




---



---

**COLABORACIONES**


---



---

# MESOFASES DE LA MATERIA: LOS CRISTALES LIQUIDOS

**MANUEL GARCIA VELARDE**

Madrid

**JESUS SALAN SANTOS**

Madrid

---

## 1. INTRODUCCION

---

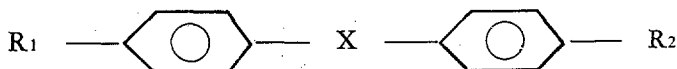


omúnmente la materia, sea viva o inerte, se suele presentar (a presión y temperaturas ordinarias) en tres estados o fases: sólida, líquida y gaseosa. Cabe distinguir la fase sólida de la fluída porque en esta última no existen simetrías, es decir, sus propiedades físicas no dependen de la posición ni de la orientación en que se observe el material. Sin embargo, en 1888, un botánico austriaco, F. Reinitzer (1857-1927), descubrió que un compuesto orgánico, el benzoato de colesterol, poseía algo parecido a dos puntos de fusión. El primero a 145° C, la temperatura de fusión ordinaria, pero donde el ya fluído era translúcido, y el segundo punto donde se hacía fluído transparente (a 179° C). Este tipo de observaciones fueron hechas igualmente por el físico alemán, O. Lehmann (1855-1922), en 1889, quien además observó que, aparte de ser translúcidos poseían una propiedad típica de los sólidos cristalinos, puesto que eran birrefringentes. (Este fenómeno indica que un rayo de luz incidente, al atravesar el cuerpo considerado, se desdobra en dos rayos luminosos). Ello a pesar de conservar la imagen típica de cualquier líquido, es decir, fluyen, forman gotas, se derraman, etc. Todo esto indujo a Lehmann a denominarlos «CRISTALES LIQUIDOS». Quizás, este nombre no sea el más adecuado, ya que simplemente se trata de líquidos anisótropos. (La anisotropía define el hecho de que una o varias propiedades físicas dependen de la dirección en que se estudien).

Hoy día se conocen gran cantidad de compuestos orgánicos poseyendo varios puntos de fusión, así como propiedades de anisotropía. Desde el punto de vista molecu-

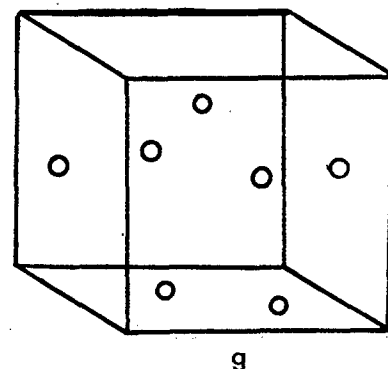
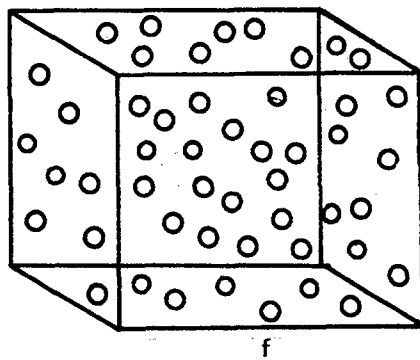
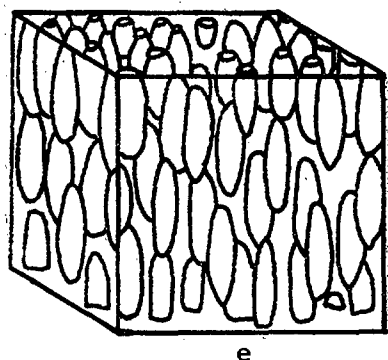
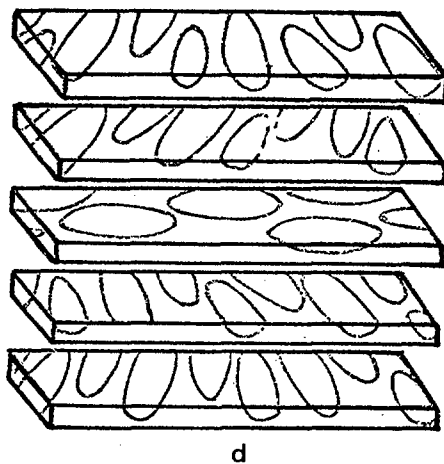
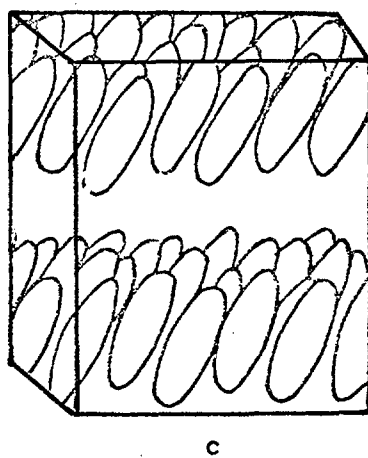
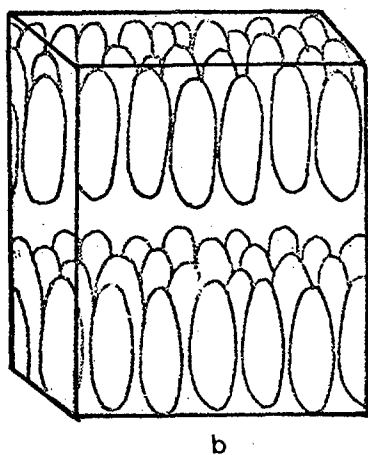
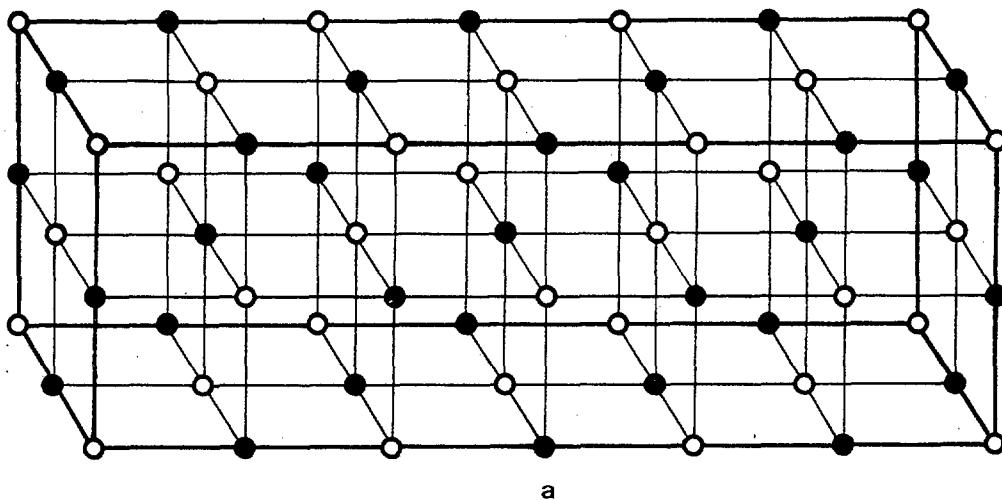
lar, tales compuestos están formados por moléculas de unos 20 Å (1·Å es una diezmillonésima de milímetro).

