

# Clases 17 & 18

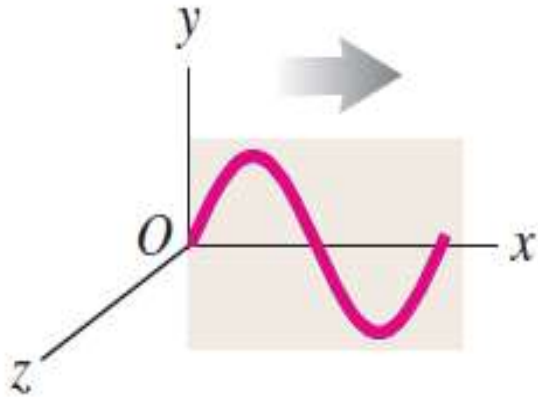
# Polarización

Cátedra: Diego Arbó

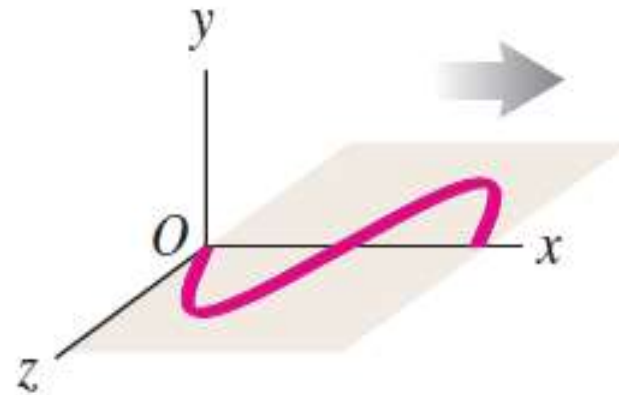
La luz es una onda transversal: La dirección de la onda es perpendicular a la dirección de propagación.

