

Óptica geométrica y física

Óptica geométrica

Rayos luminosos. - El concepto básico con que opera la óptica **geométrica** es el rayo luminoso, que, como veremos, da solo una descripción aproximada del camino que la luz sigue en el espacio, pero para muchos fines prácticos esa aproximación es suficiente.

Siendo un rayo luminoso un concepto geométrico. No se puede reproducir en un laboratorio, pero hacemos uso de una fuente de rayo paralelo y, limitado de esta porción, de tal manera que se deje pasar un haz cilíndrico de luz, se pueden reproducir casi todos los resultados teóricos con una aproximación.

Las Leyes de reflexión.

Se llama reflexión al rechazo que experimenta la luz cuando incide sobre una determinada superficie. Toda superficie que tenga la propiedad de rechazar la luz que incide en ella se llama superficie reflectora; lo contrario de una superficie reflectora es una superficie absorbente; estas superficies capturan la luz que incide sobre ellas transformándola en otras formas de energía, generalmente energía calorífica.

La reflexión se produce de acuerdo con ciertas leyes que llamamos leyes de la reflexión. Para enunciarlas, haremos uso de los conceptos de rayo incidente, normal, rayo reflejado, ángulo de incidencia y ángulo de reflexión.

El rayo incidente es un rayo luminoso que se dirige hacia la superficie reflectora.

La normal es una línea perpendicular a la superficie reflectora trazada en el punto en que ésta es intersectada por el rayo incidente (punto de incidencia).

El rayo reflejado es el rayo que emerge de la superficie reflectora.

Los ángulos de incidencia y de reflexión son los formados por el rayo incidente y el reflejado con la normal.

En la figura 2.1.1 se consigna un diagrama que aclara estas ideas.

Ahora resulta sencillo enunciar *las leyes de la reflexión*.

1. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano.
2. El ángulo que forma el rayo incidente con la normal (ángulo de incidencia) es igual al ángulo que forma el rayo reflejado con la normal (ángulo de reflexión).

En la fig. 2.1.1 aparecen estos dos ángulos designados con las letras *i* y *r*, respectivamente.

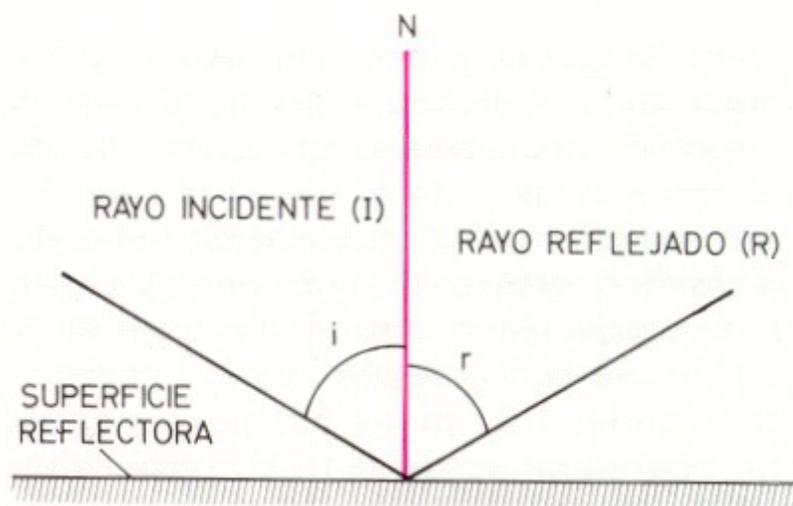


Figura 2.1.1 Esquema de la reflexión de un rayo luminoso.

Espejos planos. - se denomina espejo plano a una superficie reflectora que forma imágenes y está contenida en un plano. Determinaremos la posición de la imagen de un punto en un espejo plano.

Supongamos que una fuente puntual está emitiendo rayos luminosos en todas direcciones y que parte de éstos se reflejan en un espejo plano. Usando las leyes de la reflexión se podría seguir la trayectoria de gran cantidad de rayos luminosos; en rigor, podríamos seguir la trayectoria de todos los rayos luminosos, pero, siendo infinitos en número, esto resulta imposible. Interesa saber si nuestro espejo forma una imagen, es decir. Si los rayos que salen de un punto luminoso convergen después de reflejados a un solo punto, para ello basta con seguir la trayectoria de dos rayos como los dibujados en la figura. 2.1.2.

