

LOS CRISTALES LIQUIDOS COLESTERICOS EN LA ENSEÑANZA DE LA OPTICA

B. Kerleñevich

Universidad Nacional del Sur, Departamento de Física,
Laboratorio de Electroóptica y Laser, 8000 Bahía Blanca.

y A. Coche

Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur,
Laboratoire PREN, 67037 Strasbourg Cedex, Francia.

Los cristales líquidos colestéricos tienen propiedades ópticas notables, que pueden ser aprovechadas en el montaje de experiencias demostrativas. Se describen algunos ejemplos de aplicación de dichas propiedades en varios tipos de dispositivos de visualización.

INTRODUCCION

Los cristales líquidos colestéricos, cuya originalidad reside en el hecho que sus moléculas alargadas los hacen ópticamente activos, pueden ser considerados como nemáticos "twisted". En un cristal líquido nemático las moléculas tienen sus ejes mayores paralelos a una dirección dada L y sus centros de gravedad distribuidos al azar. (Figura 1a). Lo mismo ocurre en un plano dado de un colestérico, pero a lo largo de la normal a ese plano, la dirección L gira (Figura 1b). Se tiene así una estructura helicoidal, caracterizada por un paso p (Figura 1c) que corresponde a una rotación de L igual a 2π .

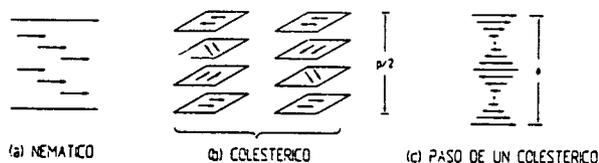


Figura 1: Representación esquemática de las características de un cristal líquido nemático y un colestérico: disposición molecular y paso de hélice.

El sentido de rotación puede ser de tipo levógiro o dextrógiro (Figura 1 b). El nombre de cristales líquidos colestéricos proviene del hecho que los primeros materiales de este tipo que se conocieron eran ésteres de colesterol.

PROPIEDADES DE LOS CRISTALES LIQUIDOS COLESTERICOS

A) Propiedades ópticas.

Los cristales colestéricos presentan propiedades notables cuando se hallan en la estructura planar o de Grandjean, es decir cuando la capa delgada de cristal líquido está alineada uniformemente de manera que el eje de la hélice es normal al substrato.

a) Dicroísmo circular y reflexión selectiva.⁽¹⁾

Un haz de luz no polarizada, paralelo al eje de la hélice colestérica se divide, para una longitud de onda λ_0 , en sus dos componentes (dextrógira y levógira) como se ve en la Figura 2: dentro de un pequeño dominio en torno a λ_0 , una es transmitida íntegramente, en tanto que la otra es totalmente reflejada.

La longitud de onda λ_0 depende:

- del paso p del colestérico, por lo tanto de su composición y de su temperatura, como veremos.
- del ángulo de incidencia de la luz.

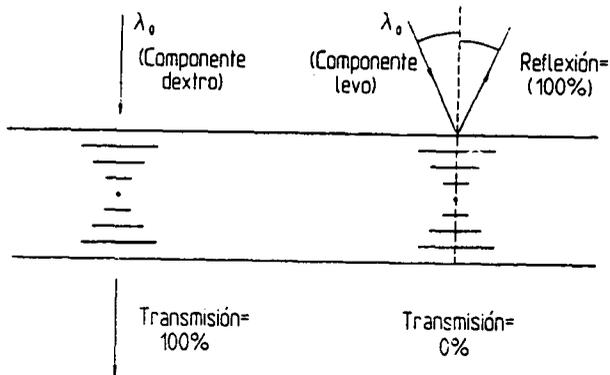


Figura 2: Trayectoria óptica de la componente derecha e izquierda en que se descompone un haz de luz no polarizado, al incidir sobre una capa de colestérico planar.

