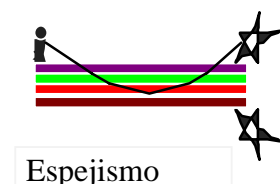


COMPLEMENTOS BLOQUE 5: ÓPTICA

1. ESPEJISMOS

Otro fenómeno relacionado con la reflexión total es el de los *espejismos*. Se deben al hecho de que durante el verano o en aquellos lugares donde la temperatura es muy alta, como pasa en los desiertos o en las superficie asfaltada de una carretera, las capas de aire próximas al suelo están más calientes, y por tanto con índice de refracción menor que las que se encuentran



inmediatamente encima, esto hace que los rayos de luz procedentes de un objeto cualquiera, vayan sufriendo refracciones consecutivas que hacen que el ángulo de incidencia aumente a medida que los rayos se dirigen hacia las capas más profundas, hasta que se supera al ángulo límite correspondiente y, entonces sufren la reflexión total; de manera al ser recibidos por un observador, éste tiene la sensación de ver agua en el suelo y los objetos reflejados en ella. El fenómeno también se produce en las zonas frías, como son las costas nórdicas, donde los barcos parecen navegar por el aire.

2. POLARIZACIÓN

Cuando estudiamos los movimientos ondulatorios vimos que si las partículas del medio (caso de ondas mecánicas) vibran en la dirección de propagación del movimiento ondulatorio, las ondas se denominan *longitudinales* (es el caso del sonido) y si lo hacen en direcciones perpendiculares a la de propagación, tenemos ondas *transversales* (caso de una cuerda que vibra al ser agitada por uno de sus extremos).

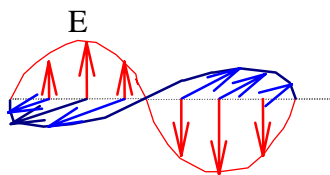


Fig 1.- Onda electromagnética

Las ondas luminosas, por ser ondas electromagnéticas, se deben a las variaciones de los vectores campo eléctrico y campo magnético, estas variaciones tiene lugar en planos perpendiculares a la dirección de propagación del rayo luminoso. Es decir, la luz está formada por ondas transversales.(Fig. 1)

Considerando sólo el vector correspondiente al campo eléctrico, en la luz blanca, vibra en todas direcciones pero siempre en planos ortogonales con la dirección de propagación, decimos que la luz blanca no está *polarizada*.

Para tener luz polarizada hemos de conseguir una onda cuyo vector campo eléctrico vibre en un solo plano, perpendicular al rayo luminoso; este plano se denomina plano de vibración y al plano perpendicular a este y que contiene al rayo se le llama plano de polarización. (A veces se le da este nombre al de vibración).

Se trata de eliminar todas las direcciones posibles de vibración y dejar una nada más; esto se puede conseguir mediante los llamados *polaroides*, que son láminas de plástico, que producen, al interceptar un rayo de luz blanca, luz polarizada linealmente por absorción.(fig. 2)

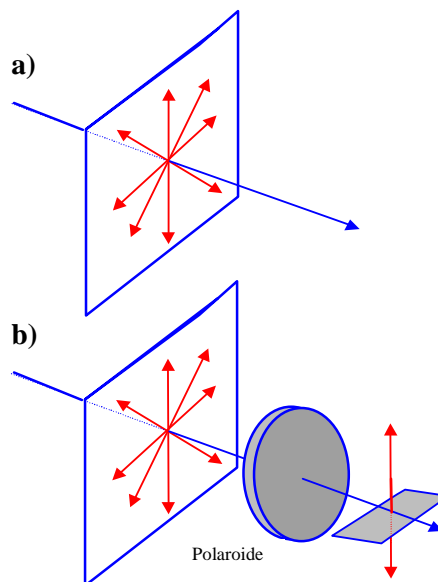


Fig. 2

a) Luz blanca, no polarizada

b) Luz polarizada rectilíneamente

Cuando se colocan dos de estos aparatos uno a continuación del otro y se hacen girar uno de ellos se consigue que la

intensidad de la luz que los atraviesa sea máxima si los planos de vibración de los dos coinciden y a medida que el ángulo aumenta se vaya debilitando hasta la extinción cuando son perpendiculares, de forma que los polaroides pueden usarse como *analizadores* de luz polarizada.

