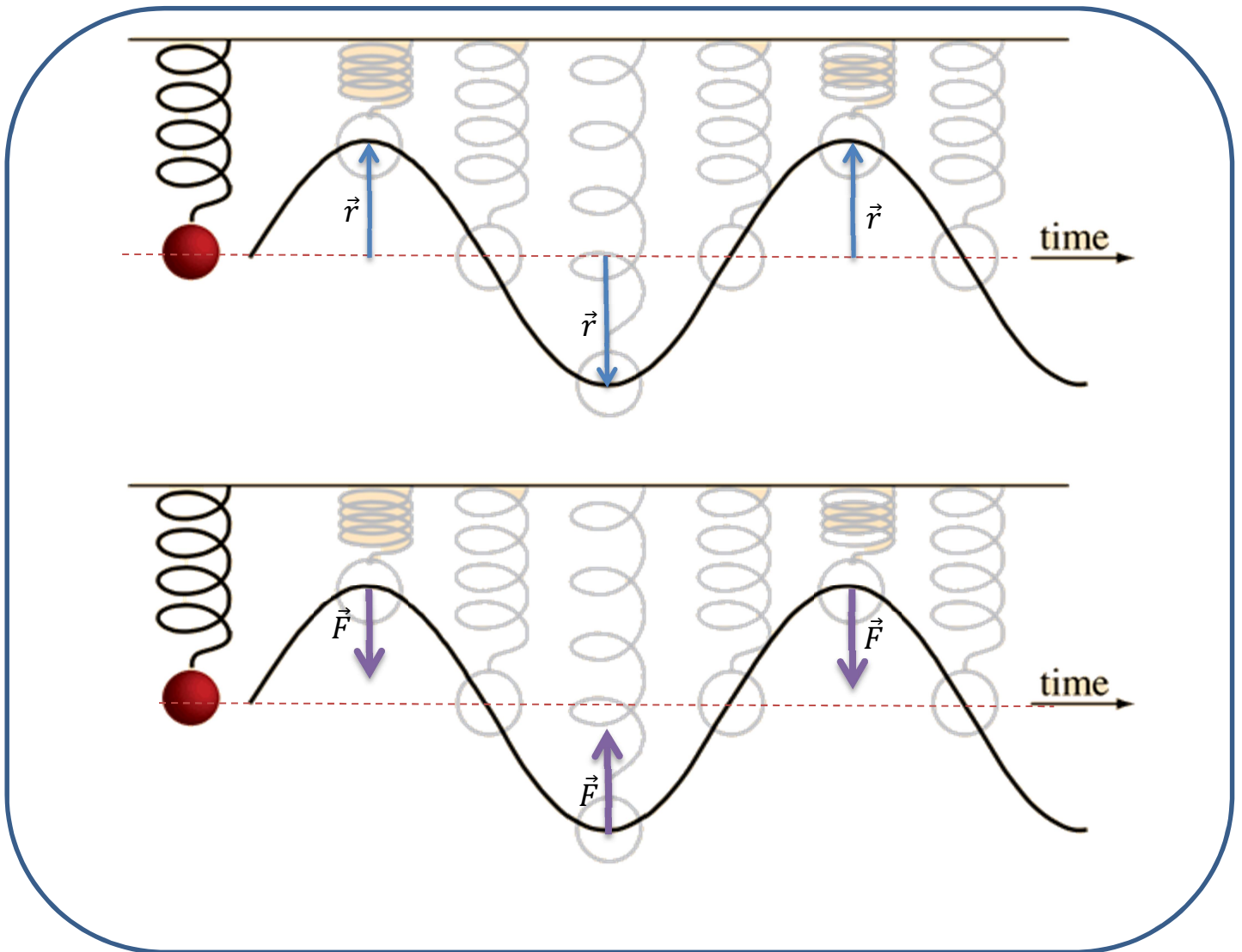
Se define como $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

Su unidad es metros por segundo (m/s).

