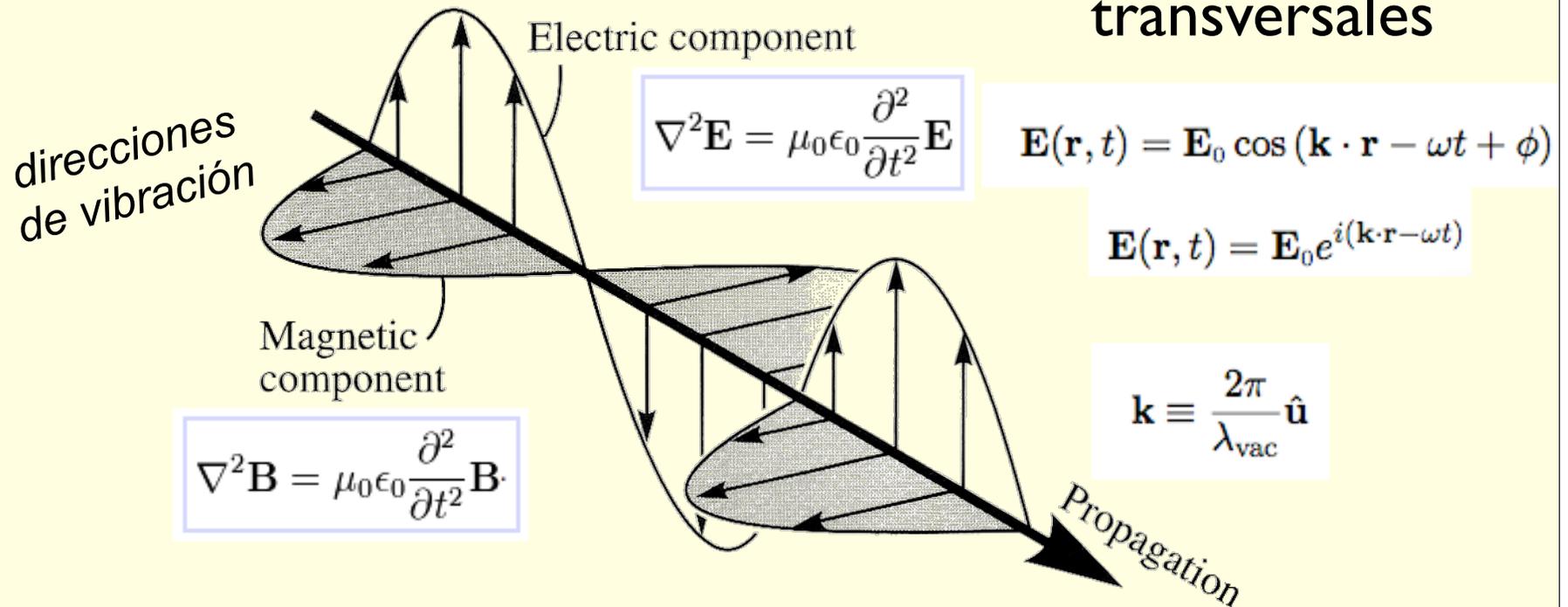


Luz polarizada y el microscopio de polarización

Prof. Martin Reich

Componentes de la radiación electromagnética

Ondas transversales



$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t + \phi)$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$$

$$\mathbf{k} \equiv \frac{2\pi}{\lambda_{\text{vac}}} \hat{\mathbf{u}}$$

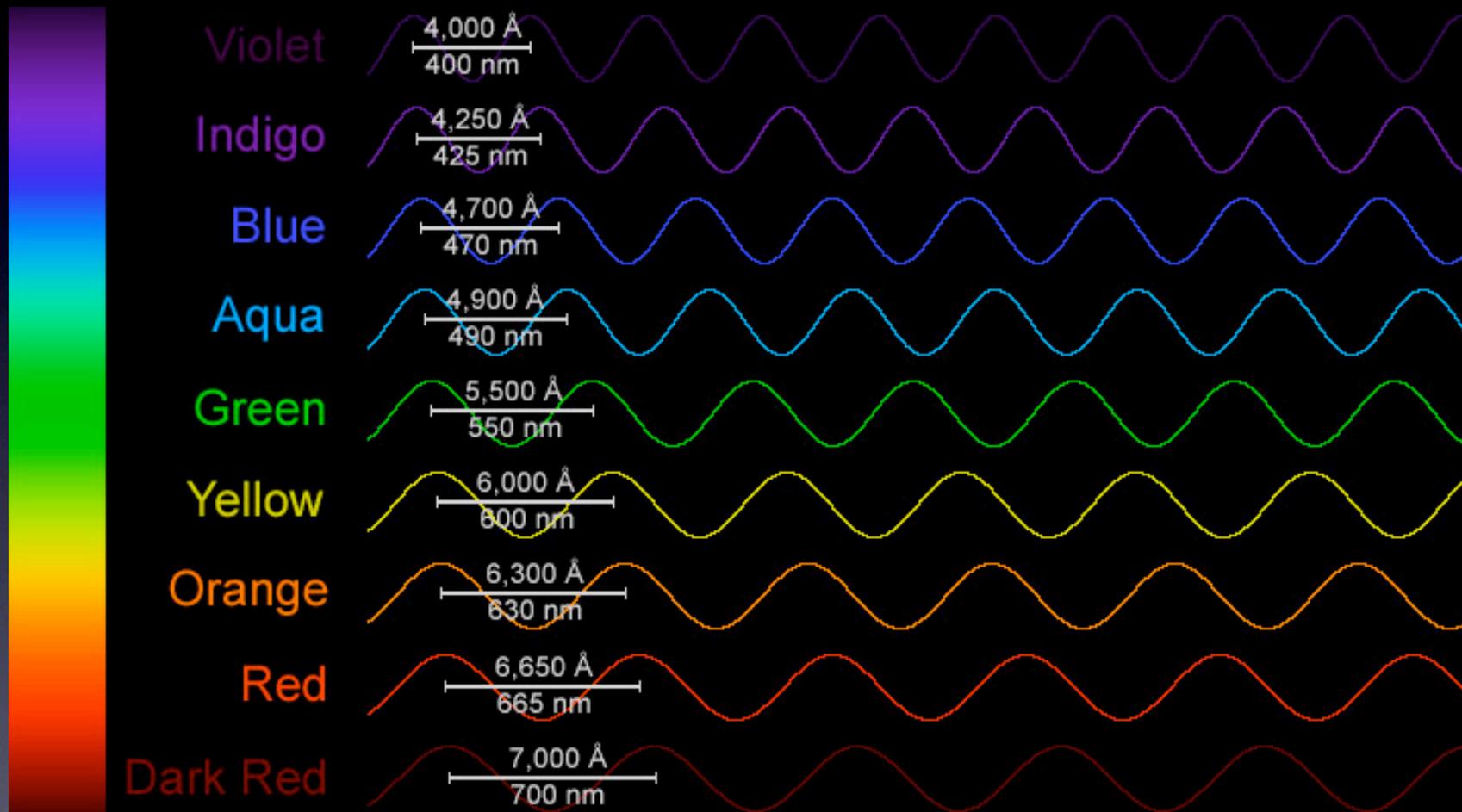
$$\nabla^2 \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \begin{array}{l} \epsilon_0 = \text{electric permittivity} \\ \mu_0 = \text{magnetic permeability} \end{array}$$

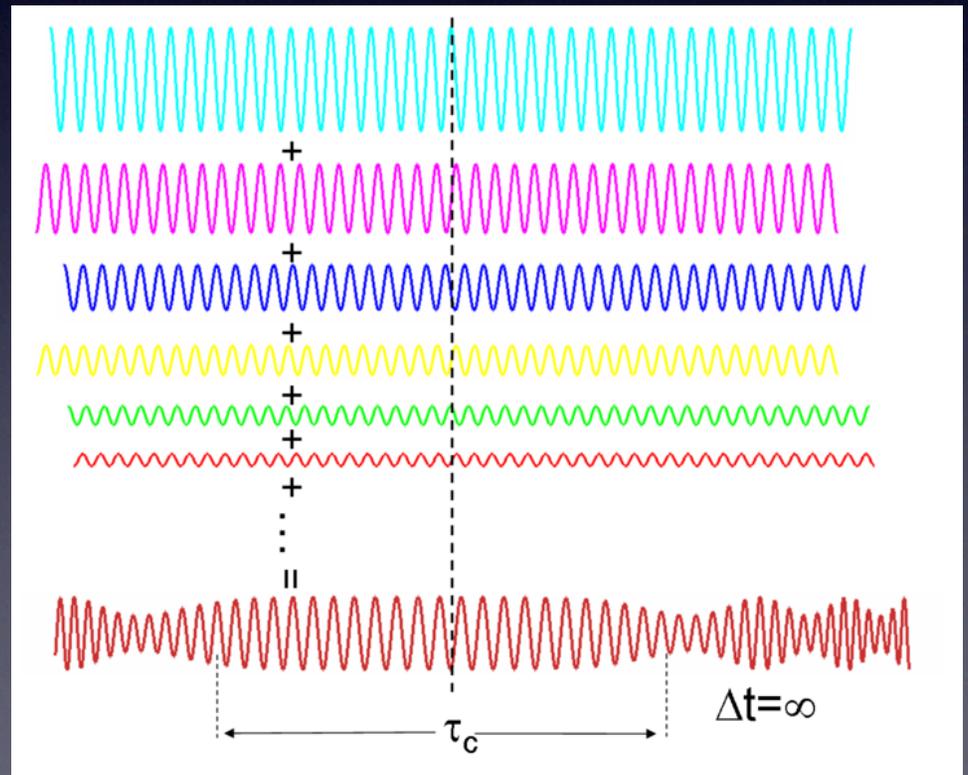
$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B},$$

Vector de Poynting
(flujo de energía)

