LUZ Y LUMINOTECNIA

Temario

Naturaleza de la luz.
Propagación de la luz.
Espectro electromagnético.
Rayos de luz y sombras.
Flujo luminoso.
Intensidad luminosa
Iluminancia.

Las leyes de la reflexión
Espejos planos
Índice de refracción.
Las leyes de la refracción

¿Qué es la Luz?

Definición de luz: Es radiación electromagnética capaz de afectar y estimular el sentido de la vista.
Rango energético: El contenido de energía de la luz visible varía desde aproximadamente 2.8×10^{-1} J hasta casi 5.0×10^{-19} J.
Naturaleza básica: Es similar a otros tipos de radiación electromagnética (como las ondas de radio, el calor o la radiación ultravioleta); lo que la distingue de ellas es su contenido de energía y capacidad de ser percibida por el ojo.

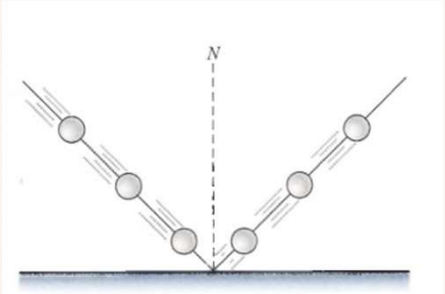


Figura 33.4 Explicación de la reflexión en términos de la teoría corpuscular de la luz.

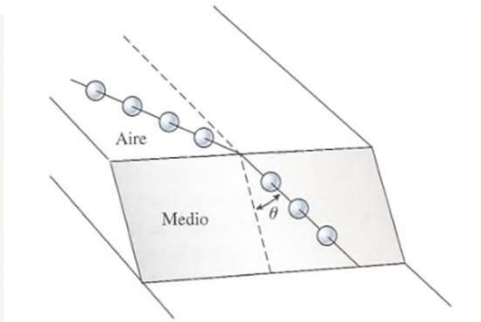
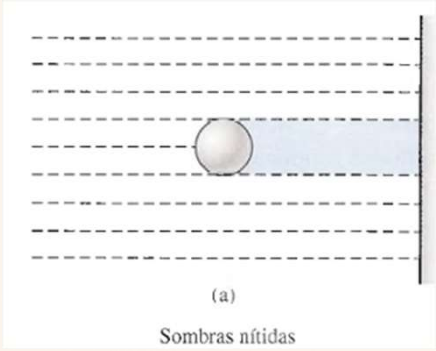


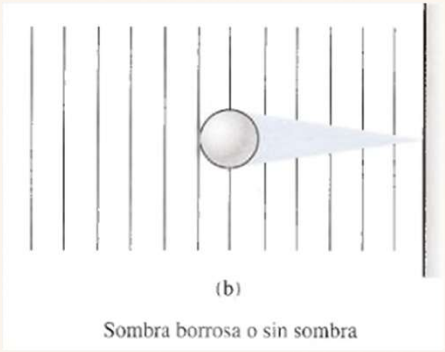
Figura 33.5 La refracción de la luz cuando pasa del aire a otro medio explicada por medio de un ejemplo mecánico.

Propiedades de la Luz

- Para explicar la naturaleza de la luz, las teorías históricas buscaron justificar tres características principales observadas:
- **Propagación rectilínea:** La luz viaja en línea recta.
- **Reflexión:** Al incidir sobre una superficie lisa, regresa a su medio original.
- **Refracción:** Su trayectoria cambia al penetrar en un medio transparente distinto.

Las Dos Teorías Históricas





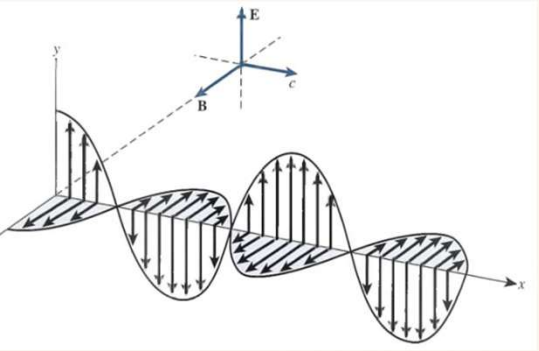
Teoría Corpuscular (de Partículas):

- **Principal defensor:** Sir Isaac Newton.
- **Postulado:** Las fuentes luminosas emiten partículas muy pequeñas y de masa insignificante que viajan en línea recta a gran velocidad.
- **Argumento a favor:** Explicaba de manera sencilla la propagación rectilínea y la formación de **sombras nítidas** (argumentando que las ondas se doblarían alrededor de los bordes).

