



CRISTALES LÍQUIDOS PARTE I: "CRISTALES LÍQUIDOS TERMOTRÓPICOS"

R. Chávez y J. Santiago*
Pontificia Universidad Católica del Perú
Departamento de Ciencias, Sección Química
Apartado 1761. Lima 100 - Perú

Resumen

El presente es el primero de una serie de artículos destinados a la divulgación de un tema que no está muy difundido en nuestro medio, pero que sin embargo es un tema de gran interés, no sólo desde el punto de vista fundamental sino también económico. Se trata de los cristales líquidos, los cuales son materiales que poseen propiedades intermediarias entre las de los sólidos y las de los líquidos, y que constituyen un nuevo estado de la materia.

En este artículo se presenta una breve reseña histórica sobre el descubrimiento de los cristales líquidos, para luego pasar a describirlos y diferenciarlos de los sólidos y líquidos, tomando como referencia el orden molecular al interior de estos tres estados de la materia. Igualmente se dan diferentes clasificaciones basadas en tres criterios: a) medio empleado para los cambios de fase (temperatura: *CL termotrópicos*, y cambio de concentración: *CL liotrópicos*), b) reversibilidad de las transiciones de fase (*enantiotrópicos*: reversible, y *monotrópicos*: solamente durante el enfriamiento), y c) forma de las moléculas que conforman el material (*calamíticos*: forma de varilla, *discóticos*: forma de disco, etc.). Se discuten los requerimientos estructurales que deben poseer las moléculas para poder exhibir propiedades cristalinas líquidas o *mesomorfas*. Finalmente, se citan las propiedades físicas que hacen que estos materiales tengan gran aplicación en la fabricación de una gran variedad de pantallas digitales.

Revisión

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los cristales líquidos empezó en 1888 cuando el botánico y químico austriaco Friedrich Reinitzer, estudió el comportamiento térmico del benzoato de colesterilo. En sus experimentos, Reinitzer aumentó la temperatura de una muestra sólida y observó el cambio del cristal en un líquido opaco. Cuando aumentó la temperatura aun más, el material cambió de nuevo a un líquido claro, transparente [1]. Reinitzer por sí mismo no fue capaz de explicar el curioso fenómeno del “doble punto de fusión” y la existencia del líquido opaco. Por este motivo, envió una muestra del compuesto al físico Otto Lehmann, quien rápidamente estableció la anisotropía óptica de las “fases líquidas opacas de Reinitzer”. Lehmann, intuitivamente, planteó que la anisotropía de estos líquidos se debía a la orientación de sus moléculas de manera paralela al eje mayor de las mismas. Actualmente se sabe que esta explicación es correcta. Además, Lehmann acuñó los términos *cristales fluidos* y *cristales líquidos* para referirse a las “fases opacas de Reinitzer” [2].

Los compuestos que presentaban el *estado cristal líquido* en un cierto intervalo de temperatura fueron llamados *cristales líquidos termotrópicos*. Lehmann y otros experimentaron con mezclas, especialmente mezclas de sales orgánicas y agua, detectando la presencia de cristales líquidos únicamente en mezclas de este tipo, a las que llamaron *cristales líquidos liotrópicos*. Estas son las dos grandes divisiones de los cristales líquidos. En el presente artículo, se tratará sólo la primera de estas clases.

Hasta mediados de la década de 1960, los cristales líquidos fueron estudiados solamente en algunos grupos de investigación, destacando aquellas desarrolladas por el grupo encabezado por Daniel Vorländer. En 1966, se vislumbraron las primeras aplicaciones prácticas de los cristales líquidos [3] y, en 1970, la primera de ellas se materializó: las pantallas para relojes digitales [4].

A partir de entonces, la investigación en este campo ha sido continua y cada vez mayor. Cada vez se ha llegado a comprender mejor las características de este nuevo estado de la materia, sin que ello signifique que ya todo está entendido, pues resta aún mucho por investigar. Conforme se ha alcanzado un entendimiento mayor de los cristales líquidos, se han ido desarrollando nuevas aplicaciones, dándose el caso que, los cristales líquidos juegan hoy en día un papel cada vez más importante en la tecnología moderna, gracias a que son únicos en sus propiedades.

2. ¿QUÉ SON LOS CRISTALES LÍQUIDOS?

Los cristales líquidos representan un nuevo estado de la materia que se caracteriza por la tendencia de las moléculas, *mesógenas*, a orientarse a lo largo de un eje común, al que se llama *eje director*. Esto está en contraste con las moléculas en la fase líquida que no tienen orden intrínseco alguno. En el estado sólido, las moléculas están muy ordenadas y tienen un grado de libertad traslacional pequeño. La direccionalidad característica del estado cristal líquido, o *mesofase*, está entre la del sólido tradicional y la fase líquida. La Figura 1 muestra la alineación media de las moléculas para cada fase.

