

Fenómenos ondulatorios

David Matellano

Departamento de Física y Química. IES Ángel Corella. (Colmenar Viejo)

18 de febrero de 2020



Este documento esta realizado bajo licencia Creative Commons "Reconocimiento-NoCommercial-CompartirIguual 3.0 España" .



índice de contenidos I

- 1 El principio de Huygens
- 2 Interferencias entre dos ondas
- 3 Difracción de una onda.
 - Difracción por doble rendija.
- 4 Esparcimiento de la luz
- 5 La luz en medios materiales
 - Índice de refracción de un medio material.
- 6 Las leyes de Snell
 - Reflexión total
 - El prisma óptico
- 7 Enlaces a GeoGebraTube

El principio de Huygens

Propagación de ondas

Enunciado 

El principio de Huygens

Propagación de ondas

Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda esférica

El principio de Huygens

Propagación de ondas

Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda esférica

- ☞ Un foco F emite un frente de ondas F_1

Figura 1: El principio de Huygens



El principio de Huygens

Propagación de ondas

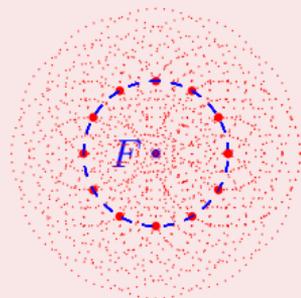
Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda esférica

- ➡ Un foco F emite un frente de ondas F_1
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias

Figura 1: El principio de Huygens



El principio de Huygens

Propagación de ondas

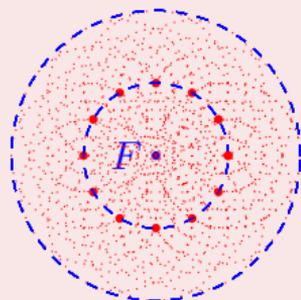
Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda esférica

- ➡ Un foco F emite un frente de ondas F_1
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
- ➡ La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.

Figura 1: El principio de Huygens



El principio de Huygens

Propagación de ondas

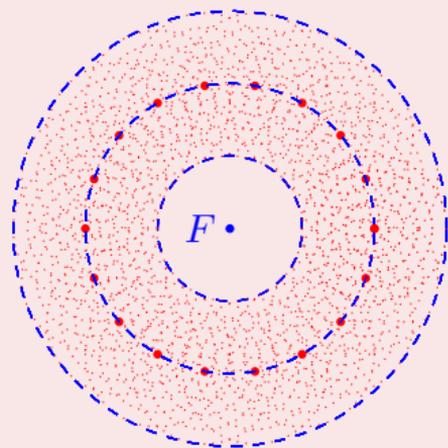
Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda esférica

- ➡ Un foco F emite un frente de ondas F_1
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
- ➡ La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.
- ➡ **Se repite el proceso sucesivamente.**

Figura 1: El principio de Huygens



El principio de Huygens

Propagación de ondas

Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda plana

El principio de Huygens

Propagación de ondas

Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda plana

- ☞ Una onda plana se propaga a través del espacio.

Figura 2: Huygens en onda plana.



El principio de Huygens

Propagación de ondas

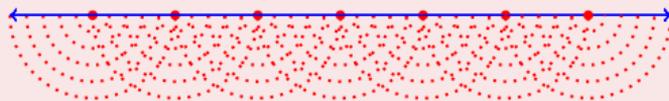
Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda plana

-  Una onda plana se propaga a través del espacio.
-  Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias

Figura 2: Huygens en onda plana.



El principio de Huygens

Propagación de ondas

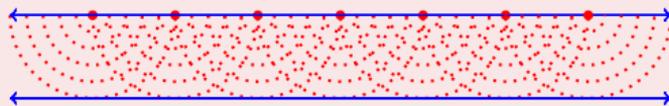
Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda plana

- ➡ Una onda plana se propaga a través del espacio.
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
- ➡ La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.

Figura 2: Huygens en onda plana.



El principio de Huygens

Propagación de ondas

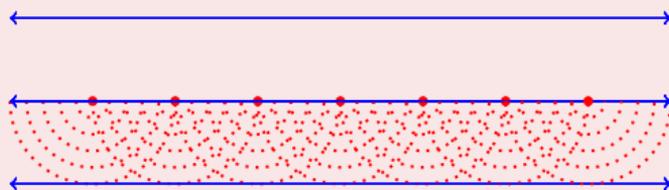
Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

Onda plana

-  Una onda plana se propaga a través del espacio.
-  Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
-  La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.
-  Se repite el proceso sucesivamente.

Figura 2: Huygens en onda plana.



Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

Descripción del fenómeno

Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

Descripción del fenómeno

1 Sean F_1 y F_2 dos focos de ondas coherentes.

Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

Descripción del fenómeno

- 1 Sean F_1 y F_2 dos focos de ondas coherentes.
- 2 **Interferencia constructiva en P :**

Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

Descripción del fenómeno

- 1 Sean F_1 y F_2 dos focos de ondas coherentes.
- 2 Interferencia constructiva en P :



$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = k \cdot \lambda, \forall k \in \mathbb{Z}$$

Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

Descripción del fenómeno

① Sean F_1 y F_2 dos focos de ondas coherentes.

② Interferencia constructiva en P :



$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = k \cdot \lambda, \quad \forall k \in \mathbb{Z}$$

③ Interferencia destructiva en P :

Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

Descripción del fenómeno

1 Sean F_1 y F_2 dos focos de ondas coherentes.

2 Interferencia constructiva en P :



$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = k \cdot \lambda, \quad \forall k \in \mathbb{Z}$$

3 Interferencia destructiva en P :



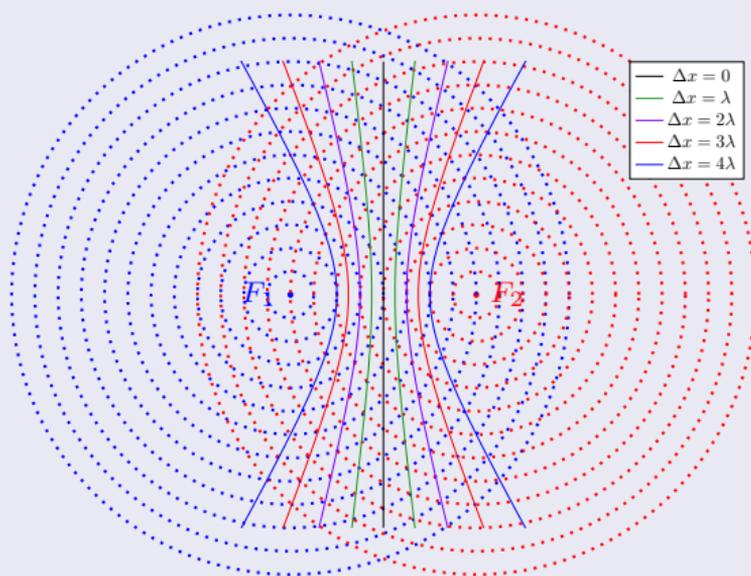
$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad \forall k \in \mathbb{Z}$$

Ejemplo de interferencias:

Interferencias constructivas

Sean F_1 y F_2 dos focos coherentes

Los puntos del plano de interferencia constructiva cumplen: $\Delta x = k \cdot \lambda, \forall k \in \mathbb{Z}$



Difracción de una onda

Conceptos físicos:

Difracción de una onda

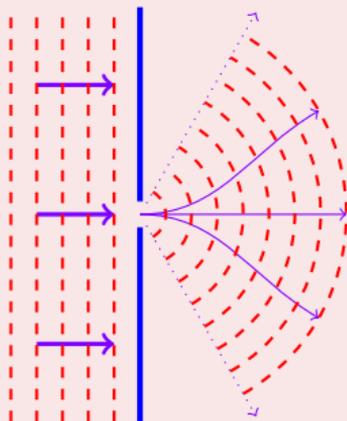
Difracción de una onda

Conceptos físicos:

Difracción de una onda

- Es un fenómeno ondulatorio que produce una desviación de la onda al pasar junto a un cuerpo *opaco* o al atravesar una rendija de anchura comparable a λ

Figura 3: Difracción por una rendija



Un experimento muy importante: (Experimento de Young)

La difracción producida por una doble rendija de anchura a y distancia d

Características

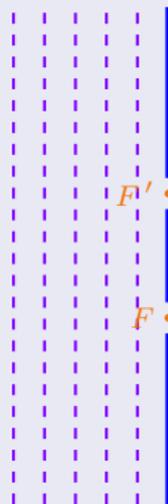
Un experimento muy importante: (Experimento de Young) 💡

La difracción producida por una doble rendija de anchura a y distancia d

Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.

Figura 4: El experimento de Young



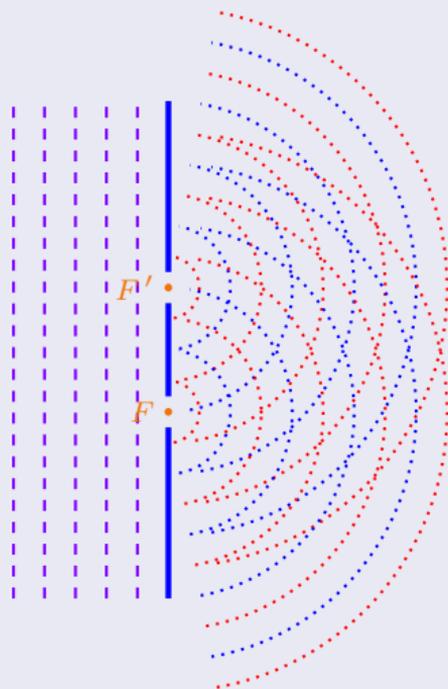
Un experimento muy importante: (Experimento de Young) 💡

La difracción producida por una doble rendija de anchura a y distancia d

Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.
- 2 Ambas rendijas producen difracción.