Una fórmula típica de estos compuestos, correspondiente a familias de cristales líquidos relativamente simples, es



Aquí R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> son cadenas orgánicas más o menos complicadas, pudiendo ser R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> o diferentes. X, componente de unión de los dos anillos bencénicos, puede ser de varias formas. Estos compuestos tienen la particularidad de degradarse por la influencia de agentes externos, como el aire o la luz, por lo que se suelen conservar en frascos cerrados y opacos, a temperaturas de la fase sólida.

Hasta ahora nos hemos referido genéricamente a estos compuestos como «Cristales líquidos». Dentro de esta fase intermedia entre el sólido y el líquido ordinario y variando la temperatura, existen varias posibles mesofases. Para distinguirlas nos fijaremos fundamentalmente en el orden molecular de cada una de ellas. Nos limitaremos a fases que aparecen según se varía la temperatura o sea a cristales líquidos termótropos. En una primera mesofase encontraremos un cierto orden posicional de las moléculas. Es decir, no será un sólido cristalino (las moléculas guardarían un orden espacial en tres dimensiones) pero tampoco será un fluído normal, donde las moléculas estarán totalmente desordenadas. Mas adelante describiremos detalladamente este orden posicional de la mesofase que se denomina «esméctica».

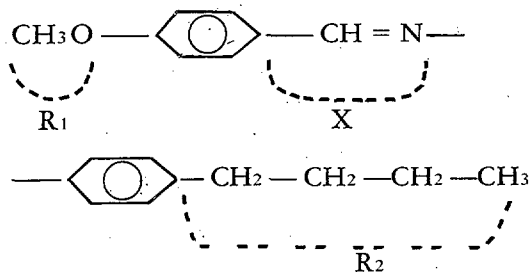


Formas ideales de algunas fases de la materia y su estructura molecular [al aumentar la temperatura desde (a) hacia (g)]. Una red cristalina ideal de sal gema (a), define el orden perfecto en equilibrio a temperaturas más bien 'bajas'; es el orden a gran distancia en las tres dimensiones espaciales [O: átomo de cloro; ●: átomo de sodio]. En un líquido esméctico, (b) y (c), los centros moleculares sólo se hallan *casi* alineados en cada capa ['orden' en una dimensión], habiendo orden a gran distancia en el *alineamiento* espacial de la orientación de sus moléculas. En un nemático-colestérico, (d), o nemático propiamente dicho, (e), los centros moleculares están al azar, pero sigue habiendo alineamiento a gran distancia de las orientaciones moleculares. En un líquido ordinario (f) no hay orden alguno a gran distancia. Hay, sin embargo, *algo de orden* en pequeña escala debido a un cierto *apelotonamiento* de sus moléculas [en forma de racimos; en inglés, *clustering*]. Un gas (g) es el ejemplo del desorden perfecto en el equilibrio a 'altas' temperaturas. Aumentando aún más la temperatura se consigue ionizar parcial o totalmente el gas. En el último caso se obtiene un plasma, fase de la materia en el interior del Sol y otras estrellas; de gran interés tecnológico, a causa de la llamada reacción termonuclear [fuente de la energía del siglo XXI]. La figura (d bis) ilustra la periodicidad de la escalera colestérica o paso  $2L$  de la hélice. Las figuras no están hechas a escala y las diferencias de tamaño entre las moléculas [o átomos, si pensamos en moléculas monoatómicas] no son sino un puro azar del dibujo y ello no significa nada desde el punto de vista físico.

