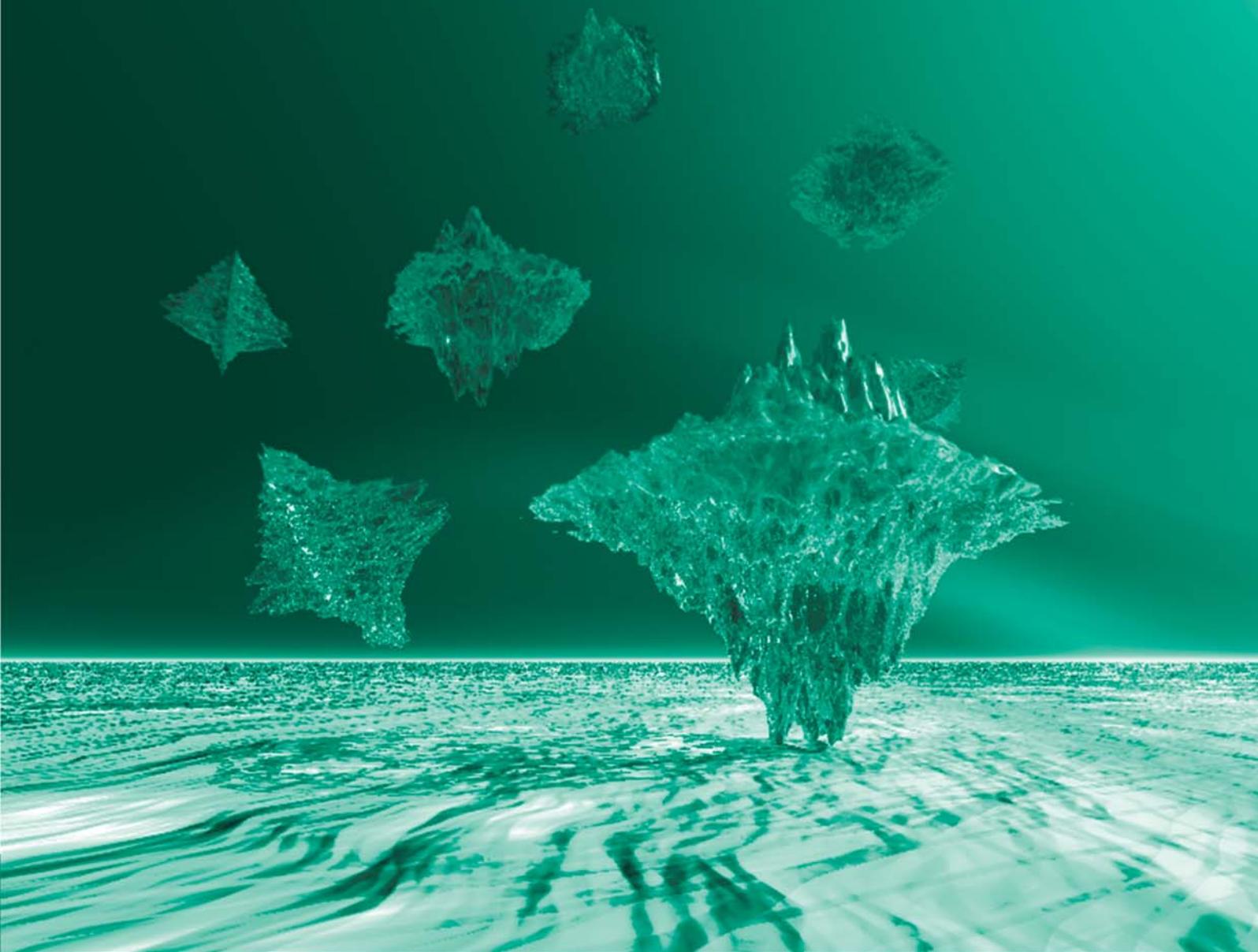


# Cristales líquidos



**Un ejemplo fantástico  
de aplicación tecnológica  
de las propiedades de la materia**



**CORDOBENSIS**  
PROGRAMA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA  
PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Cristales líquidos: un ejemplo fantástico de aplicación tecnológica de las propiedades de la materia / Susana Martínez Riachi...[et.al]. -

1ª ed. - Córdoba : Agencia Córdoba Ciencia, 2005.

32 p. ; 29x21 cm.

(Programa de divulgación científica para la enseñanza de las ciencias Cordobensis)

ISBN 987-98379-8-3

1. Hidrología 2. Aguas Subterráneas-Contaminación I. Cabrera, Adriana, II. Título

CDD 363.739 4.

Autores:

Susana Martínez Riachi

Claudia Carreño

Leticia Constable

Pablo Tarabain

Margarita Freites.

Ilustraciones:

Carlos G. Guilevski

Esta publicación ha sido editada por el Área de Promoción Científica de la Agencia Córdoba Ciencias S.E.

Primera edición: Agosto de 2005

Hecho el depósito de ley.

Impreso en Argentina - 2005

2000 ejemplares

Todos los derechos reservados.

Prohibida su reproducción total o parcial.