Figura 4: El experimento de Young



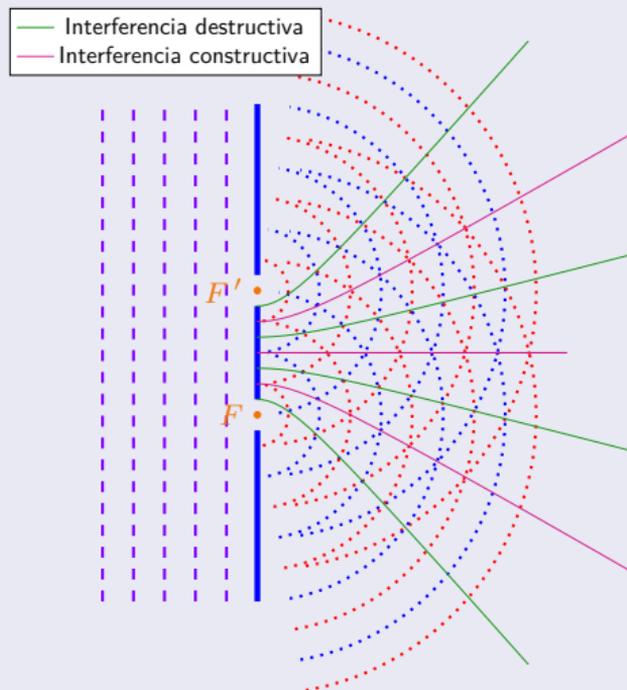
Un experimento muy importante: (Experimento de Young) 💡

La difracción producida por una doble rendija de anchura a y distancia d

Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.
- 2 Ambas rendijas producen difracción.
- 3 Se produce una interferencia entre ambas ondas.

Figura 4: El experimento de Young



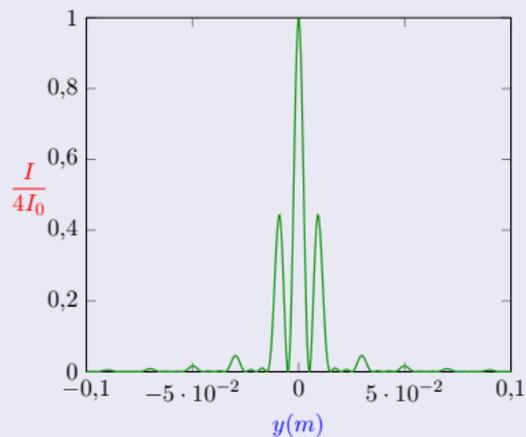
Un experimento muy importante: (Experimento de Young)

La difracción producida por una doble rendija de anchura a y distancia d

Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.
- 2 Ambas rendijas producen difracción.
- 3 Se produce una interferencia entre ambas ondas.
- 4 El patrón de interferencia se recoge en una pantalla.

Figura 4: El experimento de Young



Difracción de Fraunhofer en doble rendija.

Fuentes y pantalla *muy lejanas*.

Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

Dispersión de Rayleigh

Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

Dispersión de Rayleigh

☞ La luz blanca incide sobre las moléculas de O_2 .

Figura 5: Dispersión de Rayleigh



Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

Dispersión de Rayleigh

- ➡ La luz blanca incide sobre las moléculas de O_2 .
- ➡ Las moléculas capturan fotones energéticos.

Figura 5: Dispersión de Rayleigh



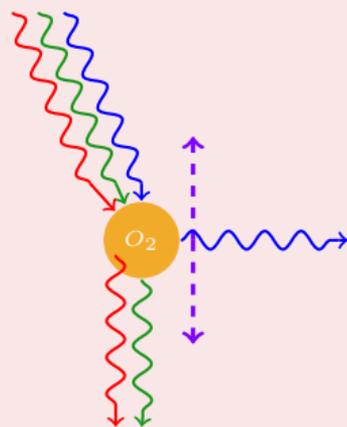
Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

Dispersión de Rayleigh

- ➡ La luz blanca incide sobre las moléculas de O_2 .
- ➡ Las moléculas capturan fotones energéticos.
- ➡ Las moléculas vibran y emiten fotón.

