

# ALGUNAS EXPERIENCIAS DE OPTICA EMPLEANDO CRISTALES LIQUIDOS

**B. Kerlleñevich**

*Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur  
Av. Alem 1253, 8000 Bahía Blanca*

**A. Coche**

*Laboratorio PREN, Centre de Recherches Nucléaires, 67037 Strasbourg cedex, Francia*

La marcada anisotropía dieléctrica y magnética de los cristales líquidos, así como su fuerte birrefringencia, hace de ellos materiales didácticamente útiles. Permiten poner en clara evidencia varios efectos electroópticos y su relación con la orientación de las moléculas. Se proponen tres experiencias demostrativas.

## I. INTRODUCCION

Al calentar ciertas sustancias orgánicas, se observa la existencia de fases, llamadas mesomorfas, intermedias entre los estados sólido y líquido. Lehmann (1889) les dio el nombre "Flüssige Kristallen" (cristales líquidos) a los productos que presentan esos estados particulares.

Como los sólidos cristalinos, estas fases mesomorfas muestran una anisotropía en sus propiedades físicas que indica un orden en la orientación de las moléculas; pero no hay un orden de posición tridimensional como en los cristales. Se distinguen (Friedel 1922) tres categorías principales de estados mesomorfos:

— sméctico, donde el orden de posición se conserva en una dirección: las moléculas (alargadas en forma de bastones) tienen sus ejes mayores paralelos entre sí y sus centros de gravedad en planos equidistantes, formando una especie de estratos paralelos (Figura 1a y 1b). La viscosidad de estas sustancias es muy grande.

— nemático, donde los ejes mayores de las moléculas son también paralelos entre sí, pero sus centros de gravedad están distribuidos estadísticamente como en un líquido común (Figura 1c). El material es fluido y un monocristal nemático es un uniáxico positivo donde el eje óptico coincide con la dirección de alineación de las moléculas.

— colestérico, que es ópticamente activo debido a la disposición de las moléculas. Puede ser considerado como un nemático que ha experimentado una torsión alrededor de un eje perpendicular a la dirección de alineación de las moléculas, lo que le da una estructura helicoidal (Figura 1d), caracterizada por un paso  $p$ . Debido a ello, un colestérico da una reflexión "de tipo Bragg" para una luz incidente de longitud de onda  $\lambda_0$  tal que:  $\lambda_0 = p \bar{n}$  (siendo  $\bar{n}$  el índice medio).

La originalidad de los cristales líquidos deriva de la fuerte anisotropía en sus propiedades físicas y de la facilidad con la que pueden ponerse en evidencia los cambios de orientación molecular (y de las características ópticas) bajo la acción de agen-

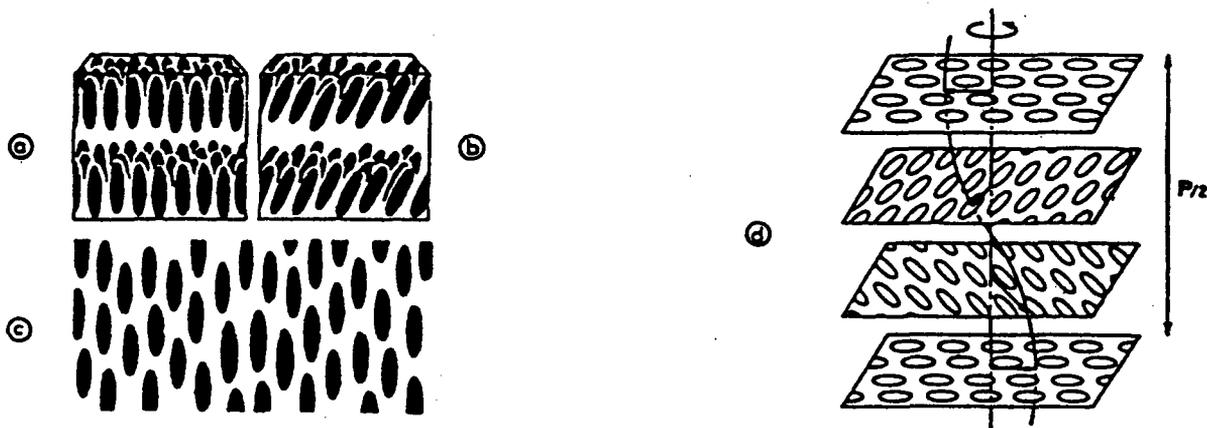


Figura 1: Cristales líquidos. a y b: simétricos; c: nemáticos; d: colestéricos.

tes externos: campos eléctricos y magnéticos, presión, temperatura, etc.

