Movimiento Ondulatorio

1| Movimiento Ondulatorio

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

2| Clases de Ondas

2.1| Ondas Mecánicas y Ondas Electromagnéticas

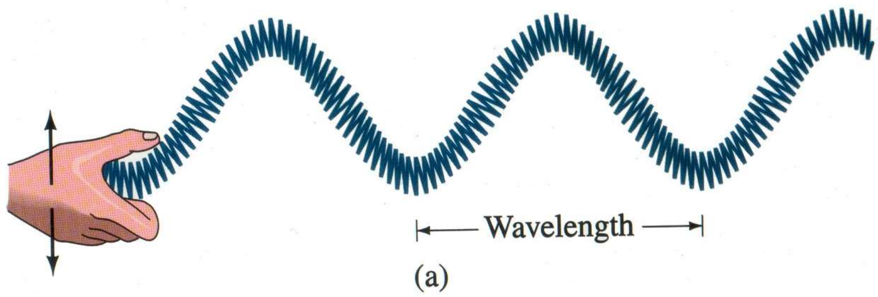
Las ondas mecánicas, como el sonido, requieren un medio material para su propagación. Las partículas del medio se transmiten, unas a otras, energía y cantidad de movimiento ($\vec{p} = m \cdot \vec{v}$), es decir, vibraciones mecánicas.

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.

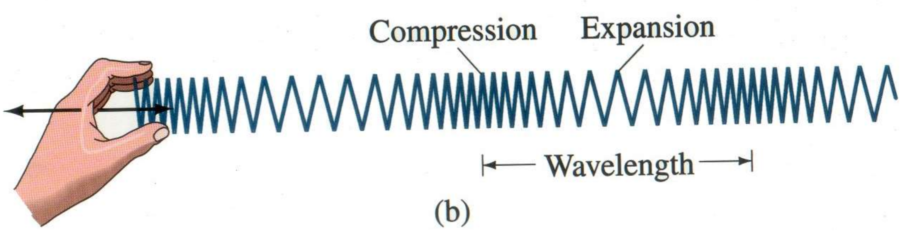
2.2| Ondas Transversales y Ondas Longitudinales

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.



(a)

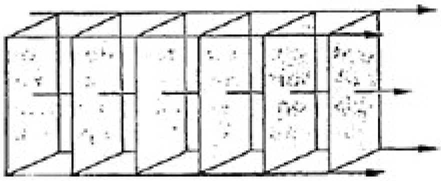


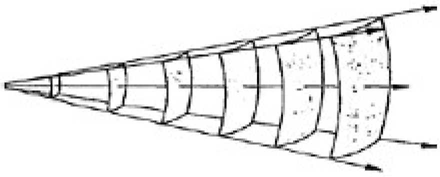
(b)

2.3| Ondas Planas y Ondas Esféricas

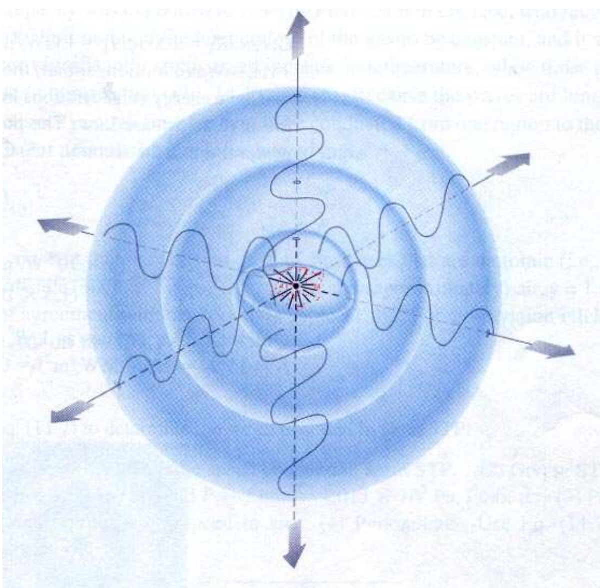
El frente de onda de una onda es el lugar geométrico de los puntos que, en un instante dado, tienen el mismo estado de vibración.

Un rayo es una 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.



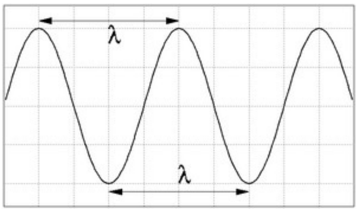


Dependiendo de las dimensiones en que se propaga, una onda puede ser unidimensional, como la que se transmite a través de una cuerda, bidimensionales, como las producidas en la superficie de un líquido, y tridimensionales, como las ondas esféricas.



3| Parámetros del Movimiento Ondulatorio

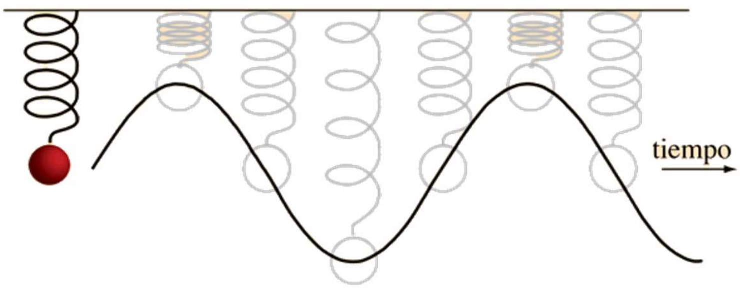
- **Longitud de Onda** (λ) es la distancia entre dos puntos consecutivos que se encuentran en el mismo estado de vibración. Su unidad en el S.I. es el metro (m).



- **Elongación** (y) es la distancia que, en un instante dado, separa a una partícula de la posición de equilibrio.
- **Amplitud** (A) es el valor máximo de la elongación de las partículas del medio en su oscilación.
- **Periodo** (T) es el tiempo que tarda la onda en recorrer una distancia igual a la longitud de onda. Su unidad en el S.I. es el segundo (s).
- **Frecuencia** (f) es el número de oscilaciones efectuadas en la unidad de tiempo. Su unidad en el S.I. es el hercio (Hz). La relación entre el periodo y la frecuencia $f = \frac{1}{T}$
- **Número de Ondas** (k) se define como $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (rad/m)
- **Frecuencia Angular o Pulsación** (ω) se define como $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$
- **Velocidad de Propagación** (v) se define como $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

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, 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** (MAS) cuando 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.



Si la perturbación que propaga una onda es un movimiento armónico simple (MAS), la onda se denomina **onda armónica**.