# Estados de la Materia

La naturaleza nos ofrece sustancias que nos sorprenden por sus propiedades y más aún, por los usos y aplicaciones que algunos científicos y tecnólogos logran desarrollar a partir de ellas. Los cristales líquidos son un ejemplo concreto de esto.

Cuando hablamos de equipos digitales modernos, ya sea celulares, relojes, calculadoras o notebooks, seguramente encontramos que tienen una pantalla de cristal líquido, la que se suele denominar LCD (siglas en inglés de Display de Cristal Líquido). Pero, ¿qué representa el nombre **cristal líquido** y por qué es posible emplear este tipo de sustancia para formar imágenes en dichas pantallas?

A pesar que el descubrimiento de los cristales líquidos se produjo en una época de gran desarrollo, hacia fines del siglo XIX, debieron pasar casi 100 años para que alguien encontrara la forma de manipular sus propiedades y, de esta manera, aprovecharlas en herramientas tecnológicas.

Es muy importante reconocer que gracias al conocimiento científico de las características de los cristales líquidos, a partir de las propiedades de la materia, se hizo y se hace posible el desarrollo de las más diversas aplicaciones de estos materiales.

## Los cinco estados de la materia

Son muy conocidos los estados en los que se encuentra la materia en condiciones ambientales: Sólido, Líquido y Gaseoso.

Además, existen otros dos estados no tan conocidos que son:

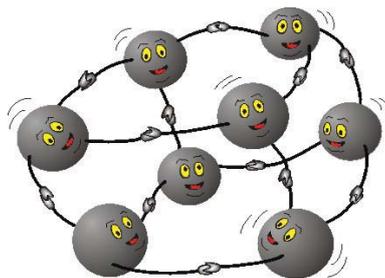
Plasma<sup>1</sup> y Condensado de Bose Einstein<sup>2</sup>.

De estos cinco estados, sólo cuatro están aceptados por el mundo científico, el quinto estado es motivo de investigación actual, existiendo una aceptación parcial del mismo. Tanto el cuarto como el quinto son condiciones límites de muy altas o muy bajas temperaturas, las cuales están lejos de las condiciones ambientales ordinarias.

En las siguientes figuras se analizan las características de cada uno de ellos.

### Sólido

Existen fuerzas de atracción y repulsión entre las partículas; éstas se ubican espacialmente de forma tal que se compensan dichas fuerzas, permaneciendo fuertemente ligadas. Sin embargo, son capaces de realizar movimientos vibratorios en torno a posiciones fijas de equilibrio.

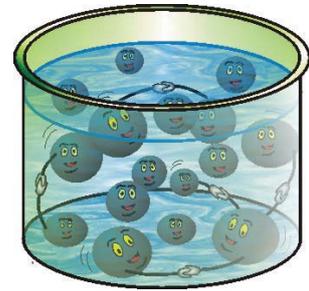


**1** El plasma, como un estado particular de la materia distinto de los demás, se reconoció recién en 1879.

**2** El Condensado de Bose-Einstein fue bautizado así en honor a los físicos S. Bose y A. Einstein, quienes, en la década de 1920, idearon la hipótesis de su existencia.

## Líquido

Al ser las fuerzas de cohesión más débiles, los átomos carecen de posición fija y se hallan en constante movimiento. Estos tienden a adoptar la forma del recipiente que los contiene.



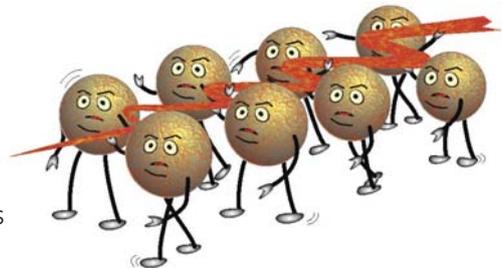
## Gaseoso

Las fuerzas de atracción entre los átomos son casi nulas. Las moléculas gaseosas se mueven con total libertad y llenan la totalidad del espacio en el que están encerradas.



## Plasma

Gas que se ha sometido a altísimas temperaturas o a grandes diferencias de potencial eléctrico, de manera tal que sus átomos y moléculas pierden electrones y se convierten en iones. La concentración de partículas negativas y positivas es casi idéntica, por lo que es eléctricamente neutro y buen conductor de la corriente eléctrica.



## Condensado de Bose-Einstein

Sólido que se ha enfriado a una temperatura próxima al cero absoluto. Los átomos pierden energía, se frenan y se unen para dar origen a un superátomo insólito.

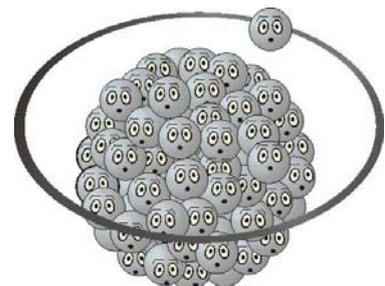


Figura 1. Estados de la materia.

