



Capítulo 35 - Refracción

Presentación PowerPoint de

Paul E. Tippens, Profesor de Física

Southern Polytechnic State University

© 2007

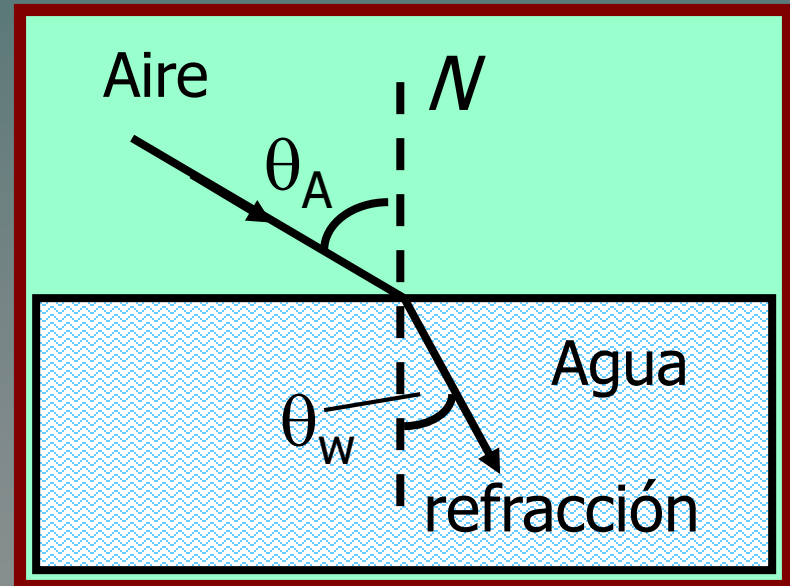
Objetivos: Después de completar este módulo deberá:

- Definir y aplicar el concepto de **índice de refracción** y discutir su efecto sobre la velocidad y longitud de onda de la luz.
- Aplicar la **ley de Snell** a la solución de problemas que involucren refracción de la luz.
- Determinar los cambios en **velocidad** y/o **longitud de onda** de luz después de refracción.
- Definir y aplicar los conceptos de **reflexión interna total** y **ángulo crítico** de incidencia.

Refracción

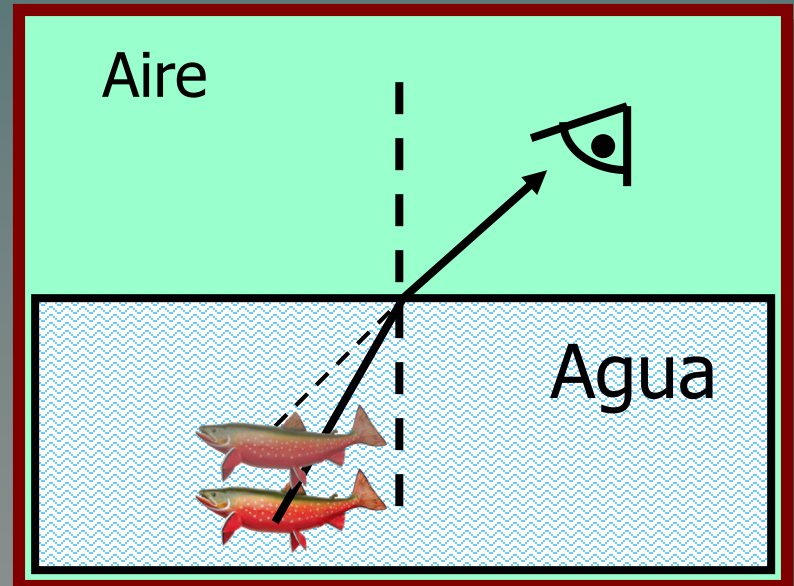
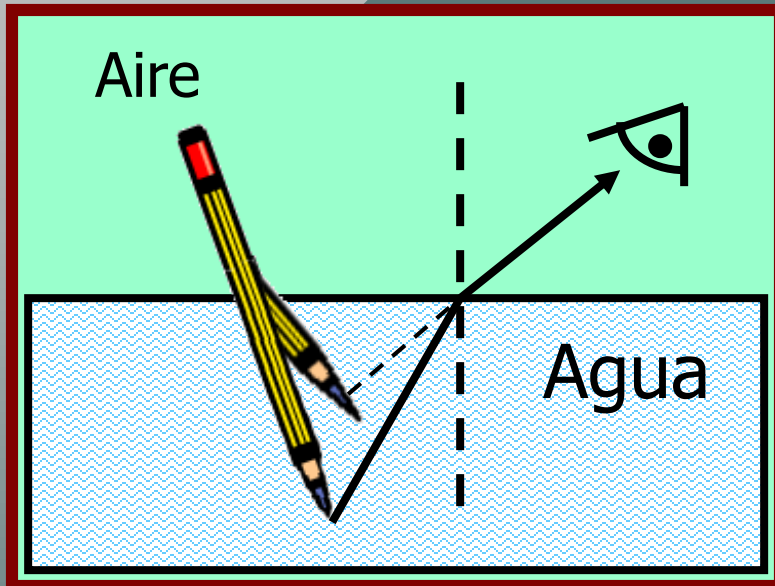
Refracción es la desviación de la luz conforme pasa de un medio a otro.