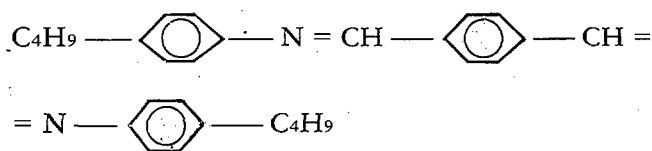
En una segunda mesofase el orden posicional de las moléculas habrá desaparecido por completo. Ahora bien, a pesar de ello las moléculas estarán orientadas en direcciones determinadas. Para imaginar esto podemos suponer las moléculas a modo de cigarrillos, mucho más largos que anchos. Entonces lo dicho significaría que, aunque los cigarrillos tengan sus centros situados en cualquier posición de la vasija, guardarán una misma dirección todos ellos. Evidentemente esto no implica que esta orientación sea respetada por todas y cada una de las moléculas, sino más bien en media. Dentro de esta mesofase cabe distinguir una variedad dicha colestérica, en la que el desorden posicional es total, pero la orientación cambia paulatinamente al moverse de capa en capa, mientras que los nemáticos propiamente dichos corresponden al caso en que todas las moléculas en volumen guardan una misma orientación.

Con lo dicho podemos imaginar fácilmente el proceso de paso del estado sólido cristalino al líquido isotrópico. Este proceso será de mayor a menor orden molecular según vayamos calentando el producto.

Un ejemplo de producto, utilizado mucho en el laboratorio es el denominado MBBA (Metoxi-bencilideno-butilanilina), cuya fórmula es:



Otro ejemplo típico es el producto denominado TBBA (Terephthal-bis-4-n-butilanilina), cuya fórmula es:



Este compuesto, sólido para temperaturas inferiores a los 113° C, al sobrepasar esta temperatura es esméctico, pasando la mesofase nemática a los 201° C, para llegar a ser líquido isotrópico a los 236'5° C. Conviene indicar que, dentro de la mesofase esméctica son varias las subfases posibles, así, en el ejemplo del TBBA, al menos se encuentran dentro de la esméctica tres subfases entre las temperaturas de 113 y 144° C, 144 y 172° C, 172 y 201° C. Estas subfases se denominan por las letras A, B, C, etc. Más adelante se verán las características de cada una de ellas.

## 2. NEMATICOS

Como se indicó en la introducción, las moléculas de ese tipo de compuestos son imaginables como bastoncitos, cerillas o cigarrillos. En la mesofase «nemática» (del

griego «nematos» que quiere decir hilo o hebra) las moléculas se ordenarán de forma que, estadísticamente hablando, se sitúen paralelas entre sí (véase figura). Esto no implica en absoluto un ordenespacial de las moléculas, orden que, de alguna manera, se observará en las mesofases que se describen posteriormente, sino que cada molécula ocupará, dentro del volumen del fluido, una posición cualquiera, aunque estará orientada en una dirección común con todas las demás (siempre hablando en términos estadísticos). Esta dirección privilegiada es arbitraria en el espacio, aunque la aplicación de fuerzas externas permite, en general, fijarla de forma conveniente. Así, por ejemplo, tratamientos mecánicos y/o químicos de las paredes del recinto que contiene el fluido, pueden fijar la dirección de orientación molecular. Entre las infinitas direcciones posibles, cuando se consideran películas o capas delgadas de cristal líquido hay dos importantes:

- (i) Orientación PLANAR (en cuyo caso el fluido se denomina NEMATICO PLANAR), donde las moléculas se orientan en una dirección paralela al soporte.
- (ii) Orientación HOMEOTROPA (el líquido se denominará NEMATICO HOMEOTROPO) estando las moléculas orientadas en la dirección perpendicular al soporte.

Como ya se dijo en la introducción, la existencia de esta orientación molecular da lugar a propiedades específicas de anisotropía. Así, son birrefringentes, conducen el calor mejor y más eficazmente en la dirección de orientación, sus constantes elásticas y viscosas dependen de las direcciones de tensión y/o flujo; algo parecido ocurre con la constante dieléctrica, susceptibilidad magnética, etc.

Veamos algunas de las propiedades de los nemáticos cuando se actúa con tres tipos de fuerzas: campos magnéticos, eléctricos y gradientes térmicos.

La aplicación de un campo magnético a una muestra de nemático (que podemos considerar, por simplicidad, inicialmente homeotropa) de forma que el campo esté dirigido en dirección diferente de la vertical, perturbará la orientación homeotropa forzando una nueva que será la del campo aplicado. Esto no ocurre para cualquier valor del campo, pues ya en 1927, V. Fredericks demostró que existe un valor 'crítico' del campo magnético, por debajo del cual no se produce el fenómeno. Así, por ejemplo, para una capa de nemático de un espesor del orden de un milímetro se necesitarían campos magnéticos superiores a mil veces el campo magnético terrestre.

