

# **UNIDAD 14**

# **POLARIZACIÓN**

# OPTICA FÍSICA

- Estudia los fenómenos relacionados con la luz que únicamente pueden ser explicados teniendo en cuenta su naturaleza ondulatoria

# Óptica Física

Comprende:

- **Polarización**
- **Difracción**
- **Interferencia**

# TEMA 14

# POLARIZACIÓN

# Objetivos específicos

Que el alumno logre:

- Diferenciar luz natural de luz polarizada
- Producir luz totalmente polarizada por reflexión
- Resolver problemas relacionados con polarización de la luz

## Recordemos que la luz:

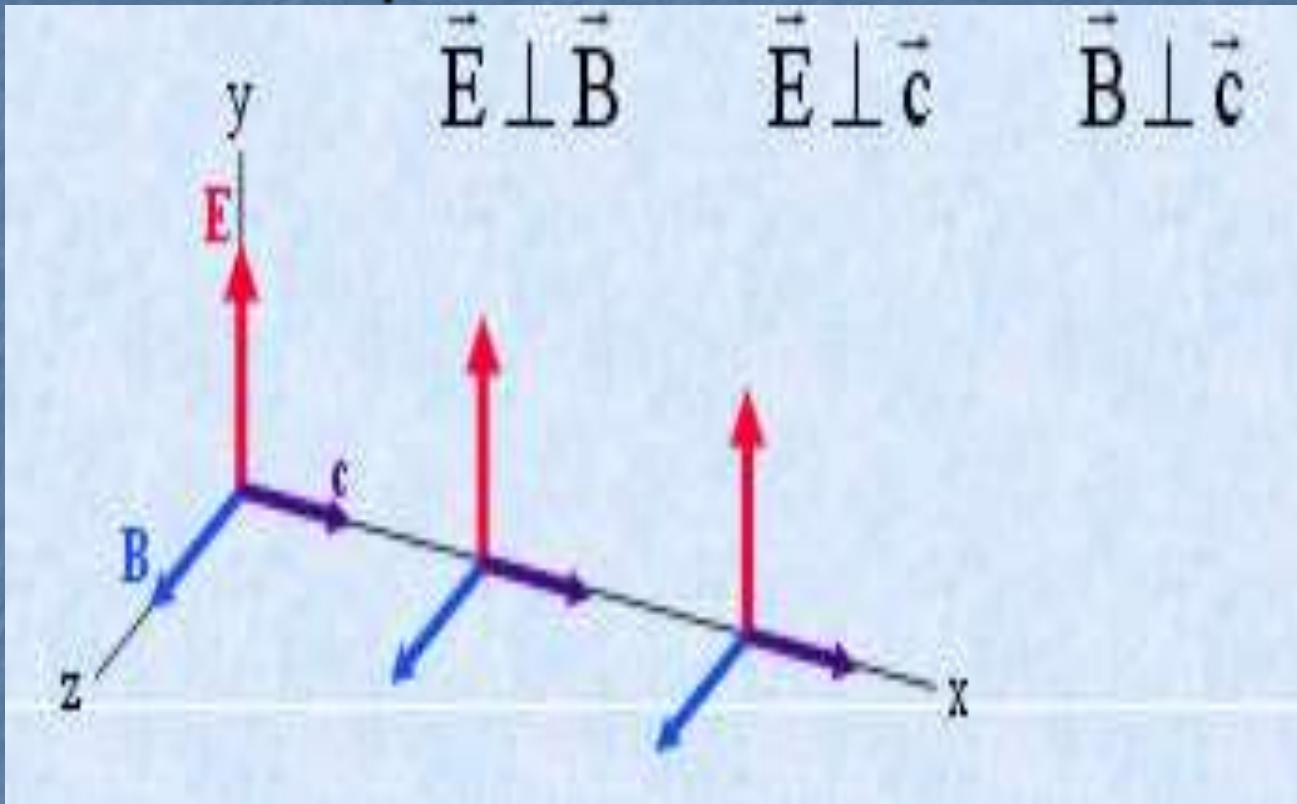
- Es una onda EM
- Su velocidad de propagación en el vacío es  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- Su velocidad de propagación en otros medios es menor a  $c$ .
- Cada sustancia esta caracterizada por un determinado índice de refracción

$$n = c/v$$

# Luz natural o no polarizada

- Es la que procedente del sol o de cualquier manantial primario.
- Sus campos Eléctricos y Magnéticos vibran en cualquier momento en todas las direcciones del espacio (siempre perpendiculares a la dirección de propagación).

La Luz es una OEM y por lo tanto en cada instante se cumple



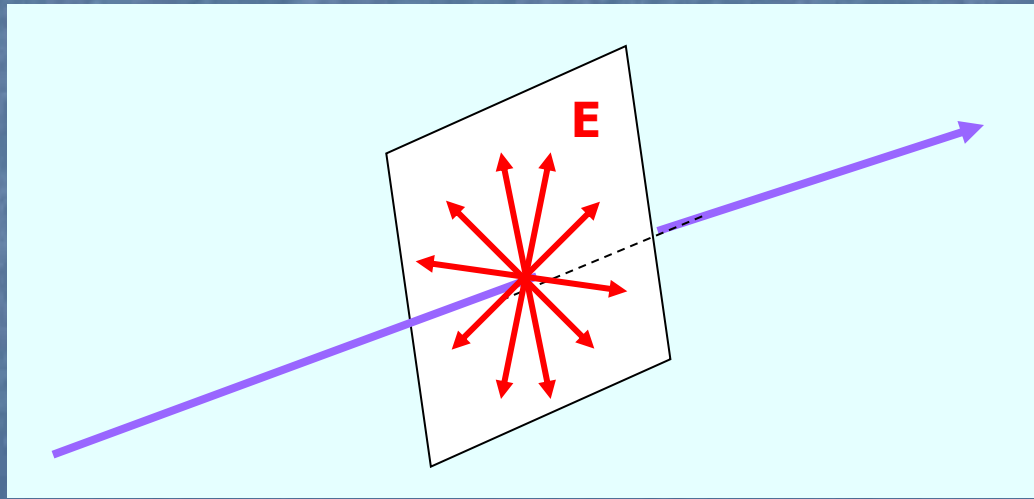
**E** : Intensidad campo eléctrico

**B** : Excitación magnética

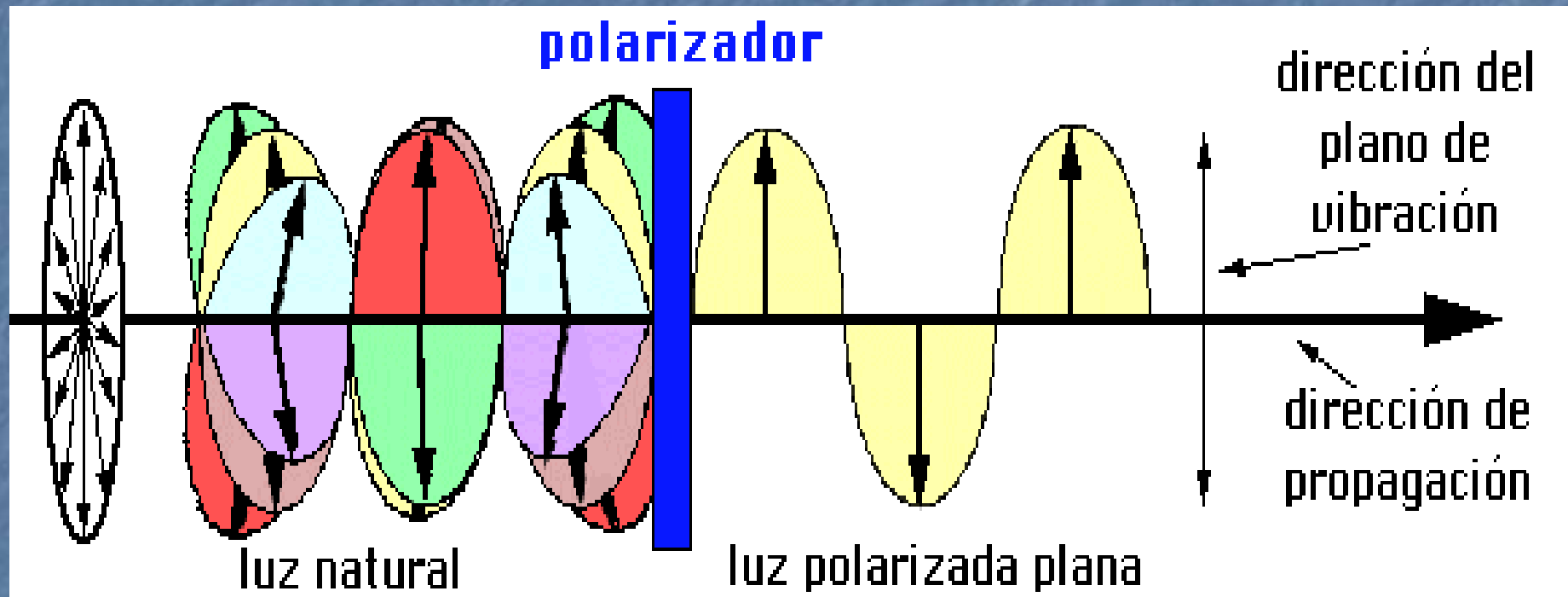
**C** : velocidad de propagación en el vacío



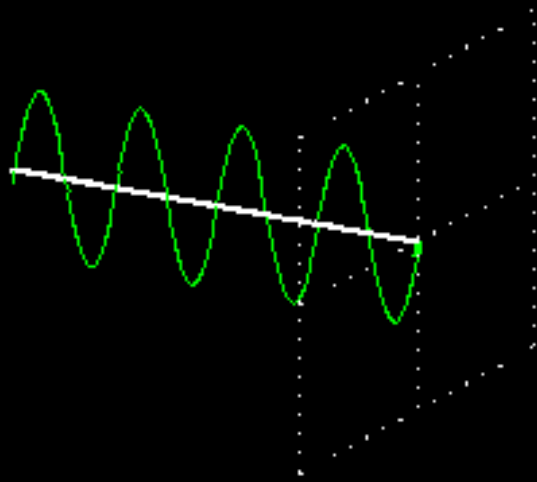
- El campo **E** (y por lo tanto el **B**) poseen infinitas direcciones de vibración y su eje coincide con el rayo.
- Estas direcciones se pueden representar vibrando dentro de un plano perpendicular a la dirección de propagación.