Para comprender con profundidad los cristales líquidos, es necesario realizar una revisión general de las propiedades más relevantes de los sólidos, líquidos y gases, centrando la atención en aquellas características básicas que son pertinentes a este tema. Una característica perteneciente solamente al estado sólido es la anisotropía, la que será desarrollada con profundidad. Inicialmente parecerá un tema difícil de comprender, pero luego resultará muy interesante e incluso divertido.

## El Estado Sólido

La tecnología dió un salto muy grande cuando pudo manipular las propiedades de los sólidos. Con la fabricación de los semiconductores, principalmente, el estado sólido pasó a tener un lugar destacado en el interés de los científicos.

La gran diferencia entre los sólidos y los otros dos estados fundamentales de la materia, es que las partículas que lo forman están fijas en determinadas posiciones en el espacio. Esta limitación les confiere propiedades especiales. Según cuál sea la distribución espacial de las partículas en los sólidos, éstos se pueden clasificar en:

**Sólidos cristalinos**

**Sólidos amorfos**

### Sólidos cristalinos

En la naturaleza, la estructura cristalina se encuentra generalmente como microcristales que no se observan a simple vista. No obstante, en algunas sustancias los cristales son de tamaño visible como los cubos de la sal, el azúcar, los prismas hexagonales de cuarzo, etc. Por lo tanto, la vista macroscópica de un cristal reproduce en alguna medida su estructura interna.

Cuando se rompe un cristal, los fragmentos producidos tienen la estructura característica de su celda unitaria<sup>3</sup>.

El hecho de tener una estructura repetitiva a largo alcance, como los mosaicos de un piso arabesco, es suficiente para asegurar que ese sólido es cristalino; pero sus propiedades pueden variar mucho según como se encuentren ubicados estos "mosaicos", si están ordenados o no. Veremos la designación y características de los distintos sólidos cristalinos.

### Sólidos policristalinos

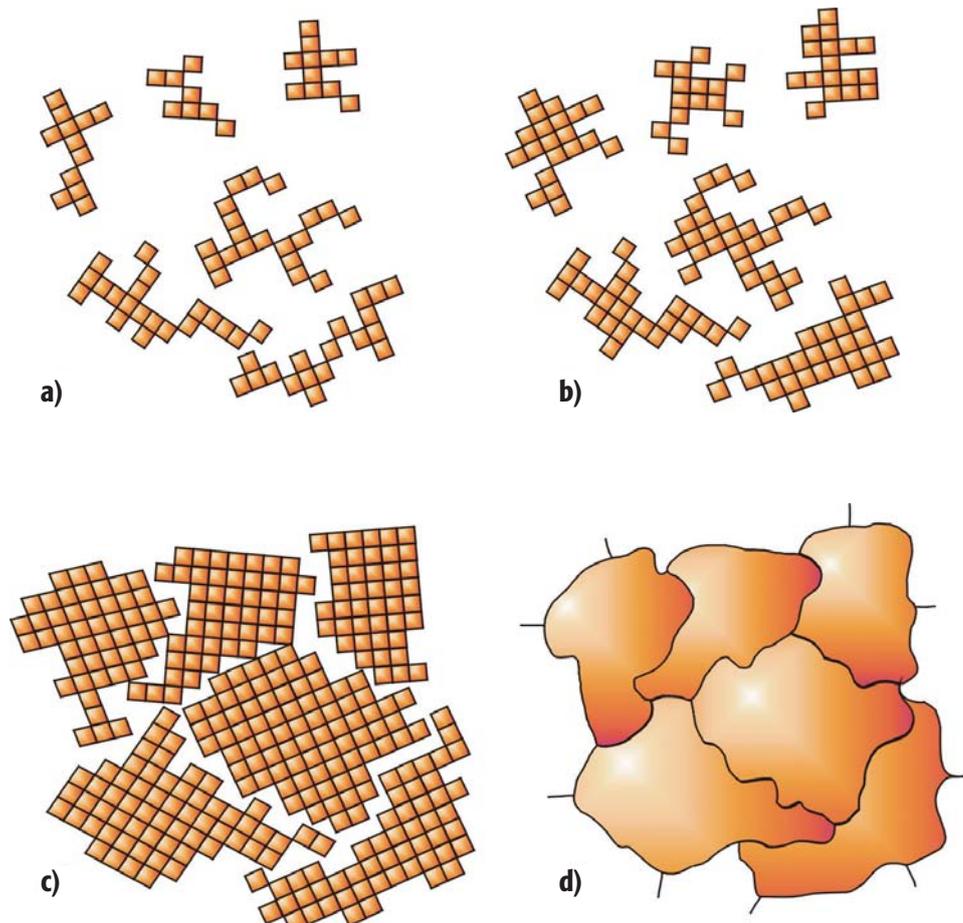
Supongamos que partimos de una sustancia que está en estado líquido, las partículas tienen libertad de movimiento, trasladándose y/o rotando en todas las direcciones. Si bajo ciertas condiciones comienza la solidificación en un punto, una partícula pasará del estado líquido al estado sólido; se formará el primer cristal, restringiéndose así la libertad de movimiento del mismo. Éste es denominado germen o semilla de cristalización, pues a partir de él cristalizarán en forma paralela las partículas vecinas.

