

---

**FÍSICA**  
2º Bachillerato  
Óptica Física

**Prof. Jorge Rojo Carrascosa**

---

# Índice general

<b>1. ÓPTICA FÍSICA</b>	<b>2</b>
1.1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS . . . . .	2
1.1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO . . . . .	3
1.2. FENÓMENOS LUMINOSOS . . . . .	5
1.2.1. REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN. LEYES DE SNELL . . . . .	5
1.2.1.1. REFLEXIÓN TOTAL . . . . .	7
1.2.1.2. LAMINA DE CARAS PLANO-PARALELAS . . . . .	7
1.2.1.3. PRISMA ÓPTICO . . . . .	8
1.2.2. DIFRACCIÓN . . . . .	9
1.2.3. INTERFERENCIAS . . . . .	9
1.2.4. POLARIZACIÓN . . . . .	10
1.2.5. FENOMENOS NATURALES . . . . .	11
1.2.5.1. DISPERSIÓN . . . . .	11
1.2.5.2. ESPEJISMOS . . . . .	11
1.2.5.3. EL ARCO IRIS . . . . .	12
1.3. PROBLEMAS RESUELTOS . . . . .	13

# Capítulo 1

## ÓPTICA FÍSICA

La óptica presenta tres áreas de estudios bien diferenciadas; la **óptica física** estudia el rayo de una onda electromagnética desde un punto de vista ondulatorio, es decir, investiga los fenómenos de la luz bajo el paraguas del modelo ondulatorio, la **óptica cuántica** analiza la interacción de la luz con la materia utilizando para ello la teoría cuántica, y la **óptica geométrica**, examina la propagación rectilínea del rayo luz desde parámetros geométricos.

Así pues, estudiado anteriormente el movimiento ondulatorio y el campo electromagnético, nos centramos en esta unidad en las ondas electromagnéticas, predichas por Maxwell en su síntesis óptico-electromagnética y en la que consideró que la luz era una onda de este tipo. Cuando en esta unidad hablamos de luz, no sólo nos referimos a la luz visible, sino a todo el espectro de ondas electromagnéticas, rayos X, microondas, ultravioleta,...

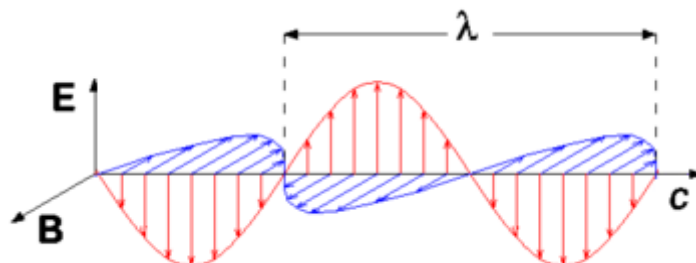
### 1.1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

En anteriores capítulos ya hemos visto que una **onda electromagnética** es una perturbación generada por una carga eléctrica oscilante que irradia energía al medio gracias a un campo eléctrico y magnético generados mutuamente.

Debido al movimiento de una partícula cargada, se produce en el espacio un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación de la onda. Las ecuaciones de los campos eléctricos y magnéticos son las de una onda electromagnética, donde ambos se encuentran en fase y por lo tanto, alcanzan simultáneamente sus valores máximo y mínimo:

$$\vec{E}(x, t) = E_0 \sin(\omega t - kx + \varphi) \vec{j} \quad \vec{B}(x, t) = B_0 \sin(\omega t - kx + \varphi) \vec{k}$$

Donde hemos tomado la dirección de propagación de la onda en el eje 0X y en el que los componentes de la onda que vimos en la unidad del movimiento ondulatorio tienen aquí, el mismo significado y las mismas ecuaciones.