Nota: el ángulo de incidencia θ_A en aire y el ángulo de refracción θ_w en agua se miden cada uno con la normal N .



Los rayos incidente y refractado se encuentran en el mismo plano y son reversibles.

Refracción distorsiona la visión



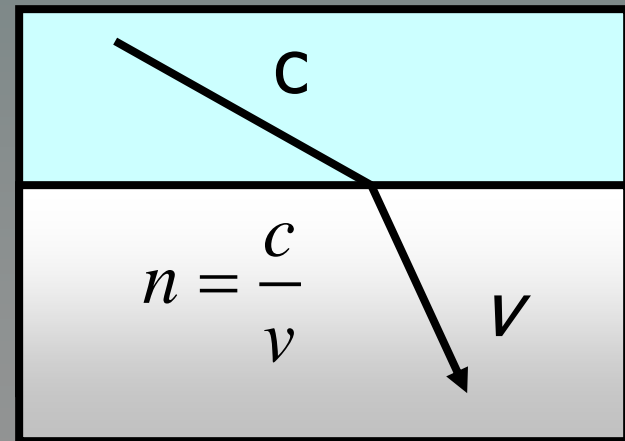
El ojo, creyendo que la luz viaja en línea recta, ve los objetos más cerca de la superficie debido a refracción. Tales distorsiones son comunes.

El índice de refracción

El **índice de refracción** para un material es la razón de la velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s) a la velocidad a través del material.

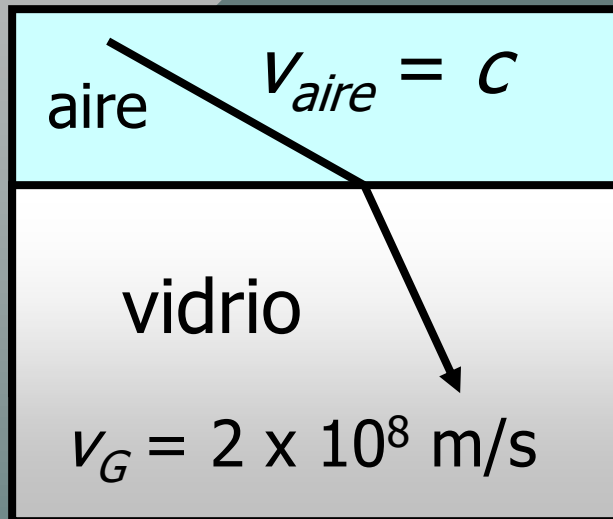
Índice de refracción

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



Ejemplos: aire $n = 1$; vidrio $n = 1.5$; agua $n = 1.33$

Ejemplo 1. La luz viaja de aire ($n = 1$) a vidrio, donde su velocidad se reduce a sólo 2×10^8 m/s. ¿Cuál es el índice de refracción del vidrio?