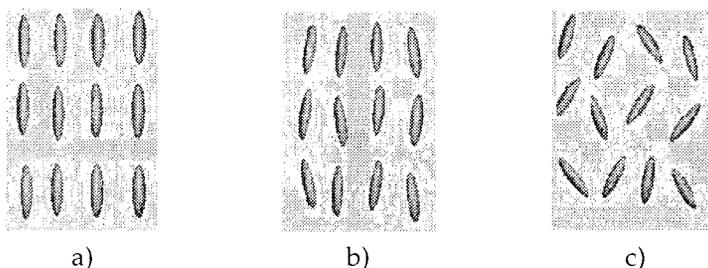


Fig. 1. Ordenamiento molecular en las fases
a) sólida, b) cristal líquida y c) líquida.

A veces es difícil determinar si un material se encuentra en el estado cristalino o mesomórfico. Los materiales cristalinos muestran el orden periódico de largo alcance en tres dimensiones. Por definición, un líquido isotrópico no tiene ningún orden orientacional. Las sustancias que no son tan ordenadas como un sólido, pero que todavía tienen algún grado de alineación se les llama propiamente cristales líquidos o *mesógenos*.

Para cuantificar, de manera sencilla, el grado de orden presente en un material, se define un parámetro de orden (S) como: $S = (1/2)\langle 3\cos^2\theta - 1 \rangle$, donde θ es el ángulo entre el vector director y el eje mayor de cada molécula (Fig. 2a). En un líquido isotrópico, el promedio de las condiciones del coseno es cero, y por consiguiente el parámetro de orden es igual a cero. Para un cristal perfecto, el parámetro de orden vale uno. Los valores típicos para el parámetro de orden de un cristal líquido se encuentra entre 0.3 y 0.9, siendo el valor exacto una función de la

temperatura, como resultado del movimiento molecular. Esto se ilustra en la Figura 2b para un material cristal líquido nemático (a ser discutido en la próxima sección).

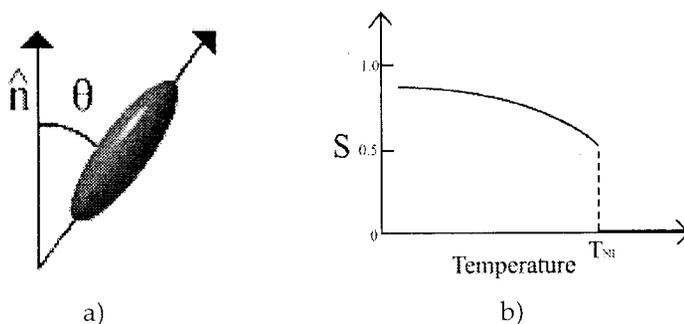


Fig. 2. a) Angulo entre el vector director y el eje mayor de las moléculas. b) Parámetro de orden en función de la temperatura para un cristal líquido nemático.

La tendencia de las moléculas de los cristales líquidos a apuntar a lo largo del vector director lleva a una condición conocida como la anisotropía. Este término significa que las propiedades de un material dependen de la dirección en que ellas están orientadas. Por ejemplo, es más fácil de cortar un pedazo de madera a lo largo del grano que contra él. La naturaleza anisotrópica de los cristales líquidos es la responsable de las propiedades ópticas únicas exhibidas, las que son aprovechadas por científicos e ingenieros en una variedad de aplicaciones.

Los parámetros siguientes describen la estructura de los cristales líquidos: (a) orden posicional, (b) orden orientacional, y (c) orden orientacional de enlace. Cada uno de estos parámetros describe hasta que punto la muestra del cristal líquido está ordenada. El orden posicional se refiere al grado de simetría traslacional presente en las moléculas o grupo de moléculas. Este orden posicional es menor en los cristales líquidos que en el cristal. El orden orientacional, como se ha discutido anteriormente, representa una medida de la tendencia de las moléculas a alinearse a lo largo del vector director a largo alcance. El orden orientacional de enlace describe una línea que une los centros de las moléculas de vecino inmediatos sin requerir un espacio regular a lo largo de esa línea. Es decir, puede existir un orden de largo alcance –relativamente hablando–

con respecto a la línea de centros, pero sólo de corto alcance respecto al orden posicional a lo largo de esa línea.

La mayoría de mesógenos exhiben polimorfismo, es decir, más de una fase en el estado cristal líquido [5]. El término mesofase se usa para describir las "subfases" de materiales cristales líquidos. Las mesofases son formadas cambiando la cantidad de orden en la muestra, imponiendo el orden en una o dos dimensiones, o permitiendo a las moléculas tener un grado de movimiento traslacional. La sección siguiente describe las mesofases de los cristales líquidos en mayor detalle.