Longitudes de onda visibles

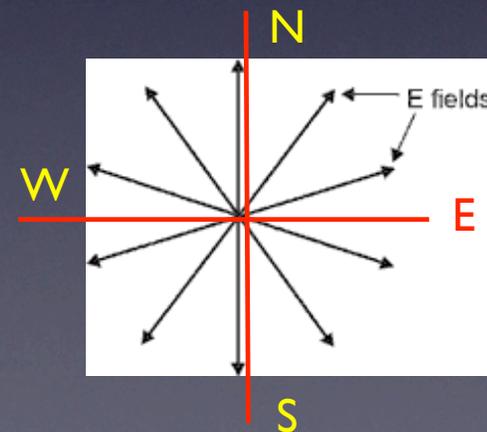
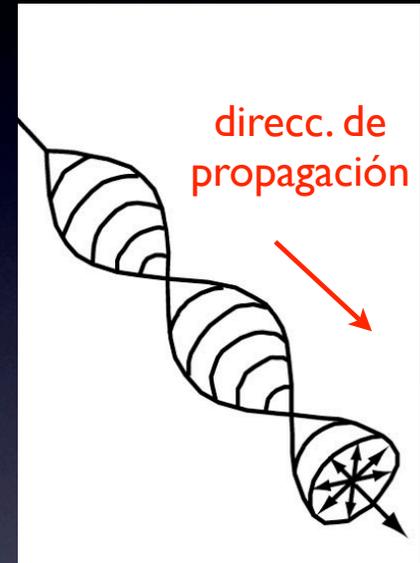
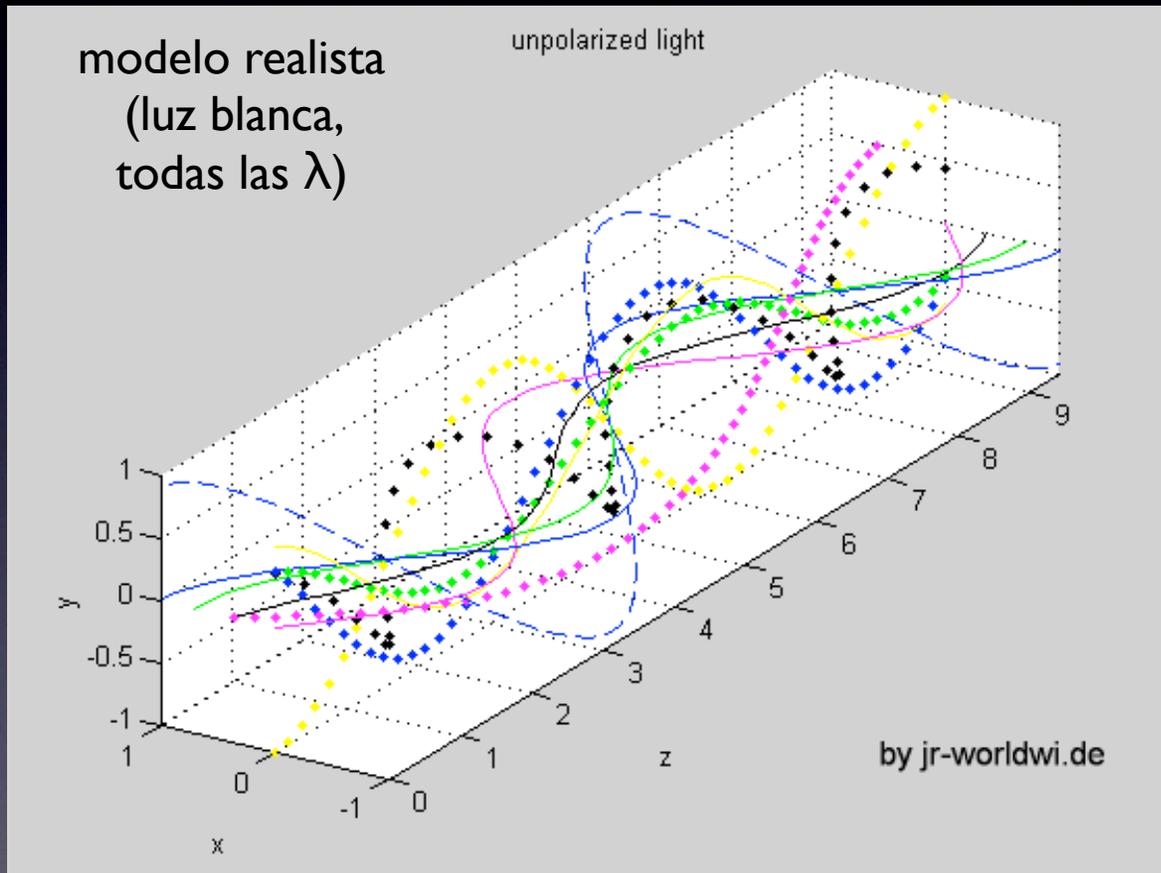


Luz blanca ordinaria



Direcciones de vibración de la luz blanca ordinaria (no polarizada)

Nota: por convención, de ahora en adelante todas las direcciones de vibración corresponderán al campo eléctrico (**E**)



la luz blanca, no polarizada, contiene todas las direcciones posibles de vibración de E

Olympus C-8080WZ No Filter
Aperture: f5.0
Shutter: 1/400 sec.

Hoya Pro-1 SMC UV Filter
Aperture: f5.0
Shutter: 1/400 sec.

Hoya UMC Ultra-Thin Circular
Polarizer w/UV
Aperture: f5.0
Shutter: 1/160 sec.

Hoya UMC Ultra-Thin Circular
Polarizer w/UV
Aperture: f5.0
Shutter: 1/80 sec.

Minimum Polarization Setting

Maximum Polarization Setting

note: This not a stacked filter - the UV is built into the polarizer

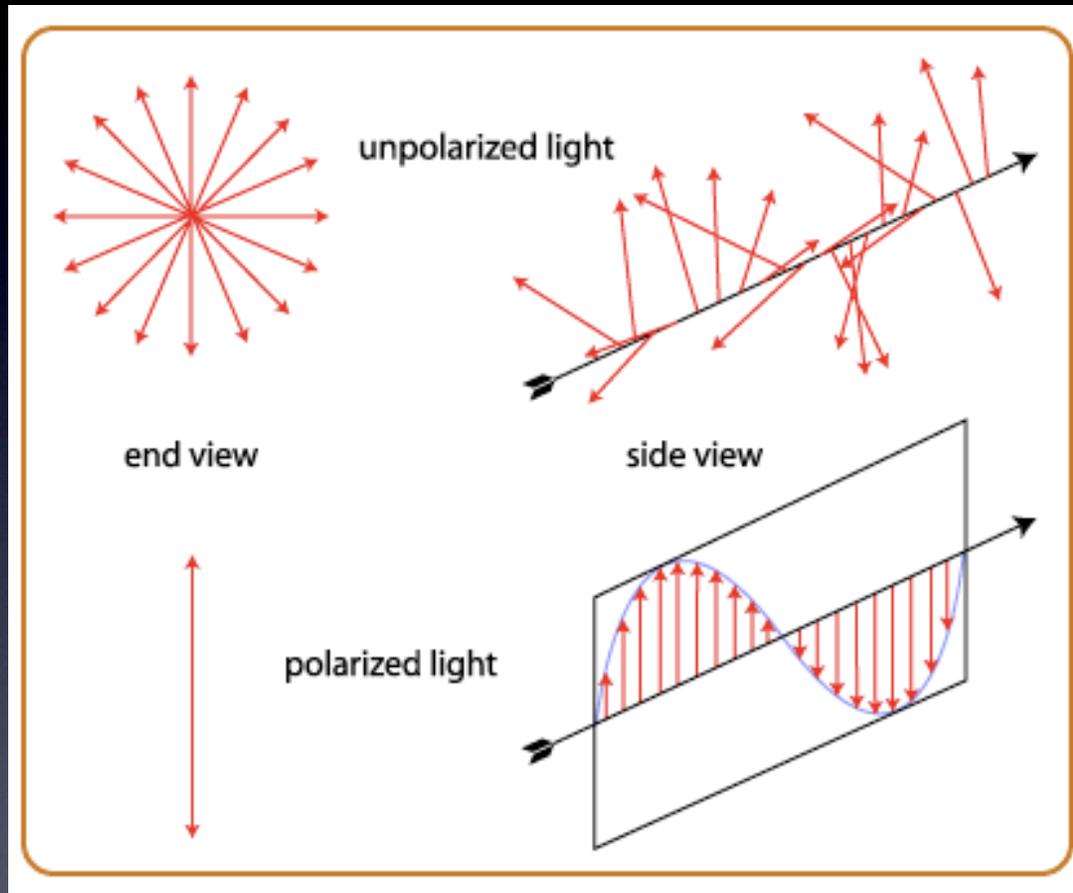


© 2004 John Peper



pueden actuar sobre las direcciones de vibración o sobre la amplitud

Luz polarizada

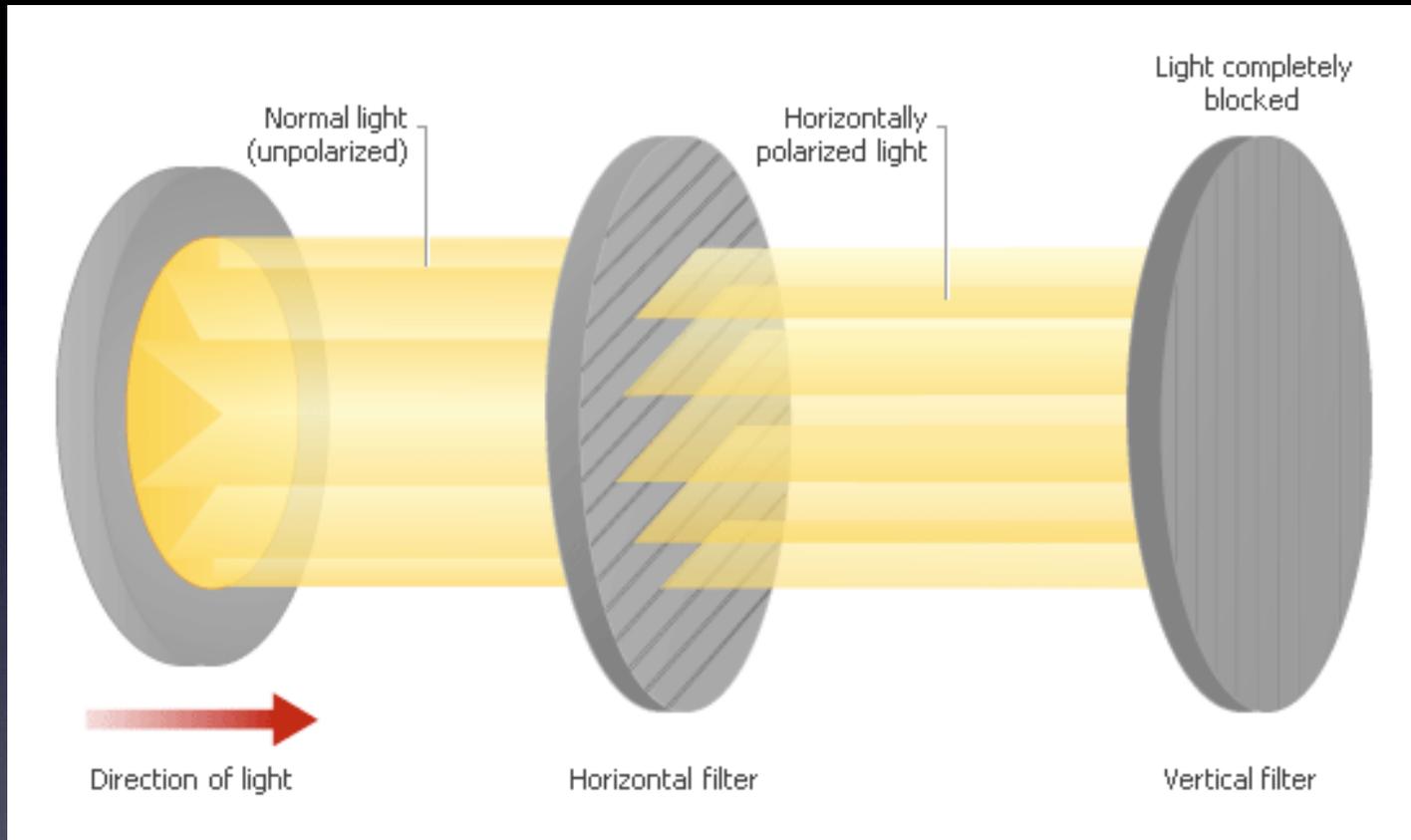


la luz vibra en todas direcciones
(NO POLARIZADA)

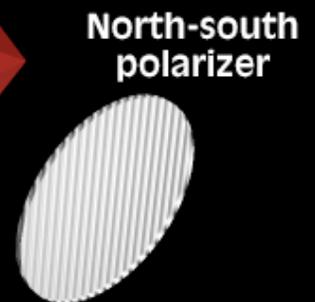
la luz vibra sólo en ciertas direcciones
(POLARIZADA)