La onda electromagnética es una onda transversal que no necesita un medio para propagarse y que por tanto, se propaga en el vacío como en medios materiales. Maxwell dedujo que la velocidad de propagación de la onda en el vacío se relaciona con las amplitudes de ambos campos y por tanto, se puede precisar mediante dos características físicas del medio, la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética (en nuestro caso, del vacío):

$$v = \frac{E_0}{B_0} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \nu_0}} = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Cuando la luz atraviesa un medio material, su velocidad es menor que en el vacío y se utiliza una magnitud adimensional que relaciona ambas velocidades, el **índice de refracción**:

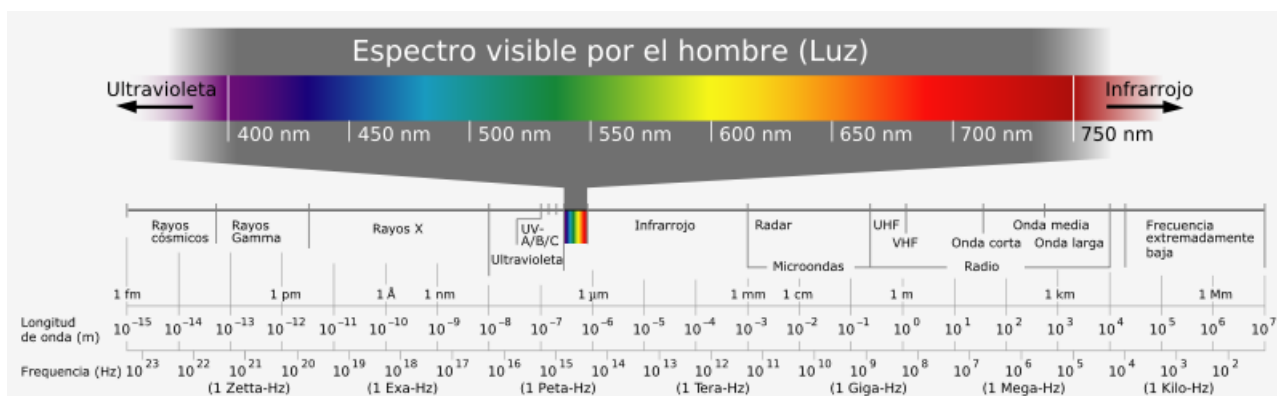
$$n = \frac{c}{v}$$

En el caso del aire, el índice de refracción vale la unidad, en cualquier otro medio este valor es mayor a la unidad puesto la velocidad de avance de la onda,  $v$ , es menor a la velocidad de la luz en el vacío,  $c$ .

### 1.1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Con este nombre se representa todo el conjunto de ondas electromagnéticas clasificadas por orden creciente o decreciente de energía o frecuencia. Dado el carácter inverso entre la frecuencia y la longitud de onda, cuanto mayor es la frecuencia menor es la longitud de onda y viceversa. Ambas se encuentran relacionadas con la velocidad de propagación de la onda, es decir, con la velocidad de la luz.

$$c = \lambda \cdot \nu$$



Las aplicaciones de cada región son inmensas:

- **ONDAS DE RADIO:** Se generan mediante un circuito eléctrico oscilante de corriente alterna. Tienen una longitud de onda muy grande y se emplean en radio, televisión, GPS,...
- **MICROONDAS:** Son producidos por dispositivos electrónicos o por vibraciones de moléculas. Se emplean en investigación atómica y molecular, radioastronomía, radares, microondas,...
- **INFRAROJO:** Radiación emitida por los cuerpos calientes como consecuencia de vibraciones y rotaciones de sus moléculas y átomos. Se utilizan en distintas ramas de la ciencia como medicina o espectroscopia, también se emplean en mandos a distancia de televisores, garajes, apertura de puertas,...
- **LUZ VISIBLE:** Es un rango muy pequeño del espectro electromagnético pero el más importante y de más sensibilidad para el ser humano. Sus ondas electromagnéticas, de longitudes de onda comprendidas entre 4000 y 7400 Å, son las únicas de todo el espectro que las percibe nuestra retina. Se producen gracias a la cuantificación de la materia; cuando un electrón salta de un nivel atómico o molecular a otro de menor energía, se produce la emisión de un fotón de frecuencia comprendida entre 400 a 790 THz, el cual es percibido por nuestra visión.
- **ULTRAVIOLETA:** Con longitudes de onda comprendidas entre 30 y 4000 Å. Se consideran tres regiones UV-A, UV-B y UV-C según va aumentando su energía. Los primeros nos permiten broncearnos, los segundos, más energéticos, pueden producir cáncer de piel, y por último, los UV-C, de bastante energía pero absorbidos por la capa de ozono. Se producen por saltos electrónicos en átomos o moléculas excitadas.