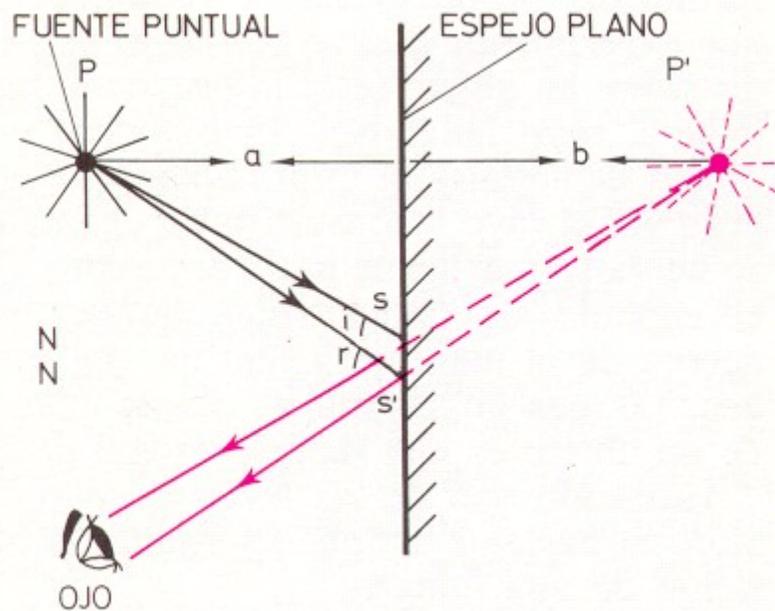


Figura 2.1.2 Imagen de un punto formada en un espejo plano.

Para encontrar la imagen de un objeto en un espejo plano podemos seguir el mismo camino y encontrar la imagen de cada uno de los puntos del objeto considerándolos como fuentes puntuales. Siguiendo las ideas del párrafo anterior, consideremos un objeto como una flecha y determinaremos la posición del mismo calculando la posición de sus puntos extremos P y Q. El esquema de la fig. 2.1.3 nos muestra la marcha de dos rayos luminosos provenientes de los puntos P y Q, respectivamente. En rigor, deberíamos dibujar por lo menos dos rayos luminosos provenientes de cada punto; pero, como el problema ya ha sido resuelto, localizamos el punto simétrico de P, que es P', el simétrico de Q, que es Q', y estamos en condiciones de trazar la imagen.

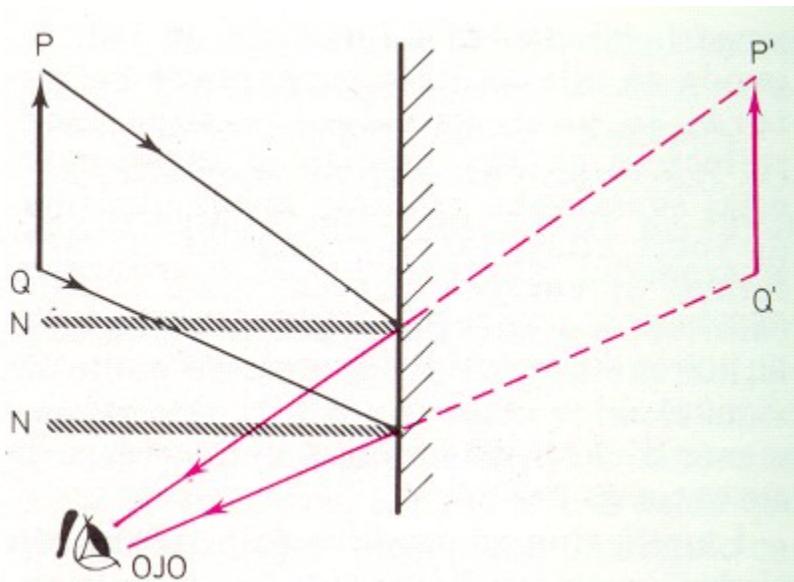


Figura 2.1.3 Imagen de un objeto en un espejo plano.

Espejos curvos. - Cuando una superficie especular no puede estar contenida en un plano se denomina espejo curvo. El estudio de la formación de imágenes en espejos curvos es más laborioso. Sin embargo, debe tenerse presente que el fenómeno que interviene en

este caso sigue siendo el de la reflexión y sus leyes se cumplen en todo momento.

