

# Clase 09

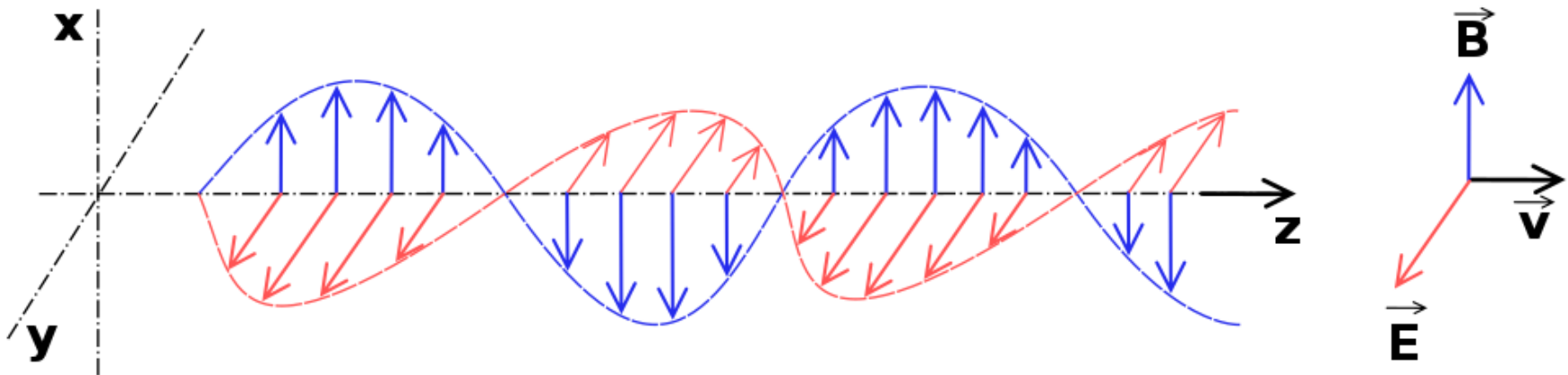
Polarización y redes de difracción

Laboratorio de física 2 para químicxs

# 1) Explicación teórica

## I-Polarización: Ley de Malus

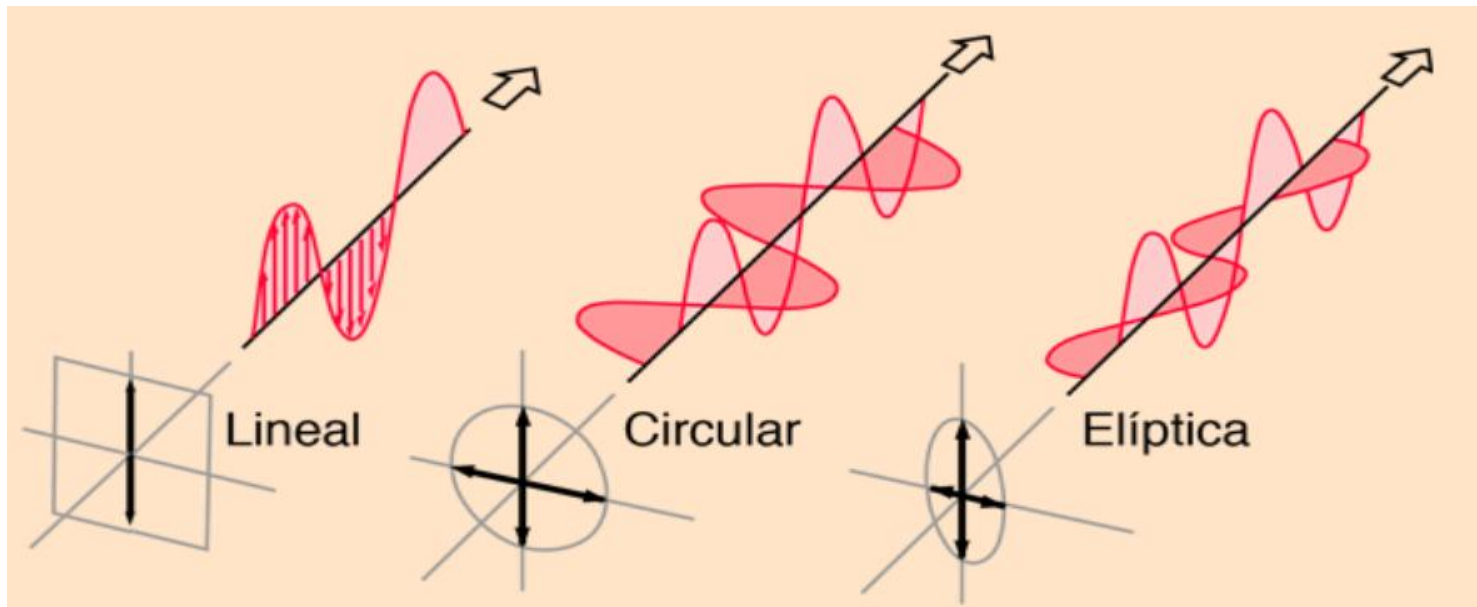
- La luz en una onda **transversal**, puesto que se propaga en dirección perpendicular al plano que determinan el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y el magnético  $\mathbf{B}$ , ambos de carácter vectorial.
- Las oscilaciones predecibles de los campos definen distintos estados de polarización de la luz, es decir, siempre paralelamente a una dirección fija es una **polarización lineal** o con el vector que describe la vibración rotando a una frecuencia dada alrededor de la dirección de propagación es una **polarización circular**.