Teoría Ondulatoria:

- **Principal defensor:** Christian Huygens.
- **Postulado:** La luz consiste en la propagación de una perturbación a través del espacio en forma de ondas.
- **Argumento a favor:** Explicaba por qué varios haces de luz pueden cruzarse sin chocar ni estorbarse entre sí. Justificaba las sombras nítidas señalando que la longitud de onda de la luz es extremadamente corta, lo que hace casi imperceptible su flexión (difracción).

Propagación de la luz



- Naturaleza Ondulatoria y el "Éter":

El descubrimiento de la **interferencia** y la **difracción** consolidó la teoría ondulatoria de Huygens.

Para explicar cómo viaja la luz en el vacío desde las estrellas, se postuló la existencia del *éter transportador de luz*, un medio hipotético que llenaba todo el espacio.

- Teoría Electromagnética de Maxwell (1865):

James Clerk Maxwell demostró que las cargas aceleradas irradian **ondas electromagnéticas**.

La luz se propaga mediante **campos eléctricos (E) y magnéticos (B) oscilatorios e interdependientes**, perpendiculares entre sí y transversales a la dirección de propagación.

La energía se divide en partes iguales entre ambos campos y **no requiere un medio material** para viajar.

- Confirmación Experimental y la Rapidez de la Luz:

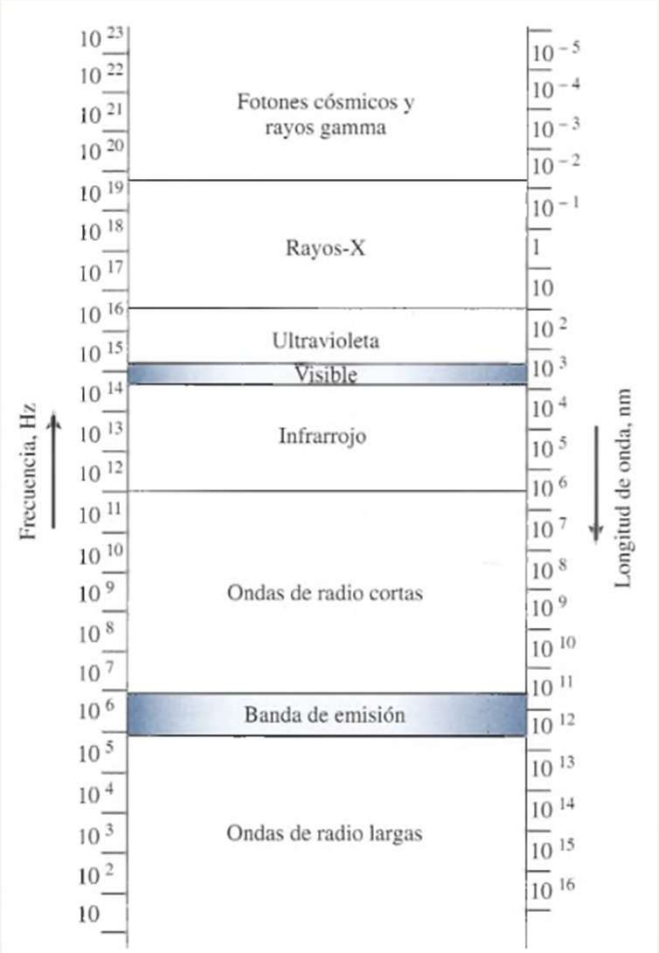
H. Hertz (1885): Confirmó experimentalmente la teoría de Maxwell al producir y detectar ondas electromagnéticas a distintas frecuencias.

A. A. Michelson (1887): Demostró que la rapidez de la luz es constante e independiente del movimiento de la fuente o la Tierra, desechando definitivamente el concepto de *éter* en favor del espacio vacío.

