

Ondas. Conceptos básicos

IES La Magdalena.
Avilés. Asturias

Una onda es una perturbación que se propaga.

Con la palabra "perturbación" se quiere indicar cualquier tipo de alteración del medio: una ondulación en una cuerda, una sobrepresión en el aire (onda sonora), campos electromagnéticos oscilantes (onda electromagnética)... etc

Las ondas electromagnéticas no necesitan ningún medio para propagarse. Pueden hacerlo en el vacío, mientras que las demás necesitan un medio para su propagación por los que se les denomina "ondas materiales".

En las **ondas transversales** la dirección en que se produce la perturbación y la dirección en que se propaga son perpendiculares. Son ejemplos de ondas transversales las ondas electromagnéticas, la onda que se transmite en una cuerda, las ondas en la superficie de un lago...

En las **ondas longitudinales** la dirección de perturbación y la de propagación es la misma. El sonido es una onda longitudinal.

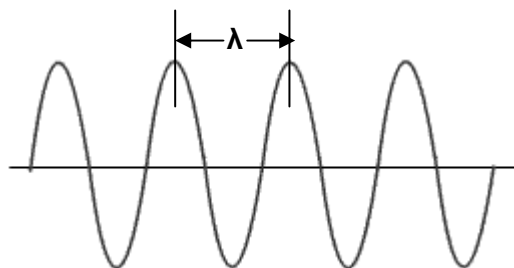
En las ondas la energía va transmitiéndose de un punto del medio al siguiente. La energía "viaja" sin que exista un transporte de masa, ya que los puntos del medio permanecen en su sitio.

Es muy importante diferenciar entre el movimiento que tienen los puntos del medio (por ejemplo la cuerda) cuando son alcanzados por la onda y el movimiento de la propia onda. Los puntos oscilan alrededor de su posición de equilibrio, mientras que la onda se traslada hacia la derecha, por ejemplo.

Dependiendo de la distancia a la que estén situados los puntos del medio pueden oscilar a la vez o no. Cuando oscilan a la vez se dice que **están en fase**.

Si no oscilan a la vez se dice que **están desfasados**. Un desfase importante es el de dos puntos que oscilan de forma tal que cuando uno está situado en una cresta el otro lo está en un valle. Se dice que **oscilan en oposición**

Se denomina longitud de onda, λ , la distancia mínima existente entre dos puntos que oscilan en fase. Un procedimiento sencillo para medir la longitud de onda consiste en medir la distancia existente entre dos crestas consecutivas.



Cuando la onda se traslada una distancia igual a la longitud de onda los puntos del medio realizan una oscilación completa.

Se denomina periodo (T) el tiempo que la onda tarda en recorrer una distancia igual a la longitud de onda. Se mide en segundos. También se puede definir el periodo como el tiempo que tarda un punto en dar una oscilación completa.

Para medir el periodo de una onda se toma como referencia una de las crestas de la misma y se determina el tiempo que tarda en pasar la siguiente.

Se define la frecuencia (f) como el inverso del periodo. Se mide en s⁻¹ o Hz (hercios)

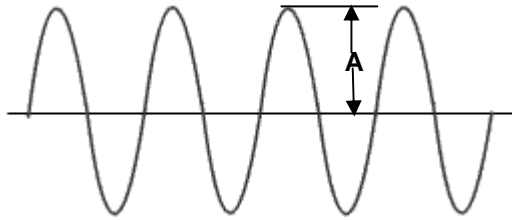
$$f = \frac{1}{T}$$

Físicamente la frecuencia se corresponde con el número de oscilaciones que un punto realiza en un segundo.

Velocidad de propagación de una onda (v) es la rapidez con la que ésta se traslada en el medio en el que se propague. Depende de las propiedades del medio. Las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío (y en el aire) con una velocidad de **300.000 km/s**. En los demás medios (agua, vidrio...) se propagan más lentamente.

$$v = \frac{e}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \frac{1}{T} = \lambda f$$

Amplitud (A) es el valor máximo que adquiere la perturbación. Para medirlo se determina el valor de la altura de una cresta desde la línea base (la que divide en dos a la onda)



En el sonido la frecuencia está relacionada con el tono (agudo a grave) y la amplitud con el volumen (débil o fuerte).