Por razones de producción y de costos, la mayoría de las superficies especulares curvas con que se trabajan son esféricas. Por este motivo, la teoría que vamos a exponer se refiere a este tipo de superficies. Estos espejos se llaman espejos esféricos. Un espejo esférico puede ser cóncavo o convexo, según cual sea la cara reflectante.

En la Figura. 2.1.4 (A) está representado un espejo convexo. Conviene imaginar un espejo convexo como un casquete de esfera metálica muy pulida o de vidrio, plateado en su interior. El punto C es el centro de la esfera de la cual se ha obtenido el espejo; el punto F está a una distancia. $R/2$ del centro de la esfera y O es el punto donde se interseca el espejo en el eje principal. En lo sucesivo llamaremos a C centro geométrico, a F foco y a O centro óptico del espejo.

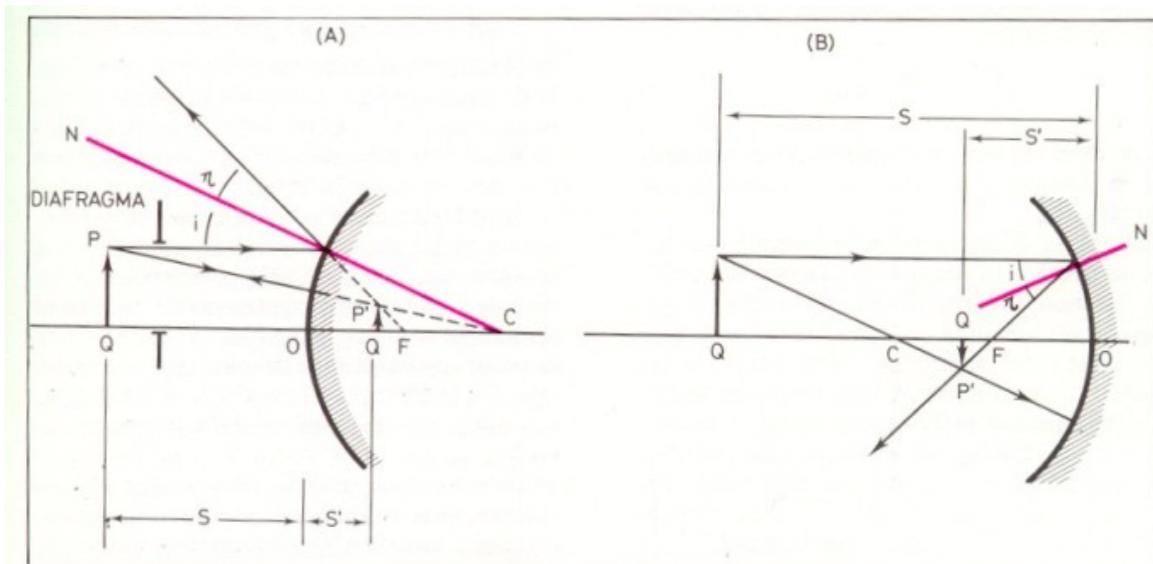


Figura 2.1.4 Formación de Imagen en espejos: (A) Convexo; (B) Cóncavo.

Las leyes de la refracción

La velocidad v , que lleva la luz al atravesar un medio material (aire, agua...) es característica de dicho medio y es siempre inferior a la velocidad en el vacío c . Cuando la luz pasa de un medio de propagación a otro sufre una desviación, a esa desviación se le llama *refracción*.

Cuando en un medio la velocidad de propagación de la luz es menor, se dice que es más *refringente*; así, la refringencia está ligada a la velocidad de propagación de la luz. En ciertos casos se habla de densidad óptica del medio; naturalmente, en un medio más refringente la densidad óptica es mayor.

La fig.2.1.5 representa un rayo luminoso incidiendo de un medio (1) menos refringente a uno (2) de mayor refringencia. En estos casos siempre una fracción del rayo incidente es reflejada. Se puede observar cómo el rayo incidente al pasar al medio (2), se acerca a la normal.

Ahora podemos enunciar las llamadas *leyes de la refracción*:

1. El rayo incidente, la normal y el rayo refractado están en el mismo plano.
2. El seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción es una constante para cada medio y se llama índice de refracción.