- **Ecuación de la velocidad (c):** Maxwell relacionó la rapidez de la luz con la permeabilidad (μ_0) y permitividad (ϵ_0) del espacio libre:

- $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2.99792458 \times 10^8$ m/s $\approx 3 \times 10^8$ m/s

Espectro electromagnético



- **Relación Fundamental:**

La velocidad (c), la frecuencia (f) y la longitud de onda (λ) de la radiación electromagnética se relacionan mediante la ecuación:

$$c = f\lambda \quad (c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

- **Región Visible:**

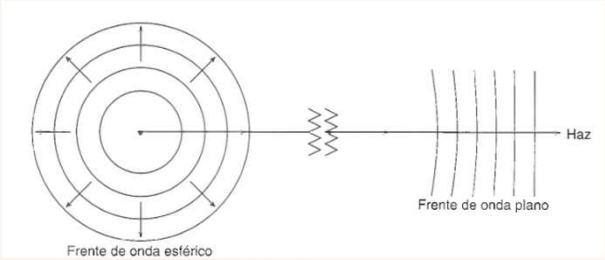
Es una porción minúscula del espectro que estimula el ojo humano, extendiéndose desde los **400 nm** (luz violeta) hasta los **700 nm** (luz roja).

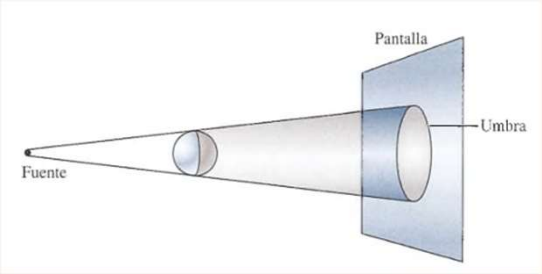
- **Unidad de medida:** Nanómetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$).
- **Colores espectrales (de menor a mayor λ):** Violeta (450 nm), azul (480 nm), verde (520 nm), amarillo (580 nm), anaranjado (600 nm) y rojo (640 nm).

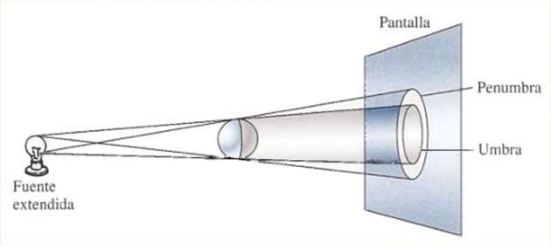
- **Regiones del Espectro (Continuo y Sin Fronteras Rígidas):**

El espectro electromagnético se divide convenientemente en 8 regiones principales (figura)

Rayos de luz y sombras







Propagación Rectilínea y Rayos de Luz:

La luz emitida por una fuente viaja en frentes de onda esféricos que, a distancias grandes, se comportan como frentes de onda planos.

Rayo de luz: Línea recta imaginaria trazada perpendicularmente a los frentes de onda que indica la dirección en la que se propaga la luz.

Formación de Sombras:

Ocurre cuando un cuerpo **opaco** (que absorbe o refleja la luz sin transmitirla) se interpone en la trayectoria recta de los rayos luminosos.

Tipos de Fuentes y Regiones de Sombra:

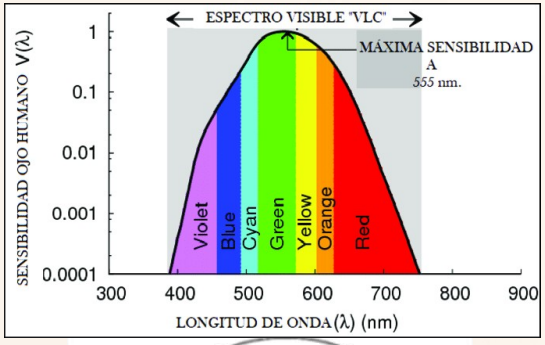
- Fuente puntual de luz: Produce una sombra bien definida de contornos nítidos llamada **umbra** (región donde no penetra nada de luz).
- Fuente extendida de luz: Genera una sombra compuesta por dos regiones:

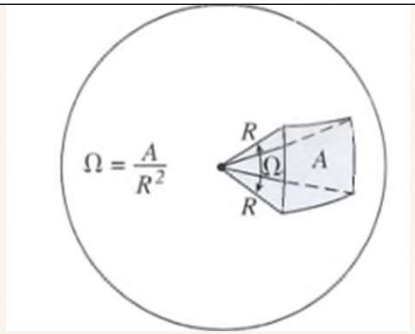
Umbra (sombra total): Zona central donde no llega luz de ninguna parte de la fuente.