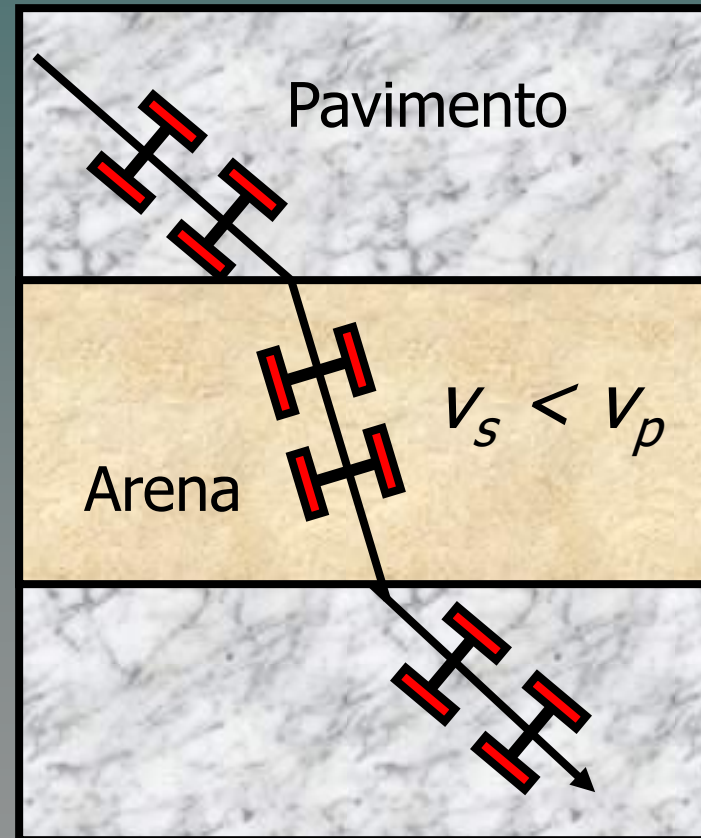
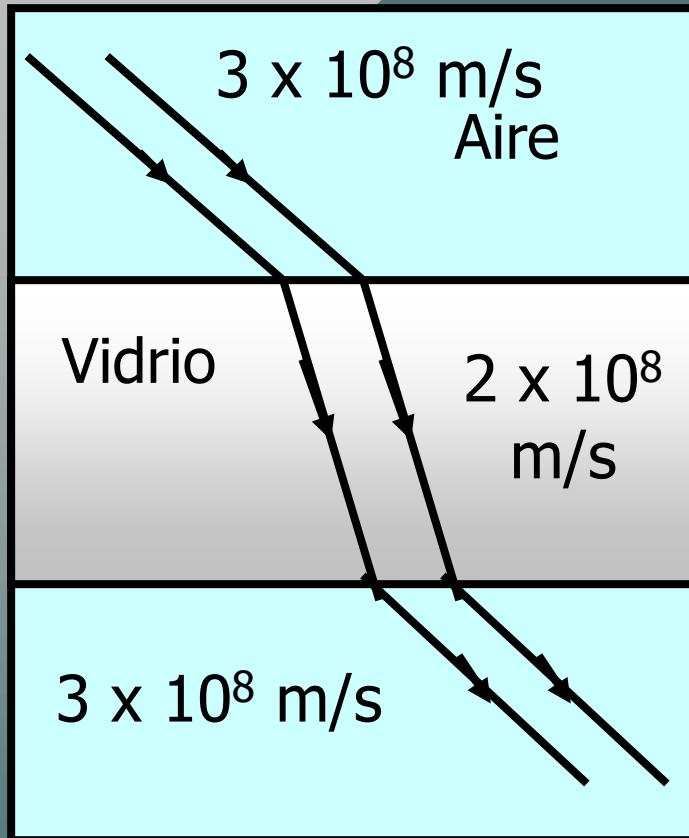


$$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

Para vidrio: $n = 1.50$

Si el medio fuese agua: $n_W = 1.33$. Entonces debe demostrar que la velocidad en el agua se reduciría de c a 2.26×10^8 m/s.