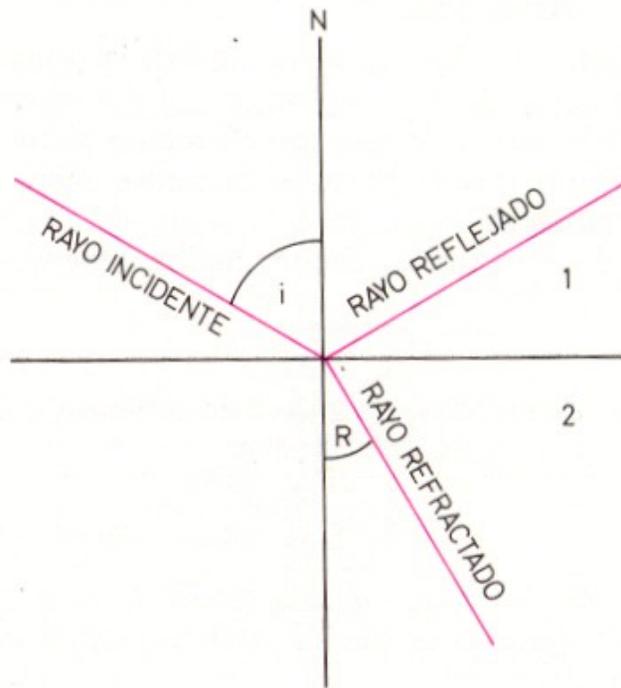


Figura 2.1.5 Las leyes de la refracción: (I) Angulo de incidencia;
(R) Angulo de refracción.

Reflexión total

Como se ha dicho, la luz, al pasar de un medio de menor refringencia a otro más refringente, sufre una desviación acercándose a la normal. Usando el principio de reversibilidad de los caminos ópticos, es fácil darse cuenta de que si la luz pasa de un medio más refringente a otro menos refringente se desvía alejándose de la normal. En la figura 2.1.6 (A) se han dibujado tres rayos luminosos provenientes de una fuente puntual y que pasan de un medio más refringente a uno menos refringente. Existe un ángulo de incidencia para el cual el ángulo de refracción es de 90° ; a ese ángulo se le llama ángulo límite.

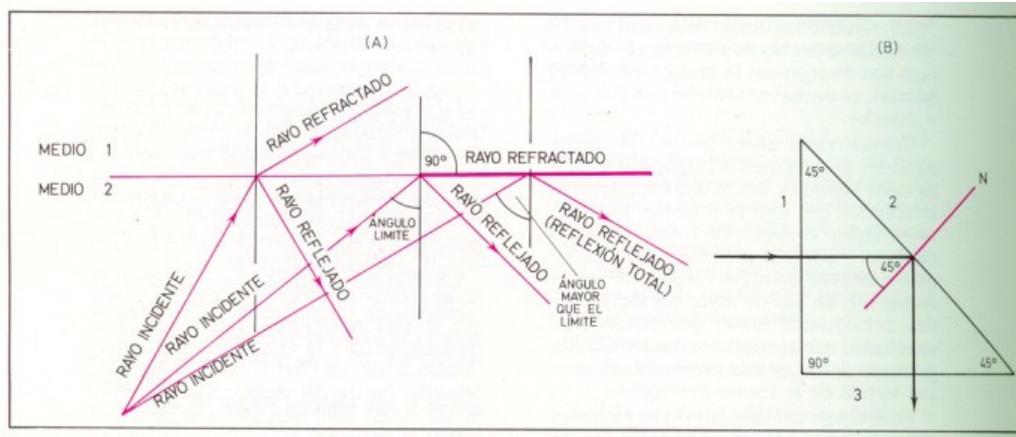


Figura 2.1.6 (A) Rayos luminosos pasando de un medio más denso a otro menos denso; (B) Prisma de reflexión total.

Dispersión

Como se ha dicho, la luz blanca es una mezcla de radiación electromagnética de varias longitudes de onda. En el vacío la velocidad de propagación de la luz no depende de su longitud de onda. Un medio de estas características se llama no dispersivo. Cuando la longitud de onda afecta muy poco la velocidad de propagación de la luz el medio se llama débilmente dispersivo. El aire es un medio débilmente dispersivo.

