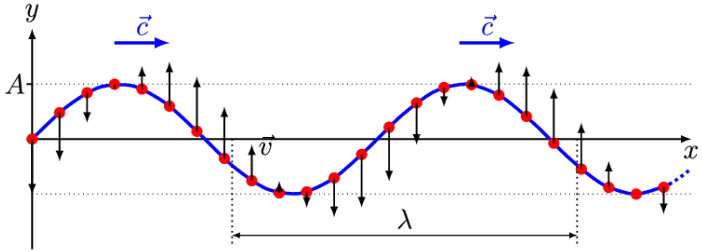
Polarización de la Luz

Laboratorio 2

30/05/2024

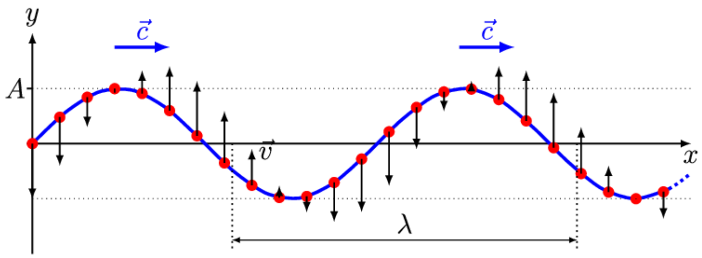
Naturaleza de la Luz

- Es un fenómeno ondulatorio transversal descrito por las variaciones espacio-temporales de 2 campos vectoriales: Onda electromagnética



Naturaleza de la Luz

- Es un fenómeno ondulatorio transversal descrito por las variaciones espacio-temporales de 2 campos vectoriales: Onda electromagnética

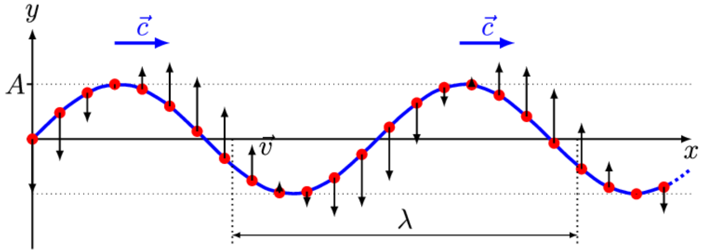


- Esta descrita por la ecuación de ondas vectorial:

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

Naturaleza de la Luz

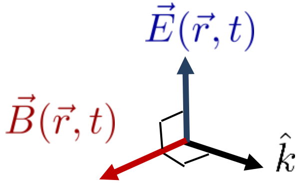
- Es un fenómeno ondulatorio transversal descrito por las variaciones espacio-temporales de 2 campos vectoriales: Onda electromagnética

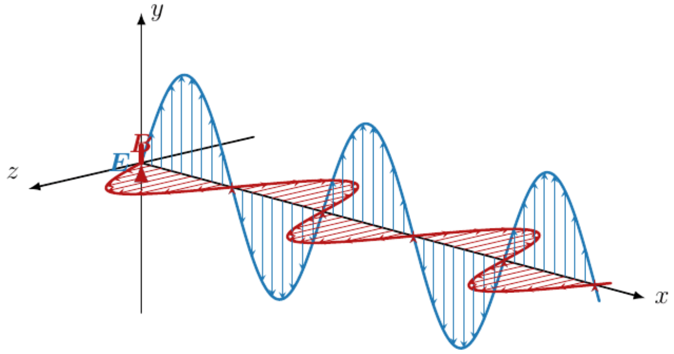


- Esta descrita por la ecuación de ondas vectorial:

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

- El campo eléctrico y el magnético oscilan en un plano perpendicular a la dirección de propagación y son ortogonales entre si





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

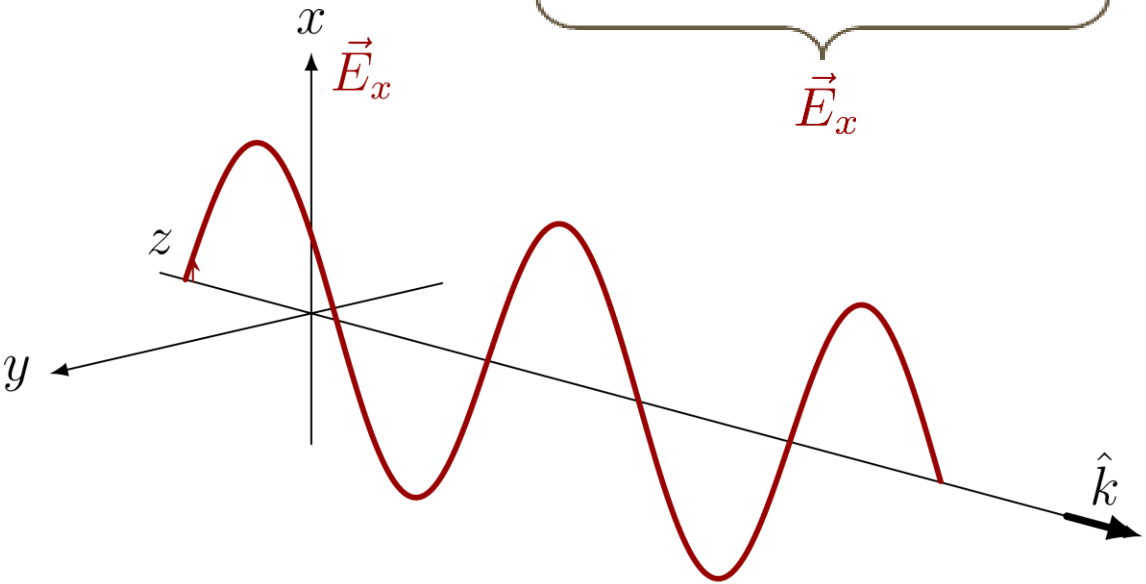
$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