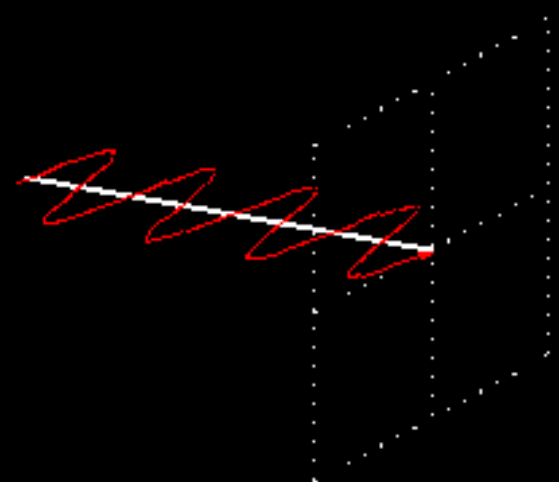
# Luz Natural y Luz Polarizada



# Polarización lineal

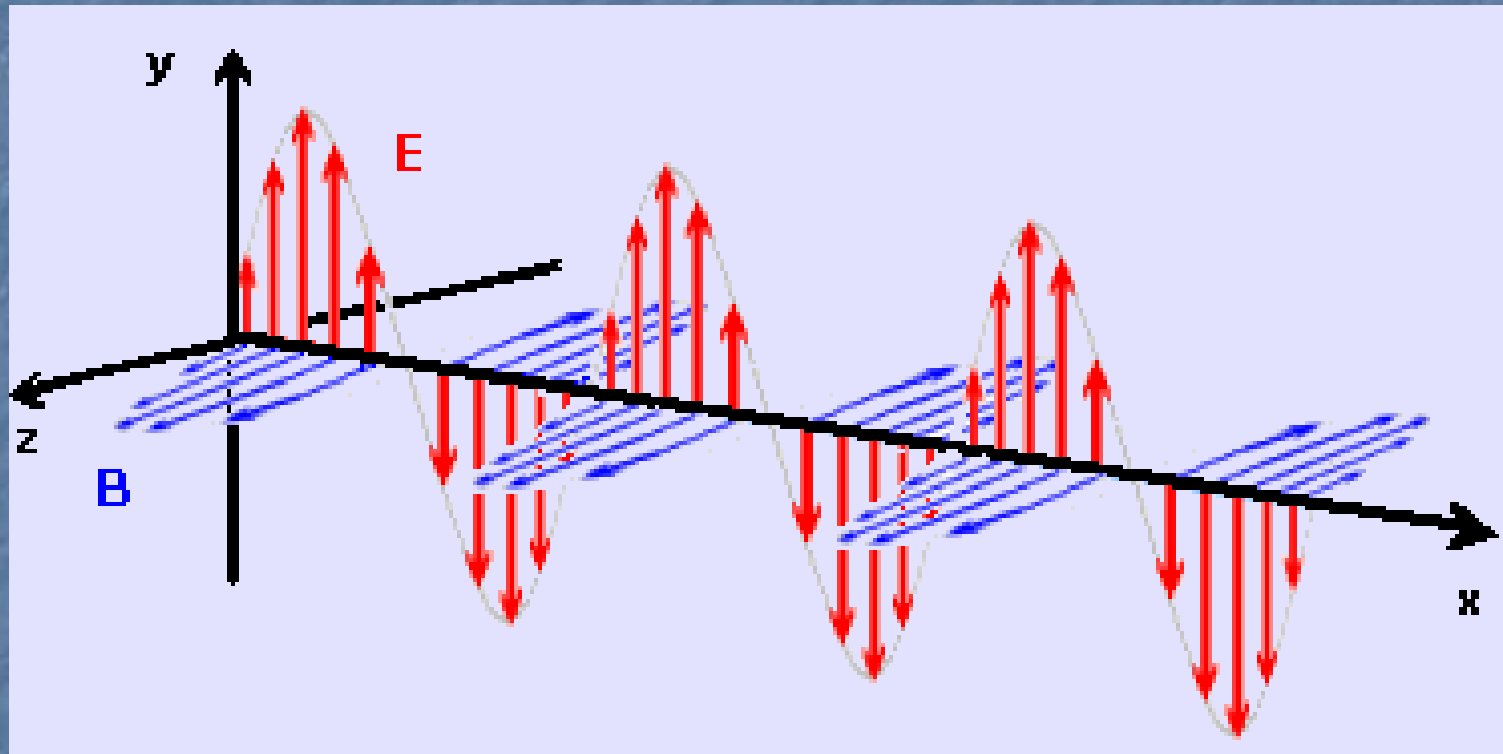


**Excitación  
campo Magnético**



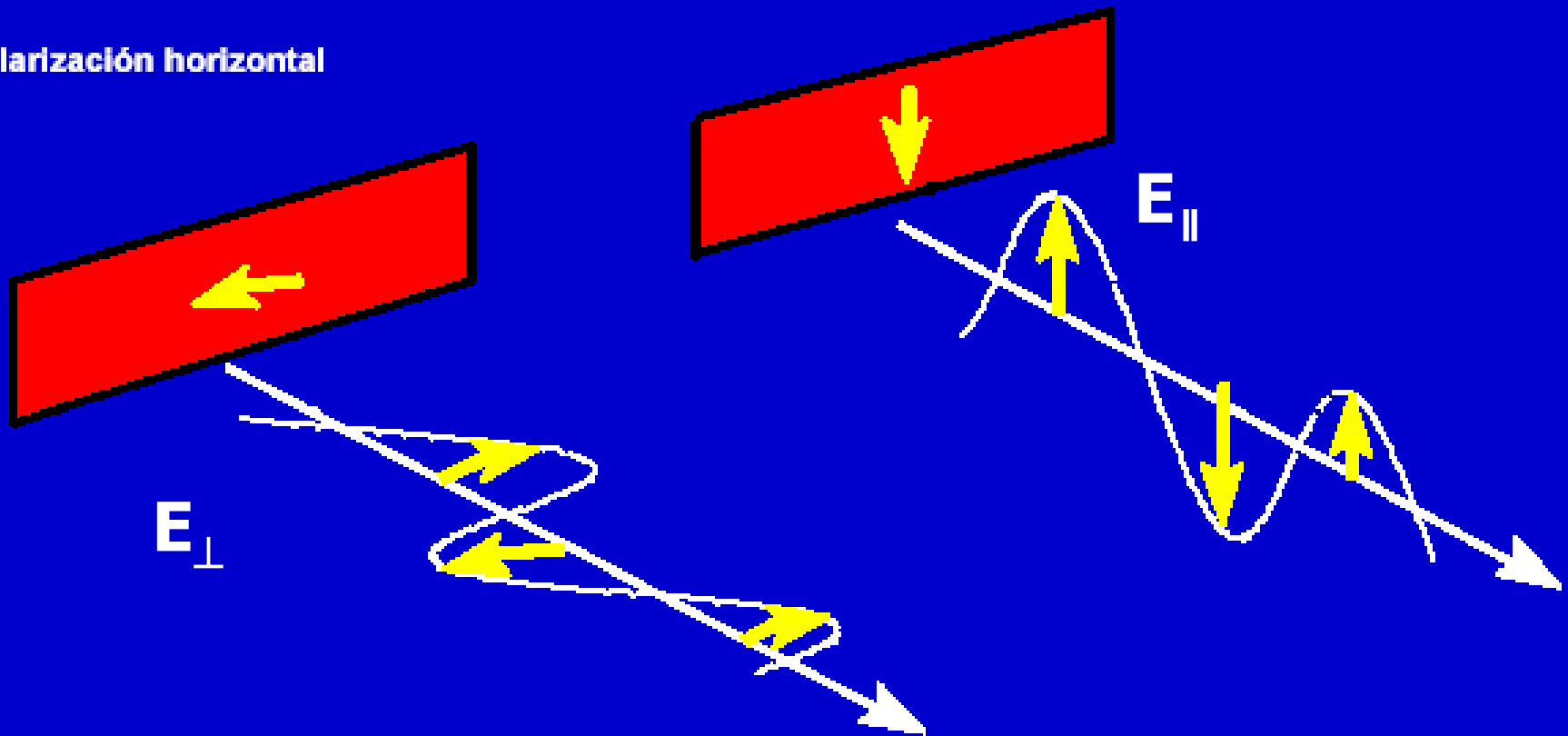
**Intensidad  
campo Eléctrico**

# Polarización lineal

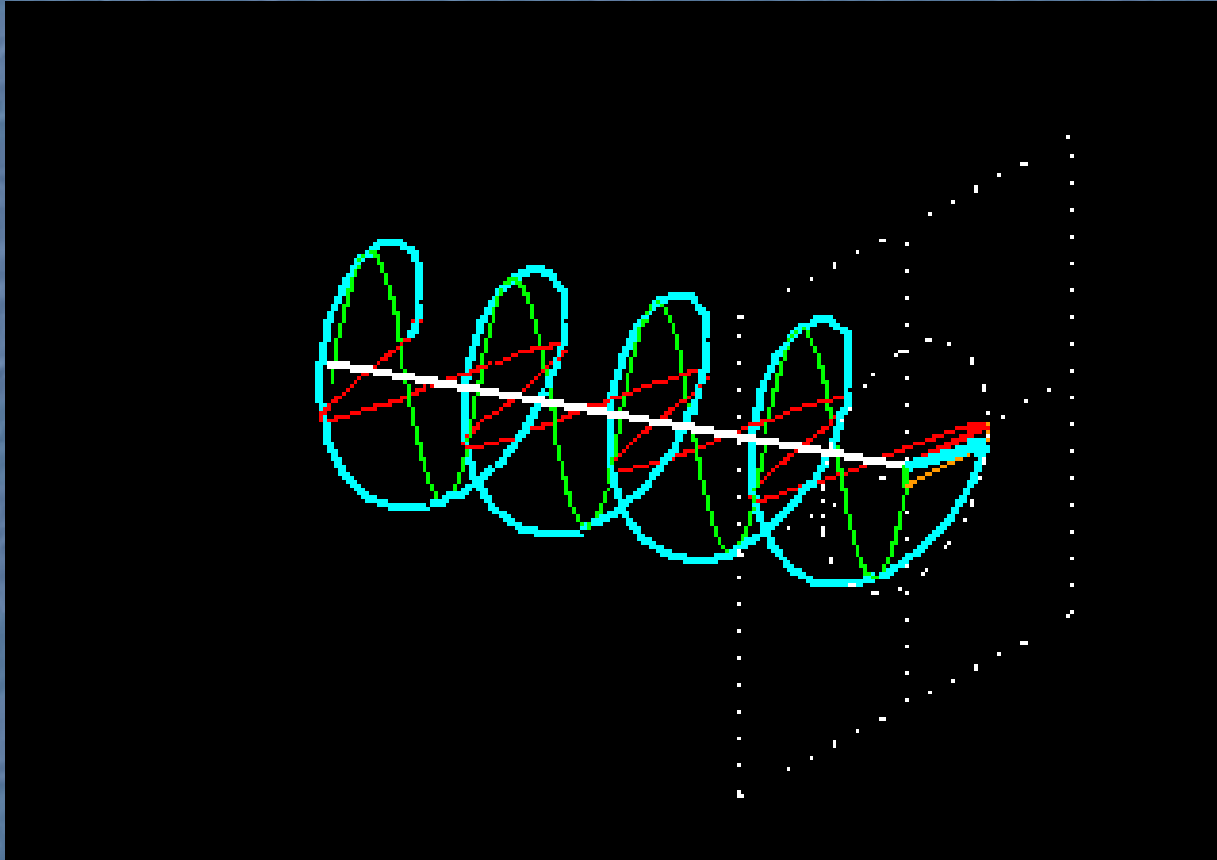


Polarización vertical

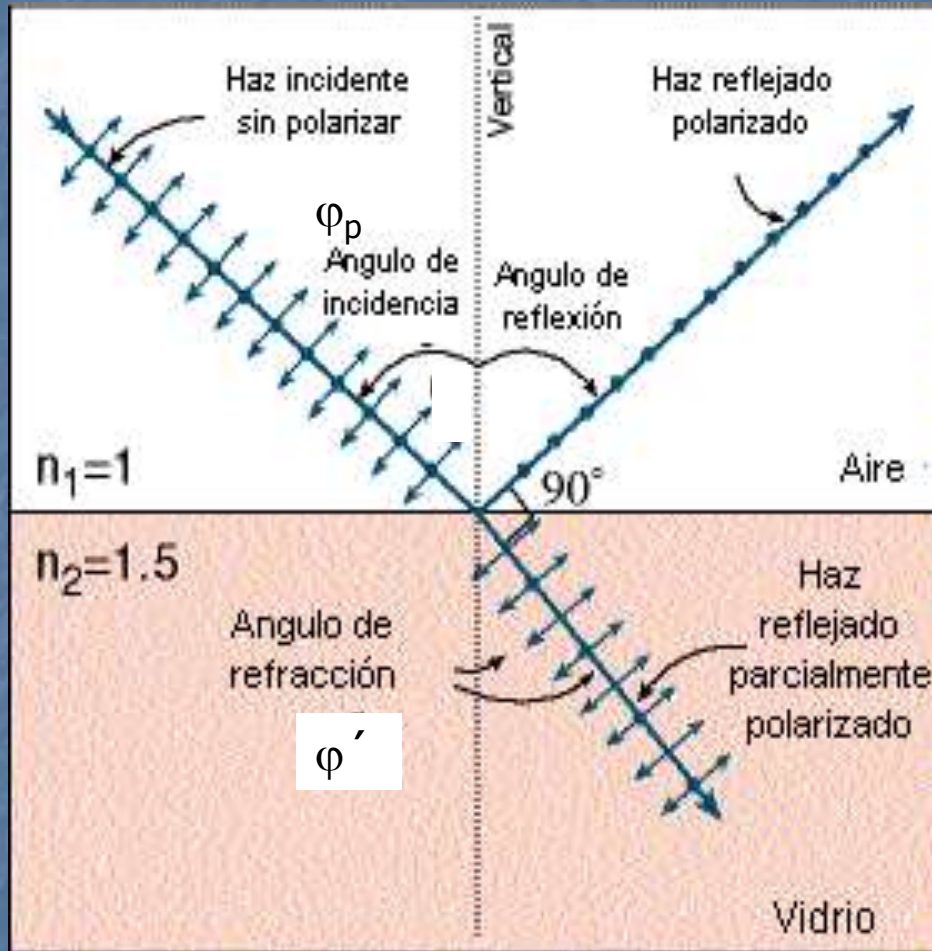
Polarización horizontal



# Polarización circular



# Polarización por reflexión



$$\varphi_p = r$$

$$n \cdot \text{sen } \varphi_p = n' \cdot \text{sen } \varphi'$$

$$\varphi' = 180^\circ - 90^\circ - r = 90^\circ - r$$

$$n \cdot \text{sen } \varphi_p = n' \cdot \text{sen}(90^\circ - \varphi_p)$$