[4] Las Ondas Armónicas

Una partícula describe un movimiento vibratorio cuando se desplaza, sucesivamente, a un lado y a otro de su posición de equilibrio, repitiendo a intervalos regulares de tiempo, el valor de sus variables cinemáticas (posición, velocidad, aceleración).

El movimiento vibratorio de un cuerpo, o de una partícula, sobre una trayectoria recta, se denomina movimiento armónico simple (m.a.s.) cuando el cuerpo está sometido a la acción de una fuerza de atracción proporcional al vector de posición, con origen en el punto de equilibrio, y de sentido contrario a dicho vector de posición. Es decir, la fuerza tiene la dirección del vector de posición, sentido contrario y es proporcional al vector de posición: $\vec{F} = -K \cdot \vec{r}$



Si la perturbación que propaga una onda es un movimiento armónico simple (m.a.s.), la onda se denomina onda armónica.

[4.1] Ecuación de las Ondas Armónicas

$$y(x,t) = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t - k \cdot x + \varphi_0)$$

y es la elongación, en función del tiempo (t) y de la posición (x).

A es la amplitud.

$\varphi = (\omega \cdot t - k \cdot x)$ es la fase de la onda.

ω es la pulsación o frecuencia angular.

k es el número de onda.

φ_0 es la fase inicial.

El signo positivo (-) hace referencia a una onda armónica que se desplaza en el eje X hacia la derecha. Si el desplazamiento fuera hacia la izquierda, el signo sería positivo (+).

Sustituyendo las expresiones de la pulsación y del número de ondas, la ecuación queda:

$$y = A \cdot \text{sen} \left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right]$$

La ecuación de una onda armónica también suele llamarse función de onda.

La ecuación de una onda armónica también puede escribirse utilizando la función trigonométrica coseno:

$$y(x,t) = A \cdot \text{cos}(\omega \cdot t - k \cdot x + \varphi_0)$$

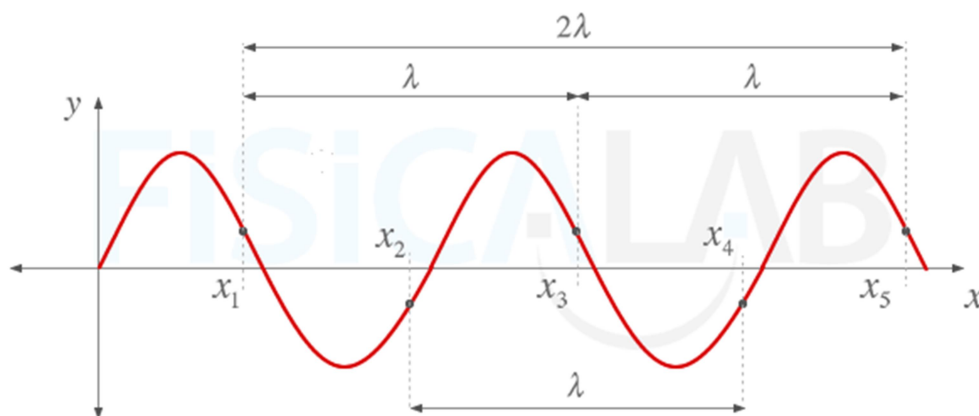
El uso de una u otra función es simplemente una cuestión de conveniencia.

Cuando la diferencia de fase entre dos situaciones es $\Delta\varphi = 2\pi$ rad sus estados de vibración son idénticos y la situación se denomina "estar en fase". Si la diferencia de fase es $\Delta\varphi = \pi$ rad la situación se denomina "estar en oposición de fase".