Luz ordinaria vs. polarizada

Polarizadores

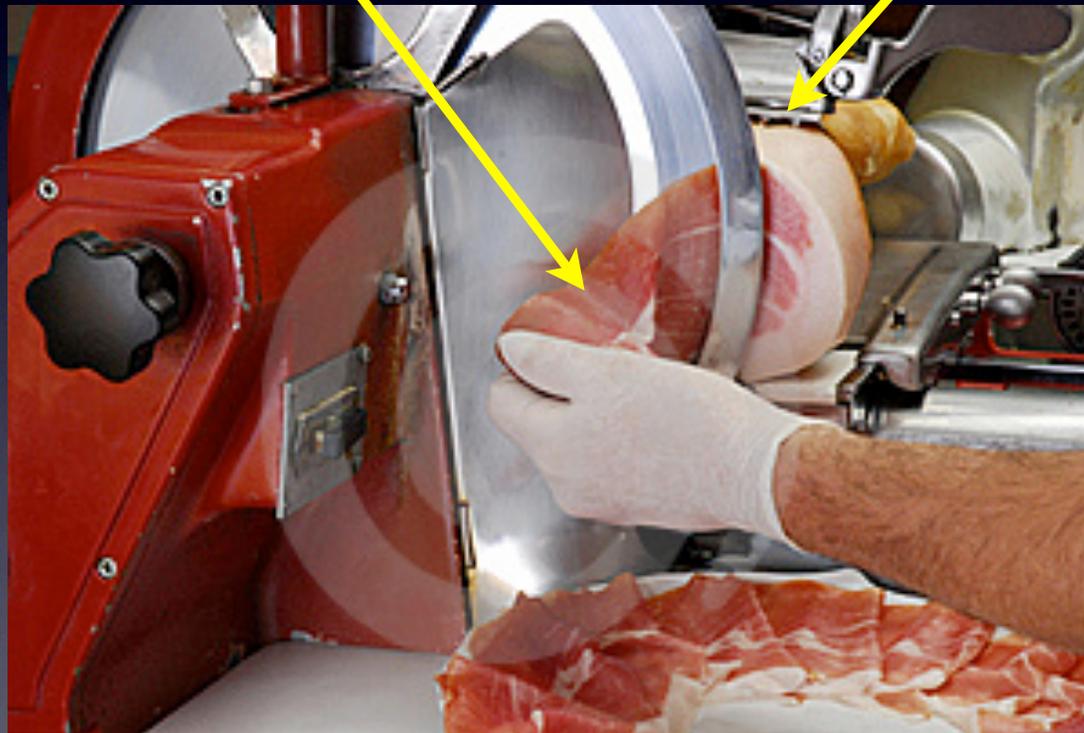
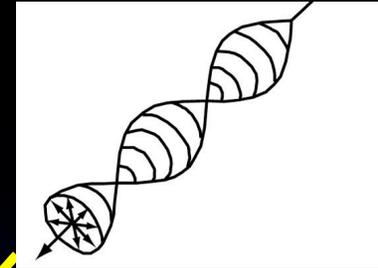


permiten ajustar la dirección de vibración de la luz a gusto



Proceso de polarización de la luz ordinaria

Luz polarizada (láminas)



Polarizadores

Son dispositivos ópticos que permiten convertir la luz normal (no-polarizada) en luz con un estado de polarización único

Existen 2 tipos principales: **polarizadores de absorción** y **polarizadores de “beam-splitting”** (divisores de rayo)

Absorción

El material polarizante absorbe preferencialmente la luz en determinadas direcciones

- “wire-grids”, rejillas metálicas
- turmalina (no muy usada)
- Filtros polaroides (cristales de herapatito alineados). ej. lentes de sol
- films con nanopartículas de plata

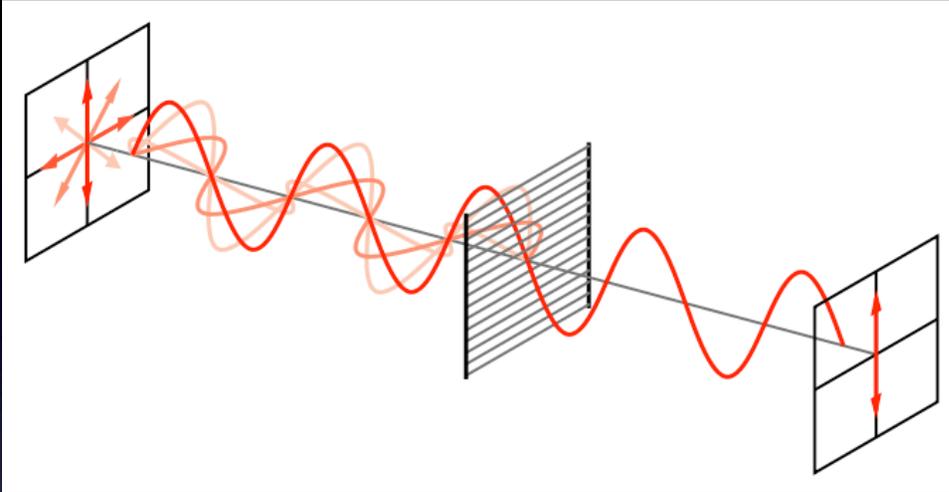
más usados

Beam-splitting

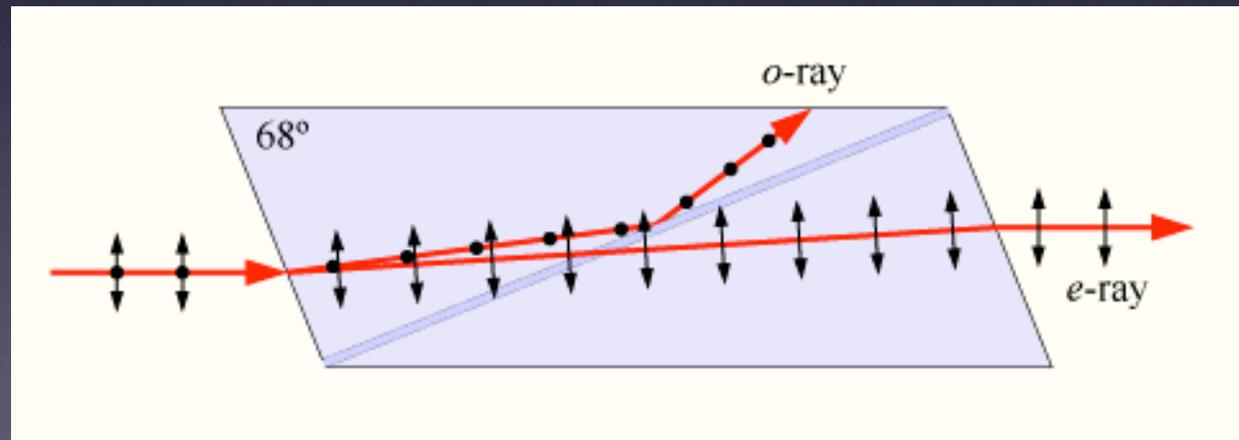
El material polarizante divide la luz en dos haces de distinta polarización

- polarizadores birefringentes (cuarzo, calcita)
- prisma de Nicol (calcita)

Polarizadores



de absorción



de beam splitting

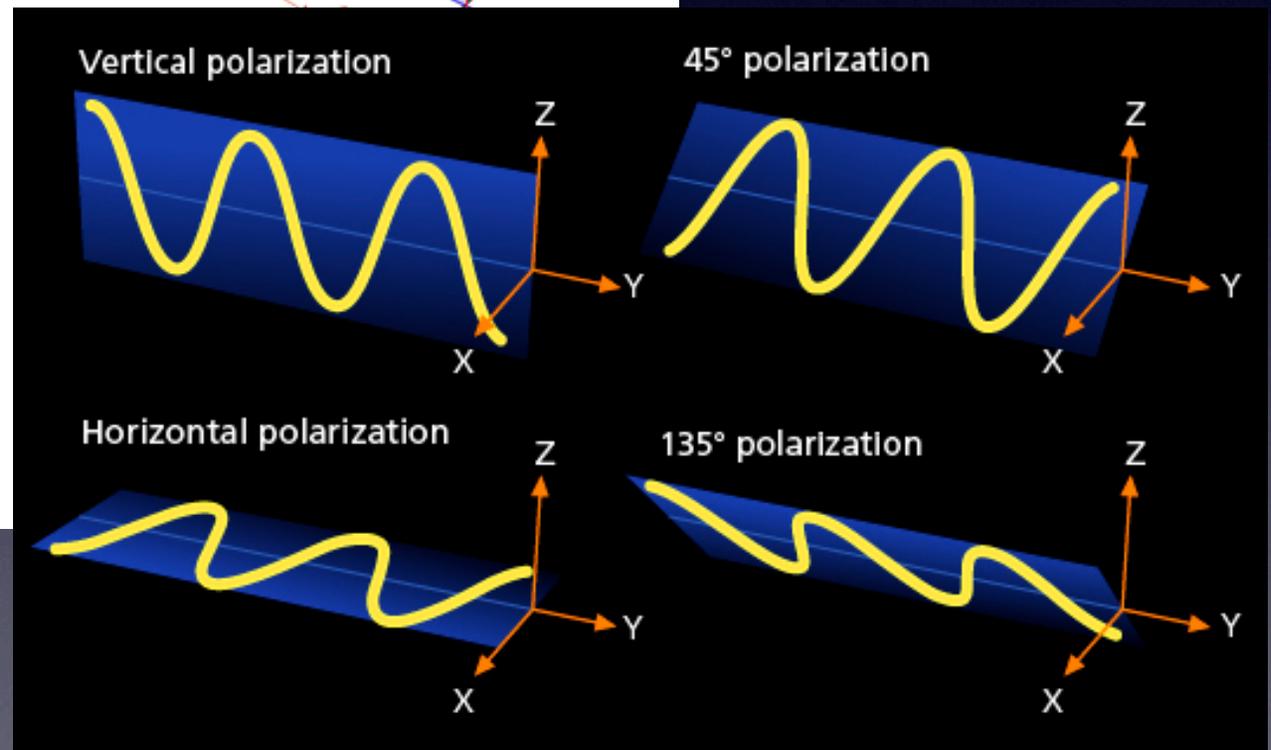
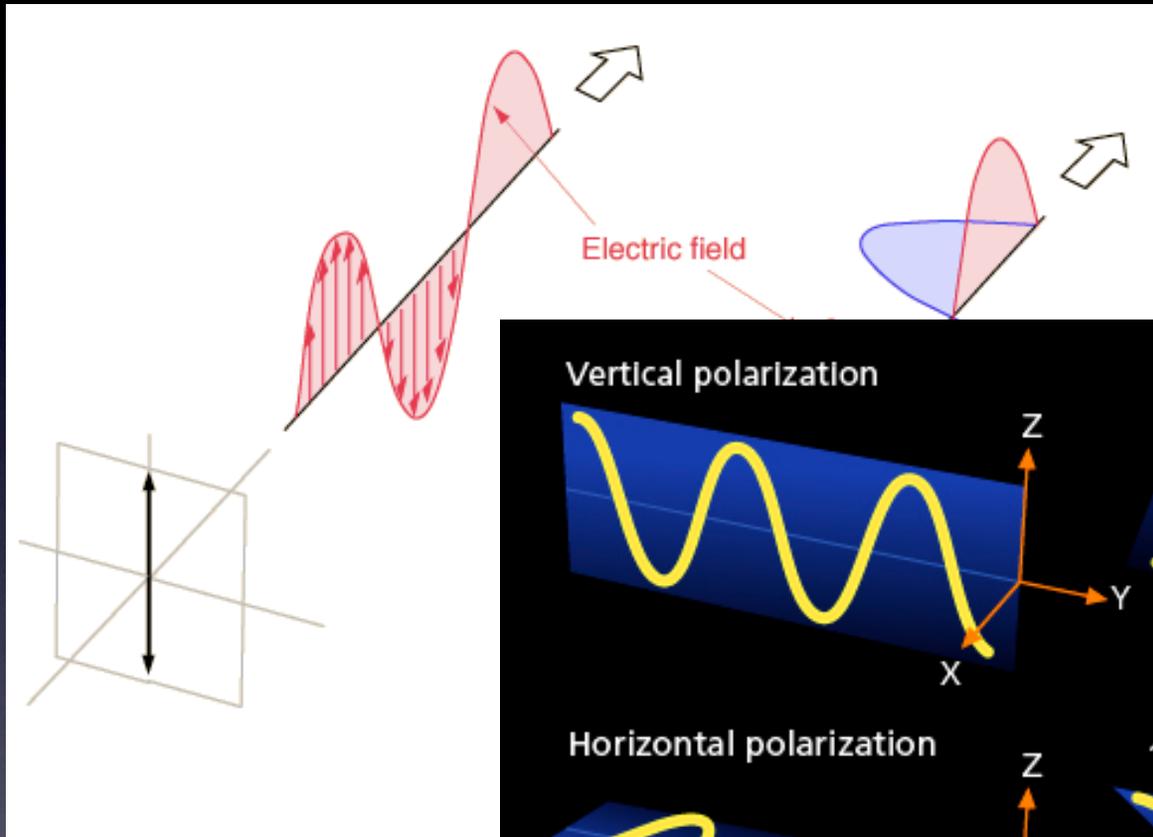
Doble refracción (o birefringencia) de la calcita