$$n \cdot \text{sen } \varphi_p = n' \cdot \text{cos } \varphi_p$$

$$\text{tg } \varphi_p = n' / n$$

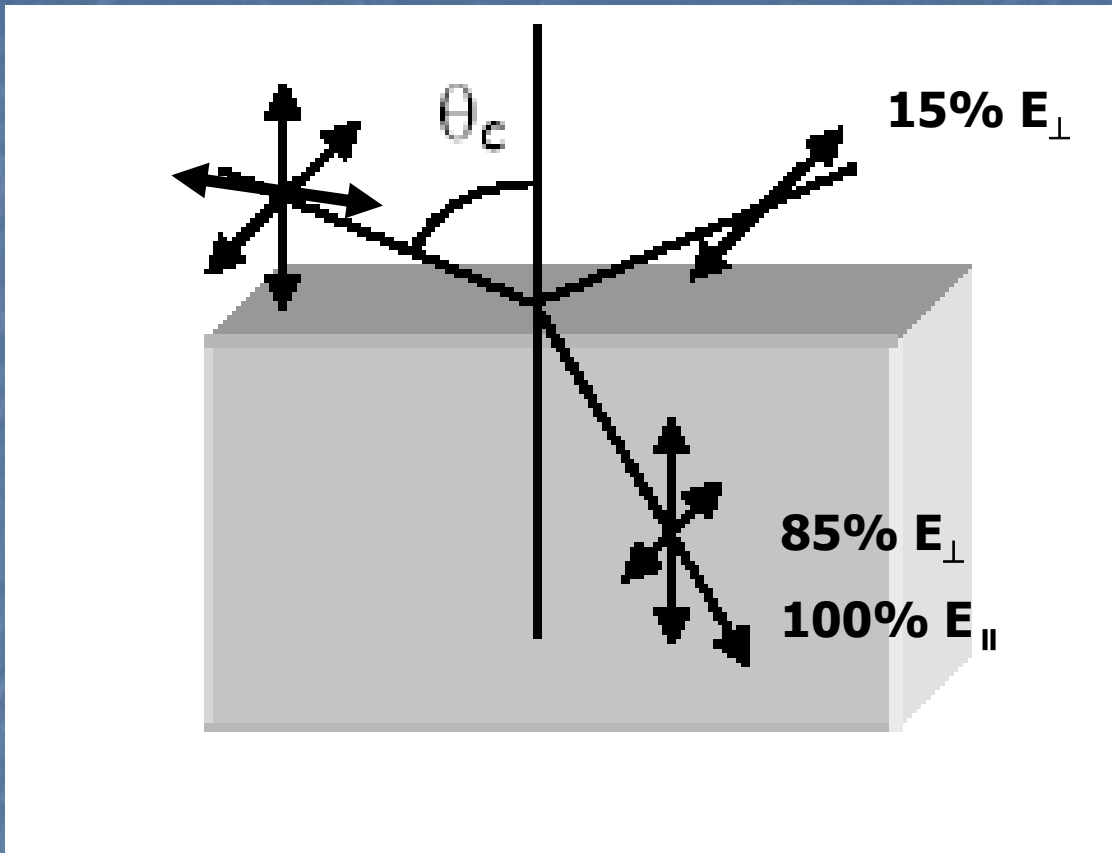
$$\varphi_p = \text{arc.tg}(n' / n)$$

Ley de Brewster

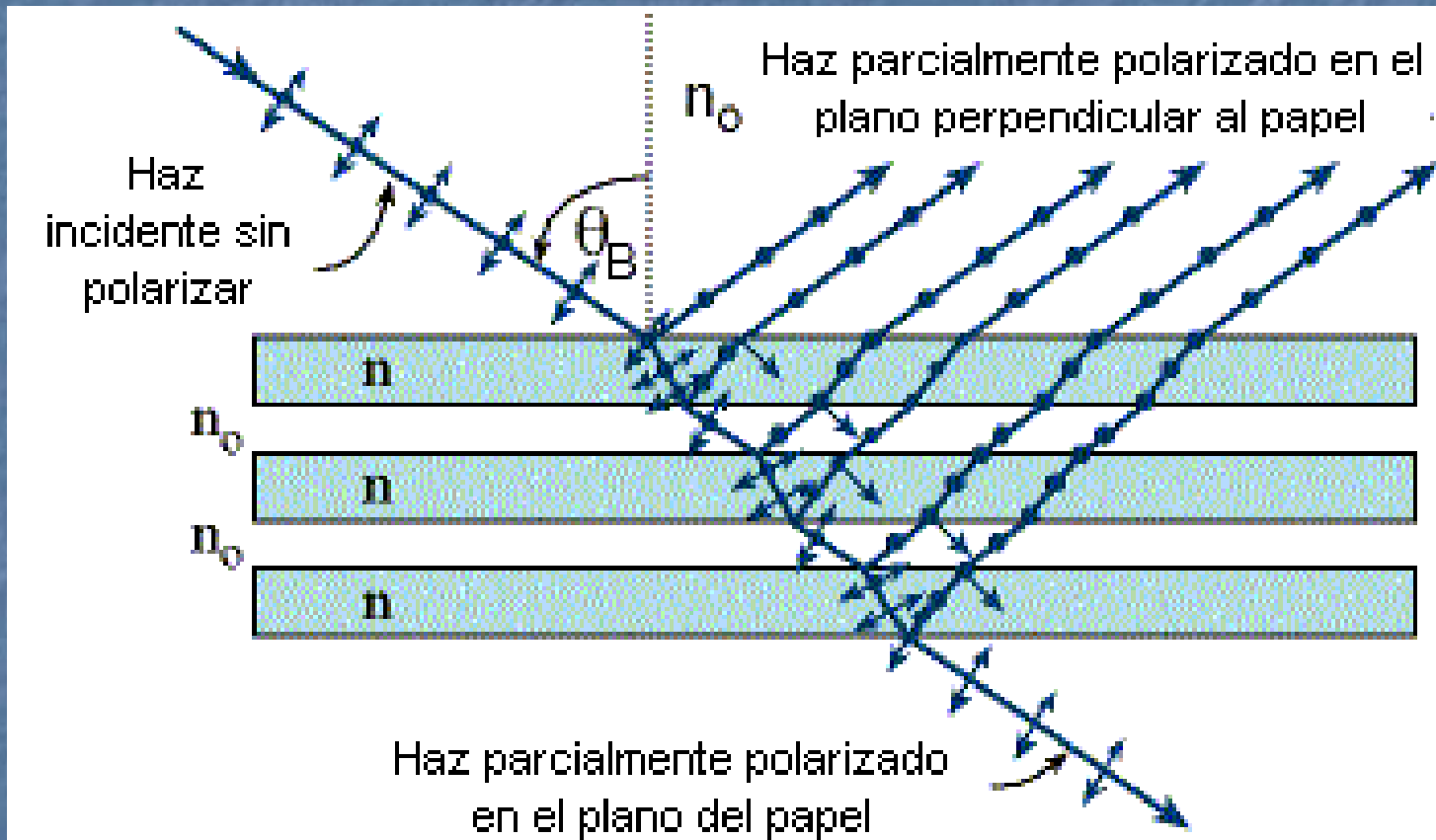
Cuando el rayo incide con el ángulo  $\varphi_p$

- El rayo reflejado está totalmente polarizado el vector eléctrico perpendicular al plano de incidencia ( $E_{\perp}$ ). El 15 % de las componentes perpendiculares incidentes se reflejan ( $E_{\perp}$ ) (alrededor del 7,5% de la luz incidente)
- El rayo refractado está parcialmente polarizado, con el 85% de las componentes  $E_{\perp}$  y el 100% de las componentes  $E_{\parallel}$ .