Figura 5: Dispersión de Rayleigh



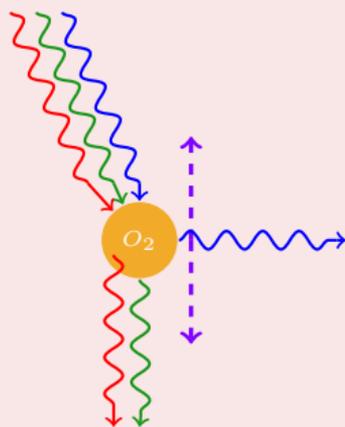
Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

Dispersión de Rayleigh

- La luz blanca incide sobre las moléculas de O_2 .
- Las moléculas capturan fotones energéticos.
- Las moléculas vibran y emiten fotón.
- El fotón emitido es energético. (azulado - violeta)

Figura 5: Dispersión de Rayleigh



La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz 

La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Definición de índice de refracción de un medio (n_1)

La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material: $v_{luz} < c$

Definición de índice de refracción de un medio (n_1)

La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material: $v_{\text{luz}} < c$

Definición de índice de refracción de un medio (n_1)

- Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad $v = v_{\text{luz}} < c \Rightarrow$

La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material: $v_{\text{luz}} < c$

Definición de índice de refracción de un medio (n_1)

• Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad $v = v_{\text{luz}} < c \Rightarrow$

• $n_1 = \frac{c}{v}$

La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material: $v_{luz} < c$

Definición de índice de refracción de un medio (n_1)

• Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad $v = v_{luz} < c \Rightarrow$

• $n_1 = \frac{c}{v}$

• $n_1 > 1$

La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material: $v_{luz} < c$

Definición de índice de refracción de un medio (n_1)

• Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad $v = v_{luz} < c \Rightarrow$

• $n_1 = \frac{c}{v}$

• $n_1 > 1$

• Si $P = 1 \text{ bar}$ y $T = 273 \text{ K} \Rightarrow n_{aire} = 1,0002926 \approx 1$

Parámetros ondulatorios en medios materiales

Velocidad, longitud de onda y frecuencia

Onda electromagnética en un medio de índice de refracción n

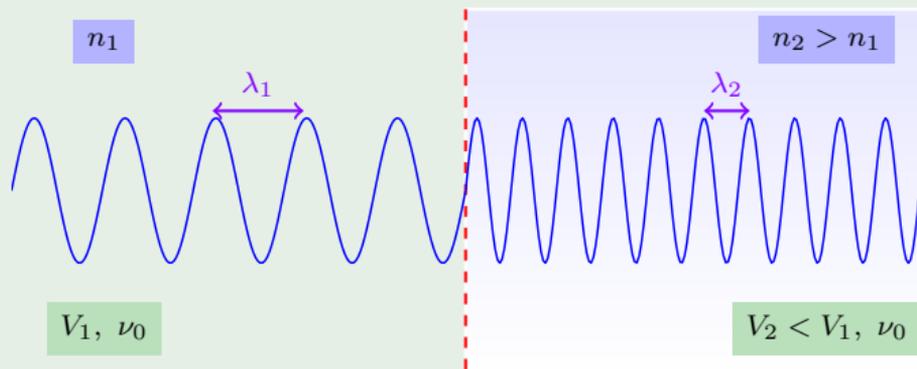
Parámetros ondulatorios en medios materiales

Velocidad, longitud de onda y frecuencia

Onda electromagnética en un medio de índice de refracción n

↪ La frecuencia se conserva y la velocidad disminuye: $\nu = \nu_0$; $v = \frac{c}{n} < c$

Figura 6: λ vs n



Las leyes de Snell

Reflexión y refracción de la luz

Leyes de Snell 

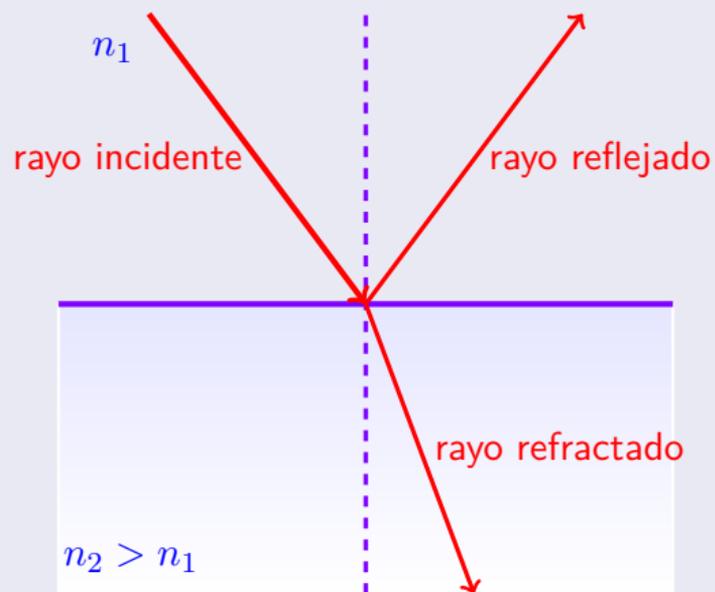
Las leyes de Snell

Reflexión y refracción de la luz

Leyes de Snell

- Los tres rayos son coplanarios.