# 1) Explicación teórica

## I-Polarización: Ley de Malus

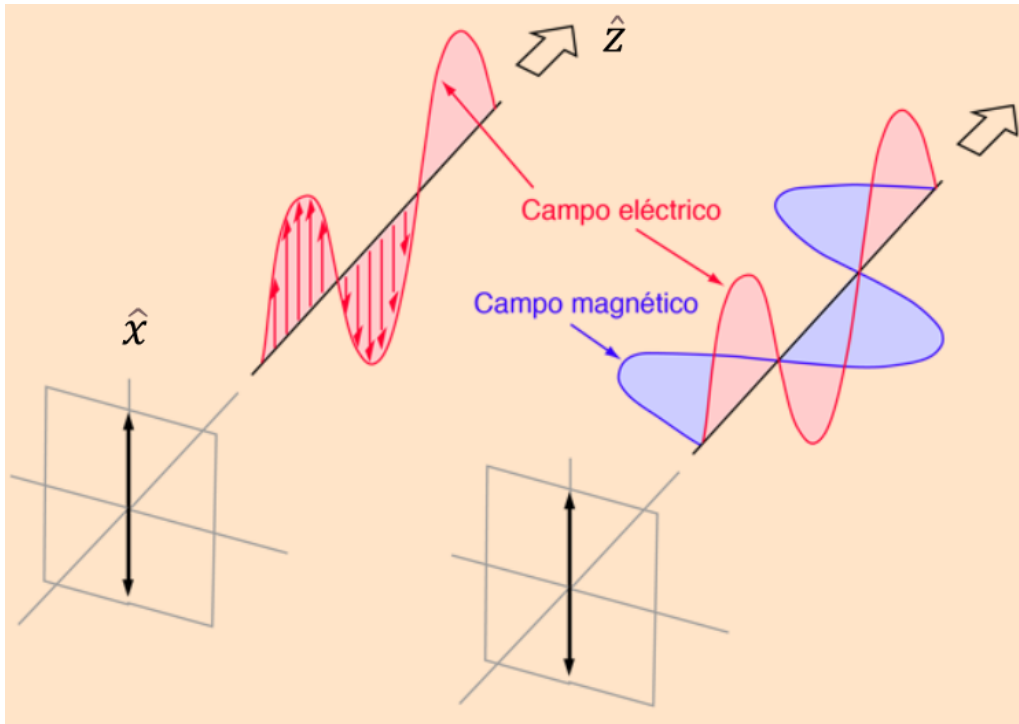
- Las oscilaciones predecibles de los campos definen distintos estados de polarización de la luz, es decir, siempre paralelamente a una dirección fija es una **polarización lineal** o con el vector que describe la vibración rotando a una frecuencia dada alrededor de la dirección de propagación es una **polarización circular**.
- Tanto la luz lineal como circular se pueden considerar casos particulares de **luz elípticamente polarizada**.



# 1) Explicación teórica

## I-Polarización: Ley de Malus

### Polarización Lineal:



$$\vec{E}_1(z, t) = E_{0x} \cos(kz - \omega t) \hat{x}$$

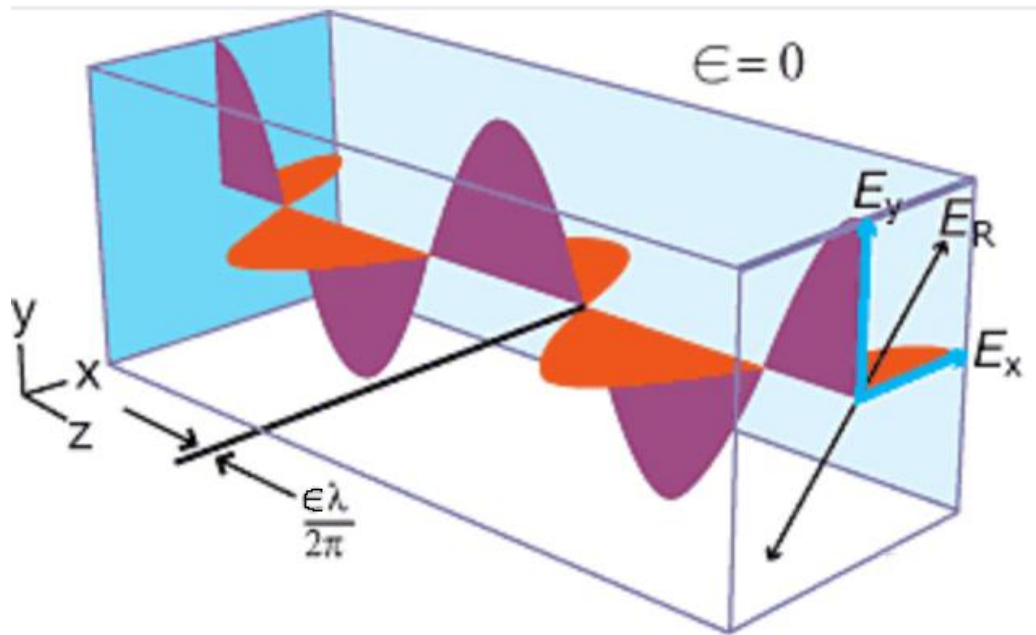
$$I = \overline{E_1}^2$$

# 1) Explicación teórica

## I-Polarización: Ley de Malus

### Polarización Lineal:

¿Qué pasa si sumamos dos ondas linealmente polarizadas pero perpendiculares entre sí?



$$\vec{\mathbf{E}}(z, t) = \vec{\mathbf{E}}_x(z, t) + \vec{\mathbf{E}}_y(z, t)$$

Si están en fase

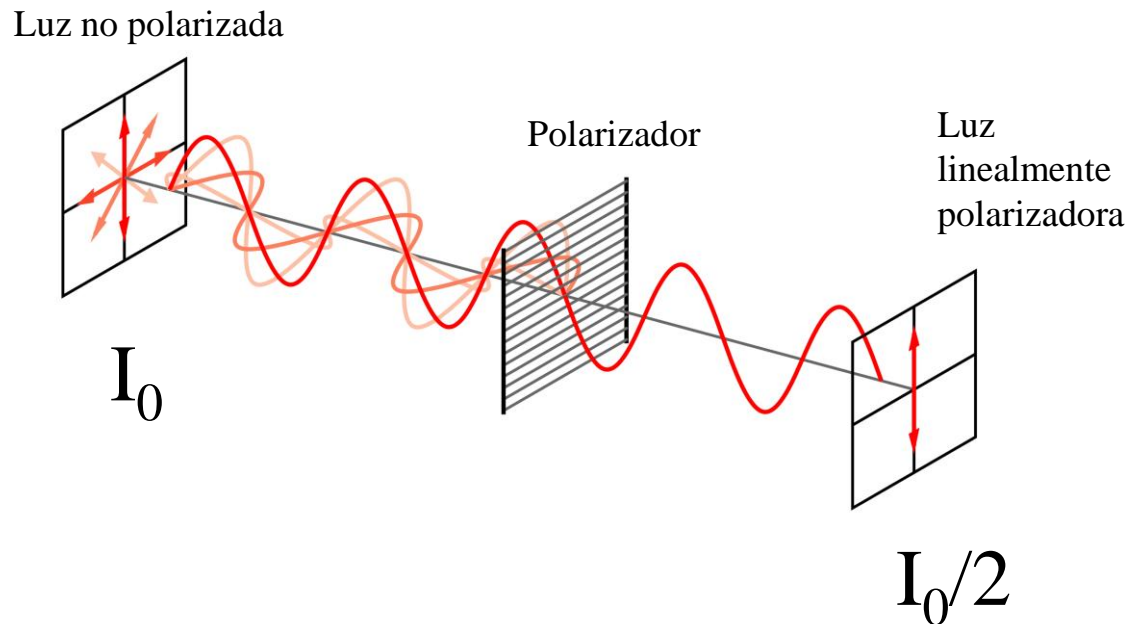
El campo resultante está linealmente polarizado