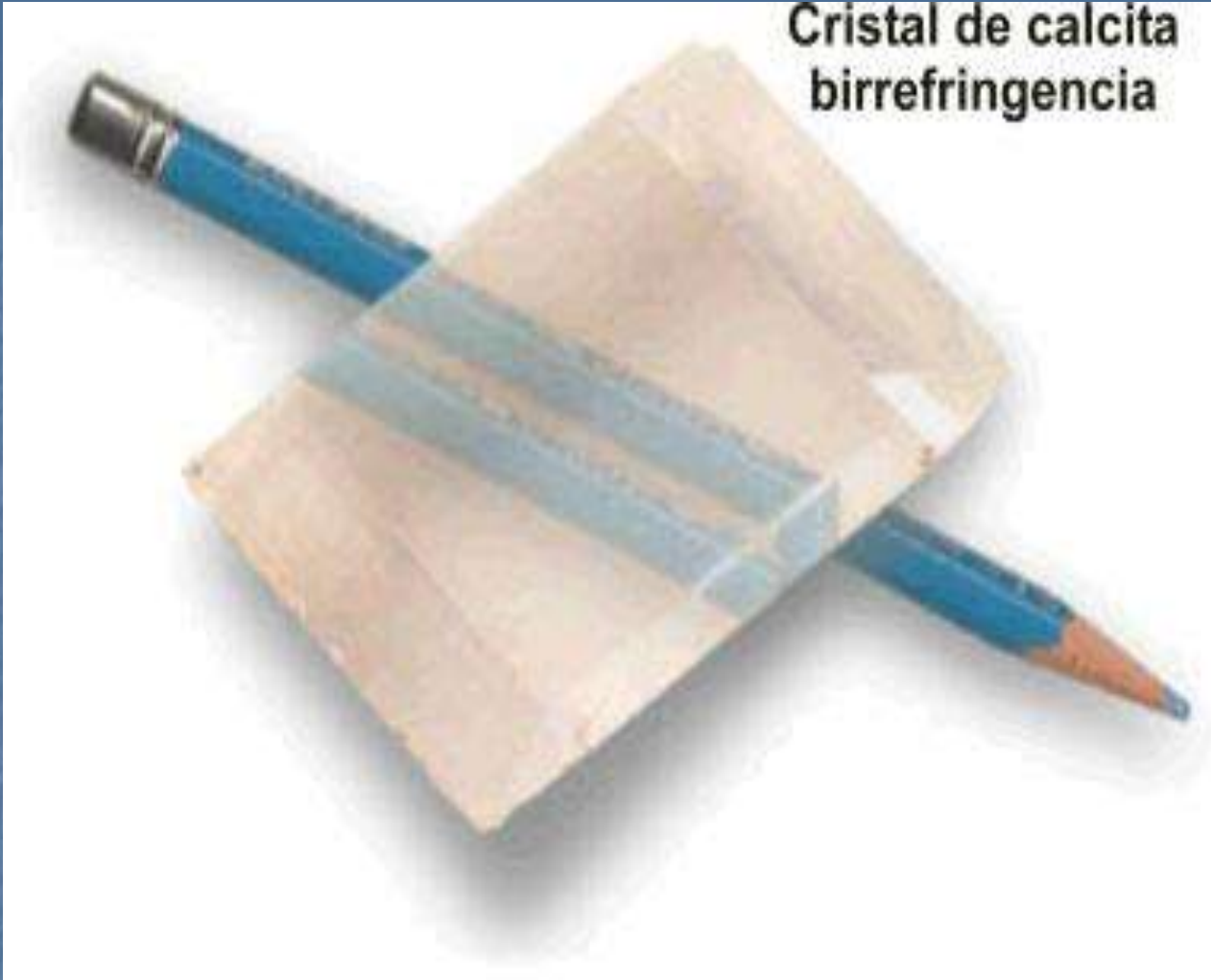
# Polarización por pilas de láminas



# Doble refracción o birrefringencia

- Es una propiedad de ciertos cristales consistente en la capacidad de desdoblar un rayo de luz incidente en dos rayos refractados.
- Los rayos refractados están linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí.
- Ejemplo, el espato de Islandia, variedad de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

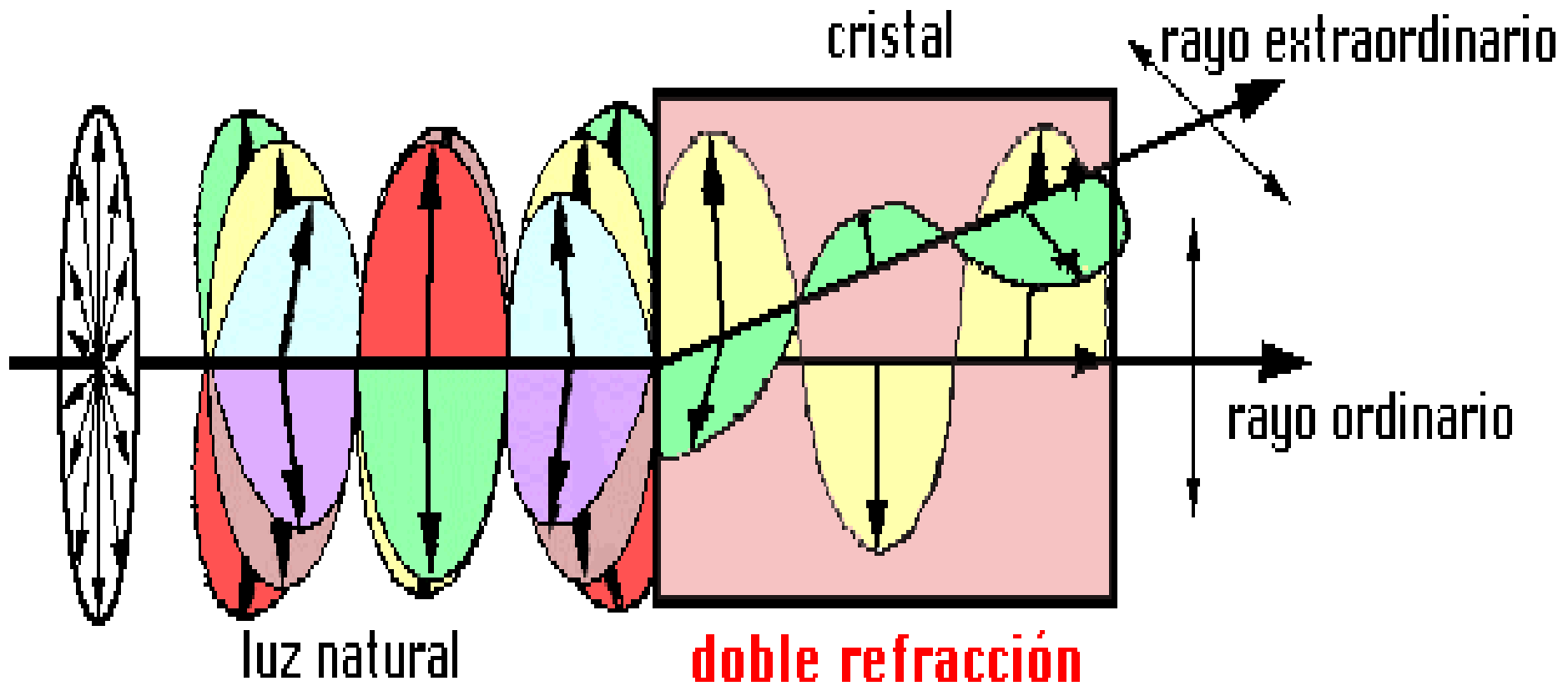
**Cristal de calcita  
birrefringencia**



# Clasificación de los cristales

Existe una dirección particular en un material birrefringente en que ambos rayos se propagan con la misma velocidad. Esta dirección se denomina eje óptico del material.

- Cuando existe un único eje óptico, se dice que el cristal es **uniáxico**. Ej.: calcita, cuarzo, zircón.
- Cuando tiene dos ejes para los cuales no es birrefringente, se dice que es **biáxico**, ej.: mica, topacio, yeso.



# Rayo ordinario

- Cumple con la ley de Snell
- La velocidad de propagación es la misma en todas direcciones.
- Está totalmente polarizado con el vector  $E$  perpendicular al eje óptico del cristal.
- Es perpendicular a frentes de onda tangentes a las ondas secundarias esféricas.

# Rayo extraordinario

- No cumple con la ley de Snell
- La velocidad de propagación varía según la dirección de propagación.
- Está totalmente polarizado con el vector  $E$  paralelo al eje óptico del cristal.
- Es perpendicular a frentes de onda tangentes a las ondas secundarias elipsoidales.



- Si  $n_e < n_o$  birrefringencia negativa

Ej.: Calcita, nitrato de sodio.



