

# TEMA 1.9

## Ondas y Barreras

Dr. Juan Pablo Torres-Papaqui

Departamento de Astronomía  
Universidad de Guanajuato  
DA-UG (México)

[papaqui@astro.ugto.mx](mailto:papaqui@astro.ugto.mx)

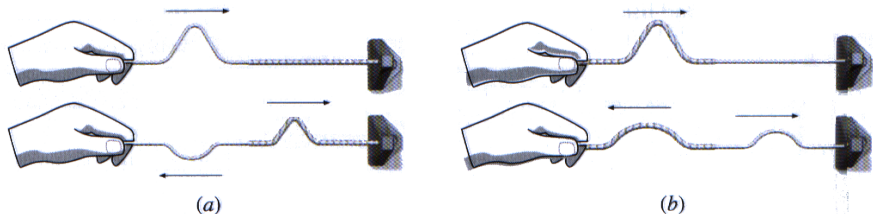
División de Ciencias Naturales y Exactas,  
Campus Guanajuato, Sede Noria Alta

## Reflexión y refracción

Cuando una onda incide sobre una superficie límite o de separación de dos regiones en las que la velocidad de la onda es diferente, la parte de la onda se refleja y parte se transmite. La Figura 1.9.1a muestra un pulso sobre una cuerda ligera unida a una cuerda más pesada.

En este caso el pulso reflejado en la superficie límite se invierte. Si la segunda cuerda es más ligera que la primera (Figura 1.9.1b), el pulso reflejado no se invierte. En cualquier de estos dos casos, el pulso transmitido no se invierte.

# Reflexión y refracción



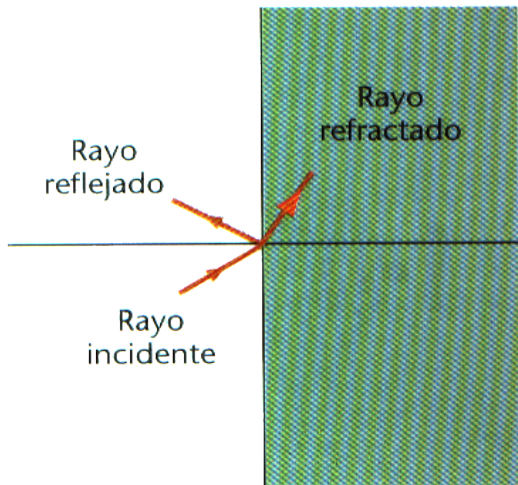
**Figura I.9.1:** (a) Un pulso de onda se propaga sobre una cuerda ligera unida a otra más pesada en la cual es menor la velocidad de la onda. (b) Un pulso de onda se propaga sobre una cuerda pesada unida a otra más ligera, en la cual es mayor la velocidad.

Si la cuerda esta atada a un punto fijo, el pulso se refleja y se invierte. Si está atada a una cuerda de masa despreciable , el pulso se refleja, pero no se invierte.

En tres dimensiones, una frontera entre dos regiones de diferente velocidad de onda es una superficie. La Figura 1.9.2 muestra un rayo incidente sobre una de estas superficies límites. Este ejemplo podría ser una onda sonora en el aire que choca sobre una superficie sólida o líquida.

El rayo reflejado forma un ángulo con la normal a la superficie igual al que forma el rayo incidente.

# Reflexión y refracción



**Figura I.9.2:** Onda incidiendo sobre una superficie límite entre dos medios en los cuales la velocidad de onda difiere. Parte de la onda se refleja y parte se transmite.

El rayo transmitido se desvía acercándose o alejándose de la normal; lo cual depende de si la velocidad de la onda en el segundo medio es menor o mayor que la que posee en el medio inicial.

Esta desviación del rayo transmitido se denomina **refracción**.

La cantidad de energía reflejada por una superficie depende de la clase de superficie. Las paredes, suelos, y techos son buenos reflectores de las ondas sonoras; mientras que otros materiales porosos y menos rígidos, como la ropa de los paños y tapizados absorben gran cantidad de energía incidente.

Un frente de ondas  $AB$  que avanza en el medio uno empieza a tocar un medio dos (diferente) en el punto  $A$ . Se observa que en el medio dos este frente de ondas se propaga más lentamente (ver figura I.9.3).

# Ley de Snell

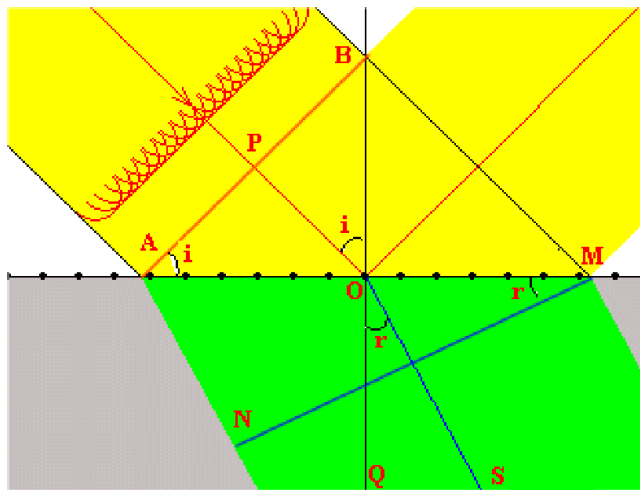


Figura I.9.3: Comportamiento del frente de onda al cambiar de medio.



# Ley de Snell

Mientras en el medio uno en un tiempo  $t$  avanza una distancia  $BM$ , en el medio dos avanza una distancia  $AN$ .