Actividades

A01–En el borde de una piscina, de 50 m de longitud, se genera una onda que tarda 90 segundos en llegar al borde opuesto. Determina la velocidad de propagación de la onda.

Solución. v=0,56 m/s

A02–En la superficie del agua de una piscina se propagan ondas que hacen que una pelota que flota realice tres oscilaciones cada segundo. Si la distancia entre dos crestas de onda consecutivas es de 20 cm, calcula la velocidad de propagación de la onda.

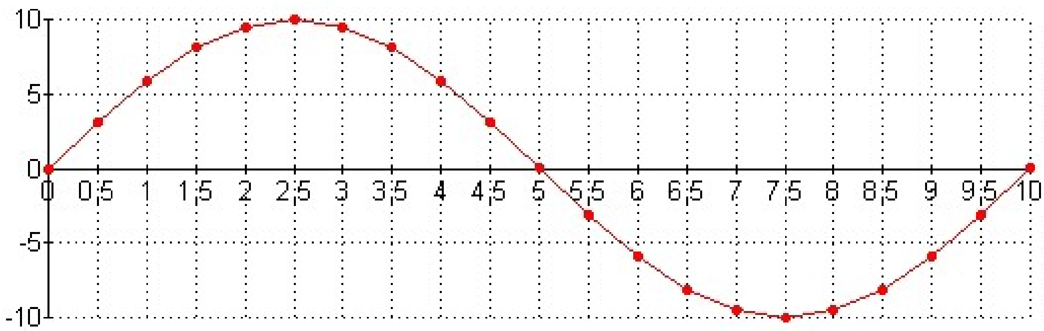
Solución. v=0,6 m/s

A03–Sabiendo que las ondas electromagnéticas se propagan en el aire con una velocidad aproximadamente igual a la velocidad de la luz (c=300.000 km/s), calcula la longitud de onda de las ondas de radio emitidas por una emisora cuya frecuencia es 96,9 MHz.

Solución. λ=3,1 m

A04–La siguiente gráfica representa el estado de vibración de una partícula frente al tiempo. Las longitudes están expresadas en centímetros y los tiempos en milisegundos. Determina:

a) El período.
b) La frecuencia.
c) La pulsación o frecuencia angular.
d) La elongación para t=2,5 ms
e) La elongación para t=5,0 ms
f) La amplitud.
g) El número de ondas y la velocidad de propagación si λ=1 m



Solución. T=0,01 s f=100 Hz w=200π rad/s y=0,1 m y=0 A=0,1 m k=2π rad/m v=100 m/s

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

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

A es la amplitud

ω es la pulsación o frecuencia angular $\left(\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f\right)$

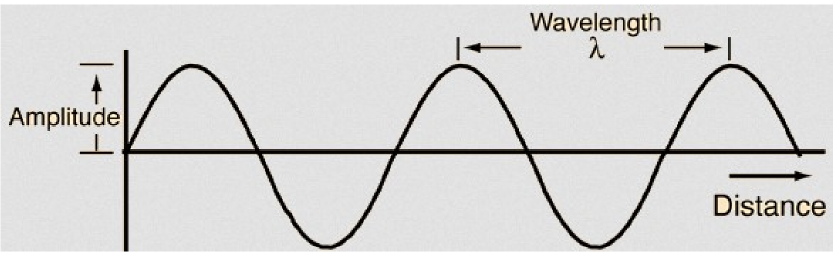
k es el número de ondas $\left(k = \frac{2\pi}{\lambda}\right)$

φ_0 es la fase inicial

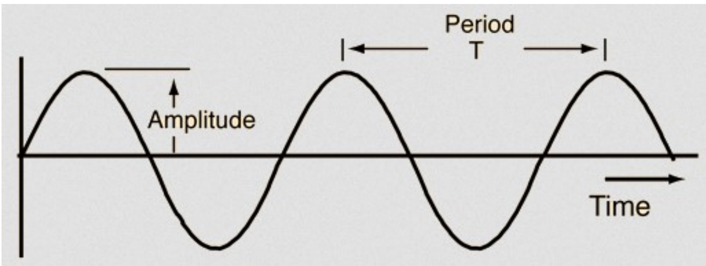
El signo negativo (−) hace referencia a una onda armónica que se desplaza en el eje OX hacia la derecha. Si el desplazamiento fuera hacia la izquierda, el signo sería positivo (+).

Sustituyendo las expresiones de la pulsación y del número de ondas:

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



Representación de la elongación en función de la posición (x)



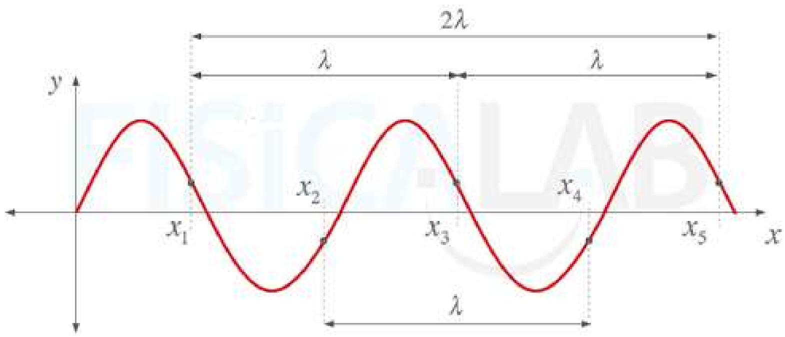
Representación de la elongación en función del tiempo (t)

4.1| Doble Periodicidad de la Ecuación de Onda

La expresión matemática de la función de onda $y = A \cdot sen(\omega \cdot t - k \cdot x + \varphi_0)$ es una función doblemente periódica: con respecto a la posición y al tiempo.

- *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.

$$y(x,t) = y(x + n \cdot \lambda, t)$$

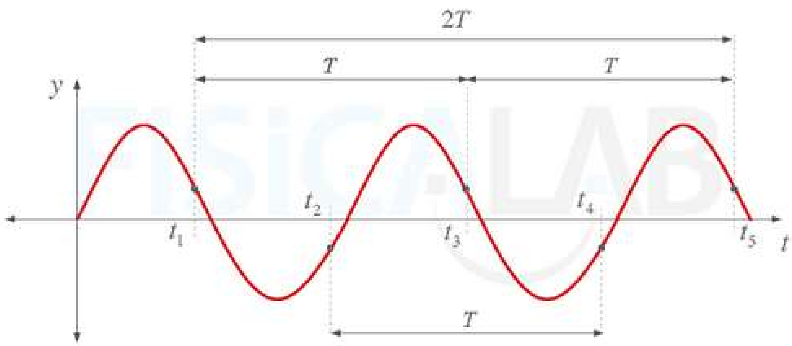


Onda respecto al espacio

Si representamos en el eje de abscisas la distancia de las partículas respecto al origen y en el eje de ordenadas la elongación de las partículas en un instante concreto cualquiera vemos que cualquier valor de elongación se repite cada cierta distancia λ y a múltiplos de la misma.