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

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

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



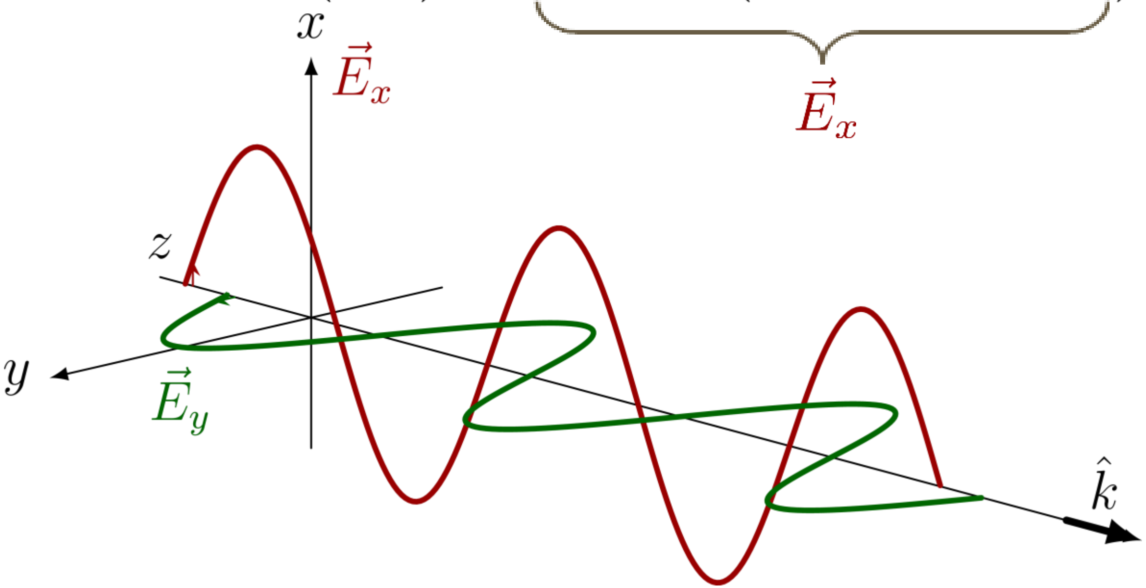
Polarización de la Luz

- 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

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

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



$\phi = \phi_y - \phi_x$; **Fase de polarización**

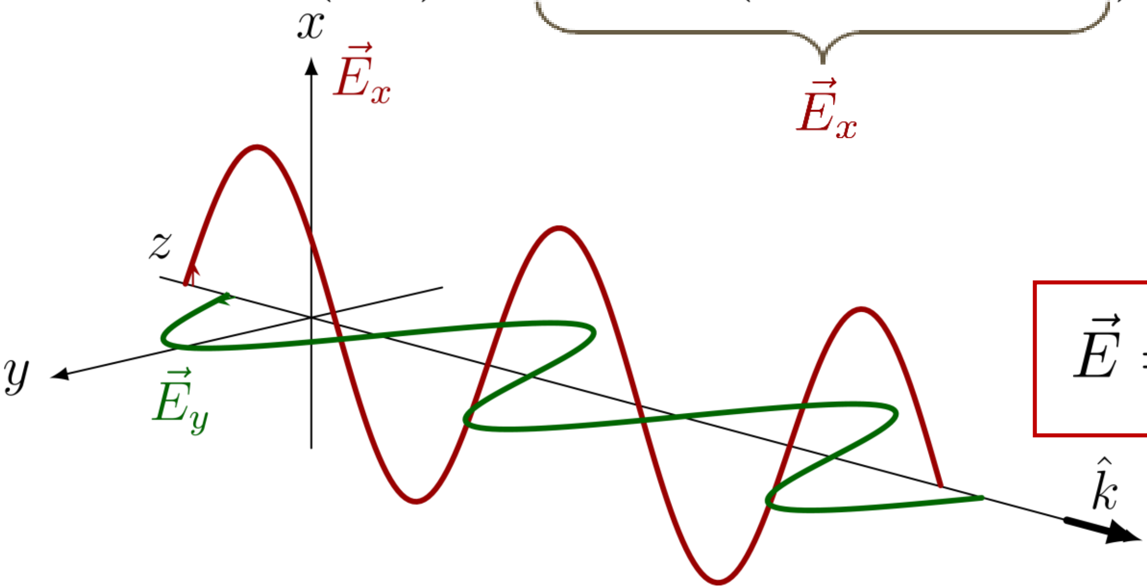
Polarización de la Luz

- 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

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

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



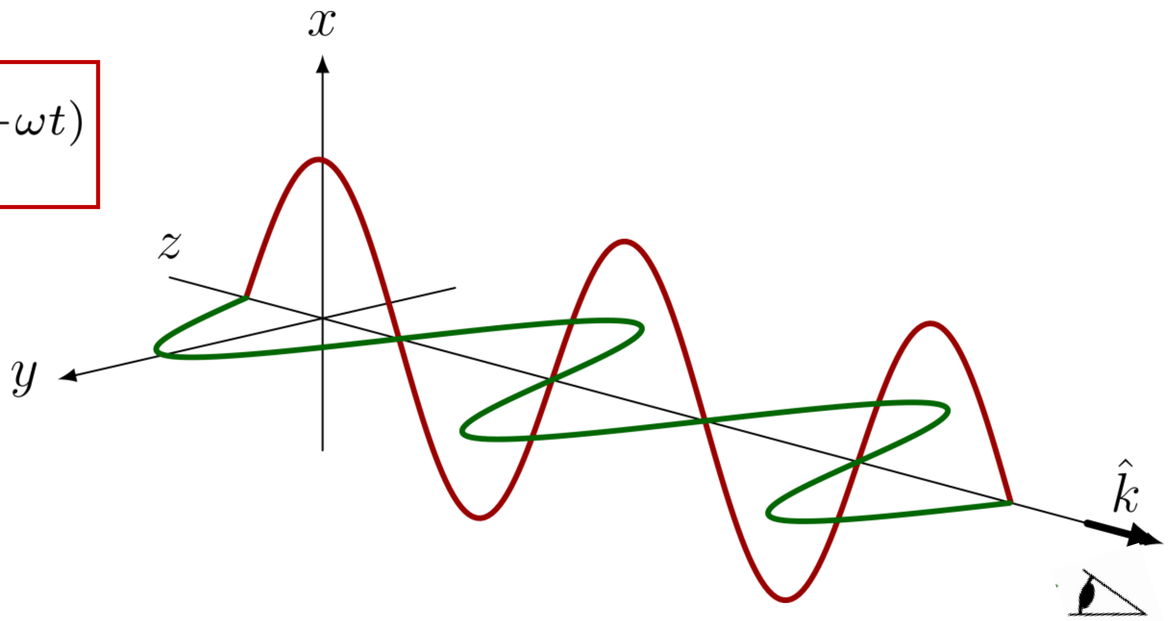
$\phi = \phi_y - \phi_x$; Fase de polarización

$$\boxed{\vec{E} = e^{i\phi_x}\underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{\text{En que dirección apunta?}} e^{i(kz-\omega t)}}$$

Polarización Lineal

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{E_{ox} \neq E_{oy};\, \phi = 2m\pi} e^{i(kz-\omega t)}}$$

m : múltiplos enteros

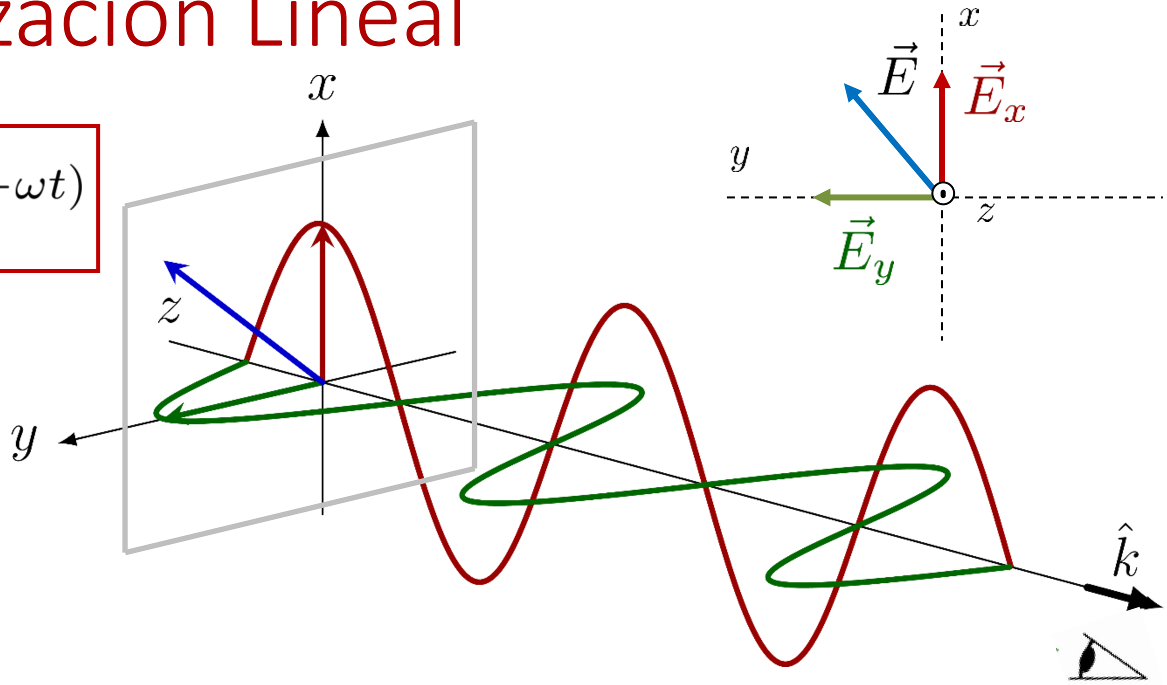


$$\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}\right) e^{i(kz-\omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{E_{ox} \neq E_{oy};\, \phi = 2m\pi} e^{i(kz-\omega t)}}$$

m : múltiplos enteros



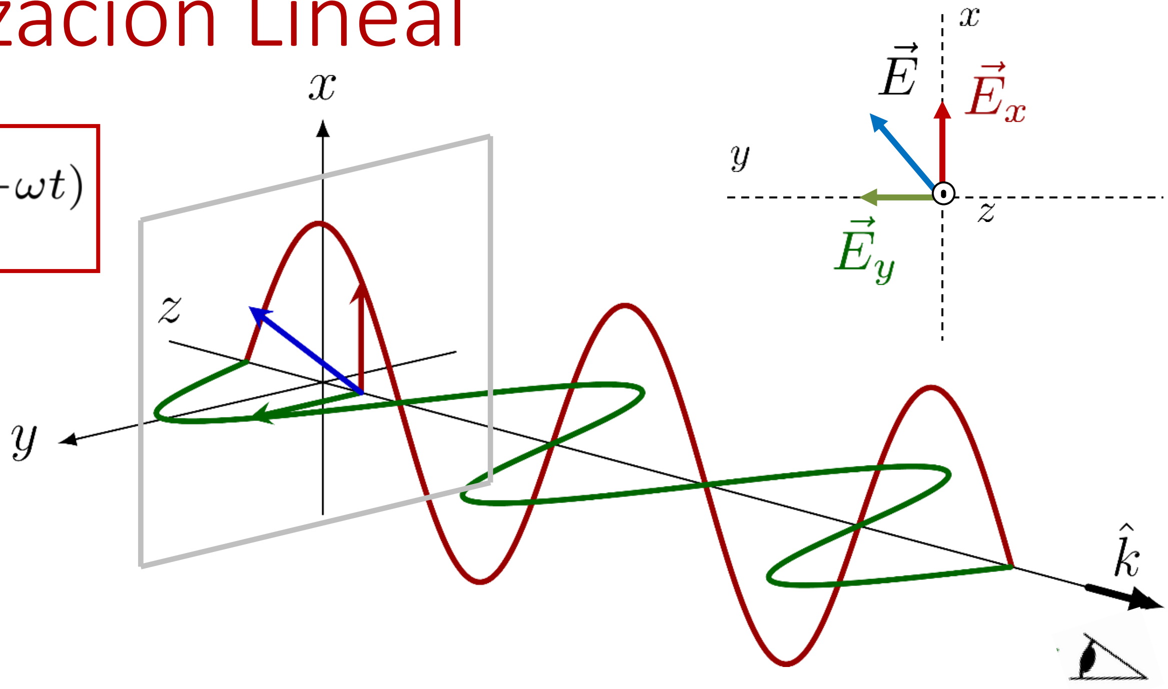
$$\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}\right) e^{i(kz-\omega t)}$$

Polarización Lineal

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

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

m : múltiplos enteros

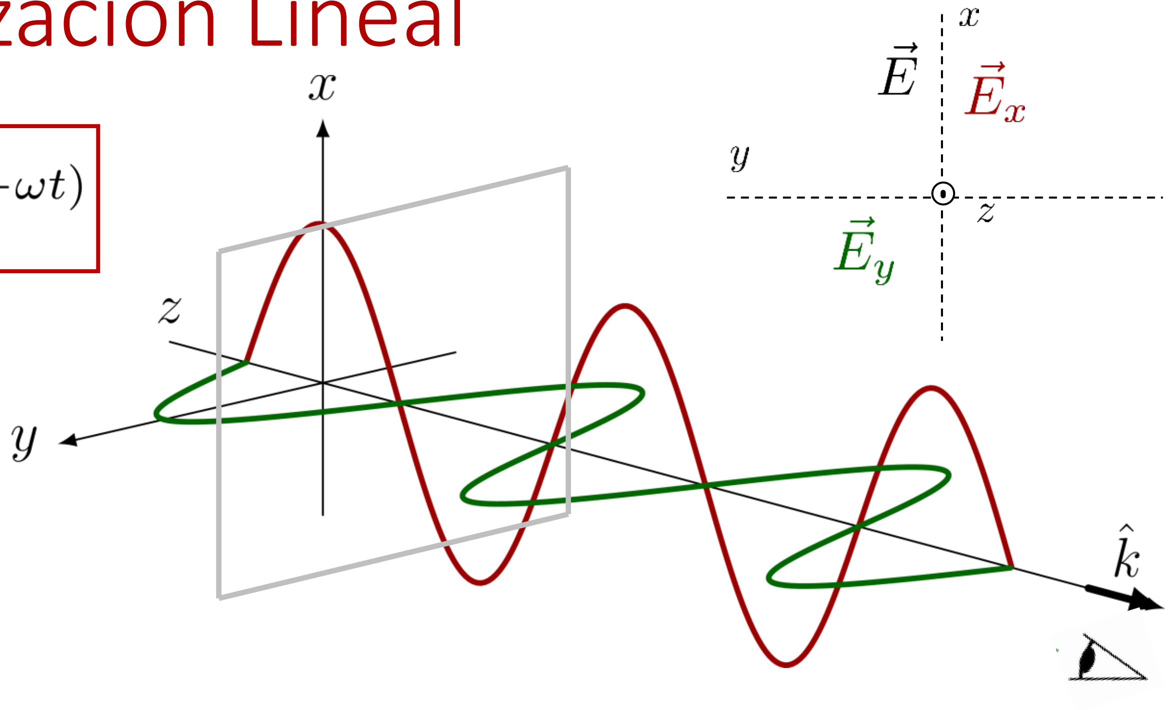


$$\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}\right) e^{i(kz-\omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{\substack{E_{ox} \neq E_{oy};\, \phi = 2m\pi}} e^{i(kz-\omega t)}}$$