La luz linealmente polarizada se la puede pensar como la suma de dos campos perpendiculares linealmente polarizados en fase

# 1) Explicación teórica

## I-Polarización: Ley de Malus [1,2]

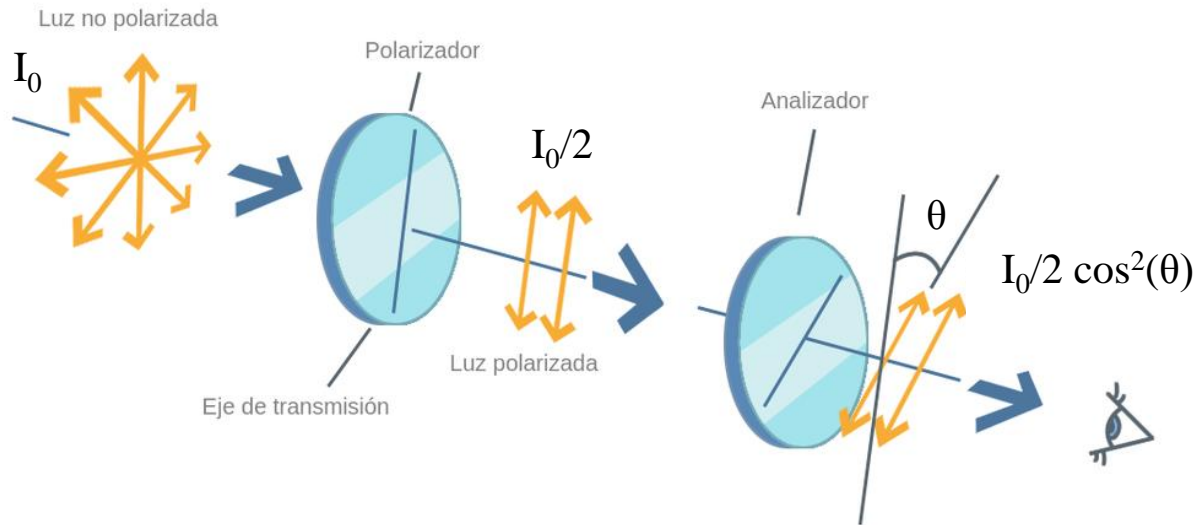
- La luz natural por lo general no está polarizada, todos los planos de propagación son igualmente probables.
- Un aparato óptico cuya energía de entrada es la luz natural y cuya salida es alguna forma de luz polarizada es un **polarizador**.



# 1) Explicación teórica

## I-Polarización: Ley de Malus

- Si se disponen dos polarizadores en forma consecutiva, se comprueba que la intensidad de la luz transmitida por el segundo polarizador (analizador) depende del ángulo  $\theta$  que forman los ejes de polarización de ambos dispositivos.
- La luz es emitida por la fuente de forma no polarizada, incide en el primer polarizador y se transmite linealmente polarizada, luego incide en el segundo polarizador, llamado analizador.



- La intensidad de la luz sale modulada por la **Ley de Malus**:  $I(\theta) = I_0/2 \cos^2(\theta)$

Donde  $I_0$  es la intensidad de la luz incidente inicial no polarizada.

## 2) Objetivos de la práctica

### I-Polarización: Ley de Malus

- Estudiar la ley de Malus variando el ángulo entre polarizadores y midiendo la intensidad resultante.

Videos explicativos:

[https://www.youtube.com/watch?v=LpZre\\_KIDM0](https://www.youtube.com/watch?v=LpZre_KIDM0)

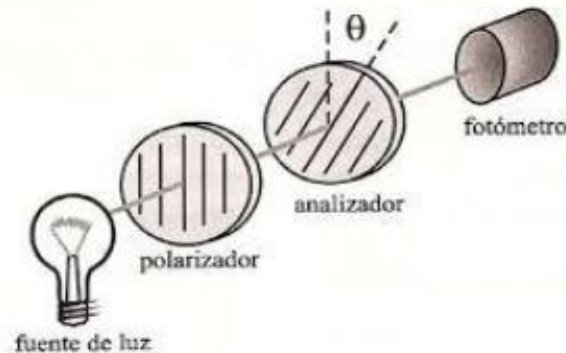
<https://www.youtube.com/watch?v=mJ6UVJbMzSw>



### 3) Arreglo experimental:

#### I-Polarización: Ley de Malus

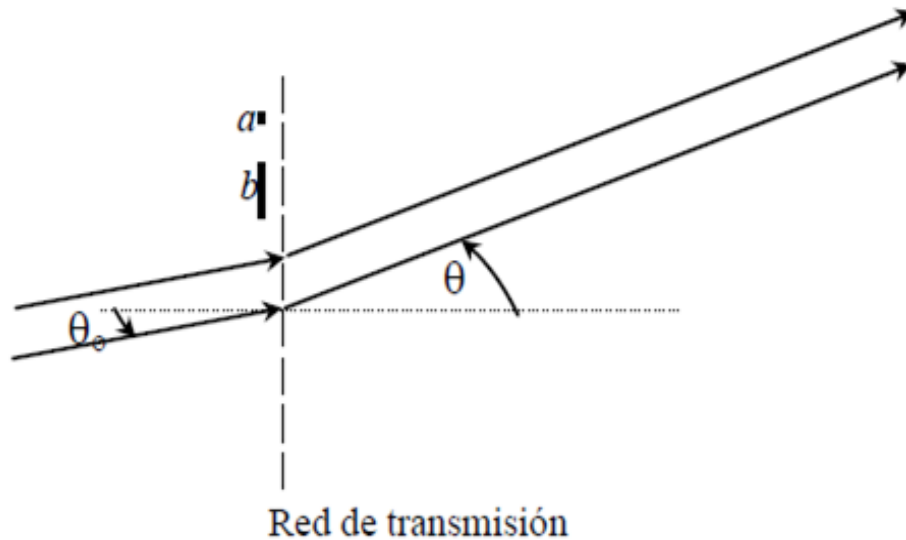
- Armar el experimento según la figura en un banco óptico
- La fuente de luz será un láser, que en principio puede estar polarizado o no. Vamos a polarizarlo linealmente con un polarizador.
- El analizador debe tener un goniómetro para poder medir el ángulo entre polarizadores.
- Como detector se usa un fotómetro calibrado que recibe la luz y produce una señal que se asocia a un valor de intensidad.
- Conectamos el fotómetro a placa del sensor DAQ para adquirir las mediciones en el programa Motion DAQ.
- Variar el ángulo del analizador y medir la intensidad de la luz.
- Graficar  $I$  vs  $\cos^2(\theta)$  ¿Qué puede analizar de los resultados obtenidos? Realizar un ajuste.
- Graficar  $I$  vs  $\cos(\theta)$  ¿Qué forma de curva espera obtener? Realizar un ajuste.
- Graficar  $I$  vs  $\theta$  ¿Qué función representa esta curva?