Si  $V_1$  es la velocidad en el medio uno y  $V_2$  la velocidad en el medio dos:

$$n_1 = \frac{c}{V_1} \quad \text{y} \quad n_2 = \frac{c}{V_2}$$

donde  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción los medio respectivamente. Entonces:

$$BM = V_1 \cdot t \quad \text{y} \quad AN = V_2 \cdot t$$

EL rayo es perpendicular al frente de las ondas y la normal es perpendicular a la superficie de separación.

En la figura I.9.3 observamos que el ángulo  $i$  (ángulo de incidencia) es igual al ángulo  $BMA$ , por tener los ángulos  $BMA$  y  $POB$  los lados perpendiculares.

El ángulo de refracción  $r$  es igual al ángulo  $AMN$  por tener los ángulo  $QOS$  y  $AMN$  los lados perpendiculares.

Por la definición de seno:

$$\text{sen}(i) = \frac{BM}{MA} \quad \text{y} \quad \text{sen}(r) = \frac{AN}{MA}$$

Dividiendo  $\text{sen}(i)$  entre  $\text{sen}(r)$  obtenemos:

$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \frac{\frac{BM}{MA}}{\frac{AN}{MA}} = \frac{BM}{AN} = \frac{V_1 t}{V_2 t}$$

$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \cdot \text{sen}(i) = n_2 \cdot \text{sen}(r)$$

**Ejemplo:** Un rayo de luz que se propaga en el aire entra en el agua con un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ . Si el índice de refracción del agua es de 1.33. ¿Cuál es el ángulo de refracción?

**Solución:** Usando

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_2)$$

$$\frac{1}{1.33} \text{sen}(45^\circ) = \text{sen}(\theta_2)$$

$$\theta_2 = 32.1^\circ$$

**Ejemplo:** Una radiación de frecuencia  $f = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  se propaga en el agua. ¿Calcular la velocidad de propagación y la longitud de onda de dicha radiación?

**Solución:** Usando  $n_{\text{agua}} = 1.33$

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = 2.26 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda f = v \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = 4.51 \times 10^{-7} \text{ m}$$

**Ejercicio:** (a) Un rayo luminoso que se propaga en el aire incide sobre el agua de un estanque con un ángulo de  $30^\circ$  ¿Qué ángulo forman entre sí los rayos reflejado y refractado? (b) Si el rayo luminoso se propaga desde el agua hacia el aire ¿A partir de que valor del ángulo de incidencia se presentará el fenómeno de reflexión total?

**Solución:** (a) Usando  $n_{\text{agua}} = 1.33 = 4/3$

$$\theta_{\text{incidente}} = \theta_{\text{reflejado}} = 30^\circ$$

$$1 \cdot \text{sen}(30^\circ) = \frac{4}{3} \text{sen}(\theta_{\text{refractado}})$$

$$\text{sen}(\theta_{\text{refractado}}) = \frac{\text{sen}(30^\circ)}{4/3} = 0.375 \Rightarrow \theta_{\text{refractado}} = 22.02^\circ$$

Entonces el ángulo que forman el rayo reflejado y le refractado es:

$$\alpha = 180^\circ - 30^\circ - 22.02^\circ = 127.98^\circ$$

(b) La reflexión total se presenta a partir de un ángulo de incidencia llamado límite (l) para el cual el ángulo refractado tiene un valor de  $90^\circ$ . Esto solo puede suceder cuando el rayo pasa por un medio más refringente a otros menos, en éste caso el rayo pasa del agua al aire.

$$\frac{4}{3} \cdot \text{sen}(\theta) = 1 \cdot \text{sen}(90^\circ)$$

$$\text{sen}(\theta) = \frac{\text{sen}(90^\circ)}{4/3} = \frac{3}{4} = 0.75$$

$$\theta = 48.59^\circ$$

# Difracción

Cuando una onda encuentra un obstáculo tiende a rodearlo. Este comportamiento del frente de onda se denomina **difracción**.

Casi toda la difracción de una onda se produce en aquella parte del frente de onda que está a una distancia de pocas longitudes de onda de los límites del obstáculo.

En aquellas zonas de la onda que están más alejadas, el efecto del obstáculo, es decir la difracción, es imperceptible y la onda se propaga en línea recta en la dirección de los rayos incidentes.

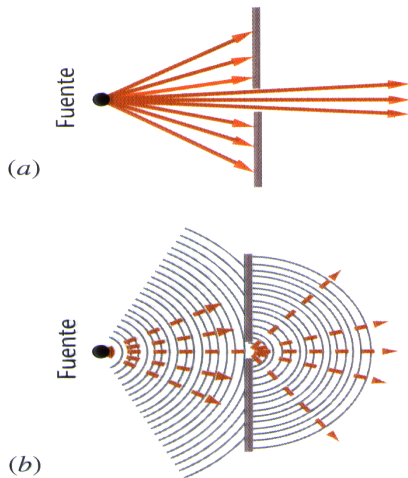
Cuando una onda se encuentra con una barrera con una pequeña abertura de unas pocas longitudes de onda de diámetro la parte de la onda que la atraviesa pasa toda ella a una distancia de pocas longitudes de onda de los bordes.

Así los frentes de onda de ondas planos se curvan y se propagan adoptando la forma circular o esférica.

En contraste, si un haz de partículas incide sobre un obstáculo con una abertura, las partículas que lo atraviesan no cambian su dirección (ver Figura 1.9.4a).

La difracción es una de las características fundamentales que distinguen las ondas de las partículas (ver Figura 1.9.4b).





**Figura I.9.4:** Comparación entre las transmisiones que sufren en una abertura estrecha situada en una barrera (a) un haz de partículas y (b) una onda.