Haciendo uso de un medio altamente dispersivo se puede construir un dispositivo que al ser atravesado por luz blanca separe los componentes de ésta. En la fig. 2.1.7 aparece la sección transversal de un prisma equilátero. Un rayo de luz blanca incide en la superficie del prisma y, debido a que el ángulo de refracción es distinto para cada color, éstos se separan dentro del prisma, luego inciden en la otra cara sufriendo una nueva desviación, alejándose ahora de la normal, lo que hace aumentar aún más la separación de los rayos luminosos. Puesto que, como es fácil de demostrar, la desviación producida por el prisma aumenta al aumentar el índice de refracción,

la luz violeta es la más desviada, siendo la roja la menos desviada; todos los demás colores quedan en posiciones intermedias.

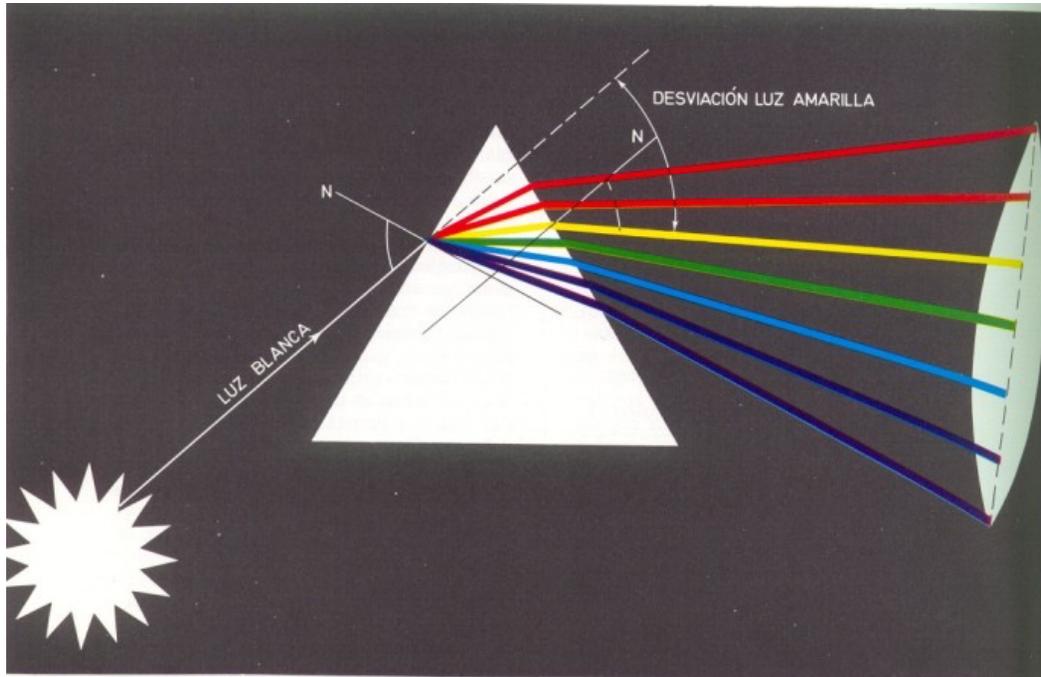


Figura 2.1.7 Dispersión producida por un prisma.

ÓPTICA FÍSICA

Si no considerásemos la luz como una onda electromagnética, nos sería imposible explicar los fenómenos de interferencia, dispersión, difracción y la polarización de la luz. La parte de la Óptica que estudia estos fenómenos se denomina Óptica Física.

Hemos dicho que la luz es una onda electromagnética. ¿Cómo es que no observamos, un fenómeno característico de las ondas, como es la interferencia?, ¿Cuál es la causa de que al encender dos bombillas de luz no aparezca el diagrama de máximos y mínimos característicos de este Fenómeno?

Si recordamos las ondas mecánicas, advertiremos que una de las condiciones fundamentales para que se produzca un diagrama de interferencias es que las fuentes de donde proceden las ondas sean coherentes, esto es, que emitan en fase o que su diferencia de fase sea constante; de no ocurrir esto, las líneas nodales del diagrama se desplazarían continuamente y no llegaría a observarse el diagrama, ya que el ojo humano es incapaz de seguir estas fluctuaciones.

