

## Segunda Parte

---

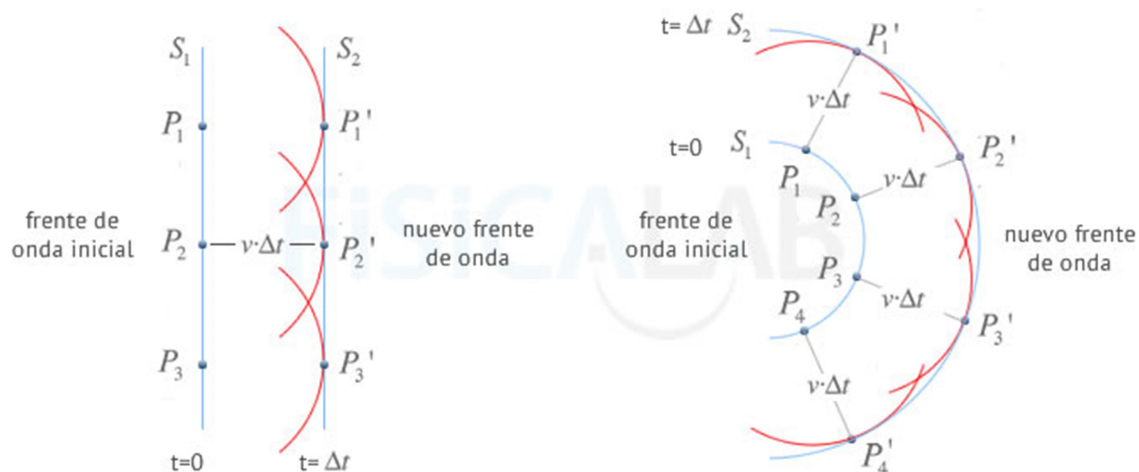
### Fenómenos Ondulatorios

## [8] Cómo se Propagan las Ondas. Principio de Huygens

Para comprender algunos de los fenómenos que se observan en la propagación de las ondas es necesario admitir que evolucionan de modo diferente a como lo hacen las partículas.

En 1678 Huygens propuso un modelo general para explicar la propagación de las ondas. Este modelo es conocido como Principio de Huygens:

Las ondas avanzan de tal modo que todos los puntos de un frente de onda se comportan como focos emisores de ondas secundarias, con las mismas características que las ondas originales. En un instante dado, la envolvente de las ondas secundarias es el nuevo frente de ondas.

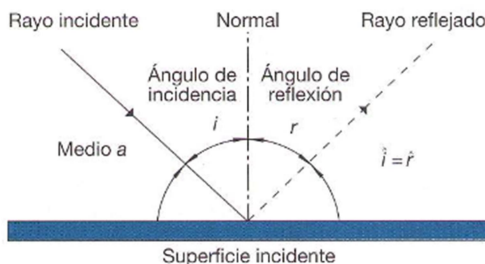


## [9] Reflexión y Refracción

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

Se denomina reflexión al cambio de dirección y/o sentido que experimenta una onda cuando choca con una superficie lisa y pulimentada, sin cambiar de medio de propagación.

Si la reflexión se produce sobre una superficie rugosa, la onda se refleja en todas direcciones y el fenómeno es conocido como difusión.

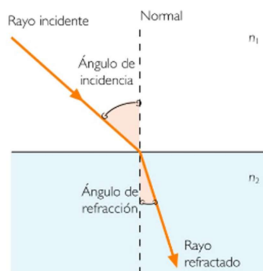


Leyes de la Reflexión:

- 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.

$$\hat{i} = \hat{r}$$

Se denomina refracción al cambio de dirección de propagación que experimenta una onda al pasar de un medio a otro en el que modifica su velocidad de propagación.



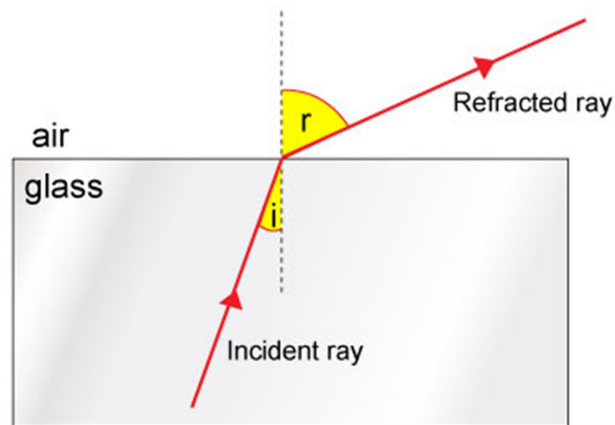
Leyes de la Refracción:

- 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:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_i}{v_r}$$

Ley de Snell

Cuando una onda pasa de propagarse en un medio a hacerlo en otro diferente, en general, lo hará con velocidad diferente.