- Si  $n_e > n_o$  birrefringencia positiva

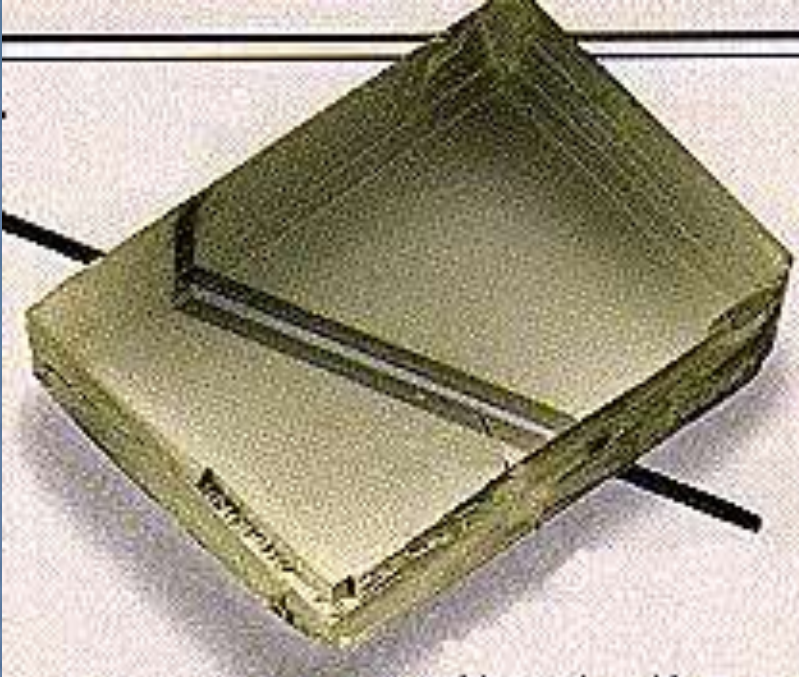
Ej.: Cuarzo, zafiro

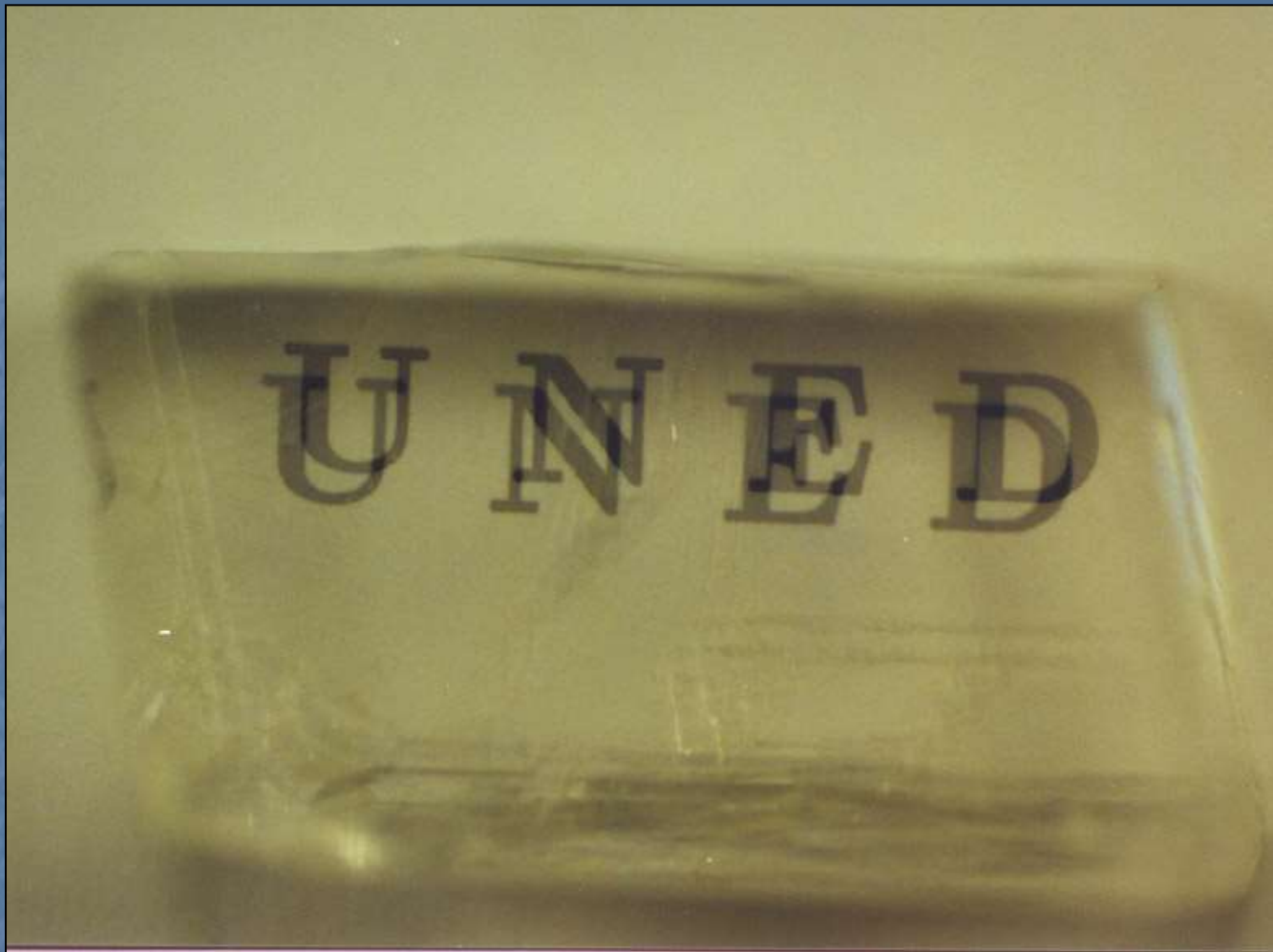


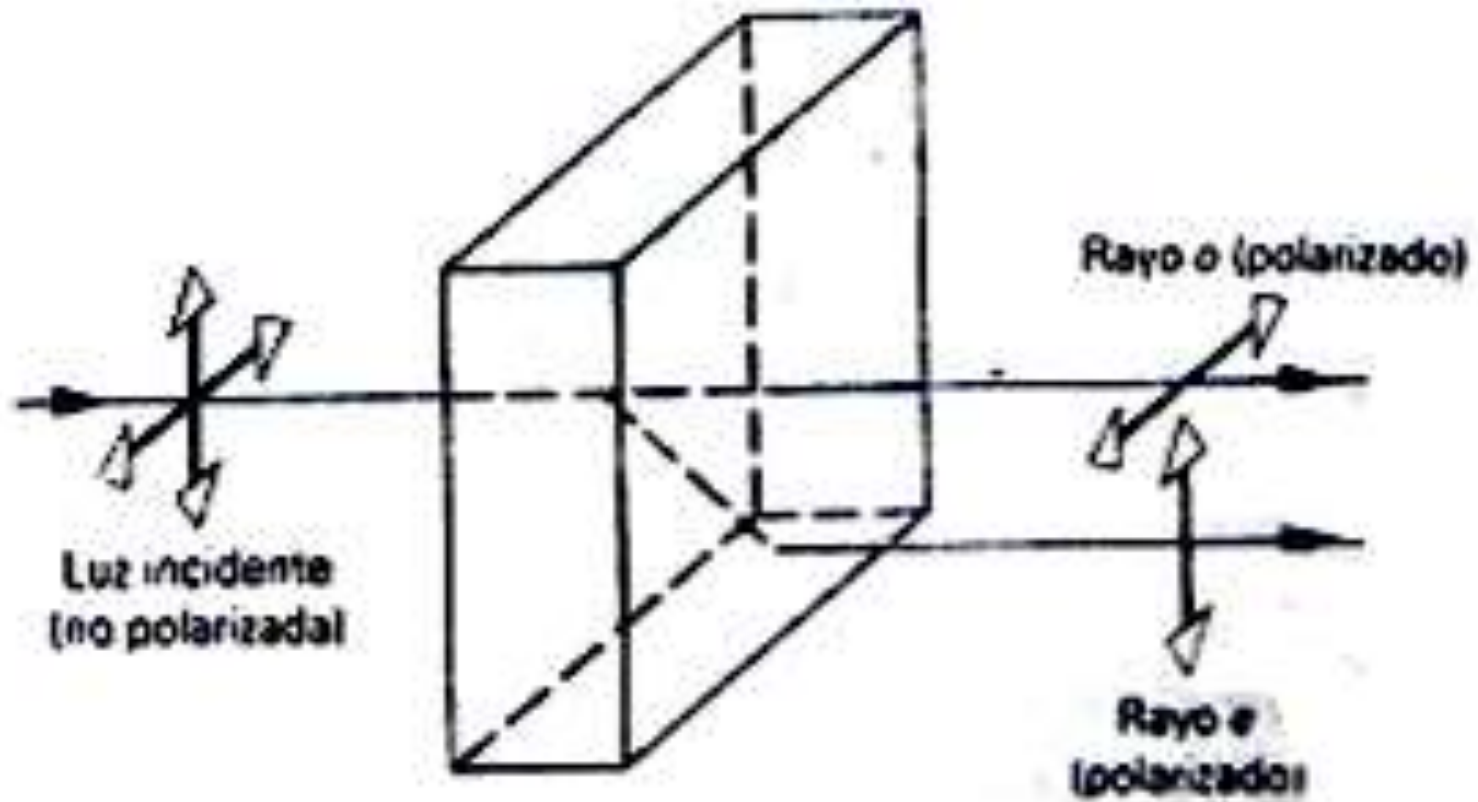
# Algunos cristales uniáxicos

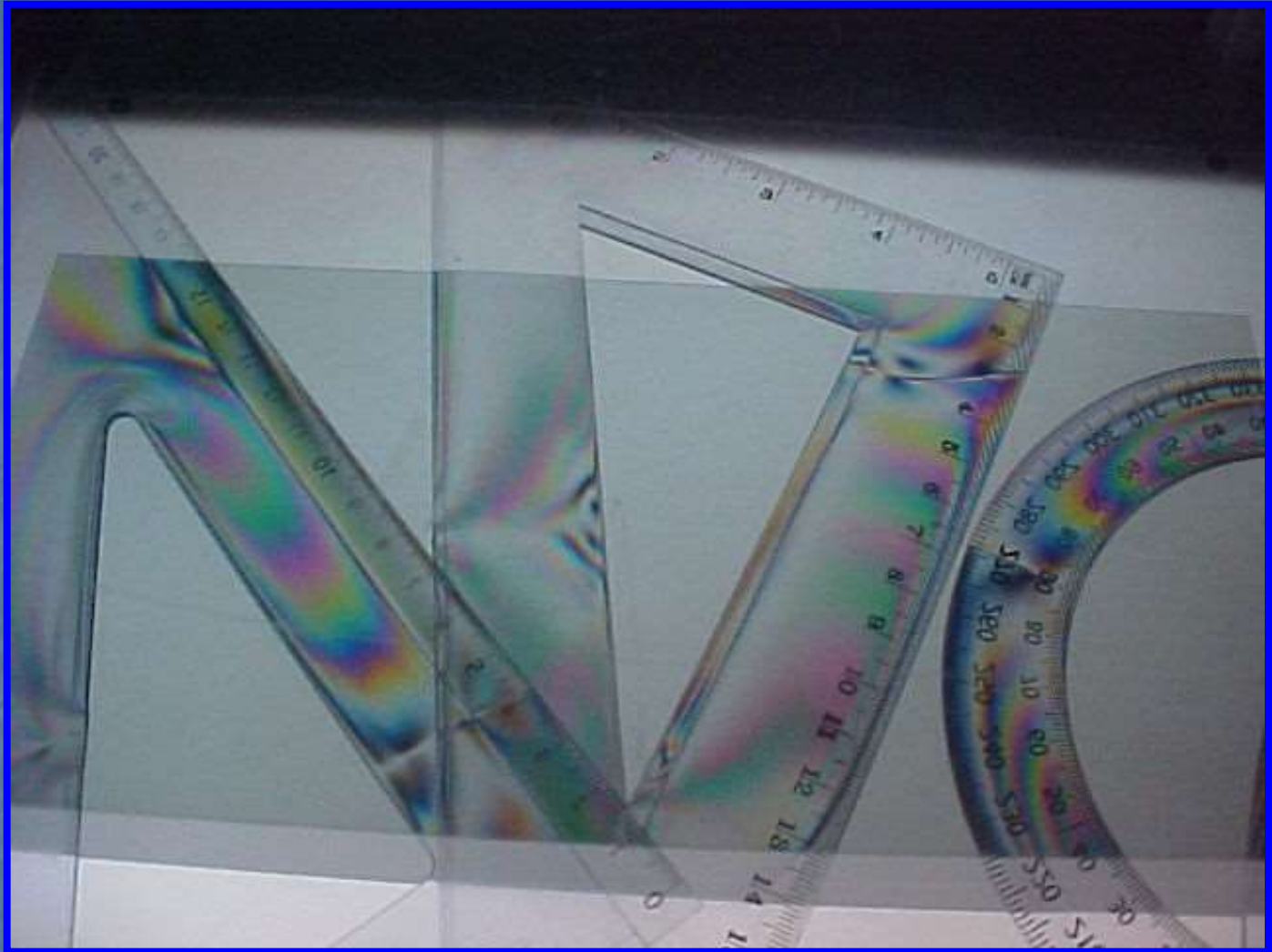
<b>Cristal</b>	<b><math>n_o</math></b>	<b><math>n_e</math></b>	<b>Birrefringencia</b>
<b>Turmalina</b>	<b>1.669</b>	<b>1.638</b>	<b>Negativa</b>
<b>Calcita</b>	<b>1.658</b>	<b>1.486</b>	<b>Negativa</b>
<b>Cuarzo</b>	<b>1.544</b>	<b>1.553</b>	<b>Positiva</b>
<b>Nitrato sódico (<math>\text{NO}_3\text{Na}</math>)</b>	<b>1.585</b>	<b>1.337</b>	<b>Negativa</b>
<b>Hielo</b>	<b>1.309</b>	<b>1.313</b>	<b>Positiva</b>
<b>Rutilo (<math>\text{Ti O}_2</math>)</b>	<b>2.616</b>	<b>2.903</b>	<b>Positiva</b>

