

## SESIÓN Nº 6: ANÁLISIS DEL ESTADO DE POLARIZACIÓN DE LA LUZ.



### TRABAJO PREVIO

1. Conceptos fundamentales
2. Cuestiones

#### 1. Conceptos fundamentales

• **Luz natural:** vector eléctrico vibrando en todas las direcciones del plano perpendicular a la dirección de propagación.

• **Estados de polarización de la luz:** obtenidos por superposición de ondas electromagnéticas luminosas de la misma frecuencia cuyos vectores eléctricos vibran en direcciones perpendiculares. Clasificación de estados puros:

- **Luz linealmente polarizada:** vector eléctrico vibrando según una única dirección, equivalente a superposición de ondas luminosas de la misma frecuencia con vectores perpendiculares, desfasadas 0 o  $\pi$  radianes. Se adopta el convenio de cargar la fase sobre la componente y ( $\Delta\phi = \phi_y - \phi_x$ ). La figura 6.1 muestran una vista frontal de una luz linealmente polarizada cuya dirección de vibración forma un ángulo  $\alpha$  con el eje x (izquierda) y una vista completa de una luz linealmente polarizada vibrando según el eje y (derecha).

Desfase 0 (vibración en 1º y 3º cuadrantes)

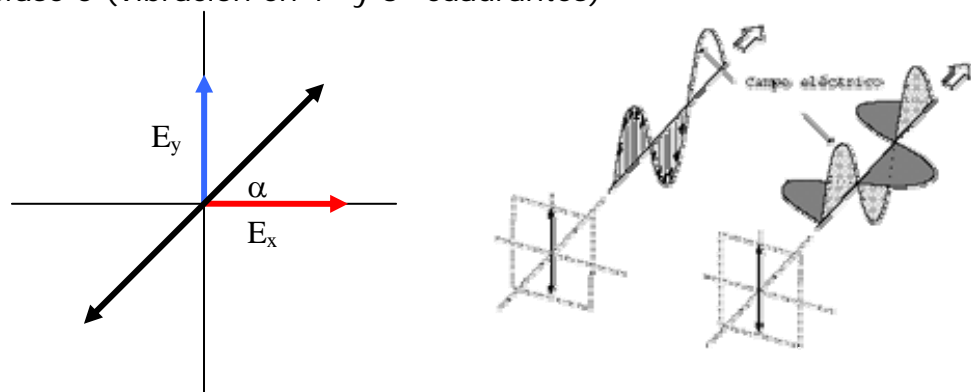


Figura 6.1

- **Luz elípticamente polarizada:** vector eléctrico cuyo extremo describe una trayectoria elíptica, equivalente a superposición de ondas luminosas de la misma frecuencia con vectores eléctricos perpendiculares desfasados un ángulo entre 0 y  $\pi$  (sentido horario o *dextrógiro* de giro sobre la elipse) o entre  $\pi$  y  $2\pi$  (sentido antihorario o *levógiro* de giro sobre la elipse). En la figura 6.2 vemos tres fases

consecutivas de movimiento en vista frontal para un desfase de  $\pi/2$  (izquierda), y una vista completa de una luz polarizada elíptica con desfase de  $3\pi/2$  (derecha).