La reflexión es máxima (Figura 3a) cuando se tiene:

$$\lambda_0 = \bar{n} \cdot p$$

$$\bar{n} = \text{índice medio} = (n_{//} + n_{\perp}) / 2$$

Es importante notar que una sustancia colestérica muestra, en el rango visible, un comportamiento similar a la difusión de rayos X por los sólidos cristalinos, observada por Bragg. Esta difusión de la luz visible da nacimiento a colores que dependen del material colestérico, de la temperatura y de los ángulos de incidencia y de observación.

Fuera de la banda de reflexión (Figura 3 a), las sustancias colestéricas presentan un poder rotatorio extremadamente elevado (de hasta algunos 10^5 °/mm frente a 25 °/mm para el cuarzo), de sentidos opuestos según la longitud de onda sea superior o inferior a λ_0 (Figura 3b).

b) Variaciones del paso de hélice.

El paso de hélice colestérico depende esencialmente del colestérico considerado y de su temperatura T:⁽²⁾

- pueden obtenerse variaciones de paso impor-

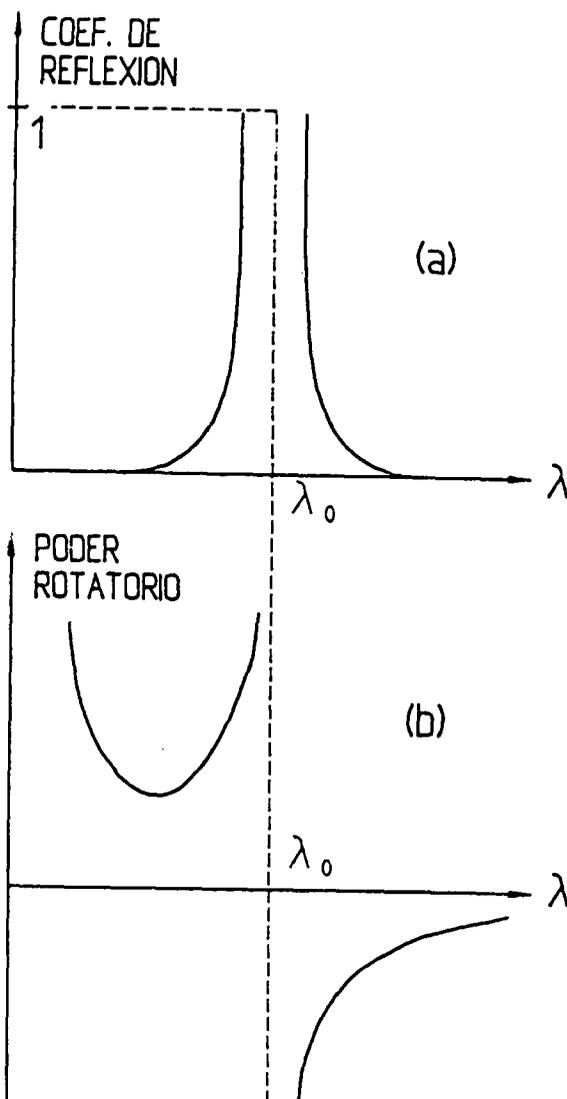


Figura 3: Curvas de reflexión y de poder rotatorio para un cristal líquido colestérico, en función de la longitud de onda de la luz incidente.

tantes, y, por lo tanto de la longitud de onda λ_0 , por el agregado de un colestérico a un nemático en proporciones más o menos grandes o por la mezcla de dos o más colestéricos; en este último caso se verifica para determinados colestéricos, una adición de la inversa del paso (HTP = *Helical Twisting Power*) de los componentes.

- cuando aumenta la temperatura, intervienen dos efectos opuestos: por una parte aumenta la distancia intermolecular que origina un aumento del paso, por otra parte aumenta el ángulo de rotación entre moléculas adyacentes, tendiendo a reducir el paso.

En la gran mayoría de los compuestos, cuando aumenta la temperatura, el paso y por consiguiente la longitud de onda, disminuyen; la banda de reflexión se desplaza hacia las menores longitudes

de onda (Figura 4). Se puede modificar fácilmente la forma de la curva $\lambda_0 = f(T)$, cambiando la composición de una mezcla colestérica, de manera de obtener una reflexión de la luz visible en un dominio de temperaturas dado.