# Birrefringencia del cuarzo









- La diferencia de fase entre los dos rayos está dada por la siguiente expresión:

$$\Delta\varphi = \varphi_e - \varphi_o = \frac{2\pi t}{\lambda} (n_e - n_o)$$

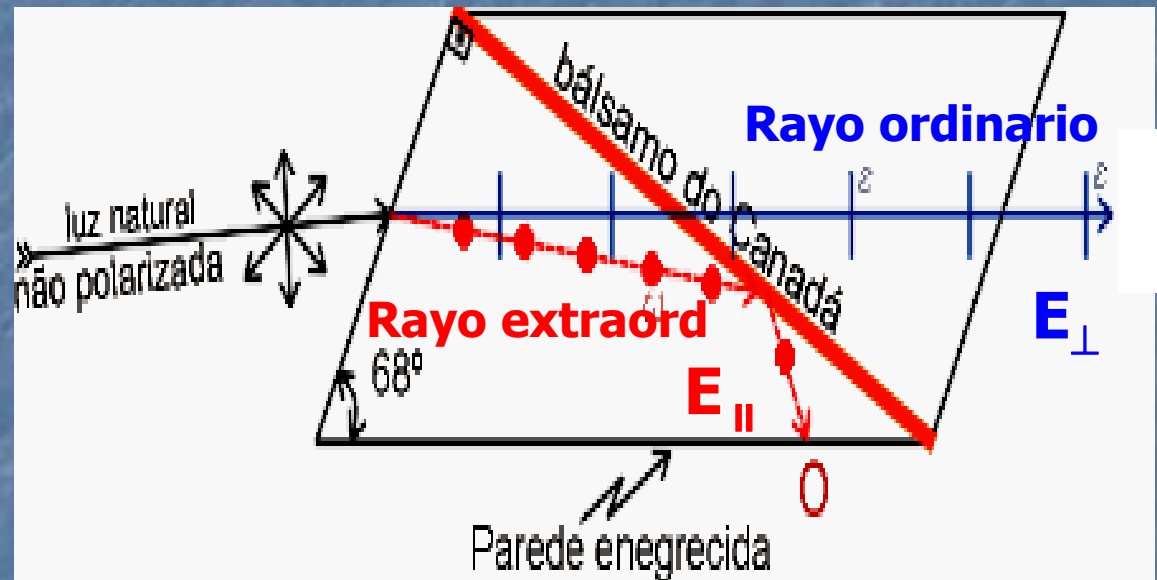
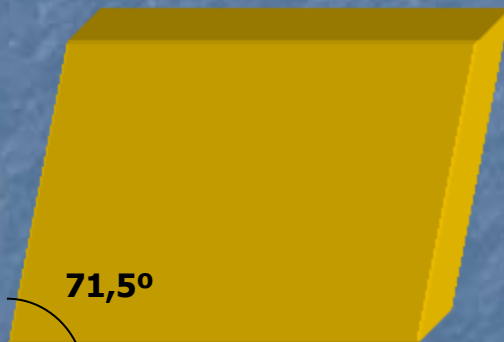
Si

$$\Delta\varphi = 0 ; \frac{1}{2}\pi \quad \Leftrightarrow \quad \text{Polarización lineal}$$

$$\Delta\varphi = 45^\circ \quad \Leftrightarrow \quad \text{Polarización Circular}$$

$$\Delta\varphi \neq 0 ; \frac{1}{2}\pi ; 45^\circ \quad \Leftrightarrow \quad \text{Polarización elíptica}$$

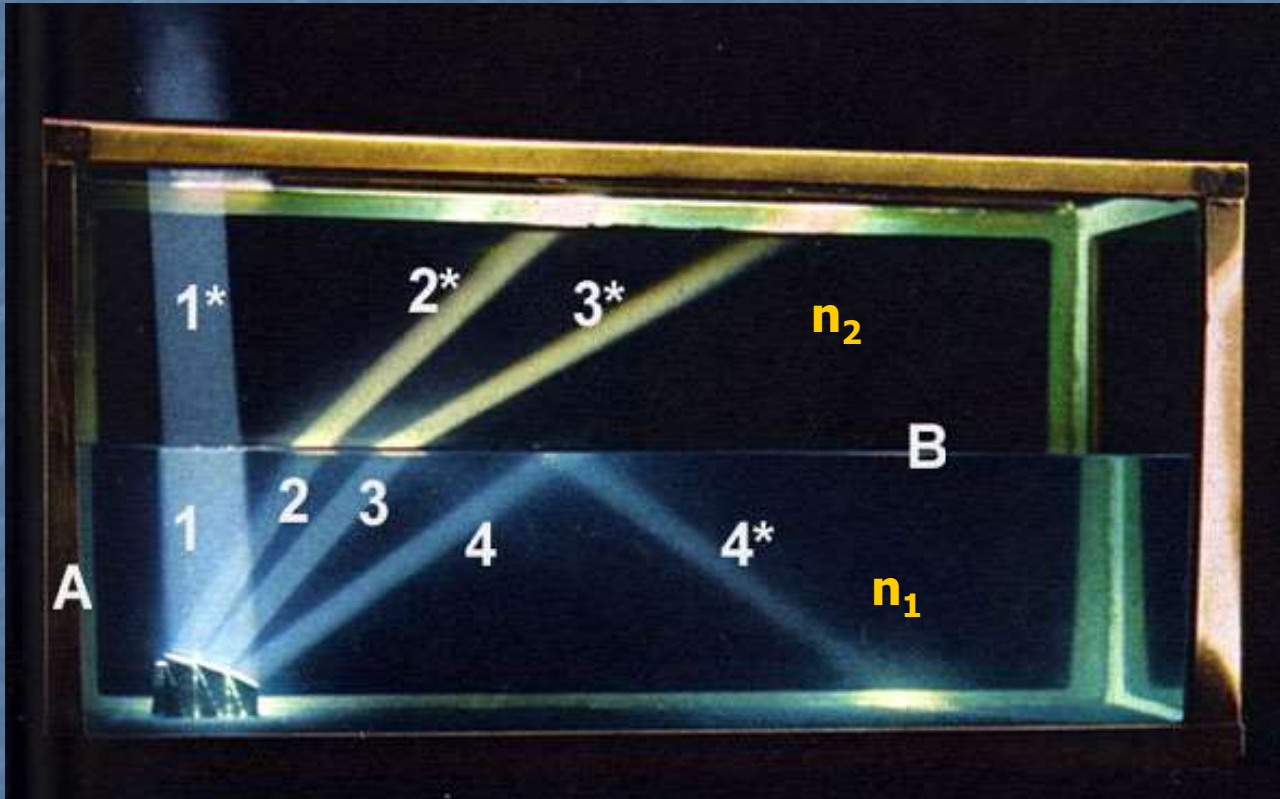
# PRISMA DE NICOL



Sustancias	$n_o$	$n_e$
Espato de Islandia (calcita)	1,658	1,486
Bálsamo de Canadá	1,537	