La velocidad de propagación de una onda depende de la frecuencia y de la longitud de onda:

$$v = \lambda \cdot f$$

La frecuencia de una onda es característica del foco emisor y no se modifica cuando la onda pasa de un medio a otro. Debe ser, por tanto, la longitud de onda la que se modifica cuando una onda cambia de medio de propagación, justificando así el cambio de velocidad experimentado.

Cuando una onda cambia de medio de propagación, se produce un cambio en su longitud de onda y, por tanto, en su velocidad de propagación, manteniéndose constante la frecuencia de la onda.

## [9.1] Índice de Refracción

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

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

Siendo  $c=3 \cdot 10^8$  m/s

Como la velocidad de la luz en el aire es prácticamente igual a la velocidad en el vacío, se tiene que:

$$n_{\text{aire}} = 1$$

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 propagación de cualquier onda.

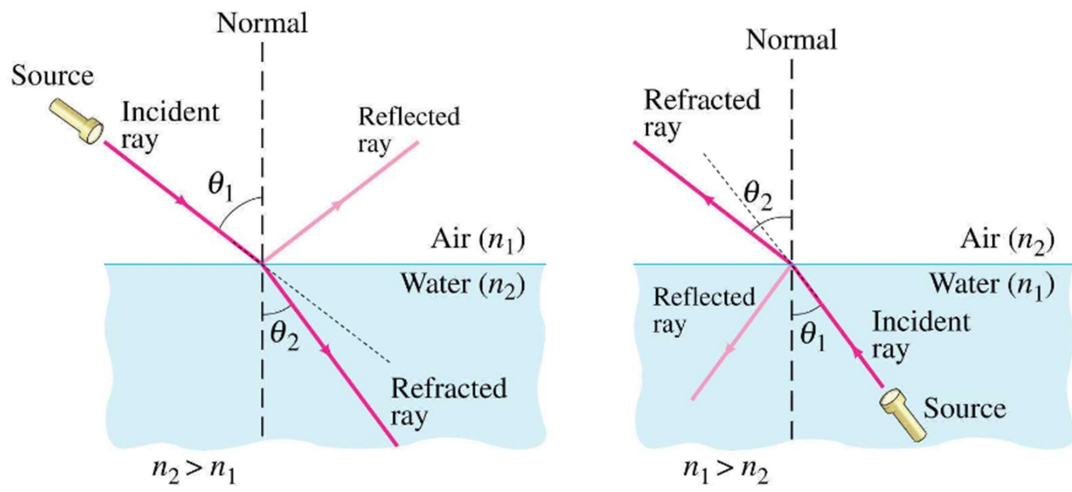
$$v = \frac{c}{n}$$

Teniendo en cuenta la definición de índice de refracción, la Ley de Snell queda:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

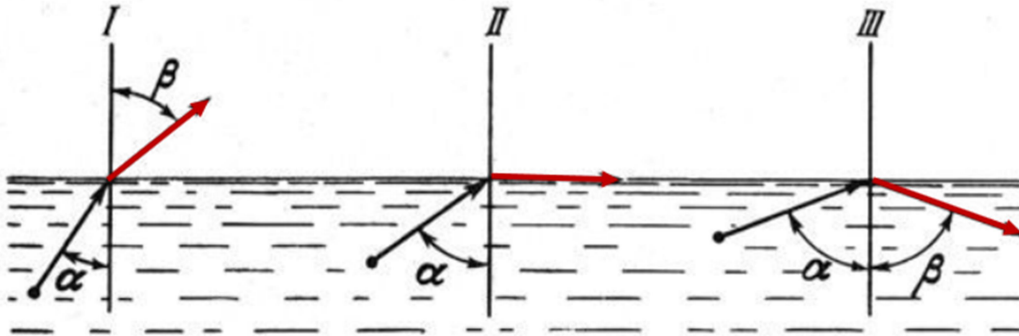
Si  $n_2 > n_1 \rightarrow \hat{r} < \hat{i}$  El rayo refractado se acerca a la normal.