Notas	Frecuencia (Hz)
Do	264
Re	297
Mi	330
Fa	354
Sol	396
La	440
Si	495

Los colores que podemos percibir son ondas electromagnéticas de distintas frecuencias:

Color	Frecuencia (valor x10 ¹² Hz)
Rojo	450
Naranja	475
Amarillo	515
Verde	600
Azul	650
Violeta	725

La intensidad de una luz está relacionada con la amplitud de la onda. Una luz más intensa se corresponde con una amplitud mayor.

Ejemplo 1

Si tomamos 340 m/s como valor de la velocidad del sonido en el aire calcular la longitud de onda para un sonido de 500 Hz.

Solución:

$$v = \lambda f ; \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{500 \text{ s}^{-1}} = 0,68 \text{ m}$$

Ejemplo 2

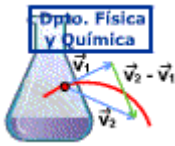
Un rayo de luz roja ($f = 450 \cdot 10^{12}$ Hz) se propaga por el aire ($v = 300.000$ km/s) y penetra en un vidrio en el cual se propaga con una velocidad de 200.000 km/s. Calcular la longitud de onda cuando se propaga en el aire y en el vidrio.

Solución:

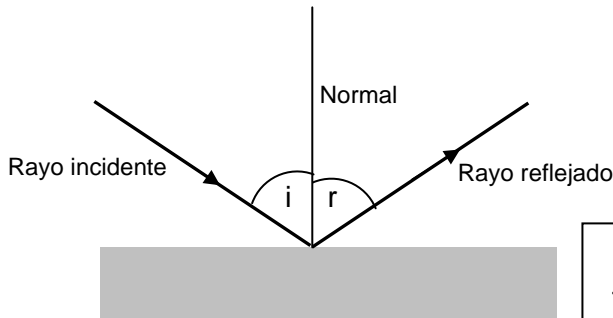
En el aire: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{450 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}} = 6,67 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

En el vidrio: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{450 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}} = 4,47 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ (menor longitud de onda)

Observa que la longitud de onda se modifica cuando la onda cambia de medio



La reflexión se produce cuando una onda encuentra una superficie contra la cual rebota. En la reflexión el rayo incidente y el reflejado se propagan en el mismo medio.



Se denomina **ángulo de incidencia** el formado por el rayo incidente y la normal a la superficie y **ángulo de reflexión** el formado por el rayo reflejado y la normal.

Leyes de la reflexión

1. El rayo incidente, el reflejado y la normal están en un mismo plano.
2. Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales: $i = r$

La reflexión nos permite ver los objetos ya que la luz que se refleja en ellos llega a nuestros ojos. Así, por ejemplo, si un objeto absorbe todos los colores de la luz blanca excepto el rojo, que es reflejado, aparecerá ante nosotros de ese color.

La refracción tiene lugar cuando una onda que se propaga en un medio pasa a otro en el cual su velocidad de propagación es distinta. Como consecuencia de esa distinta velocidad de propagación se produce una especie de "flexión" de la onda.

Al pasar de un medio a otro en el cual la velocidad es distinta la longitud de onda (ver ejemplo 2) va a variar, permaneciendo inalterada la frecuencia.

Se denomina **ángulo de incidencia** el formado por el rayo incidente y la normal a la superficie y **ángulo de refracción** el formado por el rayo refractado y la normal.

Para las ondas luminosas se define el **índice de refracción del medio, n**, como el cociente entre la velocidad de la luz en el aire, **c**, y la velocidad de la luz en el medio, **v**:

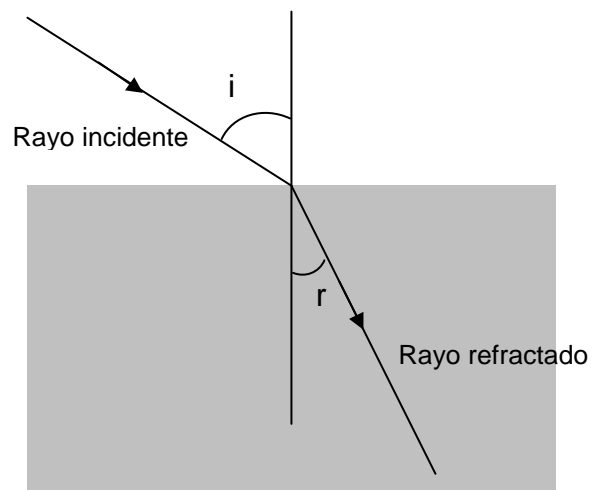
$$n = \frac{c}{v}$$

Leyes de la refracción

3. El rayo incidente, el refractado y la normal están en un mismo plano.
4. La relación entre el ángulo de incidencia y el de refracción viene dado por la siguiente expresión (Ley de Snell)

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

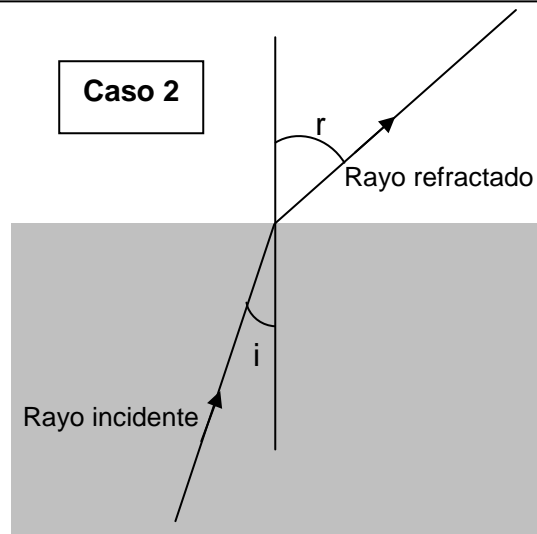
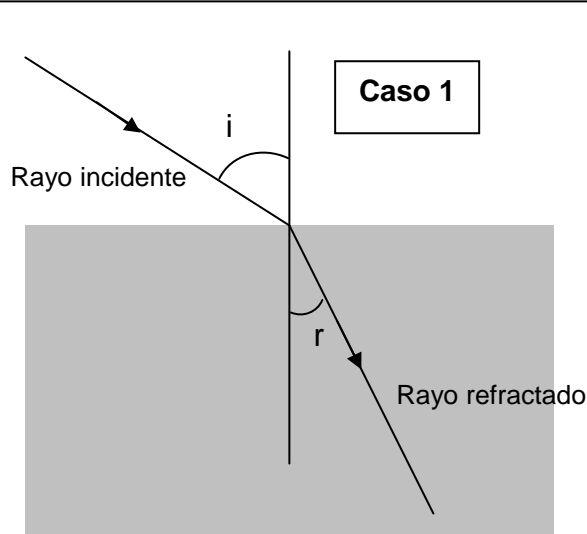
donde **n_1** es el índice de refracción del primer medio, o medio en el que se propaga el rayo incidente, y **n_2** es el índice de refracción del segundo medio o medio en el que se propaga el rayo refractado.



En la refracción se pueden distinguir dos casos:

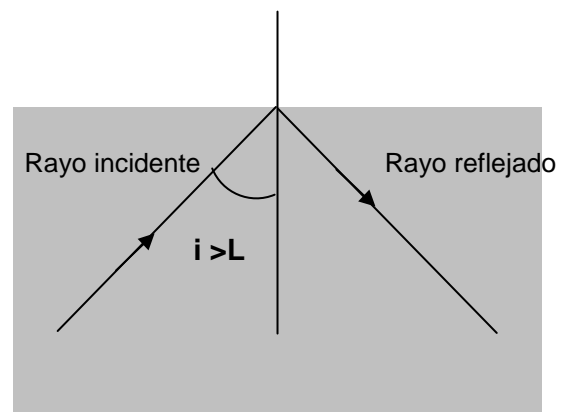
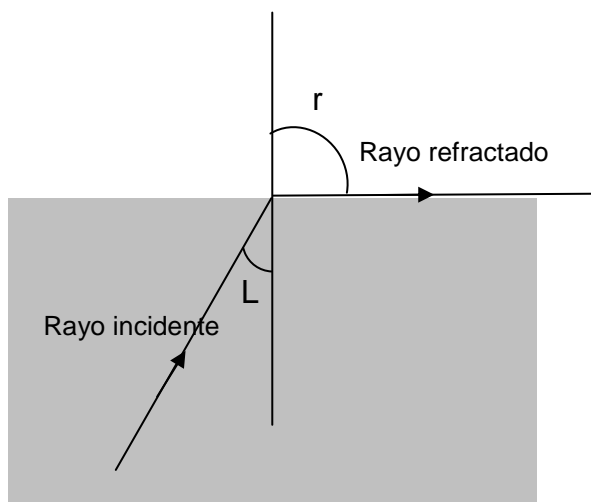
Caso 1: cuando la luz pasa de un medio en el que se propaga con mayor velocidad (como el aire) a otro en el que se propaga más lentamente (como el vidrio o el agua). Dicho con otras palabras, **cuando pasa de un medio con menor índice de refracción a otro con mayor índice de refracción**. Si aplicamos la Ley de Snell observaremos que en este caso el ángulo de refracción es inferior al de incidencia: **el rayo refractado se acerca a la normal**.

Caso 2: cuando la luz pasa de un medio en el que se propaga con menor velocidad (como el agua o el vidrio) a otro en el que se propaga más rápidamente (como el aire). Dicho con otras palabras, **cuando pasa de un medio con mayor índice de refracción a otro con menor índice de refracción**. Si aplicamos la Ley de Snell observaremos que en este caso el ángulo de refracción es superior al de incidencia: **el rayo refractado se aleja de la normal**.



En el segundo de los casos si se aumenta el ángulo de incidencia, el rayo refractado se va acercando a la superficie de separación de los medios. Existirá cierto ángulo de incidencia para el cual el rayo refractado sale rasante a dicha superficie ($r = 90^\circ$). El ángulo de incidencia para el que sucede esto se denomina **ángulo límite (L)**

Si seguimos aumentando el ángulo de incidencia de forma que **su valor sea superior al ángulo límite se produce el fenómeno de la reflexión total**. Esto es, no existe refracción. La luz se refleja en la superficie de separación de ambos medios.



Reflexión total
Ángulo incidencia > Ángulo límite

Ejemplo 3

Un rayo de luz incide sobre la superficie de un cristal con un ángulo de 60° . Sabiendo que el vidrio tiene un índice de refracción de 1,53. Calcular:

- Velocidad de propagación de la luz en el vidrio.
- Ángulo con el que se refracta el rayo.

Solución

- Para calcular la velocidad de propagación en el vidrio hacemos uso del concepto de índice de refracción:

$$n = \frac{c}{v} \quad ; \quad v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,53} = 1,96 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Aplicamos la Ley de Snell: $n_1 = n_{\text{aire}} ; n_2 = n_{\text{vidrio}}$

$$n_1 \sen i = n_2 \sen r \quad ; \quad \sen r = \frac{n_1 \sen i}{n_2} = \frac{1,00 \sen (60^\circ)}{1,53} = 0,5660$$

$$r = \text{inv sen}(0,5660) = 34,5^\circ$$

Observa que como la luz pasa del aire ($n_{\text{aire}} = 1,00$) al vidrio ($n_{\text{vidrio}} = 1,53$), el ángulo de refracción es inferior al de incidencia: el rayo refractado se acerca a la normal.

Ejemplo 4

Un rayo de luz incide sale del agua al aire. Sabiendo que el ángulo de incidencia es de 30° y que el agua tiene un índice de refracción de 1,33, calcular el ángulo de refracción.

Solución

- Aplicamos la Ley de Snell: $n_1 = n_{\text{agua}} ; n_2 = n_{\text{aire}}$

$$n_1 \sen i = n_2 \sen r \quad ; \quad \sen r = \frac{n_1 \sen i}{n_2} = \frac{1,33 \sen (30^\circ)}{1,00} = 0,6650$$

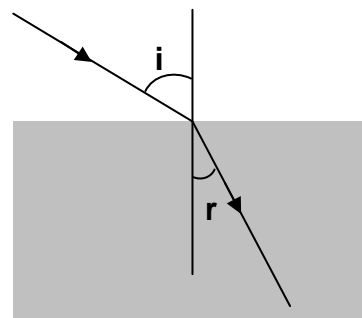
$$r = \text{inv sen}(0,665) = 41,7^\circ$$

Observa que como la luz pasa del agua ($n_{\text{agua}} = 1,33$) al aire ($n_{\text{aire}} = 1,00$), el ángulo de refracción es superior al de incidencia: el rayo refractado se aleja de la normal.