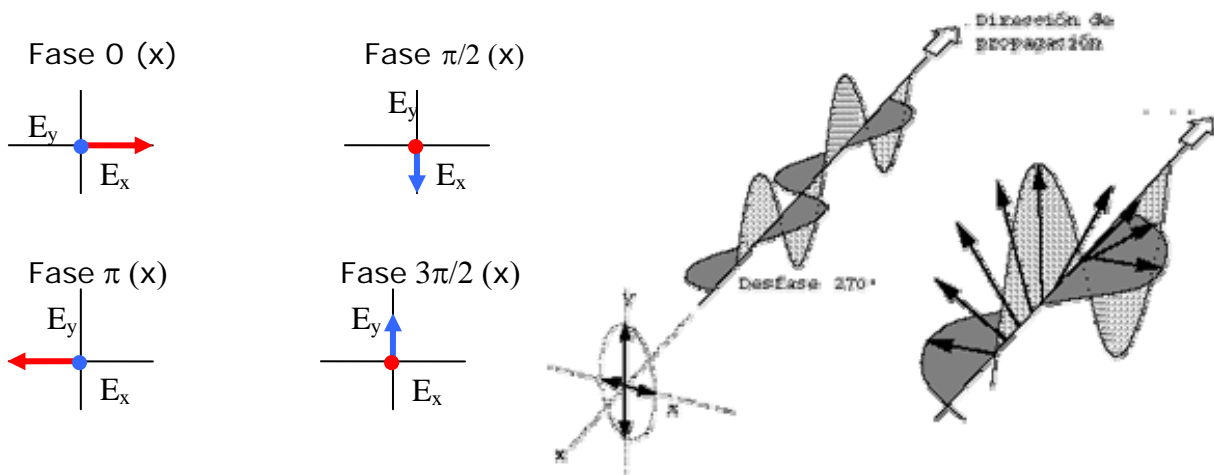


Figura 6.2

**-Luz circularmente polarizada:** vector eléctrico cuyo extremo describe una trayectoria circular, equivalente a superposición de ondas luminosas de la misma frecuencia con vectores eléctricos perpendiculares de igual amplitud desfasados un ángulo  $\pi/2$  (sentido horario o *dextrógiro* de giro) o  $3\pi/2$  (sentido antihorario o *levógiro* de giro). Así, si el desfase es  $\pi/2$  o  $3\pi/2$ , la luz será polarizada elíptica si las dos componentes no tienen igual amplitud, y circular si tienen igual amplitud.

La luz puede encontrarse en estados puros o mezcla de estados de polarización.

• **Obtención de luz polarizada: polarizadores lineales.** Los polarizadores (figura 6.3) son dispositivos que seleccionan una particular dirección de vibración de la luz, de forma que tras atravesarlos luz natural emerge linealmente polarizada en la dirección seleccionada mediante la orientación del *EJE DE TRANSMISIÓN* del polarizador. El eje perpendicular al de transmisión se denomina Eje de extinción. Hay una variedad de métodos para conseguir esta selección, entre los que destacan la absorción selectiva por dicroísmo (más común), reflexión con ángulo de Brewster, polarización por dispersión.



Figura 6.3

-Si sobre un polarizador lineal incide luz linealmente polarizada, la intensidad transmitida resulta:

$$I_t = I_o \cdot \cos^2 \alpha \quad (6.1)$$

donde  $\alpha$  es el ángulo formado entre la dirección de vibración de la luz incidente y el eje de transmisión del polarizador. De la ecuación 6.1 se deduce que si

colocamos dos polarizadores con sus ejes de transmisión formando  $90^\circ$ , no habrá luz transmitida por el segundo polarizador.

-Si sobre un polarizador incide luz circular o elíptica, emerge luz linealmente polarizada según el eje de transmisión.

• **Obtención de luz polarizada: láminas retardadoras.** Las láminas retardadoras (figura 6.4) están formadas por materiales birrefringentes (generalmente medios cristalinos anisótropos) que se tallan de forma que al incidir normalmente un haz de luz a su paso por el medio las componentes que vibran según los ejes privilegiados o *LÍNEAS NEUTRAS* de la lámina emergen con un cierto desfase entre ellas, que se calcula como:



Figura 6.4

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o) d \quad (6.2)$$

donde  $\Delta$  es la diferencia de camino óptico en el interior de la lámina entre la componente que presenta índice de refracción  $n_e$  y la componente que presenta índice  $n_o$ . Estos dos ejes o líneas neutras de la lámina también se denominan eje rápido y lento. El factor  $n_e - n_o$  es la *birrefringencia* de la lámina (diferencia de índices de refracción entre las líneas neutras) y  $d$  es el espesor de la lámina.

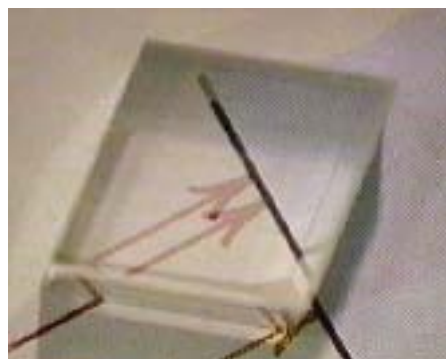


Figura 6.5

Si la luz incide vibrando según el eje *óptico* de la lámina, ésta se comporta como si fuera un medio homogéneo e isótropo con índice  $n_o$ . Como se deduce de la ecuación 6.2, el desfase depende de la longitud de onda de la luz incidente. Los retardadores más habituales son las *láminas de  $\lambda/4$* , que introducen un desfase de  $\pi/2$  para una determinada longitud de onda. En