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



## [9.2] Ángulo Límite y 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  $90^\circ$ . 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:

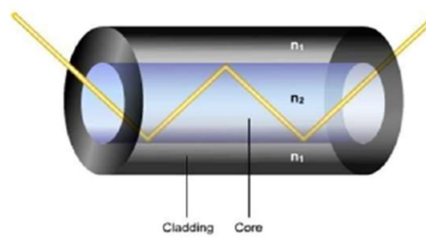
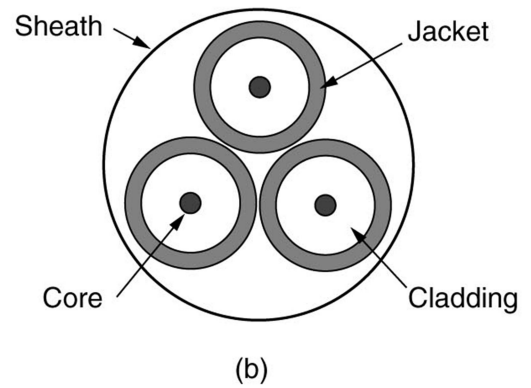
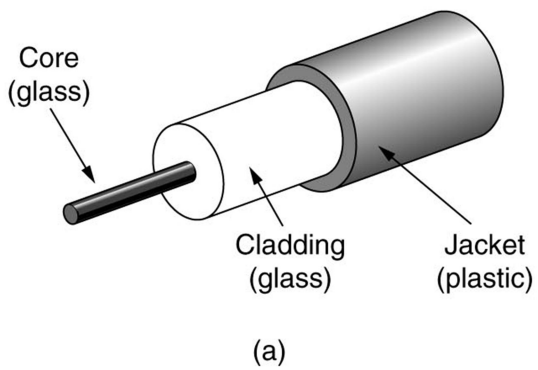
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{\text{sen } L}{\text{sen } 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{\text{sen } L}{1} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \boxed{\text{sen } L = \frac{n_2}{n_1}}$$

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

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

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, a un medio en el que se propague con mayor velocidad.

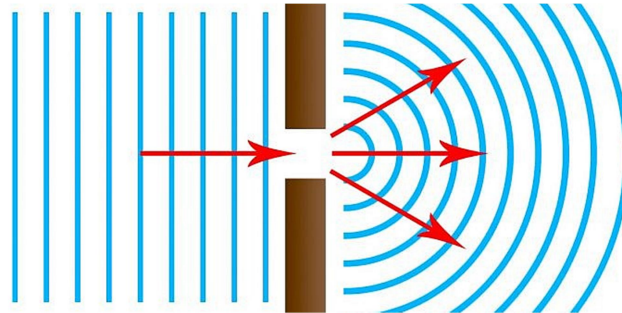
La fibra óptica es una aplicación práctica del fenómeno de la reflexión total.





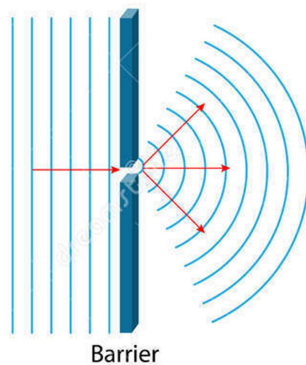
## [10] Difracción

El fenómeno de la difracción hace referencia al hecho de que una onda que se propaga en un determinado medio encuentra en su camino aberturas u obstáculos de un tamaño comparable a su longitud de onda. La difracción puede provocar un cambio en la dirección de propagación de la onda.