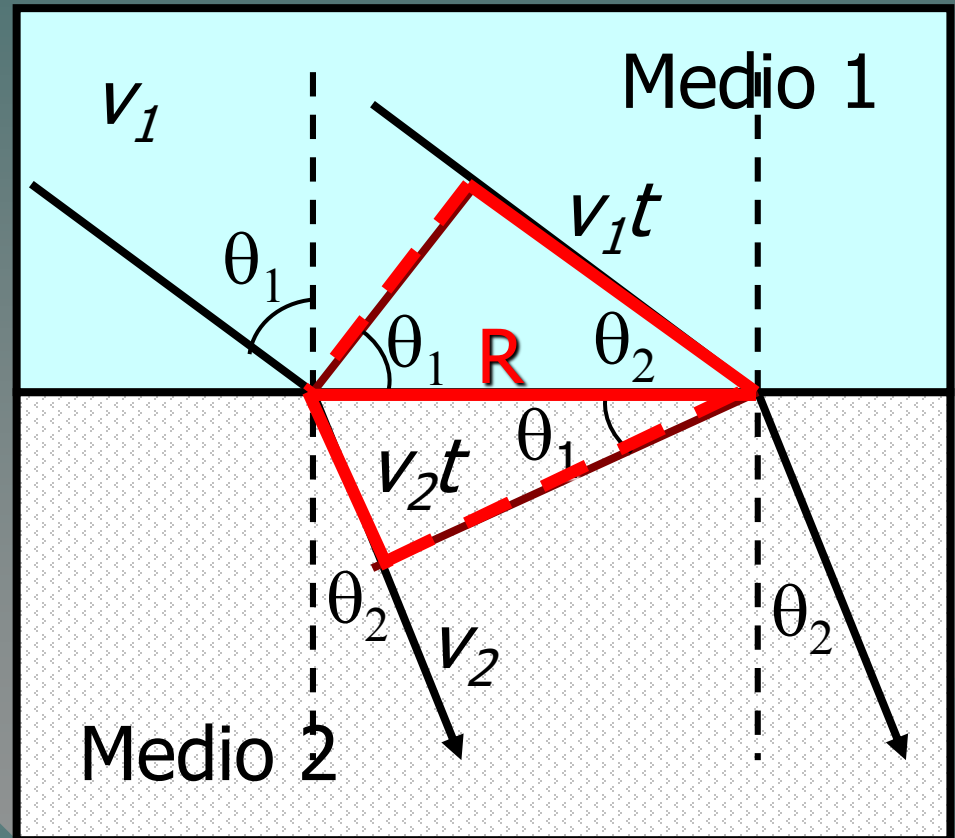
Analogía para refracción



La luz se desvía en el vidrio y luego regresa a lo largo de la trayectoria original en forma muy parecida a como lo haría un eje rodante cuando encuentra una franja de lodo.

Derivación de la ley de Snell

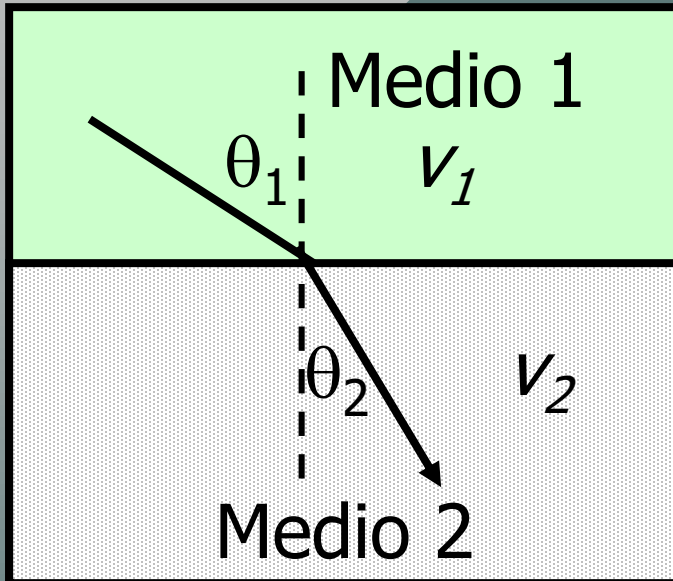
Considere dos rayos de luz cuyas velocidades son v_1 en el medio 1 y v_2 en el medio 2.



El segmento **R** es la hipotenusa común a dos triángulos rectos. Verifique con geometría los ángulos mostrados.

$$\sin \theta_1 = \frac{v_1 t}{R}; \quad \sin \theta_2 = \frac{v_2 t}{R} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1 t / R}{v_2 t / R} = \frac{v_1}{v_2}$$

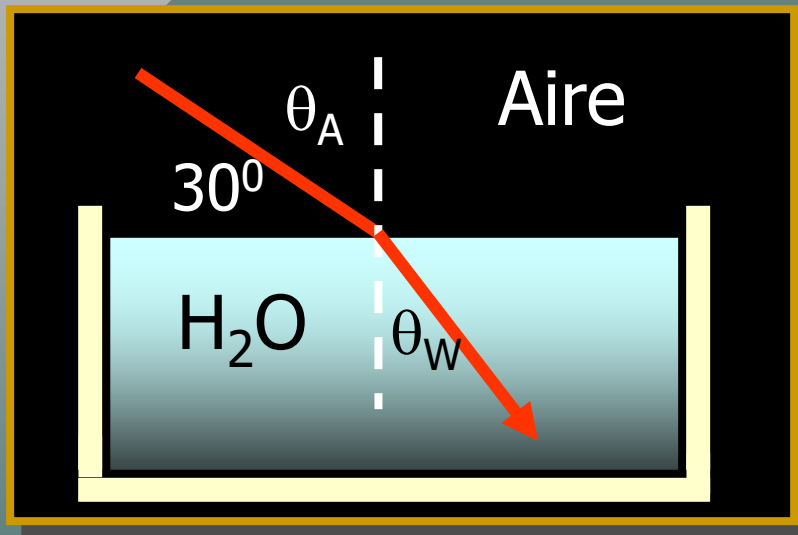
Ley de Snell



La razón del **seno** del ángulo de incidencia θ_1 al **seno** del ángulo de refracción θ_2 es igual a la razón de la **velocidad** incidente v_1 a la **velocidad** refractada v_2 .

Ley de Snell:
$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Ejemplo 2: Un haz láser en un cuarto oscuro golpea la superficie del agua a un ángulo de 30° . La velocidad en el agua es 2.26×10^8 m/s. ¿Cuál es el ángulo de refracción?



