

Polarización de la Luz

Laboratorio 2

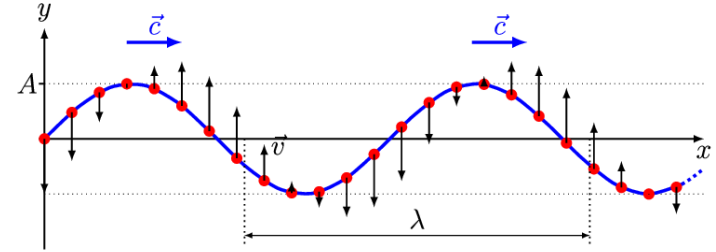


1er Cutrimestre 2025

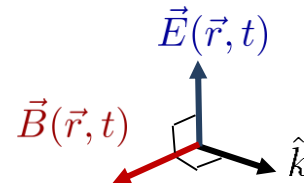
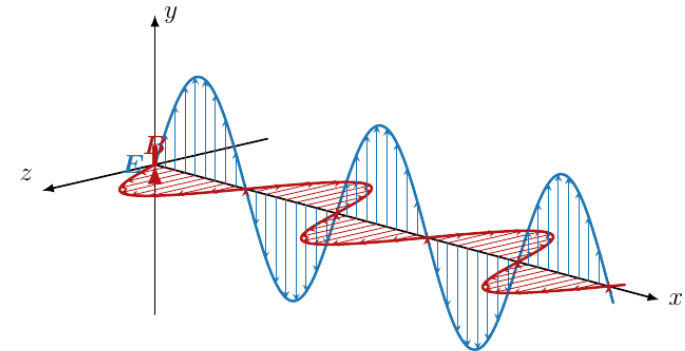


Naturaleza de la Luz

- Es un fenómeno ondulatorio transversal descrito por las variaciones espacio-temporales de 2 campos vectoriales: Onda electromagnética
- Esta descrita por la ecuación de ondas vectorial:
- El campo eléctrico y el magnético oscilan en un plano perpendicular a la dirección de propagación y son ortogonales entre si



$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$



Polarización de la Luz

- La orientación del vector campo eléctrico a medida que la onda avanza es lo que define su estado de **polarización**
- Consideremos solo $\vec{E}$. Una onda que se propaga según z

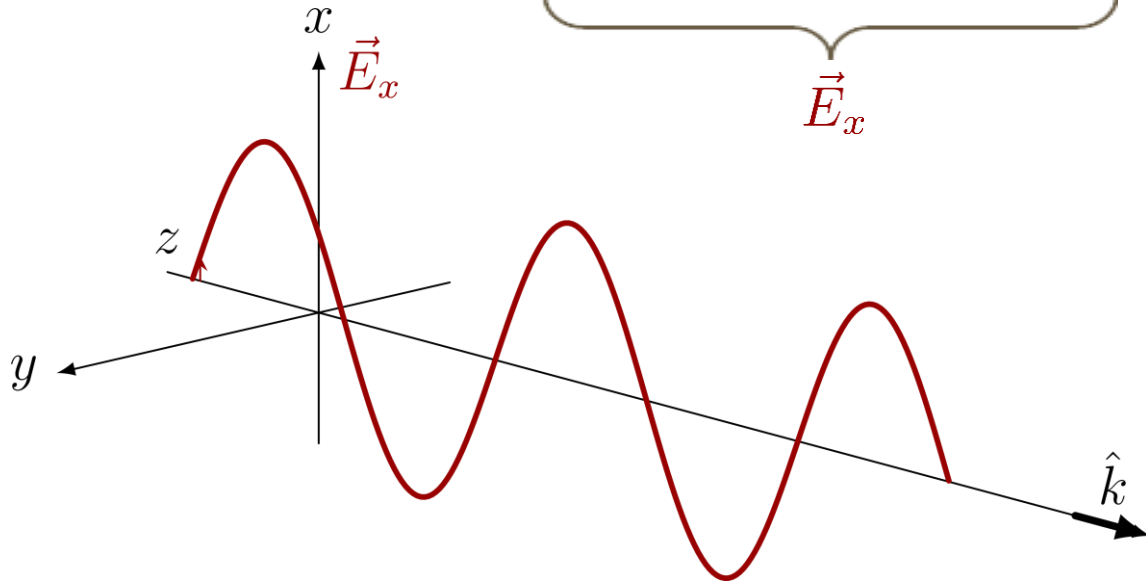
$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Polarización de la Luz

- La orientación del vector campo eléctrico a medida que la onda avanza es lo que define su estado de **polarización**
- Consideremos solo $\vec{E}$. Una onda que se propaga según z

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{E}(z, t) = E_{ox} \cos(\underbrace{\kappa z - \omega t + \phi_x}_{\vec{E}_x}) \hat{x}$$



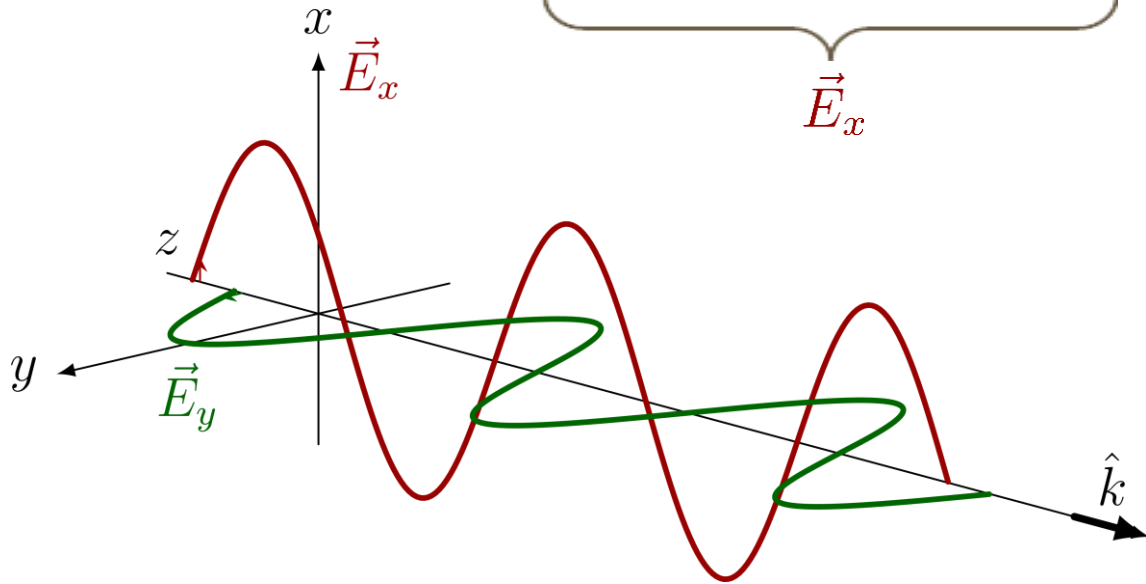
Polarización de la Luz

- La orientación del vector campo eléctrico a medida que la onda avanza es lo que define su estado de **polarización**
- Consideremos solo $\vec{E}$. Una onda que se propaga según z

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{E}(z, t) = \underbrace{E_{ox} \cos(\kappa z - \omega t + \phi_x)}_{\vec{E}_x} \hat{x} + \underbrace{E_{oy} \cos(\kappa z - \omega t + \phi_y)}_{\vec{E}_y} \hat{y}$$

$$\phi = \phi_y - \phi_x ; \text{ Fase de polarización}$$



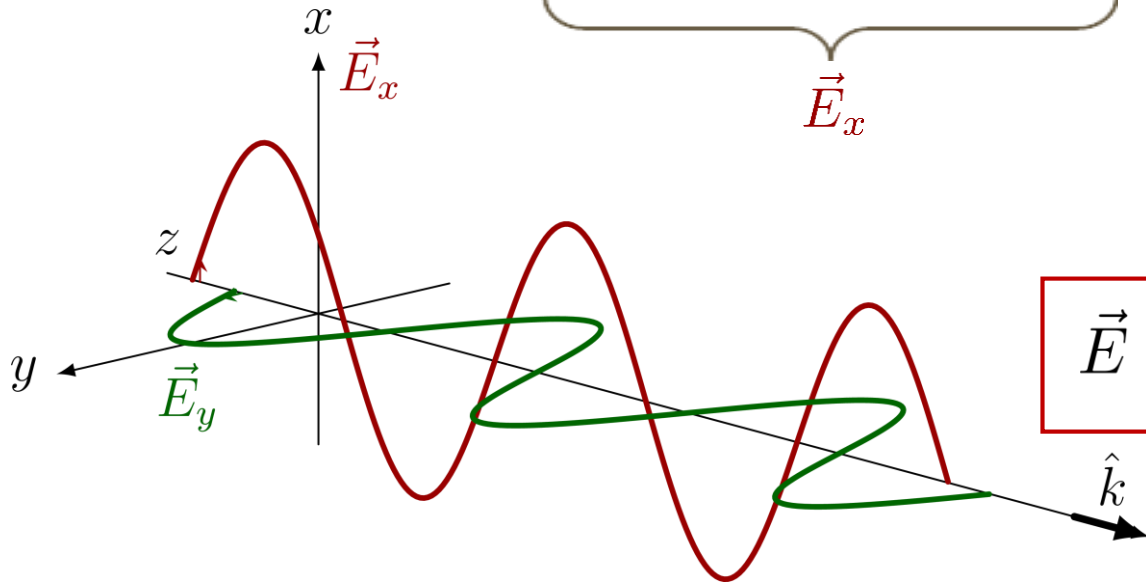
Polarización de la Luz

- La orientación del vector campo eléctrico a medida que la onda avanza es lo que define su estado de **polarización**
- Consideremos solo $\vec{E}$. Una onda que se propaga según z