3. CRISTALES LÍQUIDOS TERMOTRÓPICOS.

La denominación cristal líquido termotrópico, se origina en el hecho que la transición hacia el estado cristal líquido es inducida térmicamente. Es decir, uno puede llegar a esta mesofase elevando la temperatura de un sólido y/o disminuyendo la temperatura de un líquido. Por este motivo, los cristales líquidos termotrópicos pueden ser clasificados en dos tipos: *cristales líquidos enantiotrópicos*, aquellos que pueden alcanzar el estado de cristal líquido de las dos maneras, disminuyendo la temperatura de un líquido o elevando la temperatura de un sólido; y *cristales líquidos monotrópicos*, aquellos que sólo pueden alcanzar el estado cristal líquido a partir de una disminución en la temperatura de un líquido. Otra forma de clasificar a estas mesofases, es adoptando el criterio de la estructura molecular. De acuerdo a esta última forma es como pasaremos a estudiarlos a continuación.

3.1 Clasificación de los Cristales Líquidos Termotrópicos

3.1.1 Cristales Líquidos Calamíticos

Conformados por moléculas en forma de varilla. Se subdividen en:

CRISTALES LÍQUIDOS NEMÁTICOS

Las fases nemáticas se caracterizan por moléculas que carecen de orden posicional pero que tienden a apuntar en la misma dirección, a lo largo del eje director, pero sin un orden particular (Fig. 3a). Cuando estos materiales se visualizan bajo un microscopio con luz polarizada se obtienen imágenes como la mostrada en la Figura 3b.

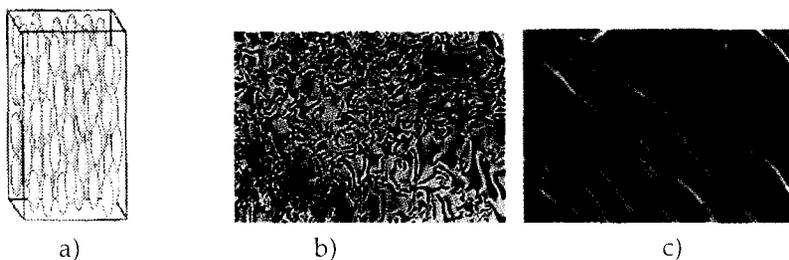


Fig. 3. a) Representación del orden molecular en la fase nemática y texturas de las fases b) nemática y c) nemática quiral.

Si las moléculas contienen un centro quiral se obtiene la denominada fase *nemática quiral* o *colestérica* (Fig. 3c). El centro quiral produce fuerzas intermoleculares que favorecen la alineación entre las moléculas con un pequeño ángulo de desviación entre unas y otras. Esto conduce a la formación de una estructura que puede visualizarse como una pila helicoidal muy delgada de capas nemáticas con el vector o eje director en cada capa ligeramente girado con respecto al de las capas sobre y debajo de ella (Fig. 4a). Los vectores directores realmente forman un modelo helicoidal continuo sobre la capa normal en esta estructura (Fig. 4b).

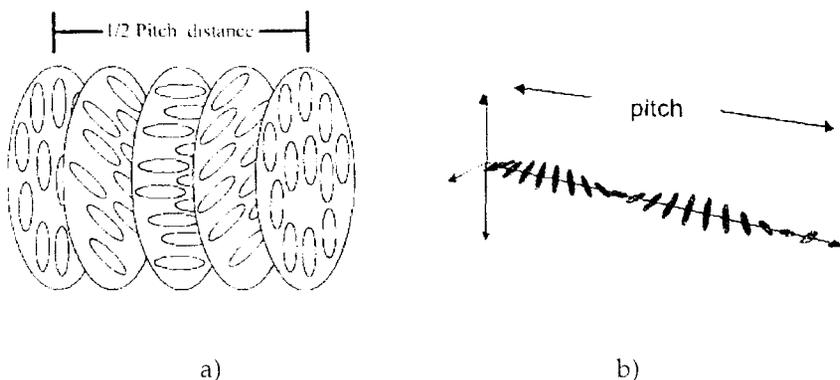


Fig. 4. a) Ordenamiento molecular y b) movimiento helicoidal de los vectores directores en la fase nemática quiral.

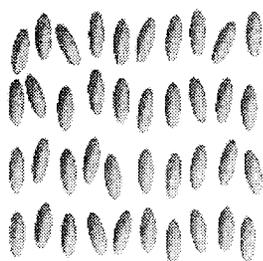
Las “moléculas” mostradas son meramente representaciones de los muchos mesógenos nemáticos quirales que se forman en las láminas de espesor infinitesimal con una distribución de orientaciones alrededor del vector director. Esto no debe ser confundido con el arreglo a lo largo del plano que se encuentra en las mesofases esmécticas.