- **RAYOS X**: Descubiertos por Roentgen a finales del siglo XIX propiciaron un avance enorme en medicina. Se producen por oscilaciones de electrones de capas internas con longitudes de onda del orden de angstroms. Se utilizan en la industria y por supuesto, en medicina.
- **RAYOS GAMMA**: Son consecuencia de reacciones nucleares o de fenómenos radiactivos. Su longitud de onda es del orden 10 femtómetros (nucleos atómicos) y son extremadamente peligrosos para cualquier ser vivo. Su utilizan en radioterapia.

Las *radiaciones ionizantes* pertenecen al rango de Rayos X y gamma pero que además llevan partículas emitidas por desintegración de núcleos. Se pueden utilizar en medicina, en la industria y en la investigación científica.

Por otro lado, los *rayos cósmicos* son partículas de alta energía que continuamente llegan a la Tierra. Se originan en supernovas u agujeros negros.

## 1.2. FENÓMENOS LUMINOSOS

Algunos de estos fenómenos los hemos estudiado en la anterior unidad de manera cualitativa; ahora, vamos a profundizar más cuantitativamente en alguno de ellos.

### 1.2.1. REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN. LEYES DE SNELL

Normalmente, estos dos fenómenos ocurren a la vez cuando la luz incide sobre una superficie que separa dos medios de diferente índice de refracción. Ambos procesos fueron estudiados por Snell y se conocen como **Leyes de Snell de la reflexión y la refracción**.

- **REFLEXIÓN**: Se define como el cambio de dirección dentro del mismo medio que experimentan el rayo luminoso al incidir sobre una superficie de separación entre dos medios de distinto índice de refracción. Las propiedades de la reflexión son las siguientes:
  - El rayo incidente, la normal a la superficie de separación y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano.
  - El ángulo de incidencia ( $\hat{i}$ ) y el de reflexión ( $\hat{r}$ ) son iguales.

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

Cuando todos los rayos de la luz son reflejados paralelamente entre sí se habla de **reflexión especular**, cuando los rayos reflejados se propagan en todas las direcciones tenemos la **reflexión difusa**. La primera se da en superficies muy pulidas y la segunda en superficies que presentan irregularidades.

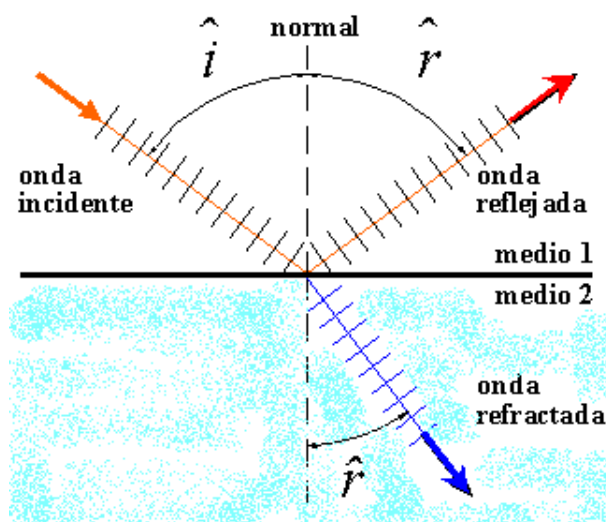
- **REFRACCIÓN**: Es el cambio de dirección de propagación y en el valor de la velocidad que se produce cuando un rayo luminoso atraviesa la superficie de separación de dos medios distintos. Sus propiedades son:

- El rayo incidente, la normal a la superficie de separación y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.
- La relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción es constante e igual a la relación que existe entre las velocidades de propagación de la onda en los dos medios.

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2}$$

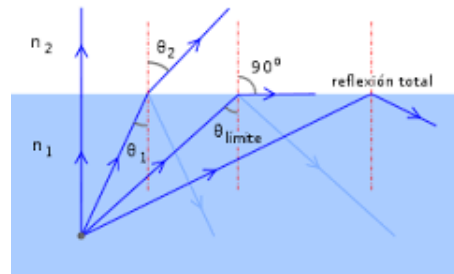
$$n_1 \sin \hat{i} = n_2 \sin \hat{r}$$

- Cuando el segundo medio es más refringente que el primero, el rayo refractado se acerca a la normal.
- Si el segundo medio es menos refringente que el primero, el rayo refractado se aleja de la normal.