a) Onda transversal linealmente polarizada en la dirección  $y$

$$\vec{E}(x, t) = \hat{j}E_{\text{máx}} \cos(kx - \omega t)$$



b) Onda transversal linealmente polarizada en la dirección  $z$

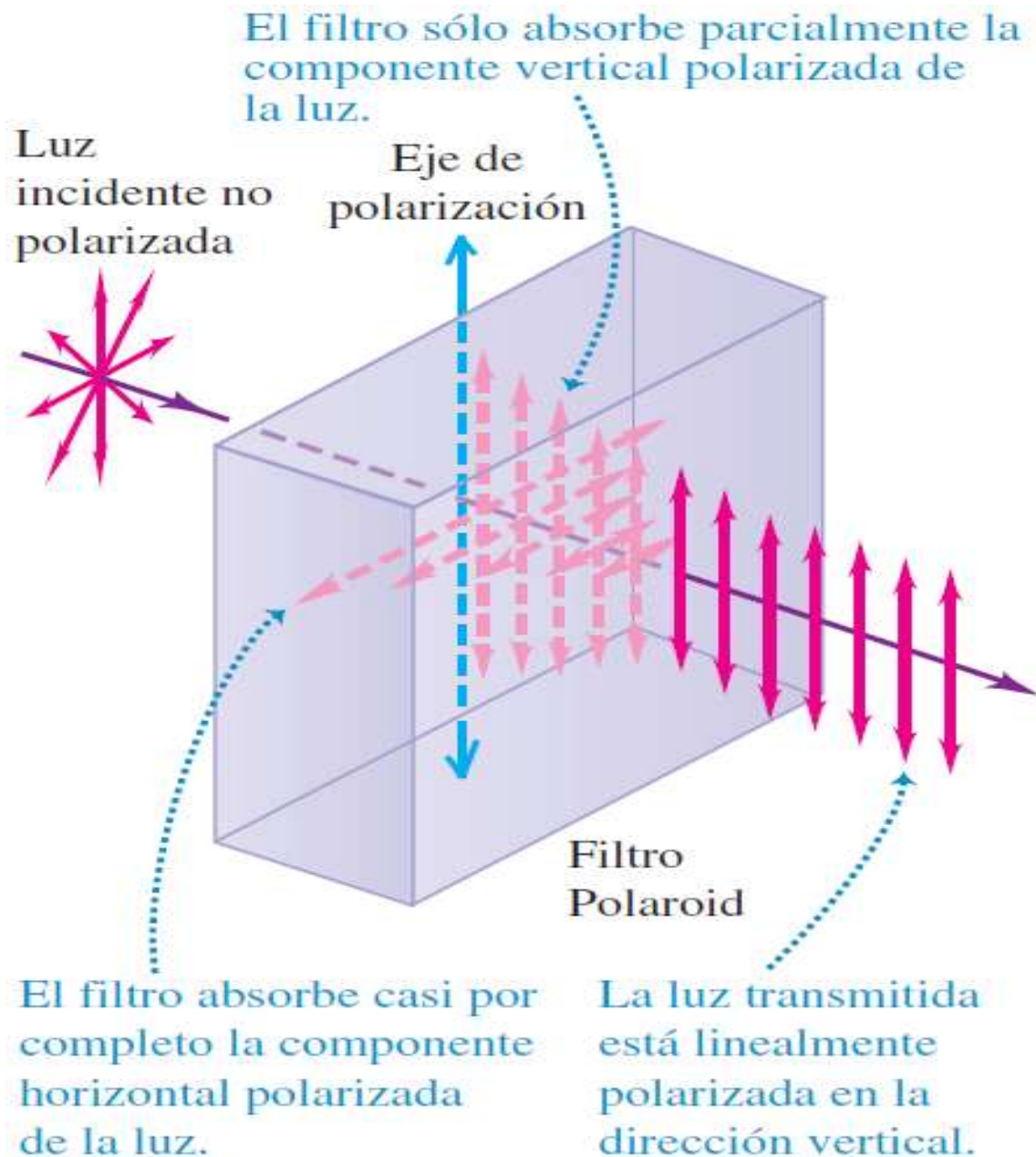


### Luz no polarizada:

La orientación es al azar y durante tiempos extremadamente cortos: femtosegundos ( $10^{-15}$  s).

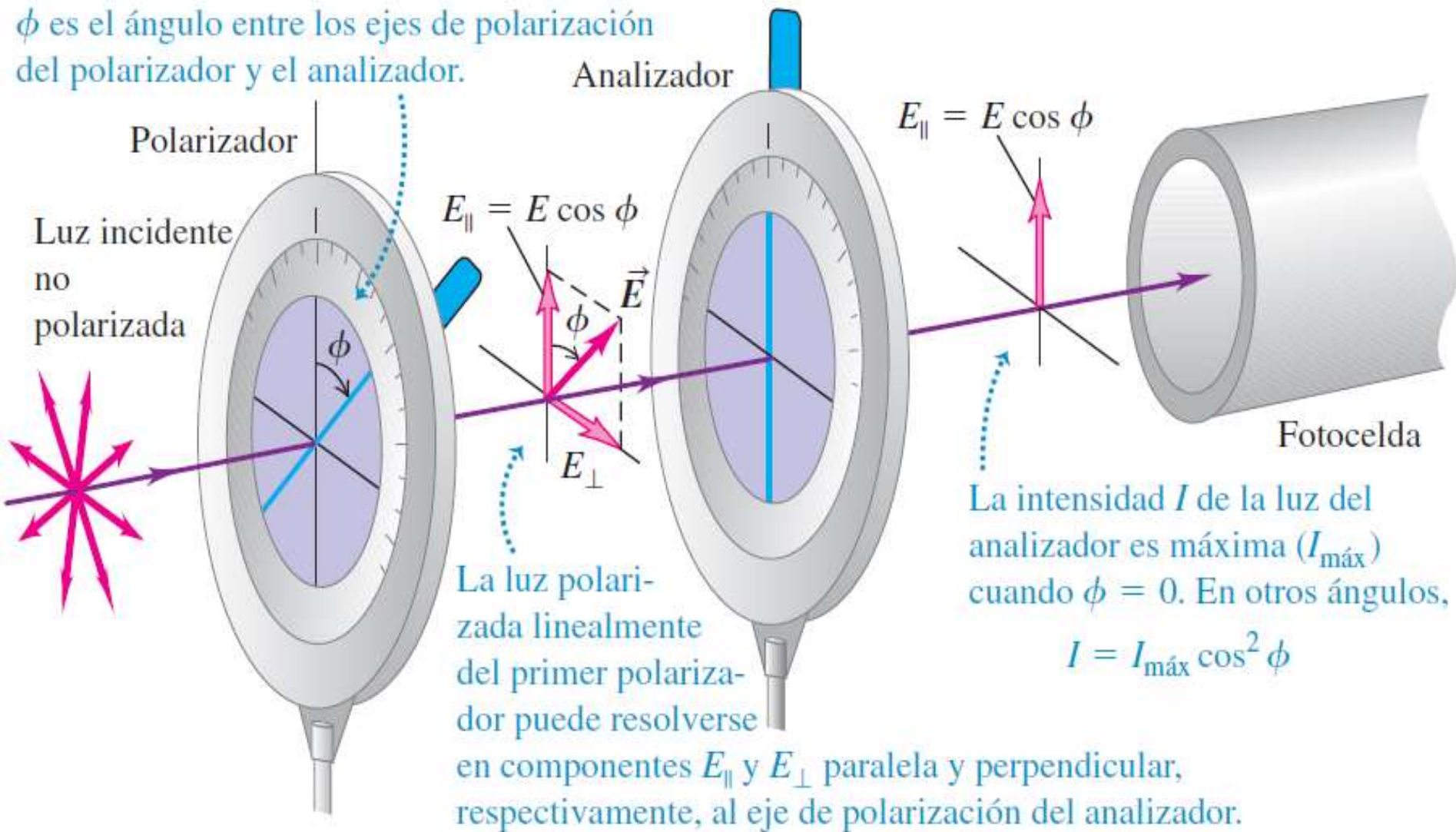
Esto hace que en la práctica tome todas las direcciones. Luz natural.