Penumbra (sombra parcial): Zona exterior iluminada parcialmente, desde la cual un observador puede ver solo una parte de la fuente luminosa.

Flujo luminoso







Potencia Radiante vs. Flujo Luminoso:

Potencia (o flujo) radiante: Toda la energía electromagnética emitida por una fuente por unidad de tiempo.

Flujo luminoso (F): Parte de la potencia radiante total emitida en la región visible (400 nm a 700 nm) que es capaz de estimular el sentido de la vista. En una lámpara incandescente común, solo cerca del 10%de la energía es flujo luminoso.

Sensibilidad del Ojo Humano:

El ojo no percibe todos los colores con la misma brillantez para una misma potencia radiante.

La curva de sensibilidad visual tiene forma de campana y alcanza su **máximo a** 555 nm(luz verde-amarilla).

Ángulo Sólido y Estereorradián (Ω):

Estereorradián (sr**):** Ángulo sólido obtenido en el centro de una esfera de radio R por un área de superficie A. Una esfera completa contiene 4π sr.

Unidad de Medida — El Lumen (lm**):**

El watt (W) no es adecuado para medir la brillantez porque la respuesta del ojo cambia según la longitud de onda.

Lumen (lm**):** Unidad que mide la percepción de flujo luminoso. Equivalencia estándar: 1 lm **equivale a** $1/680$ Wde luz verde-amarilla de 555 nm.

Intensidad luminosa



Definición:
Para fuentes puntuales, el flujo luminoso emitido dentro de un ángulo sólido específico (Ω) se mantiene constante sin importar la distancia.
La **intensidad luminosa (I)** mide la concentración del flujo luminoso (F) emitido por unidad de ángulo sólido (Ω):

$$I = \frac{F}{\Omega}$$

Unidad de Medida — La Candela (cd):
Se expresa en **lúmenes por estereorradián (**lm/sr**)**, unidad denominada **candela (**cd**)**.

Nota dimensional: Dado que el estereorradián es adimensional, las unidades de flujo (lm) e intensidad (cd) son equivalentes desde el punto de vista de las dimensiones físicas.

Fuentes Isotrópicas vs. Direccionales:

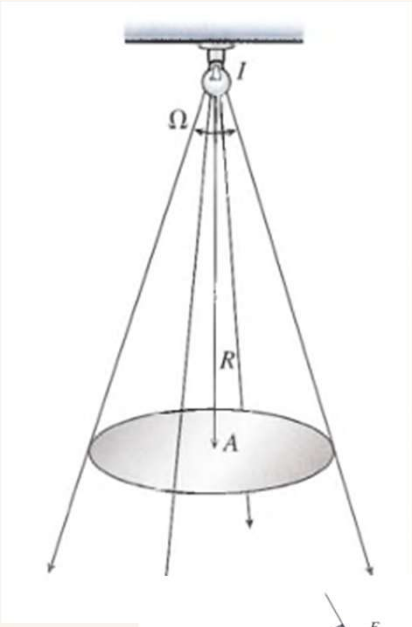
- **Fuente isotrópica:** Emite luz de manera uniforme en todas las direcciones (4π sr).

  Ecuación de flujo total para fuentes isotrópicas:

  $$F = 4\pi I$$

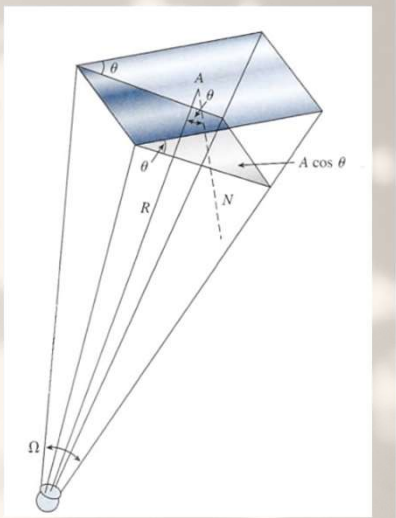
- **Fuentes direccionales (reflectores y proyectores):** Concentran el flujo total en un ángulo sólido reducido, logrando valores de intensidad luminosa significativamente más elevados en una dirección específica.