Lamentablemente, lo más probable es que se produzcan varios puntos de cristalización en diferentes lugares de la masa líquida y éstos no necesariamente se encuentran orientados de la

**3** La celda unitaria es la unidad de repetición de un sólido cristalino. Su estructura, forma y características describen al mismo.



misma manera. La unión de estos conglomerados formados alrededor de su correspondiente semilla no será en forma ordenada, por ello se dice que los sólidos cristalinos tienen una estructura granular. Una sustancia que ha cristalizado de esta manera se denomina policristalina. En la Figura 2 se representa el crecimiento granular de los sólidos.



**Figura 2.** Secuencia no controlada de crecimiento granular de un sólido cristalino.

Las fuerzas que mantienen unidos a los granos cristalinos entre sí son, en principio, del mismo tipo que las fuerzas que mantienen unidas a las partículas para formar dichos granos; pero hay una discontinuidad en los contornos granulares. Esta discontinuidad hace que se originen variaciones, por ejemplo en la resistencia mecánica del sólido, entre otras.



### Sólidos monocristalinos

Si naturalmente, por solidificación controlada o por reordenamiento de la estructura, se produce la cristalización de una sustancia a partir de una sola semilla de cristalización, todas las partículas estarán orientadas respecto de ésta; habrá un orden importante en la estructura, comportándose ésta como un único gran cristal. Este sólido es denominado monocristalino.

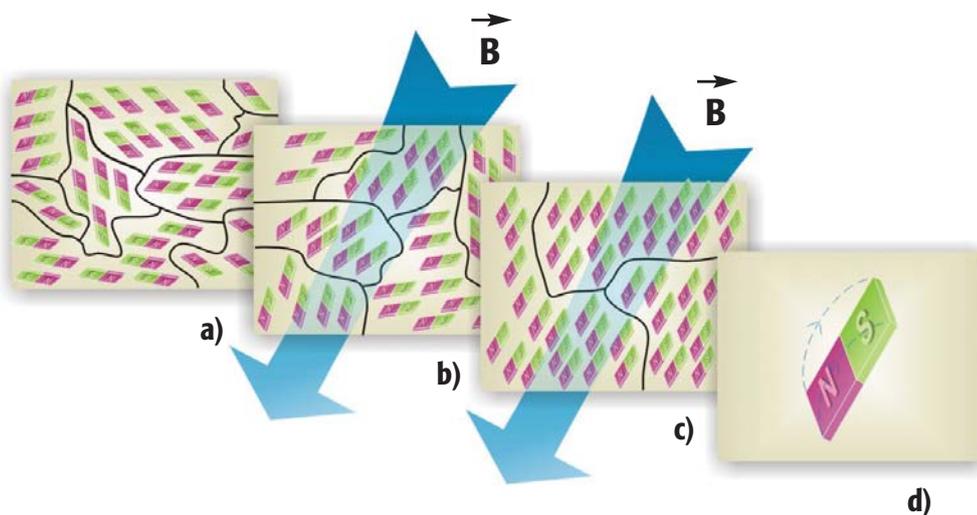
Una consecuencia directa de la estructura regular de una red cristalina es la anisotropía.

**Anisotropía específica:** es la característica de una sustancia de tener distintos valores de ciertas propiedades según la dirección en que éstas sean medidas.

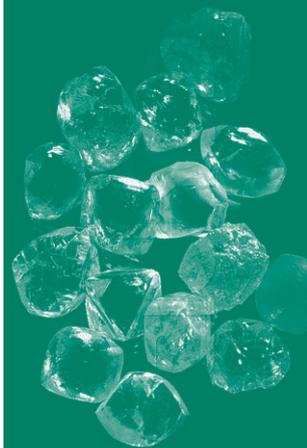
La mica naturalmente tiene la propiedad de separarse en láminas o escamas. Si deseamos quebrar este sólido, no será igual la fuerza a realizar si la hacemos paralela a las láminas o perpendicular a ellas. Esta característica tan notable de este cristal hace muy simple la visión de lo que representa la anisotropía.

La solidificación controlada se utiliza para fabricar las barras de silicio monocristalino que será empleado como semiconductor en un chip, por ejemplo.

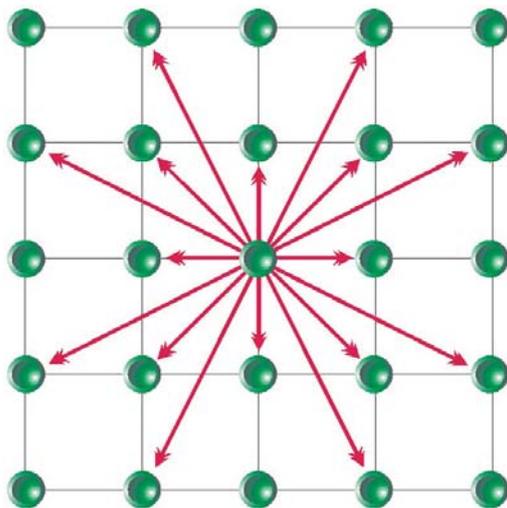
Una sustancia magnética cuya orientación de sus granos, llamados en este caso **dominios magnéticos**, difiere una a otra, seguramente no presentará propiedad magnética neta. Cada dominio magnético "tira" hacia un lado anulándose su fuerza magnética entre él y sus vecinos. Al someter la sustancia a un fuerte campo magnético externo durante un cierto tiempo, sus dominios se orientarán y entonces se comportará como monocristal, mostrando su propiedad magnética (ver Figura 3).