Una característica importante de la mesofase colestérica es el *paso* (pitch) de la hélice. El paso, p , se define como la distancia recorrida por el vector director al realizar un giro completo en la hélice (Fig. 4). Una propiedad de la fase nemática quiral es su habilidad para reflejar selectivamente luz de longitud de onda igual a la longitud del paso. Para que un color se refleje, el paso debe ser igual a la longitud de onda correspondiente de luz en el espectro visible. El efecto está basado en la dependencia de la temperatura del cambio gradual en la orientación del vector director entre las capas sucesivas que modifica la longitud del paso, lo que produce una alteración de la longitud de onda de luz reflejada según la temperatura. Los cambios en el ángulo del vector director pueden hacerse más grande, conforme se ajusta el paso, aumentando la temperatura de las moléculas, es decir, dándoles mayor energía térmica. De manera similar, disminuyendo la temperatura de las moléculas aumenta la longitud del paso de la fase colestérica. Esto hace posible construir un termómetro de cristal líquido que despliega la temperatura de su ambiente por el color reflejado.

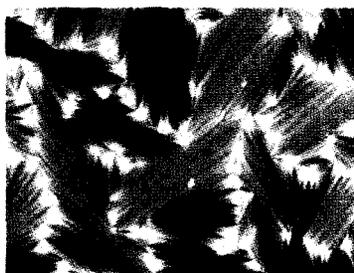
La longitud de onda de la luz reflejada también puede controlarse ajustando la composición química. La fase colestérica puede consistir exclusivamente de moléculas quirales o de moléculas nemáticas con un agente dopante dispersado a lo largo de la fase quiral. En este caso, la concentración del agente dopante se usa para ajustar la quiralidad y así el paso.

CRISTALES LÍQUIDOS ESMÉCTICOS

En las fases esmécticas, las moléculas no muestran el grado de orden traslacional que hay en la fase nemática sino que tienden a acomodarse en capas o planos (Fig. 5a y 6a). El movimiento se restringe al interior de estos planos, y se observa que los planos separados fluyen uno detrás del otro. El incremento del orden significa que el estado esméctico es más parecido al sólido que el nemático.



a)

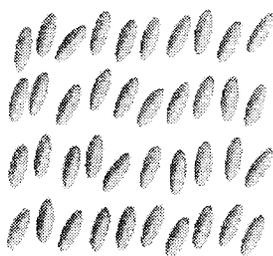


b)

Fig. 5. a) Ordenamiento molecular y
b) textura de una fase esméctica-A.

Existen muchos compuestos que son capaces de formar más de un tipo de fase esméctica. Se han identificado hasta 12 de estas variaciones, de todas éstas, sólo las fases más distintivas se discutirán a continuación [6].

En la fase esméctica-A, el vector director es perpendicular al plano de las capas, y no existe un orden posicional particular en la capa (Fig. 5a). La figura 5b muestra una de las texturas típicas de esta mesofase. Similarmente, en la fase esméctica-B el vector director se orienta perpendicularmente al plano de las capas, pero las moléculas se colocan en una red hexagonal dentro de la capa. En la fase esméctica-C, las moléculas se colocan como en la fase esméctica-A, pero el vector director forma un ángulo de inclinación constante con respecto al eje normal a las capas (Fig. 6a). Las texturas obtenidas en esta mesofase son muy similares a las de la fase esméctica-A (Fig. 6b).



a)



b)

Fig. 6. a) Ordenamiento molecular y b) textura de la fase esméctica-C.

Como en la fase nemática, la mesofase esméctica-C tiene un estado quiral designado C' . En la fase esméctica- C' , el vector director también forma un ángulo de inclinación con respecto al eje de las capas. La diferencia es que este ángulo varía de una capa a otra formando una hélice. La Figura 7 muestra la rotación del vector director, el cual está representado por las flechas verdes en cada capa.

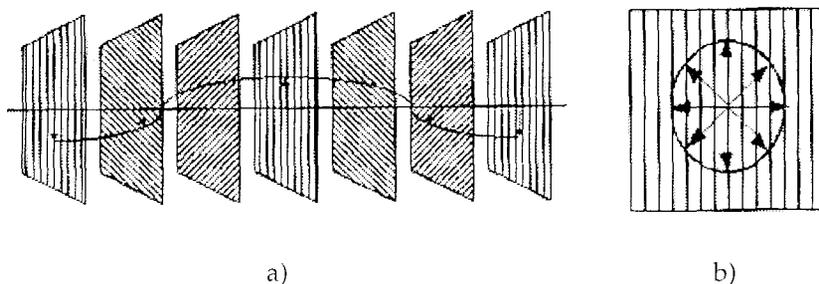


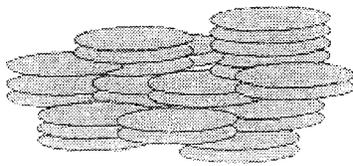
Fig. 7. a) Representación esquemática de una mesofase esméctica- C' y b) vista de los vectores directores a lo largo del eje.