m : múltiplos enteros



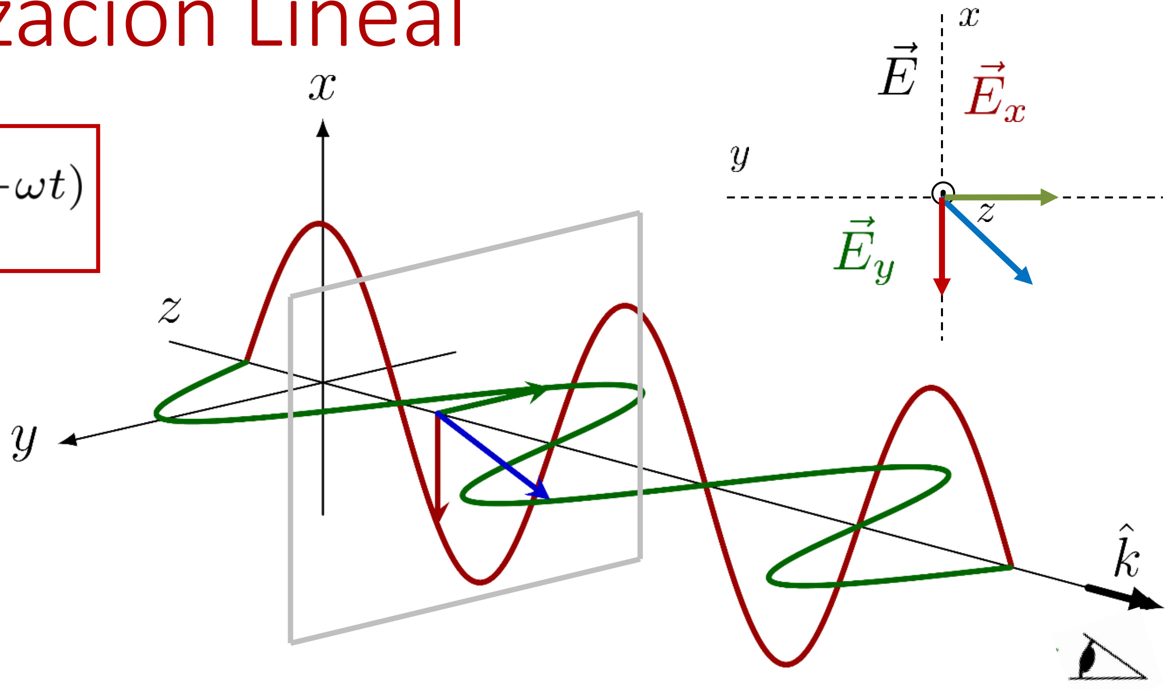
$$\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}\right) e^{i(kz-\omega t)}$$

Polarización Lineal

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

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

m : múltiplos enteros

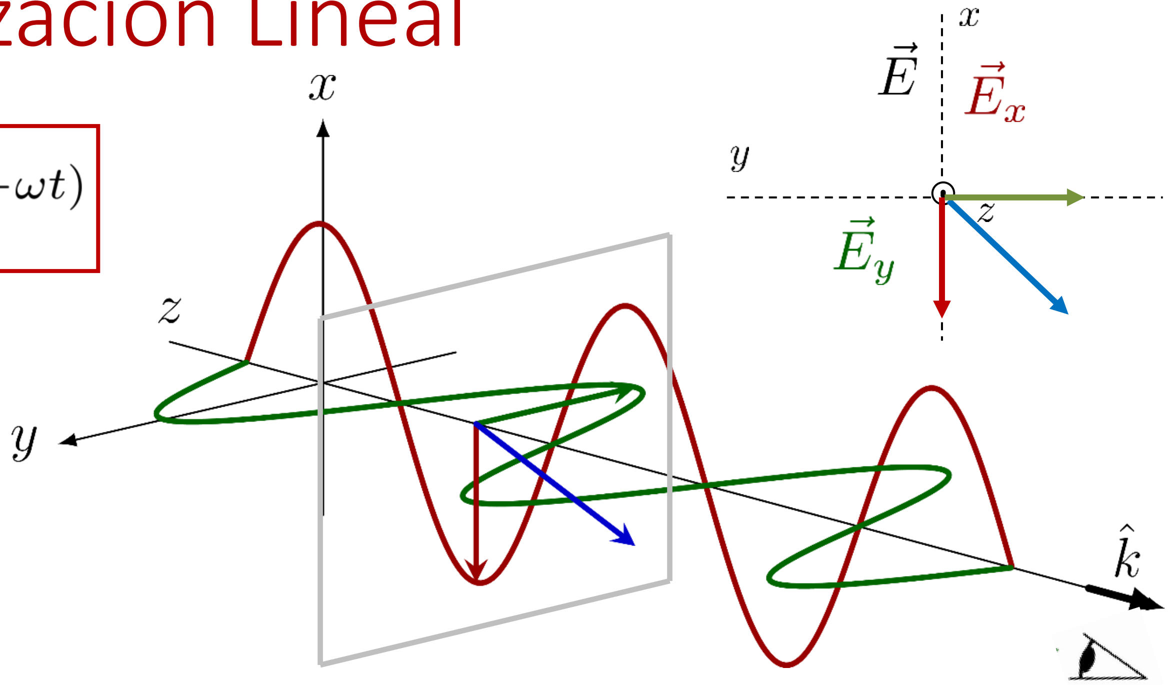


$$\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}\right)e^{i(kz-\omega t)}$$

Polarización Lineal

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{E_{ox} \neq E_{oy};\, \phi = 2m\pi} e^{i(kz-\omega t)}}$$

m : múltiplos enteros



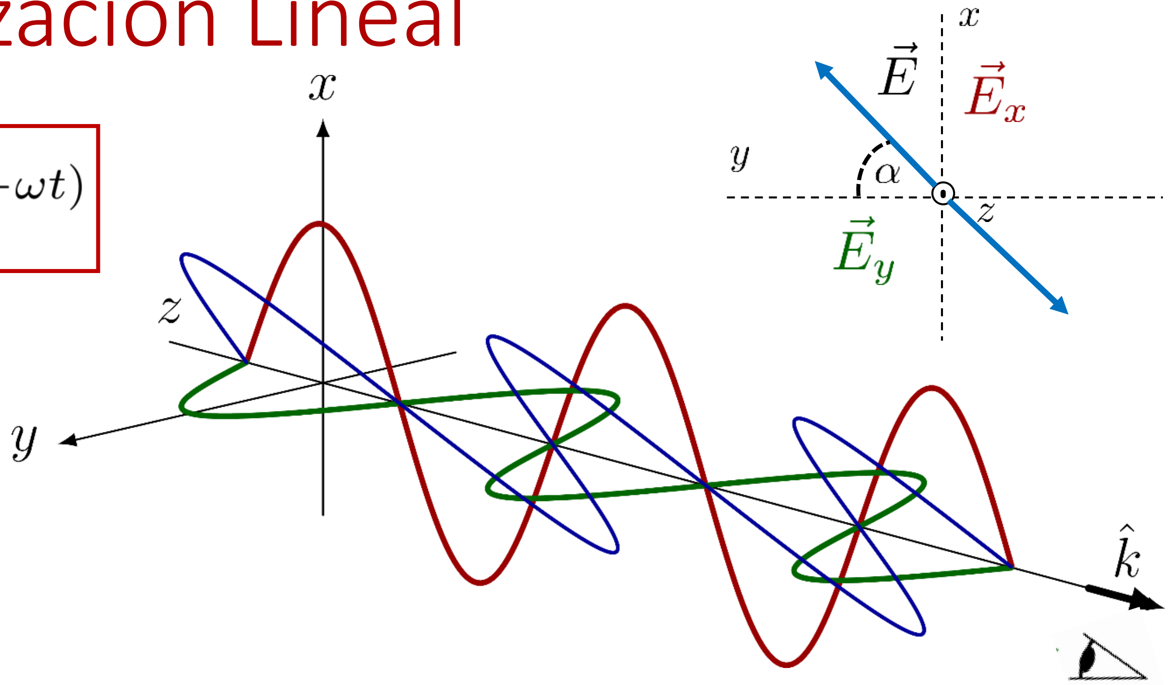
$$\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + E_{oy}\hat{y}\right) e^{i(kz-\omega t)}$$