# Polarización por absorción selectiva



# Ley de Malus

$\phi$  es el ángulo entre los ejes de polarización del polarizador y el analizador.



Ejemplo:

La luz incidente no polarizada tiene intensidad  $I_0$ . Determine las intensidades transmitidas por los polarizadores primero y segundo si el ángulo entre los ejes de los dos filtros es de  $30^\circ$ .

La intensidad de la luz linealmente polarizada transmitida por el primer filtro es  $I_0/2$ . De acuerdo con la ley de Malus con  $\phi = 30^\circ$ , el segundo filtro reduce la intensidad en un factor de  $\cos^2 30^\circ = 3/4$ . Por lo tanto, la intensidad transmitida por el segundo polarizador es

$$I = I_{\text{máx}} \cos^2 \phi = \left(\frac{I_0}{2}\right) \left(\frac{3}{4}\right) = \frac{3}{8} I_0$$

La intensidad disminuye después de cada paso a través de un polarizador.

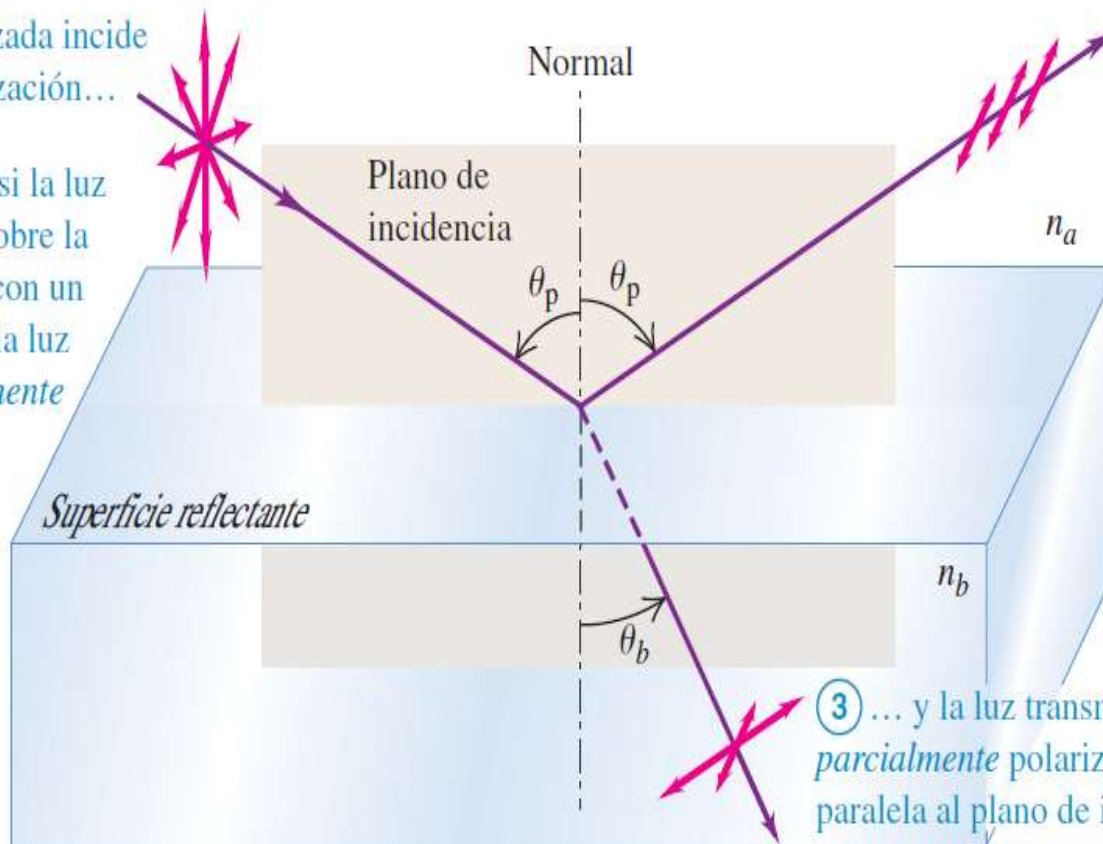
La única situación en la que la intensidad transmitida *no* disminuye es aquella en que el polarizador es ideal (de manera que no absorbe nada de la luz que pasa a través de él) y la luz incidente está linealmente polarizada a lo largo del eje de polarización, de manera que  $\phi = 0^\circ$ .