- *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.

$$y(x,t) = y(x, t + n \cdot T)$$



Onda respecto al tiempo

Si representamos en el eje de abcisas el tiempo y en el eje de ordenadas la elongación de *una* partícula cualquiera vemos que cualquier elongación se repite cada cierto periodo T y a múltiplos del mismo.

4.2| 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 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.

Así, la energía mecánica en el punto de equilibrio:

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

$$\boxed{\mathrm{E} = 2\pi^2 \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{A}^2 \cdot \mathrm{f}^2}$$

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

Haciendo $f = \frac{\omega}{2\pi}$:

$$\mathrm{E} = \frac{1}{2} \cdot \mathrm{m} \cdot \omega^2 \cdot \mathrm{A}^2$$

Actividades

A05–La función de onda de una onda armónica en una cuerda es:

$$y=0{,}001\cdot \text{sen}(314\cdot t + 62{,}8\cdot x)$$

Si se están utilizando unidades del S.I. determina:

a) La amplitud, la pulsación y el número de ondas.
b) El período, la frecuencia y la longitud de onda.
c) El sentido en el que se desplaza y la velocidad con la que lo hace.
d) Las ecuaciones de la velocidad y de la aceleración, en función del tiempo, para las partículas de la cuerda.
e) Las ecuaciones de la velocidad y de la aceleración, en función del tiempo, para una partícula de la cuerda que se encuentra en el punto x=–3 cm

Solución.

a) A=0,001 m w=314 rad/s κ=62,8 m^{-1}
b) T=0,02 s f=50 Hz λ=0,1 m
c) La onda se desplaza hacia la izquierda con una velocidad v=5 m/s
d)

$$v=\frac{dy}{dt}=0{,}314\cdot\cos(314\cdot t+62{,}8\cdot x)$$
$$a=\frac{dv}{dt}=-98{,}6\cdot\text{sen}(314\cdot t+62{,}8\cdot x)$$

e)

$$v(x=-0{,}03)=0{,}314\cdot\cos(314\cdot t-1{,}88)\ \text{m/s}$$

$$a(x=-0{,}03)=-98{,}6\cdot\text{sen}(314\cdot t-1{,}88\cdot x)\ \text{m/s}^2$$

A06–Una onda sinusoidal transversal, que se propaga de derecha a izquierda con una velocidad de 200 m/s, tiene una longitud de onda de 20 m y una amplitud de 4 m. Escribe la ecuación de onda y determina el valor máximo de la velocidad de vibración, suponiendo que la fase inicial es nula.

Solución. $y=4\,\text{sen}(20\pi t + 0{,}1\pi x)$ $v_{max}=80\pi$ m/s

5| Energía e Intensidad de las Ondas

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.

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

Se denomina potencia emisora a la energía transmitida por unidad de tiempo y en el S.I. se expresa en vatios (W).

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

La unidad de intensidad, en el S.I., es el vatio por metro cuadrado (W/m^2).

Para ondas esféricas quedará:

$$I = \frac{E}{t \cdot S} = \frac{E}{t \cdot 4\pi R^2} \quad \rightarrow \quad \boxed{E = 4\pi R^2 \cdot I \cdot t}$$

Generalmente, parte de la energía es absorbida por el medio y la intensidad de la onda disminuye a medida que se propaga.

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}} \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{I_1}{\frac{R_2^2}{R_1^2}} = \frac{R_1^2}{R_2^2} \cdot I_1$$

Como $R_1 < R_2$ ➔ $I_2 < I_1$

La intensidad de las ondas esféricas disminuye con el cuadrado de la distancia. Este fenómeno recibe el nombre de atenuación.

Como la energía propagada es proporcional al cuadrado de la amplitud, la intensidad de onda también lo será:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2}$$

Y, por tanto, quedará:

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

Actividades

A07–Una onda sonora tiene una intensidad de $2,0 \cdot 10^{-7}$ W/cm^2 a 10 m del foco emisor. La onda puede considerarse como una onda armónica esférica. Determina:

a) La energía emitida por el foco emisor en medio minuto.
b) La intensidad del sonido a una distancia de 20 m del foco emisor.
c) La amplitud de la vibración a 20 m del foco emisor, si a 10 m es de 2 mm.

Solución. $E=7,5 \cdot 10^{-3}$ J $I=5,0\,10^{-10}$ W/m^2 $A=0,001$ m

A07–Una partícula transmite energía al medio que la rodea a razón de 10 J cada 5 segundos. La amplitud de la vibración es de 2 cm, a una distancia de 10 cm del foco emisor. Calcula:

a) La amplitud de la onda en un punto que dista 50 cm del foco emisor.
b) La intensidad de la onda en dicho punto.
c) A qué distancia del foco emisor la intensidad de la onda se hace la mitad del valor obtenido en el apartado anterior.

Solución. $A=0,004$ m $I=0,64$ W/m^2 $R=0,71$ m

A08–Una fuente de ondas, de 4 W de potencia, emite ondas esféricas en un medio isótropo y de absorción despreciable. Determina:

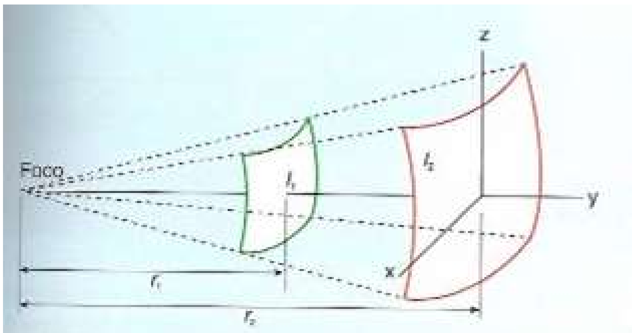
a) La intensidad de la onda a 2 m del foco emisor.
b) La disminución de la intensidad al duplicar la distancia al foco emisor.
c) La relación entre las amplitudes en estos dos puntos.