En algunas fases esmécticas, las moléculas son afectadas por las varias capas existentes sobre y debajo de ellas. Por consiguiente, se observa una cantidad pequeña de ellas con un orden tridimensional. La fase esméctica-G es un ejemplo que demuestra este tipo de arreglo.

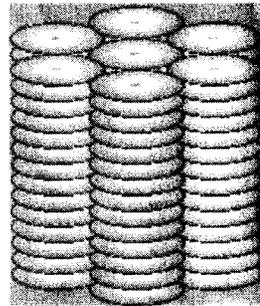
3.1.2 Cristales Líquidos Discóticos

En 1977, S. Chandrasekhar descubrió fases cristal líquido en derivados de benceno hexasustituidos, las moléculas de ésta y otras clases de sustancias son planas y con forma de disco, y son capaces de apilarse dando lugar a diferentes estructuras [7, 8].

De manera similar a las moléculas en forma de varilla, las moléculas con forma de disco pueden dar lugar a fases nemáticas caracterizadas por un orden orientacional de largo alcance, pero con un orden posicional sólo de corto alcance (Fig. 8a). Estas fases discóticas nemáticas muestran texturas típicas de las fases nemáticas, como por ejemplo la así llamada textura Schlieren. En el caso de compuestos quirales, las fases discóticas nemáticas exhiben una estructura en forma de tirabuzón.



a)



b)

Fig. 8. a) Representación de una fase discótica nemática y b) columnar hexagonal ordenada.

En la mayor parte de los casos, las moléculas con forma de disco están ubicadas unas sobre otras formando pilas o columnas. Estas pilas o columnas dan lugar a los *cristales líquidos columnares*. Las columnas se condensan para formar juntas un ordenamiento tridimensional de corto alcance. La disposición de las moléculas dentro de las columnas y el arreglo de las columnas entre sí conduce a la existencia de nuevas fases como la *columnar hexagonal, ordenada* (Fig.8b) y *desordenada*, o *rectangular*, entre otras.

3.1.3 Cristales Líquidos Sanídicos

Las moléculas en forma de varilla y de disco que conforman las mesofases calamítica y discótica, respectivamente, son casos particulares en los que el comportamiento anisotrópico puede ser descrito sobre la base de dos ejes principales. El caso más general debe considerar tres diferentes ejes principales. Las moléculas de este tipo pueden representarse mediante tableros. Dependiendo del tamaño relativo del eje principal, estas moléculas pueden derivarse a partir de moléculas con forma de varilla o forma de disco (Fig. 9). Recientemente, se ha demostrado que moléculas de este tipo pueden exhibir propiedades mesomórficas. Estas fases sanídicas fueron observadas por vez primera en cristales líquidos poliméricos.

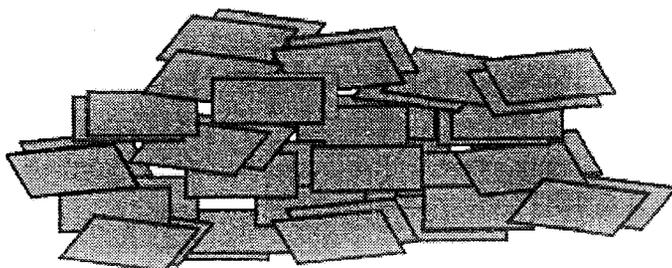
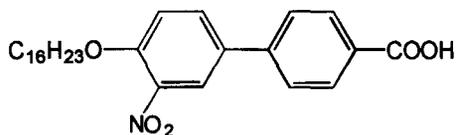


Fig. 9. Representación de la estructura de una fase nemática.

3.1.4 Cristales Líquidos Cúbicos

Existen varios compuestos con forma de varilla que exhiben mesofases cúbicas. En el estado sólido, los cristales con simetría cúbica pueden tener celdas unitarias de forma esférica. Por otro parte, la aparición de mesofases cúbicas en compuestos con forma de varilla es, a veces, inesperada, por lo que se necesita una explicación especial. Una mesofase cúbica se ha detectado en el compuesto ácido 4'-n-hexadeciloxi-3'-nitro-bifenil-4-carboxílico (Fig. 10).



sólido cristalino 126.8 °C S_C 171 °C cúbico 198.5 °C S_A 199.8 °C líquido isotrópico

Fig. 10. Ejemplo de un cristal líquido que exhibe una fase cúbica.