# Polarización por reflexión

① Si la luz no polarizada incide en el ángulo de polarización...

④ Alternativamente, si la luz no polarizada incide sobre la superficie reflectante con un ángulo distinto de  $\theta_p$ , la luz reflejada está *parcialmente* polarizada.



② ... entonces, la luz reflejada está polarizada al 100% en dirección perpendicular al plano de incidencia...

③ ... y la luz transmitida está *parcialmente* polarizada en dirección paralela al plano de incidencia.

Hay un ángulo particular  $\theta_p$  que no refleja nada de luz linealmente polarizada en el plano de incidencia. Brewster se dio cuenta que el ángulo entre el rayo reflejado y el transmitido es de  $90^\circ$

$$\theta_b = 90^\circ - \theta_p$$

$$n_a \text{sen} \theta_p = n_b \text{sen} \theta_b$$



$$n_a \text{sen} \theta_p = n_b \text{sen}(90^\circ - \theta_p) = n_b \text{cos} \theta_p$$

$$\tan \theta_p = \frac{n_b}{n_a} \quad (\text{ley de Brewster para el ángulo de polarización})$$

## Birrefringencia

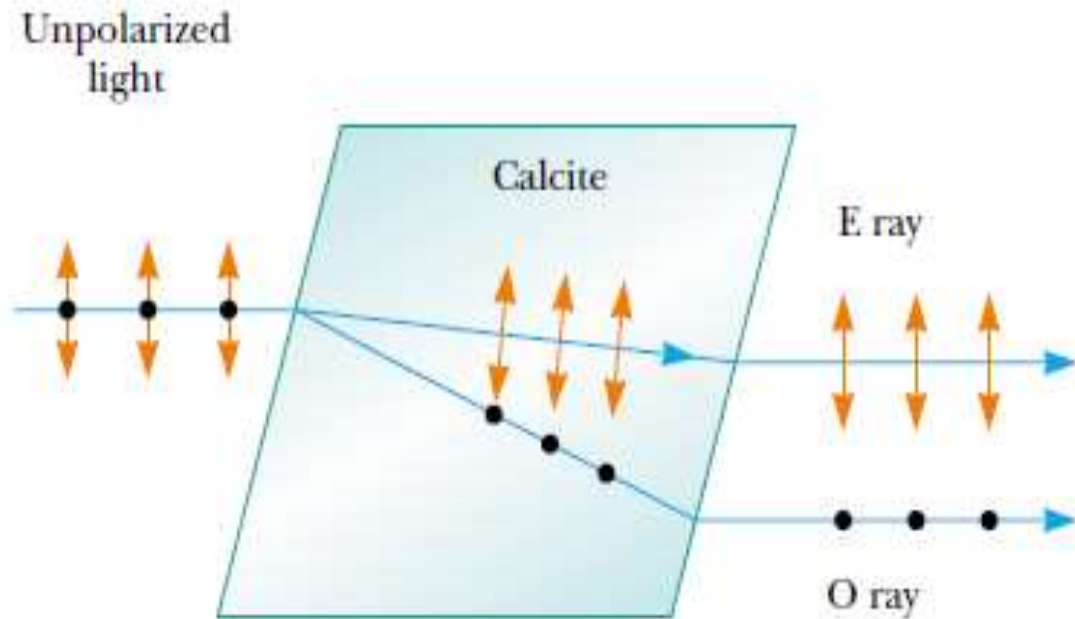
Un cristal de calcita produce una imagen doble porque es un material birrefringente