Solución. $I=0,08$ W/m^2 $I=0,06$ W/m^2 $A_1=2A_2$

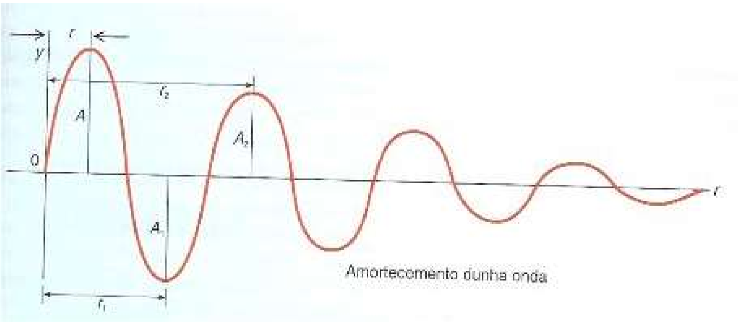
5.1| Atenuación y Absorción de las Ondas

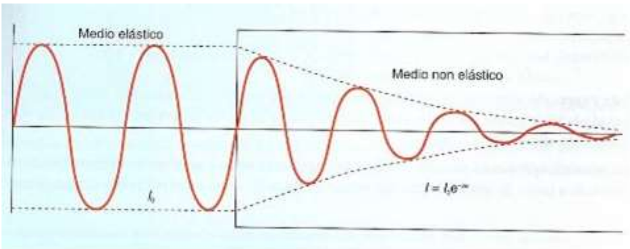
A medida que una onda se aleja del foco emisor, su energía disminuye. Esta disminución de energía se debe a los fenómenos de atenuación y de absorción.

La energía que transmite una onda se distribuye en la superficie del frente de onda. Al alejarnos del foco emisor, la superficie del frente de onda aumenta y, por tanto, aumenta el número de partículas en vibración, lo que implica vibraciones de menor energía. Este fenómeno recibe el nombre de *atenuación*.



La *absorción* hace referencia al fenómeno por el que el rozamiento de las partículas del medio, y otras causas, provocan una pérdida de la energía que transmiten las ondas.





La intensidad de una onda decrece exponencialmente con la distancia al foco emisor, según la expresión:

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

I_0 es la intensidad inicial de la onda en el foco emisor

I es la intensidad a una distancia R del foco emisor

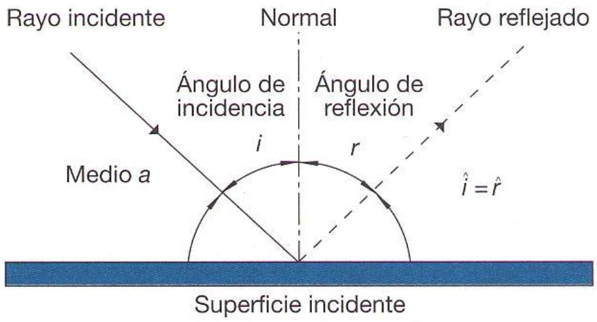
β es el coeficiente de absorción del medio

R es la distancia al foco emisor

6| Fenómenos Ondulatorios: Reflexión y Refracción

Cuando una onda llega a la superficie de separación entre dos medios puede reflejarse y/o refractarse.

En la reflexión, la onda sigue propagándose por el medio de incidencia.

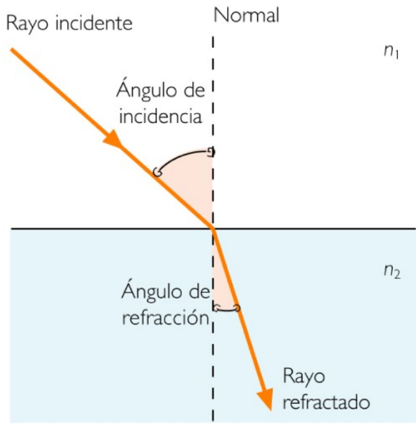


Leyes de la Reflexión:

- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano.
- El ángulo de incidencia es igual que el ángulo de reflexión.

$$\boxed{\hat{\imath} = \hat{r}}$$

En la refracción, la onda pasa a propagarse por el otro medio.



Leyes de la Refracción:

- El rayo incidente, la normal y el rayo refractado están en el mismo plano.
- La relación entre las velocidades de la onda en los dos medios y los ángulos de incidencia y refracción viene dada por la expresión:

$$\boxed{\frac{sen\ \hat{\imath}}{sen\ \hat{r}} = \frac{v_i}{v_r}}$$

Ley de Snell

6.1| Índice de Refracción

Se define el índice de refracción de un medio, n, como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío, c, y la velocidad en dicho medio, v.

$$\boxed{n = \frac{c}{v}}$$

Siendo c=300.000 Km/s

Como la velocidad de la luz en el aire es prácticamente igual a la velocidad en el vacío, se tiene que para el aire n=1.

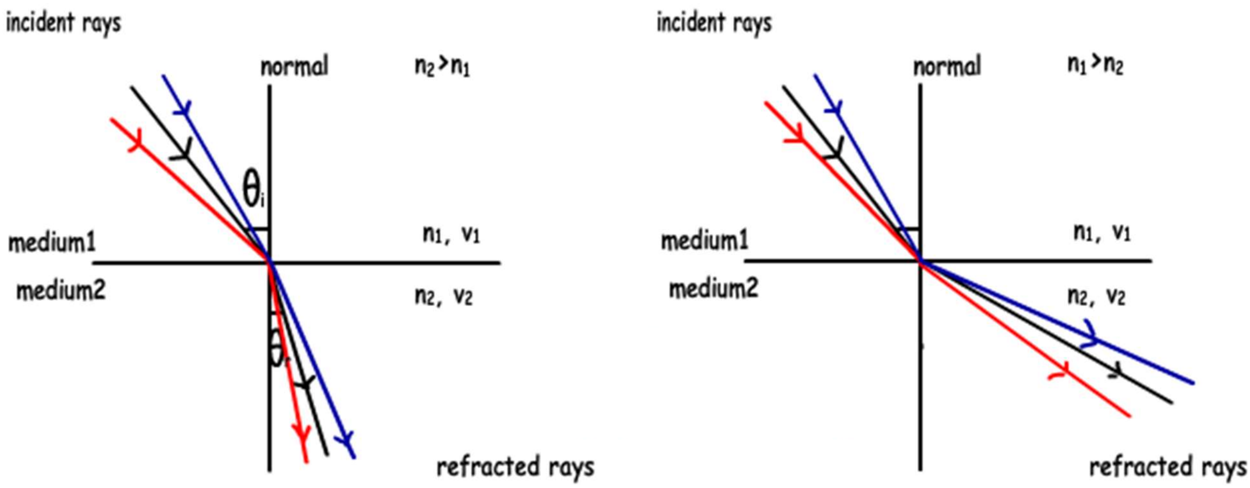
Cuanto mayor es el índice de refracción de un medio, menor es la velocidad de la luz en dicho medio y, en general, la velocidad de cualquier onda.