Iluminación



Definición de Iluminación (E):
Es la densidad de flujo luminoso que recibe una superficie; se define como el flujo luminoso (F) por unidad de área (A):

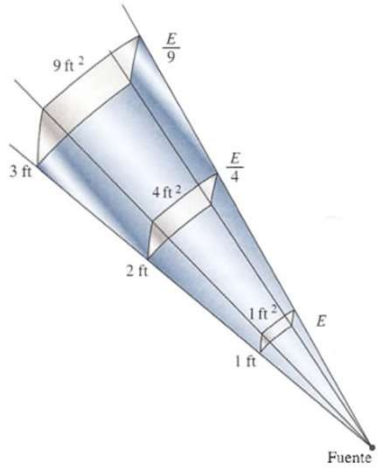
$$E = \frac{F}{A}$$



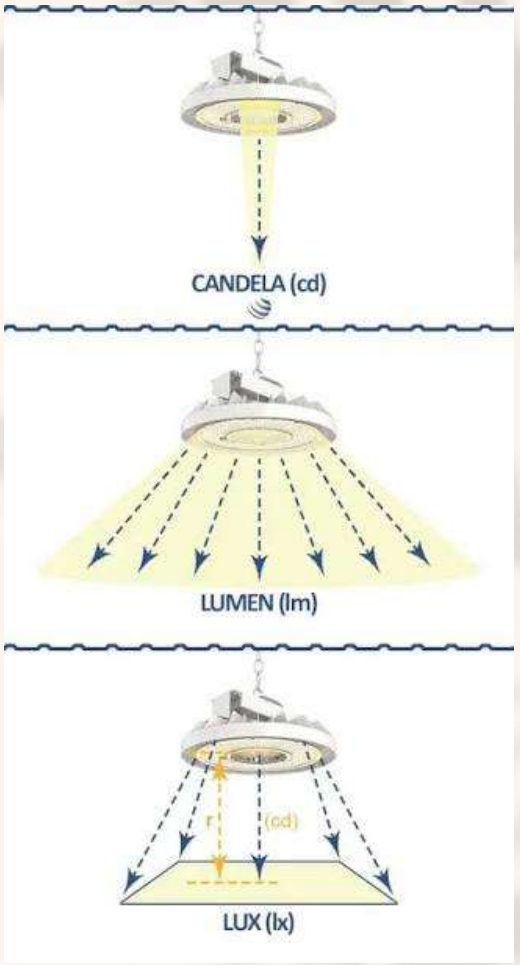
Unidades de medida:
Lux (lx): Lúmenes por metro cuadrado (lm/m^2).
Pie-candela: Lúmenes por pie cuadrado (lm/ft^2).
Relación con la Intensidad e Inclinación de la Superficie:
Si la luz incide formando un ángulo θ con la normal a la superficie, la iluminación depende de la componente efectiva del área proyectada ($A \cos \theta$):

$$E = \frac{I \cos \theta}{R^2}$$

Superficie perpendicular ($\theta = 0°$): Se simplifica a $E = \frac{I}{R^2}$.



Ley del Recíproco del Cuadrado:
La iluminación que recibe una superficie es **directamente proporcional** a la intensidad luminosa (I) de la fuente puntual e **inversamente proporcional al cuadrado de la distancia** (R^2).
Efecto de la distancia: Si la distancia entre la fuente y la superficie se duplica, la iluminación se reduce a la cuarta parte ($\frac{E}{4}$); si se triplica, se reduce a la novena parte ($\frac{E}{9}$).


CANDELA (cd)
LUMEN (lm)
r
(cd)
LUX (lx)

Ejemplo: Iluminancia en un plano de trabajo (Ley del inverso del cuadrado)

Se diseña la iluminación cenital o puntual sobre una mesa de dibujo en un taller.

Una lámpara colgante con una intensidad luminosa isotrópica de 300 cd se encuentra ubicada a una altura de 2.5 m exactamente sobre el centro de una mesa de trabajo horizontal. Calcule la iluminancia (E) recibida en ese punto de la superficie.

Desarrollo y fórmula: Utilizando la ley de la iluminancia para una superficie perpendicular ($\theta = 0°$):

$$E = \frac{I}{R^2}$$

Sustituyendo los valores:

$$E = \frac{300 \text{ cd}}{(2.5 \text{ m})^2} = \frac{300}{6.25} = 48 \text{ lx}$$

Resultado: La iluminancia sobre la mesa es de 48 luxes.

Ejemplo: Variación de la iluminación al modificar la altura de una luminaria

Al replantear la altura de suspensión de proyectores en un espacio de doble altura.