La polarización es, por tanto, característica de las ondas transversales y sirve para identificarlas y distinguirlas de las longitudinales, ya que sólo ellas experimentan el fenómeno.

La luz puede estar polarizada rectilíneamente si la onda vibra en un solo plano, pero si la vibración describe curvas cerradas puede tener *polarización circular o elíptica*, dependiendo de la forma de la curva.

Polarización por reflexión

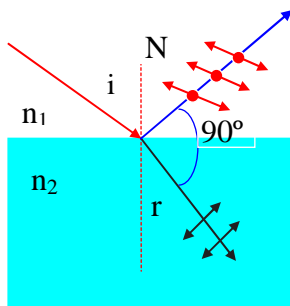


Fig. 3. Polarización por reflexión

En el apartado anterior hemos mencionado el uso de polaroides para obtener luz polarizada, pero hay otros medios para hacerlo, uno de ellos fue descubierto por Malus en 1808, físico francés al que se debe el adjetivo de polarizada, debido a que pensó, equivocadamente, que la luz polarizada estaba formada por partículas con polos semejantes a los de los imanes. El nombre de luz polarizada, pese al error, ha permanecido hasta hoy.

Cuando un rayo de luz blanca incide sobre una superficie reflectante, los rayos reflejado y refractado están parcialmente polarizados.

Haciendo variar el ángulo de incidencia puede conseguirse que el rayo reflejado esté totalmente polarizado. Este hecho fue investigado por Sir David Brewster, que en 1815 descubrió que cuando el ángulo formado por el rayo reflejado y el refractado es de 90° , el rayo reflejado está totalmente polarizado, siendo el plano de vibración perpendicular al plano de incidencia y el refractado está parcialmente polarizado. (*Ley de Brewster*) (Fig. 3).

El ángulo de incidencia para el que se produce el fenómeno se llama ángulo de polarización y se calcula con facilidad teniendo en cuenta la Ley de Snell para la refracción:

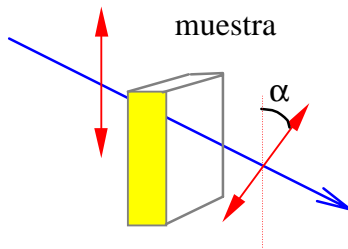


Fig. 4. Rotación del plano de vibración por una sustancia ópticamente activa (dextrógira)

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

$$\text{como } i + r = 90 \Rightarrow \operatorname{sen} r = \operatorname{cos} i$$

$$\operatorname{tg} i = \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{cos} i} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Para el dioptrio aire-vidrio en el que el índice de refracción es 1,55 el ángulo de polarización vale $57,17^\circ$.

La polarización tiene aplicaciones prácticas como es la fabricación de cristales para gafas que evitan los reflejos luminosos, al estar fabricados con una lámina polaroide que absorbe el plano de vibración de la luz reflejada que como hemos visto está parcialmente polarizada.

Hay ciertas sustancias que producen la rotación del plano de polarización de la luz cuando son atravesadas por luz linealmente polarizada, de ellos se dice que son *compuestos ópticamente activos*, unos lo desvían hacia la derecha (*dextrógiros*) y otros hacia la izquierda (*levógiros*). (Fig. 4) El ángulo de rotación depende, entre otras cosas, de la concentración de la sustancia ópticamente activa, por lo que, fijando convenientemente las demás variables, se aprovecha este hecho para la fabricación de los *polarímetros*, aparatos que se usan para la determinación de las concentraciones de sustancias ópticamente activas.

Cuestión 1

¿Está polarizada la luz emitida por el sol o una lámpara común?

Cuestión 2

¿Cómo podemos conseguir luz polarizada utilizando luz ordinaria?