# 1) Explicación teórica

## II-Redes de difracción

- Una red de difracción es una estructura repetitiva que se utiliza para introducir una perturbación periódica en un frente de onda.
- Entre las configuraciones más sencillas se encuentra la red plana de **transmisión** formada por una serie de rendijas idénticas ( $N$  rendijas de ancho  $a$ ) y equiespaciadas ( $a$  distancia  $b$ ).



# 1) Explicación teórica

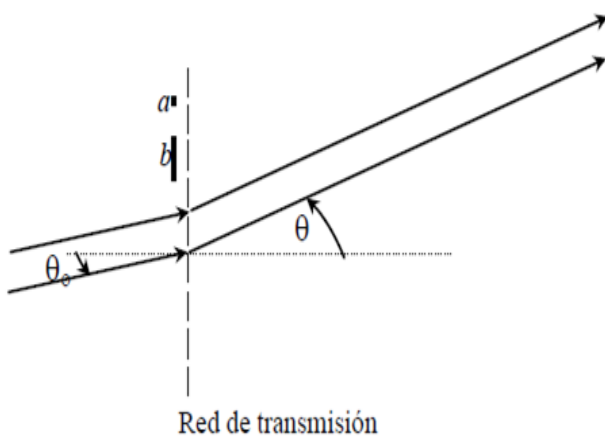
## II-Redes de difracción

□ Si un frente de ondas plano de longitud de onda  $\lambda$  incide sobre una red y observamos la **difracción de Fraunhofer** en una pantalla alejada, la distribución de intensidad la podemos expresar por:

$$I = I_o \left( \frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\text{sen } N\alpha}{\text{sen } \alpha} \right)^2$$

$$\beta = (\pi a / \lambda)(\text{sen } \theta - \text{sen } \theta_0)$$

$$\alpha = (\pi b / \lambda)(\text{sen } \theta - \text{sen } \theta_0)$$



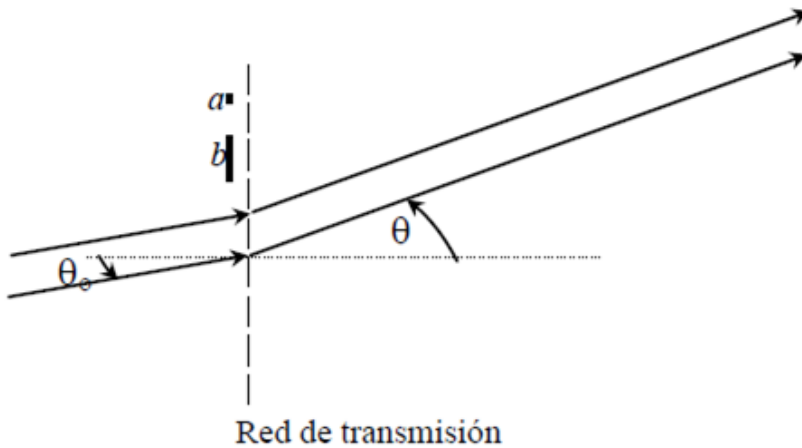
$\theta_0$  es el ángulo que forma el haz incidente con la red y  $\theta$  es el ángulo que forma el haz que estamos observando sobre la pantalla.

□ El primer factor entre paréntesis está referido a la **difracción** producida por cada ranura de ancho  $a$  presente en la red.

□ El segundo factor proviene de la **interferencia** entre las  $N$  ranuras de la red, las cuales se hallan separadas por una distancia  $b$ .

# 1) Explicación teórica

## II-Redes de difracción



$$I = I_0 \left( \frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\text{sen } N\alpha}{\text{sen } \alpha} \right)^2$$

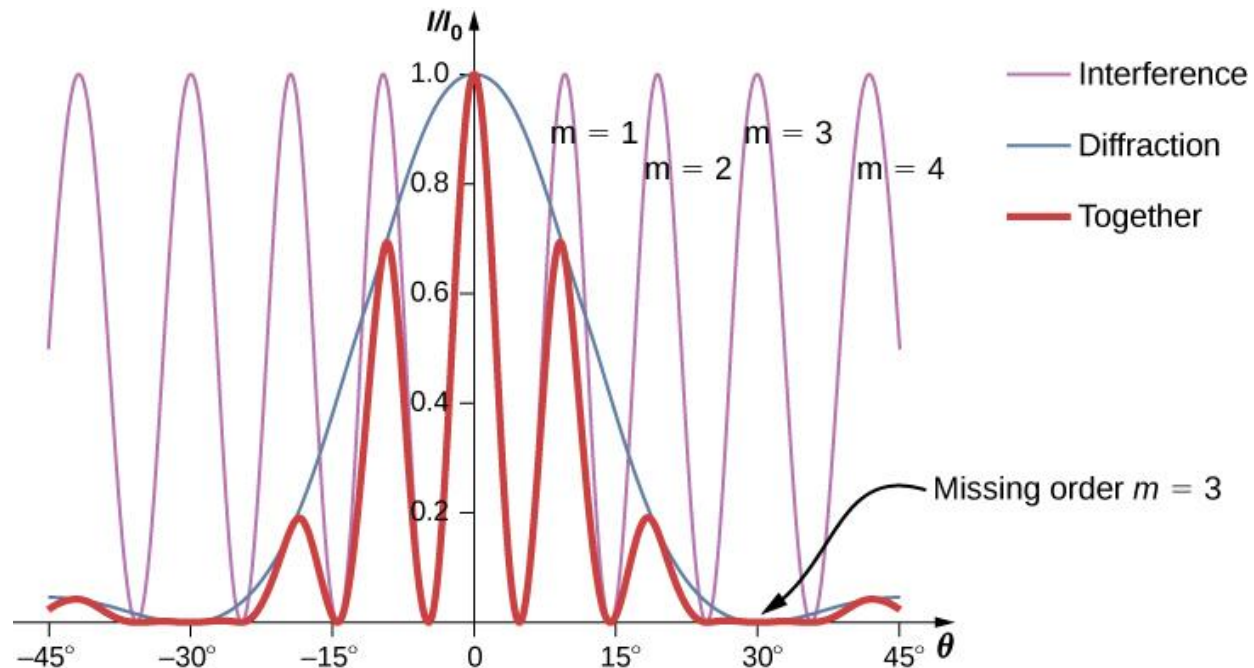
□ Al variar  $\theta$  esta intensidad irá cambiando haciéndose máxima o mínima (cero) para valores específicos de  $\alpha$  y  $\beta$  determinando una serie de máximos principales en la pantalla de observación (existen máximos secundarios mucho menos intensos entre los máximos principales).