Como es habitual para los ácidos carboxílicos, debido a los enlaces de hidrógeno la molécula existe en forma de un dímero. Las fases esmécticas A y C muestran peculiaridades en comparación con otros compuestos en forma de varilla. En la región de temperatura arriba indicada, entre estas dos fases esmécticas con estructura de capas, existe una fase ópticamente isotrópica. La estructura de esta última se ha determinado mediante rayos X, resultando que posee una celda unitaria cúbica. Ya que los parámetros de celda son mayores que las longitudes moleculares, la celda unitaria parece ser del tipo de una micela [9]. Debido a que existen pocos compuestos que presenten mesofases cúbicas termotrópicas el comportamiento anterior (formación de celdas unitarias

del tipo de una micela) aún no está del todo claro. Las mesofases cúbicas se presentan también en cristales líquidos liotrópicos, en donde las estructuras son explicadas en términos de complicadas redes entretrejidas.

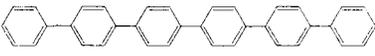
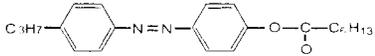
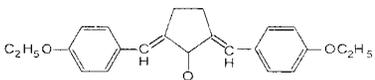
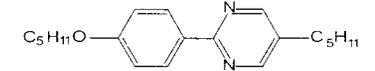
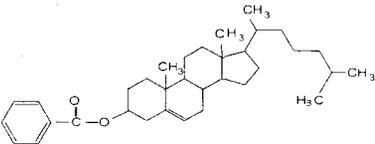
3.2 Química de los Cristales Líquidos

Los materiales que se presentan como cristales líquidos, generalmente, tienen varias características comunes. Entre ellas, una estructura molecular anisotrópica: en forma de varilla (CL calamíticos) o en forma de disco (CL discóticos), la falta de rigidez del eje mayor, y un fuerte carácter dipolar y/o sustituyentes fácilmente polarizables.

3.2.1 Cristales Líquidos Calamíticos

Actualmente se conocen más de 20000 mesógenos; la mayoría de los cuales tienen forma de varilla y pertenecen al tipo de los cristales líqui-

Tabla 1. Mesógenos en forma de varilla

Nº	NOMBRE E INTERVALO DE TEMPERATURAS	ESTRUCTURA O FÓRMULA MOLECULAR
1.	(perfluorodecil)-decano cr 38 S _B 61 is	$CF_3-(CF_2)_9-(CH_2)_9-CH_3$
2.	<i>p</i> -hexafenil cr 435 S 465 N 565 is	
3.	4-n-propil-4'-n-heptanoiloxi-azobenceno cr 42 N 71 is	
4.	2,5-bis-(etoxi-bencilideno)-ciclopentanona cr 194 N 202 is	
5.	5-n-pentil-2-(4-n-pentiloxi-fenil)-pirimidina cr 37 N 55:5 is	
6.	3-b-benzoiloxi-colesteno-(5) (benzoato de colesterilo) cr 150.5 N 182.6 is	

dos calamíticos. Con el fin de obtener compuestos con forma de varilla y una temperatura de fusión suficientemente baja, los químicos han encontrado rutas sintéticas diversas. En la mayoría de los casos los compuestos sintetizados poseen anillos de tipo aromático, heterocíclico o alicíclico, unidos de modo tal que la molécula posea una forma aproximadamente lineal. A pesar de esto, existen algunos ejemplos de compuestos acíclicos que muestran un comportamiento mesogénico. Ejemplos de CL calamíticos se muestran en la TABLA 1.

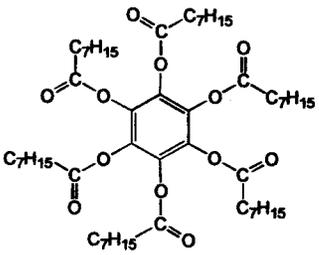
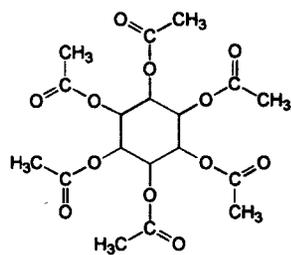
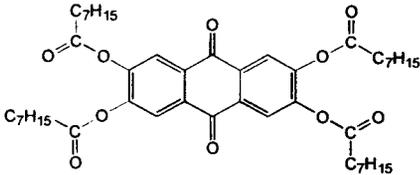
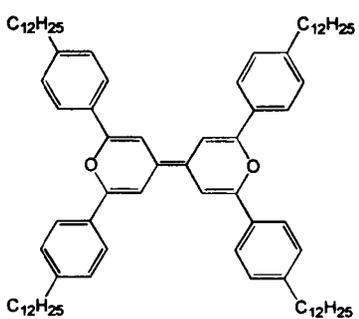
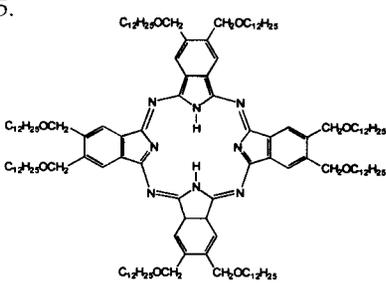
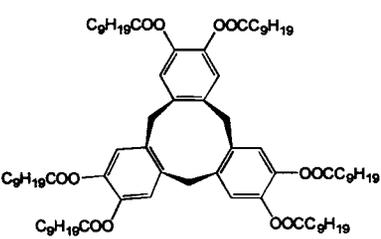
Las cadenas usadas como grupos terminales más comunes son de tipo alquilo, alcoxi, acilo, éster, amino y nitrilo. Por último, los grupos usados como puente, entre otros son azometino, éster, etilo, butilo azina y dicarboxilato [10, 11]. La presencia de cadenas laterales disminuye el carácter mesogénico, es decir, el rango de temperatura de existencia de la mesofase disminuye.