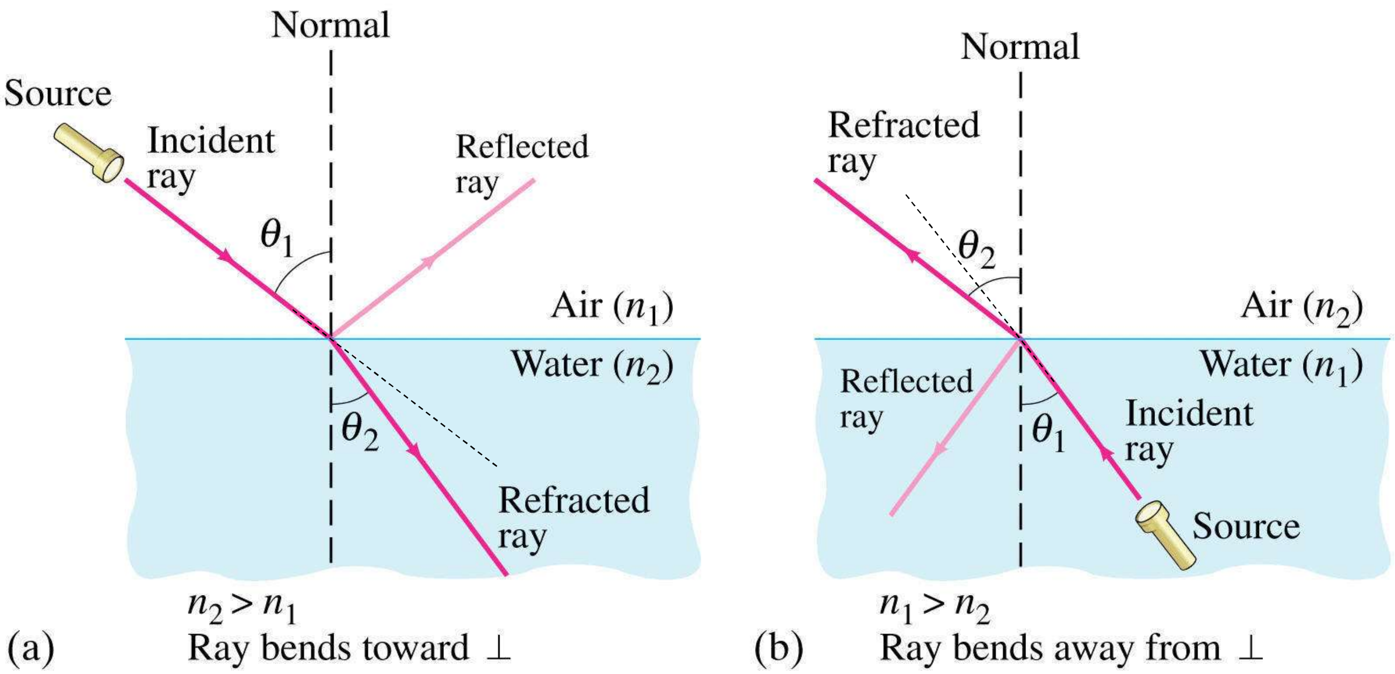
La Ley de Snell quedará:

$$\boxed{\frac{sen\,\hat{\imath}}{sen\,\hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}}$$

Si $n_2 > n_1$ ➔ $\hat{r} < \hat{\imath}$ El rayo refractado se acerca a la normal.

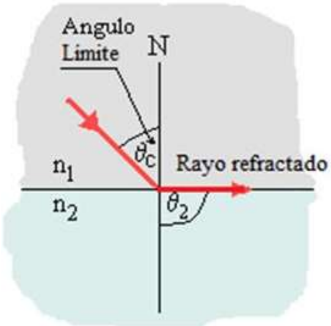
Si $n_2 < n_1$ ➔ $\hat{r} > \hat{\imath}$ El rayo refractado se aleja de la normal.



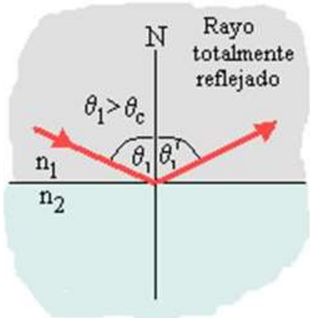

Normal
Source
Incident ray
Reflected ray
θ_1
Air (n_1)
Water (n_2)
θ_2
Refracted ray
$n_2 > n_1$
(a)
Ray bends toward ⊥
Normal
Refracted ray
θ_2
Air (n_2)
Water (n_1)
Reflected ray
θ_1
Incident ray
Source
$n_1 > n_2$
(b)
Ray bends away from ⊥

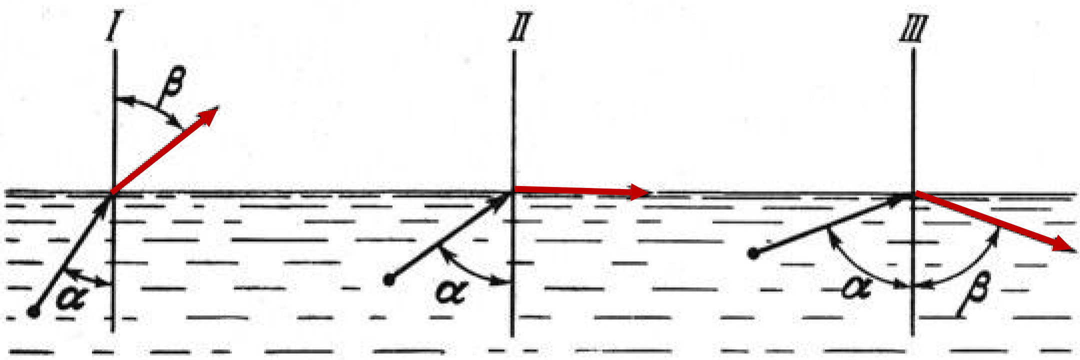
6.2| Ángulo Límite. Reflexión Total

Si un rayo de luz pasa de un medio a otro, en el que se propaga con mayor velocidad, el rayo refractado se aleja de la normal. Para un ángulo de incidencia, denominado **ángulo límite**, el rayo refractado presenta un ángulo de refracción de 90º.