# 1) Explicación teórica

## II-Redes de difracción

□ Cada rendija produce sobre la pantalla el patrón de difracción característico de una rendija. El resultado de esta combinación es la **interferencia** de las múltiples rendijas modulada por la figura de **difracción**.

□ Dado que en este caso la campana central de **difracción** es mucho mas ancha que la separación entre los máximos de **interferencia**, los órdenes que usualmente se ven con una red son los provenientes de la **interferencia** producida por las N rendijas.



# 1) Explicación teórica

## II-Redes de difracción

□ Si nos concentramos entonces en el factor de **interferencia** encontramos que se hace máximo cuando se cumple que:

$$\alpha = m \pi$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2$$

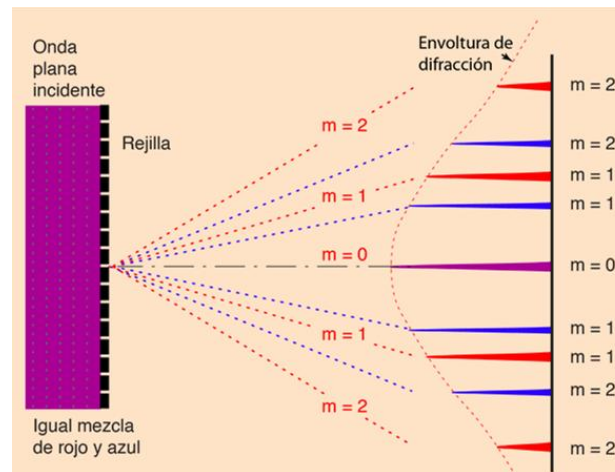
□ **m** se denomina orden de **interferencia**. Reemplazando en la expresión de  $\alpha$  resulta que:

$$\boxed{\text{sen } \theta_m - \text{sen } \theta_0 = m \lambda / b}$$

**Ecuación de la Red**

donde el ángulo  $\theta_m$  correspondiente al máximo de interferencia **m**.

Observación: si el haz incidente no es monocromático, esta expresión vale para cada longitud de onda presente en el haz.



La red difracción es una herramienta que sirve separar los colores de la luz incidente.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/grating.html>

<http://materias.df.uba.ar/f2qa2018c1/2018/06/page/2/>

# 1) Explicación teórica

## II-Redes de difracción



□ El poder resolución cromática de un dispositivo para separar longitudes de onda está definido por:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad \text{Donde } \Delta\lambda \text{ es la diferencia de longitud de onda más pequeña resoluble}$$

□ El límite de la resolución está determinado por el criterio de Rayleigh cuando se aplica sobre la máxima difracción, es decir; dos longitudes de ondas están justamente resueltas, cuando el máximo de una, se encuentra con el primer mínimo de la otra

□ En la red de difracción se puede estimar como:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN \quad \text{donde } N \text{ es el número total de ranuras iluminadas y } m \text{ es el orden de interferencia}$$

□ El poder de resolución teórico aumenta con  $N$  y el orden de interferencia donde se observe.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/gratres.html>

## 2) Objetivos de la práctica



### II-Redes de Difracción

Se propone medir el espectro emitido por una lámpara de sodio utilizando redes de difracción. Como extra, se propone también determinar los límites del espectro visible usando una fuente de luz blanca.

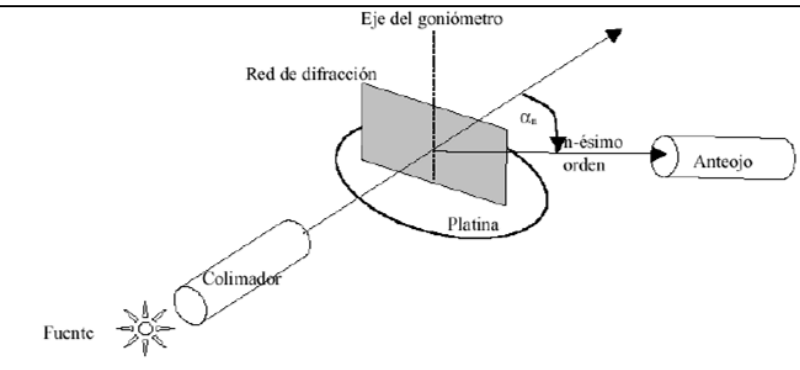


### 3) Arreglo experimental:

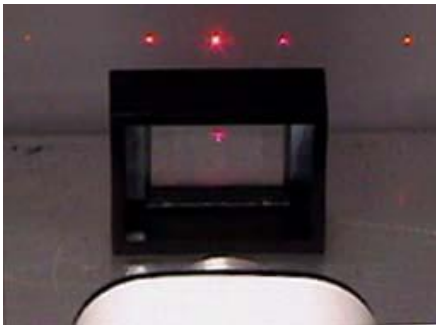
#### II-Redes de difracción

#### Experimento:

#### Esquema:



#### Red de difracción:



#### Foto del experimento:



Observación: Es necesario calibrar el goniómetro previamente a la medición.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/grating.html>

### 3) Arreglo experimental:

#### II-Redes de difracción



#### Calibrar el **goniómetro**:

-Enfocar el anteojo mirando un objeto distante (enfoco a infinito) y desplazando el ocular del tubo hacia el/la observador/a.

-Enfrentar el colimador al anteojo para enfocar el colimador y desplazar la rendija.

Colocar la red sobre la platina de forma perpendicular al haz incidente y bien centrada ( $\theta_0 = 0$ ) para evitar tener un ángulo de incidencia.

Chequear que la imagen de la rendija a través de la red se halle centrada y paralela al eje vertical del retículo.

Colocar **la lámpara de sodio**, prendida unos minutos antes para que entre en régimen.

Medir los ángulos de las intensidades de la lámpara de sodio, moviendo el anteojo e identificando cada orden de interferencia.

Graficar  **$\sin\theta$  vs  $m/b$** , donde  $m$  es el orden de interferencia ¿Qué se obtiene de la pendiente?