El interés de los cristales líquidos es importante tanto en investigación fundamental como en el terreno de las aplicaciones, cuyo espectacular desarrollo desde el año 1970 es bien conocido: displays alfanuméricos, moduladores de luz, pantallas chatas de televisión y muchas otras.

En el curso de los trabajos de investigación sobre los efectos electroópticos de los cristales líquidos, hemos tenido oportunidad de construir diferentes dispositivos, de concepción simple, que pueden ser usados para demostraciones o experiencias. Esos dispositivos permiten observar las propiedades de láminas birrefringentes, así como estudiar fenómenos de difusión, absorción, polarización de la luz, más fácilmente que con las láminas cristalinas habituales.

Comenzaremos por recordar las propiedades esenciales de los cristales líquidos y a continuación daremos tres ejemplos de experiencias que demuestran el interés pedagógico de la utilización de los cristales líquidos.

## II. ORIENTACION Y ANISOTROPIA DE LOS CRISTALES LIQUIDOS. ACCION DE LAS FUERZAS EXTERNAS

### 1) Alineación de los cristales líquidos

Un cristal líquido difiere de un líquido común por el hecho de estar construido por moléculas alargadas; puede "alinearse" de manera que los ejes mayores sean paralelos entre sí y a una dirección caracterizada por un versor  $\bar{n}$ , llamado director.

Las superficies que contienen el cristal líquido, cumplen, según su naturaleza y su topografía, un rol esencial en su orientación:

— frotando una placa de vidrio con papel o tela, se provocará una orientación - denominada homogénea- de las moléculas de cristal líquido depositado luego sobre ella, paralela a la dirección de frotamiento. Esta orientación puede obtenerse igualmente por depósito en incidencia oblicua de ciertos productos tales como SiO.

— cubriendo una placa con ciertos surfactantes (silanos), se realiza una orientación - llamada homeotrópica - de las moléculas, perpendicular a la placa.

### 2) Anisotropía de las propiedades físicas

— Los cristales líquidos constituyen medios de fuerte birrefringencia  $\Delta n = n_{//} - n_{\perp}$  (siendo  $n_{//}$  y  $n_{\perp}$  los índices de refracción medidos paralelamente y perpendicularmente al director  $\bar{n}$ ), muy superior a los

valores que se hallan en materiales usados habitualmente en óptica ( $\Delta n$  es del orden de 0,10 a 0,25, mientras que para el cuarzo es  $\Delta n \approx 0,01$ ). Esta birrefringencia puede modularse fácilmente gracias a la fluidez del medio.

— La permitividad eléctrica  $\epsilon$  presenta igualmente una anisotropía  $\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}$  ( $\epsilon_{//}$  y  $\epsilon_{\perp}$  son, respectivamente, las componentes de  $\epsilon$  según el director y la dirección perpendicular a él). La anisotropía  $\Delta\epsilon$  puede ser negativa o (con más frecuencia) positiva. Para ciertos nemáticos positivos se tiene  $\Delta\epsilon > 20$ , con  $\epsilon_{//} \approx 30$ .

— Otras magnitudes físicas, tales como la susceptibilidad magnética y la conductividad eléctrica, también son anisótropas.

### 3) Efectos de los campos externos. Visualización de los cambios de orientación.

La acción de un campo eléctrico (o magnético) sobre un cristal líquido está ligada directamente a la anisotropía dieléctrica (o a la susceptibilidad magnética): las moléculas se orientarán paralelamente o perpendicularmente al campo aplicado, según que la anisotropía dieléctrica sea positiva o negativa. La variación de índice de refracción que resulta del cambio de orientación, se pone en evidencia utilizando un polarizador o un analizador. La modificación de la absorción de la luz puede observarse directamente, o, como la mayoría de los cristales líquidos son transparentes, por adición de un colorante dicróico ("guest" = huésped) cuyas moléculas son arrastradas por las del cristal líquido ("host" = anfitrión).