### 1.2.1.1. REFLEXIÓN TOTAL

Si analizamos la expresión de Snell para la refracción podemos observar que existe un ángulo de refracción máximo cuando el rayo pasa de un medio más refringente a otro. Es decir, el rayo refractado se aleja de la normal con un ángulo de  $90^\circ$ , cuando ocurre este fenómeno el ángulo de incidencia se conoce como **ángulo límite**,  $\alpha_L$ .



$$n_i \sin \alpha_L = n_r \Rightarrow \sin \alpha_L = \frac{n_2}{n_1}$$

A partir del ángulo límite o de ángulos de incidencia mayores a él, no existe refracción, de modo que el rayo no pasa al segundo medio y se produce **reflexión total**.

La **fibra óptica** se basa en este concepto para propagarse. La fibra óptica consiste en un núcleo central de cristal rodeado de una capa de plástico cuyo índice de refracción es menor, de esta forma se consigue reflexión total al reflejarse contra las paredes en ángulos muy grandes. La fibra óptica no sólo se utiliza en transmisión de información, también se utiliza en *endoscopios* para visualizar zonas internas del cuerpo o incluso para realizar operaciones quirúrgicas mediante *laparoscopia*.

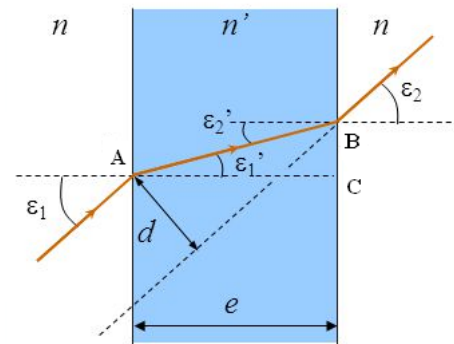
### 1.2.1.2. LAMINA DE CARAS PLANO-PARALELAS

Cuando un rayo de luz incide sobre una lámina transparente de caras plano paralelas se produce una refracción en cada una de las caras. Como podemos observar en la figura, al atravesarla, el rayo no cambia de dirección pero sí sufre un desplazamiento. Aplicando los principios de refracción, nos encontramos con,

$$n \sin \epsilon_1 = n' \sin \epsilon'_1 \quad n' \sin \epsilon'_2 = n \sin \epsilon_2$$

Al ser  $\epsilon'_1 = \epsilon'_2$  y recalculando,

$$n \sin \epsilon_1 = n \sin \epsilon_2 \Rightarrow \boxed{\epsilon_1 = \epsilon_2}$$



Ahora bien, el **desplazamiento lateral** ( $d$  o  $\delta$ ) entre el rayo incidente y el refractado



viene dado por la diferencia entre las distancias de ambos rayos,

$$d = AB \sin(\epsilon_2 - \epsilon'_2) = \frac{e \sin(\epsilon_2 - \epsilon'_2)}{\cos \epsilon'_1} = \frac{e \sin(\epsilon_2 - \epsilon'_2)}{\cos \epsilon'_1}$$

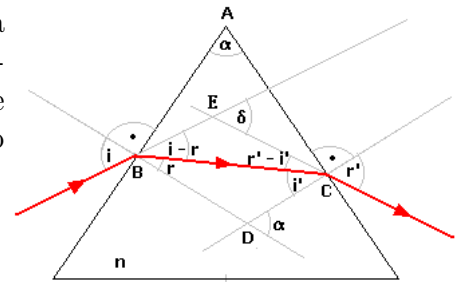
Donde hemos tenido en cuenta que la distancia  $AB$  del triángulo  $ABC$  viene dado por  $AB = \frac{e}{\cos \epsilon'_1}$ , siendo  $e$  el espesor de la lámina.

### 1.2.1.3. PRISMA ÓPTICO

Un prisma óptico es todo medio transparente limitado por dos superficies planas no paralelas que forman un ángulo  $\alpha$  denominado ángulo del prisma.

De nuevo tenemos que aplicar las leyes de Snell para conocer la desviación entre el rayo incidente y el refractado. Simplificando, consideramos que el prisma se encuentra inmerso en el aire y que tiene un índice de refracción  $n$ .