**Figura 3.** Representación de la acción de un campo magnético externo sobre un trozo de material ferromagnético (proceso de magnetización).



La interpretación de la anisotropía se fundamenta en el hecho que las distancias entre las partículas de una red cristalina son diferentes en las distintas direcciones de un cristal, variando sus valores de acuerdo a dicha dirección (ver Figura 4).



**Figura 4.** Esquema de distancias entre distintas partículas de una red cristalina típica.

Las distancias entre partículas vecinas medidas a lo largo de distintas rectas que pasen por un mismo punto dependen de la dirección. Es de esperar que las propiedades físicas en una dirección en que las partículas se encuentren más próximas entre sí, sean diferentes de otra en que las partículas se encuentren más alejadas.

Una analogía a la anisotropía a escala macroscópica es trepar por una reja: puede hacerse colocando horizontal o verticalmente los barrotes. Intuitivamente se nota que la reja ofrece diferente resistencia para ser trepada en cada caso.

Algunas de las propiedades a medir en una sustancia para analizar si actúa como anisotrópica o no son: índice de refracción, velocidad de propagación de la luz en ese medio, conductividad eléctrica, resistencia a la tracción, resistencia a la torsión, actividad óptica, etc.

Los sólidos monocristalinos pueden presentar anisotropía con respecto a algunas propiedades. La mica, por ejemplo, se quiebra fácilmente sólo en un plano; un cubo de níquel cristalino se imanta más fácilmente en ciertas direcciones que en otras; un cristal de grafito tiene diferente resistencia eléctrica según las direcciones en las que se mida. Podemos decir que si un sólido ha tenido un crecimiento homogéneo a partir de una única semilla (como por ejemplo el silicio utilizado en microelectrónica) o se lo ha sometido a un proceso de reorganización de sus granos (como a los imanes permanentes) éste es un sólido monocristalino y seguramente posee anisotropía específica, es decir que alguna propiedad a medir tendrá distinto valor según la cara del cristal desde donde se mida.

---

Por el contrario, si la sustancia no presenta variación en sus propiedades, se dice que es isotrópica.

**Isotropía:** es la característica de una sustancia de tener iguales valores de sus propiedades, cualquiera sea la dirección en las que éstas sean medidas.

En los líquidos y los gases, las partículas están en continuo movimiento, prevalece el desorden, por lo tanto es imposible que el sistema presente anisotropía. Todos los líquidos y los gases son isotrópicos.

Sin embargo, si un sólido es una mezcla de un gran número de microcristales, es decir que es policristalino, puede parecer isótropo debido a la orientación desordenada de sus microcristales o granos. Resulta entonces que los policristales poseen lo que se conoce como isotropía estadística.

**Isotropía estadística:** es la característica que poseen los policristales de presentar iguales propiedades en todas las direcciones debido la orientación aleatoria de los granos que compensan sus anisotropías.

Por ejemplo, si se pulveriza y se aglutina a la mica, ésta comienza a comportarse como policristal, por lo que pierde su propiedad anisotrópica mencionada anteriormente.

## Sólidos amorfos

Los sólidos amorfos son aquéllos en los cuales las partículas se encuentran fuertemente enlazadas entre sí, como en un cristal, sin embargo no tienen estructura bien definida y ordenada. Se caracterizan por no tener puntos de fusión definidos, sino que al aumentar la temperatura se ablandan tomando un aspecto "pastoso". Cuando se rompen, presentan bordes irregulares como en el caso del vidrio. Otros ejemplos son: la goma, algunos tipos de plásticos, etc.

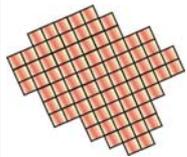
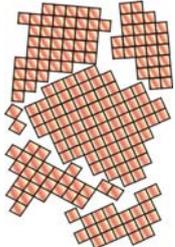
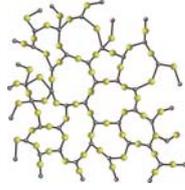
La clasificación de un sólido como cristalino o amorfo no siempre es excluyente. Los plásticos, por ejemplo, tienen cierto grado de cristalinidad, pues pueden tener grandes zonas amorfas entre otras zonas cristalinas.

Los sólidos amorfos al no tener estructuras reticulares regulares presentan idénticas propiedades en todas sus direcciones, por lo que son isotrópicos.