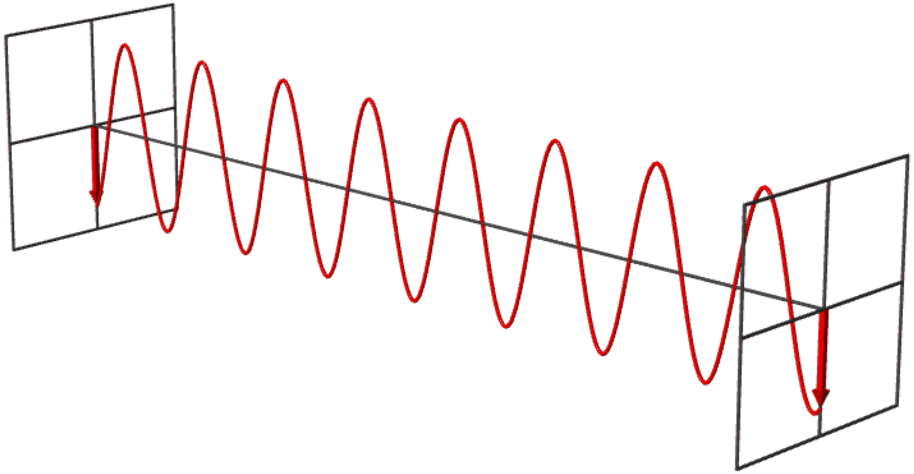
Polarización Lineal

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

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

m : múltiplos enteros





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

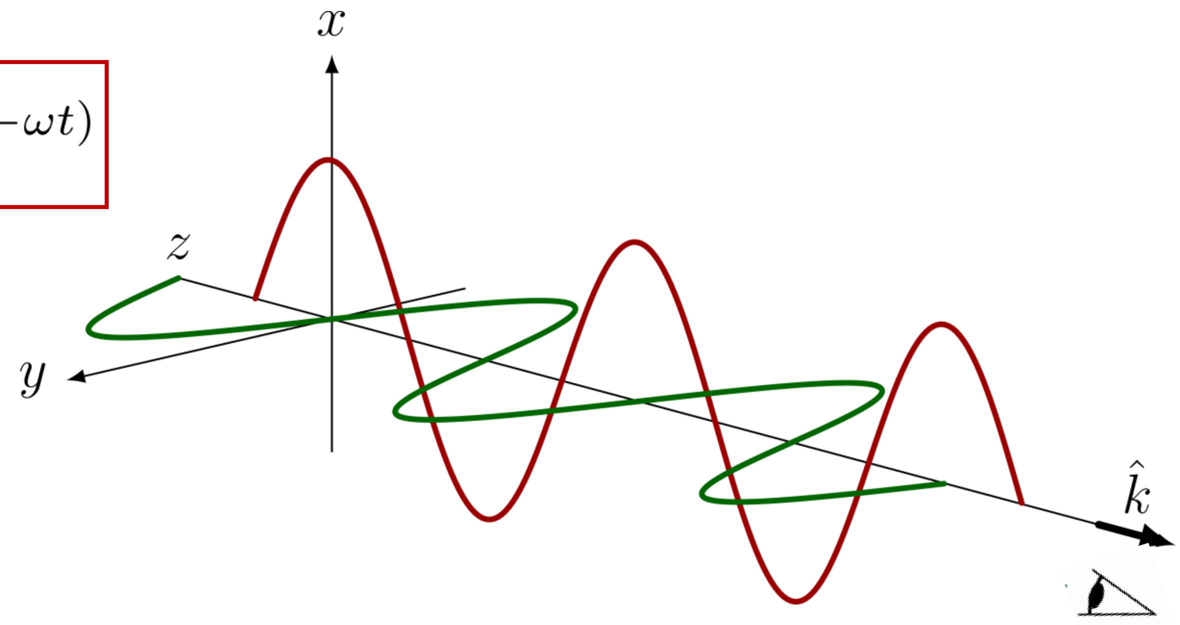
$$\alpha = \arctan\left(\frac{E_{ox}}{E_{oy}}\right)$$

Polarización Circular

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

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

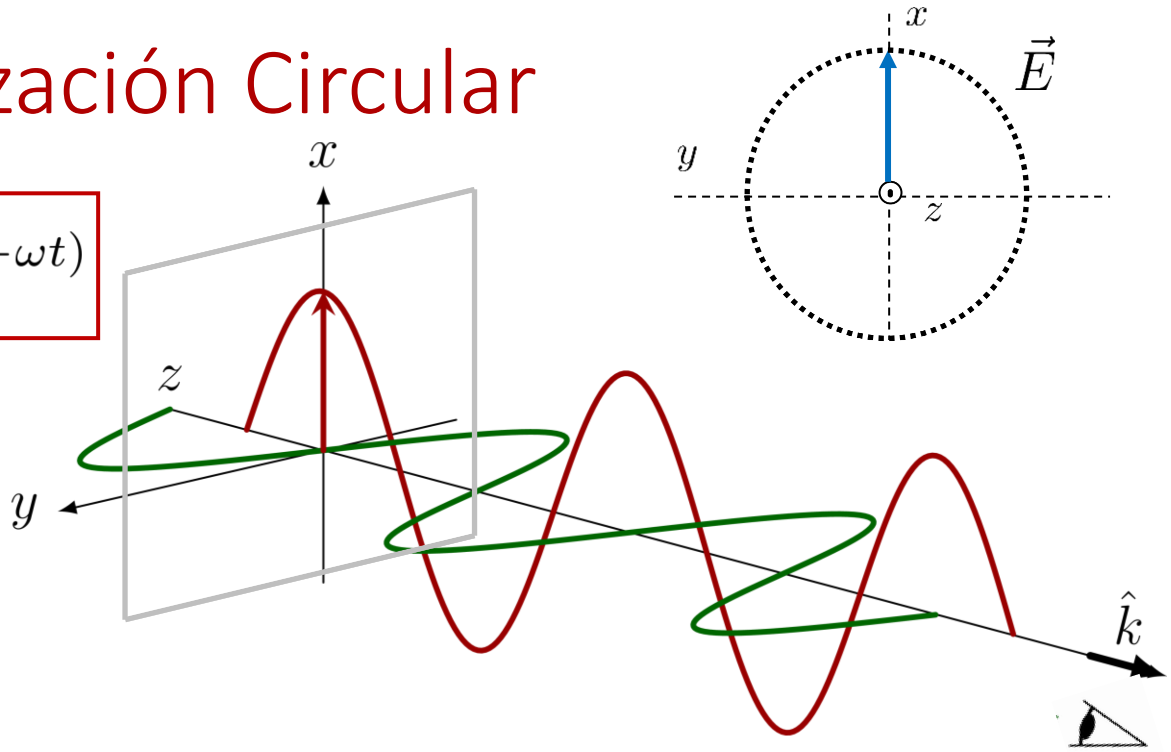
m : múltiplos enteros



Polarización Circular

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{E_{ox} = E_{oy};\ \phi = 2m\pi \pm \pi/2} e^{i(kz-\omega t)}}$$

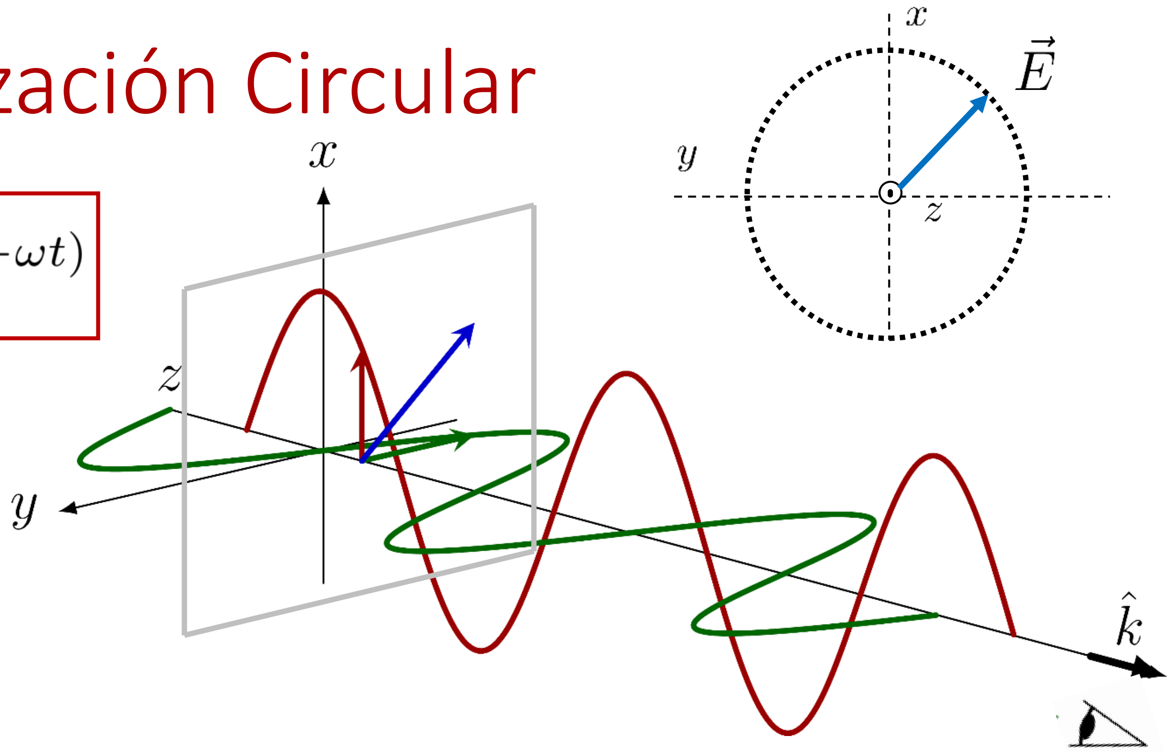
m : múltiplos enteros



Polarización Circular

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{E_{ox} = E_{oy};\, \phi = 2m\pi \pm \pi/2} e^{i(kz-\omega t)}}$$