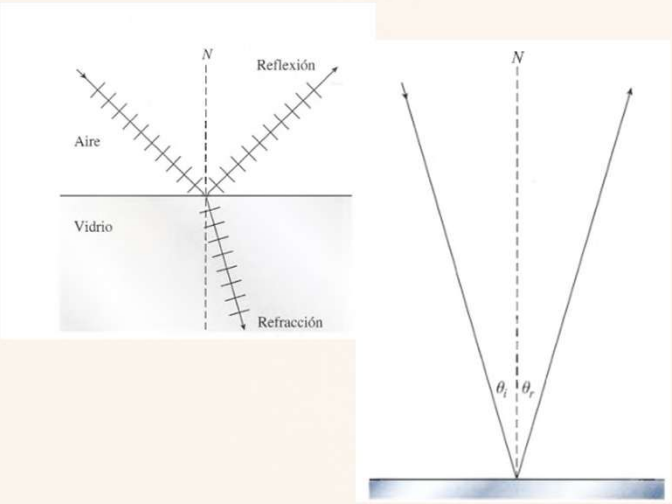
Si en un proyecto se decide elevar una luminaria pasando de una altura de 2 m a 4 m sobre el plano de estudio, ¿cómo se ve afectada la iluminación que recibe el plano horizontal de trabajo?

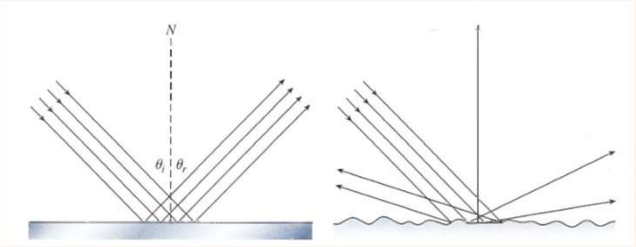
Desarrollo y fórmula: Por la ley del recíproco del cuadrado, la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia ($E \propto \frac{1}{R^2}$). Al duplicar la distancia (R pasa a $2R$):

$$E_{nueva} = \frac{I}{(2R)^2} = \frac{I}{4R^2} = \frac{E_{original}}{4}$$

Resultado: La iluminancia se reduce a la **cuarta parte** del valor original debido a la duplicación de la distancia.

Las leyes de la reflexión





Comportamiento en la Frontera entre Medios:
Al incidir sobre la frontera de dos medios (ej. aire-vidrio), la luz puede experimentar tres fenómenos: **reflexión** (regresa al medio original), **refracción** (penetra cambiando de dirección) y **absorción**.

Leyes Fundamentales de la Reflexión:

Igualdad de ángulos: El ángulo de incidencia (θ_i) es igual al ángulo de reflexión (θ_r). Ambos ángulos se miden con respecto a la línea **normal** (N) perpendicular a la superficie.

$$\theta_i = \theta_r$$

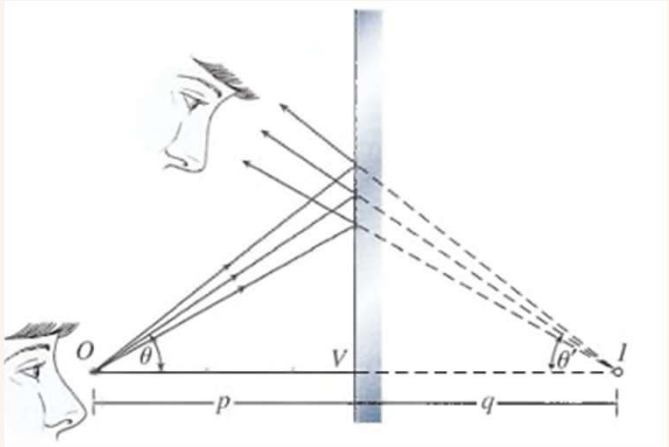
Coplanaridad: El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.