Para ángulos de incidencia mayores que el ángulo límite, el rayo no se refracta, sino que se refleja. Este fenómeno es conocido como **reflexión total**.





El valor del ángulo límite se puede calcular aplicando la Ley de Snell:

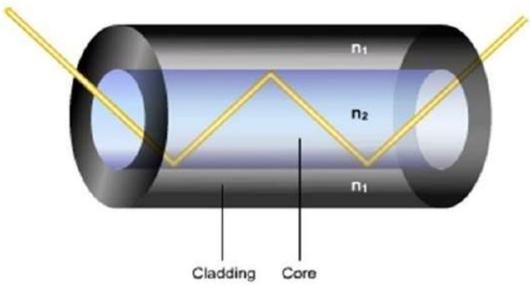
$$\frac{sen\ i}{sen\ r} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{sen\ L}{sen\ 90º} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{sen\ L}{1} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \boxed{sen\ L = \frac{n_2}{n_1}}$$

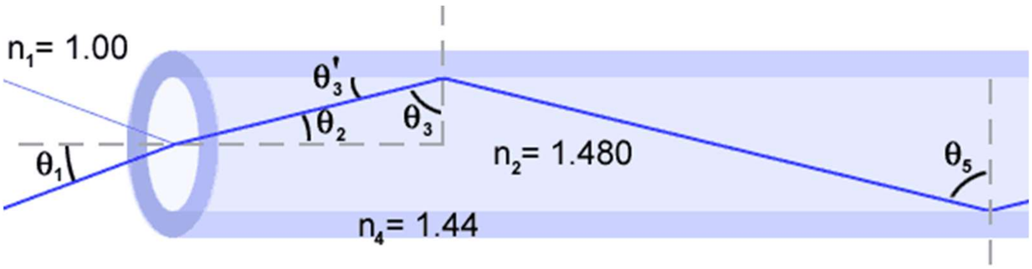
En el caso de un rayo que pase del agua (n_1=1,33) al aire (n_2=1) queda:

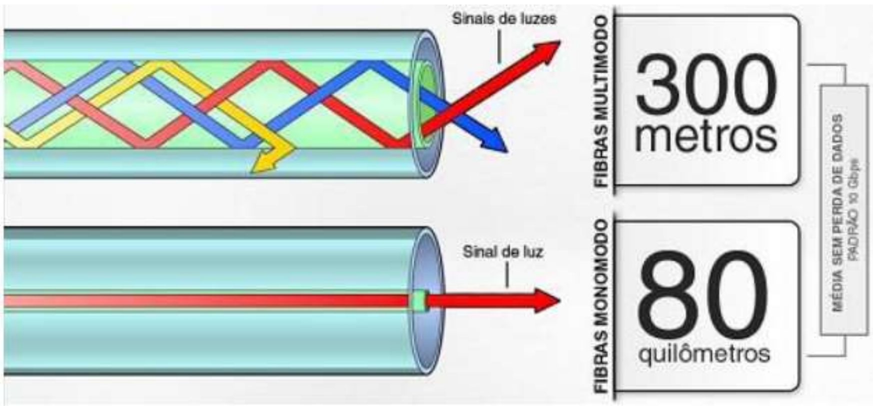
$$sen\ L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1{,}33} \rightarrow L = 48{,}8º$$

La reflexión total es un fenómeno común a todos los movimientos ondulatorios, siempre que la onda pase de un medio a otro con menor índice de refracción, es decir, un medio en el que se propague con mayor velocidad.

La **fibra óptica** es una aplicación práctica del fenómeno de la reflexión total.



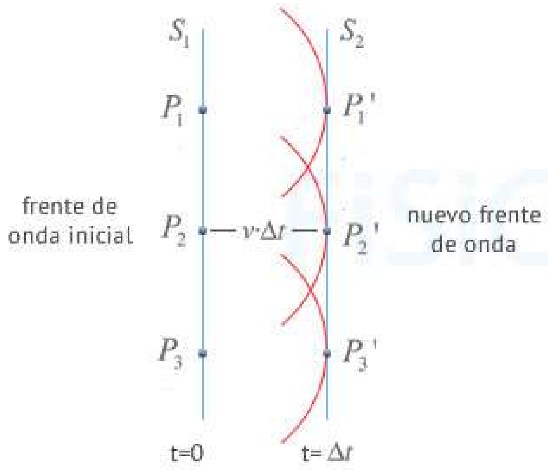


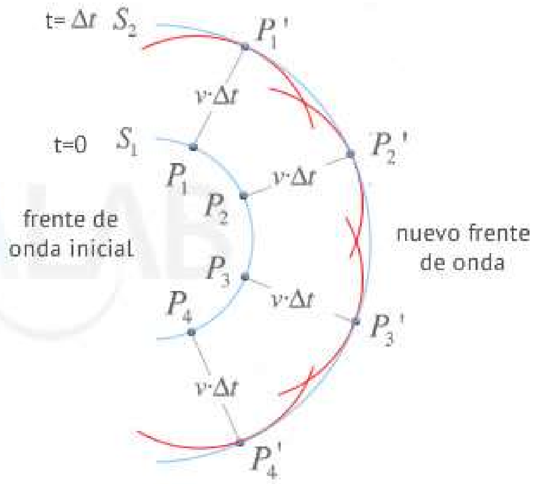


7| Principio de Huygens

En 1678 Huygens propuso un modelo general para explicar la propagación de las ondas.

Todos los puntos de un frente de onda se comportan como focos emisores de ondas elementales o secundarias, que se propagan en todas direcciones. En un instante dado, la envolvente de las ondas secundarias es el nuevo frente de onda.