¿Disminuye la intensidad de la luz?

3. COMBINACIONES DE DIOPTRIOS PLANOS

La combinación de dioptrios planos puede dar lugar a sistemas ópticos más complicados. Así si disponemos dos dioptrios planos paralelamente obtendremos una **lámina de caras plano paralelas**. Y si los dioptrios se disponen de forma no paralelas tendremos un **prisma óptico**

3.1 Lámina de caras planas y paralelas.

Se denomina así a todo medio transparente, isotrópico y homogéneo limitado por dos caras planas y paralelas.

También podría definirse como un sistema óptico formado por dos dioptrio plano y paralelos.

Nosotros estudiaremos el caso en el que los dos medios limitante que rodean a la lamina de caras planas y paralelas sean iguales. Ej. el cristal de una ventana.

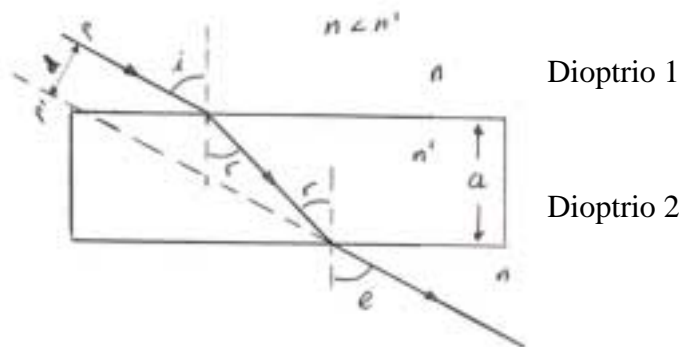


Fig. 5

Si aplicamos la ley Snell a cada dioptrio y tenemos en cuenta que el ángulo de refracción del primer dioptrio es igual que el ángulo de incidencia del segundo, por ser ángulos alternos internos (por esta razón utilizaremos la misma letra para designar a ambos ángulos). Tendremos:

$$\begin{aligned} \text{Para el 1}^\circ \text{ dioptrio} \quad n \operatorname{sen} i &= n' \operatorname{sen} r \\ \implies n \operatorname{sen} i &= n \operatorname{sen} e \implies \operatorname{sen} i = \operatorname{sen} e \\ \text{Para el 2}^\circ \text{ dioptrio} \quad n' \operatorname{sen} r &= n \operatorname{sen} e \end{aligned}$$

Si son iguales los senos, también serán iguales los ángulos. Por tanto:

$$i = e$$

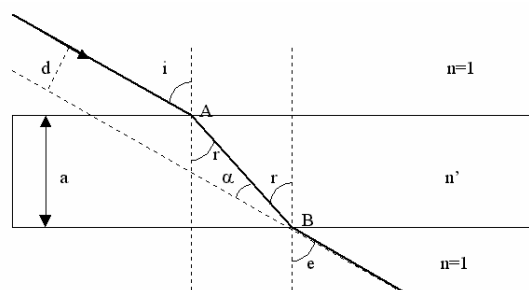
En resumen, cuando un rayo luminoso pasa a través de una lamina de caras planas y paralelas y los medios limitantes son iguales, **el rayo incidente es paralelo al rayo emergente**. Y por tanto, la lámina de caras planas y paralelas da lugar a un desplazamiento, d , de rayo de luz. El punto P visto a través de la lámina parece encontrarse en P'.

En el problema siguiente puedes aprender a calcular el valor de “d”.

EJEMPLO 1

Un rayo luminoso incide en una lámina de vidrio de 10 cm de espesor con un ángulo de incidencia de 30° . Calcular el desplazamiento lateral que sufre el rayo si los índices de refracción del vidrio y aire son respectivamente 1,5 y 1.