Ejemplo 5

En el laboratorio se realiza un experimento de refracción en el que se mide el ángulo de incidencia de un rayo en un vidrio y el ángulo con el que se refracta. La experiencia se repite con varios ángulos de incidencia y los valores obtenidos se recogen en la tabla adjunta. ¿Cuál es el índice de refracción del vidrio?

Experiencia	i (grados)	r (grados)
1	20	12
2	30	18
3	40	24
4	50	28
5	60	33



Para calcular el índice de refracción del vidrio utilizaremos la Ley de Snell: $n_1 \sen i = n_2 \sen r$. Ahora $n_1 = n_{\text{aire}} = 1,00 ; n_2 = n_{\text{vidrio}}$. Despejando n_2 :

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

Como tenemos un conjunto de valores de ángulos de incidencia y refracción realizamos el cálculo anterior para cada par de valores, obtenemos el valor de n_2 y como valor final damos la media de los valores obtenidos. A continuación se hace el cálculo para los dos primeros valores de la tabla anterior:

$$n_2 = \frac{n_1 \operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = \frac{\operatorname{sen} 20^\circ}{\operatorname{sen} 12^\circ} = 1,65$$

$$n_2 = \frac{n_1 \operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = \frac{\operatorname{sen} 30^\circ}{\operatorname{sen} 18^\circ} = 1,62$$

Realizando el cálculo anterior para todos los valores de la tabla obtendríamos los siguientes valores para el índice de refracción del vidrio (n_2)

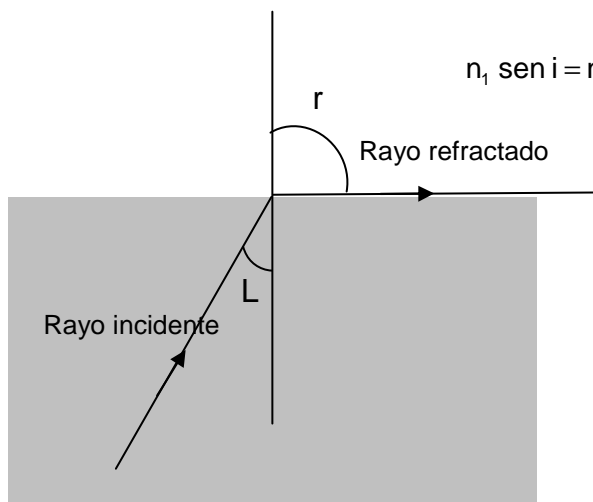
Experiencia	i (grados)	r (grados)	n_2
1	20	12	1,65
2	30	18	1,62
3	40	24	1,58
4	50	28	1,58
5	60	33	1,59

$$n_{\text{vidrio}} = \frac{1,65 + 1,62 + 1,58 + 1,58 + 1,59}{5} = 1,60$$

Ejemplo 6

Determinar el valor del ángulo límite para un vidrio cuyo índice de refracción es 1,70

Se define el ángulo límite como el ángulo de incidencia para el cual el ángulo de refracción es de 90° ($\operatorname{sen} 90^\circ = 1$). Aplicando la ley de Snell con $n_1 = n_{\text{vidrio}}$; $n_2 = n_{\text{aire}}$



$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r \quad ; \quad \operatorname{sen} i = \frac{n_2 \operatorname{sen} r}{n_1} \quad ; \quad \operatorname{sen} L = \frac{n_2 \cdot 1}{n_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\operatorname{sen} L = \frac{n_2 \cdot 1}{n_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,00}{1,70} = 0,5882$$

$$L = \operatorname{inv} \operatorname{sen}(0,5882) = 36,0^\circ$$