3.2.2 Cristales Líquidos Discóticos

Las moléculas de los compuestos que dan lugar a cristales líquidos discóticos consisten en un núcleo plano rígido rodeado de cadenas flexibles (alquilo, alcoxi, alconoiloxi); existiendo compuestos con 3, 4, 6, 8, 9, ó 12 cadenas flexibles. El efecto principal de estos grupos es la disminución de la temperatura de fusión, pero también ejercen un efecto favorable sobre la movilidad de las estructuras formadas.

En la TABLA 2 se muestran algunos ejemplos típicos de compuestos cuyas moléculas forman cristales líquidos discóticos. Es de especial interés el compuesto N° 6, ya que el núcleo de esta molécula no es plano, sino más bien adopta la forma de un cono. Las moléculas de las sustancias cuyos núcleos adoptan esta particular conformación reciben el nombre de "piramidales". Estos compuestos son capaces de formar fases columnares. Debido a la particular forma de estas moléculas, con el fin de obtener un empaquetamiento compacto, la simetría existente hacia arriba y hacia abajo en las sustancias discóticas ordinarias no se conserva a grandes distancias. Los compuestos macrocíclicos (como el N° 5) en los cuales existe una cavidad central, permiten construir fases columnares estables que reciben el nombre de "mesofases tubulares" [12].

TABLA 2. Cristales líquidos discóticos típicos

ESTRUCTURA O FÓRMULA MOLECULAR E INTERVALO DE TEMPERATURAS	
1.	2.
 <p>cr 79.8 Col 83.4 is</p>	 <p>cr 288 Col 293 is</p>
3.	4.
 <p>cr 107 (Col₂ 95) Col₁ 127 is</p>	 <p>cr 96 Col 147 is</p>
5.	6.
 <p>cr 78 Col 264 is</p>	 <p>cr 23.9 Col 152.6 is</p>

3.3 Propiedades Físicas

3.3.1 Anisotropía Óptica

Los cristales líquidos son birrefringentes, debido a su naturaleza anisotrópica. La luz polarizada paralela al vector director tiene un índice de refracción diferente (es decir viaja a una velocidad distinta) que la luz polarizada perpendicular al vector director. Dicho de otra manera, ellos exhiben la doble refracción (teniendo, por lo tanto, dos índices de refracción) [13, 14]. La Figura 11 representa el campo del vector director, líneas azules, en relación con el vector de la polarización, flechas negras.

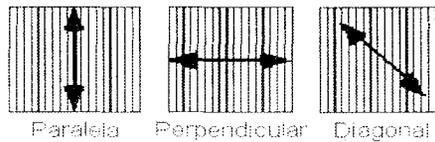


Fig. 11. Diferentes posiciones del vector de polarización respecto al vector director de una mesofase.

Así, cuando la luz entra en un material birrefringente, como una muestra de un cristal líquido nemático, el proceso se puede representar por medio de la descomposición del haz de luz en dos rayos, uno rápido (llamado rayo ordinario) y otro lento (llamado rayo extraordinario). Debido a que los dos componentes viajan a las velocidades diferentes, las ondas se desfazan. Cuando los rayos se recombinan al salir del material birrefringente, el estado de la polarización ha cambiado debido a este desfase.

El espesor de la muestra (el cristal líquido) es un parámetro importante porque el desfase aumenta mientras la luz se propaga en el interior del material birrefringente. Esto se entiende mejor si introducimos el concepto de camino óptico. Debido a que los componentes de la luz viajan a diferentes velocidades en un medio birrefringente, la diferencia en los caminos ópticos (la distancia recorrida por cada componente de la luz) conduce a un cambio en el estado de la polarización de la onda conforme ésta avanza a través del medio. En consecuencia, cualquier estado de polarización puede alcanzarse mediante una adecuada combinación de los parámetros de birrefringencia (índices de refracción) y espesor de la muestra.