Sol.:



Aplicando la ley de Snell a la primera cara de la lámina calculamos el ángulo de refracción r .

$$n \operatorname{sen} i = n' \operatorname{sen} r \Rightarrow 1 \operatorname{sen} 30^\circ = 1,5 \operatorname{sen} r \Rightarrow \operatorname{sen} r = 0,33 \Rightarrow$$

$$r = \operatorname{arsen} 0,33 = 19,26^\circ$$

De la figura se desprende que

$$\cos r = \frac{a}{AB} \Rightarrow AB = \frac{a}{\cos r} = \frac{10}{\cos 19,26^\circ} = 10,63 \text{ cm}$$

$$\text{el ángulo } \alpha = 30^\circ - 19,26^\circ = 10,74^\circ$$

La distancia d es la misma que hay entre el punto A y la prolongación del rayo emergente, por tanto:

$$d = AB \operatorname{sen} \alpha = 10,63 \operatorname{sen} 10,74^\circ = 1,9 \text{ cm}$$

3.2 Prisma óptico.

Se denomina prisma óptico a todo medio transparente, isótropo y homogéneo, limitado por dos caras planas no paralelas. Al ángulo diedro, α , formado por las dos caras principales se llama ángulo de refringencia del prisma.

El prisma óptico se puede también definir como el sistema óptico formado por dos dioptrios planos no paralelos.

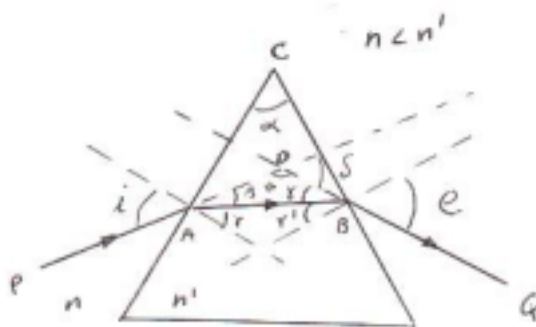


Fig. 7

Supongamos un rayo, PA, que incide oblicuamente sobre un prisma con un ángulo de incidencia. Este rayo incidente sufrirá dos refracciones, una en la primera cara del prisma acercándose a la normal ($n < n'$) y otra, en la segunda cara alejándose de la normal.

El rayo BQ que sale del prisma se llama **rayo emergente** y el ángulo que forma con la normal **ángulo emergente**, e. El ángulo, δ , formado por la prolongaciones de los rayos incidente y emergente, se denomina **ángulo de desviación**.

En el triángulo ABC se verifica que:

$$180^\circ = \alpha + (90^\circ - r) + (90^\circ - r') \implies \boxed{\alpha = r + r'}$$

El ángulo de desviación $\delta = 180^\circ - \theta$ pero como en el triángulo ABD se verifica que:
 $\gamma + \beta + \theta = 180^\circ \implies \theta = 180^\circ - (\gamma + \beta)$

sustituyendo θ por su valor tendremos:

$$\delta = \gamma + \beta = (i - r) + (e - r'), \text{ como } \alpha = r + r' \implies \boxed{\delta = i + e - \alpha}$$

La desviación que experimenta el rayo emergente depende únicamente del ángulo incidente, del emergente y del ángulo de refringencia del prisma.

Se puede demostrar teórica y experimentalmente que la desviación mínima se produce cuando el ángulo de incidencia es igual al de emergencia. En este caso, $r = r'$ y por tanto, el rayo dentro del prisma se propaga paralelo a la base del mismo.

Estas dos ecuaciones, junto con las que se obtienen de la aplicación de Snell a las dos caras, constituyen las ecuaciones del prisma óptico, que nos permiten conocer perfectamente la marcha del rayo a través del mismo.

Puede ocurrir que el ángulo r' , en la segunda cara, sea mayor que el ángulo límite y no haya rayo emergente (téngase en cuenta que el rayo pasa de un medio n' a otro n de menor índice de refracción) produciéndose el fenómeno de reflexión total. Los prismas que presentan esta propiedad se llaman prismas de reflexión total. Ej. triángulo rectángulo isósceles muy utilizado en los sistemas óptico.