Figura 7: Las leyes de Snell



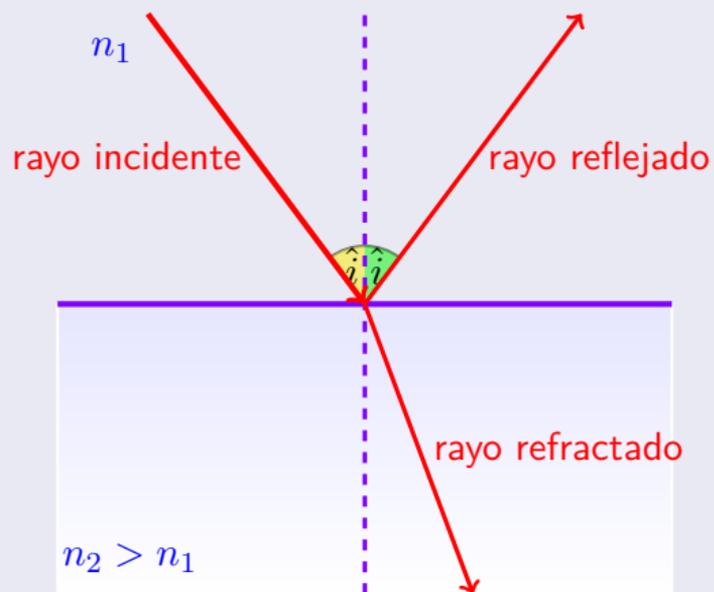
Las leyes de Snell

Reflexión y refracción de la luz

Leyes de Snell

-  Los tres rayos son coplanarios.
-  Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:

Figura 7: Las leyes de Snell



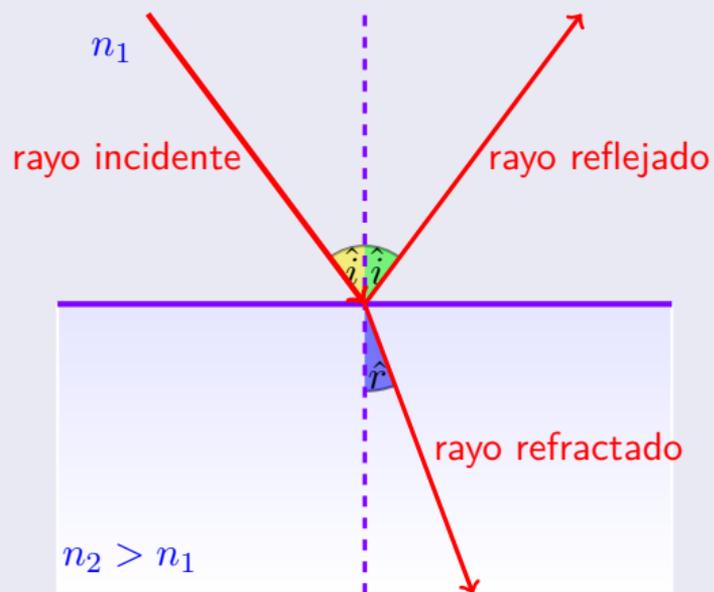
Las leyes de Snell

Reflexión y refracción de la luz

Leyes de Snell

-  Los tres rayos son coplanarios.
-  Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:
-  **Ángulo refractado:**

Figura 7: Las leyes de Snell



Las leyes de Snell

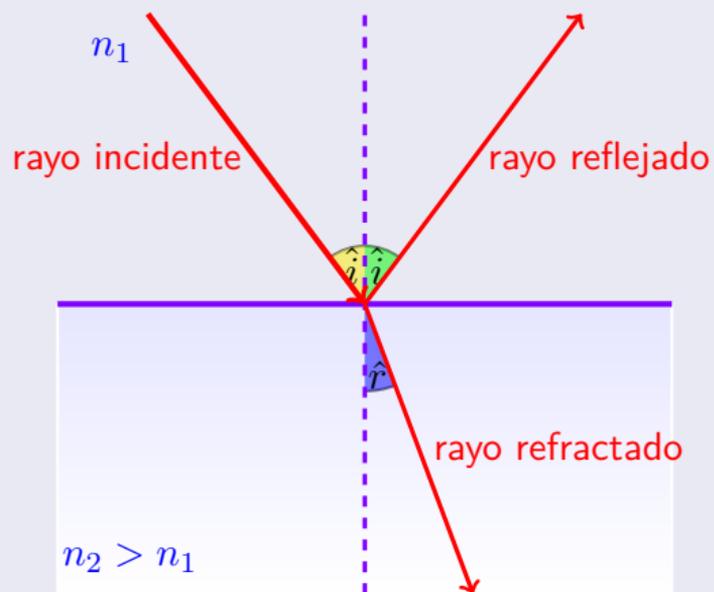
Reflexión y refracción de la luz

Leyes de Snell

- Los tres rayos son coplanarios.
- Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:
- Ángulo refractado:

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

Figura 7: Las leyes de Snell



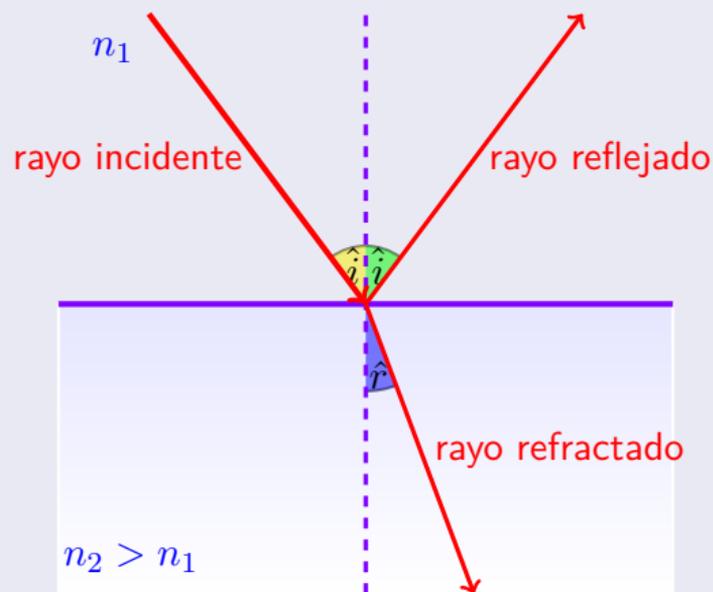
Las leyes de Snell

Reflexión y refracción de la luz

Leyes de Snell

- Los tres rayos son coplanarios.
- Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:
- Ángulo refractado:
 - $n_1 \cdot \text{sen } \hat{i} = n_2 \cdot \text{sen } \hat{r}$
 - Si $n_2 > n_1 \Rightarrow \hat{r} < \hat{i}$