El ángulo incidente es:

$$\theta_A = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

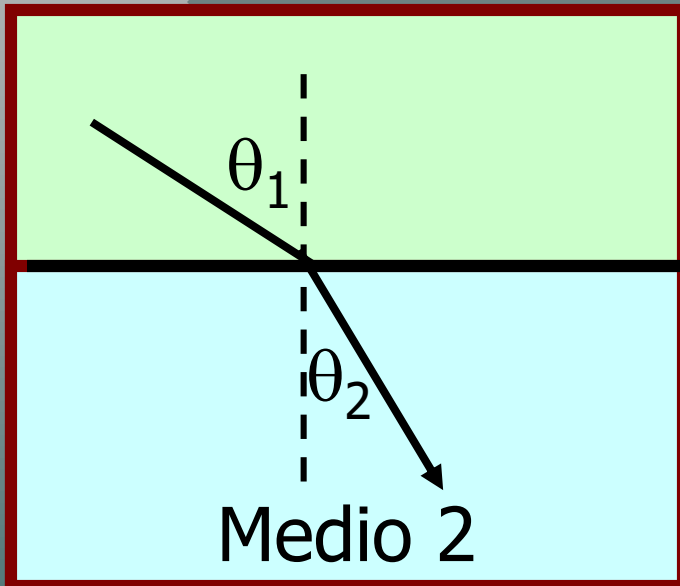
$$\frac{\text{sen } \theta_A}{\text{sen } \theta_W} = \frac{v_A}{v_W}$$

$$\text{sen } \theta_W = \frac{v_W \text{ sen } \theta_A}{v_A} = \frac{(2 \times 10^8 \text{ m/s}) \text{ sen } 60^\circ}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$\theta_W = 35.3^\circ$$

Ley de Snell e índice de refracción

Otra forma de la ley de Snell se puede derivar de la definición del índice de refracción:



$$n = \frac{c}{v} \quad \text{de donde} \quad v = \frac{c}{n}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2}; \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Ley de Snell para
velocidades e índices:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

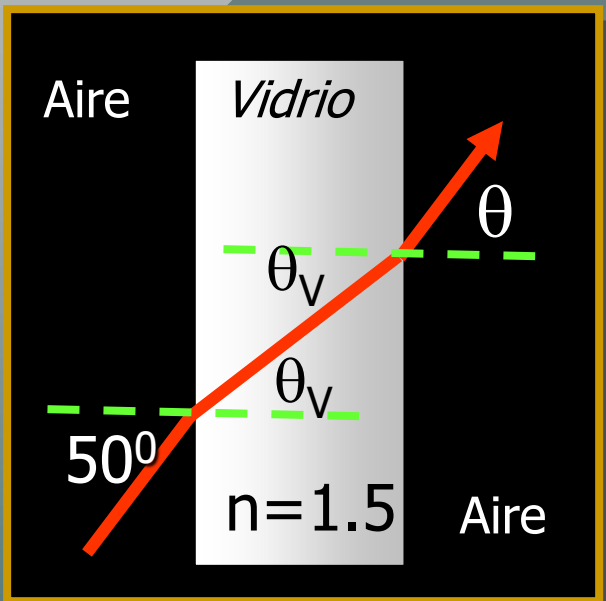
Forma simplificada de la ley

Dado que usualmente están disponibles los índices de refracción para muchas sustancias comunes, con frecuencia la ley de Snell se escribe de la forma siguiente:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \longrightarrow \quad n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

El producto del índice de refracción y el seno del ángulo es el mismo en el medio refractado y en el medio incidente.

Ejemplo 3. La luz viaja a través de un bloque de vidrio y luego sale nuevamente al aire. Encuentre el ángulo de salida con la información dada.



De la geometría, note que el ángulo θ_v es igual para la siguiente interfaz.

Primero encuentre θ_v dentro del vidrio:

$$n_A \sin \theta_A = n_V \sin \theta_V$$

$$\sin \theta_V = \frac{n_A \sin \theta_A}{n_V} = \frac{(1.0) \sin 50^\circ}{1.50}$$