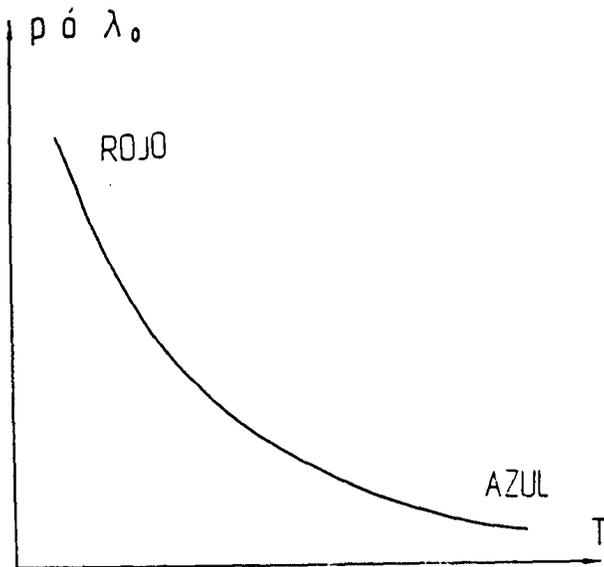


Figura 4: Curva de la variación del paso de hélice de un colestérico en función de la temperatura.

c) Aplicaciones termoópticas.

Estas aplicaciones de los cristales líquidos colestéricos son muy numerosas⁽³⁾. Los cristales están particularmente bien adaptados para la determinación de temperaturas de superficies (por simple recubrimiento de éstas) y permiten efectuar una verdadera cartografía de temperaturas. Han sido ampliamente empleados en controles no destructivos de temperaturas (desde circuitos electrónicos hasta termografía cutánea), en la detección de microondas, en la conversión infrarrojo-visible, en medicina, etc. En algunos casos, el cristal líquido se halla encapsulado en forma de microesferas situadas entre dos láminas de un material plástico. Pueden ponerse fácilmente en evidencia diferencias de temperaturas del orden de 0,2 °C.

B) Acción de un campo eléctrico.

La aplicación de un campo eléctrico E superior a un umbral E_1 , conduce a una transición de fase, que consiste en la transformación del colestérico difusor (textura cónico-focal) en nemático transparente, cuyas moléculas están orientadas perpendicularmente a las paredes (Figura 5).⁽⁵⁾

Esta transformación corresponde al hecho que la hélice colestérica se "desenrolla" por efecto de

un campo eléctrico (o magnético). El umbral E_1 es inversamente proporcional al paso de hélice y a $\epsilon_a^{1/2}$ (siendo $\epsilon_a = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ la anisotropía dieléctrica del compuesto utilizado).

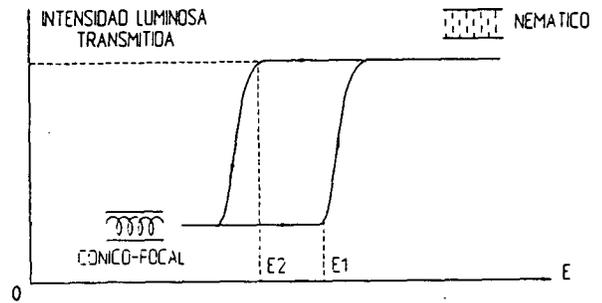


Figura 5: Representación del efecto de histéresis en la transición de fase colestérico-nemático bajo la acción de un campo eléctrico.

Si se disminuye ahora progresivamente el campo E , el cristal líquido queda en el estado nemático hasta un valor $E_2 < E_1$ (Figura 5), para el cual el sistema vuelve al estado inicial (difusor).

Este fenómeno de histéresis muestra la posibilidad de tener dos estados ópticos estables (transparente y difusor) en el intervalo E_1, E_2 . Las transiciones breves entre los dos estados permiten realizar osciladores ópticos comandados eléctricamente.