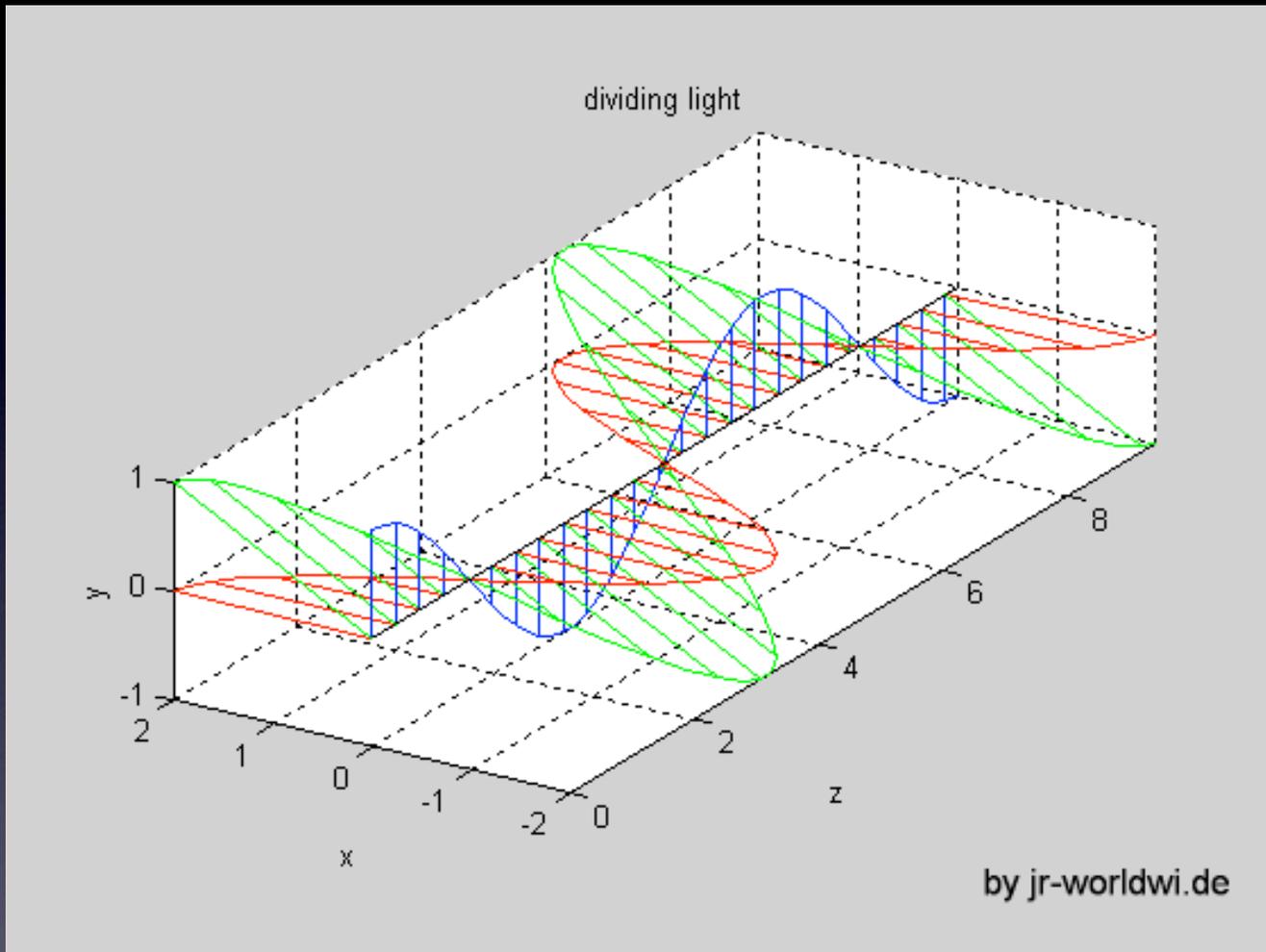
Tipos de polarización

Tipos de polarización

polarización lineal

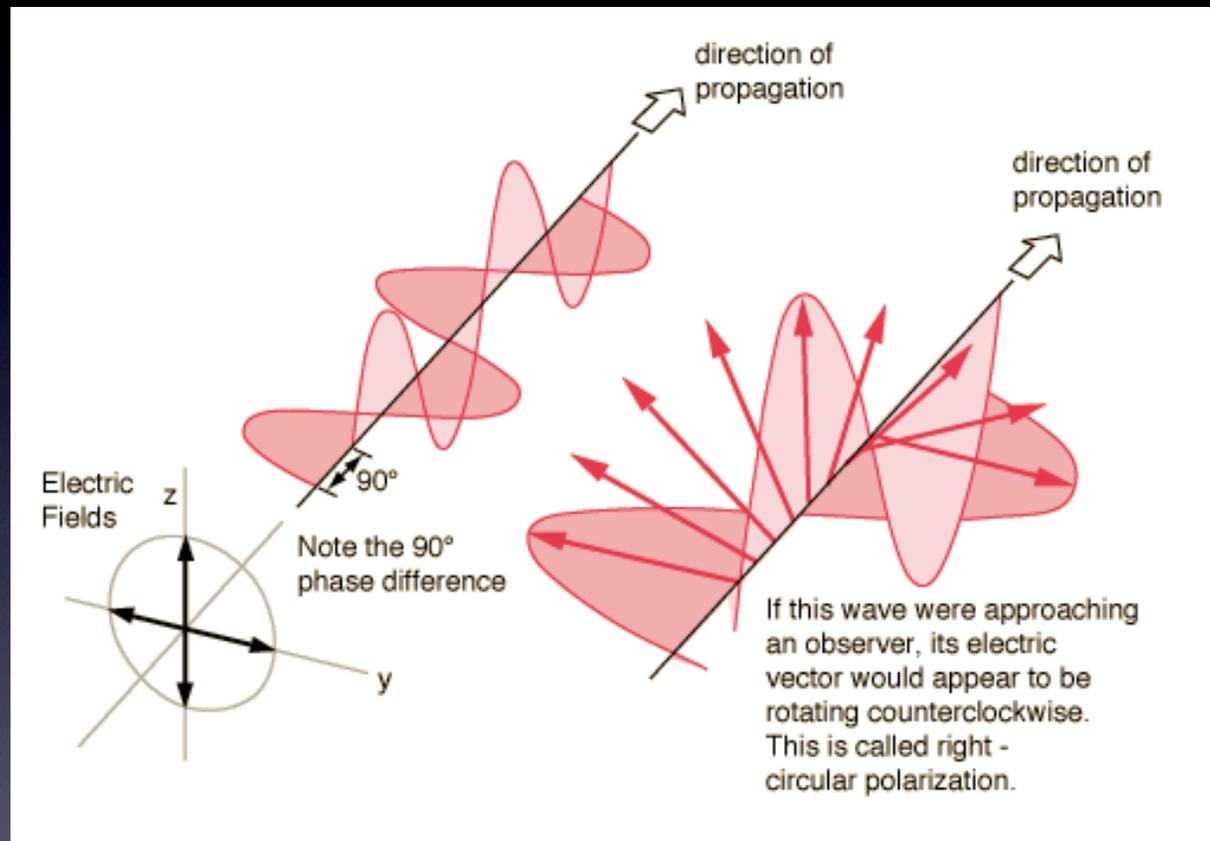


Polarización lineal



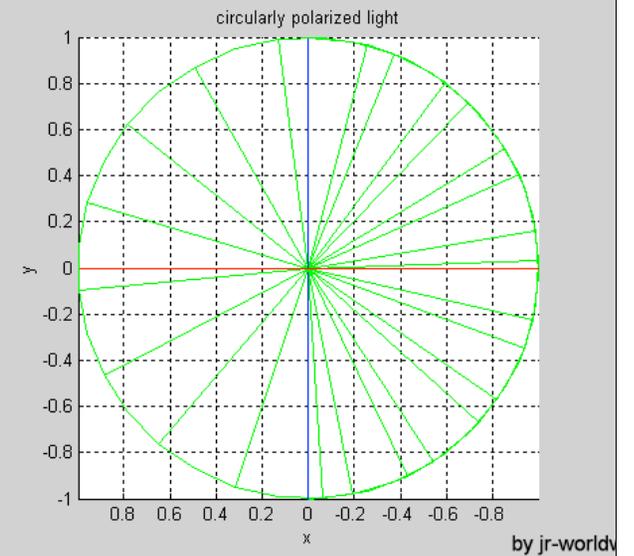
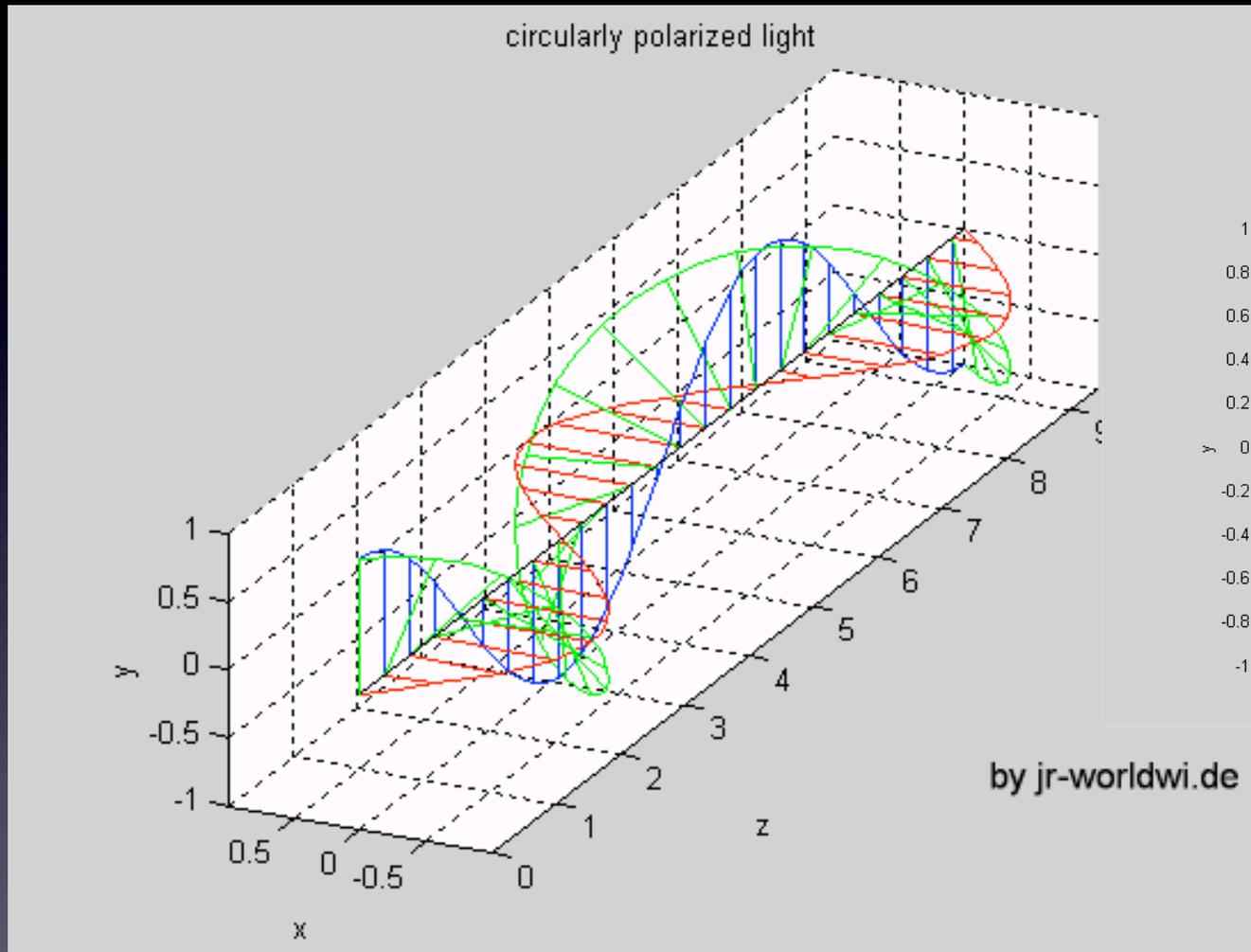
aunque tengan distinta amplitud, la polarización es lineal. Ojo! esto no se cumple si hay diferencia de fase entre 2 ondas