Comparando los distintos estados de la materia, la ubicación de las partículas va desde el orden a largo alcance y el reposo en su posición reticular en los sólidos monocristalinos, hasta el desorden y el movimiento de traslación al azar en los gases; variando las propiedades desde la anisotropía específica hasta la isotropía.



El siguiente cuadro resume estas propiedades de los sólidos, líquidos y gases:

Sólidos		Líquido	Gas
Cristalino		Amorfo	
Monocristal	Policristal		
			
Anisotropía Específica	Isotropía Estadística	Isotropía	
Orden de largo alcance		Orden de corto alcance	Desorden

**Figura 5.** Representación esquemática de la ubicación de las partículas en los distintos estados de la materia.

Pronto veremos la importancia de comprender estos conceptos y cómo son aprovechadas estas propiedades en distintos dispositivos tecnológicos.



# Cristales Líquidos

Hasta el momento se mencionó que la materia puede presentarse en alguno de sus cinco estados de agregación e incluso se caracterizaron los tres más comunes. Sin embargo, existen sustancias que, bajo determinadas condiciones, poseen propiedades que no permiten encuadrarlas en dichos estados. Así surgen expresiones como **fluido supercrítico**<sup>4</sup> o **cristal líquido**.

Recordemos las diferencias entre los cristales y los líquidos. En los cristales ordinarios, los átomos están ubicados en posiciones bien definidas y permanecen en esas condiciones por mucho tiempo, salvo algunos movimientos vibracionales y rotacionales, sin efectos de traslación. En los cristales, tanto las orientaciones como las posiciones de las partículas permanecen fijas, y en ciertas condiciones pueden presentar algún tipo de anisotropía, poseen una temperatura definida de punto de fusión que los diferencia de los sólidos amorfos.

En un líquido, las partículas que lo componen están completamente desordenadas y no presentan ninguna clase de anisotropía.

Un cristal líquido se define como una estructura en la cual se encuentran estados de organización con simetría menor que un cristal y mayor que un líquido. Además comparte algunas características que son propias de los cristales y otras que son propias de los líquidos, es por ello que se convino en denominarlo **cristal líquido**.

<sup>4</sup> El fluido supercrítico es aquel que se encuentra en condiciones de temperatura y presión por encima del punto crítico. En él no se distinguen el estado líquido del gaseoso.

## Historia de los cristales líquidos

La historia de los cristales líquidos se remonta a 1888, cuando el botánico austríaco Otto Reinitzer trabajaba con derivados del colesterol para determinar sus propiedades químicas y biológicas.

Reinitzer se sorprendió al encontrar un componente que parecía tener dos puntos de fusión constantes, en lugar de tener un único punto de fusión que determine el paso del estado sólido al líquido. Primero, los cristales se fundían dando lugar a un fluido denso y opaco, y luego éste, a temperaturas superiores, se convertía en un líquido transparente parecido al agua.

Entonces, sólo se conocían tres estados de la materia: sólido, líquido y gas. El fluido denso mostraba una estructura interna característica de los cristales. Se supuso que se estaba frente al descubrimiento de un nuevo estado de la materia.

Estimulados por esto, los científicos comenzaron la búsqueda de otras sustancias similares. Se encontraron varios derivados del colesterol y de tintes que se comportaban así. Se concluyó que éstas muestran una **mesofase**, es decir, una fase intermedia en ciertos rangos de temperatura; son sustancias líquidas que poseen una estructura interna típica de los sólidos en esos rangos de temperatura.

Transcurridos unos años, el nuevo fenómeno había sido descrito y aceptado, pero los científicos no le habían encontrado aplicación práctica.



En 1970, se demostró que la corriente eléctrica de baja intensidad cambia la estructura interna de la mesofase, también llamada **estado mesomórfico**, lo que provoca variaciones en sus propiedades ópticas. Estas variaciones fueron aprovechadas, junto con otras propiedades como la polaridad de sus moléculas, en los primeros aparatos de cristal líquido, tales como las calculadoras, que requerían poca energía.

## Propiedades de los cristales líquidos

Entre las numerosas propiedades de los cristales líquidos, existen dos que son de gran importancia para varias de sus aplicaciones y que a continuación serán desarrolladas: su actividad óptica y la polaridad de sus moléculas.

### Actividad Óptica

Una sustancia es ópticamente activa si desvía el plano de polarización de un haz de luz polarizada que la atraviesa. Esta frase no es un trabalenguas escrito adrede, veremos lo que significa.

Para comprender este fenómeno y su aplicación tecnológica es necesario analizar algunas propiedades de la luz.

Las fuentes luminosas naturales emiten luz constituida por una sucesión de trenes de onda cuyos planos de oscilación del campo electromagnético varían en todas las direcciones. (Figura 6, izquierda de la rejilla).

Sin embargo, es posible lograr que las vibraciones luminosas se propaguen en un plano único, la luz así obtenida se denomina polarizada (Figura 6, derecha de la rejilla). La luz polarizada es muy frecuente; por ejemplo, aparece en el reflejo de una ruta mojada y en la luz que es reflejada desde un espejo.