En un cristal líquido típico, la birrefringencia y el espesor no son constantes en toda la muestra. Esto trae como consecuencia que algunas áreas aparezcan claras y otras oscuras al obtenerse imágenes mediante un microscopio con luz polarizada, como se puede observar en las fotos mostradas, previamente para las fases nemáticas y esmécticas (Fig. 3, 5 y 6). Las áreas claras y oscuras denotan regiones de diferente orientación del vector director, birrefringencia, y espesor.

3.3.2 Propiedades Eléctricas y Magnéticas

La habilidad del vector director de alinearse a lo largo de un campo eléctrico externo se debe a la naturaleza eléctrica de las moléculas, las cuales deben poseer dipolos eléctricos permanentes. Cuando un campo eléctrico externo se aplica al cristal líquido, las moléculas tienden a orientarse a lo largo de la dirección del campo (Fig. 12) [15]. Las flechas negras representan el vector del campo eléctrico y las flechas rojas muestran la fuerza eléctrica en la molécula.

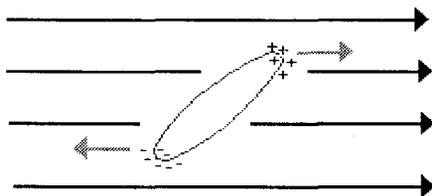


Fig. 12. Efecto del campo eléctrico sobre los dipolos eléctricos de una molécula.

Aun cuando una molécula no posea un dipolo permanente, todavía puede ser afectada por un campo eléctrico. En algunos casos, el campo produce un rearrreglo ligero de electrones y protones en las moléculas dando como resultado un dipolo eléctrico inducido. Si bien no son tan fuertes como los dipolos permanentes, la orientación con el campo externo todavía ocurre.

Los efectos de los campos magnéticos sobre las moléculas de los cristales líquidos son análogos a los de los campos eléctricos. Ya que los campos magnéticos son generados moviendo las cargas eléctricas, los dipolos magnéticos permanentes son producidos por electrones que se mueven sobre los átomos. Cuando un campo magnético es aplicado, las moléculas tenderán a alinearse en forma paralela o antiparalela al campo.

La respuesta de las moléculas de un cristal líquido frente a un campo eléctrico o magnético es la mayor característica utilizada en las aplicaciones industriales, pues el alineamiento de las moléculas conlleva a un cambio de las propiedades ópticas del material [16].

3.4 Aplicaciones

La principal aplicación de los cristales líquidos es en la fabricación de pantallas digitales de dispositivos muy diversos (relojes, autos, equipos de audio, computadoras portátiles, etc.), en los cuales se aprovechan diferentes efectos optoelectrónicos (Super Twisted Nematic, twisted Nematic, Ferroelectric and Antiferroelectric Liquid Crystals, etc.) de diferentes tipos de mesofases. Otras aplicaciones de los cristales líquidos son como pigmentos, membranas, termómetros y como solventes para GC, RMN y reacciones en medio anisotrópico.

BIBLIOGRAFÍA

1. F. Reinitzer. (1888). *Monatsch. Chem.* **9**, 421.
2. O. Z. Lehmann. (1889). *Phys. Chem.* **4**, 462.
3. J. L. Fergusson. (1966). *Mol. Cryst.* **1**, 293.
4. M. Schadt, W. Hekfrich. (1971). *Appl. Phys. Lett.* **18**, 127.
5. D. Demus, L. Richter. (1978). **Textures of Liquid Crystals**, 2ª ed. Deutscher Verlag, Leipzig.
6. G. W. Gray, J. W. Goodby. (1984). **Smectic Liquid Crystals**. Leonard Hill, Glasgow.
7. S. Chandrasekhar, B. K. Sadashiva, K. A. Suresh. (1977). *Pramana.* **9**, 471.
8. Chandrasekhar, S. (1992). **Liquid Crystals**, 2ª ed. Cambridge University Press, Londres.
9. Collings, Peter J. (1990). **Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter**. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
10. D. Demus, H. Demus, H. Zschke. (1974). **Flüssige Kristalle in Tabellen**. Deutscher Verlag, Leipzig.
11. D. Demus, H. Zschke. (1984). **Flüssige Kristalle in Tabellen II**. Deutscher Verlag, Leipzig.

12. H. Stegemeyer, (1994). **Liquid Crystals**. Springer Verlag, New York.
13. Hecht, E.; Zajac, A. (1974). **Óptica**. Fondo Educativo Interamericano Bogotá.
14. Jenkins, Francis A.; White, Harvey E. (1976). **Fundamentals of Optics**. McGraw Hill Inc., Nueva York)
15. Collings, Peter J.; Hird, M. (1997). **Introduction to Liquid Crystals Chemistry and Physics**. Taylor and Francis, Londres.
16. Buka, Agnes. (1993). **Modern Topics in Liquid Crystals**. World Scientific Publishing Company, Nueva York.