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{E}(z, t) = \underbrace{E_{ox} \cos(\kappa z - \omega t + \phi_x)}_{\vec{E}_x} \hat{x} + \underbrace{E_{oy} \cos(\kappa z - \omega t + \phi_y)}_{\vec{E}_y} \hat{y}$$

$$\phi = \phi_y - \phi_x ; \text{ Fase de polarización}$$



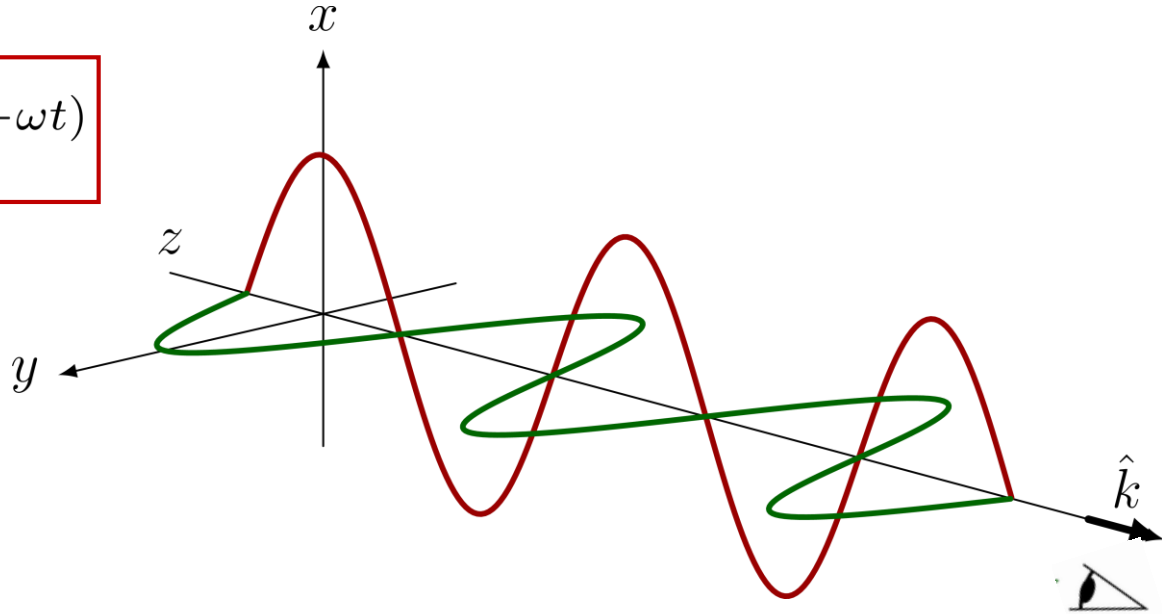
$$\vec{E} = e^{i\phi_x} \left(E_{ox} \hat{x} + e^{i\phi} E_{oy} \hat{y} \right) e^{i(kz - \omega t)}$$

¿En que dirección apunta ?

Polarización Lineal

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$E_{ox} \neq E_{oy}; \phi = 2m\pi$
m : múltiplos enteros

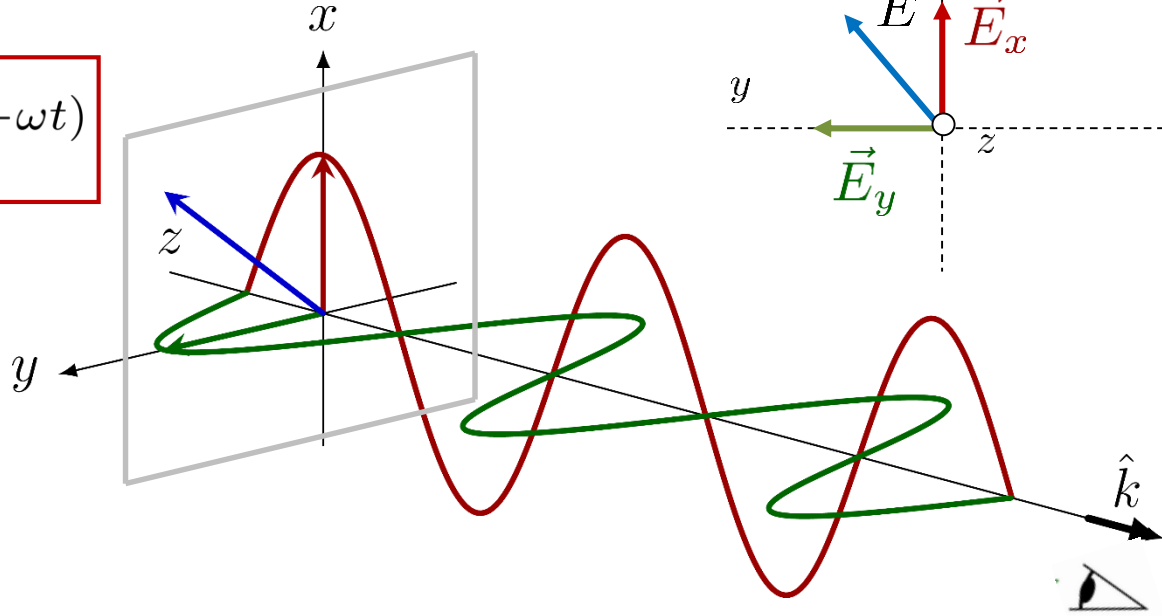


$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$E_{ox} \neq E_{oy}; \phi = 2m\pi$
m : múltiplos enteros



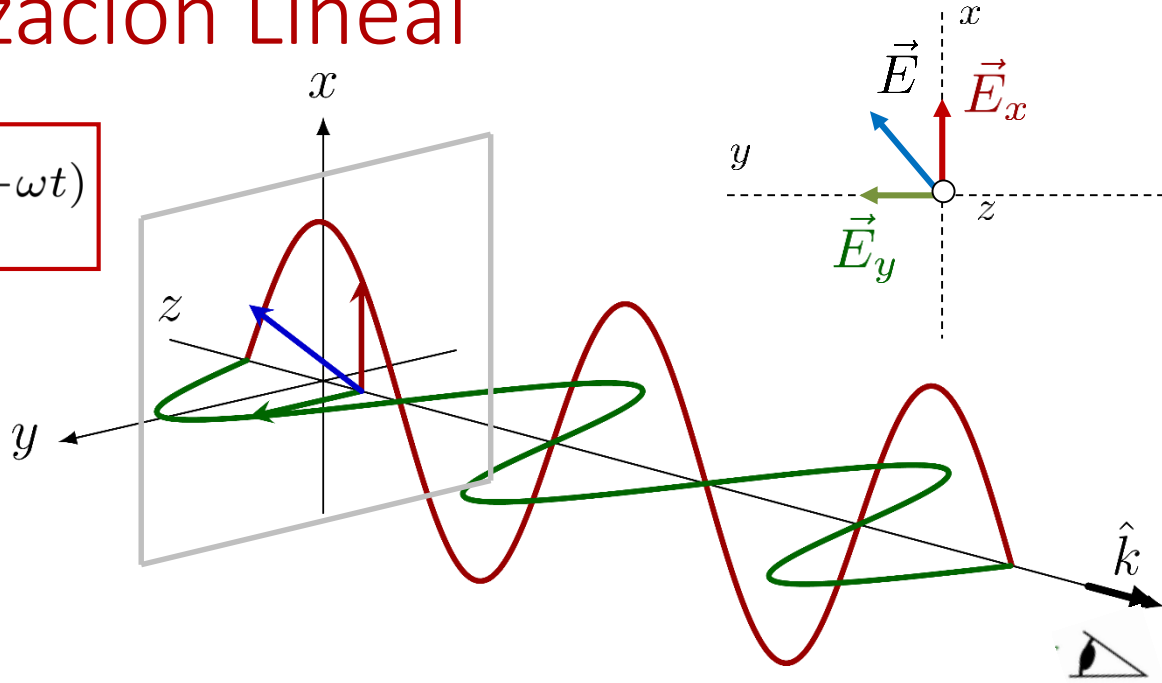
$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} \neq E_{oy}; \phi = 2m\pi$$

m : múltiplos enteros

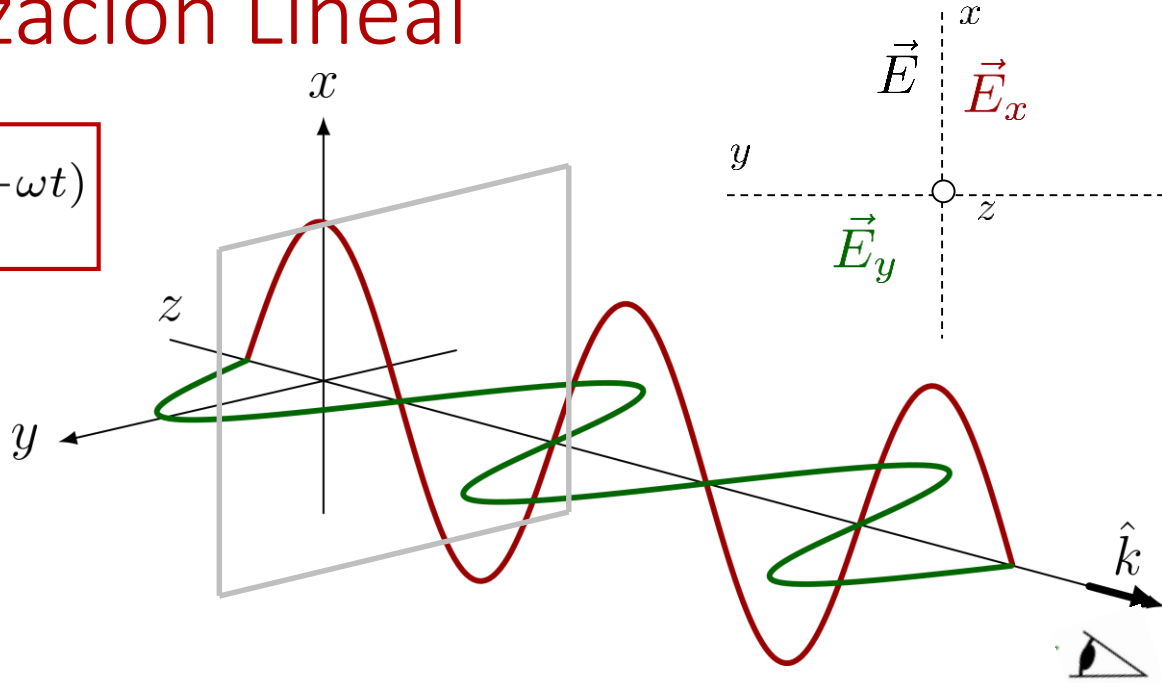


$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$E_{ox} \neq E_{oy}; \phi = 2m\pi$
 m : múltiplos enteros