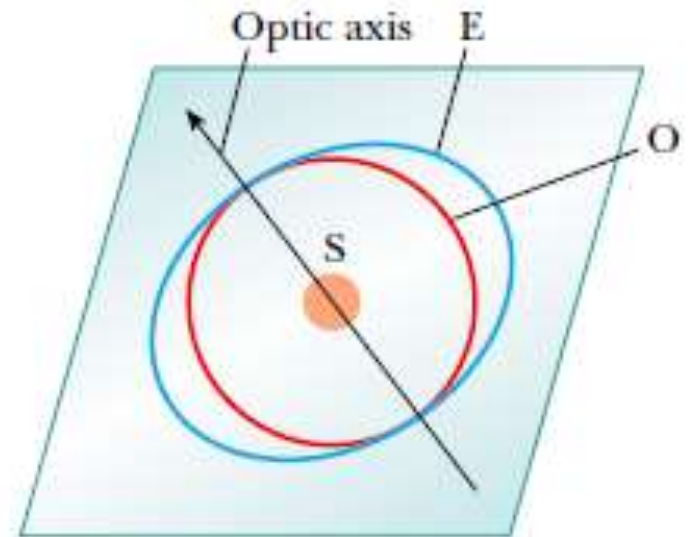
Luz no polarizada incidente sobre un cristal de calcita se separa en un rayo ordinario (O) y un rayo extraordinario (E).

Estos dos rayos están polarizados en direcciones perpendiculares entre sí.



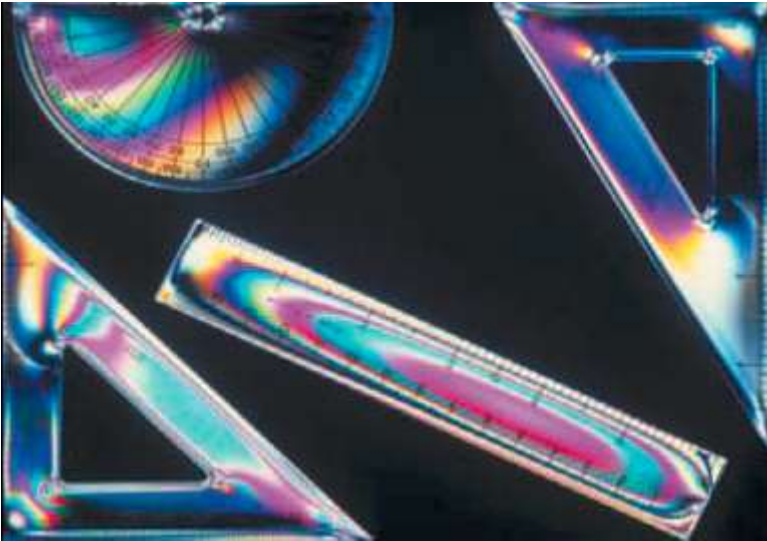
Una fuente puntual S dentro de un cristal birrefringente produce un frente de onda esférico correspondiente al rayo ordinario y un frente de onda elíptico correspondiente al rayo extraordinario.

Las dos ondas se propagan con la misma velocidad a lo largo del eje óptico.



Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ):  $n_O = 1.658$  y  $n_E = 1.486$  1.116

## Fotoelasticidad



Algunos materiales ópticos que normalmente no tienen birrefringencia, adquieren esta propiedad cuando se someten a esfuerzo mecánico.