Figura 7: Las leyes de Snell



Reflexión total

Un fenómeno muy interesante

Reflexión total

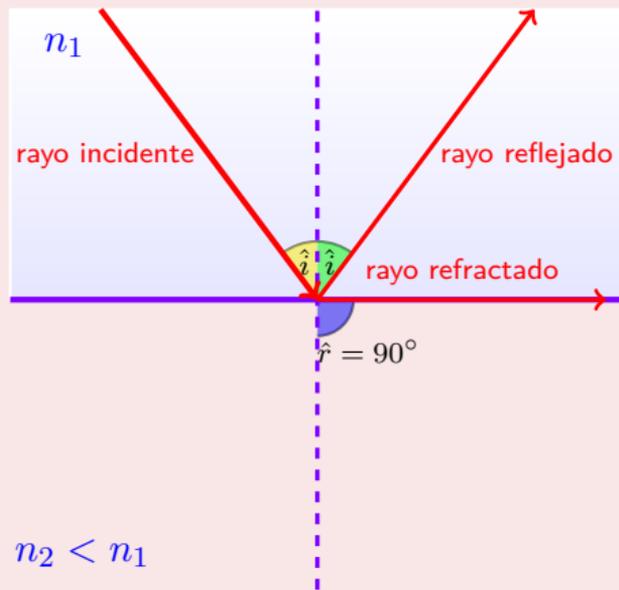
Reflexión total

Un fenómeno muy interesante

Reflexión total

$$\hat{r} = 90^\circ \Rightarrow \operatorname{sen} \hat{i} = \frac{n_2}{n_1}$$

figura 8: Reflexión total



Reflexión total

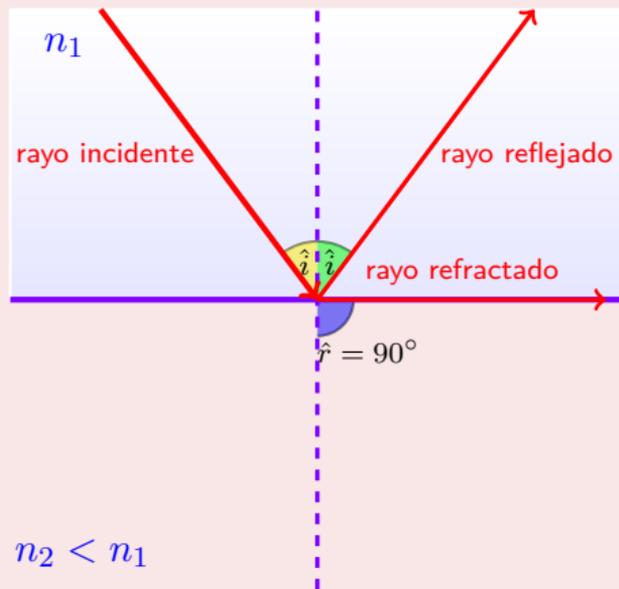
Un fenómeno muy interesante

Reflexión total

$\hat{r} = 90^\circ \Rightarrow \text{sen } \hat{i} = \frac{n_2}{n_1}$

Sólo es posible si $n_2 < n_1$

figura 8: Reflexión total



Reflexión total

Un fenómeno muy interesante

Reflexión total

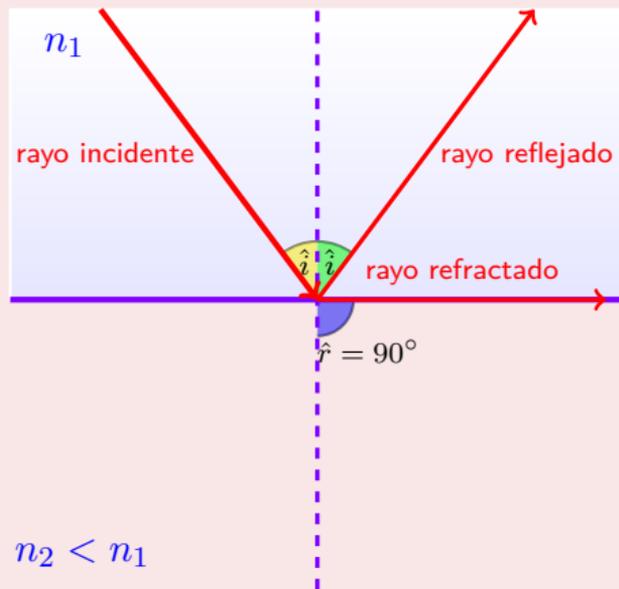
$\hat{r} = 90^\circ \Rightarrow \text{sen } \hat{i} = \frac{n_2}{n_1}$

Sólo es posible si $n_2 < n_1$



Se aplica en la fibra óptica.

figura 8: Reflexión total



El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción n

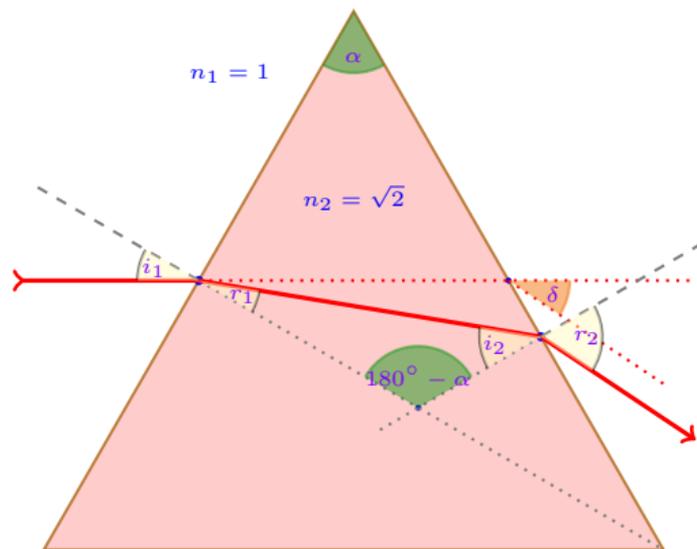
Ecuaciones del prisma 

El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción n

Ecuaciones del prisma

$$r_1 + i_2 = \alpha$$



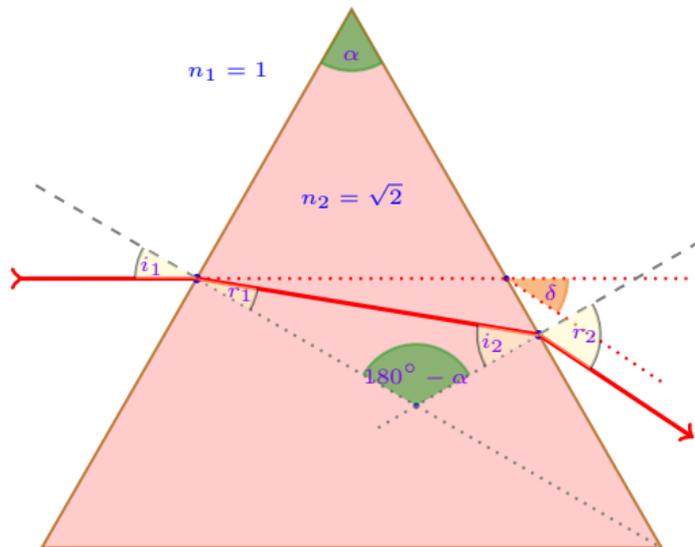
El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción n