Mediante la ley de la refracción obtenemos el ángulo de refracción en la primera cara,  $\hat{r}$ . Sin embargo, para hallar el ángulo de incidencia sobre la segunda cara recurrimos al triángulo  $BDC$  formado por las normales de las dos caras del prisma y la trayectoria del rayo dentro del mismo.



$$\hat{r} + \hat{i}' + (180^\circ - \alpha) = 180^\circ \Rightarrow \hat{i}' = \alpha - \hat{r}$$

Conociendo  $\hat{i}'$  y aplicando de nuevo la ley de Snell para la segunda cara obtenemos el valor del ángulo del rayo emergente,  $\hat{r}'$ . Por último, para conocer el valor de la desviación  $\delta$  entre los dos rayos, tomamos el triángulo  $BEC$  formado por las prolongaciones de los rayos incidente y emergente. Siendo su suma  $180^\circ$  tenemos,

$$\hat{i} - \hat{r} + \hat{r}' - \hat{i}' + (180^\circ - \delta) = 180^\circ \Rightarrow \delta = \hat{i} - \hat{r} + \hat{r}' - \hat{i}'$$

Sustituyendo el valor de  $\hat{i}'$  encontrado anteriormente, obtenemos el valor para el desplazamiento:

$$\delta = \hat{i} + \hat{r}' - \alpha$$

El **ángulo de desviación mínimo** ocurre cuando la trayectoria del rayo luminoso es paralela a la base del prisma. En este caso,

$$\hat{i} = \hat{r}' ; \hat{r} = \hat{i}' \Rightarrow \delta_m = 2\hat{i} - \alpha$$

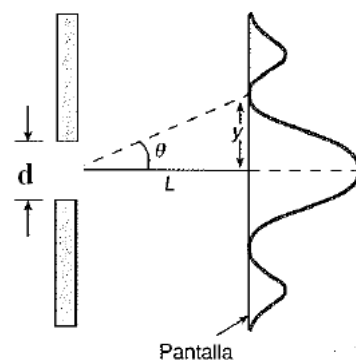
### 1.2.2. DIFRACCIÓN

La difracción hace referencia a la capacidad que tienen las ondas para sortear o doblar obstáculos. Es decir, la desviación que sufre la onda cuando en la propagación de ésta nos encontramos con un obstáculo.

La difracción fue descubierta por Grimaldi en 1665 y es más evidente cuando la longitud de onda de la luz y el tamaño del obstáculo sean del mismo orden.

La explicación a este fenómeno involucra el principio de Huygens y por tanto, la generación de nuevos frentes de onda gracias a que los puntos del frente de onda anterior son focos del nuevo.

Este fenómeno está íntimamente ligado con la interferencia, las figuras de difracción muestran anillos claros y oscuros al igual que las interferencias.



### 1.2.3. INTERFERENCIAS

La interferencia ocurre cuando se superponen dos ondas en un mismo punto o zona concreta del espacio. El caso más importante se da cuando ambas ondas luminosas son coherentes, es decir, presentan igual frecuencia y amplitud.

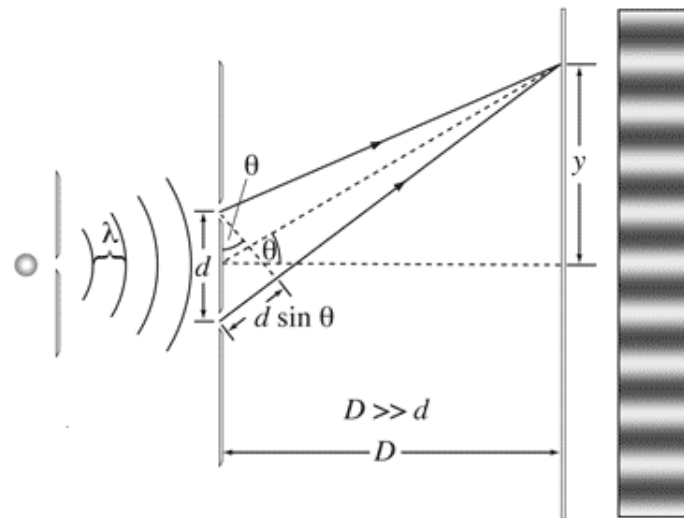
Como vimos en el tema anterior, la experiencia de Thomas Young de la *doble rendija* genera dos ondas luminosas coherentes que en su trayectoria provoca interferencias constructivas (franja brillante) y destructivas (franja oscura).