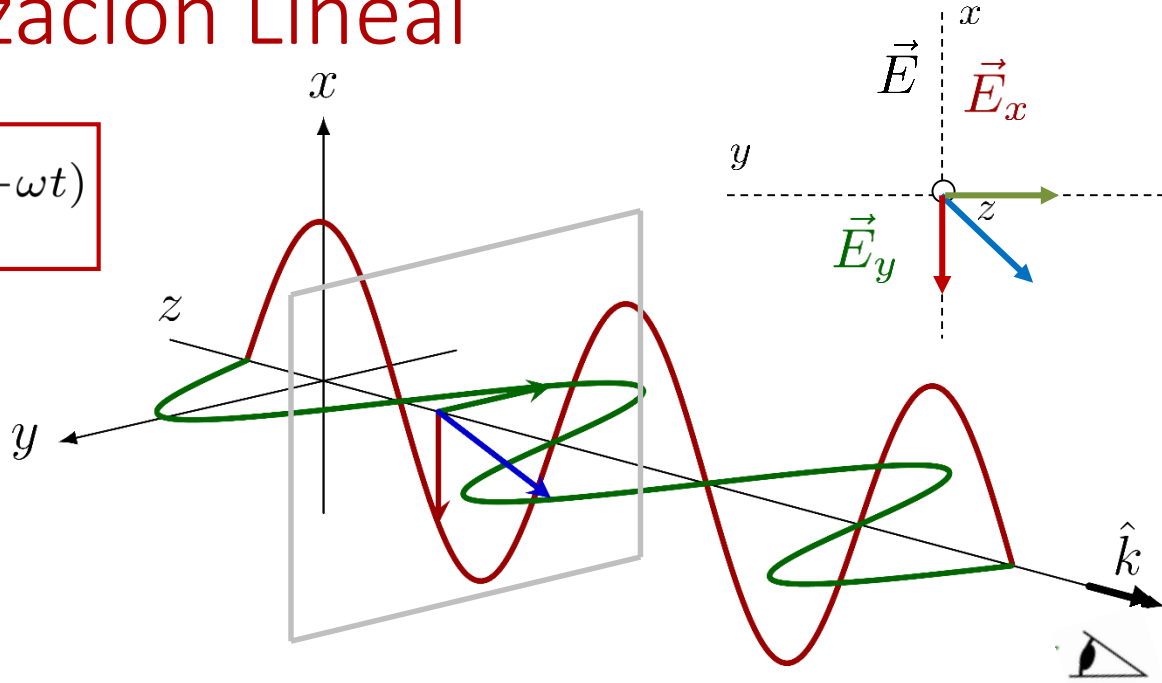


$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$E_{ox} \neq E_{oy}; \phi = 2m\pi$
m : múltiplos enteros

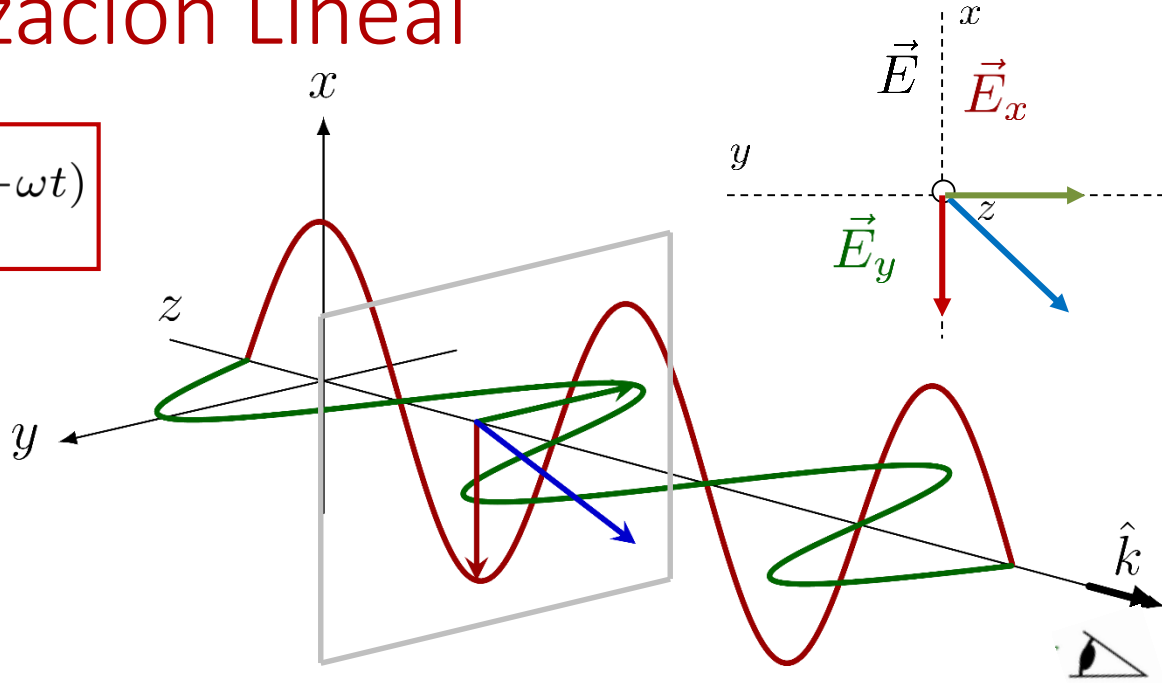


$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$E_{ox} \neq E_{oy}; \phi = 2m\pi$
m : múltiplos enteros

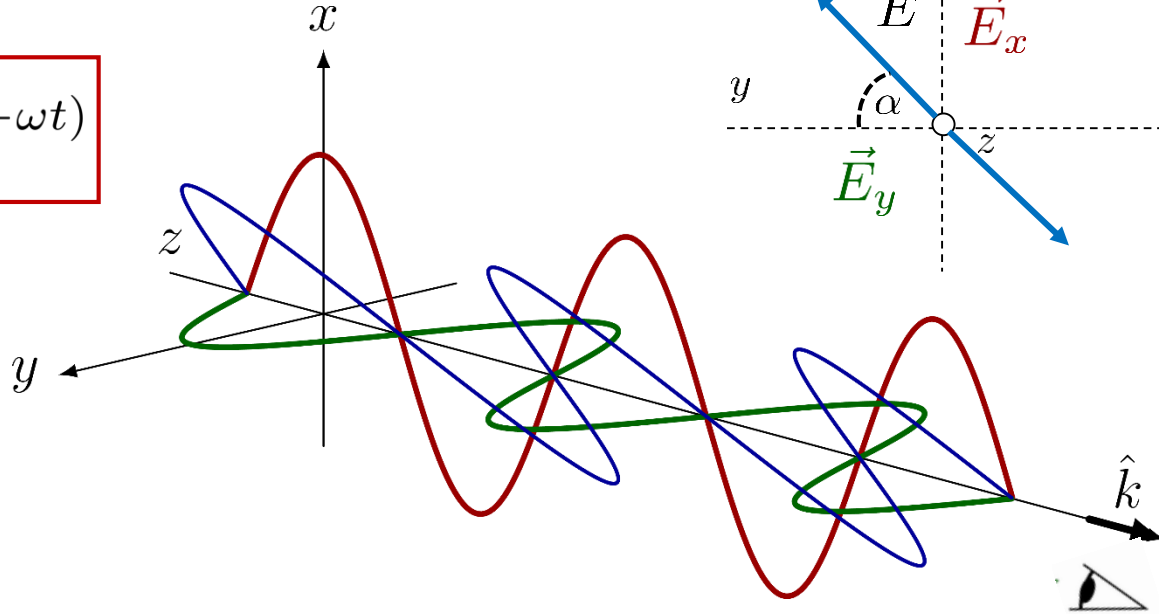
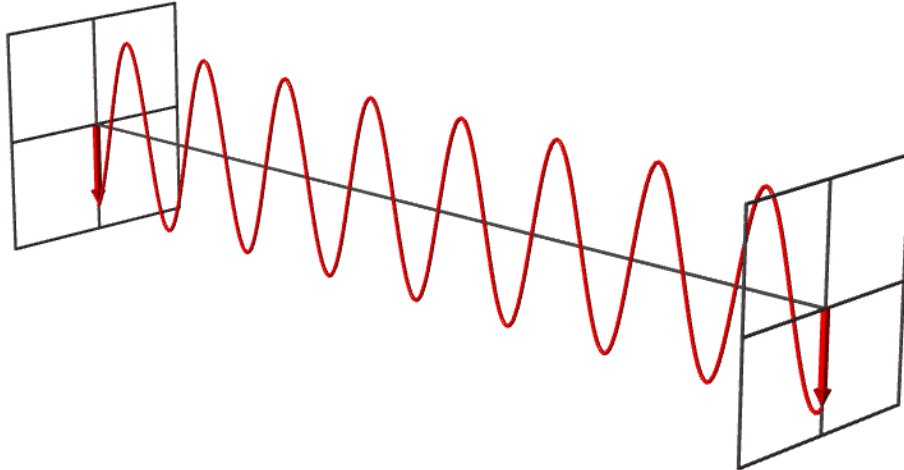


$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$E_{ox} \neq E_{oy}; \phi = 2m\pi$
 m : múltiplos enteros



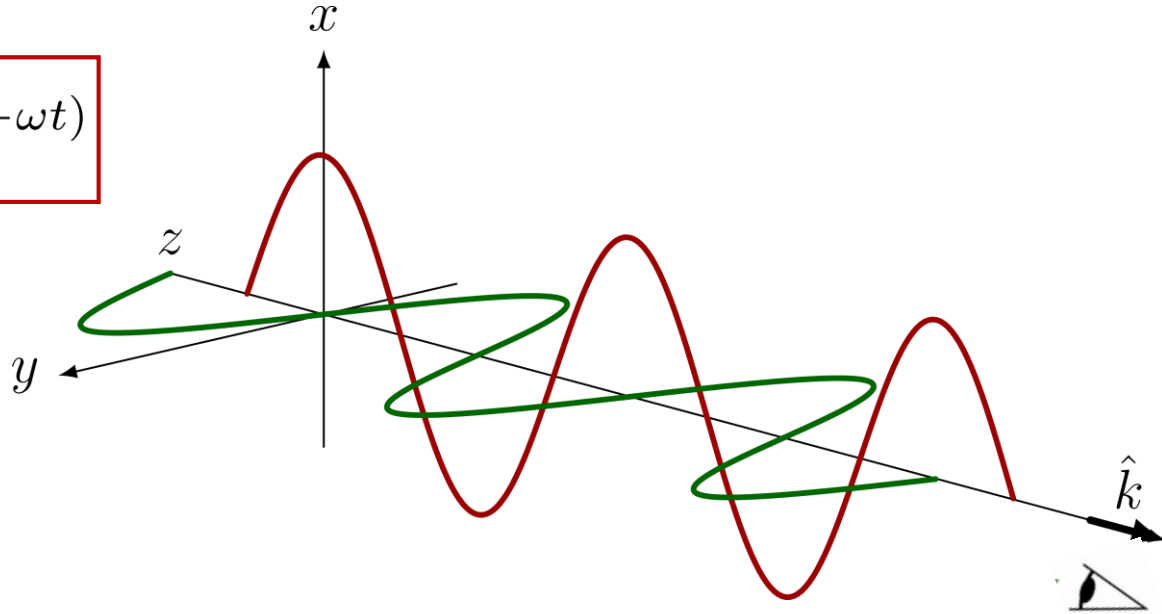
$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{E_{ox}}{E_{oy}}\right)$$

Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$
m : múltiplos enteros

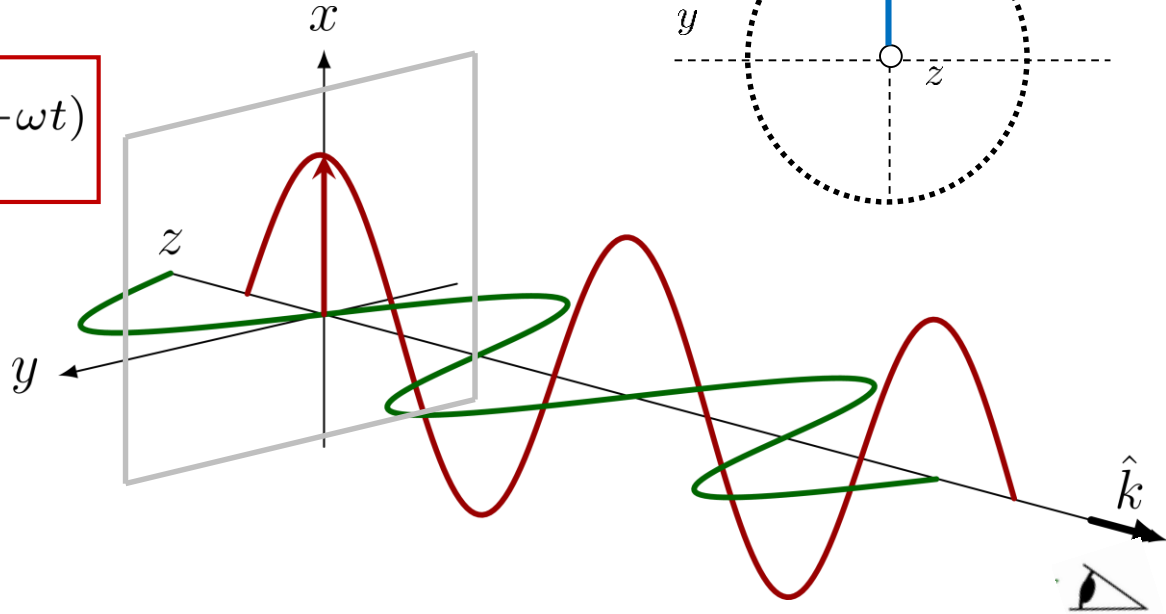


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

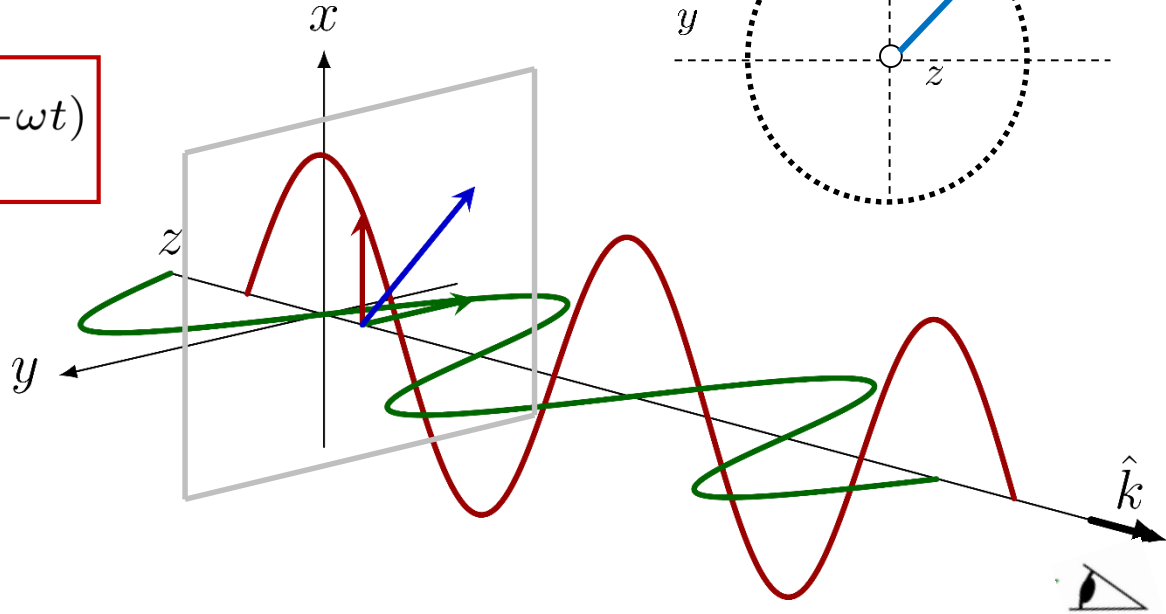


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

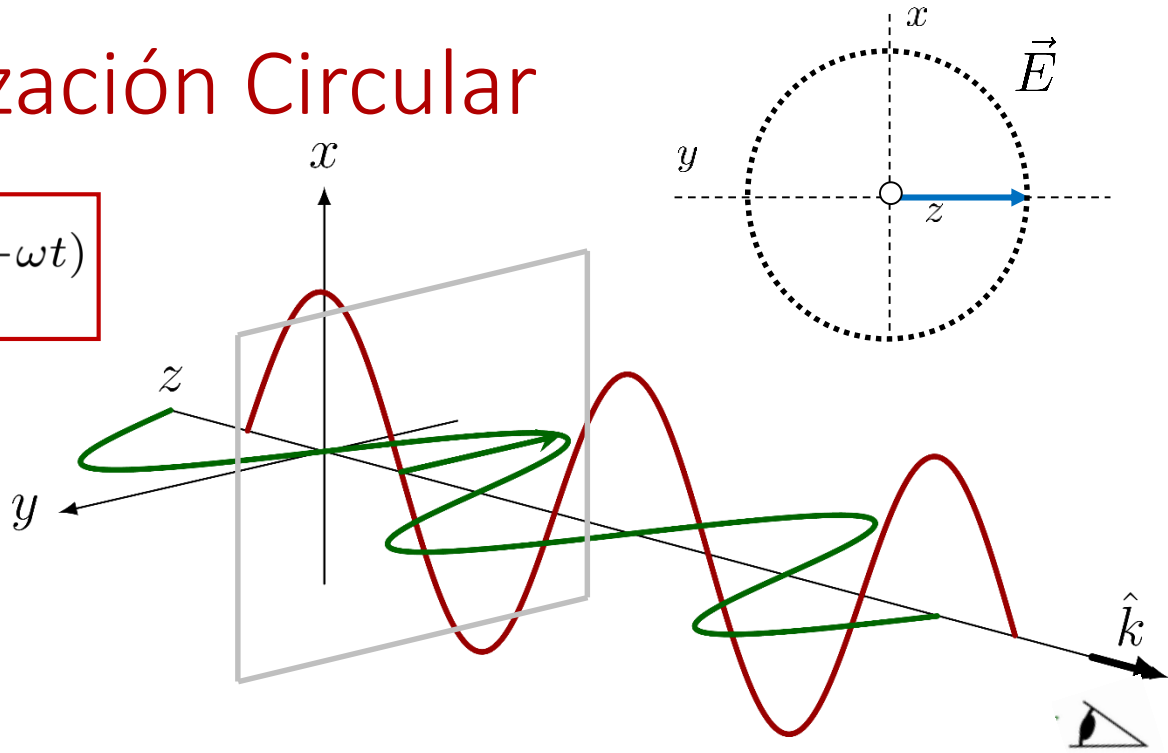


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

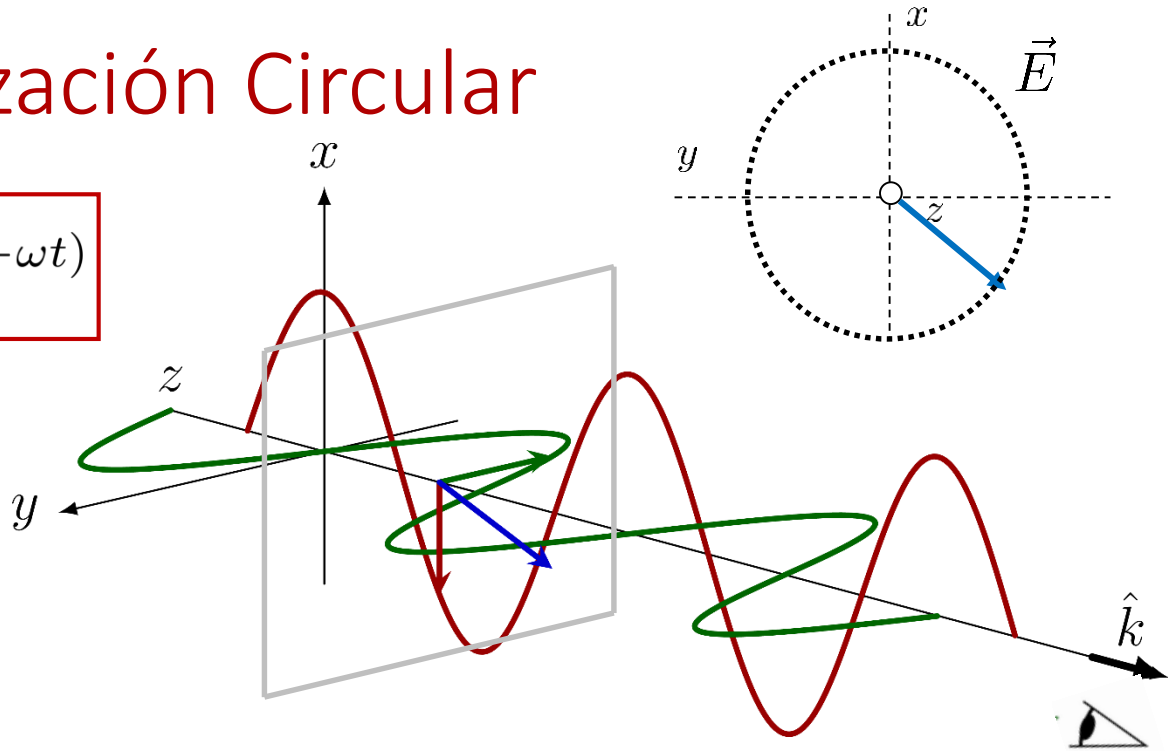


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

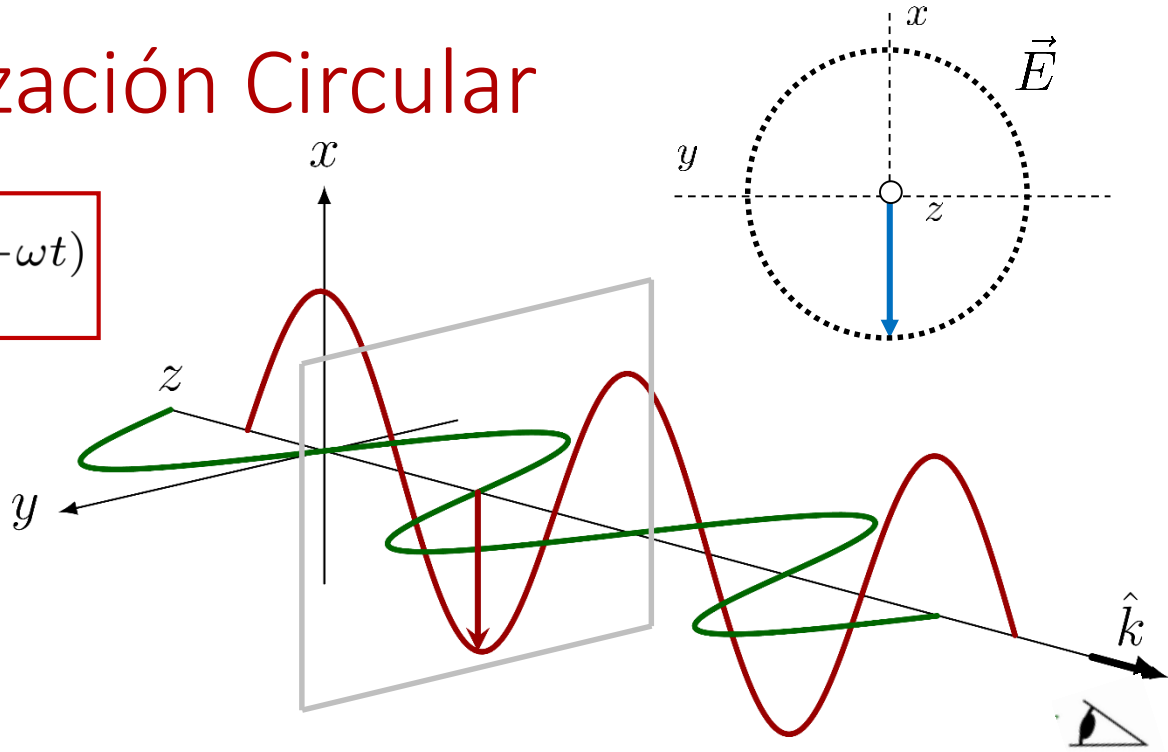


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