Polarización circular



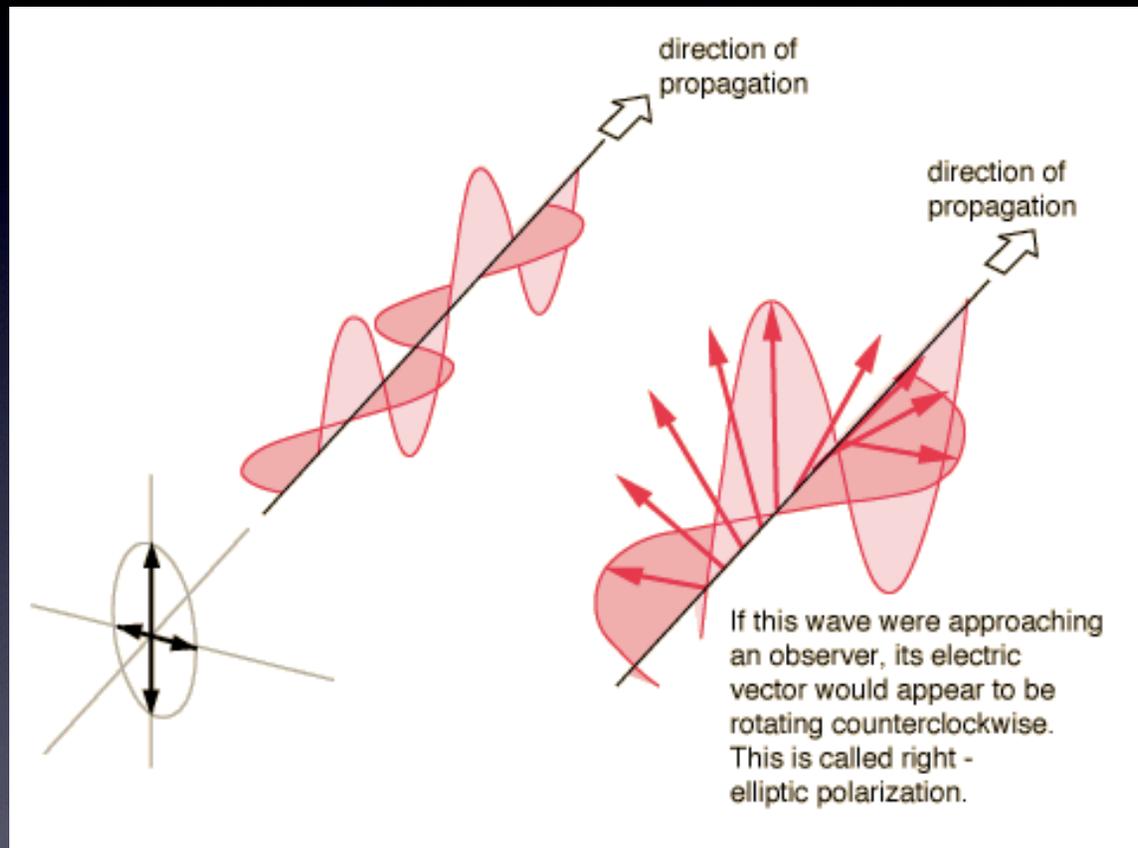
en este caso el polarizador está diseñado para producir una diferencia de fase de 90° entre 2 ondas

Polarización circular



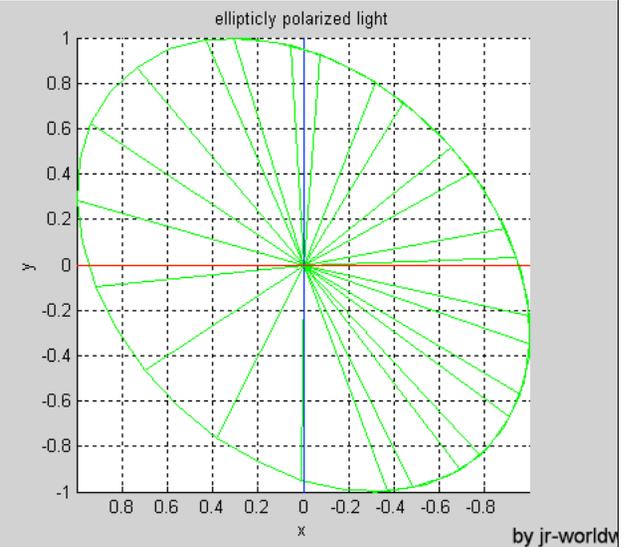
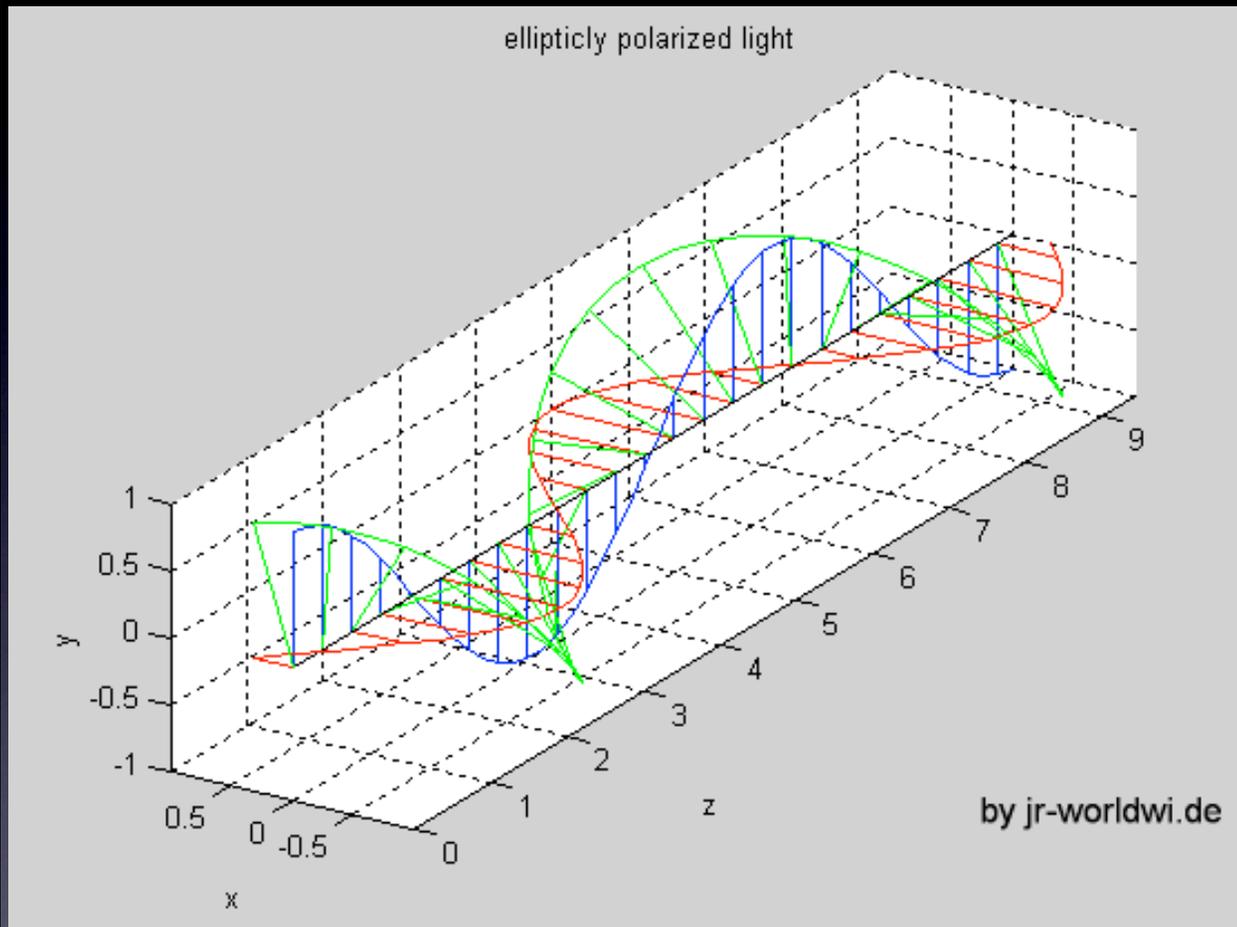
el polarizador produce una diferencia de fase entre 2 ondas

Polarización elíptica



el polarizador produce una diferencia de fase y de amplitud entre 2 ondas

Polarización elíptica

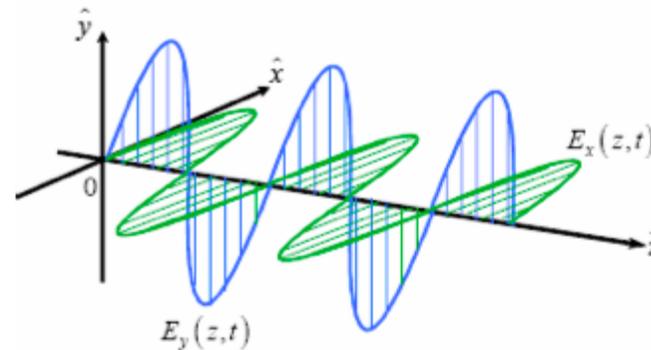


el polarizador está diseñado para producir una diferencia de fase y de amplitud entre 2 ondas

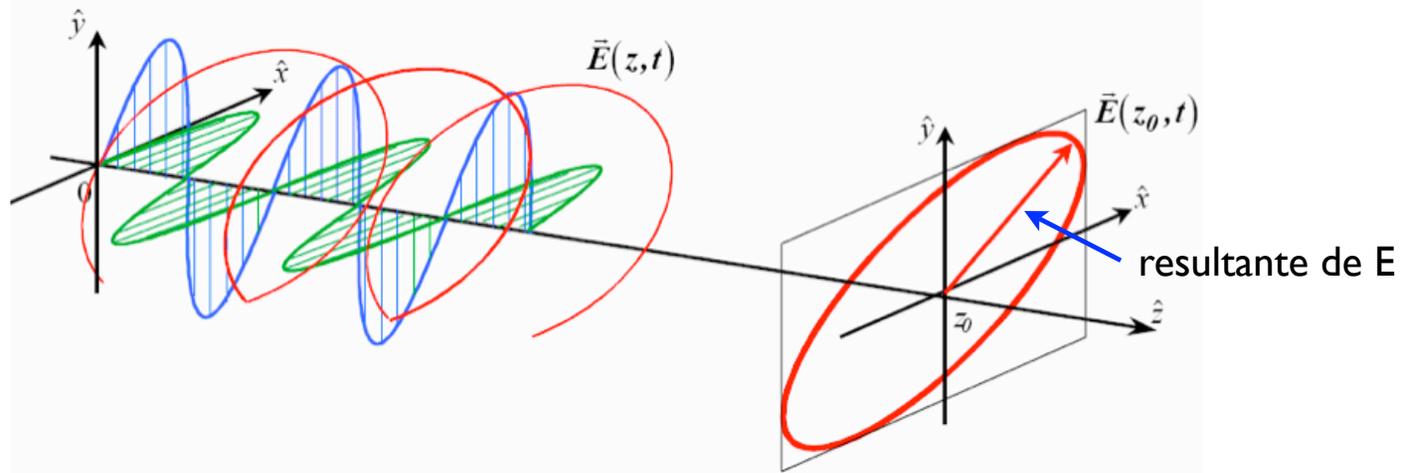
Elipse de polarización: tipos de polarización

Imaginemos 2 ondas que se propagan a lo largo de z, con una cierta diferencia de fase (δ) y amplitudes (E_0):

$$\vec{E}(r, t) = \begin{bmatrix} E_{0x} \cos(\omega t - kz - \delta_x) \\ E_{0y} \cos(\omega t - kz - \delta_y) \\ 0 \end{bmatrix}$$



Al propagarse en función del tiempo, el vector del campo eléctrico tomará una cierta “forma”:



$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 - 2\frac{E_x E_y}{E_{0x} E_{0y}} \cos(\delta) + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 = \sin^2(\delta) \quad \text{With: } \delta = \delta_y - \delta_x$$

← diferencia de FASE

Representación matricial de la polarización

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 - 2\frac{E_x E_y}{E_{0x} E_{0y}} \cos(\delta) + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 = \sin^2(\delta) \quad \text{With: } \delta = \delta_y - \delta_x$$

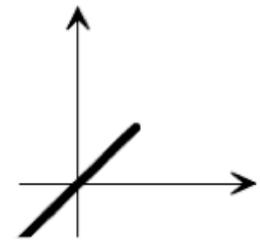
Se pueden distinguir 3 casos en base a la diferencia de AMPLITUD (E_0) y de FASE (δ) de las ondas planas:

- $\delta = 0, \pi$ → the polarization is linear since $\tau = 0$

misma fase e igual o diferente amplitud:
POLARIZACION LINEAL

→ the orientation angle is given by

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{E_{0y}}{E_{0x}}\right) \text{ if } \delta = 0 \quad \text{and} \quad \phi = -\tan^{-1}\left(\frac{E_{0y}}{E_{0x}}\right) \text{ if } \delta = \pi$$



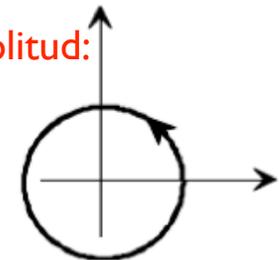
- $\delta = \pm \frac{\pi}{2}$ and $E_{0x} = E_{0y}$

diferencia de fase de 90° e igual amplitud:
POLARIZACION CIRCULAR

→ the polarization is circular, since $\tau = \pm \pi/4$

→ the sense of rotation is given by $\text{sign}(\delta)$.