- **INTERFERENCIAS CONSTRUCTIVAS:** Se produce cuando las ondas llegan en fase, es decir, la diferencia entre los caminos recorridos por las ondas es igual a un número entero de longitudes de onda:

$$\Delta r = r_2 - r_1 = d \sin \theta = n\lambda$$

- **INTERFERENCIAS DESTRUCTIVAS:** Ocurre cuando las ondas llegan en oposición de fase y por tanto, la diferencia entre los caminos recorridos por las ondas es igual a un número impar de semilongitudes de onda,

$$\Delta r = r_2 - r_1 = d \sin \theta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$



La posición de las franjas de interferencias respecto al centro de la pantalla se puede determinar tomando el ángulo  $\theta$  muy pequeño. En estas condiciones, la distancia a la pantalla debe ser mucho mayor que la anchura de las rendijas y,

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{D}$$

Así pues, la posición de las franjas de interferencia quedan a una distancia del centro,

---

**INTERFERENCIAS CONSTRUCTIVAS    INTERFERENCIAS DESTRUCTIVAS**

---

$$d \frac{y}{D} = n\lambda$$

$$y_{brillante} = n \frac{D\lambda}{d}$$

$$d \frac{y}{D} = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

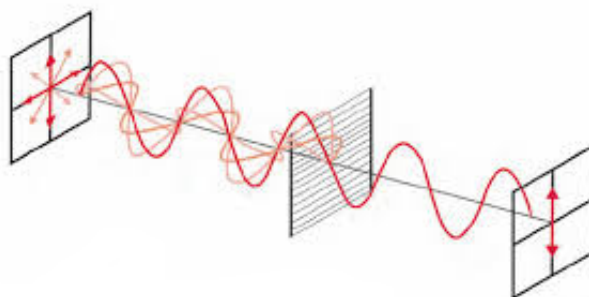
$$y_{oscura} = (n + \frac{1}{2}) \frac{D\lambda}{d}$$


---

### 1.2.4. POLARIZACIÓN

En la luz no polarizada, los campos eléctricos y magnéticos oscilan en planos perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación de la onda en todas las infinitas direcciones. Cuando el campo eléctrico vibra en una sola dirección se dice que la luz está polarizada, por tanto, la polarización es una propiedad exclusiva de las ondas transversales.

Los **polarizadores** consiguen hacer vibrar al campo eléctrico de la luz en una sola dirección. Existen distintos tipos de polarización, puede ser lineal, circular o elíptica.



La polarización puede realizarse por **absorción selectiva**, **dicroísmo**, de ciertas sustancias como por ejemplo la turmalina, polaroides, cadenas de hidrocarburos, ... y también por **reflexión y refracción**. Este último tipo está presente siempre que existen reflexiones y refracciones ya que el rayo reflejado vibra preferentemente en el plano paralelo al de separación de los medios. A partir de un ángulo denominado, **ángulo de Brewster**, se consigue la polarización completa del rayo reflejado.

## 1.2.5. FENOMENOS NATURALES

### 1.2.5.1. DISPERSIÓN

Cuando se enfoca con luz blanca un prisma, se produce el fenómeno de la **dispersión**, es decir, la luz se descompone en los colores que lo forman. La luz blanca es policromática, está formada por varios colores, y al hacerla pasar por un medio dispersivo con un índice de refracción distinto al aire, provoca que los colores que la forman viajen a distintas velocidades a lo largo de él. Al no cambiar el color en el nuevo medio significa que los colores tienen una longitud de onda distinta en cada medio.

Si relacionamos la velocidad de las ondas monocromáticas en cada medio obtenemos la relación entre las longitudes de onda de cada medio:

$$\frac{\lambda_0 \nu = c}{\lambda \nu = v} \Rightarrow \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{c}{v} = n \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{\lambda_0}{n}}$$

### 1.2.5.2. ESPEJISMOS

Los espejismos se producen cuando el rayo luminoso no sigue una trayectoria rectilínea y esto ocurre cuando la luz atraviesa dos medios de distinto índice de refracción.