Un fenómeno similar al citado ocurre cuando se aplica un campo eléctrico (es decir una tensión eléctrica entre las placas que encierran el nemático). Ahora bien, el potencial necesario para perturbar la orientación es del orden de seis Voltios. Por ser tan bajas las tensiones este fenómeno ha encontrado interesantes aplicaciones técnicas. Debe añadirse a lo dicho la existencia de otro fenómeno asociado, y es la posibilidad de crear un flujo hidrodinámico como consecuencia de la aplicación del campo eléctrico. Este flujo tiene como característica esencial el producir para el nemático inicialmente transparente o translúcido, una turbidez del mismo en la zona donde el campo ha sido aplicado. Esta turbidez, debida a una fuerte difusión de la luz incidente, es controlable según el potencial aplicado, alcanzado su grado máximo a unos sesenta Voltios.

Si se piensa, para realizar contrastes, una placa inicialmente translúcida (blanco será el color que veremos cuando no haya campo aplicado) la turbidez dará toda una gama de grises semejante a la actual televisión en blanco y negro. Esta característica, añadida al bajo consumo de energía (del orden de  $0,1 \text{ mW/cm}^2$ ), al hecho de poder utilizar la luz ambiente para visualizar este fenómeno, y que las cantidades de líquido necesarias son muy pequeñas, hace que su uso en la visualización de dígitos y letras sea ventajoso respecto de los sistemas clásicos de tipo electrónico. Como inconveniente, cabe decir que el cristal líquido se deteriora con el tiempo, estimándose utilizable alrededor de los dos o tres años.

No entraremos aquí en los detalles técnicos de fabricación y montaje de estos sistemas de visualización («display», LCD en inglés). Lo dicho no es el único sistema de producir visualización de datos. Aún no produciendo el fenómeno de turbidez (asociado a la creación de flujos hidrodinámicos), el simple hecho de reorientar el nemático al aplicar entre sus paredes una diferencia de potencial es utilizable. Este método, que se basaría en el alineamiento molecular colectivo antes que en los fenómenos de fuerte difusión de luz, consistiría en introducir un nemático homeótropo entre dos electrodos que poseen la propiedad de polarizar la luz (1).

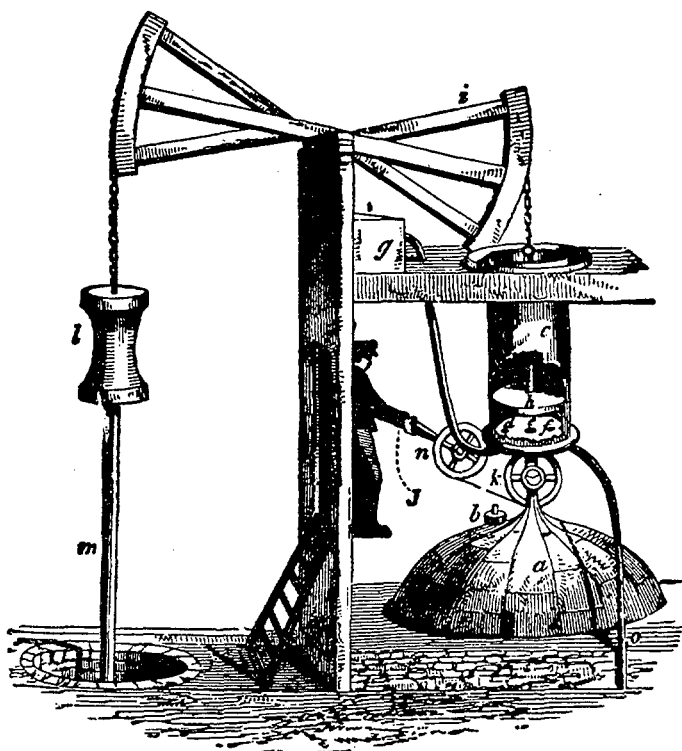
Si los dos electrodos se colocan de forma que cada uno deje pasar rayos que vibren en direcciones perpendiculares, el resultado será que no pasa la luz. Si ahora aplicamos un campo eléctrico, el fluido buscará la orientación planar, que a su vez actuará como polarizador (en la situación homeótropa el fluido era transparente). Un sencillo estudio de las componentes de rayos transmitidas nos lleva a la conclusión de que, si la dirección planar es adecuada, una cierta cantidad de luz será transmitida.

En la actualidad está en vías de ensayo una pantalla de televisión basada en los fenómenos expuestos. Se ha hecho, por ejemplo, poniendo un enrejado de 128 conductores verticales y otros tantos horizontales, conectados espaciadamente a sistemas selectores de tiempos. En este enrejado se introduce cristal líquido nemático. La pantalla de  $128 \times 128$  puntos, irá formando imágenes según se envían impulsos a los conductores, todo ello de forma un tanto similar al sistema de barrido en las pantallas actuales. En los prototipos conocidos (Francia, Japón, EE.UU.) se puede llegar a ver 25 imágenes por segundo.

Entre las posibles ventajas cabe destacar el bajo consumo de energía y su escaso encombramiento. (Una televisión se podría reducir al tamaño de un cuadro puesto que con los cristales líquidos se evita el encombromiento de los tubos actuales.