$$\theta_V = 30.7^\circ$$

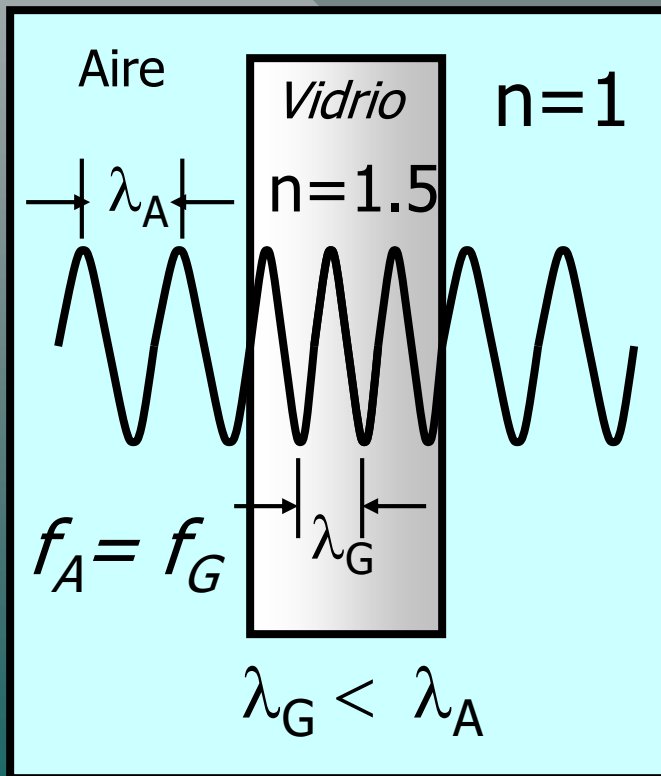
Aplique $\theta_s = 50^\circ$ en la interfaz:

$$n_A \sin \theta_s = n_V \sin \theta_v = n_A \sin \theta_A$$

Igual que el ángulo de entrada! θ_A

Longitud de onda y refracción

La energía de la luz se determina por la frecuencia de las ondas EM, que permanece constante conforme la luz pasa adentro y afuera de un medio. (Recuerde: $v = f\lambda$.)



$$v_A = f_A \lambda_A; \quad v_G = f_G \lambda_G$$

$$\frac{v_A}{v_G} = \frac{f \lambda_A}{f \lambda_G}; \quad \frac{v_A}{v_G} = \frac{\lambda_A}{\lambda_G};$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Las muchas formas de la ley de Snell:

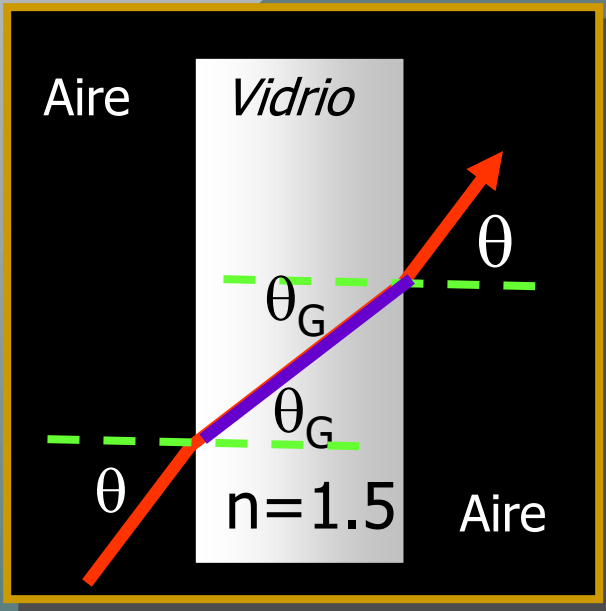
El índice de refracción, la velocidad y la longitud de onda afectan a la refracción. En general:

*Ley de
Snell:*

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Todas las razones son iguales. Pero es útil resaltar que sólo el subíndice de n tiene un orden diferente en la razón.

Ejemplo x4: Un láser helio-neón emite un haz de **632 nm** de longitud de onda en aire ($n_A = 1$). ¿Cuál es la longitud de onda dentro de un bloque de vidrio ($n_G = 1.5$)?



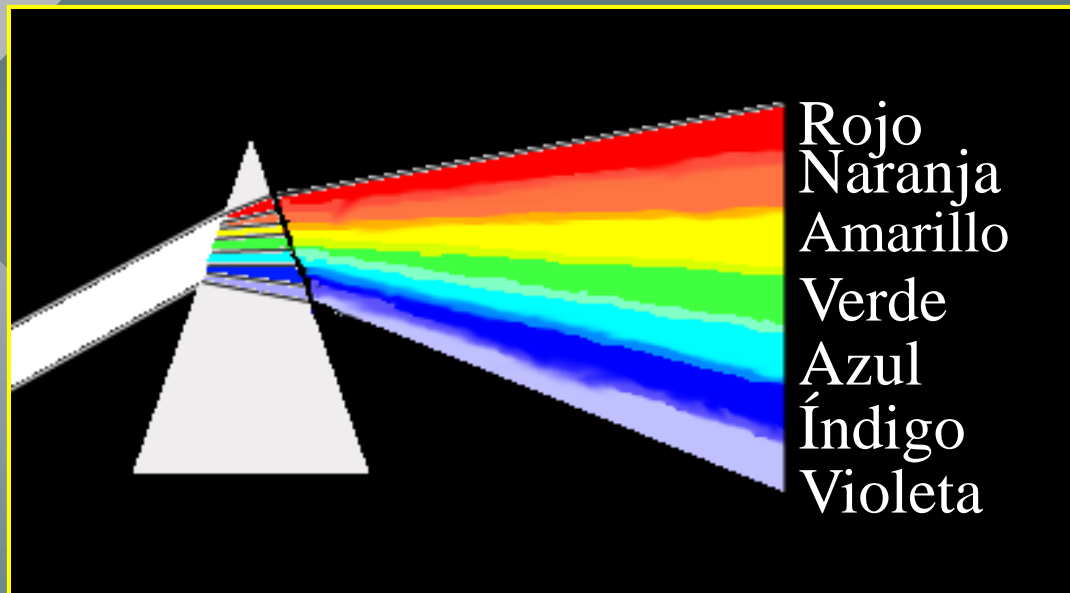
$$n_G = 1.5; \quad \lambda_A = 632 \text{ nm}$$