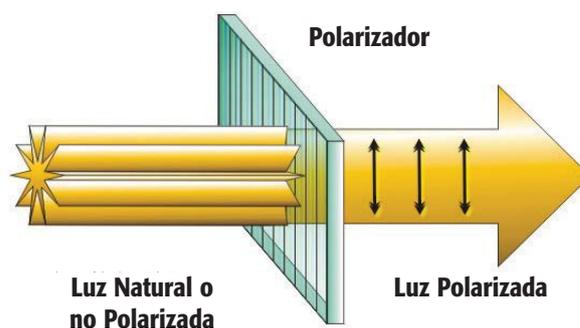
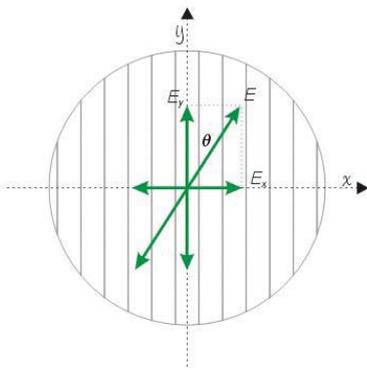


Figura 6. Polarización de un haz de luz al atravesar un polarizador.

Para polarizar algo tan pequeño como las ondas luminosas, es necesario recurrir a una “rejilla” de mallas muy pequeñas, que se denomina polarizador. La naturaleza ofrece a discreción ciertos cristales, cuya estructura molecular en mallas es completamente adecuada para este fin. Algunos de los materiales utilizados son el cristal de calcita y la celulosa (polaroid).

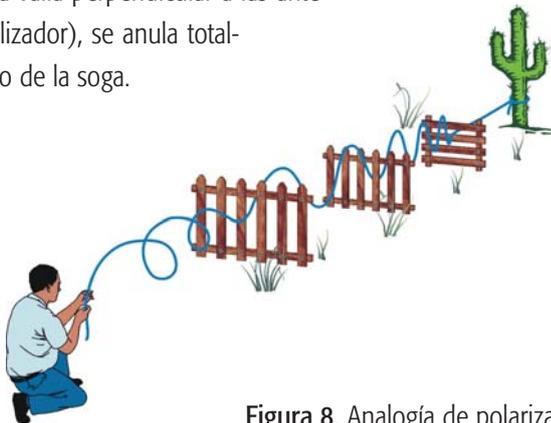


Para el hombre, no es posible diferenciar a simple vista la luz polarizada de la luz natural. Para poder hacerlo es necesario colocar luego del polarizador, un analizador. Éste consiste en otra “rejilla” similar a la anterior, que sólo será atravesada completamente por el haz si se encuentra orientada en dirección paralela al plano de polarización de la luz. De no ser así, sólo pasará la componente paralela a la “rejilla” (ver Figura 7).

**Figura 7.** Componentes de la luz paralela ( $E_y$ ) y perpendicular ( $E_x$ ) al polarizador.

De más está decir que si el plano de polarización es perpendicular, no pasará haz de luz alguno.

Una analogía es la observación de la “polarización del movimiento de una soga” (ver Figura 8). Si se mueve en forma circular el extremo de una soga, esta perturbación se propagará a lo largo de la misma como una onda. Si se interpone una primera valla (polarizador) a la salida de la soga se observa que la perturbación se propaga en un solo plano, se polarizó. Si se interpone una segunda valla paralela a la anterior (primer analizador), no se modifica el movimiento. Si se coloca una tercera valla perpendicular a las anteriores (segundo analizador), se anula totalmente el movimiento de la soga.



**Figura 8.** Analogía de polarización de una onda.

Ya estamos en condiciones de comenzar a comprender el trabalenguas relacionado con la actividad óptica. Si se hace incidir un haz de luz polarizada a través de una sustancia que presenta actividad óptica, el rayo emergente presentará una desviación en su plano de polarización. Este desvío se mide como el ángulo que forman los planos de polarización incidente y emergente.



Si la sustancia desvía el plano de polarización en sentido horario se dice que es **dextrógira**; mientras que si lo desvía en sentido antihorario se dice que es **levógira**. Cualquier molécula que carezca de un plano de simetría o de un punto de simetría, puede presentar este comportamiento.

Si se interpone una muestra de una sustancia ópticamente activa en la trayectoria de un haz de luz entre el polarizador y el analizador inicialmente paralelos, no se observará la salida total de luz después del analizador, salvo que se rote a éste el mismo ángulo que fue desviado el haz de luz debido a la acción de dicha sustancia (ver Figura 9).