Ecuaciones del prisma

 $r_1 + i_2 = \alpha$

 $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$



El prisma óptico

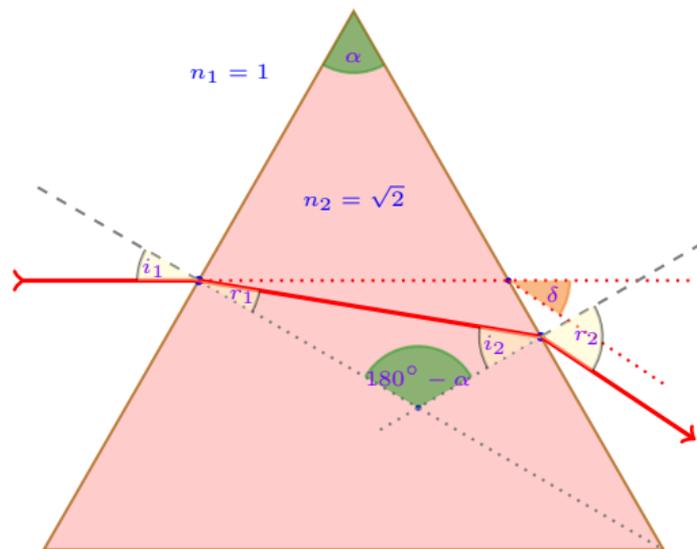
Sea un prisma con un índice de refracción n

Ecuaciones del prisma

 $r_1 + i_2 = \alpha$

 $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$

 $n_2 \cdot \text{sen}(i_2) = n_1 \cdot \text{sen}(r_2)$



El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción n

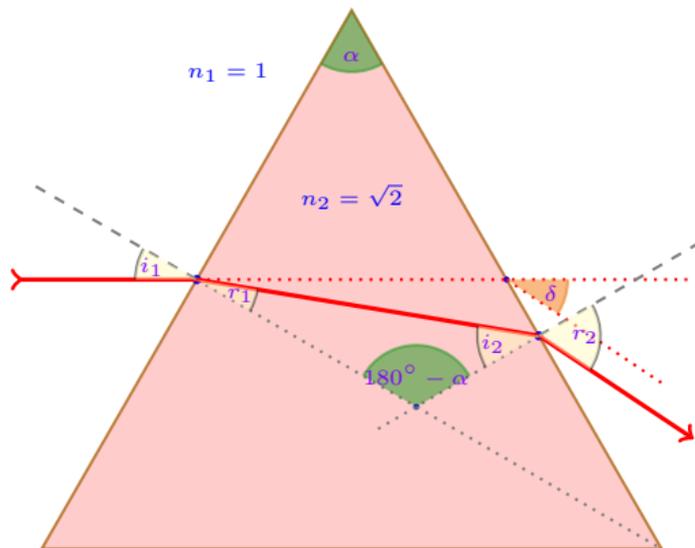
Ecuaciones del prisma

 $r_1 + i_2 = \alpha$

 $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$

 $n_2 \cdot \text{sen}(i_2) = n_1 \cdot \text{sen}(r_2)$

 $\delta = i_1 - r_1 + r_2 - i_2 = i_1 + r_2 - \alpha$



El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción n

Ecuaciones del prisma

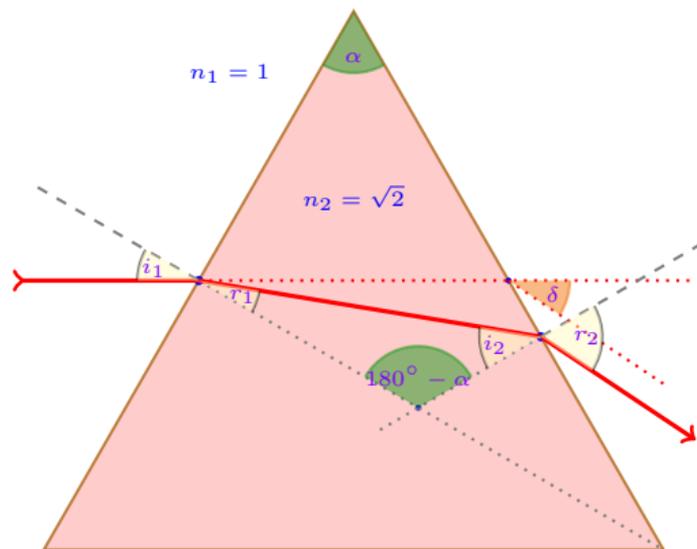
 $r_1 + i_2 = \alpha$

 $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$

 $n_2 \cdot \text{sen}(i_2) = n_1 \cdot \text{sen}(r_2)$

 $\delta = i_1 - r_1 + r_2 - i_2 = i_1 + r_2 - \alpha$

 Si $i_1 = r_2 \Rightarrow \delta = \delta_{\text{mínimo}}$



Enlaces de interés

-  Tema 6: Óptica con GeoGebra: \Rightarrow <https://ggbm.at/XYFgQ3Er>
-  Leyes de Snell: \Rightarrow <https://ggbm.at/n57M37dN>
-  Reflexión total: La fibra óptica: \Rightarrow <https://ggbm.at/qHkpKDuS>
-  Rayo a través de plancha: \Rightarrow <https://ggbm.at/c5HGvJuY>
-  Prisma óptico: \Rightarrow <https://ggbm.at/GAUxEBEH>