Recordar:

-Distancia entre rendijas:  $b = 1\text{mm}/\#\text{líneas}$  (ver qué cantidad de líneas tiene la red de difracción empleada)

-Se debe realizar un gráfico por **cada longitud** de onda que se busca

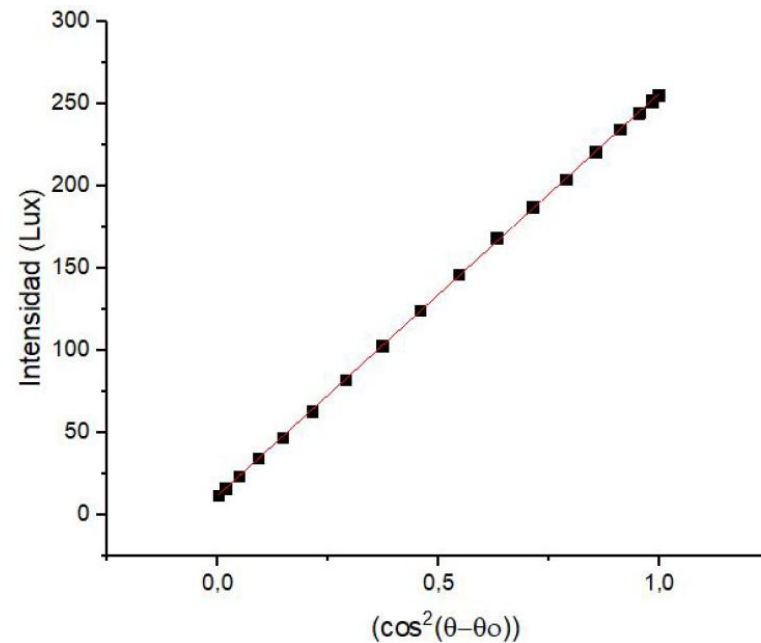
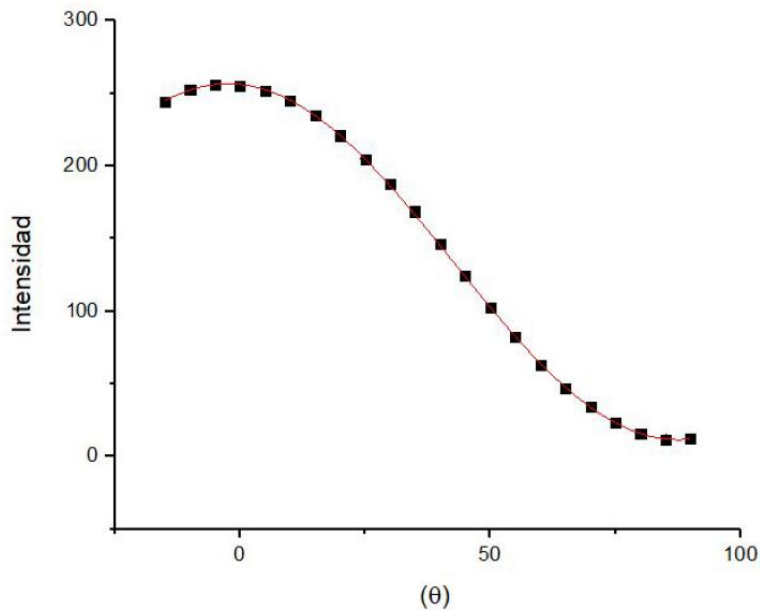
La lámpara de sodio tiene dos longitudes de onda correspondientes al amarillo. Estas son muy cercanas e intensas y puede no ser posible resolverlas en el primer orden de interferencia. ¿Se observan otros colores además del amarillo? ¿Cuáles y por qué?

¡A medir!

## 4) Resultados y análisis

### I-Polarización: Ley de Malus

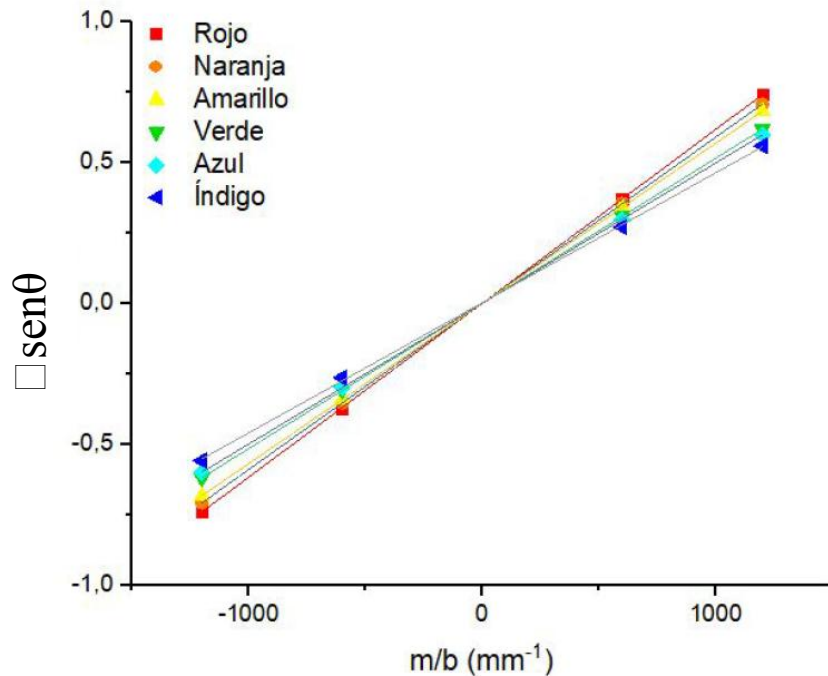
- Observación:  $I(90^\circ) = 0$
- Esto se debe al hecho de que el campo eléctrico que ha pasado a través del polarizador es perpendicular al eje del analizador (polarizadores cruzados).
- El campo es paralelo al que se llama eje de extinción del analizador y no tiene ninguna componente a lo largo del eje de transmisión.
- Dada ley de Malus:  $I = I_0 \cos^2(\theta)$ :
- $I$  vs  $\cos^2(\theta)$  da una curva lineal,  $I$  vs  $\cos(\theta)$  da una curva cuadrática e  $I$  vs  $\theta$  da una curva coseinoidal



## 4) Resultados y análisis

### II-Redes de difracción

- De la pendiente del gráfico  $\text{sen}\theta$  vs  $m/b$ , se obtiene  $\lambda$ .
- Se debe hacer 2 gráficos, uno por cada longitud de onda del doblete de sodio (amarillo), si se puede llegar a resolver con la red de difracción.



Color	Longitud de onda determinada (nm)	Longitud de onda tabulada (nm)	$R^2$
Rojo	$618 \pm 4$	~618-780	0,99998
Naranja	$590 \pm 6$	~581-618	0,99995
Amarillo	$569 \pm 4$	~570-581	0,99997
Verde	$516 \pm 3$	~497-570	0,99998
Cian	$499 \pm 6$	~476-497	0,99999
Azul	$462 \pm 5$	~427-476	0,99995

Doblete de sodio: 588,9950 y 589,5924 nanómetros.