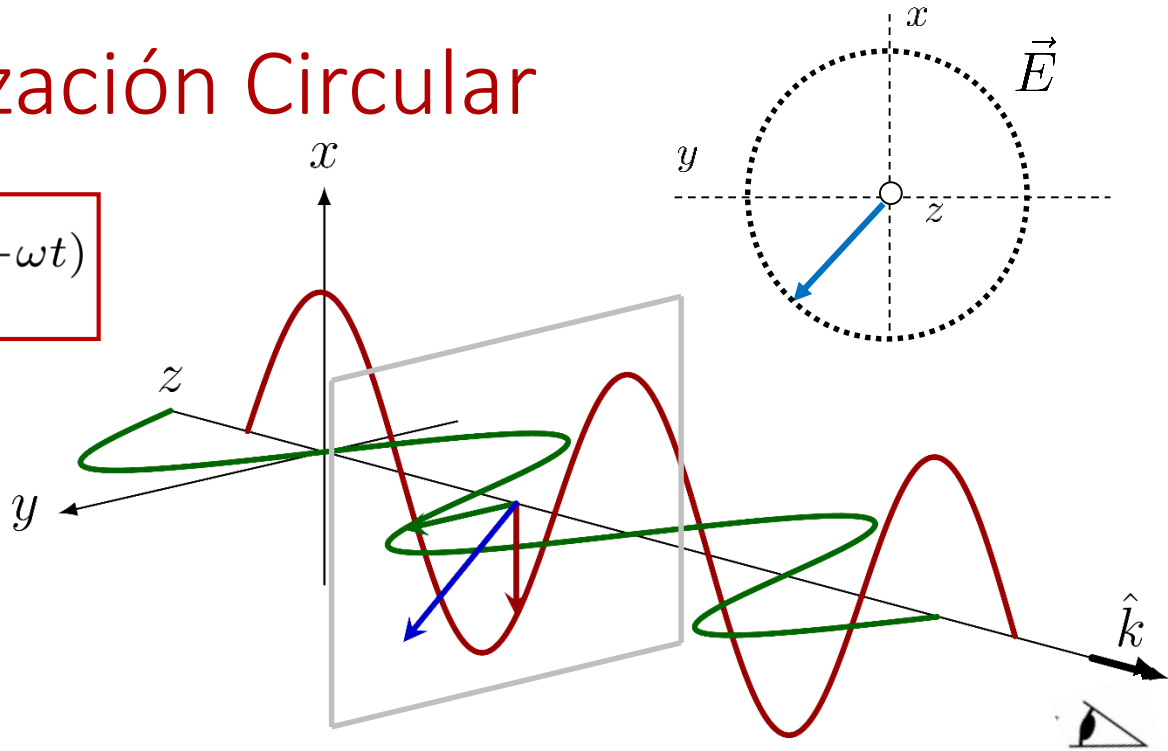


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

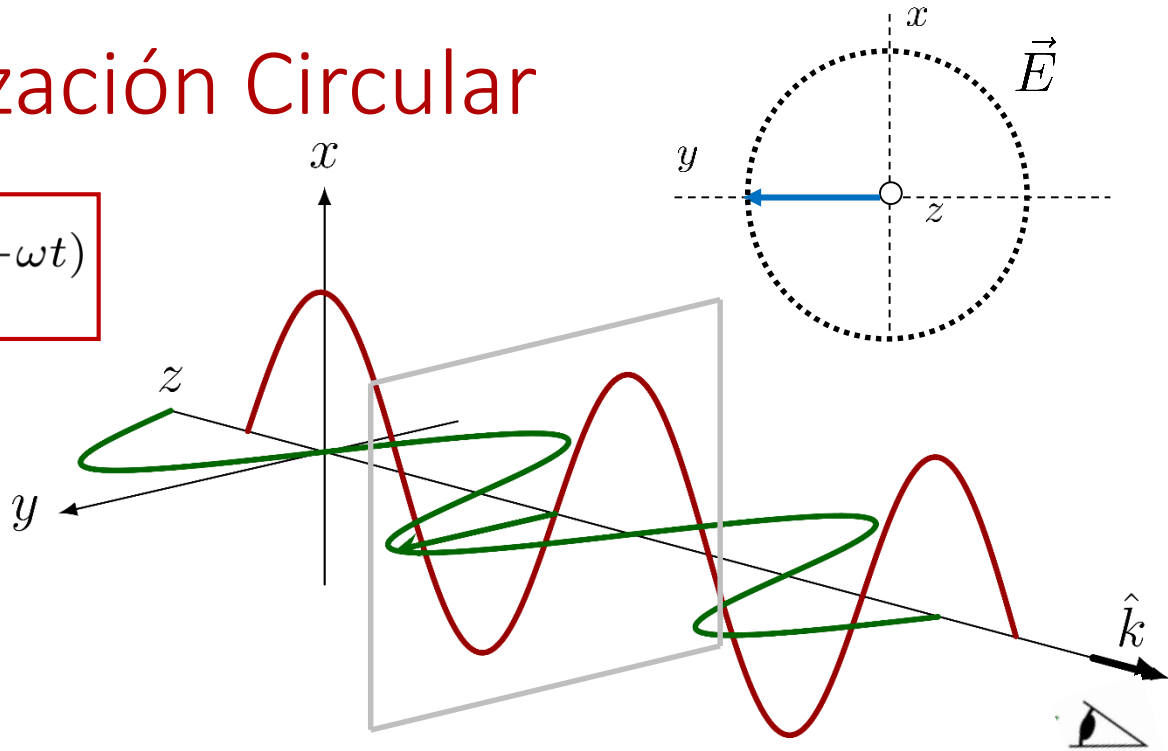


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

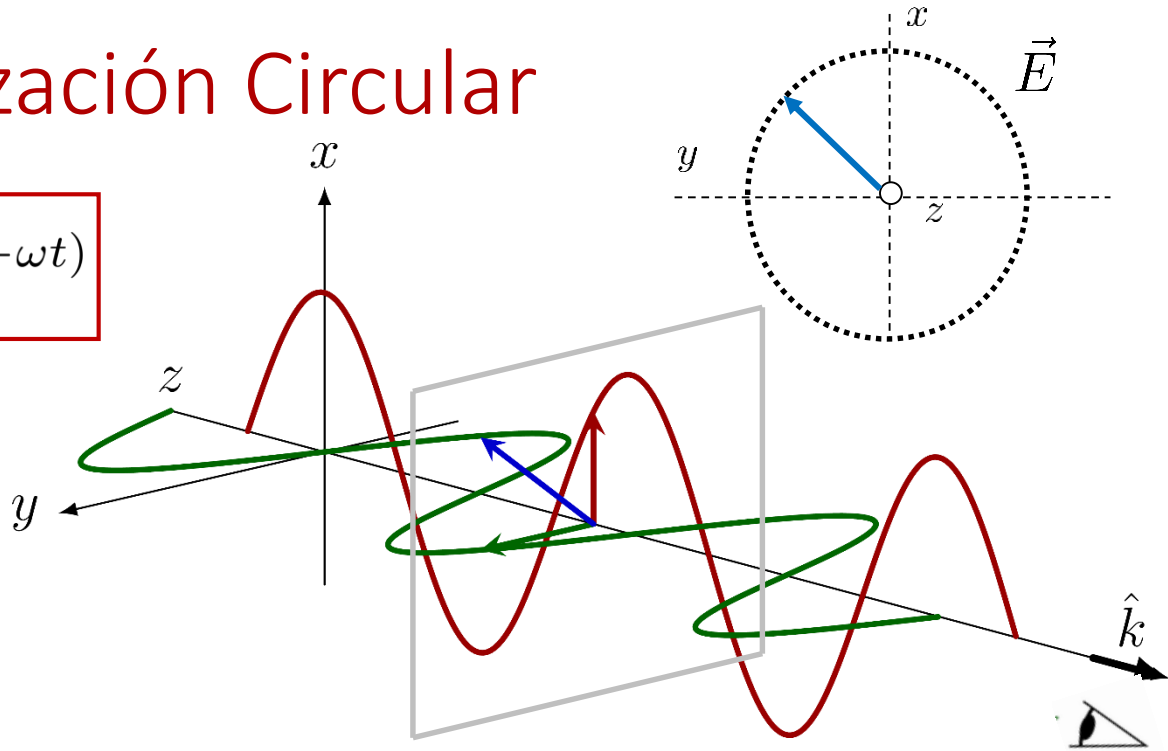


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

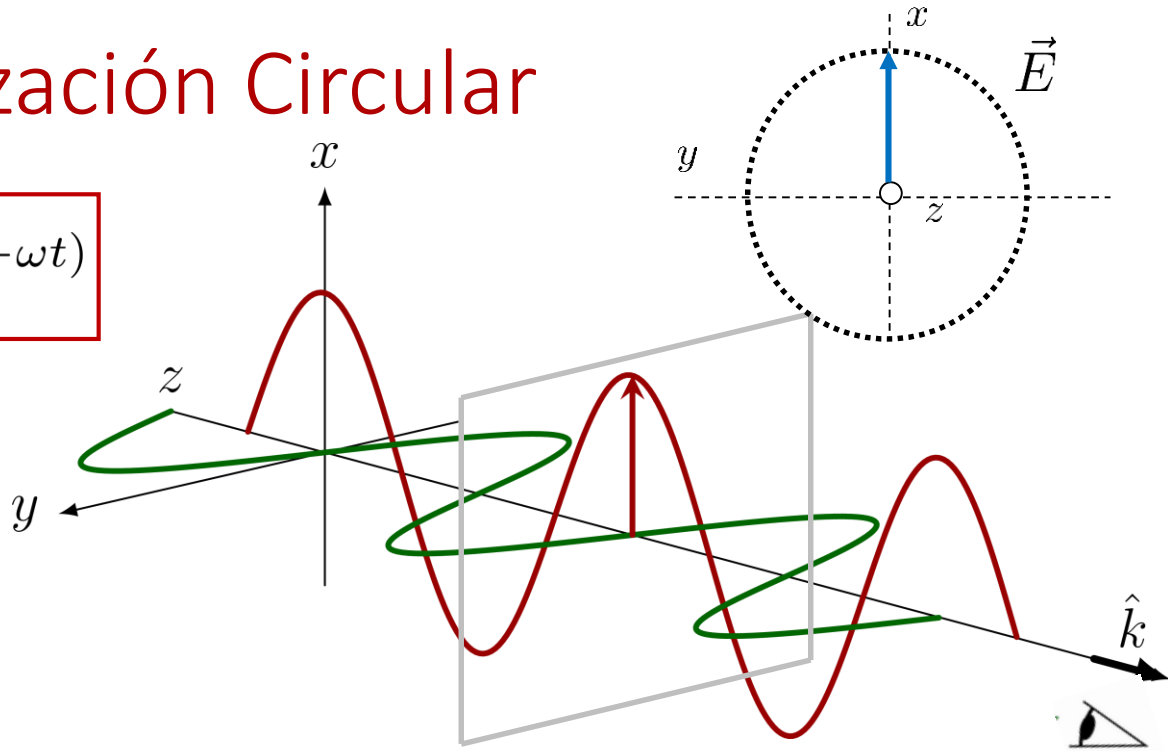


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \pm \pi/2$$

m : múltiplos enteros

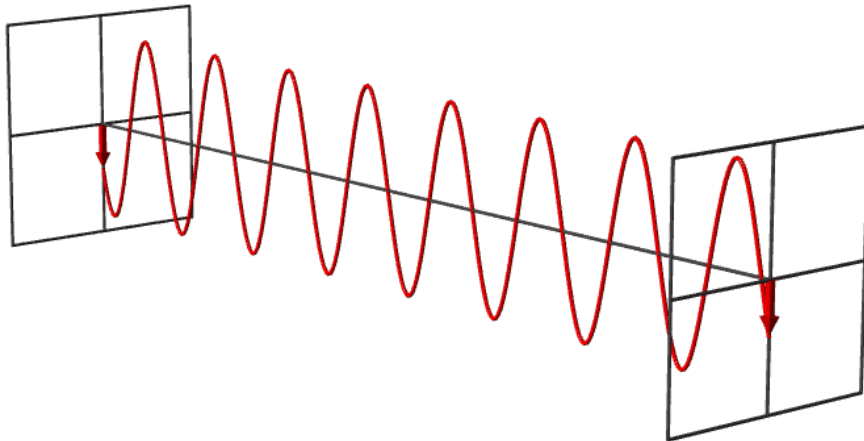
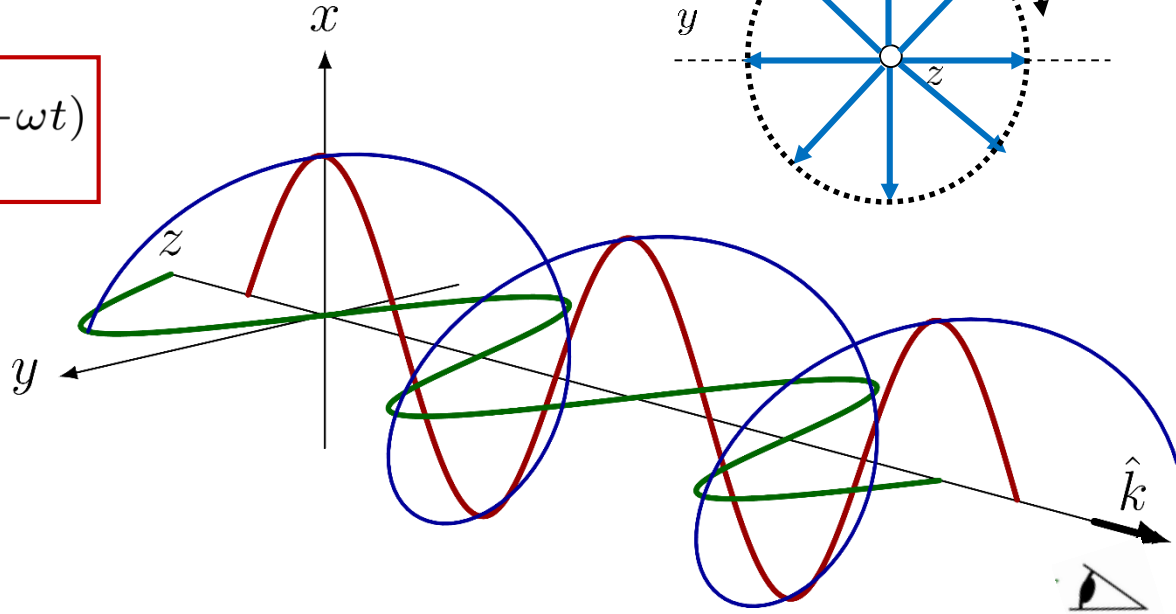