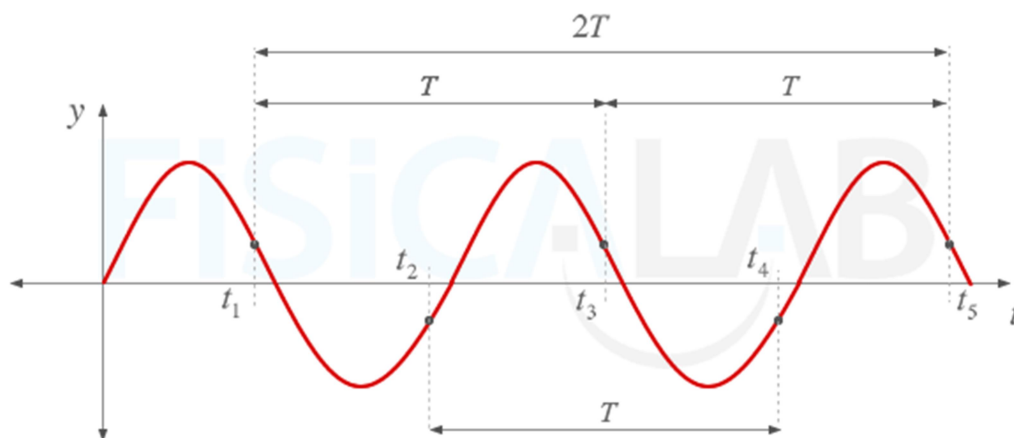
[4.2] Doble Periodicidad de la Ecuación de Onda

La expresión matemática de la función de onda representa una función doblemente periódica: respecto a la posición (x) y respecto al tiempo (t).

- Periodicidad Espacial. Una onda armónica es periódica en el espacio porque el valor de la elongación de las partículas de la onda se repite cada cierta distancia, denominada longitud de onda, y en cualquier múltiplo entero de la misma. Si en la función de onda se fija el valor del tiempo, la función proporciona la elongación, en un instante determinado, de cada uno de los puntos del eje X . La ecuación describe la forma de la onda en dicho instante.



- Periodicidad Temporal. Una onda armónica es periódica en el tiempo porque el valor de la elongación de las partículas se repite cada cierto tiempo, denominado período, y para cualquier múltiplo entero del mismo. Si en la función de onda se fija el valor de la posición, la función proporciona la elongación de la partícula con el paso del tiempo.



[4.3] Energía de una Onda Armónica

Cuando una onda armónica llega a una partícula del medio por el que se propaga, esta partícula se ve sometida a un movimiento armónico simple (m.a.s.) y tendrá energía cinética, porque está en movimiento, y energía potencial elástica, porque el movimiento armónico es consecuencia de la acción de una fuerza conservativa.

En los puntos de máxima elongación toda la energía mecánica de la partícula es energía potencial elástica y cuando la partícula pasa por la posición de equilibrio toda la energía mecánica es energía cinética. Por tanto, la energía mecánica en el punto de equilibrio será:

$$E_{\text{mecánica}} = E_{\text{cinética}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{máxima}}^2$$

Para el m.a.s. se tiene que: $x = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$

$$v = \frac{dx}{dt} = A \cdot \omega \cdot \text{cos}(\omega \cdot t)$$

$$v_{\text{máxima}} = A \cdot \omega$$

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{máxima}}^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot A^2 \cdot \frac{1}{T^2}$$

$$E_{\text{mecánica}} = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot A^2 \cdot f^2$$

La energía mecánica transmitida por una onda armónica es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda y al cuadrado de la frecuencia de vibración de las partículas.

[5] Intensidad de una Onda

La intensidad de una onda en un punto es la energía que se propaga por unidad de tiempo y por unidad de superficie normal a la dirección de propagación en dicho punto. Su unidad es vatio por metro cuadrado (W/m^2)

$$I = \frac{E}{t \cdot S}$$

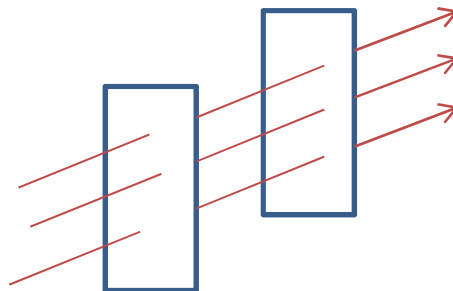
Para un foco emisor de ondas, se denomina potencia emisora a la energía transmitida por unidad de tiempo. Su unidad es el vatio (W).