Por otro lado, respondiendo a tensiones mecánicas, los nemáticos se polarizan eléctricamente. (Algo similar podría decirse para las mesofases esmécticas). Experimentos muy recientes muestran que nemáticos sometidos a vibraciones, etc., «responden» creando una exacta imagen de las mismas cuando se mide la corriente de polarización inducida en el nemático, de lo que cabe inferir aplica-

ciones. (Los estudios sobre el tema están lejos de ser considerados definitivos, pero piénsese, por ejemplo, la enorme difusión que un efecto parecido, la piezoelectricidad, ha tenido en la fabricación de todo tipo de encendedores, agujas de tocadiscos, relojes de cuarzo, etc.).



En los últimos años, el estudio de los fenómenos térmicos producidos en nemáticos ha sufrido un gran avance. En concreto, los estudios de convección (creación de flujos hidrodinámicos) en nemáticos provocada por la imposición de diferencias de temperatura entre las paredes que lo encierran.

Este movimiento de convección, temporalmente estacionario, se consigue con nemáticos planares calentados por abajo, y homeótropos calentados por arriba, y ofrece la posibilidad de «responder» (mediante convección) a diferencias de temperaturas muy pequeñas (del orden de décimas de grado y aún inferiores, dependiendo del espesor de la película líquida). La dificultad en su aplicación estriba, fundamentalmente en que los tiempos de respuesta (tiempo para que las estructuras convectivas sean observables) son generalmente altos (incluso horas). Recientemente se ha descubierto la posibilidad de creación de estructuras convectivas con características tales que los cristales líquidos son particularmente aptos para diversos usos, como detección de variaciones pequeñas de temperatura, fluctuaciones débiles de corriente eléctrica, etc. Para comprender el fenómeno se puede decir que, calentando un nemático homeótropo (transparente) desde abajo, se obtiene un movimiento convectivo cuya estructura, ordenada, varía con el tiempo. Tal estructura variable evoluciona, pudiendo llegar a estabilizarse. Este tipo de evolución conlleva la producción de muy fuertes distorsiones de la orientación, creando zonas turbias fácilmente observables, cuyo tiempo de respuesta es rápido. Ade-

(1) Es decir, si se piensa que la luz ambiente está compuesta de ondas electromagnéticas que vibran en las infinitas direcciones del plano perpendicular a la línea de propagación de luz, un polarizador es una rejilla que sólo permitirá el paso de la onda que vibre en una dirección particular de ese plano.

más, una vez el fluido en movimiento, para una diferencia de temperatura  $\Delta T_1$ , la destrucción de la convección se produce para diferencias de temperaturas  $\Delta T_2$ , varios grados inferiores a  $\Delta T_1$ . Así, si deseamos detectar aumentos de temperatura en un sistema cualquiera durante periodos de tiempos largos, será posible hacerlo, aunque después la temperatura descendiera. (El líquido permanecería en movimiento). Por otro lado, en la región comprendida entre las diferencias  $\Delta T_1$  y  $\Delta T_2$ , estando el fluido en reposo, se puede provocar el movimiento mediante la introducción de perturbaciones locales (térmicas, eléctricas, etc.) de cualquier intensidad. La sensibilidad del fluido será, en general, muy grande. Asimismo, la conservación o destrucción de la convección, una vez formada, se puede controlar fácilmente.

Evidentemente, el hecho de que tales fenómenos sean de descubrimiento muy reciente (1979) hace que sus posibilidades no puedan estar, aún, bien definidas desde el punto de vista cuantitativo, al menos si se piensa en sus eventuales aplicaciones. Cabe también indicar que muy recientemente se ha observado que una capa de fluido homeótropo, calentada desde arriba localmente (el paso de un dedo por sus proximidades sería suficiente «responde» de forma inmediata con una distorsión de orientación y con la aparición de flujos hidrodinámicos. La sensibilidad es grande, ya se ha dicho que el simple acercamiento de un dedo produce el fenómeno.

Describir todas y cada una de las aplicaciones actuales o potenciales de los cristales líquidos sería una tarea de dimensiones muy superiores al alcance de este artículo, en el que se pretende, someramente, dar una idea de los aspectos más interesantes. Aún más, los avances en la comprensión de estos compuestos crece actualmente con gran rapidez, dando lugar a nuevas y continuas ideas de aplicaciones. Así, por ejemplo, cabe la posibilidad de detección y registro de imágenes infrarojas de cuerpos y/o personas. Un método consiste en colocar una película líquida (un cristal líquido es más sensible que un líquido ordinario) con la superficie superior abierta. La proyección de radiaciones infrarojas de un cuerpo sobre una superficie libre es suficiente para reproducir la imagen de dicho cuerpo por un simple dispositivo de reflexión total de un haz de luz blanca en la superficie libre del líquido desde abajo.