$$\frac{\lambda_A}{\lambda_G} = \frac{n_G}{n_A}; \quad \frac{n_A \lambda_A}{n_G} = \lambda_G$$

$$\lambda_G = \frac{(1.0)(632 \text{ nm})}{1.5} = 421 \text{ nm}$$

Note que la luz, si se ve **dentro** del vidrio, sería **azul**. Desde luego, todavía parece roja porque regresa al aire antes de llegar al ojo.

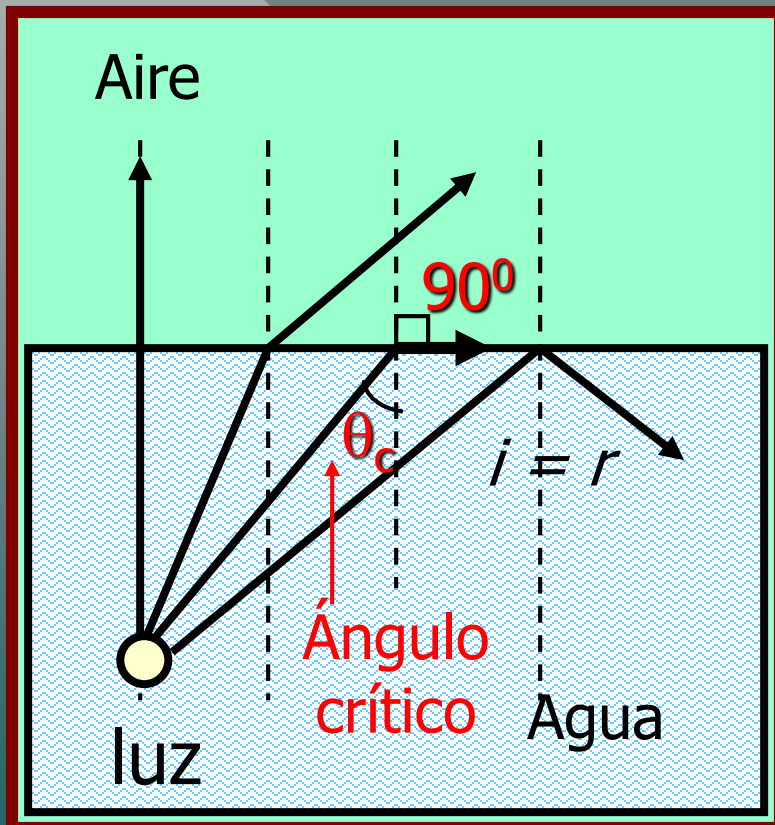
Dispersión por un prisma



Dispersión es la separación de la luz blanca en sus varios componentes espectrales. Los colores se refractan a diferentes ángulos debido a los diferentes índices de refracción.

Reflexión interna total

Cuando la luz pasa en un ángulo de un medio de mayor índice a uno de menor índice, el rayo saliente se dobla alejándose de la normal.



Cuando el ángulo llega a cierto máximo, se reflejará internamente.

El **ángulo crítico** θ_c es el ángulo límite de incidencia en un medio más denso que resulta en un ángulo de refracción igual a 90° .

Ejemplo 5. Encuentre el ángulo de incidencia crítico de agua a aire.