El dispositivo de observación de los efectos electroópticos, común al estudio de los diferentes fenómenos (y que será utilizado en las experiencias descritas más abajo) está representado en la Figura 2. Consta de dos placas de vidrio cuyas caras enfrentadas están recubiertas de un depósito conductor y transparente ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ), que permite la aplicación de una d.d.p. entre las dos caras. Estas pla-

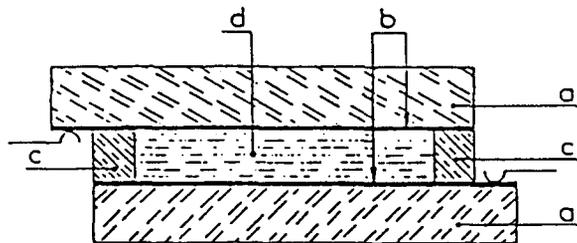


Figura 2: Dispositivo para observación de efectos electroópticos. a. Vidrio; b. Depósito conductor; c. Separadores; d. Cristal líquido

cas están separadas por láminas calibradas aislantes (polietileno o fibra de vidrio de poco espesor:  $\approx 10 \mu\text{m}$ ) y han sido frotadas (frotamiento, surfactantes) previamente para obtener la alineación inicial (homogénea u homeotrópica). El espacio entre los dos electrodos se llena, al vacío o por capilaridad, de cristal líquido. Para obtener un display, será necesario efectuar un grabado selectivo en la capa conductora ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ) —que es soluble en ácido clorhídrico diluido— mediante procedimientos litográficos, recurriendo a resinas fotosensibles o a barnices protectores.

### III. EXPERIENCIAS SIMPLES QUE PONEN EN EVIDENCIA LOS PRINCIPALES EFECTOS ELECTROOPTICOS.

#### 1) Birrefringencia controlada eléctricamente

La finalidad de esta experiencia es la visualización de la rotación de la dirección de alineación de las moléculas de un cristal líquido bajo la acción de un campo eléctrico, por la variación de la birrefringencia que ella produce. Una célula de cristal líquido es ópticamente equivalente a una lámina cristalina de caras paralelas y presenta los fenómenos de polarización propios de esa lámina.

Consideremos una célula de cristal líquido nemático con alineación homogénea, situada entre polarizadores. Si se hace incidir un haz de luz monocromática de longitud de onda  $\lambda$  y polarizado según un eje a  $45^\circ$  del director del nemático (Figura 3a.), los rayos ordinario y extraordinario a la salida presentan una diferencia de fase

$$\delta = \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda}$$

que depende de la tensión  $v$  aplicada a la célula por intermedio de  $\Delta n = f(v)$ .

Entre polarizadores cruzados, la transmisión  $T_{\perp}$  de la luz es proporcional a  $\sin^2 \delta/2$ . Para bajas tensiones  $v$  (algunos volts),  $T_{\perp}$  pasa por máximos para  $\delta = \pi, 3\pi$  y la luz de salida es modulada entre un valor nulo y la intensidad incidente (si no se tiene en cuenta el error debido a la absorción de los polarizadores) (Figura 3b.). A tensiones más elevadas ( $v > 10$  volts), las moléculas son orientadas completamente por el campo y el desfase tiende a cero. Entre polarizadores paralelos, la transmisión  $T_{\parallel}$  es igual a  $(1 - T_{\perp})$ .

En luz blanca, el sistema cumple la función de un filtro: haciendo variar la tensión se observa el desfile de colores.

Con respecto a una lámina cristalina (de una onda, media onda o un cuarto de onda), el dispositivo a cristal líquido permite obtener una diferencia de fase continuamente variable. Sería el caso de un compensador de Babinet, pero este último presenta inconvenientes (no-uniformidad espacial, desviación del haz) que no existen en el montaje estudiado, con el cual, además, se puede hacer variar fácilmente  $d$  y  $\Delta n$ .