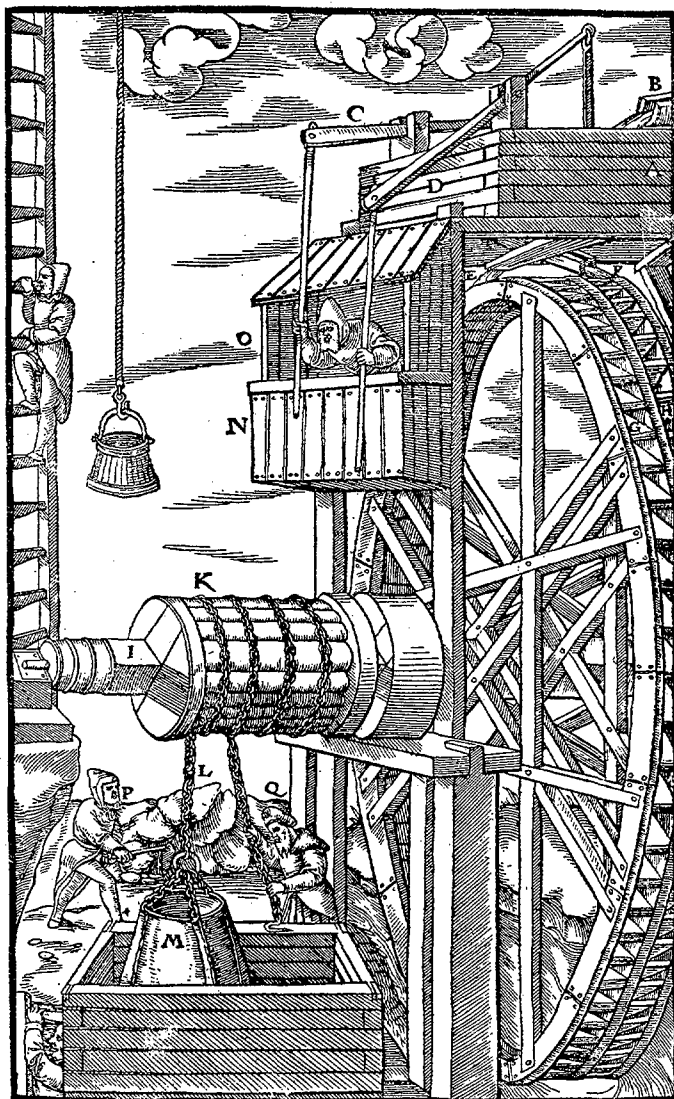
Su utilización está restringida fundamentalmente por el hecho de necesitar una superficie libre, difícilmente transportable. A pesar de ello aporta ventajas, como su simpleza, bajo costo y un poder de resolución y sensibilidad, aceptables. En Medicina ya cabría usar dicha imagería infraroja para la observación exterior por alumnos, en operaciones quirúrgicas, etc.

### 3. SUBMESOFASE COLESTERICA

Esta submesofase es desde el punto de vista estructural una variante de la mesofase nemática. Esta forma distorsionada podemos imaginarla del siguiente modo: supongamos una capa de moléculas orientadas en una dirección cualquiera en el plano horizontal (semejante a una

mesa llena de lápices en una dirección determinada), encima de esa capa supongamos otra, pero donde la orientación forma un cierto ángulo con la primera capa. Si añadimos sucesivamente capas con la misma característica, diferenciándose de la anterior en un cierto ángulo, tendremos la estructura del colestérico, esquemáticamente representada en la figura. Otra forma de ver esto sería imaginar una escalera de caracol, en que cada peldaño marca la dirección de orientación de la capa correspondiente. El eje de la escalera sería el eje principal del colestérico. Cuando los peldaños den una vuelta completa, la altura recorrida sería lo que en colestéricos se denomina paso de hélice. Típicamente esta distancia es del orden 1500 Å, o sea, una diezmilésima de milímetro. Nótese bien que los centros no se hallan alineados por planos y el hablar de capas sólo significa que *en media* tienden a estarlo. El nombre de colestéricos viene de que esta submesofase es típica de casi todos los derivados del colesterol, aunque tal sustancia no es un cristal líquido colestérico.

Casi todas las aplicaciones de los colestéricos derivan de hecho de la existencia del paso citado. El paso de la hélice dará lugar a la reflexión de ondas cuya longitud coincida con él. Así, si hacemos incidir luz blanca, com-



puesta de ondas de diferentes longitudes y que abarcan todos los colores del arco iris, será reflejada sólo aquella que corresponda a la longitud del paso de hélice. Por lo que, será posible observar, al iluminar con luz blanca un colestérico, coloraciones muy nítidas y vivas. Variando el ángulo de incidencia de la luz, cambiará la coloración. El interés de esta propiedad estriba en que es posible variar, en colestéricos, la longitud del paso de hélice, por ejemplo, variando su temperatura.

Este hecho ha dado lugar a una de las grandes aplicaciones de los cristales líquidos colestéricos, dadas sus evidentes ventajas en la obtención de termografías. Si sobre un cuerpo se aplica una película de substancia negra (que absorbe toda la gama de ondas de luz visible) y encima se coloca un colestérico, al hacer incidir luz blanca, será reflejada una onda (es decir, veremos el fluido colestérico de un color determinado). Si en una zona se produce una variación de temperatura respecto del resto, su paso de hélice variará y veremos un cambio de coloración. Por ejemplo una región de temperatura anormalmente elevada, en una región corresponde a un tinte azulado del colestérico (frente a tonos más hacia lo rojizo en su alrededor). La precisión de este método puede llegar a ser de una décima de grado con un poder de resolución tal que en una banda de un centímetro de anchura se podrían observar hasta quinientos puntos de diferentes coloraciones. Un inconveniente, relativo, es que estas precisiones sólo son posibles cuando se trabaja en rangos de temperatura que no oscilen más de 4 ó 5 grados. Tal técnica ha sido utilizada con éxito en la detección de tumores cancerosos superficiales (de piel, de mama, etc.) o localización de la placenta en operaciones de cesárea. Asimismo en la fabricación de termostatos, control de calidad en circuitos electrónicos, detección de defectos en soldaduras, etc.