Fig. 8

En los prismas se da además otro fenómeno: El de la dispersión de la luz, que será estudiado en otro apartado de este tema.

Cuestión 3

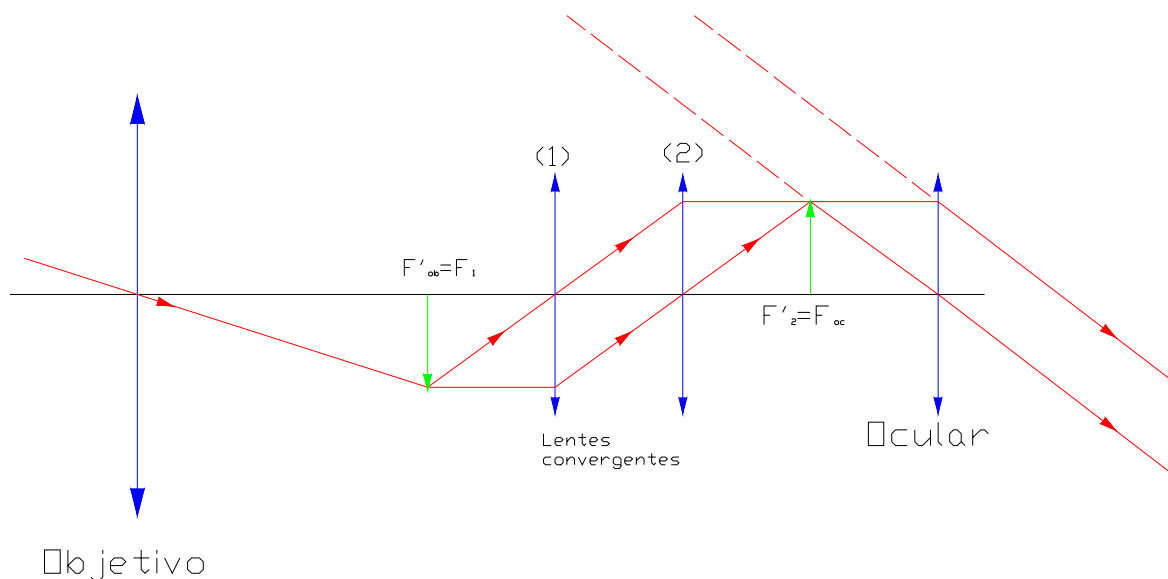
Calcular los ángulos de emergencia y desviación que sufre un rayo luminoso al incidir sobre un prisma con un ángulo de 30° . El ángulo de refringencia del prisma es 60° y el índice de refracción del mismo es 1,5.

Cuestión 4

Determina el ángulo de desviación del problema anterior si el rayo incide perpendicularmente a la cara del prisma

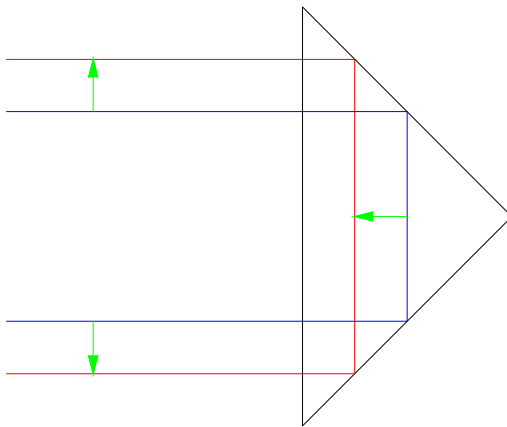
4. PRISMÁTICOS

Hemos dicho que el telescopio proporciona imágenes invertidas, sin embargo cuando se observan objetos situados en sobre la Tierra es mejor que la imagen sea derecha. Esto se puede conseguir intercalando entre el objetivo y el ocular una lente o un sistema de lentes que inviertan la imagen formada por el objetivo. En el catalejo se intercalan entre el objetivo y el ocular un par de lentes convergentes (una colocada en el foco de la otra y viceversa), que invierten la imagen sin variar su tamaño. Tiene la desventaja de exigir un tubo largo, ya que a la suma de las distancias focales del objetivo y del ocular ha de aumentarse debido a las distancias focales de las lentes convergentes.