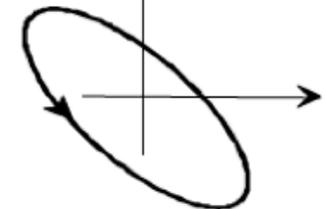
→ If $\delta < 0$, the polarization is right circular, whereas for $\delta > 0$ the polarization is left circular.



- Otherwise

diferente fase y amplitud:
POLARIZACION ELIPTICA

→ If $\delta < 0$, the polarization is right elliptic, whereas for $\delta > 0$ the polarization is left elliptic.

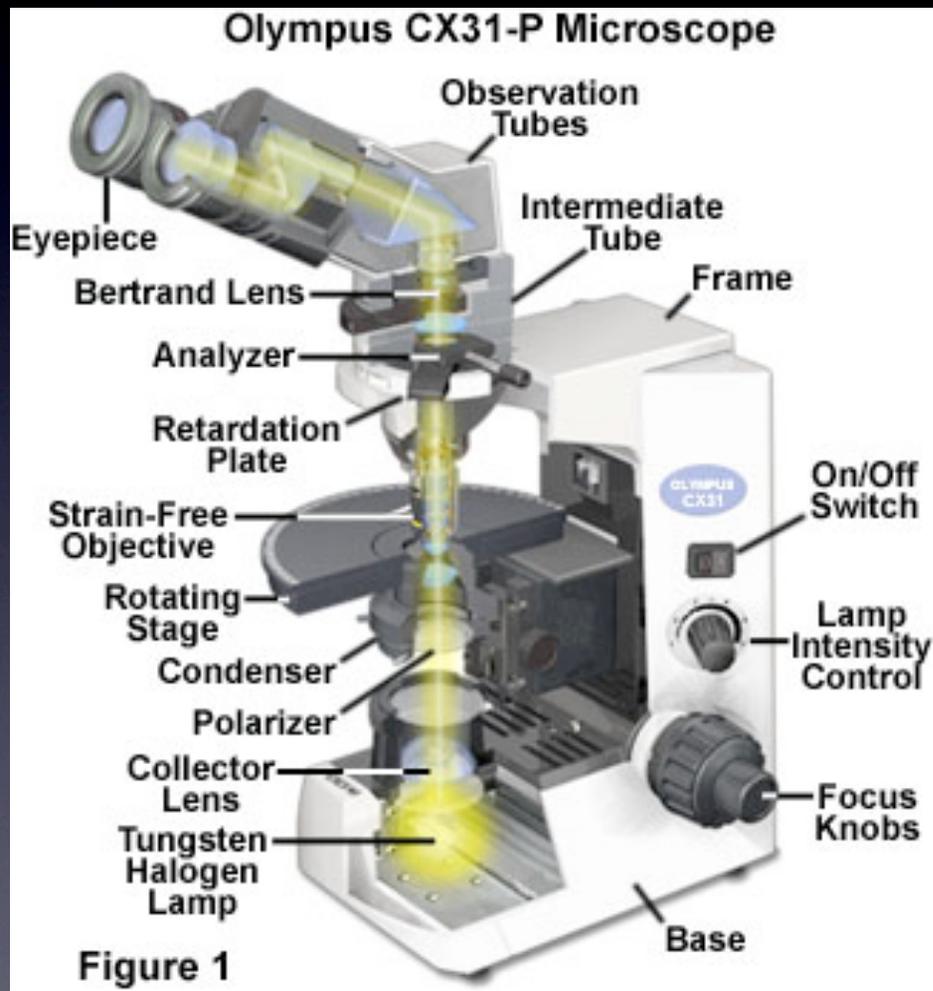


ejemplo polarización circular y elíptica

http://images.google.com/imgres?imgurl=http://www.nsm.buffalo.edu/~jochena/images/circular3.gif&imgrefurl=http://www.nsm.buffalo.edu/~jochena/research/opticalactivity.html&h=287&w=258&sz=127&hl=es&start=19&sig2=v7DJXCGeDdg6k8a_R-tvpQ&tbnid=345WhUykC23PwM:&tbnh=115&tbnw=103&ei=VqOPR8DSHjrWgQPA6SjDQ&prev=/images%3Fq%3Dcircular%2Bpolarization%2Bout%2Bof%2Bphase%26start%3D18%26gbv%3D2%26ndsp%3D18%26svnum%3D10%26hl%3Des%26sa%3DN

El microscopio polarizador

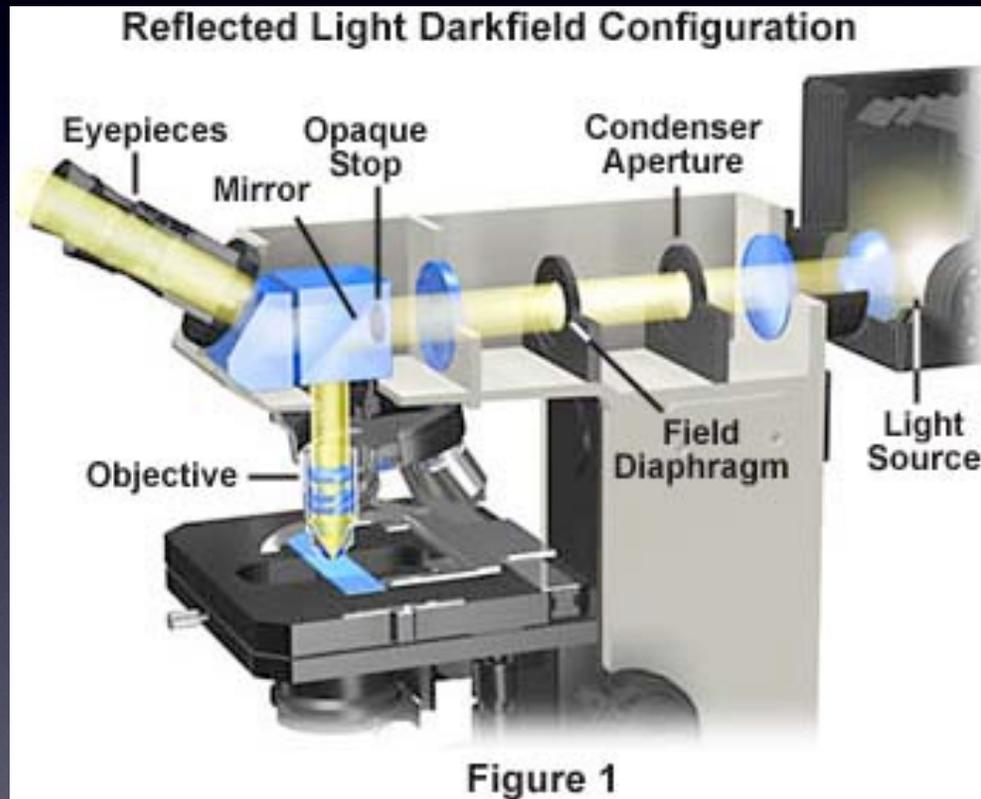
(también llamado microscopio de luz polarizada o microscopio petrográfico)



para minerales
transparentes
(luz transmitida)

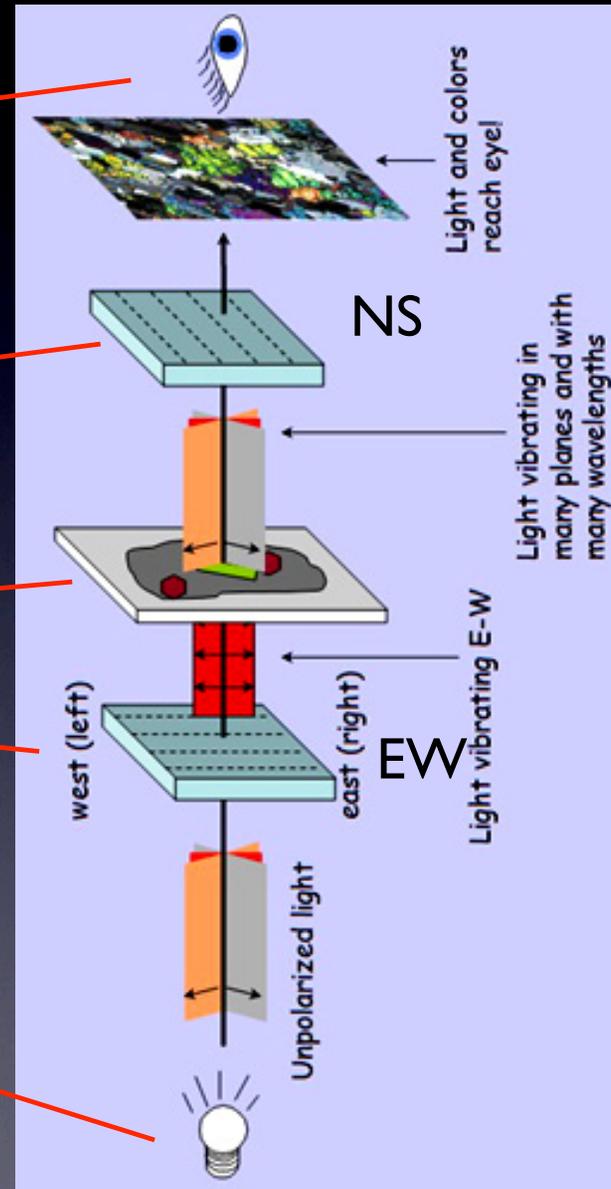
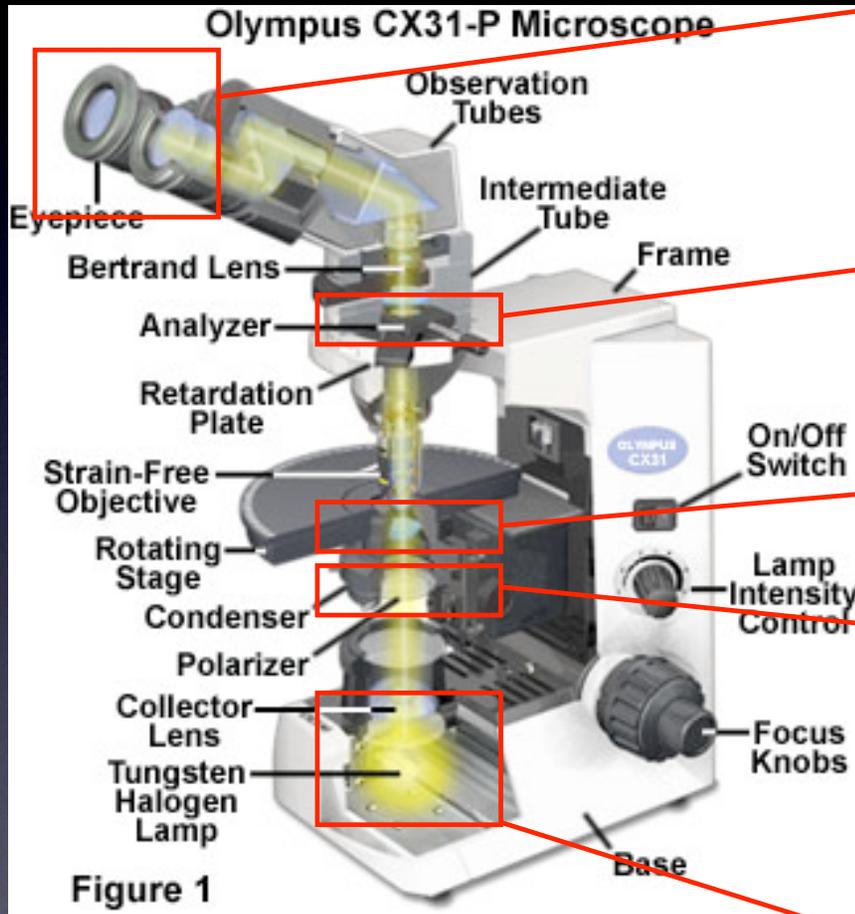
El microscopio polarizador

variante para minerales opacos: microscopio de luz reflejada



para minerales
opacos
(luz reflejada)