EXPERIENCIAS QUE PONEN EN EVIDENCIA LAS CARACTERISTICAS DE LOS CRISTALES LIQUIDOS COLESTERICOS

Estas experiencias utilizan capas delgadas de colestéricos (10 á 20 μm) o de mezclas de nemáticos-colestéricos. El producto es introducido por capilaridad entre dos láminas de vidrio separadas por láminas aislantes calibradas. Para poder aplicar un campo eléctrico, las placas de vidrio deben hacerse conductoras por depósito de una capa delgada y transparente de oro o de óxido de estaño. La alineación homogénea se obtiene por frotamiento de las placas con papel.

A) Reflexión selectiva.

Puede emplearse una capa colestérica como reflector polarizante coloreado (Figura 6). La luz

que sale del polarizador P y de la célula a cristal líquido nemático "twisted" NT es convertida en luz polarizada circularmente por la lámina de un cuarto de onda. La luz fuera de la banda de reflexión del colestérico centrada en λ_0 es absorbida por A; la que está dentro de la banda de reflexión es reflejada totalmente por el colestérico y transformada en luz polarizada linealmente por la lámina de un cuarto de onda. El ojo ve la luz coloreada de la capa colestérica.

Si se le aplica una tensión a la célula "twisted" no le llega luz al ojo.

Temperatura °C	Oleil-carbonato de colestero %	Nonanoato de colestero %	Benzoato de colestero %
30 - 33	44	6	10
33 - 36	38	52	10
37 - 40	30	60	10

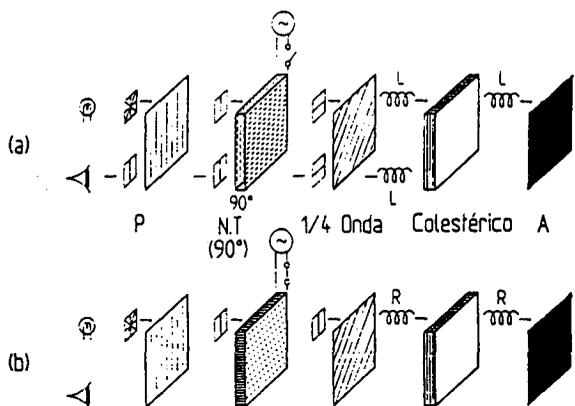


Figura 6: Montaje que muestra la trayectoria de un haz de luz a través de una célula "twisted" sin y con tensión aplicada, por efecto de la reflexión selectiva.

B) Efectos Termoópticos.

Si se mezclan en proporciones diferentes dos o tres ésteres corrientes de colesterol (Ej. Merck), es fácil realizar capas reflectoras correspondientes a dominios variados de temperatura. En la tabla siguiente se dan algunos ejemplos:

La sensibilidad de estas capas puede ser determinada fácilmente si se dispone de un monocromador y de un detector de radiaciones. También puede observarse el desfile de colores, simplemente aumentando (o disminuyendo) la temperatura.

C) Efecto de un campo eléctrico.

Puede ser puesto en evidencia sobre una mezcla de nemático positivo y colestérico (5 a 10 % aproximadamente). La mezcla se orienta, en un comienzo, paralelamente a los electrodos, por frotamiento del vidrio con papel. Aplicando un campo eléctrico alterno (100 á 1000 Hz), se observan las transformaciones representadas en la Figura 5 ⁽⁴⁾.

REFERENCIAS

1. F.J.Kahn, Appl. Phys. Letters 18 (1971) p. 231.
2. B.Kerleñevich y A.Coche, Revista Telegráfica Electrónica (1979) p. 1454.
3. B.Kerleñevich y A.Coche, Revista Telegráfica Electrónica (1984) p.341.
4. B.Kerleñevich y A.Coche, J.Appl.Phys. 42 (1971)p. 5313.
5. B.Kerleñevich y A.Coche, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 124 (1985) p. 149.