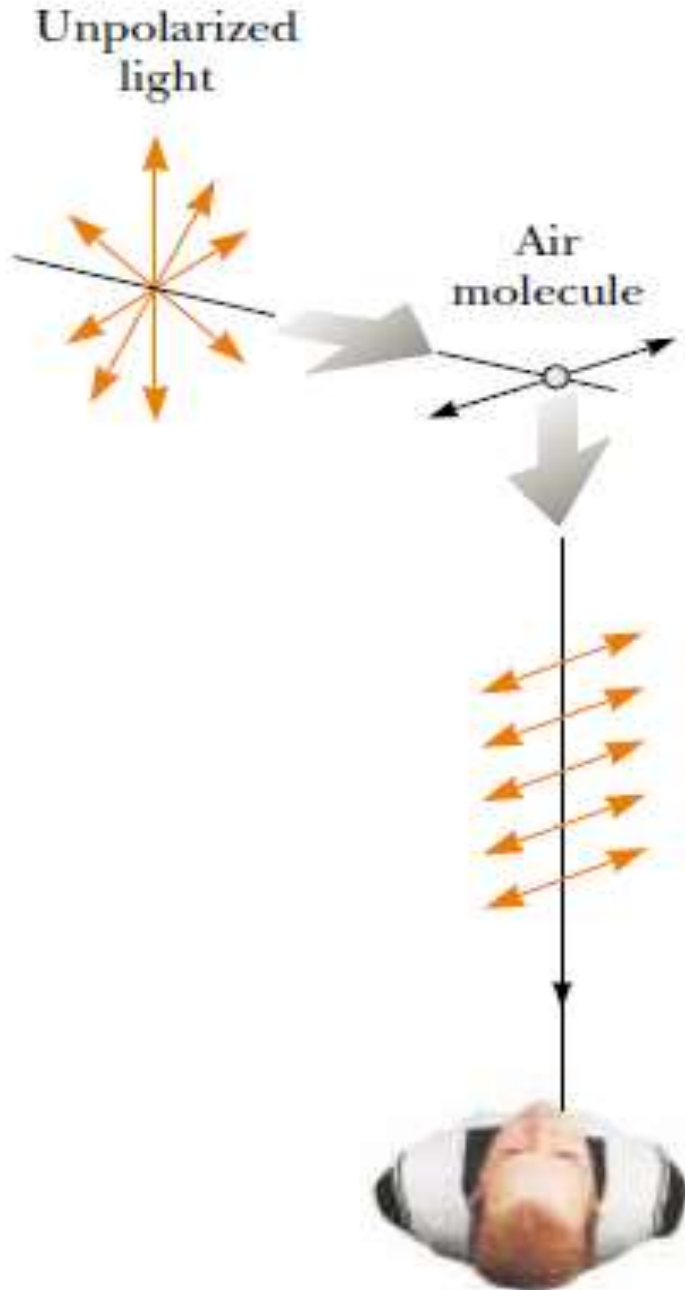
La luz polarizada que entra al modelo se puede concebir como si tuviera una componente a lo largo de las dos direcciones del plástico birrefringente.

Como estas dos componentes viajan a través del plástico con diferente rapidez, la luz que sale por el otro lado del modelo puede tener una dirección general distinta de polarización.

Entonces, algo de esta luz transmitida será capaz de pasar a través del analizador aun cuando su eje de polarización forme un ángulo de  $90^\circ$  con el eje del polarizador, y las áreas sometidas a esfuerzo en el plástico aparecerán como puntos brillantes.

La cantidad de birrefringencia es distinta para longitudes de onda diferentes; de ahí los distintos colores de luz.

## Polarización por dispersión



Dispersión de luz del sol no polarizada por moléculas de aire.

La luz dispersada que viaja perpendicular a la luz incidente es linealmente polarizada porque las vibraciones verticales de las cargas en las moléculas de aire no envían luz en esta dirección.

La intensidad relativa de la luz dispersada varía como  $1/\lambda^4$ . Entonces las longitudes de onda cortas (azul) son dispersadas más eficientemente que las largas (rojo).

Entonces, cuando la luz del sol es dispersada por las moléculas de aire, la radiación azul se dispersa más intensamente que la radiación roja.

# Actividad óptica

Un material es ópticamente activo si rota el plano de polarización de la luz transmitida a través del material.

El ángulo de rotación depende de la longitud del camino a través del material, de la concentración del material si está en solución.