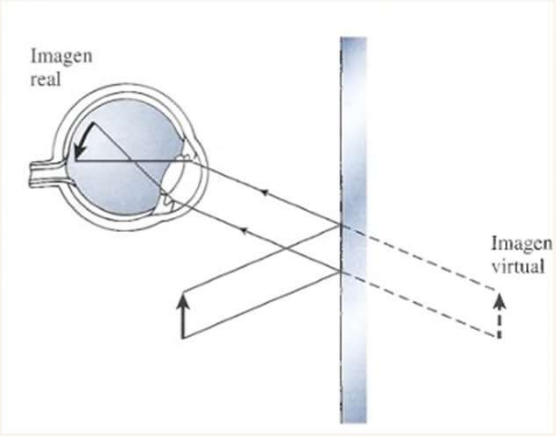
Tipos de Reflexión:

Reflexión Especular (o Regular): Ocurre sobre superficies muy pulidas o lisas (como un espejo o vidrio). Todos los rayos paralelos se reflejan en la misma dirección; no permite ver la superficie en sí, sino las imágenes proyectadas.

Reflexión Difusa: Se produce sobre superficies irregulares o ásperas (como un ladrillo, hormigón o papel). Dispersa la luz incidente en múltiples direcciones, permitiendo percibir e iluminar la superficie que observamos.

Espejos planos





Definición de Espejo:
Es una superficie altamente pulida que genera imágenes claras debido a la **reflexión especular** de la luz.
Propiedades de las Imágenes en Espejos Planos:
Distancia de la imagen: La imagen parece ubicarse detrás del espejo a una distancia (q) exactamente igual a la distancia (p) del objeto real delante de él:

$$p = q$$

Tamaño y Forma: La imagen conserve exactamente las mismas dimensiones y la misma forma que el objeto original.
Inversión Lateral: Las imágenes presentan una inversión de orientación izquierda-derecha (inversión lateral).
Tipos de Imágenes: Virtuales vs. Reales:
Imagen Virtual: Es aquella que aparenta formarse detrás del espejo por la prolongación de los rayos reflejados, pero **no es atravesada por rayos de luz reales**. No se puede proyectar sobre una pantalla.
Imagen Real: Es la formada por la convergencia directa de **rayos de luz reales** que la atraviesan; este tipo de imagen sí se puede proyectar sobre una pantalla.
Percepción: Los espejos planos siempre forman imágenes virtuales. El ojo y el cerebro las perciben enfocado y procesando la luz divergente reflejada como si proviniera en línea recta desde un punto detrás del espejo

Índice de Refracción

Índice de refracción de la luz amarilla, con longitud de onda de 589 nm

Sustancia	n
Agua	1.33
Alcohol etílico	1.36
Benceno	1.50
Circón	1.92
Cuarzo	1.54
Diamante	2.42
Disulfuro de carbono	1.63

Fenómeno de la Refracción:
Cuando un rayo de luz incide oblicuamente sobre la frontera entre dos medios transparentes de distinta densidad óptica, la luz cambia de dirección debido a una variación en su velocidad de propagación.
Definición del Índice de Refracción Absoluto (n):
Es una propiedad adimensional de un medio transparente que mide la razón entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz en dicho medio (v):

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

Dado que la velocidad de la luz en cualquier medio material es siempre menor que en el vacío ($v < c$), el valor del índice de refracción es siempre mayor o igual a 1 ($n \geq 1$).
Relación con la Longitud de Onda y Frecuencia:
Cuando la luz pasa de un medio a otro, la frecuencia (f) permanece constante (depende únicamente de la fuente).
Por lo tanto, el cambio de velocidad provoca una variación proporcional en la longitud de onda (λ):

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0 f}{\lambda f} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

(donde λ_0 es la longitud de onda en el vacío y λ en el medio material).
Valores Típicos del Índice de Refracción (n):

Ejemplo: Velocidad de propagación en elementos vidriados (Índice de refracción)

Análisis del comportamiento de la luz natural al atravesar paños vidriados o lucernarios.

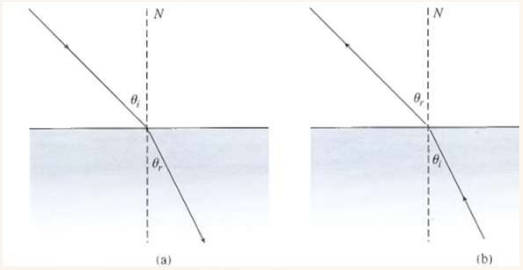
Sabiendo que la velocidad de la luz en el vidrio común es menor que en el vacío, determine a qué velocidad (v) viaja la luz a través de un vidrio crown, cuyo índice de refracción absoluto según la presentación es $n = 1.52$. (Considere la velocidad de la luz en el vacío como $c = 3 \times 10^8$ m/s).