$$P = \frac{E}{t}$$

Expresando la intensidad en función de la potencia emisora:

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

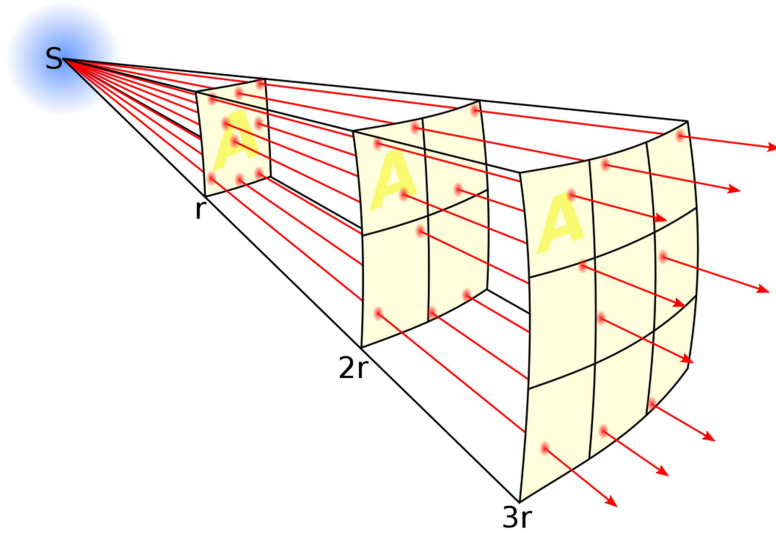
Para una onda plana, que se propaga por un medio homogéneo e isótropo, la energía transportada a través de un plano pasa íntegramente a través de otro plano paralelo y, por tanto, la amplitud y la intensidad de la onda no varían.



Un medio es homogéneo cuando tiene las mismas propiedades en todos sus puntos. Un medio es isótropo cuando sus características físicas no dependen de ninguna dirección.

[6] Atenuación de una Onda

Se denomina atenuación a la disminución de intensidad y amplitud que experimenta una onda al aumentar la distancia al foco emisor. Se trata de una disminución de intensidad y amplitud debida exclusivamente a factores geométricos.



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

La intensidad de una onda esférica disminuye con el cuadrado de la distancia al foco emisor.

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

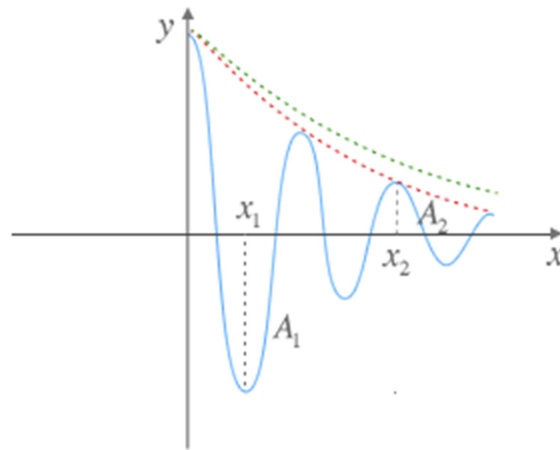
La amplitud de una onda esférica disminuye al aumentar la distancia al foco emisor.

[7] Absorción de una Onda

Se denomina absorción a la disminución de intensidad y amplitud que experimenta una onda al propagarse a través de un medio.

$$I = I_0 \cdot e^{-\beta \cdot x}$$

La intensidad de una onda decrece exponencialmente con el espesor del medio atravesado.



El fenómeno de absorción también es conocido con el nombre de amortiguamiento.

En las ondas mecánicas, la disminución de la amplitud por amortiguamiento puede justificarse por la fricción entre las partículas del medio que provoca pérdidas de energía, fundamentalmente en forma de calor.