Para ángulo crítico, $\theta_A = 90^\circ$

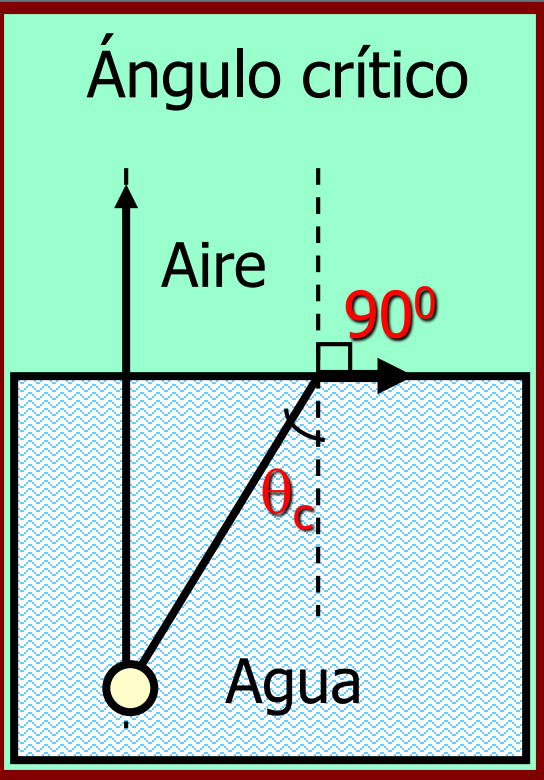
$$n_A = 1.0; \quad n_W = 1.33$$

$$n_W \sin \theta_C = n_A \sin \theta_A$$

$$\sin \theta_C = \frac{n_A \sin 90^\circ}{n_W} = \frac{(1)(1)}{1.33}$$

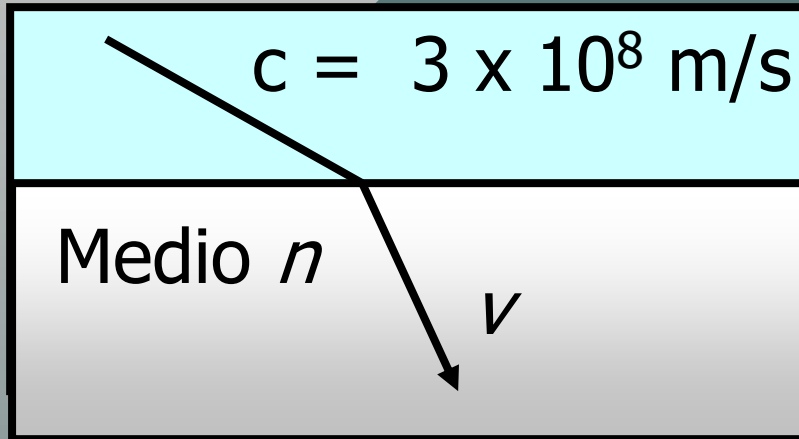
Ángulo crítico: $\theta_C = 48.8^\circ$

En general, para medios donde $n_1 > n_2$ se tiene que:



$$\sin \theta_C = \frac{n_1}{n_2}$$

Resumen



Índice de refracción

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

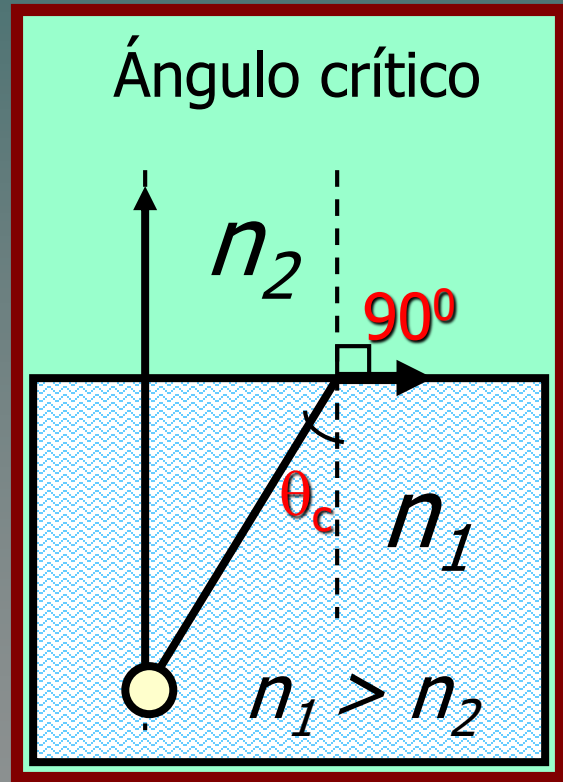
El índice de refracción, la velocidad y la longitud de onda afectan la refracción. En general:

Ley de Snell:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Resumen (Cont.)

El **ángulo crítico** θ_c es el ángulo de incidencia límite en un medio más denso que resulta en un ángulo de refracción igual a 90° .



En general, para medios donde $n_1 > n_2$ se tiene que:

$$\text{sen } \theta_c = \frac{n_1}{n_2}$$

CONCLUSIÓN: Capítulo 35 Refracción