los medios anisótropos, en determinadas condiciones de incidencia de la luz (por ejemplo

si el eje óptico está en el plano de incidencia y se incide formando un cierto ángulo con el mismo) se produce separación de las direcciones de vibración paralela y perpendicular al plano de incidencia en el interior del medio, lo que ocasiona el fenómeno de la doble imagen o birrefringencia que se observa en la figura 6.5 para un cristal de calcita. La dirección de vibración perpendicular al plano de incidencia se comporta como en una refracción normal y se denomina *rayo ordinario*, y la dirección de vibración paralela al plano de incidencia, que no obedece la ley de Snell para incidencia normal, se denomina *rayo extraordinario*. Los retardadores se tallan con el eje óptico perpendicular al plano de incidencia, para no producir doble imagen bajo incidencia normal. En estas condiciones, ambas componentes (ordinaria, que vibra perpendicularmente al eje óptico, y extraordinaria, que vibra según el eje óptico) obedecen la ley de la refracción al propagarse por el interior de la lámina, por lo que ésta sólo introduce desfase entre ellas y no las separa.

- Si sobre una lámina  $\lambda/4$  incide luz natural, a la salida se obtiene luz natural, puesto que el desfase introducido entre las componentes ordinaria y extraordinaria no afecta al resto de direcciones de vibración de la luz incidente.

- Si sobre una lámina  $\lambda/4$  incide luz linealmente polarizada, el resultado depende de la dirección de vibración incidente, como se resume en la Tabla 6.1.
- Si sobre una lámina  $\lambda/4$  incide luz elípticamente polarizada, el resultado emergente depende también de la orientación de los ejes de la elipse incidente (Tabla 6.1)

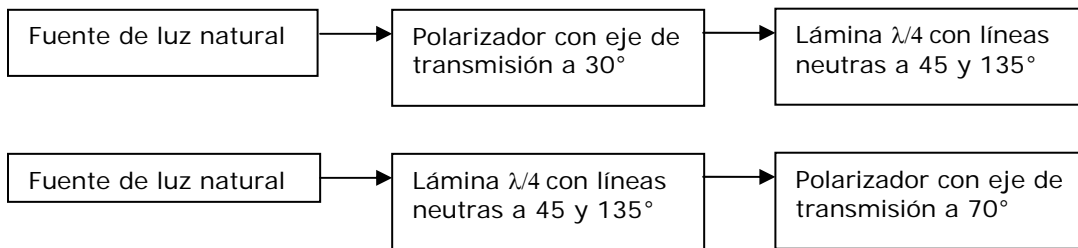
Para entender el por qué de los resultados de estados emergentes que muestra la tabla basta imaginar el efecto de introducir un desfase de  $\pi/2$  entre las direcciones de vibración ordinaria y extraordinaria en cada caso. Por ejemplo, si la luz incidente vibra según una de las líneas neutras, no existe componente en la otra línea neutra en el interior de la lámina, por lo cual no se introduce ningún desfase y el estado de polarización no cambia al atravesar la lámina. Si el haz incidente es linealmente polarizado a  $45^\circ$  con una de las líneas neutras, al proyectar la dirección de vibración incidente sobre las líneas neutras obtenemos dos componentes de igual amplitud, y tras atravesar la lámina están desfasadas  $\pi/2$ , con lo que el resultado es luz circularmente polarizada.

Tabla 6.1. Resumen de estados emergentes de una lámina  $\lambda/4$ .

<b>Incidente</b>	<b>Resultado</b>
Luz <b>linealmente polarizada</b> según una línea neutra	Luz <b>linealmente polarizada</b> según la misma línea neutra
Luz <b>linealmente polarizada</b> en cualquier otra dirección	Luz <b>elípticamente polarizada</b>
Luz <b>linealmente polarizada</b> vibrando a $45^\circ$ con una de las líneas neutras	Luz <b>circularmente polarizada</b>
Luz <b>elípticamente polarizada</b> con sus ejes coincidentes con las líneas neutras	Luz <b>linealmente polarizada</b>
Luz <b>elípticamente polarizada</b> con sus ejes no coincidentes con las líneas neutras y sin formar $45^\circ$ con ellas	Luz <b>elípticamente polarizada</b>