m : múltiplos enteros

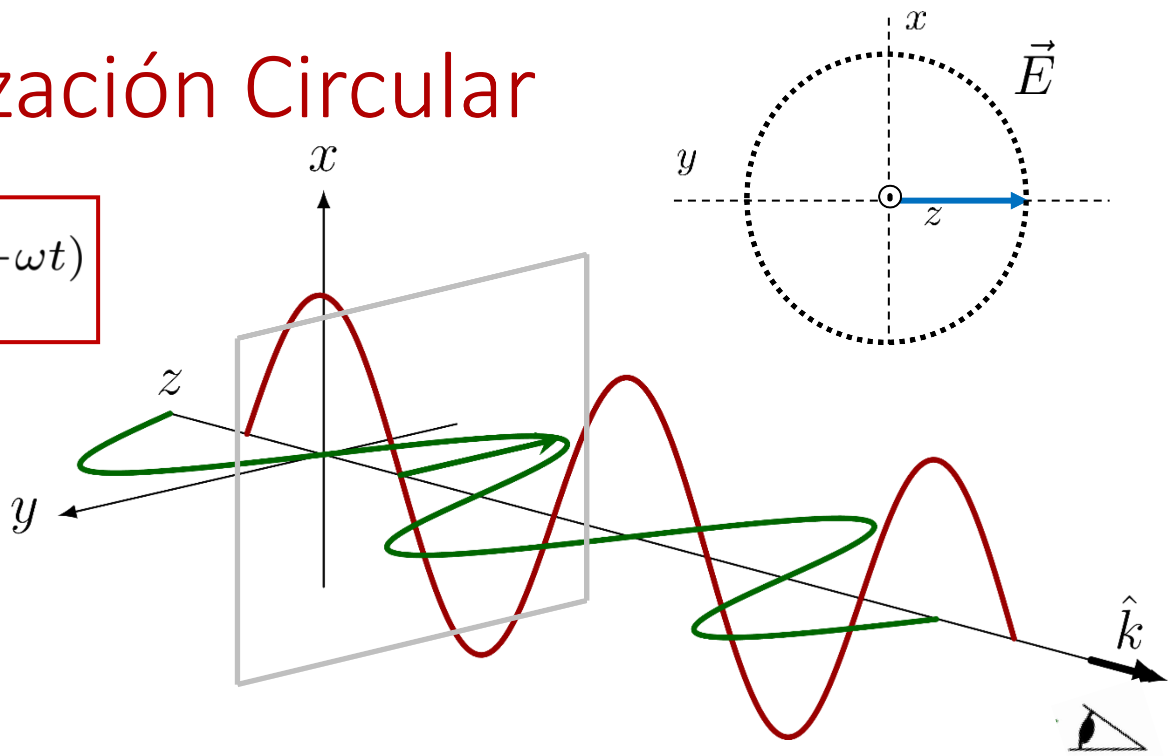


Polarización Circular

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

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

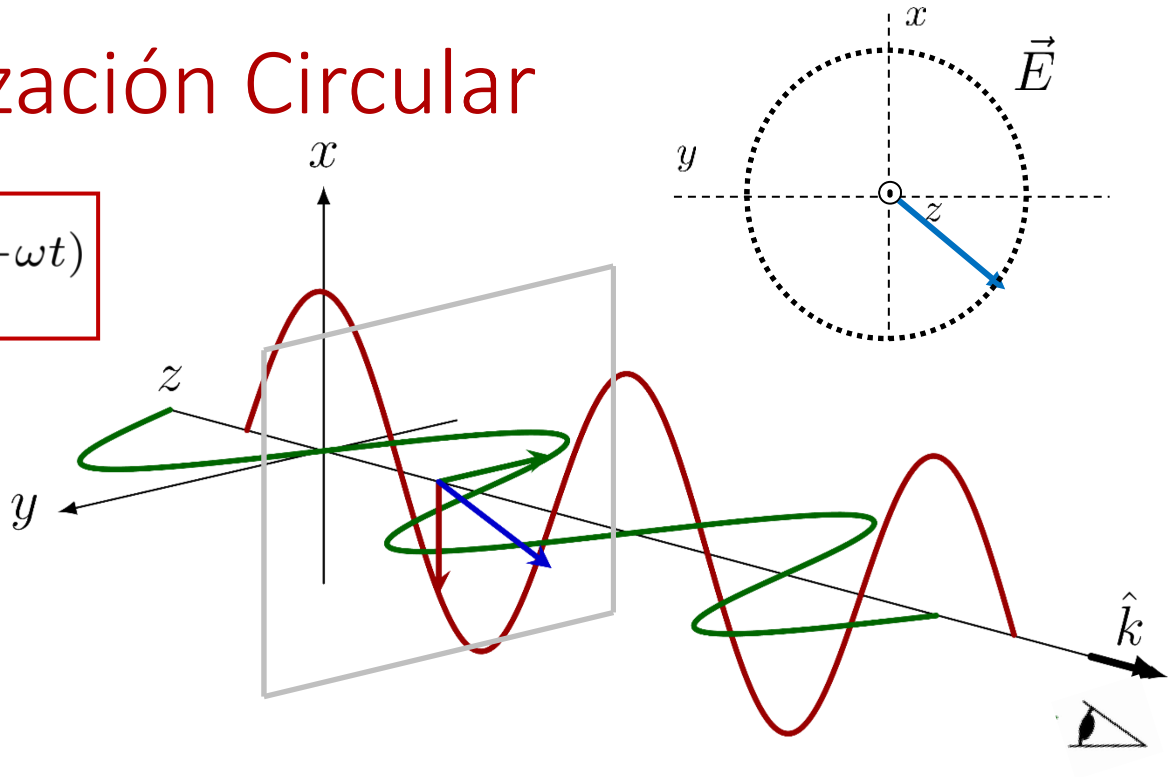
m : múltiplos enteros



Polarización Circular

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{E_{ox} = E_{oy};\ \phi = 2m\pi \pm \pi/2} e^{i(kz-\omega t)}}$$

m : múltiplos enteros

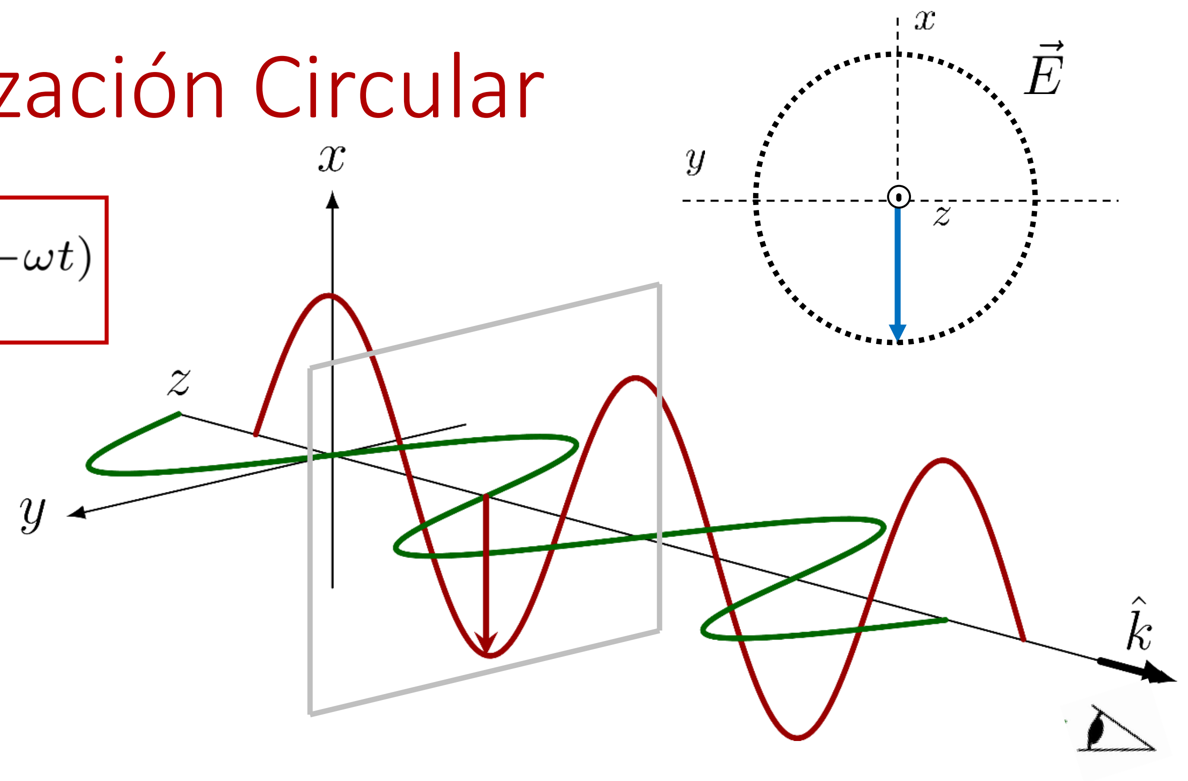


Polarización Circular

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

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

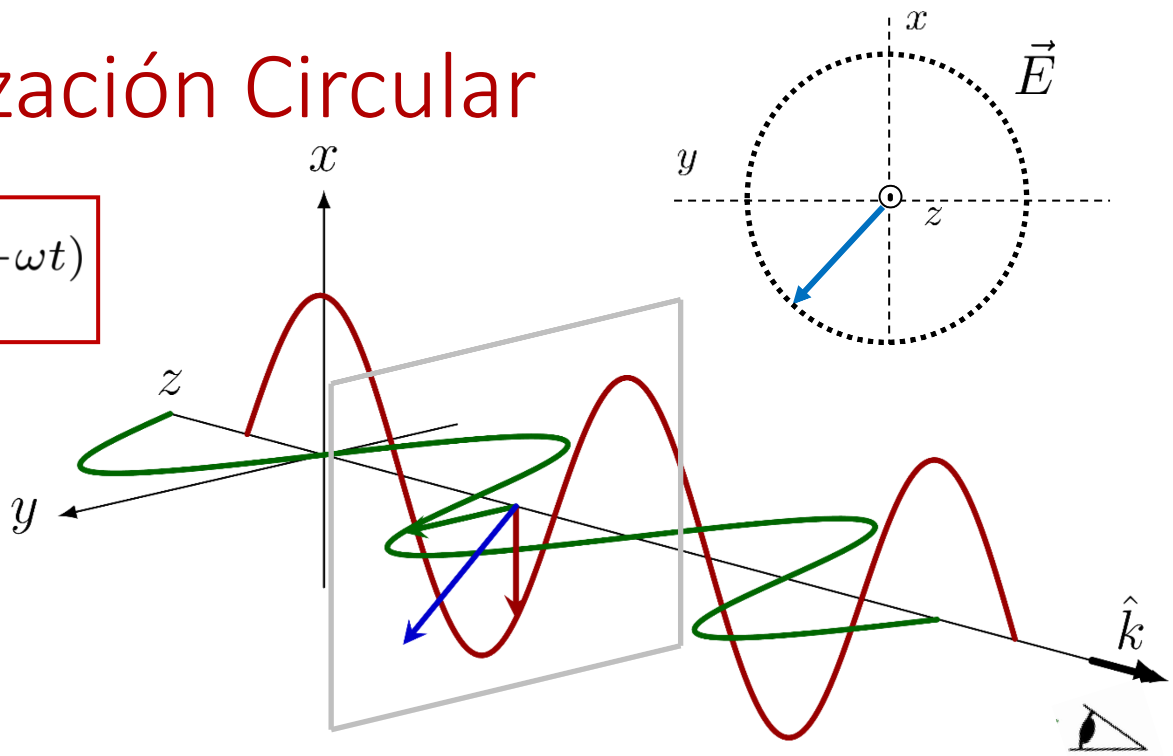
m : múltiplos enteros



Polarización Circular

$$\boxed{\vec{E} = \underbrace{\left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)}_{E_{ox} = E_{oy};\ \phi = 2m\pi \pm \pi/2} e^{i(kz-\omega t)}}$$