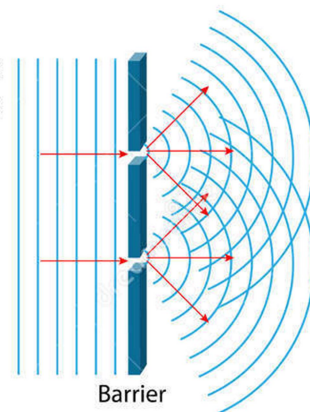


## DIFFRACTION OF WAVES

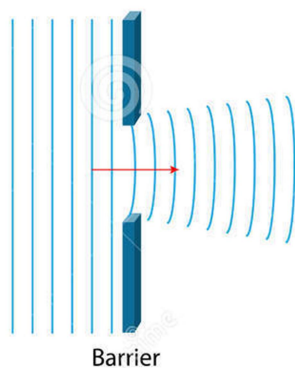
Wave impinges on a narrow slit



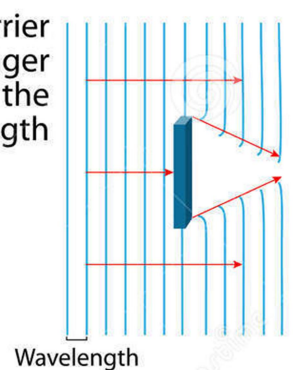
Wave interference



Wave impinges on a broad slit



Barrier is longer than the wavelength



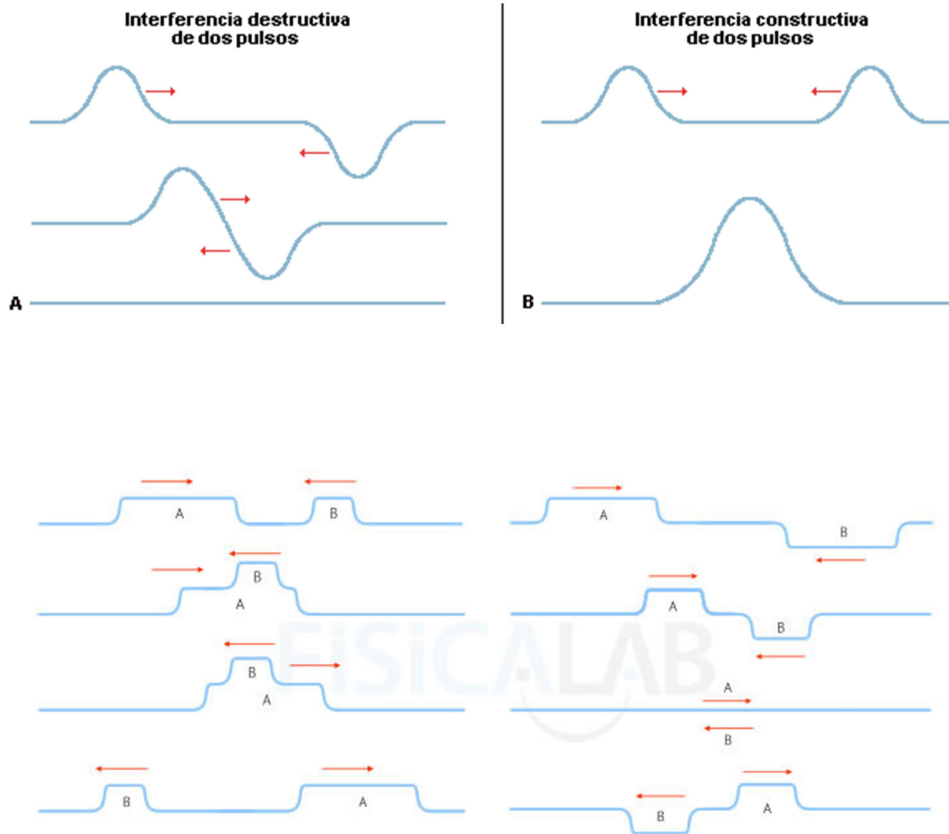
## [11] Interferencias. Principio de Superposición

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

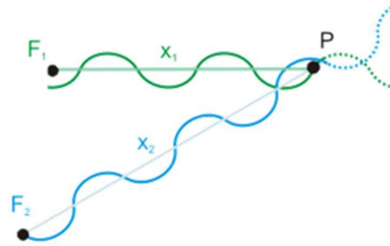
Debido a la superposición de dos ondas, existen puntos en los que la perturbación se hace máxima (interferencia constructiva) y puntos en los que la perturbación es mínima (interferencia destructiva).

### 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 el punto cada una de las ondas coincidentes.



## [12] Condiciones de Interferencia

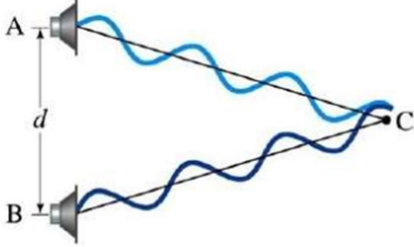
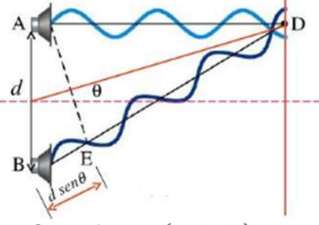


$$\begin{cases} y_1 = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t - k \cdot x_1) \\ y_2 = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t - k \cdot x_2) \end{cases}$$

$$y = y_1 + y_2$$

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

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

Interferencia Constructiva	Interferencia Destructiva
 <p style="text-align: center;">Cuando <math>\cos \left( k \cdot \frac{x_2 - x_1}{2} \right) = \pm 1</math></p> $k \cdot \frac{x_2 - x_1}{2} = n \cdot \pi$ <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math display="block">(x_2 - x_1) = n \cdot \lambda</math> </div>	 <p style="text-align: center;">Cuando <math>\cos \left( \frac{x_2 - x_1}{2} \right) = 0</math></p> $k \cdot \frac{x_2 - x_1}{2} = (2n + 1) \cdot \frac{\pi}{2}$ <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math display="block">(x_2 - x_1) = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}</math> </div>

## [13] 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.

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

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

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

$$(x_n - x_{n-1}) = \frac{\lambda}{2}$$