## 2. Cuestiones

1. Realizar un esquema similar al de la figura sobre luz polarizada que refleje tres estados de fase correspondientes a la superposición de dos componentes perpendiculares de diferente amplitud desfasadas  $45^\circ$ , e indicar el estado de polarización correspondiente.
2. Calcular la intensidad emergente de un polarizador lineal si sobre él incide luz linealmente polarizada de intensidad  $I_1$ :
  - a) Formando  $50^\circ$  con el eje de transmisión del polarizador.
  - b) Formando  $35^\circ$  con el eje de extinción del polarizador.
3. Indicar el estado de polarización emergente de las siguientes series de elementos:



4. Si en la figura que muestra la doble imagen por birrefringencia insertamos entre la flecha dibujada en el papel y la lámina de calcita un polarizador cuya dirección de transmisión deja pasar sólo la vibración extraordinaria, indicar qué veríamos entonces a través de la lámina de calcita. ¿Y si el polarizador transmite selectivamente la dirección de vibración ordinaria?

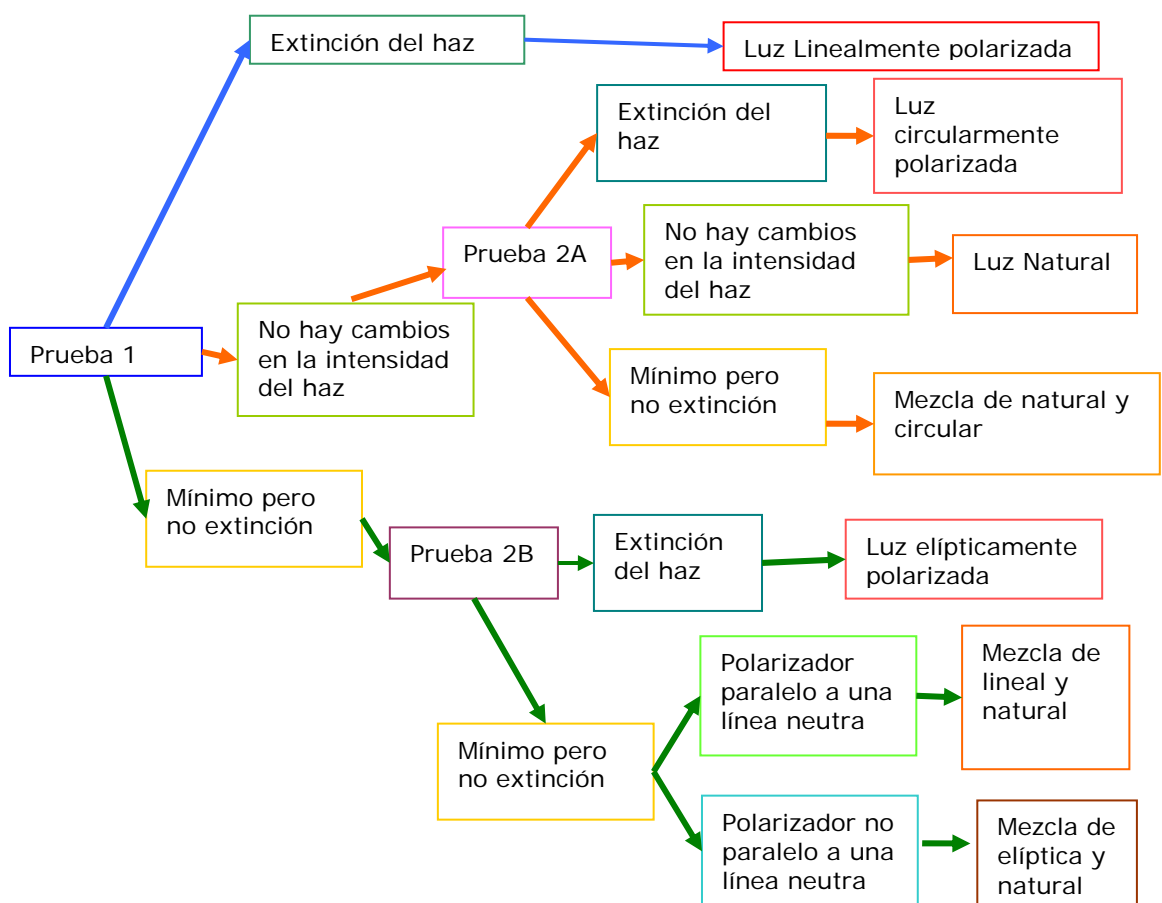


## GUIÓN DE LA SESIÓN DE PRÁCTICAS Nº 6

### A) Método general de análisis.

Para determinar el estado de polarización de un haz de luz nos basta con emplear adecuadamente un analizador compuesto de dos elementos: un polarizador lineal y una lámina de  $\lambda/4$ . El procedimiento de análisis se basa en la realización secuencial de una serie de pruebas con los elementos del analizador y la deducción del estado de polarización del haz incidente según una adecuada discusión de los resultados obtenidos en las pruebas secuenciales.

- La primera prueba (Prueba 1) consiste en colocar el polarizador lineal de nuestro analizador tras el haz problema, y girar su eje continuamente mientras observamos el resultado mirando a través del polarizador.
- La segunda prueba (que será necesaria o no dependiendo de los resultados de la primera) consiste en colocar la lámina de  $\lambda/4$  tras la luz problema y tras ella el polarizador lineal. La prueba se realiza con dos variantes según los resultados de la prueba 1. La variante 2A consiste simplemente en girar el eje de transmisión del polarizador y observar lo que sucede. La variante 2B consiste en ir girando de modo independiente las líneas neutras de la lámina y el eje de transmisión del polarizador, buscando el mínimo de luz transmitida. Detallamos a continuación el método general y los resultados en un diagrama de flujo:



Durante la primera parte de la sesión, el alumno se familiariza con los componentes del analizador y comprende el diagrama de flujo en base a los contenidos del trabajo previo.