A pesar de ser este fenómeno térmico el que tiene mayor espectacularidad en sus aplicaciones, cabe decir que no es el único método para cambiar la longitud del paso de hélice. La aplicación de campos magnéticos o eléctricos, y aún de deformaciones mecánicas, igualmente, puede «desenrollar» la hélice, lo que amplía la gama de posibles aplicaciones, como el estudio de distribuciones de intensidad de campos de microondas. El desenrolle de la hélice lo hace nemático simple perdiendo la propiedad de coloración antes mencionada. También es posible el cambio del paso de hélice en presencia de ciertos agentes químicos. Así es posible su empleo en la detección de ciertos gases tóxicos, como cloroformo, benceno, tricloroetileno, etc.

Por otro lado, puede imaginarse un colestérico como un nemático planar en el que una placa ha girado, por ejemplo  $90^\circ$  respecto de la otra, produciendo una torsión de la orientación que lo hace semejante a un coléstérico. Como un campo eléctrico tendería a desenrollar esa torsión, este hecho es utilizable en la visualización de números y letras («display» en general).

#### 4. ESMECTICOS

Desde el punto de vista estructural se puede decir que los cristales líquidos en su mesofase esméctica poseen un ordenamiento molecular (de tipo cristalino) en estratos con un espaciado entre capas bien definido (véase figura), estando las moléculas, en el conjunto de cada capa, orientadas en una dirección determinada. Varios (A, B, C, etc.) son los tipos posibles de esmécticos, de los que más adelante detallaremos las particularidades de los mejor conocidos. Por otro lado, un mismo compuesto orgánico puede pasar progresivamente a diferentes temperaturas, de uno o de otro tipo. Un ejemplo es el TBBA antes citado.

Los tipos de esmécticos mejor estudiados son:

*Tipo A.* Este tipo posee esencialmente las características siguientes (ver fig. 1b):

- a) La estructura es en capas de esferas equivalentes a la longitud de las moléculas.
- b) Dentro de cada capa, los centros de gravedad de las moléculas no guardan orden espacial, es decir, en cada capa, el fluido se comporta como bidimensional.
- c) Ópticamente el fluido es uniaxial (o existencia de una dirección privilegiada) y ello se debe a que las moléculas guardan una orientación perpendicular al plano de cada capa.

*Tipo C.* Tal como se muestra en la figura 1c, se conservan las propiedades ya citadas para el tipo A, excepto la última, pues la orientación molecular ahora forma un cierto ángulo con la perpendicular al plano de estratificación. Esto se traduce en la existencia de dos direcciones privilegiadas, una, la propia de la orientación molecular, y la segunda, la de la perpendicular a la capa. Así, el tipo C se llama biaxial.

*Tipo B* Este tipo difiere de los A y C en que las moléculas muestran, dentro de cada capa, una cierta estructura periódica y una mayor y excepcional rigidez en comparación con los tipos anteriores.

Con estos no se agotan los diferentes tipos de esmécticos. Hoy día se sabe de la orientación de muchos otros, denominados por las letras D, E, F, G, etc., pero su estructura está aún por estudiar.

Es fácil intuir que dado el mayor ordenamiento molecular que supone la mesofase esméctica respecto de las otras mesofases descritas, ésta será la más próxima al estado sólido cristalino. Aunque muy recientes investigaciones apuntan hacia transiciones del tipo Sólido-Sméctico-



Nemático-Smético-Nemático-Isótropo para ciertos compuestos, aunque en el estado actual de las investigaciones es aún muy prematuro dar conclusiones.

La obtención de una mesofase esmética ideal es muy difícil, debido a dislocaciones de las capas, perturbaciones en la orientación molecular, etc., y así, curiosamente, es más fácil su obtención a partir de las mesofases menos ordenadas, enfriando, que a partir del estado sólido calentando.

La dificultad de estudiar, teórica y experimentalmente, esta mesofase hace que aún hoy día sean muchos los aspectos desconocidos. Es por ello que sus aplicaciones a nivel industrial son muy limitadas. Quizás, la propiedad mejor conocida sea la posibilidad de producir una ondulación periódica de las capas bajo la acción de tensiones externas (o aplicación de campos magnéticos paralelos a las capas). Este tipo de deformación es conocida por deformación de Helfrich. En 1973 se descubrió que, enviando un intenso haz luminoso sobre una muestra, debido a la absorción finita del material, se calentaba. Reduciendo la intensidad bruscamente se enfriaba la muestra, contrayéndose las capas, lo cual producía ondulación. La consecuencia es la aparición de distorsiones en forma de una red cuadrada muy fina. Tal fenómeno podría ser usado (y de hecho existen patentes al respecto) para el almacenamiento de información, que cabe borrar a voluntad. En este caso el haz luminoso puede ser un tubo láser de, digamos, 50 m. Watt, como medio para calentar puntos de la muestra. Así, dependiendo de la intensidad es posible crear centros de distorsión semipermanentes seleccionables, cuyo borrado, total o parcial, se puede llevar a cabo aplicando campos eléctricos.