La solución al problema de la coherencia la consiguió Young, utilizando dos haces de un mismo foco luminoso. En efecto, consideremos un frente de onda, al que hacemos pasar por dos ranuras sumamente estrechas (del orden de una longitud de onda) y próximas. Es sabido que, en este caso, cada ranura se comporta como una fuente puntual de acuerdo con el principio de Huygens y, como el frente de onda que llega a ambas ranuras es el mismo, es evidente que las dos fuentes así obtenidas están en fase. En la fig. 2.1.8 hacemos un estudio de la interferencia de las ondas luminosas que pasan a través de dos rendijas. En la fig. 2.1.8 A aparece primero una fuente puntual. Están representados, en dicha figura, los distintos frentes de onda propagándose hasta encontrar a las dos rendijas que se comportan, de acuerdo con las propiedades de las ondas, como dos fuentes puntuales emitiendo en fase.

En la fig. 2.1.8 B hemos trazado un eje por el punto medio entre las dos fuentes F_2 y F_3 , que corta a la pantalla en el punto O . La distancia que las ondas luminosas tienen que recorrer desde F_2 a O y desde F_3 a O son las mismas; por lo tanto, en la pantalla siempre habrá un máximo de luz asociado a ese punto, ya que las ondas llegan en concordancia de fase.

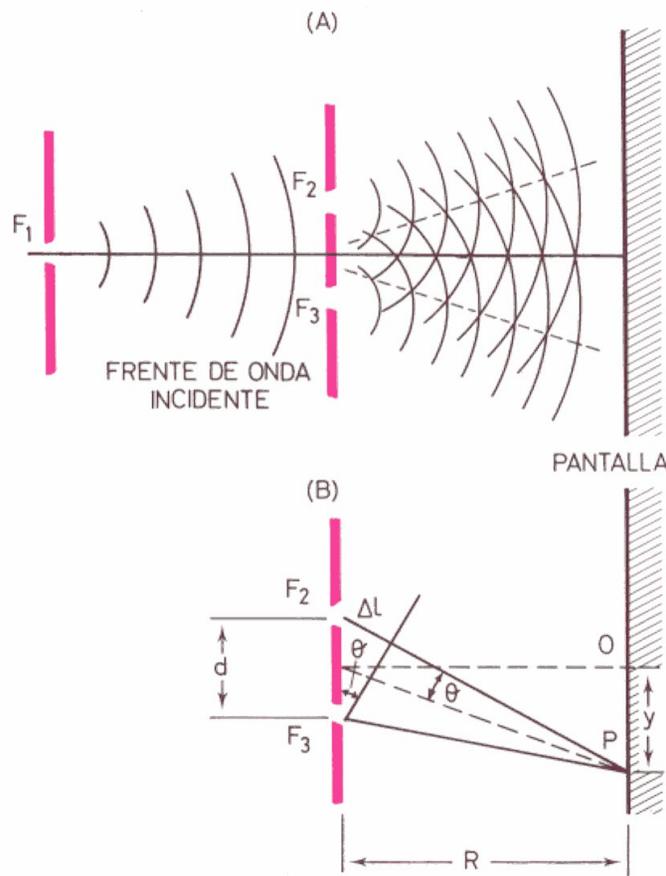


Fig. 2.1.8 Interferencia de ondas luminosas que pasan a través de dos rendijas

Difracción.

Los hechos principales observados en los fenómenos de difracción pueden predecirse con ayuda del principio de Huygens. De acuerdo con él, cada punto del frente de onda puede considerarse como el origen de una onda secundaria que se propaga en todas direcciones y, para encontrar el nuevo frente de onda, debemos sumar la contribución de cada uno de los frentes de onda secundarios en cada punto.

Para facilitar las cosas, consideremos una antena emitiendo ondas electromagnéticas. En la fig. 2.1.9 A se puede apreciar que el campo eléctrico oscila perpendicularmente a la dirección de propagación (hemos omitido el campo magnético para simplificar).

Observamos, además, que en todos los puntos de cualquier plano fijo en el espacio y perpendicular a la dirección de propagación de la luz el campo eléctrico oscila a lo largo de una línea vertical. Se dice, en este caso, que las ondas están linealmente polarizadas o simplemente que están polarizadas. En la figura 2.1.9 B se representa esquemáticamente la luz polarizada linealmente.

En la luz natural el campo eléctrico (y, por lo tanto, el campo magnético que actúa en dirección perpendicular) puede vibrar en todas las direcciones. Se dice que la luz natural no está polarizada. Figura 2.1.9 C.