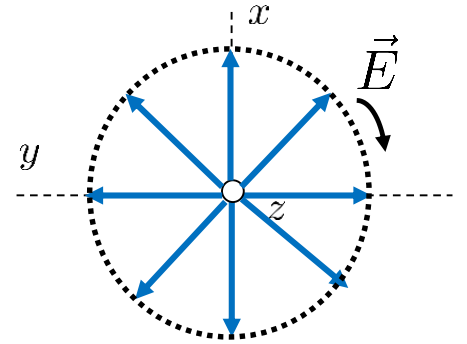


Polarización Circular

$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$E_{ox} = E_{oy}; \phi = 2m\pi \oplus \pi/2$$

m : múltiplos enteros



- + Horario (derecha) 
- Anti-Horario (izquierda) 

(mirado desde el receptor)

Polarización Elíptica

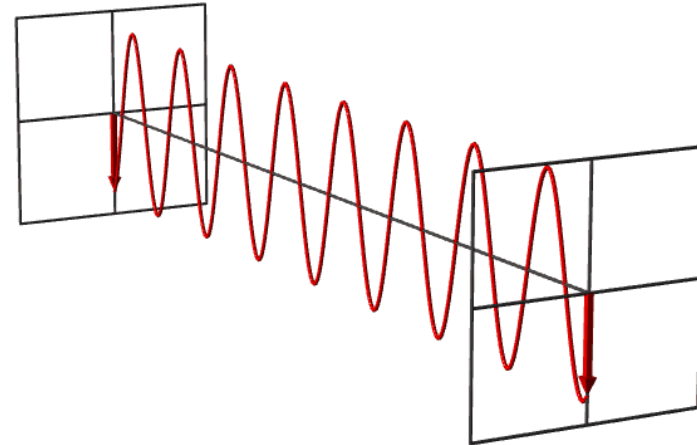
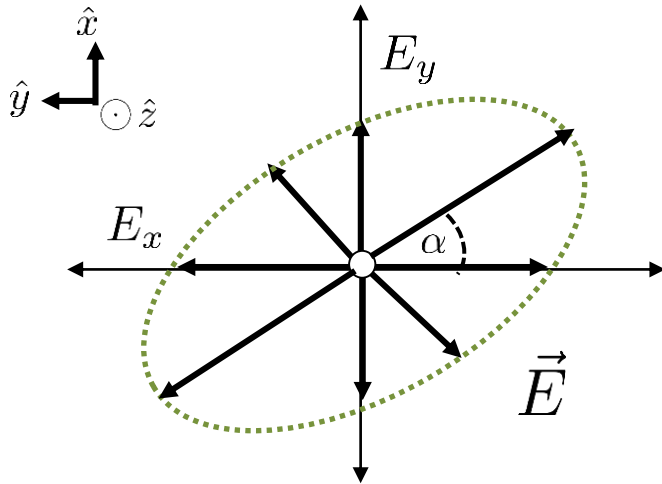
$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz-\omega t)}$$

$$\tan(2\alpha) = \frac{2E_{0x}E_{0y} \cos(\phi)}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2}$$