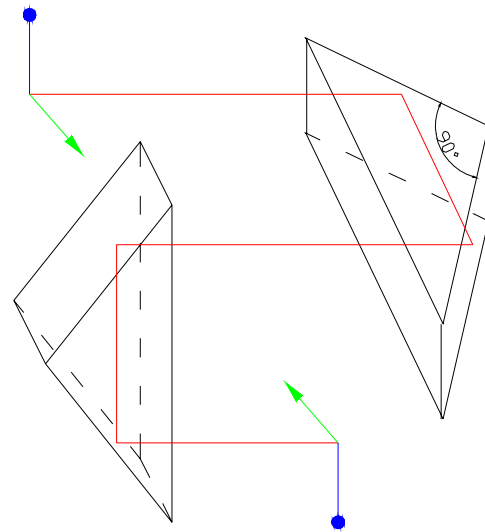


Catalejo.

La longitud excesiva del antejo terrestre se evita con los prismáticos en los que entre el objetivo y el ocular se intercala un par de prismas de reflexión total. La imagen formada por el objetivo sirve de objeto virtual para los prismas que invierten la imagen.

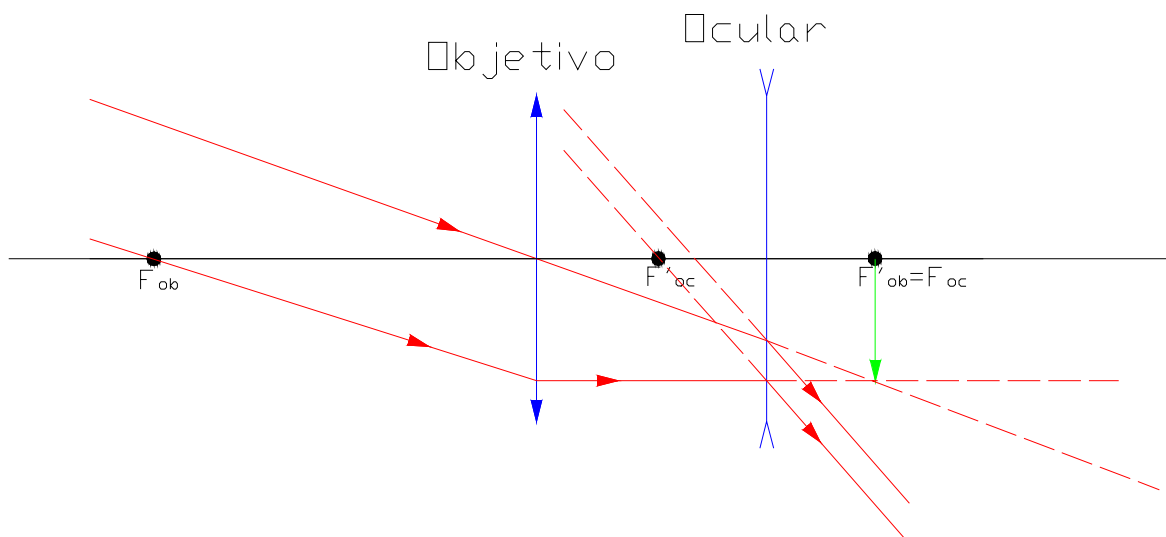


Inversión de arriba abajo.



Inversión de arriba abajo y de derecha a izquierda.

El anteojo de Galileo consta de una lente convergente de gran distancia focal (el objetivo), y otra divergente de distancia focal pequeña (el ocular), separadas de tal forma que la distancia entre ellas sea igual a la suma de sus distancias focales, es decir que su intervalo óptico es nulo. La imagen del ocular es virtual, derecha y aumentada formándose cerca del ojo con lo que se aumenta el ángulo de visión. Lo gemelos de teatro son anteojos de Galileo.



Anteojo de Galileo.