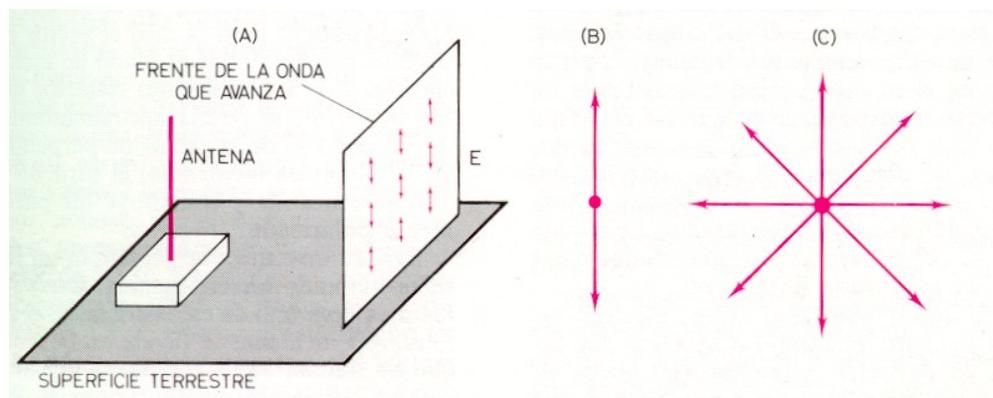


Figura 2.1.9 (A) Las ondas electromagnéticas radiadas por una antena están polarizadas linealmente. (B) Diagrama esquemático de luz polarizada linealmente. (C) Luz ordinaria.

Hay varios métodos para separar total o parcialmente de un haz de luz natural las vibraciones que tienen una dirección particular. Uno de ellos consiste en usar el conocido fenómeno de la reflexión. Cuando la luz natural incide sobre una superficie reflectante, se observa que existe reflexión preferente para aquellas ondas en las cuales el vector eléctrico vibra perpendicularmente al plano de incidencia (constituye una excepción el caso de incidencia normal, en el cual todas las direcciones de polarización se reflejan igualmente). Para un ángulo de incidencia particular, llamado ángulo de polarización, no se refleja más luz que aquella para la cual el vector eléctrico es perpendicular al plano de incidencia (fig. 2.1.10). Si el elemento reflector de la luz es vidrio, se refleja aproximadamente un 15 por 100 de la radiación perpendicular al plano de incidencia; el otro 85 por 100 se transmite y constituye luz parcialmente polarizada.

Existen cristales que presentan un fenómeno llamado birrefringencia. Cuando la luz atraviesa uno de estos cristales, el rayo luminoso incidente se divide en dos rayos que se llaman rayo ordinario y extraordinario, respectivamente.

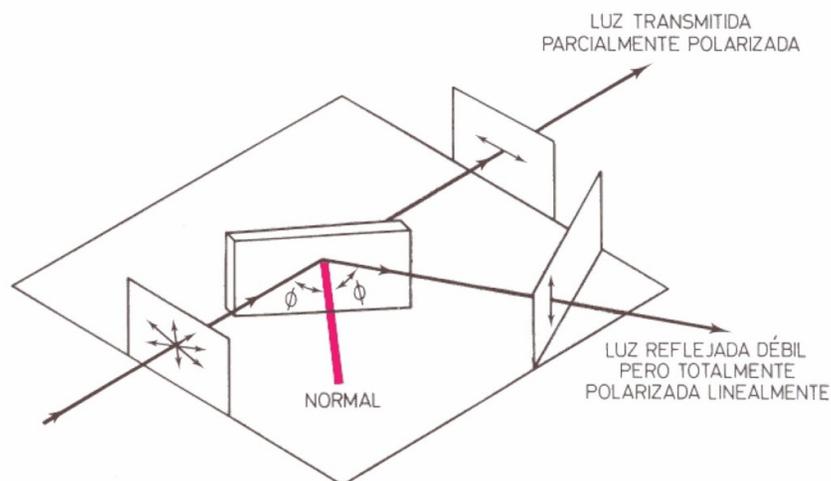


Figura 2.1.10 Cuando la luz incide bajo el ángulo de polarización, la luz reflejada está polarizada linealmente.