Ec. de una Elipse

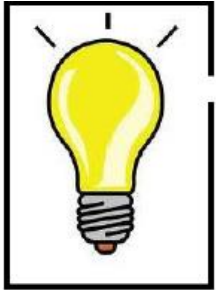
ϕ : Cualquier valor
 $E_{ox} \neq E_{oy}$

$$\left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)\cos(\phi) = \sin^2(\phi)$$



Luz Natural

- La luz natural esta compuesta por varios emisores independientes y orientados al azar
- La superposición de todas las emisiones genera una onda cuya polarización fluctúa muy rápido (10^{-8} seg)

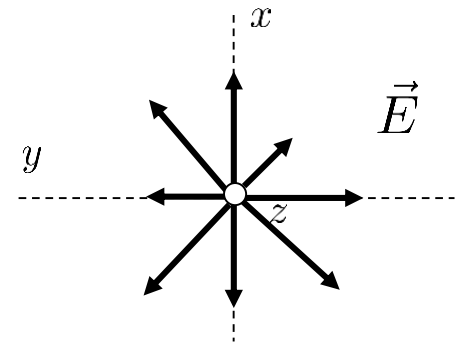


$$\vec{E} = (E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi} E_{oy}\hat{y}) e^{i(kz - \omega t)}$$

$\phi(t)$: Varía rápidamente y al azar

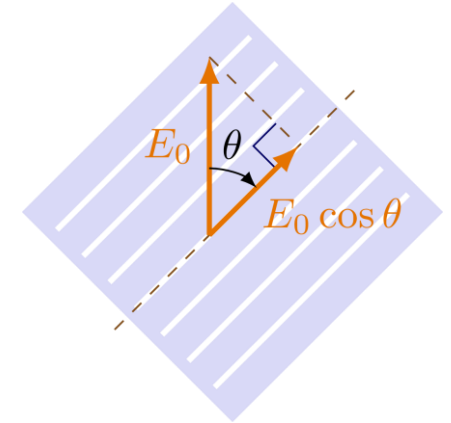
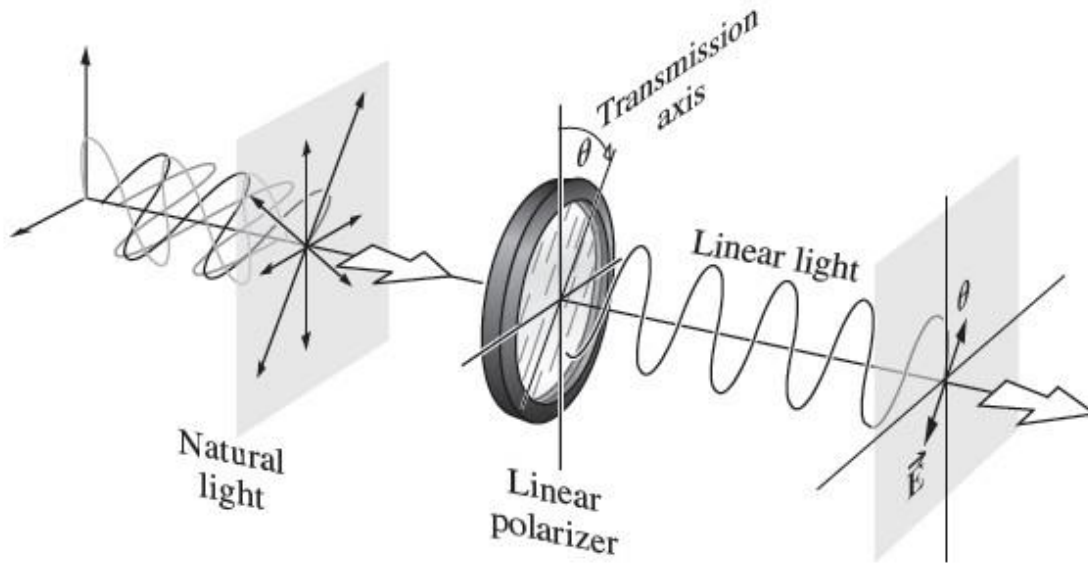
No hay un estado de polarización definido

Luz no polarizada o aleatoriamente polarizada



Como Polarizar la luz

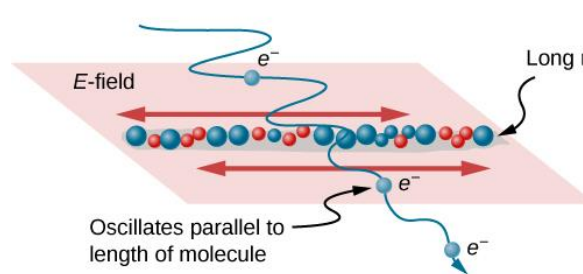
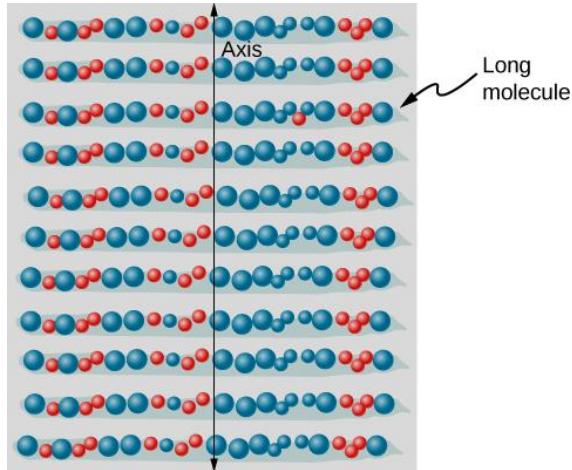
- Dicroísmo (Absorción selectiva). Polarizadores



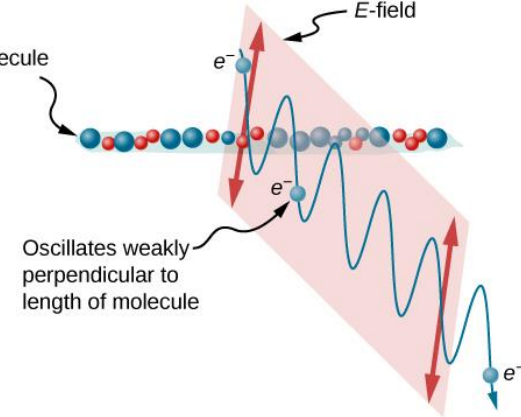
Poseen eje de transmisión, que permite el paso de la luz en estado de polarización paralelo a su eje

Como Polarizar la luz

- Dicroísmo (Absorción selectiva). Polarizadores



(a)



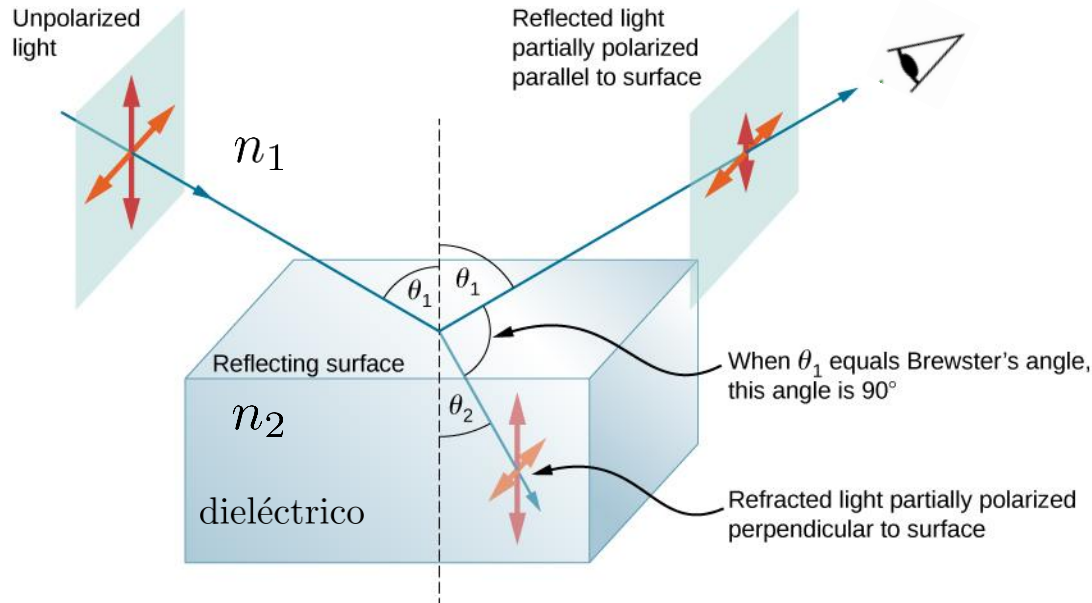
(b)



Poseen eje de transmisión, que permite el paso de la luz en estado de polarización paralelo a su eje

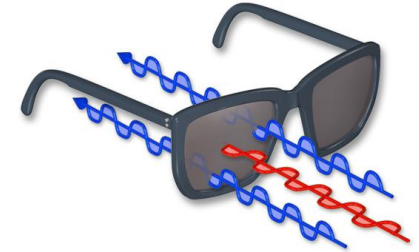
Como Polarizar la luz

- Reflexión: **Angulo de Brewster**. (Ley de Snell & Ecs. De Maxwell)