Un material ópticamente activo es una solución de dextrosa (azúcar).

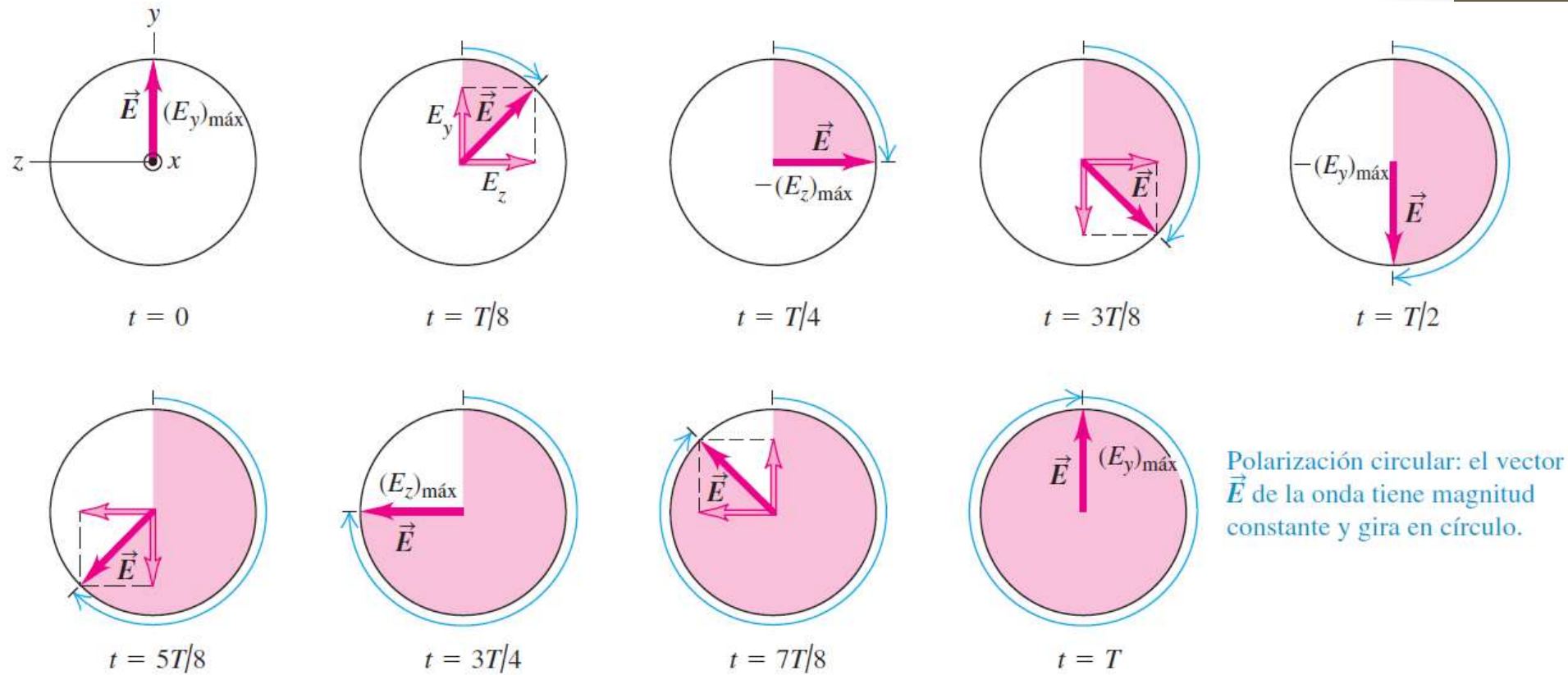
Un método estándar para determinar la concentración de soluciones azucaradas es medir la rotación producida por una longitud fija de solución.

La asimetría molecular determina si un material es ópticamente activo. Por ejemplo, algunas proteínas son ópticamente activas debido a su forma de espiral.

# Polarización circular y elíptica

Sumo dos ondas de igual amplitud linealmente polarizadas en  $z$  y en  $y \Rightarrow$  luz linealmente polarizada a  $45^\circ$ .

Si están desfasadas en un cuarto de ciclo  $\Rightarrow$  luz circularmente polarizada.



Si la amplitud es distinta o si están desfasadas en un valor distinto a un cuarto de ciclo  $\Rightarrow$  luz elípticamente polarizada.