Principio básico de la luz polarizada transmitida



**Polarizing light
microscope**



Detector: eye



Lens



Polarizer



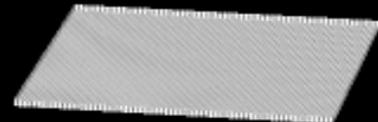
Lens



**Sample:
mineral**



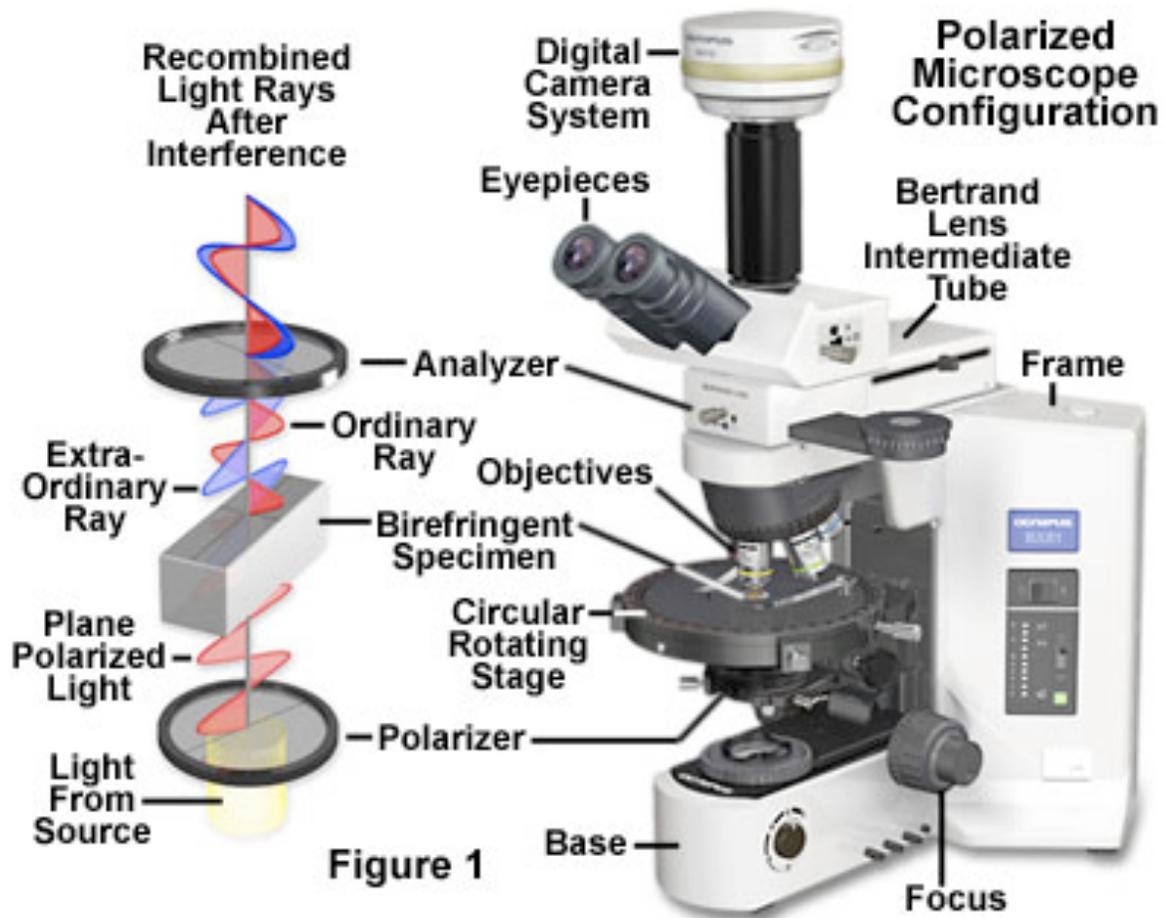
Lens



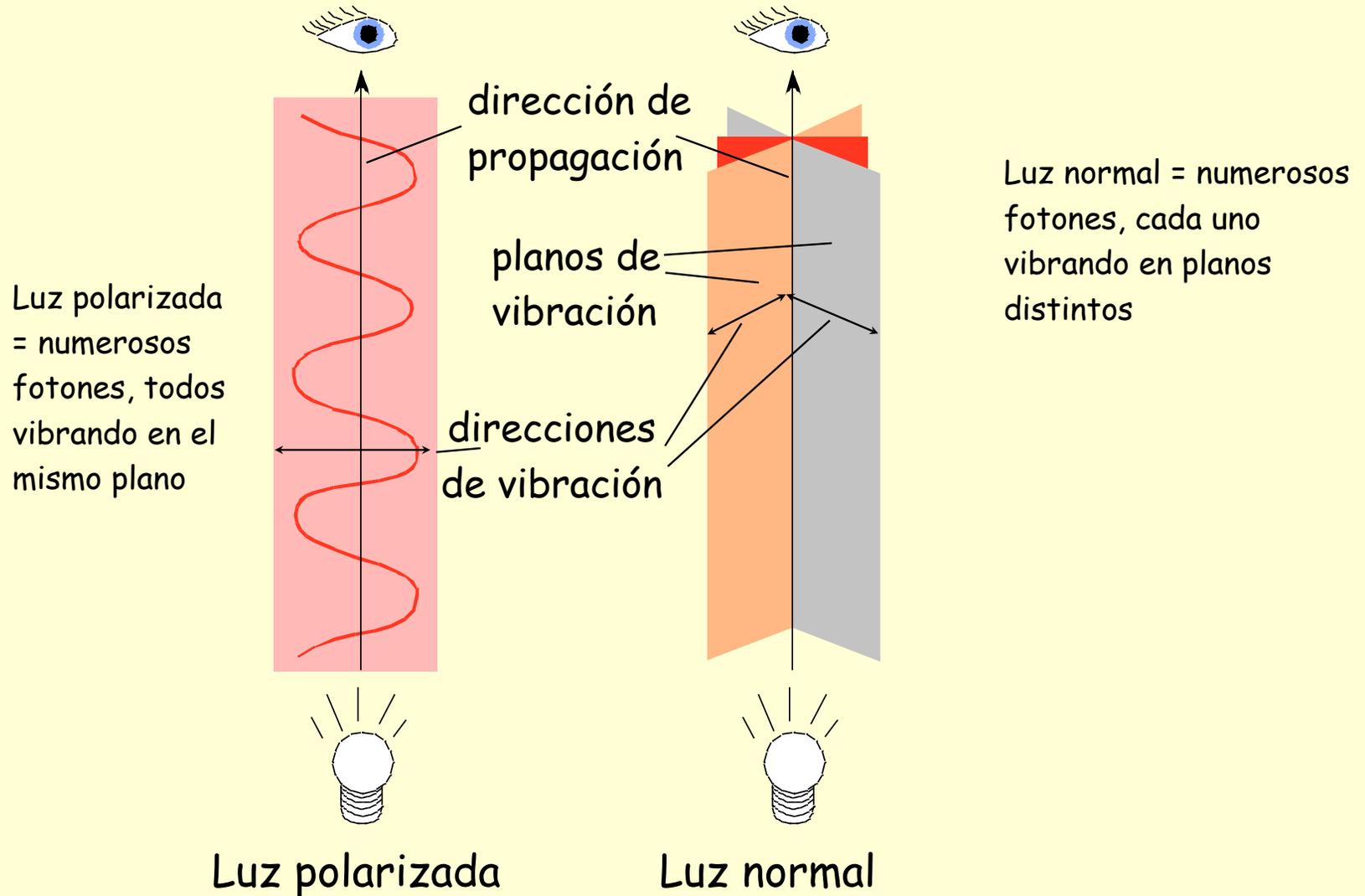
Polarizer



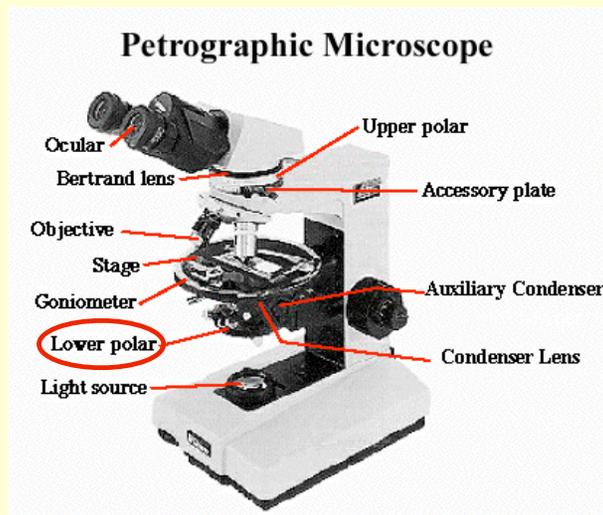
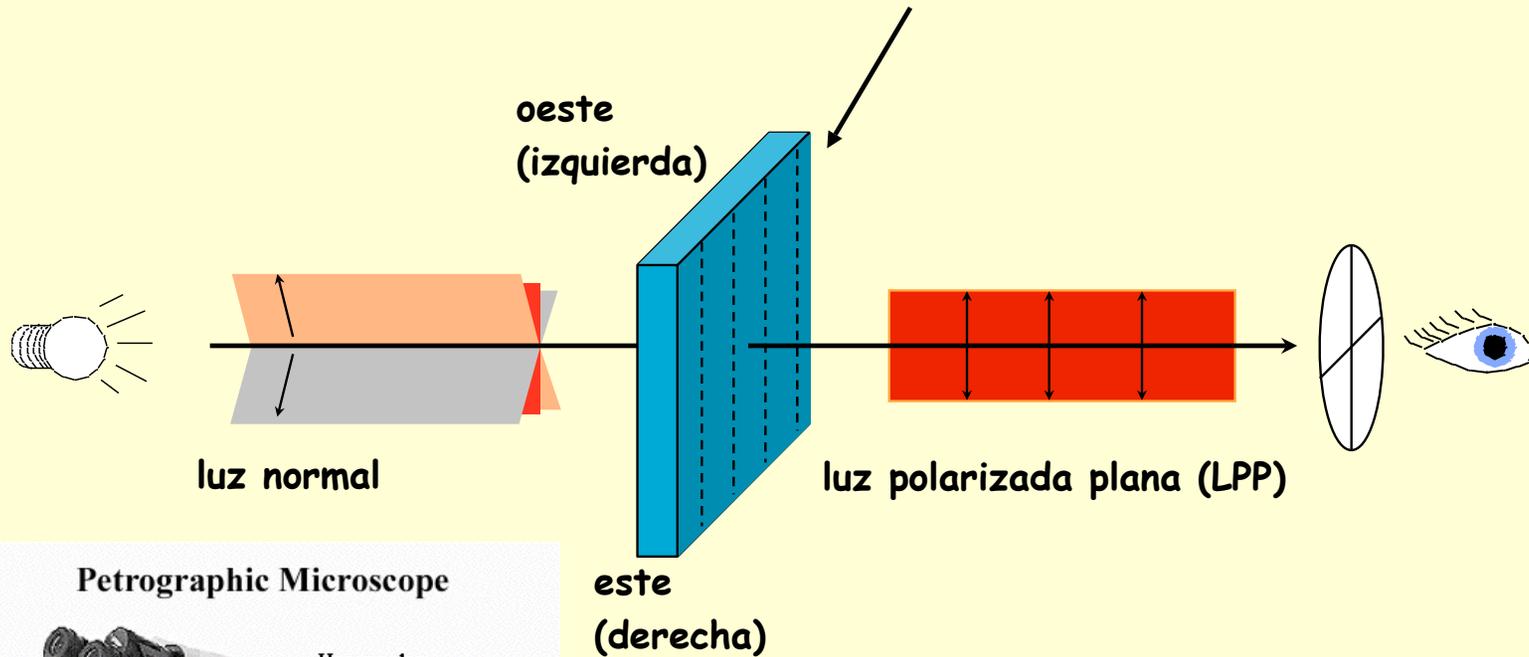
**Source:
light bulb**