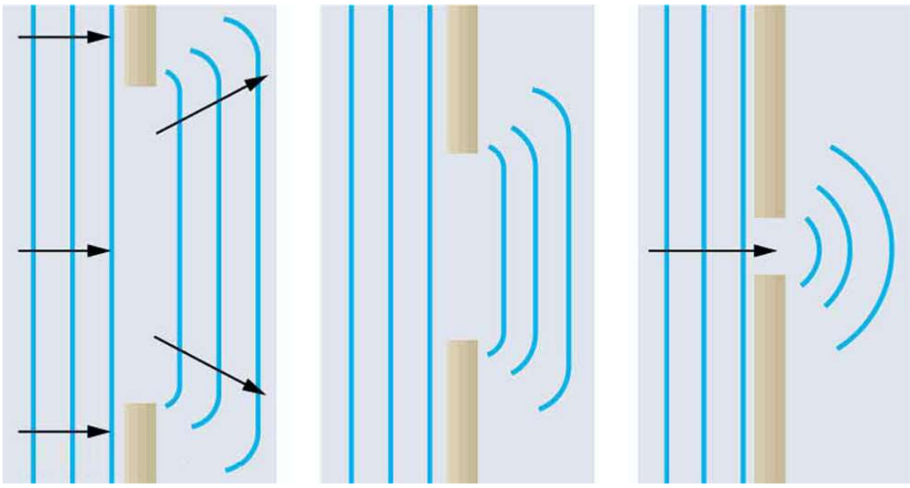


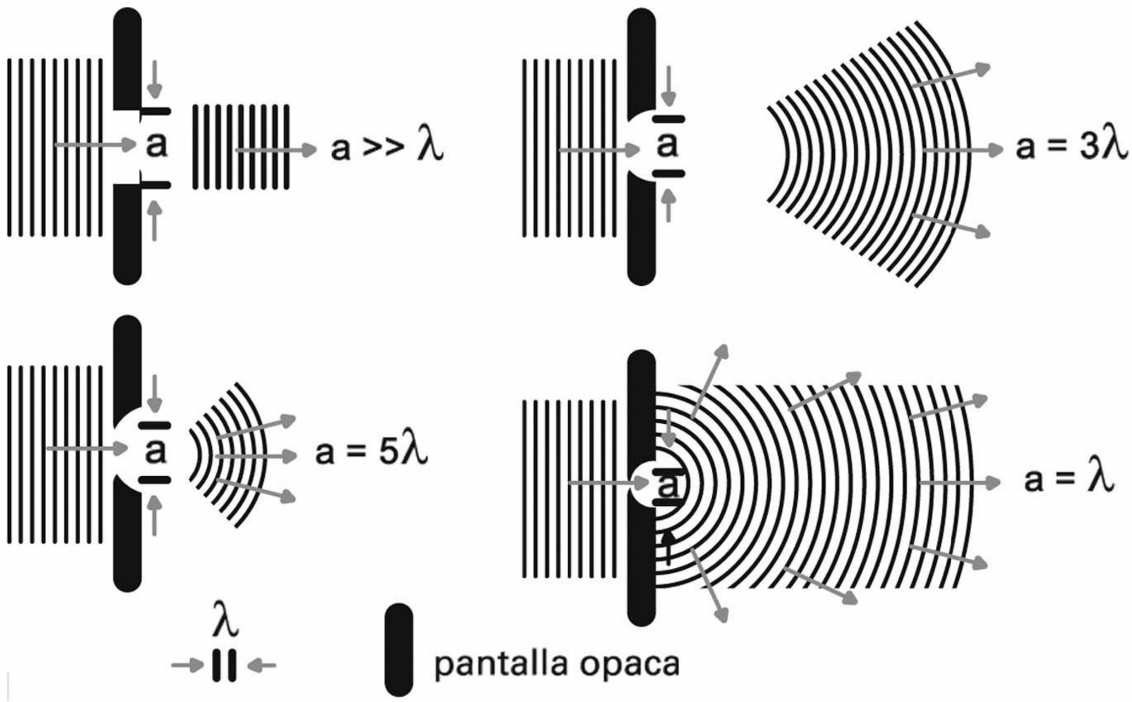
8| Difracción

La difracción es el cambio de dirección que experimenta una onda en su propagación cuando se encuentra con obstáculos o aberturas.

Por difracción, las ondas pueden bordear obstáculos. La magnitud de la difracción depende de la relación entre la longitud de onda y las dimensiones del obstáculo.

La difracción puede explicarse a partir del Principio de Huygens: los puntos del frente de onda incidente, al llegar a un orificio u obstáculo, se transforman en focos emisores de ondas. La relación entre la longitud de onda y el tamaño del orificio, u obstáculo, determina la forma del nuevo frente de onda, que será la envolvente de las ondas secundarias.



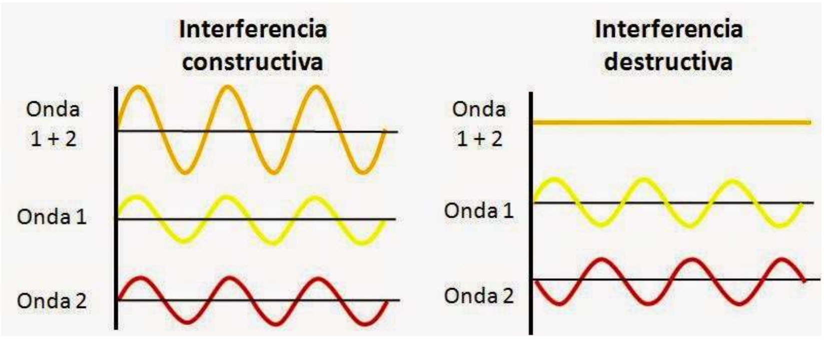


9| Interferencias. Principio de Superposición

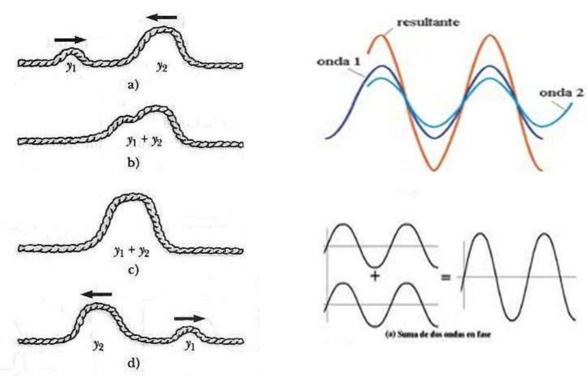
La concurrencia de dos o más ondas en un punto se denomina interferencia.

Debido a la superposición de dos ondas, existen puntos en los que la perturbación se hace máxima (interferencia constructiva) y puntos en los que la perturbación es mínima (interferencia destructiva).

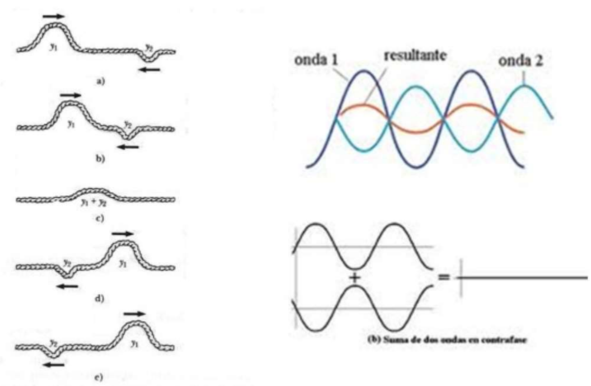
Principio de Superposición: Cuando dos o más ondas coinciden simultáneamente en un punto del medio en el que se propagan, la perturbación producida en dicho punto es igual a la suma de las perturbaciones que, individual e independientemente, originarían en dicho punto cada una de las ondas.