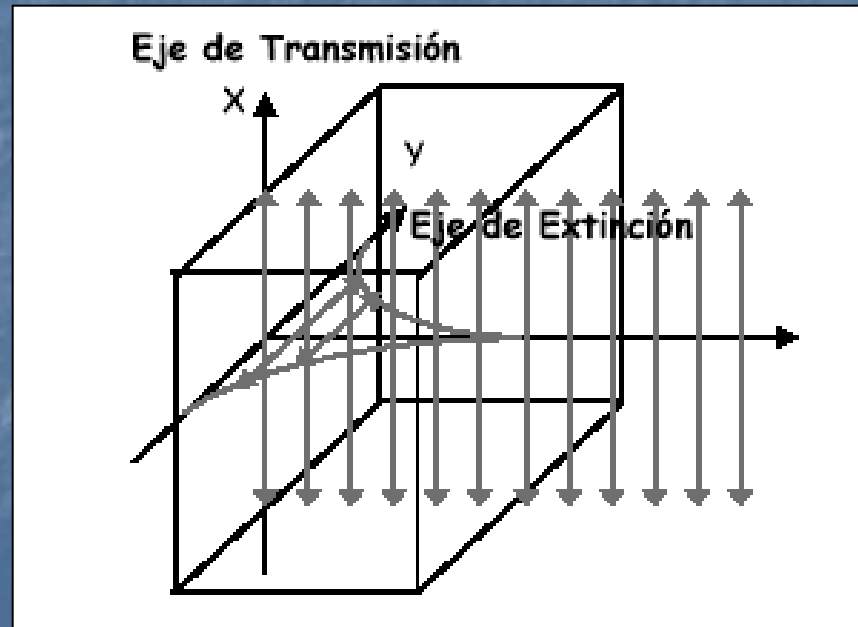
# Recordar Ángulo límite

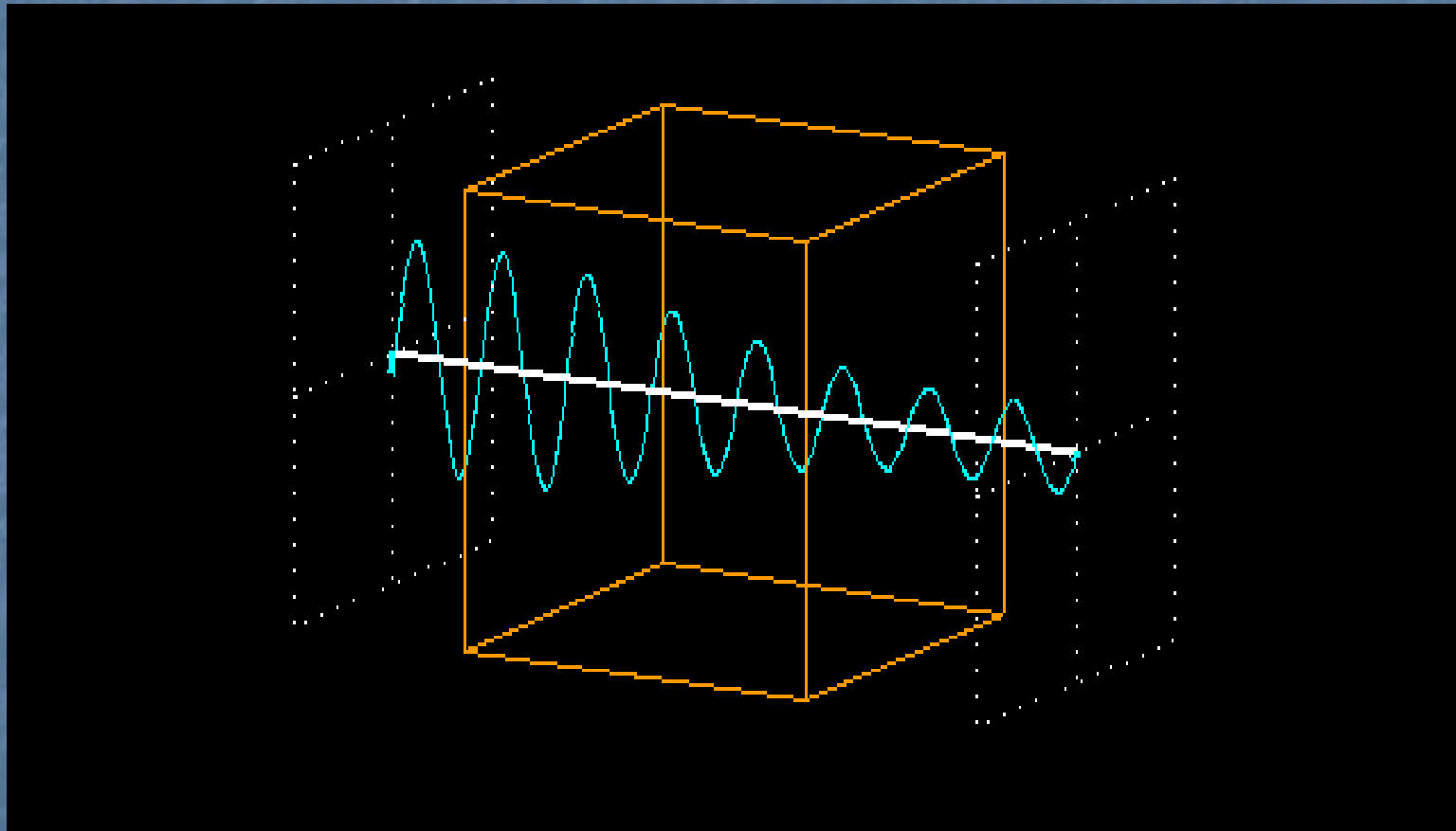


$$\text{sen } \phi_L = n_2 / n_1$$

# Dicroísmo o absorción selectiva

- Algunas sustancias anisótropas y birrefringentes, tienen además la propiedad de absorber los rayos ordinario y extraordinario, en proporciones diferentes.





- Depende de las orientaciones moleculares y cristalinas del material.

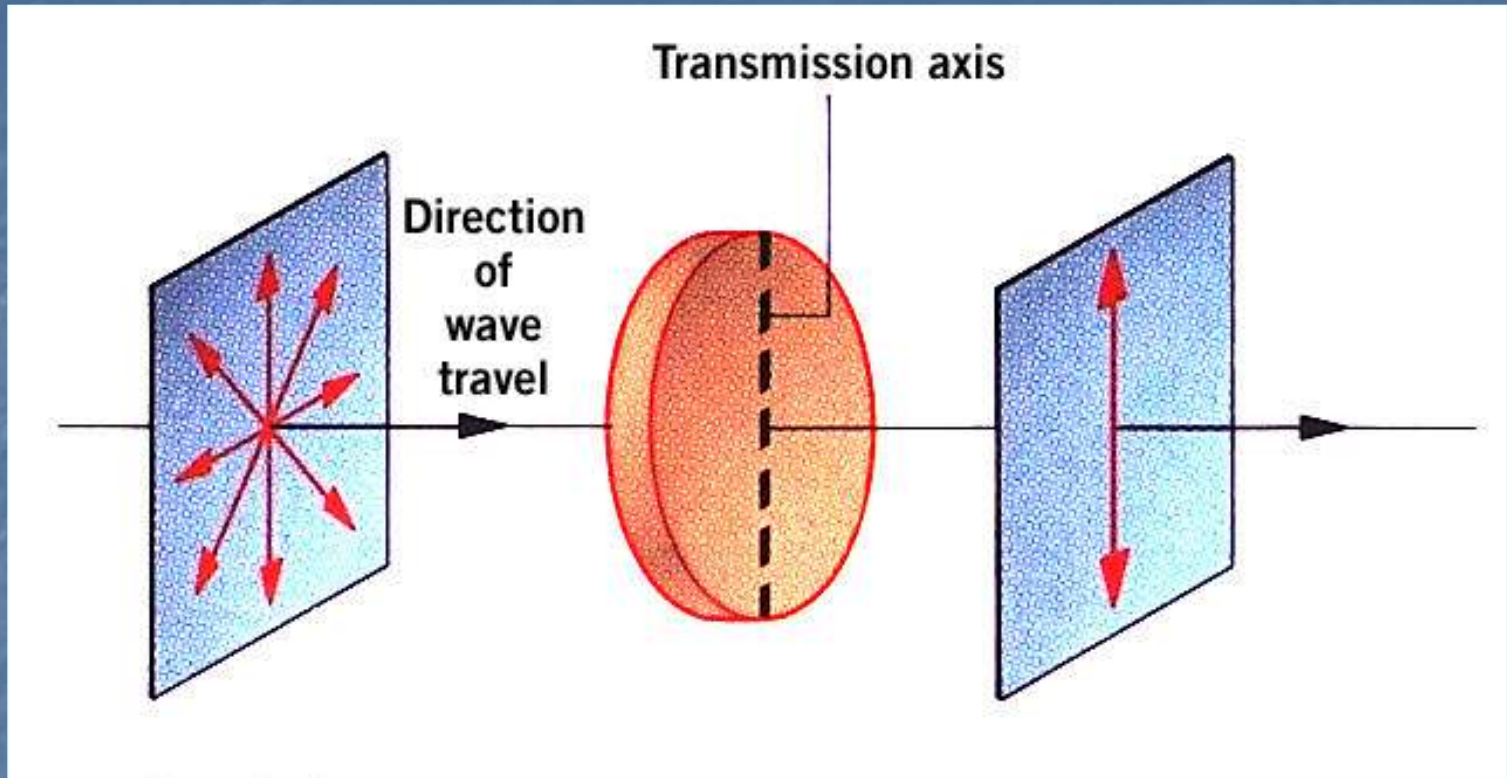
Ejemplos:

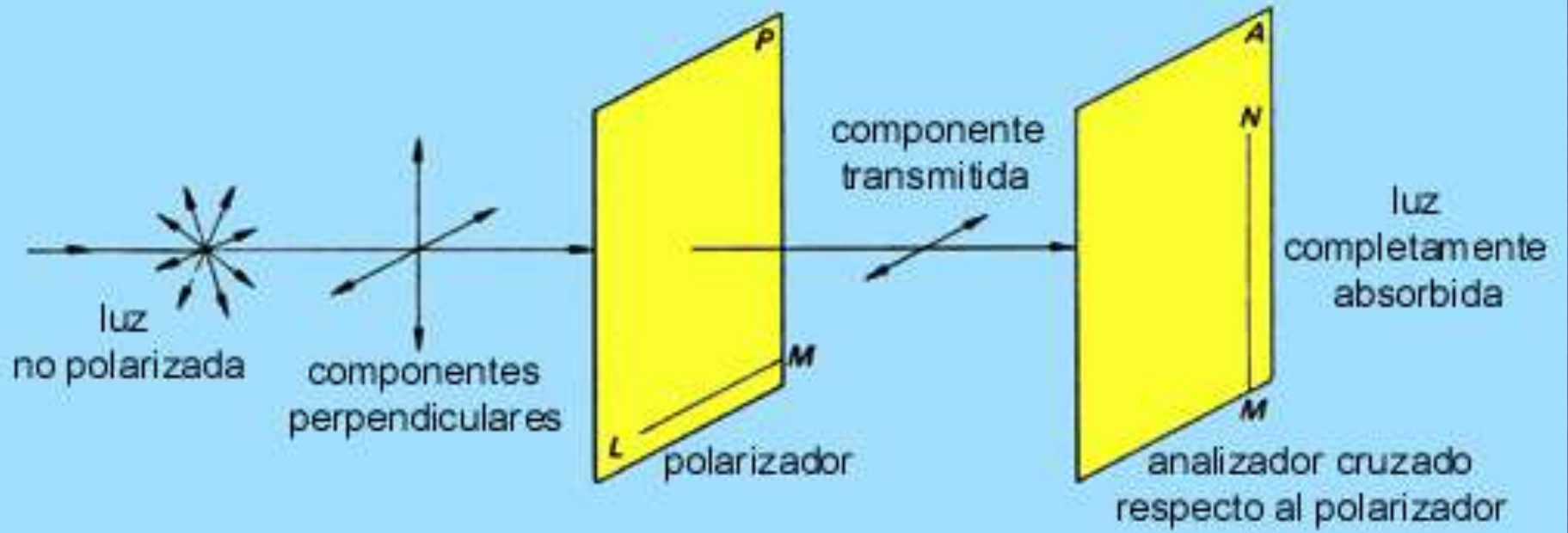
- **Turmalina** (borosilicato de aluminio), absorbe preferentemente el rayo ordinario
- **Herapatita** (sulfato de yodo quinina), cuyos cristales son muy quebradizos