Sin duda, y como se dijo anteriormente, las limitaciones actuales en el aprovechamiento industrial de las propiedades de esta mesofase vienen fundamentalmente, de nuestro precario conocimiento de las mismas, siendo en la actualidad una de las direcciones principales de investigación en el campo de los cristales líquidos.

## 5. DE LA FISICA A LA BIOLOGIA

En 1924, P. Gaubert descubrió una gran semejanza entre las propiedades ópticas de la cutícula de algunos insectos y la de los cristales líquidos colestéricos. Posteriores observaciones mostraron que tal semejanza es extensible a numerosos artrópodos, como el cangrejo. Aún más, observaciones con microscopio electrónico de cromosomas de dinoflagelados (*Prorocentrum Micans*), han mostrado que la textura de los filamentos de DNA corresponden a la de un colestérico. Un modelo parecido podría ser extendido a los nucleolos de ciertas bacterias. El interés de tales observaciones viene dado porque ello aportaría información sobre el origen de la forma alargada de los cromosomas.

Dentro de este tipo de trabajos han cobrado un particular interés los estudios que ligan las texturas de esméticos con las membranas bilipídicas que limitan las células y ciertos organismos celulares. La lecitina, y toda una serie de fosfolípidos (obtenibles como subproductos de la manufactura de aceites como el de soja y otros granos

oleaginosos, y aún de otros productos como la yema de huevo, etc.) forman parte de estas membranas siendo los responsables de la estructura observada de cristal líquido.

Ambos productos, lecitinas y fosfolípidos, presentan mesofases al variar la temperatura. Mesofases complejas, si se comparan con todo lo dicho hasta ahora, ya que, en este caso, una variación de las concentraciones en la disolución que contenga esos productos, da lugar a mesomorfismos también. Es decir, no sólo aparecen mesofases termotrópicas (con la temperatura) sino asimismo liotrópicas. Algo similar se produce en el caso de numerosas moléculas de interés en biología, como los ácidos nucleicos y los polipéptidos, en los que son posibles mesofases nemáticas (propias o colestéricas). El interés en el estudio de las lecitinas estriba en que son pocos los productos naturales auxiliares que sean capaces, como éste, de mejorar la calidad de los alimentos y los procedimientos de manufactura de los mismos. La lecitina interviene en la confección del pan, pasteles, chocolates, mantequillas y margarinas, productos en polvo como la leche, café y cacao. También en productos dietéticos es de gran utilidad. La introducción de lecitinas en la fabricación de *patés* mejora sus condiciones de viscosidad, y por tanto de su unte. Incluso ha sido utilizada para sustituir los aceites de engrase de máquinas dedicadas a la confección y preparación de alimentos, con lo que se evitan eventuales contaminaciones de dichos aceites. Añadiendo lecitina a mieles y artículos de pastelería, se evita la cristalización del azúcar, asegurando una mejor conservación. Tiene además un alto poder antioxidante, etc.

Las propiedades, muy resumidas, que acaban de enumerarse están ligadas de forma fundamental al poder de las lecitinas (hablamos de lecitinas aunque, impropriamente, englobamos a los fosfolípidos) de formar capas u otros elementos estructurales susceptibles de deslizar unas sobre otras. Textura que, en forma simplificada, sería la de un esmético. La formación de estas estructuras comportan numerosos mecanismos hidrodinámicos y térmicos cuyo conocimiento y control serán de gran importancia. Así, si se calienta una lecitina, pueden producirse fenómenos convectivos, conducentes a estructuras muy variadas. Un mejor conocimiento de las viscosidades, etc., será de especial importancia al respecto. Es por ello que, aunque sólo sea en este campo de la alimentación, las investigaciones para la mejor comprensión de la mesofase esmética cobra un particular interés, sobre todo en lo concerniente a la producción (o eliminación) de dislocaciones o líneas frontera en las que a ambos lados cambia la orientación, estratificación o estructura de la mesofase. Estas dislocaciones son las responsables de que los enzimas y ácidos digestivos puedan «destruir» el alimento en cuestión, haciéndolo digerible. También constituyen una vía de paso a la humedad y a agentes oxidantes, que perjudican la conservación. Está claro así, que, un buen conocimiento de los mecanismos de formación de estructuras, y en general de esta mesofase esmética, permitirá una preparación de alimentos manufacturados (hoy día cada vez más utilizados) de mayor calidad.

Vemos, pues, que los CRISTALES LIQUIDOS (o líquidos anisótropos) aparte de constituir una bella familia de fases de la materia (mesofases, por estar entre medias de las fases «tradicionales») son productos cuyo interés recorre el espectro desde la investigación académica hasta la aplicación industrial de este último tercio del siglo XX.