m : múltiplos enteros

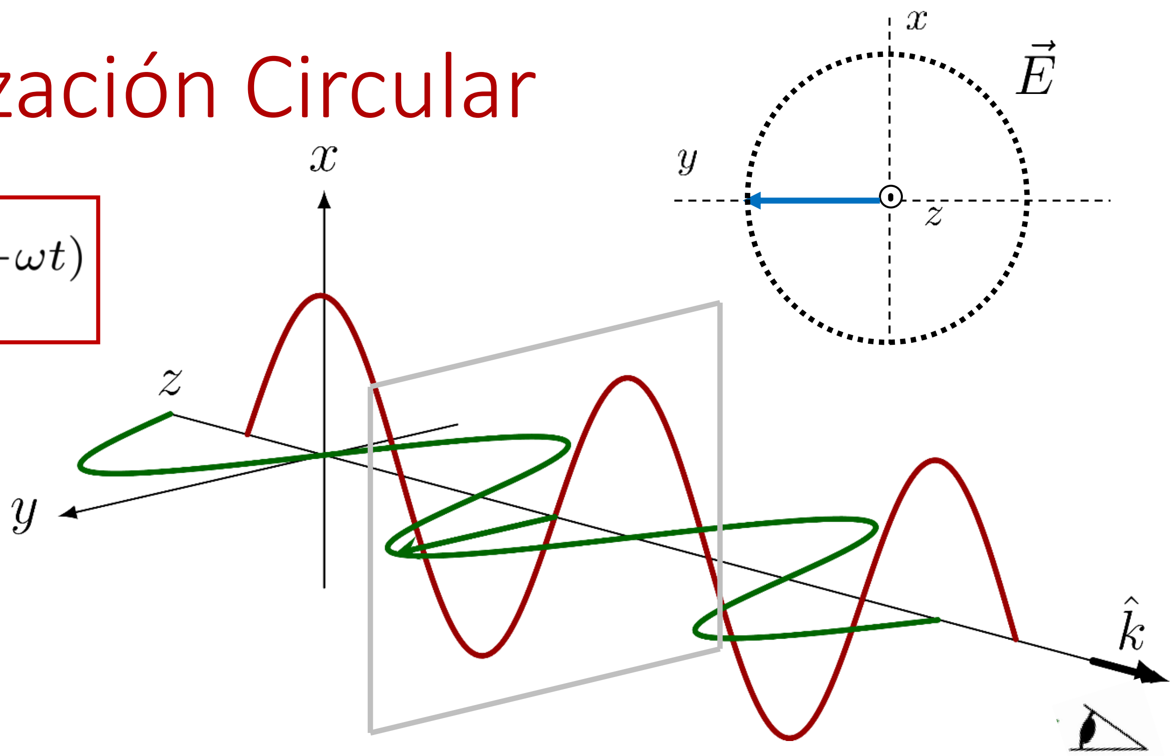


Polarización Circular

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

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

m : múltiplos enteros

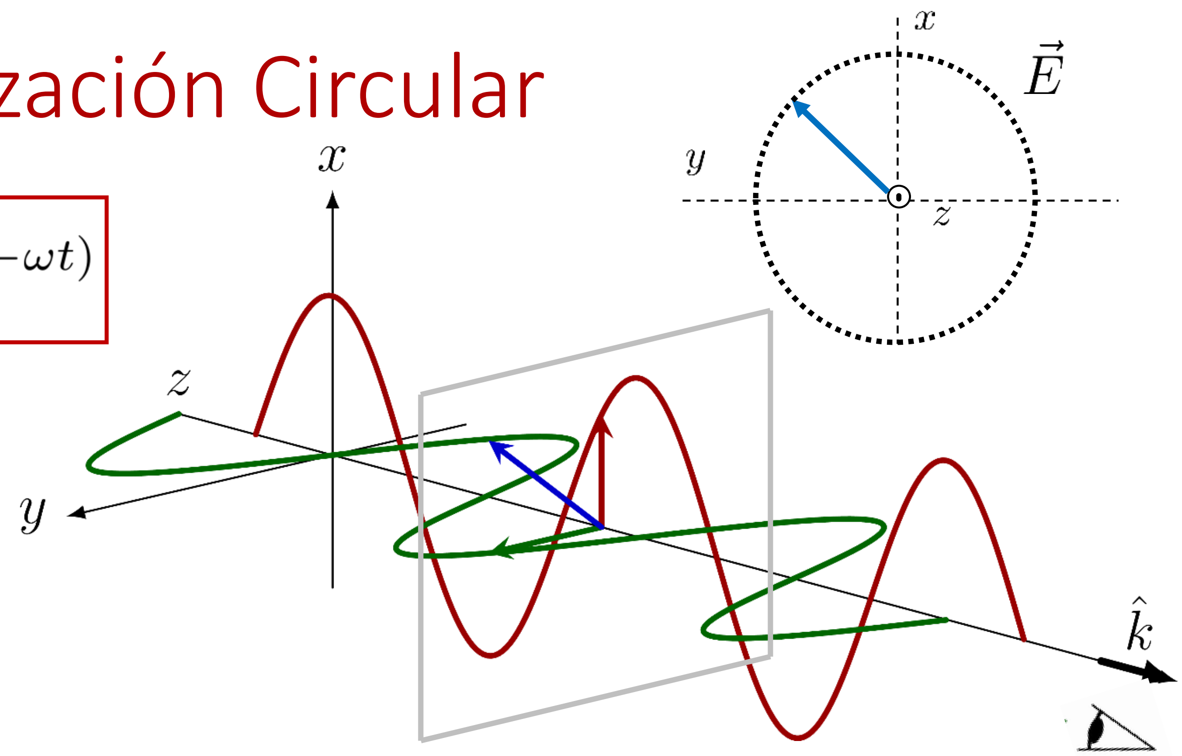


Polarización Circular

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

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

m : múltiplos enteros

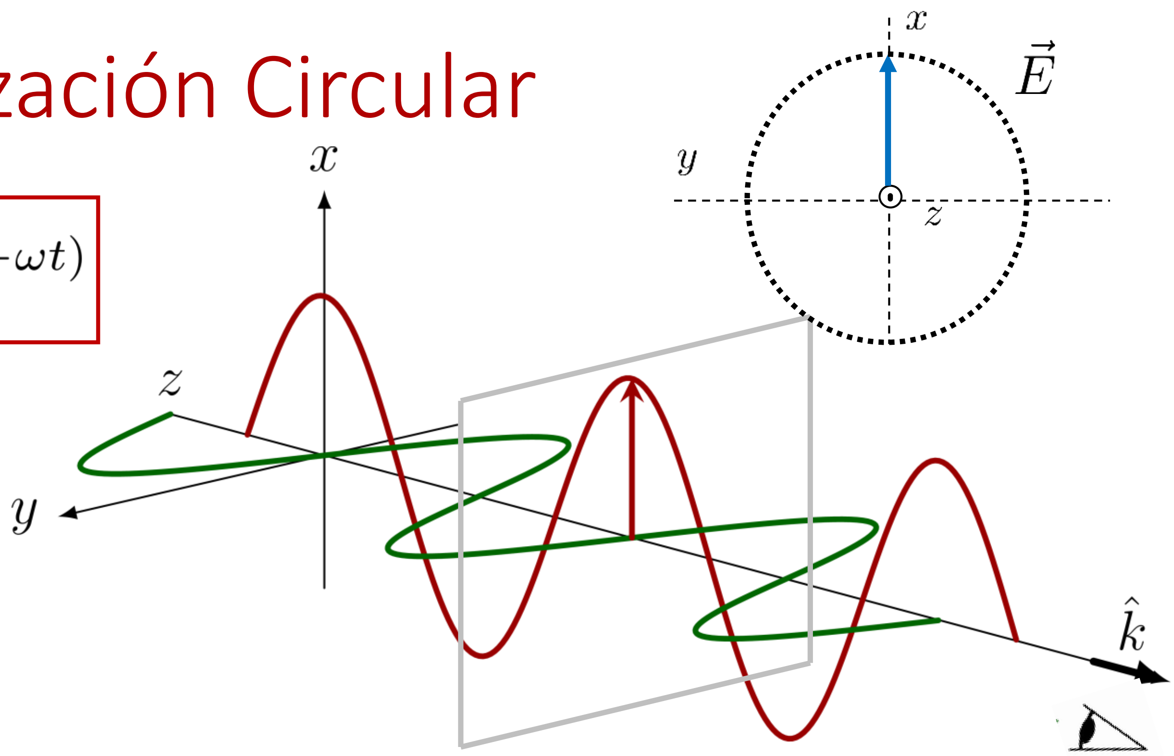


Polarización Circular

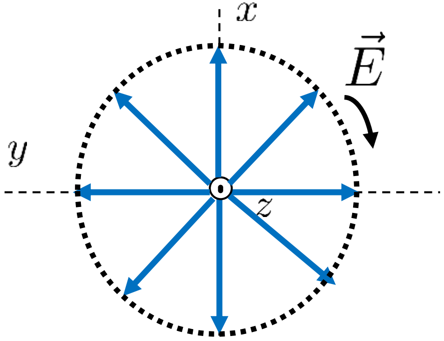
$$\boxed{\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)e^{i(kz-\omega t)}}$$

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

m : múltiplos enteros



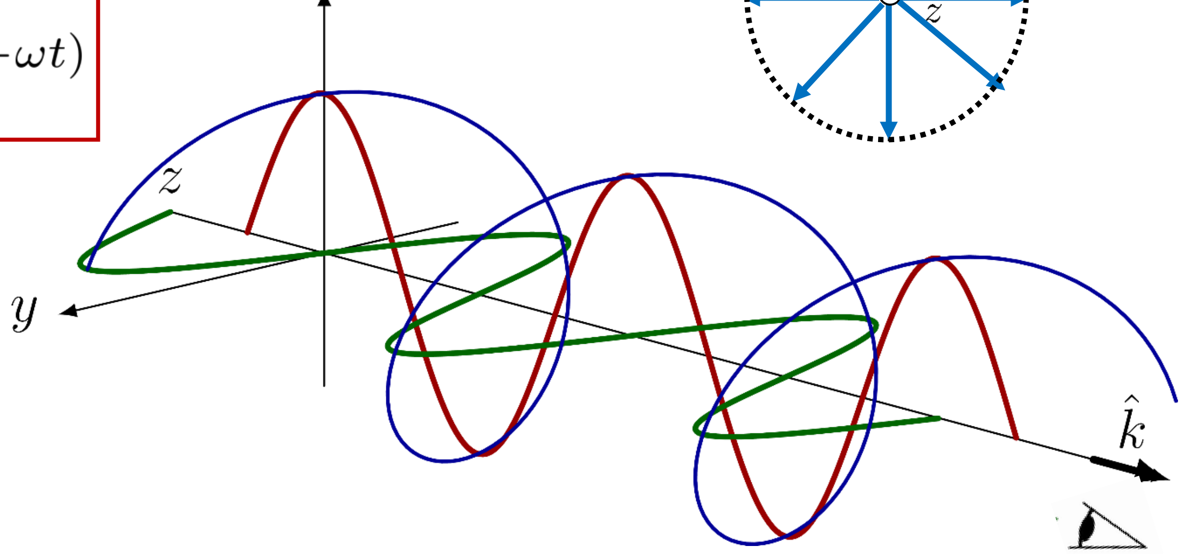
Polarización Circular

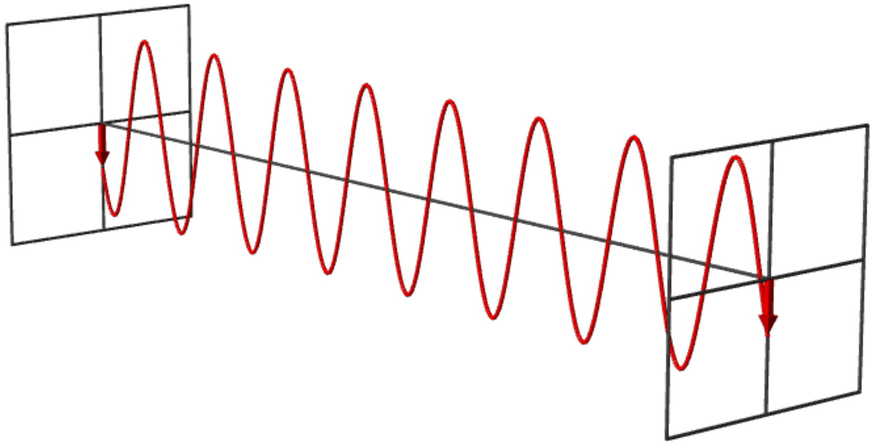


$$\boxed{\vec{E} = \left(E_{ox}\hat{x} + e^{i\phi}E_{oy}\hat{y}\right)e^{i(kz-\omega t)}}$$