En la atmósfera existen distintas capas de aire cada una de ellas con una temperatura distinta. Cuando un rayo de luz se encuentra con una capa de distinta refringencia se curva hacia el medio que tiene menor temperatura y por tanto, mayor índice de

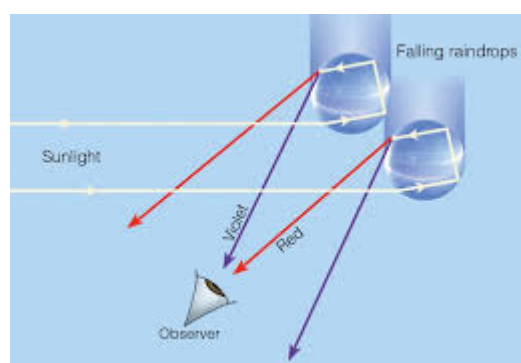
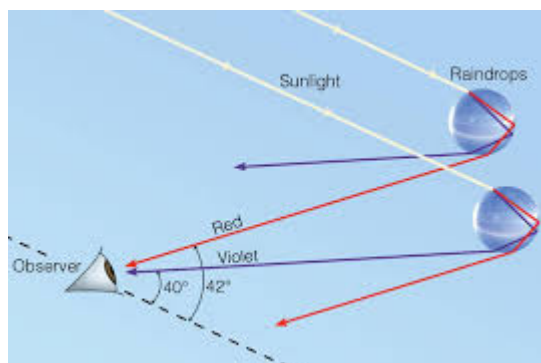
refracción.

Esto hace que puedan existir **espejismos inferiores o superiores**. Los primeros aparecen en desiertos o días muy calurosos, en ellos se percibe una especie de *espejo* o *balsa de agua* sobre la arena o el asfalto, que hace ver la imagen reflejada sobre el aire caliente e invertida. Los superiores se producen en mares fríos y regiones polares donde las capas de aire superiores se encuentran a mayor temperatura.

### 1.2.5.3. EL ARCO IRIS

La formación del arco iris es consecuencia de la dispersión de la luz solar por las gotas de lluvia. Para observarlo es necesario dejar a nuestra espalda el Sol y fijar nuestra mirada a un ángulo de  $40^\circ$ - $42^\circ$ .

Para el arco iris primario se producen dos refracciones y una reflexión, para el secundario es necesario dos reflexiones, además éste será más tenue, más grande, con los colores invertidos y con un ángulo visual mayor, cerca de los  $52^\circ$ . En cada refracción la luz blanca se descompone en los colores del espectro visible, esto hace que la gota de lluvia se comporte como un prisma.



### 1.3. PROBLEMAS RESUELTOS

1. Una lámpara de sodio emite luz monocromática de longitud de onda en el vacío de  $\lambda_0 = 5,89 \cdot 10^{-7} m$  (luz amarilla) que se propaga en el agua, cuyo índice de refracción es  $n=1,34$ . Calcula:

- a) La velocidad de propagación de la luz en el agua  
 b) La frecuencia y la longitud de onda de dicha luz en el agua ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ )
- a) Hacemos uso del índice de refracción que nos da la velocidad de propagación de la onda electromagnética en un medio.

$$n = \frac{c}{v_m} \Rightarrow v_m = \frac{c}{n} = 2,24 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- b) La frecuencia no varía de un medio a otro pero si la longitud de onda y la velocidad. Por tanto, hallamos la frecuencia en el vacío (que será idéntica en el medio) y posteriormente, la longitud de onda. En ambos casos, utilizamos la relación que existe entre la velocidad de propagación, la frecuencia y la longitud de onda.

$$c = \lambda_0 \nu_0 \Rightarrow \nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} = 5,09 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

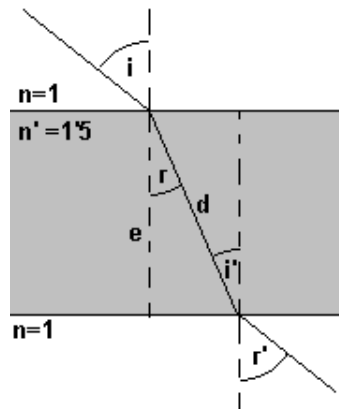
$$v_m = \lambda_m \nu_m \Rightarrow \lambda_m = \frac{c}{\nu_m} = 4,40 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

2. Un rayo de luz penetra con un ángulo de incidencia de  $30^\circ$  en una lámina de vidrio de caras plano paralelas.

- a) Haz un esquema con la trayectoria de los rayos y calcula los ángulos de refracción y de emergencia.  
 b) Indicar si la frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de propagación del rayo cambian al penetrar en el vidrio. Calcula la velocidad de propagación dentro de la lámina.
- a) Como el índice de refracción del vidrio es mayor que el del aire, el rayo refractado aire-vidrio se acerca a la normal, sin embargo, al rayo emergente del vidrio le ocurre exactamente lo contrario.

$$n_{\text{aire}} \sin \hat{i} = n_{\text{vidrio}} \sin \hat{r} \Rightarrow \hat{r} = 19,5^\circ$$

$$n_{\text{vidrio}} \sin \hat{i}' = n_{\text{aire}} \sin \hat{r}' \Rightarrow \hat{r}' = 30^\circ$$



Como vemos, el rayo emergente es paralelo al rayo incidente.