Es importante señalar que la observación se realiza en **luz ortoscópica**, es decir, los rayos de luz son **PARALELOS** al eje óptico, e inciden los polarizadores y la muestra en forma **PERPENDICULAR**

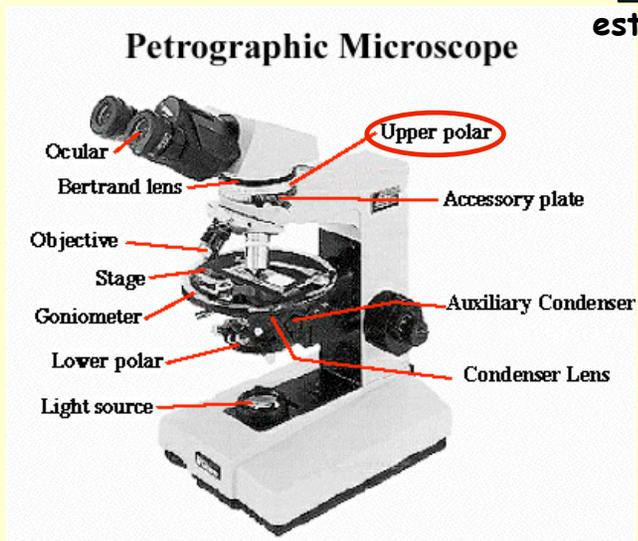
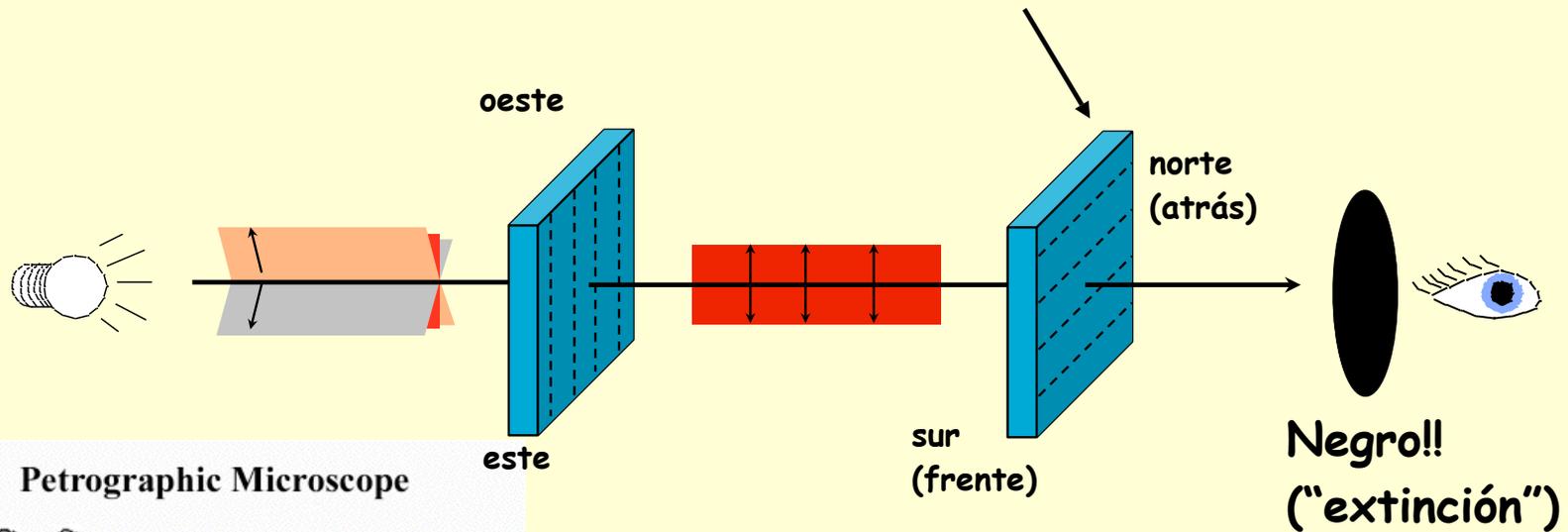


1) Cuando la luz normal pasa a través del **polarizador inferior**
(POLARIZADOR; EW)



Sólo la componente EW de la luz pasa a través del polarizador, por ende? la **intensidad de la luz disminuye**

2) Ahora insertamos el **polarizador superior (ANALIZADOR; NS)**

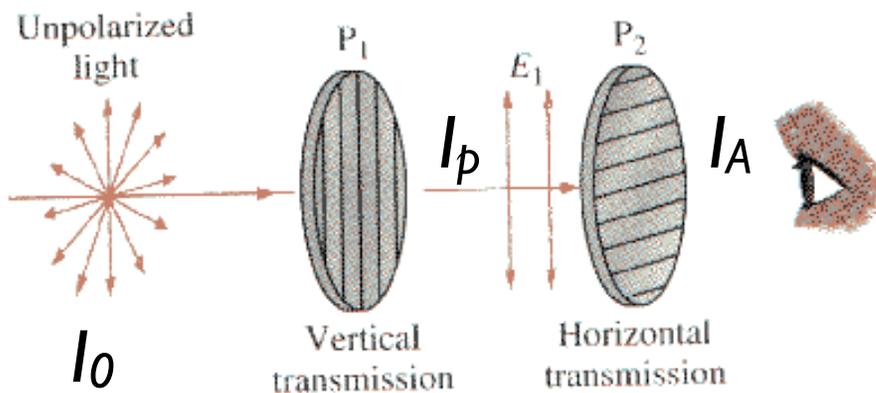


XPL=crossed nicols
(crossed polars)

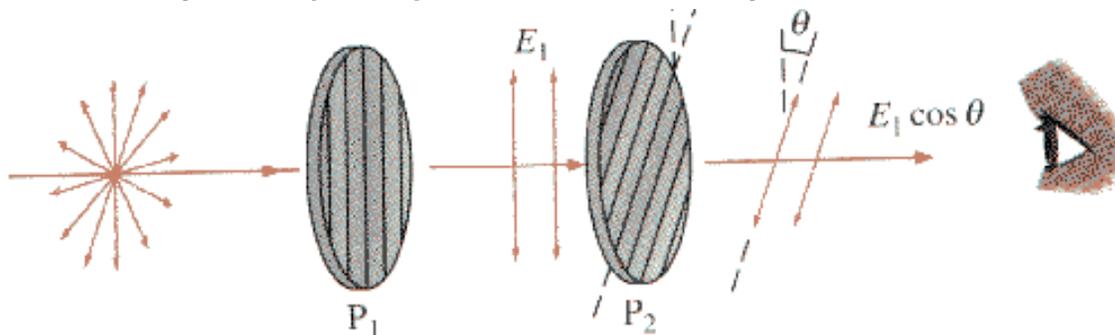
Qué ocurre?
Qué vemos?

Ley de Malus

$$I = I_i \cos^2 \theta$$



$$I_p = (1/2) I_0 \quad I_A = I_p \cos^2 \theta$$



University Physics by Serway and Moebis, Vol. 2

I = intensidad luminosa
 θ = ángulo entre las direcciones de polarización

si $\theta = 0^\circ$?

si $\theta = 90^\circ$?

Birefringent Crystals Between Crossed Polarizers

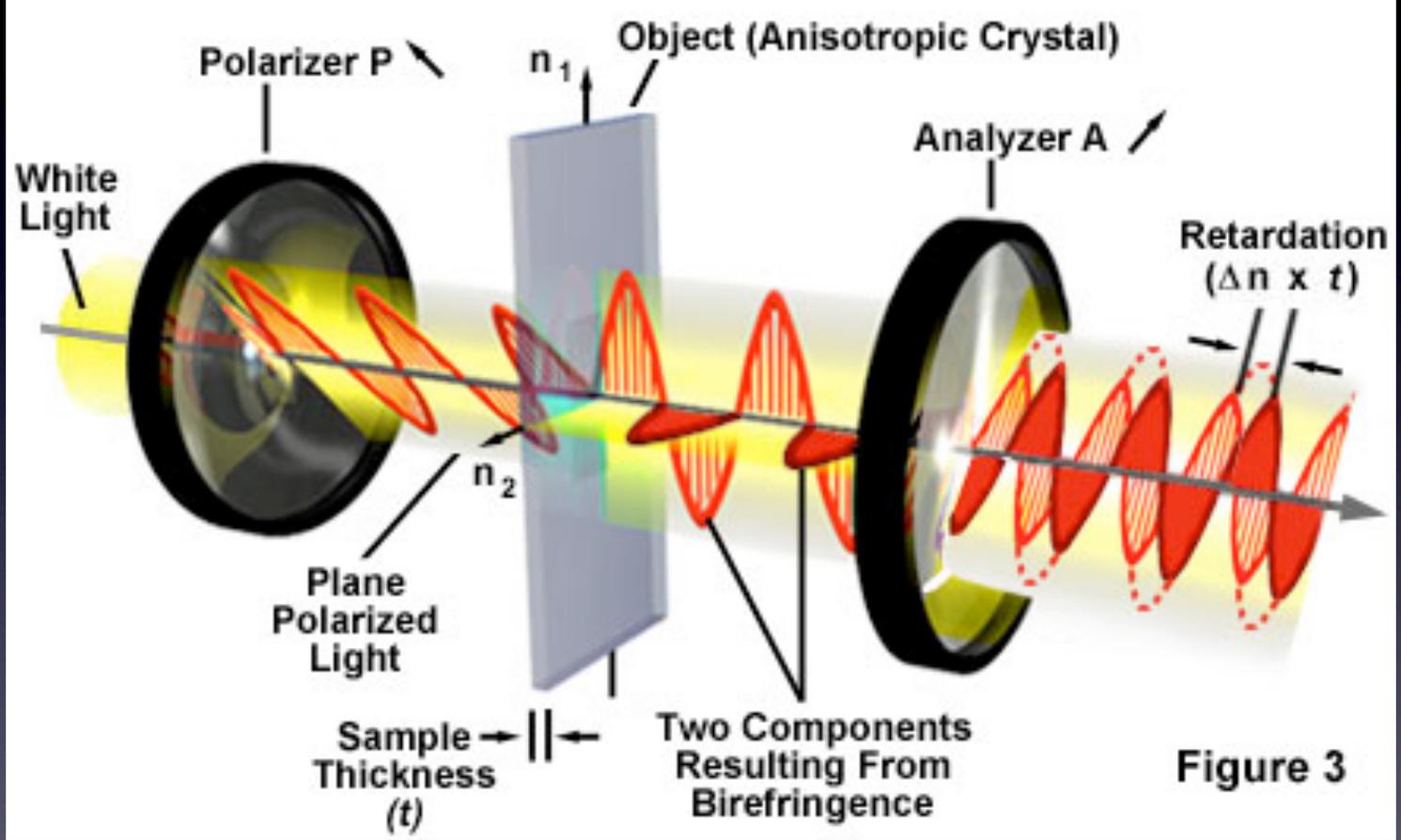


Figure 3