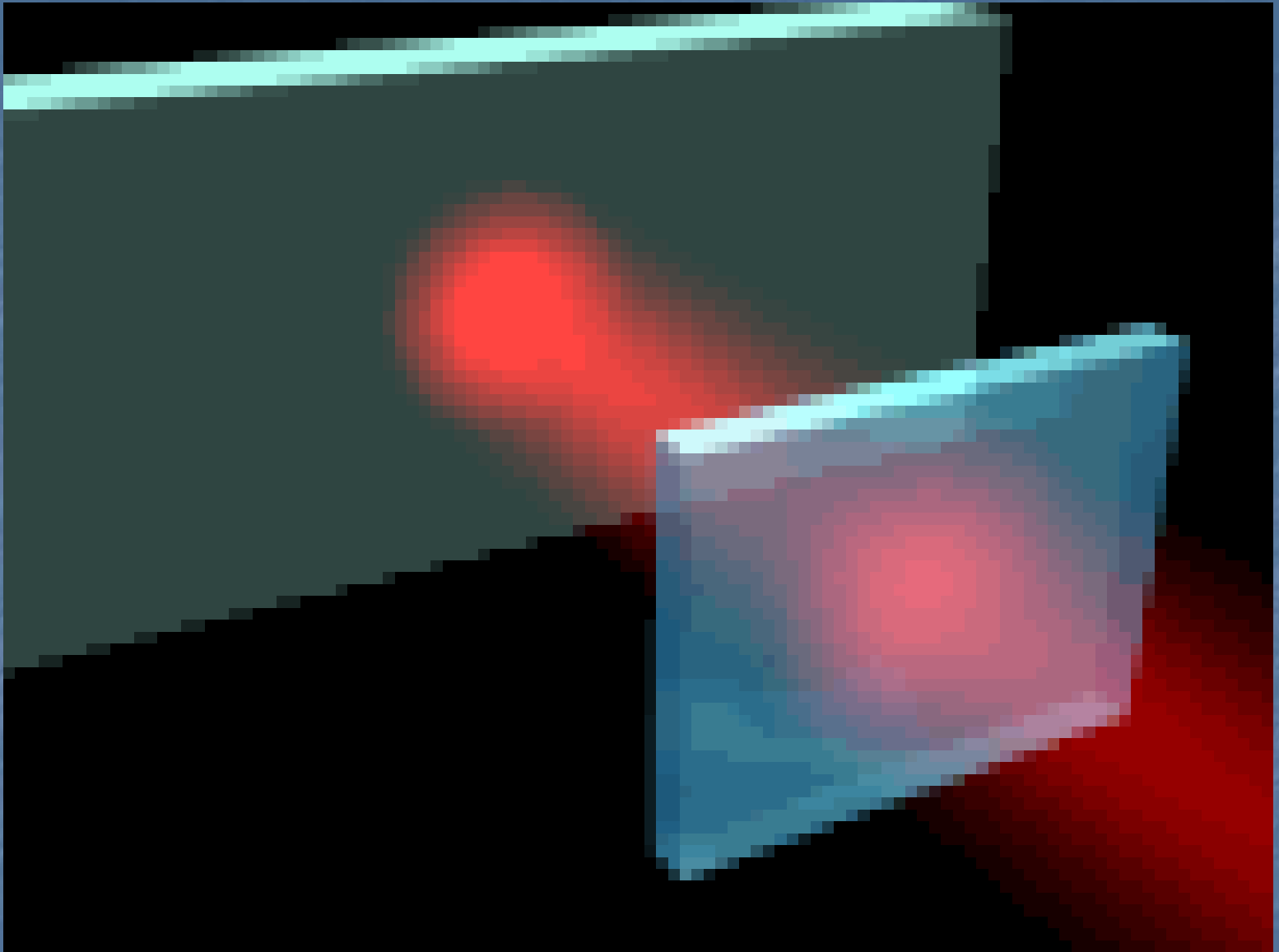


# Película polarizadora. Polaroid

- Inventada por Land en 1938.
- Base de plástico transparente (alcohol polivinílico) con agujas de iodoquinina, orientadas por efecto de una corriente eléctrica.



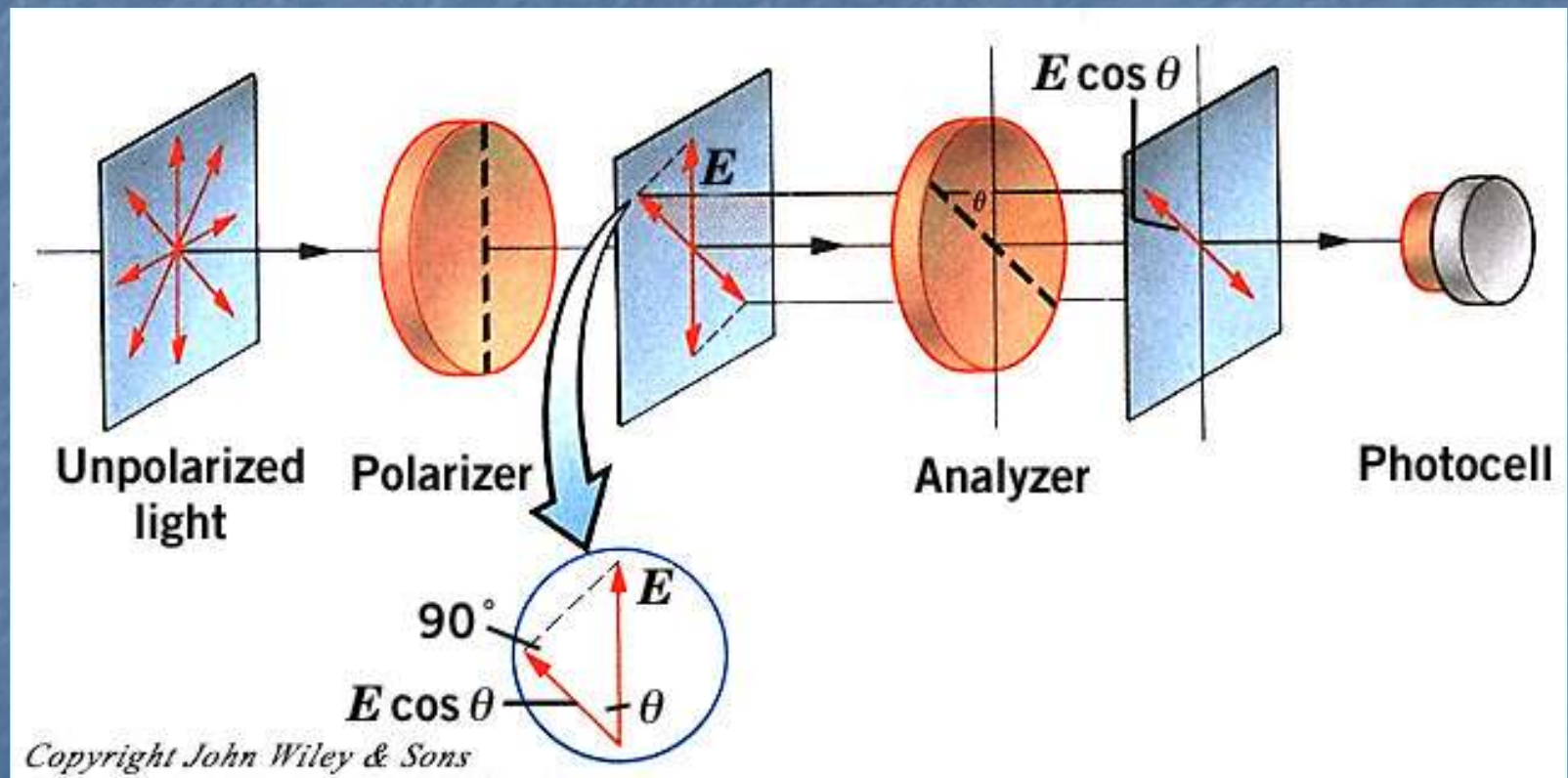






# Ley de Maluz

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$



# Porcentaje de Polarización

$$P(\%) = \frac{I_{Máx} - I_{Mín}}{I_{Máx} + I_{Mín}} \cdot 100$$

# Polarización por dispersión

- Las moléculas de aire son centros de dispersión para la luz solar.
- La molécula absorbente actúa como una antena dipolar → emite luz polarizada en su plano de vibración.
- El observador situado al medio día o al atardecer recibe luz no polarizada
- El observador situado más allá del medio día la observa parcialmente polarizada.

# Luz polarizada del cielo

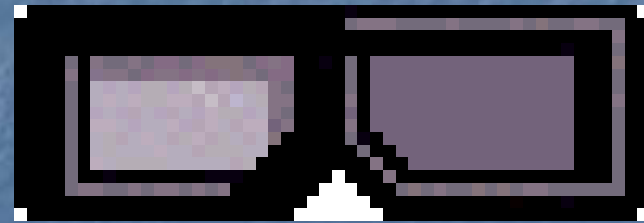


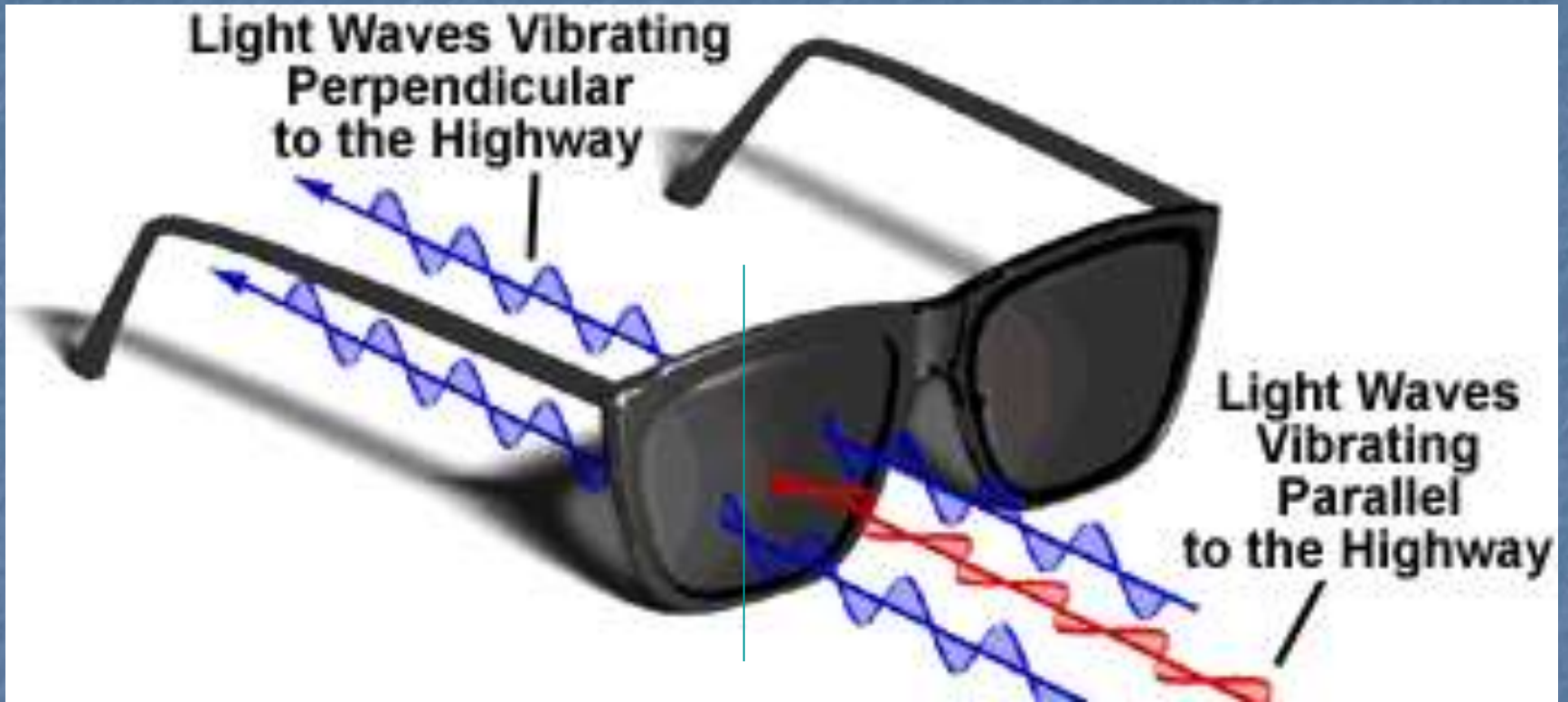
# Microscopio de polarización

- Utilizado en histología, anatomía patológica, cristalografía y la industria.
- Numerosas estructuras cristalinas, pigmentos, lípidos, proteínas, depósitos óseos, el plástico tensionado, etc. , poseen birrefringencia.

# Anteojos de cristal líquido

- *Cada ojo ve solamente su imagen correspondiente.*
- *Tienen una frecuencia elevada, que hace que el parpadeo sea imperceptible.*
- *Se utiliza en monitores de ordenador, TV y cines 3D de última generación.*





# Otras aplicaciones

- Fotografía
- Protecciones solares en automóviles y edificios
- Cinematografía de relieve (3D)