- b) Una onda electromagnética se origina como consecuencia de una vibración y por tanto, la frecuencia es una propiedad característica de la onda y no varía de un medio a otro. Sin embargo, la velocidad de propagación de la onda en el medio depende de la interacción de la onda y las partículas de éste, por tanto, la velocidad y la longitud de la onda depende del medio en el que se encuentre.

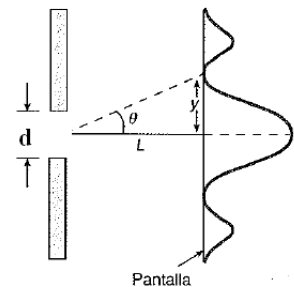
Para calcular la velocidad de la onda en el vidrio, utilizamos el término *índice de refracción*.

$$n_{\text{vidrio}} = \frac{c}{v_{\text{medio}}} \Rightarrow v_{\text{medio}} = \frac{c}{n_{\text{medio}}} = 2 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

- 3. Sobre una rendija de 0,25 mm de anchura incide luz de 560 nm de longitud de onda. Determina:
  - a) Las posiciones de las primeras franjas oscuras que aparecen en la pantalla situada a 2,0 m del resquicio.
  - b) La anchura de la franja brillante central.

- a) Los primeros mínimos de interferencias del patrón de difracción ocurren cuando  $n=1$ . por tanto, teniendo en cuenta que el ángulo  $\alpha$  es muy pequeño y que podemos aproximar el seno a la tangente, la posición del primer mínimo será:

$$\sin \alpha = n \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \frac{y_1}{L} = n \frac{\lambda}{d} \Rightarrow y_1 = 4,48 \text{ mm}$$



- b) La anchura de la franja central, como estos mínimos se producen por arriba y por debajo de la pantalla, será la distancia entre los dos primeros mínimos:

$$2y_1 = 8,96 \text{ mm}$$

4. Tenemos un líquido en un recipiente de 25 cm de profundidad y cuyo fondo es totalmente blanco. Hacemos incidir luz blanca en la superficie formando un ángulo de  $30^\circ$  con la normal a la superficie y la luz se descompone y refracta en el interior del líquido. El índice de refracción para el líquido es de 1,32 para el color rojo y de 1,35 para el color violeta. Determina la separación en milímetros entre los rayos rojo y violeta en el fondo del recipiente.

En el aire, todas las radiaciones se mueven a la misma velocidad pero al penetrar en un medio, cada una viaja a una velocidad distinta en él. Aplicando la ley de Snell para cada uno de los colores obtenemos el ángulo con el que se desvían de su trayectoria.

$$n_{\text{aire}} \sin \hat{i} = n_{\text{liq}} \sin \hat{r}_{\text{rojo}} \Rightarrow \hat{r}_{\text{rojo}} = 22,26^\circ$$

$$n_{\text{aire}} \sin \hat{i} = n_{\text{liq}} \sin \hat{r}_{\text{violeta}} \Rightarrow \hat{r}_{\text{violeta}} = 21,74^\circ$$

Por trigonometría podemos calcular la distancia que recorre cada rayo respecto de la normal

$$\tan \hat{r}_{\text{rojo}} = \frac{d_{\text{rojo}}}{25} \Rightarrow d_{\text{rojo}} = 9,97 \text{ cm}$$

$$\tan \hat{r}_{\text{violeta}} = \frac{d_{\text{violeta}}}{25} \Rightarrow d_{\text{violeta}} = 10,23 \text{ cm}$$

La separación que existe entre los dos rayos en el fondo del recipiente viene dado por la resta de ambas distancias

$$\Delta d = d_{\text{violeta}} - d_{\text{rojo}} = 2,6 \text{ mm}$$