$$\tan(\theta_B) = \frac{n_2}{n_1}$$

- Agua: $\theta_B \approx 53^\circ$
- Vidrio: $\theta_B \approx 56^\circ$

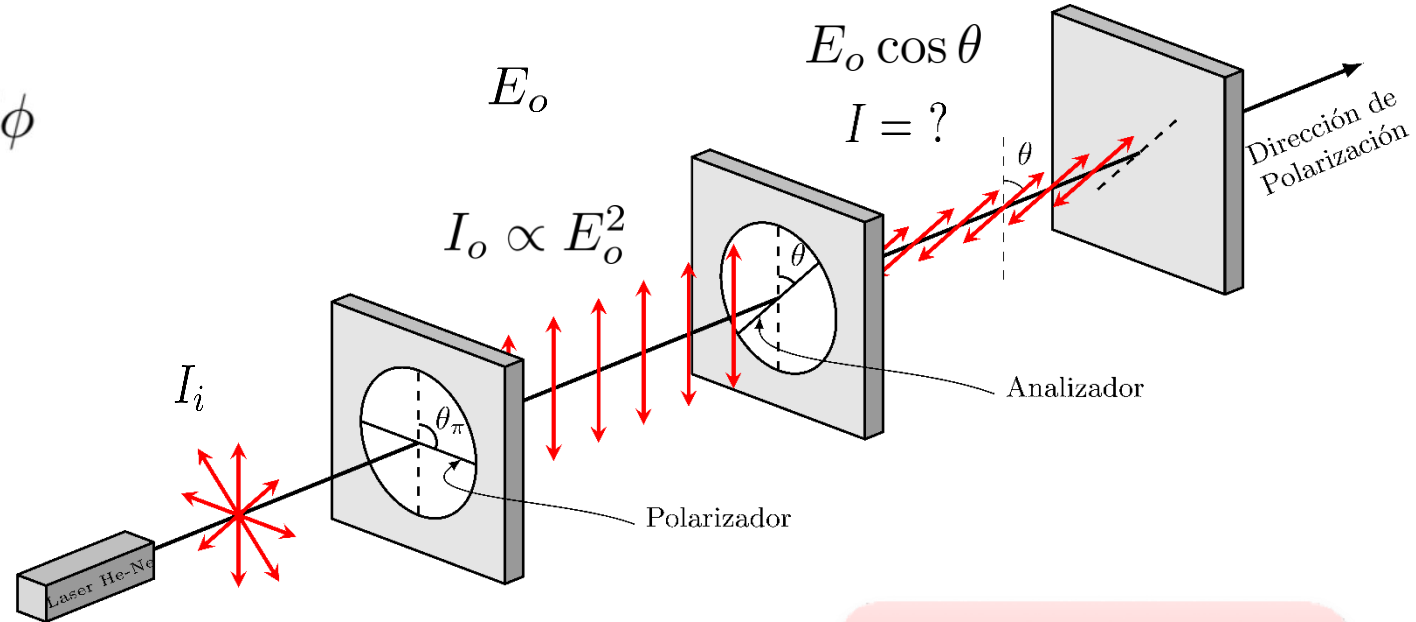


Ley de Malus

Intensidad a la salida de un polarizador con respecto a la intensidad de la onda original

$$I = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\vec{E} \cdot \vec{E}^*}{2} d\phi$$

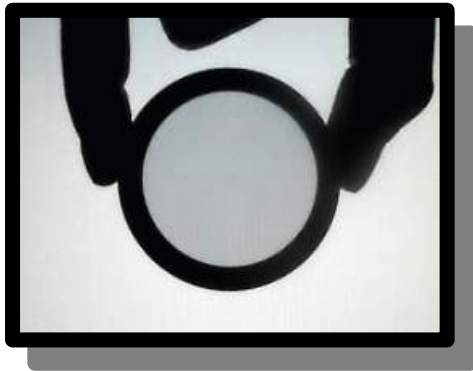
$$I \propto |\vec{E}|^2$$



Relación entre I_o y I_i ??

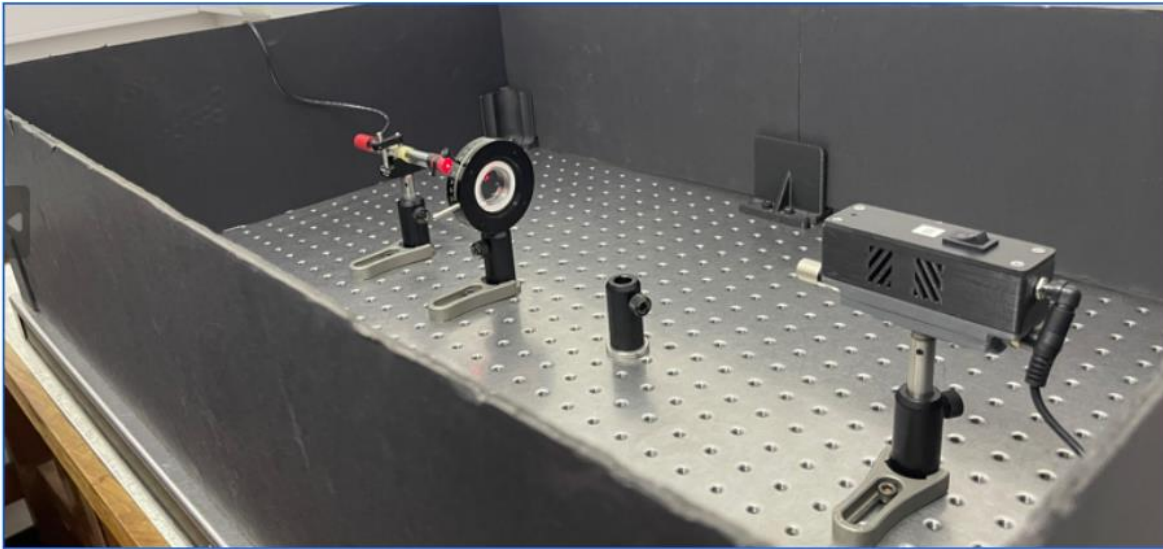
$$I_o = \frac{I_i}{2}$$

$$I(\theta) = I_o \cos^2(\theta)$$



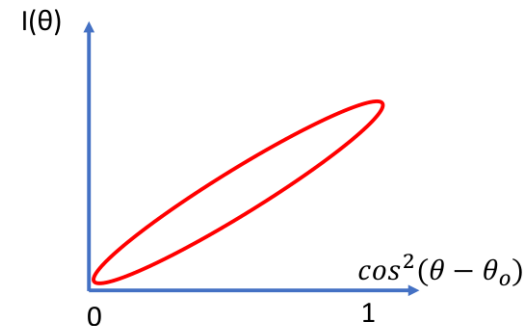
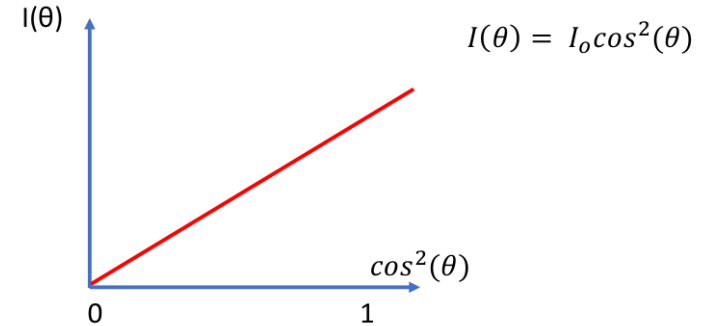
Practica de Hoy

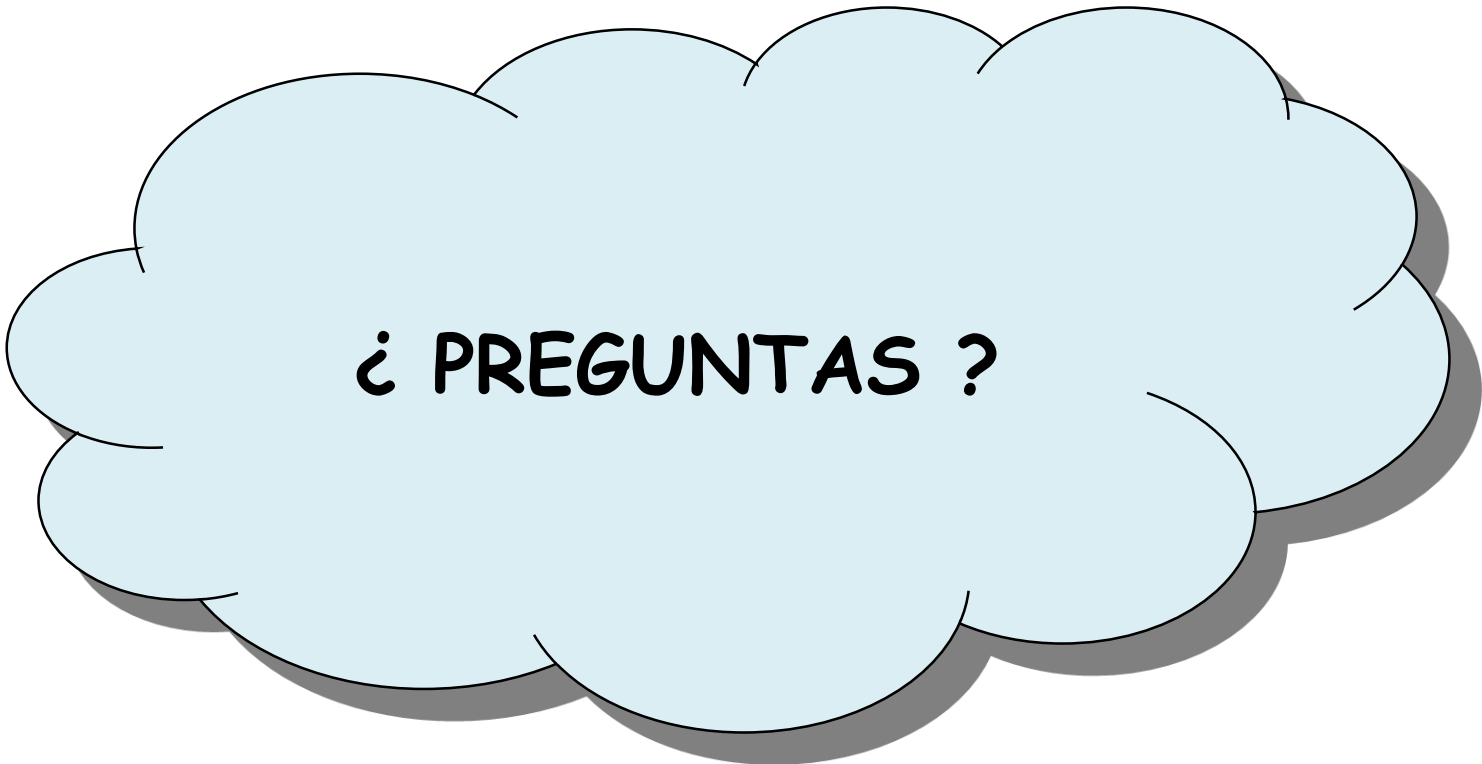
4. Determinar estado de polarización del diodo laser y verificar ley de Malus
- Registrar la curva $I(\theta)$ con un solo polarizador. Si es lineal, verificar Malus
 - Si no lo es : Agregar otro polarizador y verificar la ley de Malus.
 - Realizar grafico Polar. $I(\theta)$



Montaje experimental

Es importante medir entre $0 - 180^\circ$





¿ PREGUNTAS ?