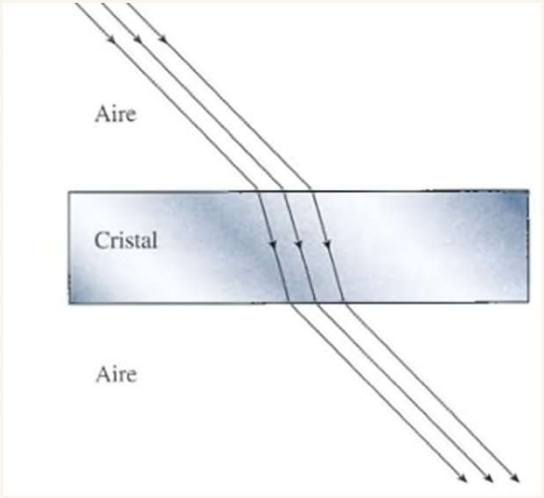
Desarrollo y fórmula: A partir de la definición del índice de refracción $n = \frac{c}{v}$, despejamos la velocidad en el medio (v):

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.52} \approx 1.97 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Resultado: La luz reduce su velocidad a aproximadamente 1.97×10^8 m/sdentro del vidrio crown.

Las leyes de la refracción





Definición de Ángulos:

Ángulo de incidencia (θ_1): El ángulo formado entre el rayo incidente y la **normal** a la interfaz de separación de los dos medios.

Ángulo de refracción (θ_2): El ángulo formado entre el rayo refractado y la **normal**.

Leyes de la Refracción:

Primera ley (Coplanaridad): El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia se encuentran todos en el **mismo plano**.

Segunda ley (Ley de Snell): La razón del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción es constante e igual a la razón de las velocidades de la luz en los dos medios o a la razón inversa de sus índices de refracción:

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

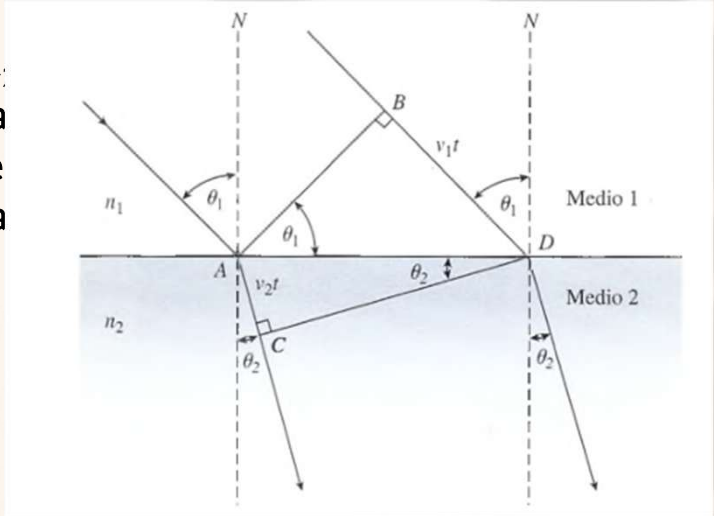
Ecuación General de la Ley de Snell:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

Comportamiento según los Medios:

Hacia un medio más denso ópticamente (n
($v_2 < v_1$), por lo que el rayo refractado **se a**

Hacia un medio menos denso ópticamente
($v_2 > v_1$), por lo que el rayo refractado **se a**



Ejemplo: Desviación de la luz al atravesar un material transparente (Ley de Snell)

Diseño de lucernarios inclinados o elementos de espesor vidriado donde la luz incide de forma oblicua.

Un rayo de luz incide desde el aire ($n_1 = 1.0$) sobre la superficie plana de un bloque de cuarzo ($n_2 = 1.54$) formando un ángulo de incidencia $\theta_1 = 35°$ con la línea normal. Calcule el ángulo de refracción θ_2 dentro del cuarzo (dado que $\sin(35°) \approx 0.5736$).

Desarrollo y fórmula: Aplicando la Ley de Snell ($n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$):

$$1.0 \times \sin(35°) = 1.54 \times \sin(\theta_2)$$

$$0.5736 = 1.54 \times \sin(\theta_2) \Longrightarrow \sin(\theta_2) = \frac{0.5736}{1.54} \approx 0.3725$$

$$\theta_2 = \arcsin(0.3725) \approx 21.87°$$

Resultado: El rayo refractado se acerca a la normal formando un ángulo de $21.87°$ dentro del cuarzo.