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

m : múltiplos enteros





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

(mirado desde el receptor)

Polarización Elíptica

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

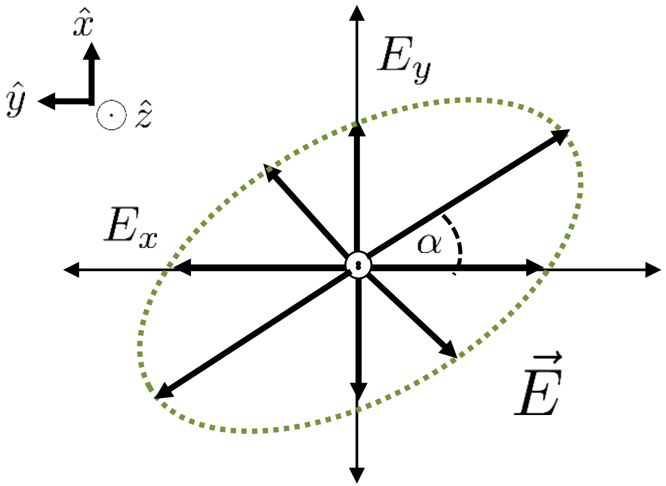
ϕ : Cualquier valor

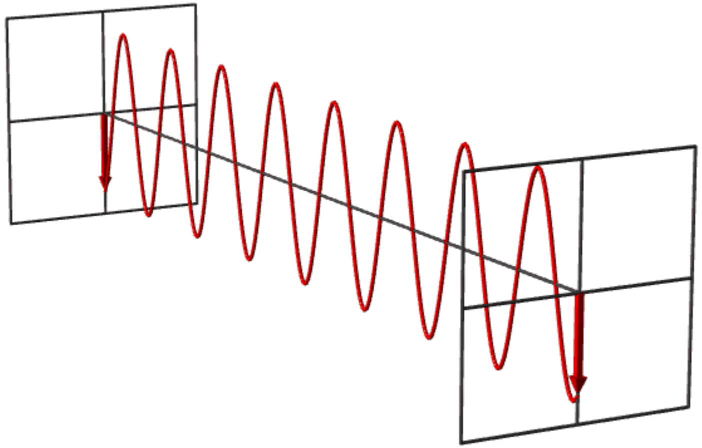
$E_{ox} \neq E_{oy}$

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

Ec. de una Elipse

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

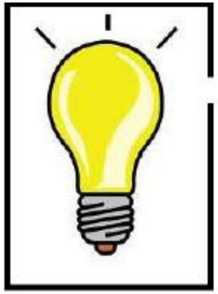




Luz Natural

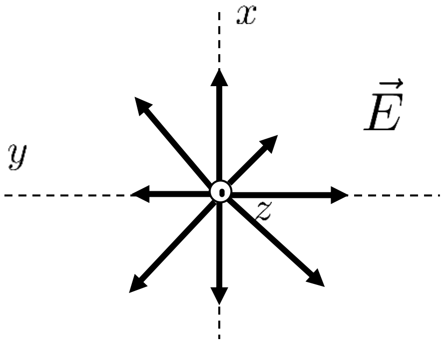
- La luz natural esta compuesta por varios emisores independientes y orientados al azar

- La superposición de todas las emisiones genera una onda cuya polarización fluctúa muy rápido (10^{-8} seg)



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

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

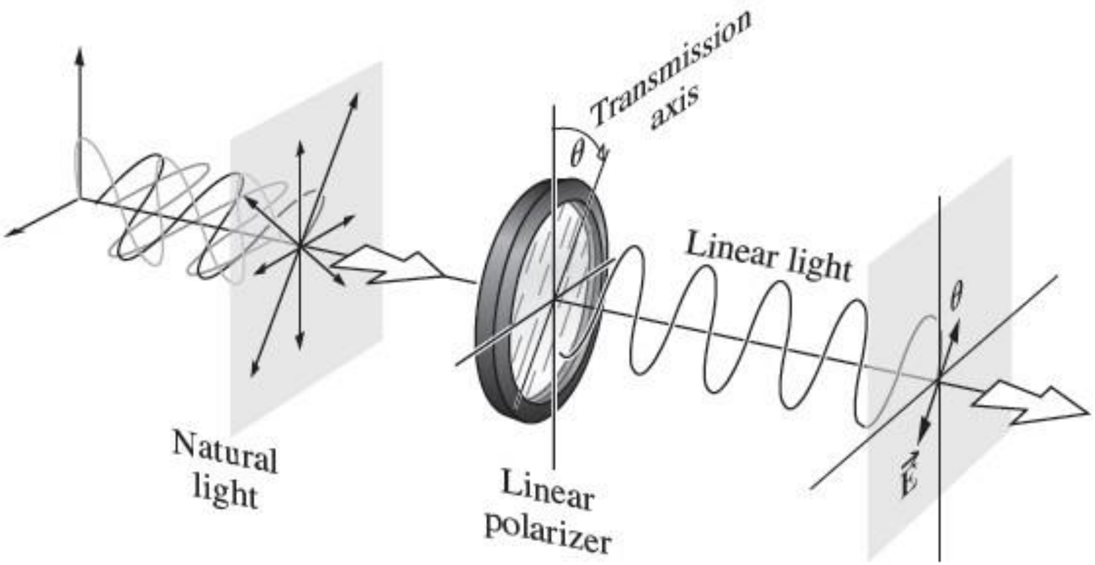


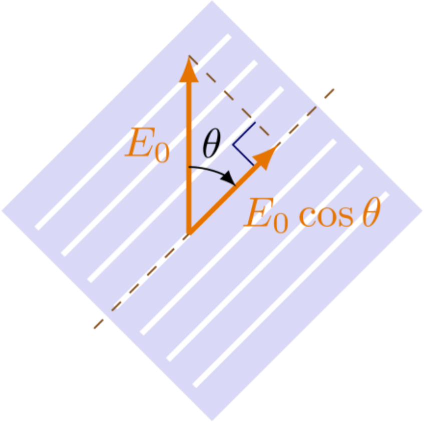
$\boxed{\text{No hay un estado de polarización definido}}$

Luz no polarizada o aleatoriamente polarizada

Como Polarizar la luz

- **Dicroísmo** (Absorción selectiva). Polarizadores

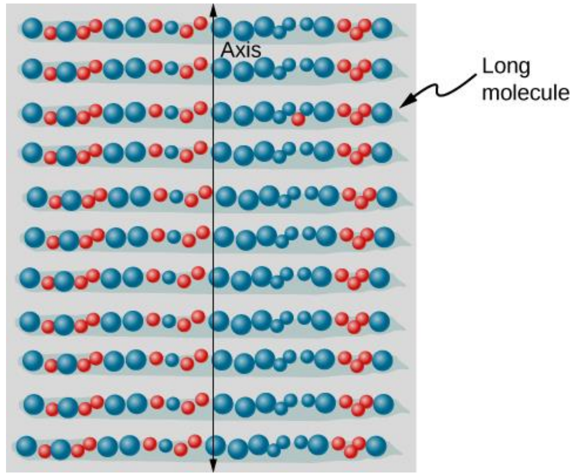


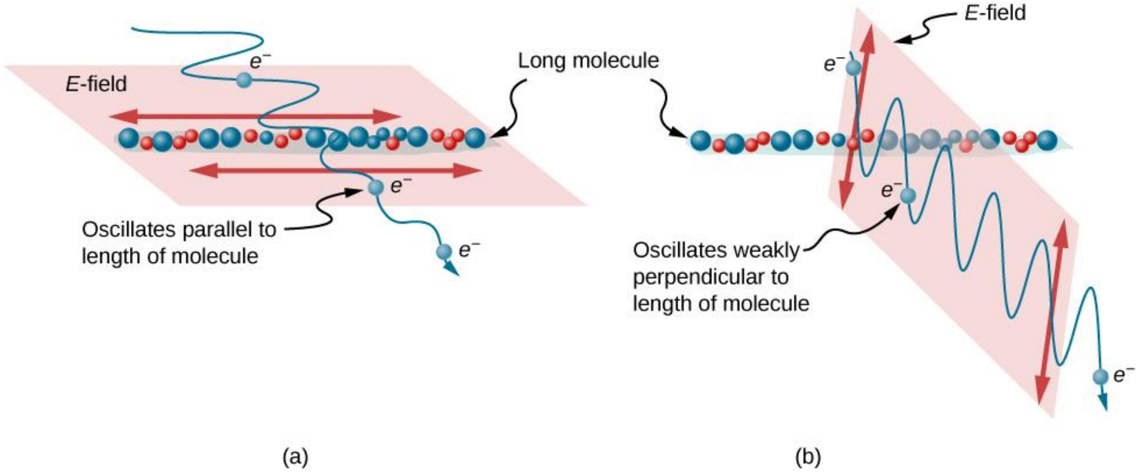


Poseen eje de transmisión, que permite el paso de la luz en estado de polarización paralelo a su eje