#### REALIZACION

La célula es del tipo representado en la Figura 2 (espesor =  $10 \mu\text{m}$ ). Los nemáticos positivos utilizados en alineación homogénea son ZLI 1132 (Merck) ( $\Delta n = 0,14$ ,  $\Delta \epsilon = +10,3$ ) y E7 (BDH) ( $\Delta n = 0,225$ ), pero pueden usarse también nemáticos negativos con alineación homeotrópica. Las tensiones máximas aplicadas son de 10 a 15 volts (1 KHz). Las curvas dadas en la Figura 3b. pueden obtenerse fácilmente haciendo incidir la luz de salida sobre un fotode-

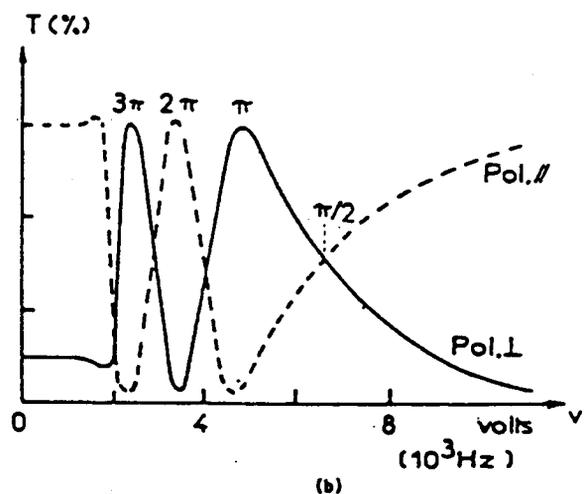
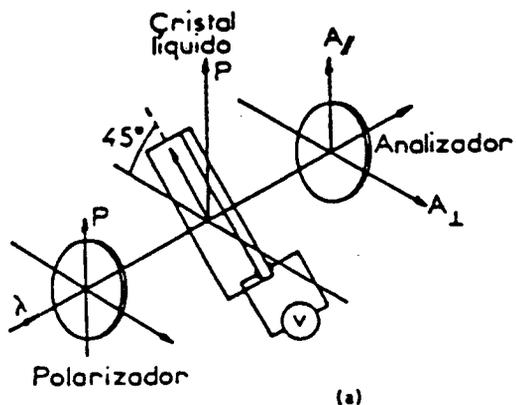


Figura 3: Birrefringencia controlada eléctricamente.

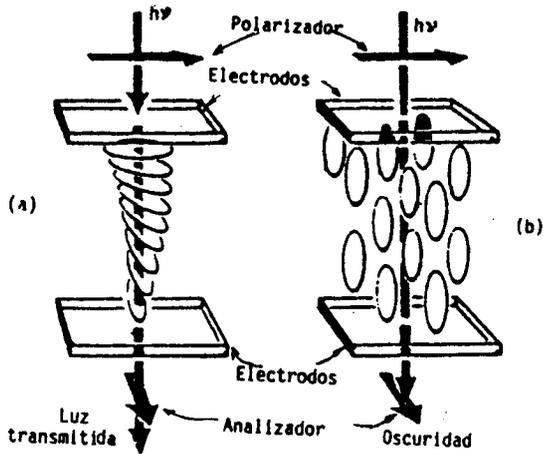


Figura 4: Nemáticos en hélice.

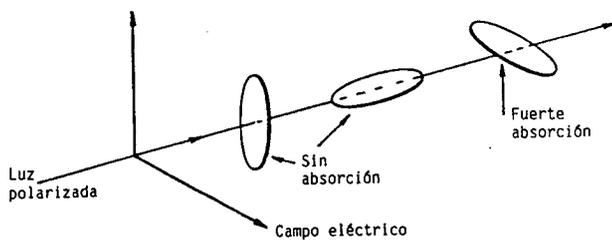


Figura 5: Principio "guest-host".

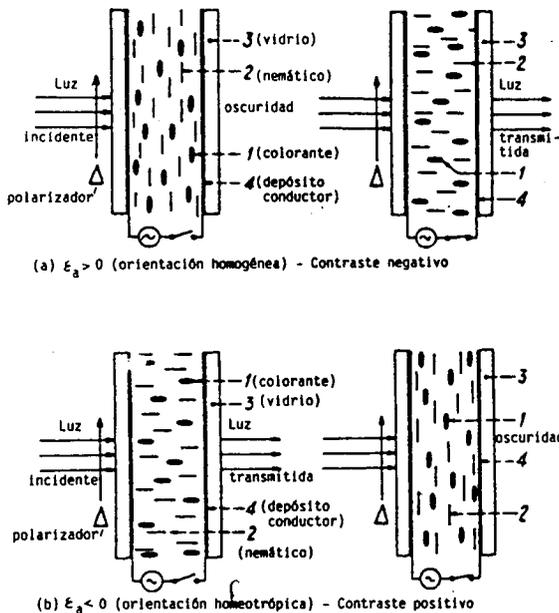


Figura 6: Afiches "guest-host".