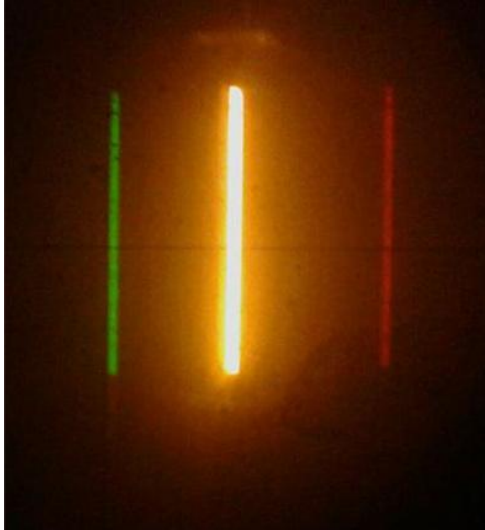
¿Se observan otros colores además del amarillo?

¿Cuáles y por qué?

EXTRA: medición del espectro visible con luz blanca ( $403 \pm 4$ )nm y ( $686 \pm 6$ )nm.

## 4) Resultados y análisis

### II-Redes de difracción



□ Imagen del espectro de emisión del sodio observado desde el anteojo del goniómetro. Se observa que la banda más intensa corresponde al naranja, pero también se observan otros colores

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/grating.html>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/gratcal.html>



Observación: Las pistas de un CD actúan como una **red de difracción**, produciendo una separación de los colores de la luz blanca. La separación nominal de las pistas en un CD es de 1,6 micrómetros, correspondiente a unos 625 pistas por mm. ¿Se podrá usar para separar el doblete de sodio?

## 5) Aplicaciones

### I-Polarización: Ley de Malus

#### Aplicación de polarizadores

#### **Polarized Lens on a Camera**



Reduce Reflections



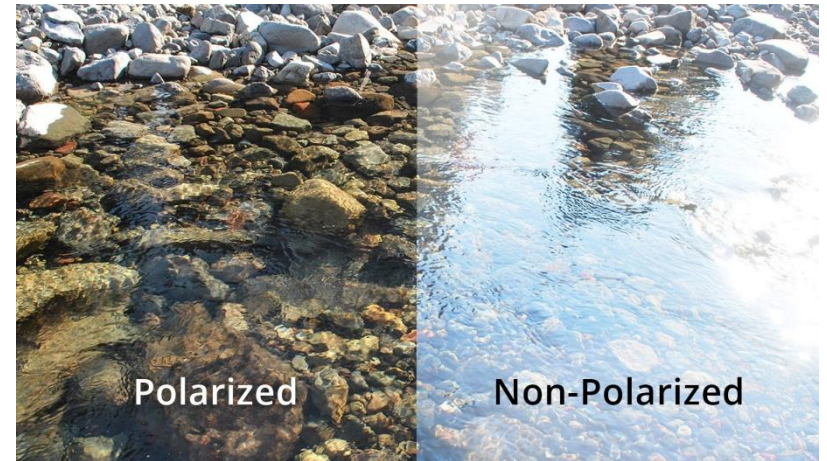
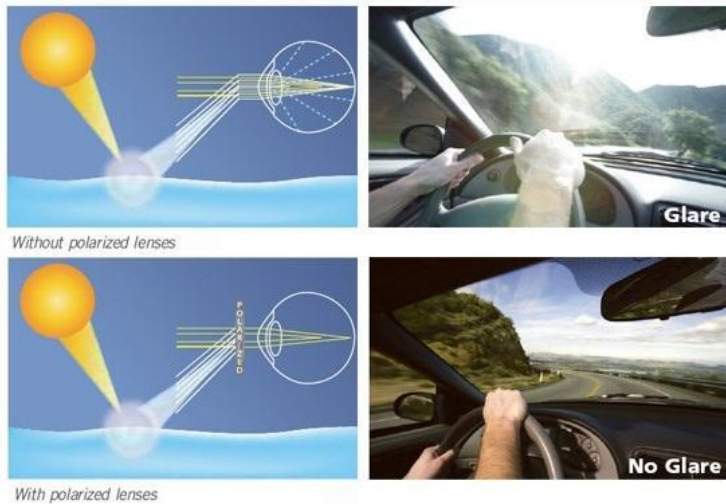
<https://www.slideshare.net/rajukaiti/polarization-and-its-application-in-ophthalmology>  
<https://camaras.uno/filtros-fotograficos-polarizadores-cual-es-la-mejor-opcion-y-para-que-sirven/>

## 5) Aplicaciones

### I-Polarización: Ley de Malus

#### Aplicación de polarizadores

- El resplandor de las superficies reflectantes puede reducirse con el uso de anteojos de sol polarizados.
- Los ejes de polarización de la lente son verticales ya que la mayor parte del deslumbramiento se refleja en superficies horizontales.



Anteojos polarizados para manejar.

Anteojos polarizados para pescar.

<https://www.blinkvision.com/sunglasses-are-good-but-polarized-sunglasses-are-better/>