### **B) Determinación de las posiciones de las líneas neutras de las láminas $\lambda/4$ del analizador y la otra lámina auxiliar.**

A continuación, se determinan las posiciones de las líneas neutras de la lámina de  $\lambda/4$ , , pues puede suceder que no se correspondan con los ejes indicados sobre la lámina como líneas neutras, debido al prolongado tiempo de uso de las láminas en el laboratorio.

Para determinar la posición de las líneas neutras, basta colocar la lámina entre dos polarizadores con sus ejes de transmisión cruzados, habiendo comprobado previamente que la intensidad transmitida a través de los dos polarizadores en dicha situación corresponde a un mínimo casi nulo. Una vez situada la lámina entre los dos polarizadores, vamos girándola hasta que se observe el mínimo de intensidad transmitida (que debería ser igual que el mínimo obtenido anteriormente a través de los dos polarizadores cruzados sin lámina). En esta situación de mínimo de transmisión, las líneas neutras de la lámina coinciden con los ejes de transmisión de los polarizadores.

Se comprueba si hay diferencias con los ejes indicados por el fabricante, en cuyo caso deberán tenerse en cuenta a la hora de utilizar el analizador y la lámina auxiliar para las pruebas de determinación siguientes.

### **C) Aplicación del método de análisis a distintos tipos de luz polarizada.**

#### **C1) Luz de la lámpara de Sodio a través de un polarizador.**

Se aplica el proceso de análisis para comprobar que obtengamos el resultado esperado de luz linealmente polarizada al finalizar las distintas pruebas.

#### **C2) Luz de la lámpara de Sodio a través de un polarizador tras el cual se coloca la lámina auxiliar con sus líneas neutras a $45^\circ$ con el eje de transmisión del polarizador.**

Se determina el resultado esperado sobre el estado de polarización para este haz, y se aplica de nuevo el proceso de análisis para comprobar si obtenemos dicho resultado.

Si las pruebas de análisis C2 y C3 han dado resultado correcto, se prosigue para determinar finalmente el estado de polarización de la luz problema.

#### **C3) Luz de la lámpara de Sodio a través del dispositivo problema y a través del mismo dispositivo girado $180^\circ$ .**

Se anotan los resultados obtenidos para la luz problema en ambos casos, y a través de estos resultados se deduce la posible composición del generador de luz polarizada problema.

#### **C4) Luz directa de la lámpara de Sodio.**

Se aplica el proceso de análisis hasta determinar el estado de polarización de la luz emitida por la lámpara de Na, anotando los resultados parciales de cada una de las pruebas realizadas.