Como Polarizar la luz

- **Dicroísmo** (Absorción selectiva). Polarizadores

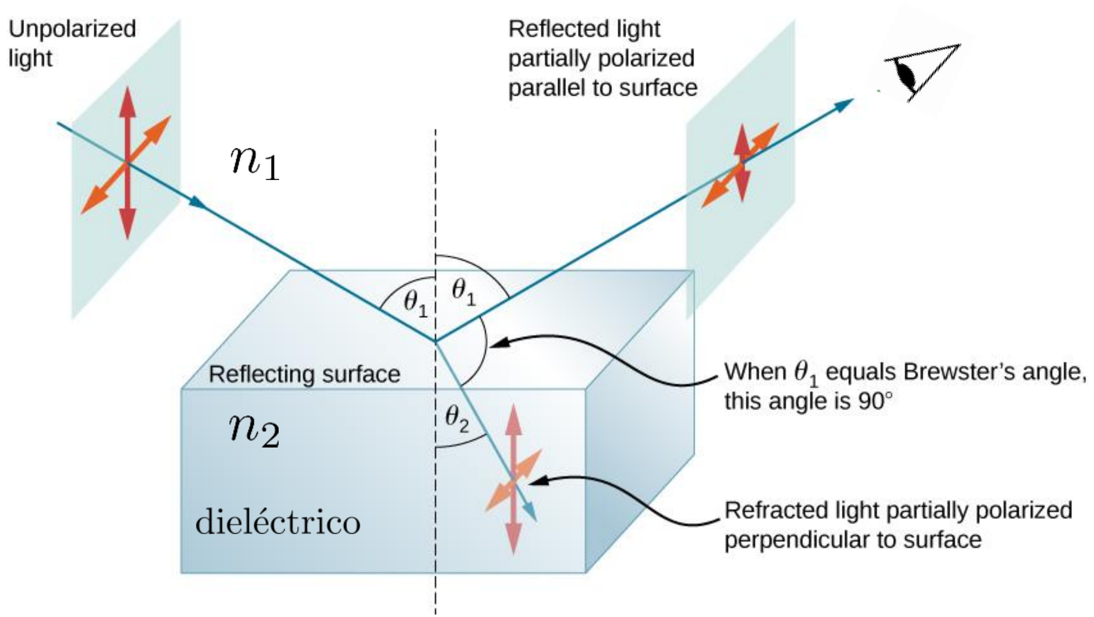


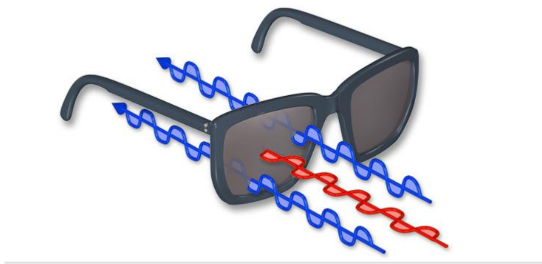


Poseen eje de transmisión, que permite el paso de la luz en estado de polarización paralelo a su eje

Como Polarizar la luz

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





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

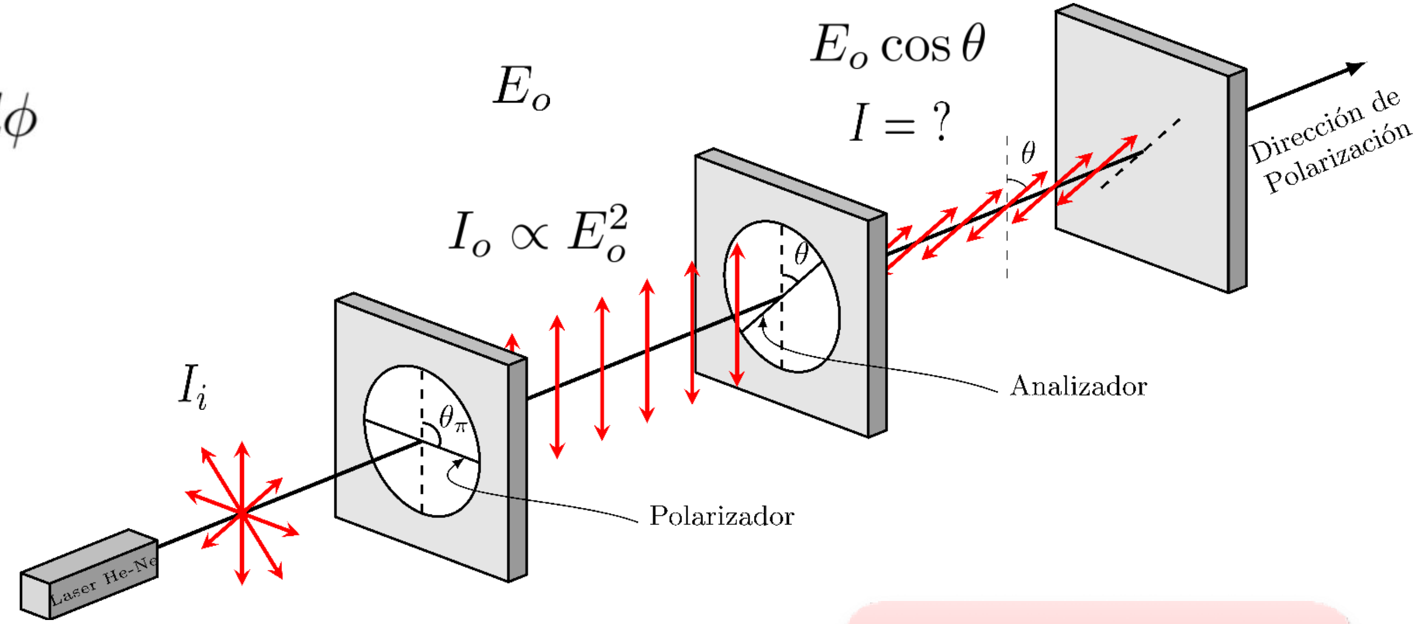
- Agua: $\theta_B \approx 53°$
- Vidrio: $\theta_B \approx 56°$

Ley de Malus

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

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

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



Relación entre I_o y I_i ??

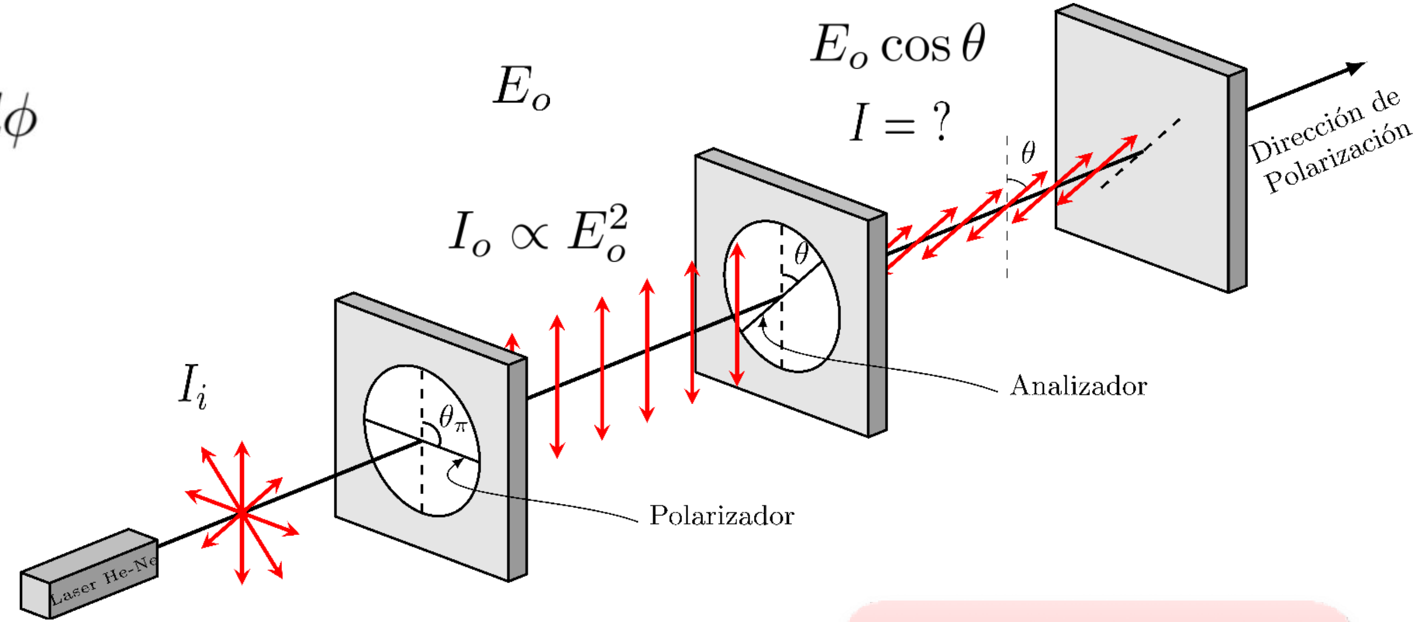
$$I(\theta) = I_o \cos^2(\theta)$$

Ley de Malus

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

$$I = \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{2\pi} \frac{\vec{E} \cdot \vec{E}*}{2} d\phi$$

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



Relación entre I_o y I_i ??

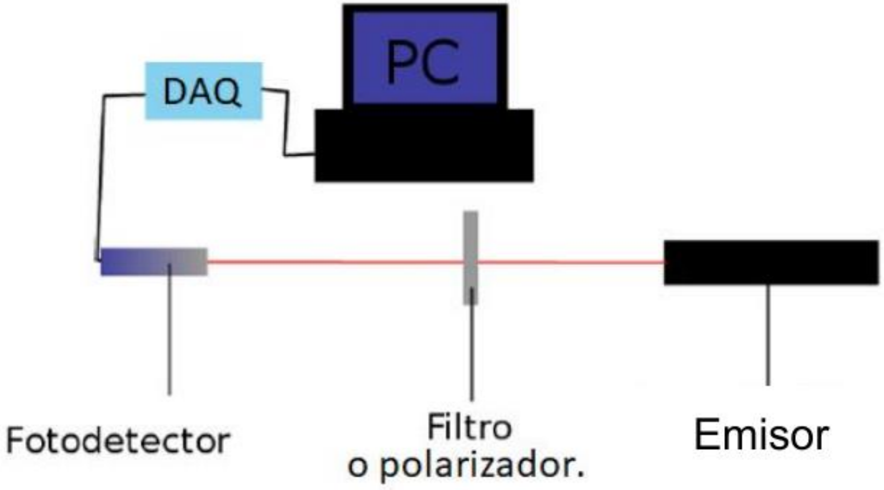
$$\boxed{I_o = \frac{I_i}{2}}$$

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

Practica de Hoy

- Estudiar la estabilidad del Laser He-Ne: $I(t)$
- Laser He-Ne linealmente polarizado: Obtener $I(\theta)$ verificar ley de Malus
- Grafico polar de $I(\theta)$ obtener la dirección de polarización del laser

- Para el laser He-Ne "random": Registrar la curva $I(\theta)$ con un solo polarizador.
- Agregar otro polarizador y verificar la ley de Malus. Grafico Polar.
- Filtros?



Montaje Experimental