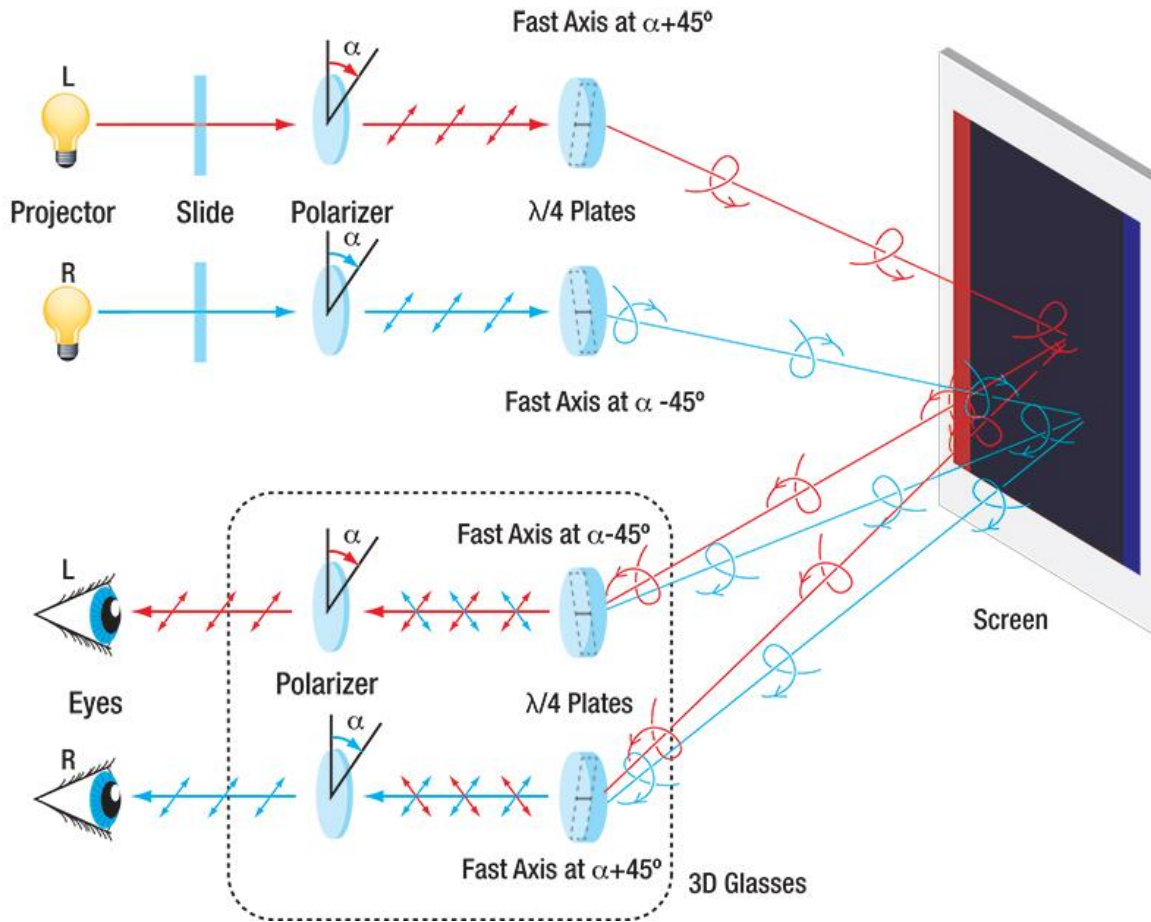
<https://www.newbedfordguide.com/polarized-vs-non-polarized-sunglass-lenses/2015/05/28?print=print>



# 5) Aplicaciones

## I-Polarización: Ley de Malus

Aplicación de polarizadores      Anteojos cine 3D.



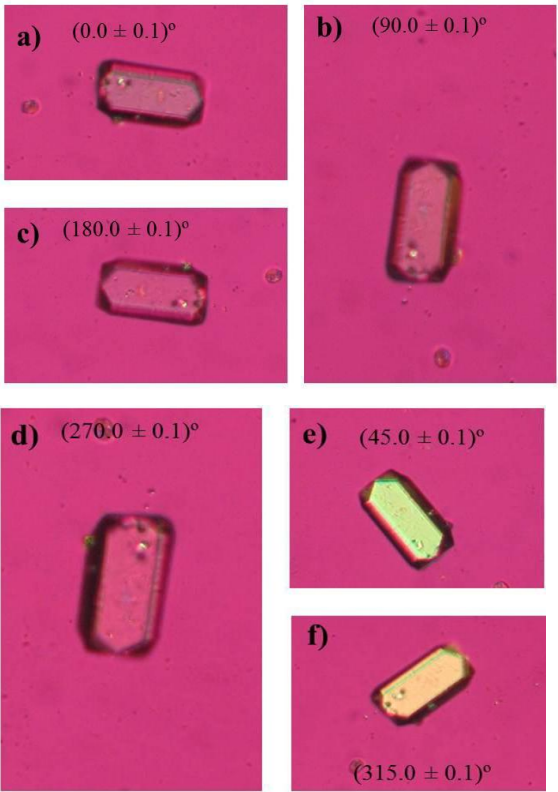
- Se proyectan dos películas a la vez a través de dos proyectores.
- Y a su vez a través de filtros polarizadores con ejes perpendiculares entre sí
- Los espectadores llevan anteojos con 2 filtros de polaroid con ejes perpendiculares
- El ojo derecho “R” ve la película proyectada a la izquierda
- El ojo izquierdo “L” ve las proyecciones de la derecha

[https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=8204](https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=8204)

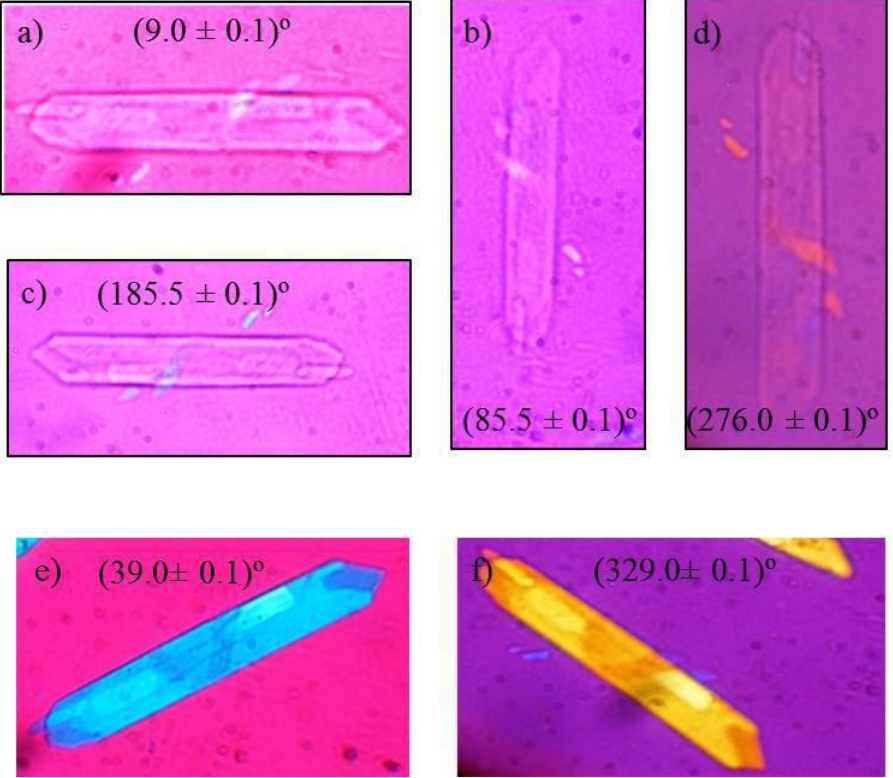
# 5) Aplicaciones

## I-Polarización: Ley de Malus

Aplicación de polarizadores cruzados: estudio de cristalinidad de compuestos por birrefringencia bajo norma USP 38 monografía <776>.



Carboplatino



Clindamicina Fosfato

Dras. M. Rodríguez y Florencia Di Salvo

# 5) Aplicaciones

## II-Redes de difracción

### Espectrofluorómetro