tector asociado a un amplificador y a un registrador gráfico

## 2) Nemáticos de hélice ("Twisted nematics")

Este efecto es el que se aplica corrientemente en

los displays alfanuméricos. La célula de nemático positivo está constituida de dos vidrios tratados para obtener una configuración homogénea, pero contrariamente a los casos precedentes, las direcciones de alineación de las moléculas son perpendiculares en lugar de ser paralelas (Figura 4a.): el director gira 90° desde la cara de entrada hasta la de salida:

Esta estructura hace girar el plano de polarización de la luz incidente polarizada linealmente, si se satisface la condición de guiado (Mauguin, 1911):

$$d \cdot \Delta n > 2 \lambda \quad (\text{siendo } d \text{ el espesor})$$

lo que puede lograrse fácilmente. En efecto, si  $d = 10 \mu\text{m}$  y  $\Delta n = 0,15$ , se tiene:  $d \cdot \Delta n > 2 \lambda$  para todo el espectro visible y no hay efecto cromático. Situada entre polarizadores cruzados, la célula transmite la luz en ausencia de campo eléctrico. Al aplicar una tensión superior a un umbral (independiente de  $d$  e inversamente proporcional a  $[(\Delta \epsilon)^{1/2}]$ , la célula se vuelve opaca (Figura 4b.), el nemático se orienta en el sentido del campo. El dispositivo es un "interruptor óptico" y permite realizar un afichado de negro sobre blanco. Entre polarizadores paralelos se obtiene el efecto inverso.

## REALIZACION

A excepción de la orientación de los electrodos (uno respecto del otro), la constitución de una célula de este tipo es la misma que en el caso precedente y pueden usarse los mismos nemáticos. La uniformidad de la célula se mejora agregándole al nemático, un colestérico, en baja concentración (< 1%)

### 3) Absorción de la luz e interacción "guest-host".

Como se indicó precedentemente, dado que los nemáticos son generalmente transparentes, la utilización de los fenómenos de absorción necesita la adición de un colorante dicroico (azul de indofenol, por ejemplo) en solución en el cristal líquido. Las moléculas alargadas de un colorante de este tipo absorben fuertemente la componente del vector luminoso paralela al eje de la molécula, excluyéndose las componentes perpendiculares (Figura 5).

Se puede realizar un display con un solo polarizador y una célula de alineación inicial homogénea llena con un nemático positivo que contiene un colorante dicroico disuelto (Figura 6a). En ausencia de tensión aplicada a la célula, ésta no transmite luz.

En presencia de un campo, las moléculas de colorante (guest) son orientadas perpendicularmente a las paredes por las moléculas vecinas de nemá-

tico (host): la célula transmite luz. El afichado será claro sobre fondo coloreado. (Contraste negativo).

Con un nemático negativo y una alineación homeotrópica (Figura 6b) se tendrá un afichado coloreado sobre fondo claro (Contraste positivo)

## CONCLUSION

Pueden realizarse, con los cristales líquidos, muchas otras experiencias que presentan un interés pedagógico, en particular con los colestéricos. Entre ellas mencionemos las reflexiones de tipo Bragg y la determinación de las temperaturas, así como la transición de fase colestérico-nemático (al desenrollarse la hélice colestérica) por acción de un campo magnético.

## BIBLIOGRAFIA

1. W. Greubel, Appl. Phys. Lett., 25,5 (1974)
2. B. Kerlleñevich and A. Coche, Mol Cryst. Liq. Cryst., 124, 149 (1985)
3. S. Shimoda, H. Mada and S. Kobayashi, The Physics and Chemistry of Liquid Crystal Devices, edited by G. J. Sprokel (Plenum, New York, 1980) 47.
4. H. A. Van Sprang and R. G. Aartsen, J. Appl. Phys., 56, 251 (1984).
5. E. Jakeman and E. P. Raynes, Phys. Lett., 39A, 69 (1972).
6. H. A. Van Sprang and R. G. Aartsen, Appl. Phys. Lett., 42, 669 (1983).
7. S. T. Wu, J. Appl. Phys., 60, 1836 (1986).
8. M. Schadt and F. Muller, IEEE Trans., ED25, 1125 (1978).