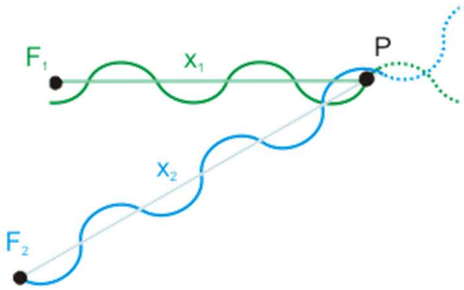
Interferencia constructiva



Interferencia destructiva



9.1 Condiciones de Interferencia



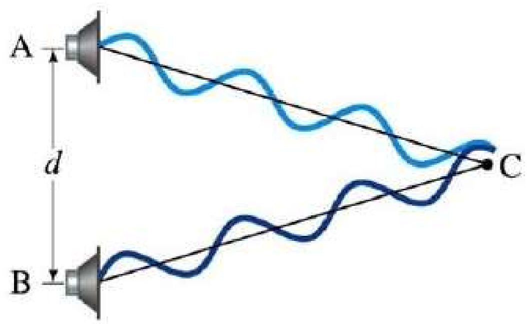
$$\begin{cases} y_1 = A \cdot sen\,(\omega \cdot t - k \cdot x_1) \\ y_2 = A \cdot sen\,(\omega \cdot t - k \cdot x_2) \end{cases}$$

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = A_{resultante} \cdot se \quad \left(\omega \cdot t - k \cdot \frac{x_2 + x_1}{2}\right)$$

$$A_{resultantae} = 2A \cdot cos\left(k \cdot \frac{x_2 - x_1}{2}\right)$$

Interferencia Constructiva

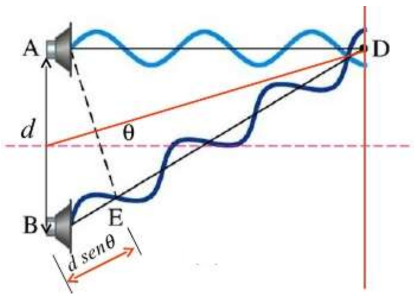


Cuando $cos\left(k \ \frac{x_2 - x_1}{2}\right) = \pm 1$

$$k \cdot \frac{x_2 - x_1}{2} = n \cdot \pi$$

$$\boxed{(x_2 - x_1) = n \cdot \lambda}$$

Interferencia Destructiva



Cuando $cos\left(\ \frac{x_2 - x_1}{2}\right) = 0$

$$k \cdot \frac{x_2 - x_1}{2} = (2n + 1) \cdot \frac{\pi}{2}$$

$$\boxed{(x_2 - x_1) = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}$$

10| Ondas Estacionarias

Una onda estacionaria es el resultado de la superposición de dos ondas de igual frecuencia, amplitud y velocidad de propagación, pero que avanzan en sentidos opuestos.

En una onda estacionaria hay puntos del medio que no vibran (nodos) y otros que lo hacen con elongación máxima (vientres).

Las ondas estacionarias son un caso particular de interferencia de ondas. Se forman, por ejemplo, en las cuerdas de un piano o de un violín, aunque también se asocian a otros campos de la física como la descripción que hace la mecánica ondulatoria de los electrones.

$$y = 2A \cdot \cos\ (k \cdot x) \cdot sen\ (\omega \cdot t)$$

$$y = A_{resultante} \cdot sen\ (\omega \cdot t)$$

Amplitud resultante máxima $\cos(k \cdot x) = \pm 1$ $k \cdot x = n \cdot \pi$ Posición de los vientres $x = 2n \cdot \frac{\lambda}{4}$ Distancia entre dos vientres consecutivos $(x_n - x_{n-1}) = \frac{\lambda}{2}$	Amplitud resultante mínima $\cos(k \cdot x) = 0$ $k \cdot x = (2n+1) \cdot \frac{\pi}{2}$ Posición de los nodos $x = (2n+1) \cdot \frac{\lambda}{4}$ Distancia entre dos nodos consecutivos $(x_n - x_{n-1}) = \frac{\lambda}{2}$

Formulario

Magnitudes características de las ondas

Frecuencia	Número de ondas	Pulsación	Velocidad propagación	Velocidad vibración
$f = \frac{1}{T}$	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$	$v = \frac{dy}{dt}$

Ecuación de las ondas armónicas

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

Energía de una onda armónica

$$\boxed{E = 2\pi^2 \cdot m \cdot A^2 \cdot f^2}$$

Intensidad y amplitud de una onda en función de la distancia al foco emisor

$\boxed{I = \frac{E}{t \cdot S}}$ $\boxed{P = \frac{E}{t}}$ $\boxed{E = 4\pi R^2 \cdot I \cdot t}$	$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}}$	$\boxed{\frac{A_1}{A_2} = \frac{R_2}{R_1}}$

Reflexión y Refracción

$\boxed{\hat{\imath} = \hat{r}}$	$\boxed{\frac{sen\,\hat{\imath}}{sen\,\hat{r}} = \frac{v_i}{v_r}}$	$\boxed{n = \frac{c}{v}}$	$\boxed{\frac{sen\,\hat{\imath}}{sen\,\hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}}$	$\boxed{sen\,L = \frac{n_2}{n_1}}$

Interferencias

	Interferencia constructiva	Interferencia destructiva
$y = A_{resultante} \cdot sen\left(\omega \cdot t - k \cdot \frac{x_2 + x_1}{2}\right)$ $A_{resultantae} = 2A \cdot cos\left(k \cdot \frac{x_2 - x_1}{2}\right)$	$\boxed{(x_2 - x_1) = n \cdot \lambda}$	$\boxed{(x_2 - x_1) = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}$

Ondas estacionarias

$y = 2A \cdot \cos\,(k \cdot x) \cdot sen\,(\omega \cdot t)$ $y = A_{resultante} \cdot sen\,(\omega \cdot t)$	Posición de los vientres $x = 2n \cdot \frac{\lambda}{4}$ Distancia entre dos vientres consecutivos $(x_n - x_{n-1}) = \frac{\lambda}{2}$	Posición de los nodos $x = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$ Distancia entre dos nodos consecutivos $(x_n - x_{n-1}) = \frac{\lambda}{2}$