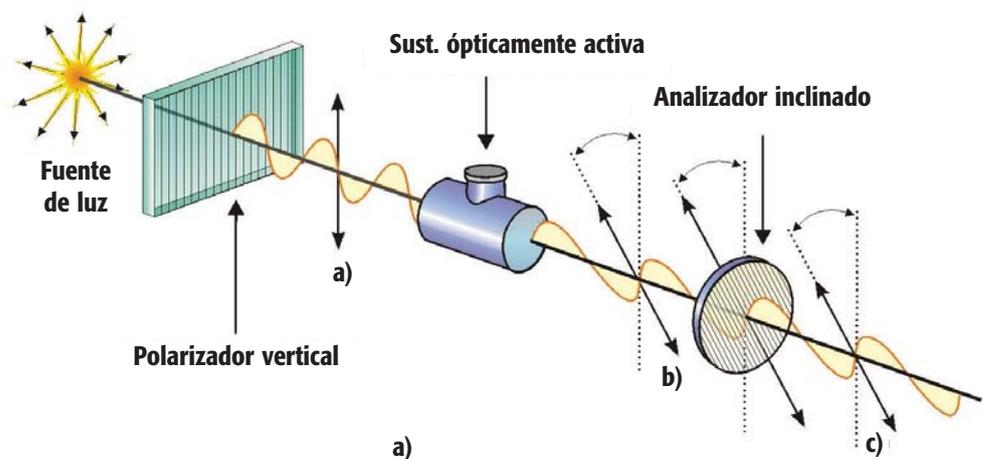


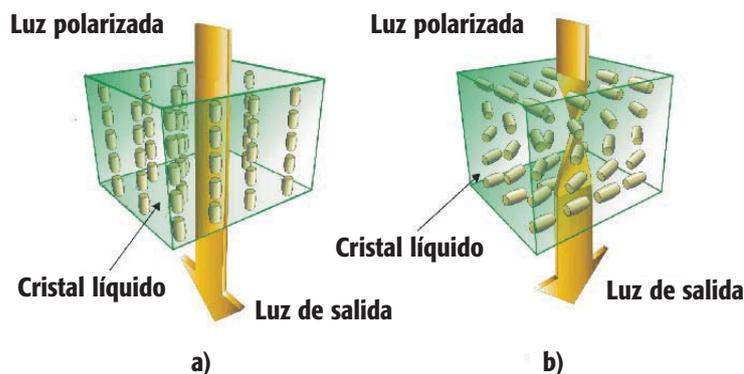
Figura 9. a) Luz polarizada vertical. b) Luz girada polarizada. c) Luz polarizada sin cambios.

Las disoluciones de azúcar de caña son dextrógiras debido a la presencia de un punto de asimetría ocasionado por un átomo de carbono. El cuarzo presenta actividad óptica, la cual es una consecuencia directa de su estructura cristalina; la prueba está en que si se lo funde y se lo deja solidificar como policristal, desaparece esta propiedad.

Muchas partículas que forman los cristales líquidos también presentan el fenómeno anteriormente descrito.

En algunos cristales líquidos, por ejemplo, sucede que si las partículas están orientadas perpendicularmente a la dirección de propagación de la luz, el haz de luz polarizada es rotado a medida que atraviesa la capa de cristal líquido. En cambio, si se logra orientar sus partículas paralelamente a la dirección de propagación de la luz, el haz de luz polarizada no sufre desviación (ver Figura 10).





**Figura 10.** Acción del cristal líquido tipo colestérico sobre la luz polarizada. a) Cristal líquido sin actividad óptica. b) Haz de luz desviado por efecto del cristal líquido.

Por lo tanto, esta sustancia muestra ser ópticamente anisotrópica. De acuerdo al plano de la luz polarizada incidente, éste presentará o no actividad óptica.

Cabe destacar que las soluciones de azúcar no son ópticamente anisótropas, pues al ser líquidas, presentan la misma actividad óptica en cualquier dirección que se mida.

¿Para qué servirá esta propiedad tan *sui generis*? ¿Alguna vez alguien le encontrará una aplicación práctica?

Comercialmente se utiliza como método de determinación de la proporción de azúcar de caña en una muestra dada, es decir, la medida de la rotación del plano de polarización que produce dicha disolución. Así, el conocimiento científico se transformó en tecnología!

## Polaridad

Como se mencionó anteriormente, la otra propiedad de los cristales líquidos en la que se basa su aplicación tecnológica es la polaridad de sus moléculas.

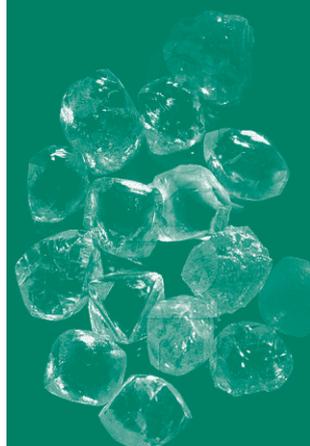
Las moléculas de los cristales líquidos pueden ser polares, es decir que pueden presentar una distribución no uniforme de cargas eléctricas, constituyendo un dipolo. El dipolo es un objeto en el que están presentes dos polos eléctricos, el positivo y el negativo.

Las características son muy diferentes en ambos extremos. Uno de ellos, llamado polo negativo, presenta mayor densidad de carga negativa que el otro, dado que los electrones se encuentran en continuo movimiento y se concentran por más tiempo en esa región de la molécula. Así, el otro extremo de la molécula queda con menor concentración de carga negativa, a éste se lo llama polo positivo.

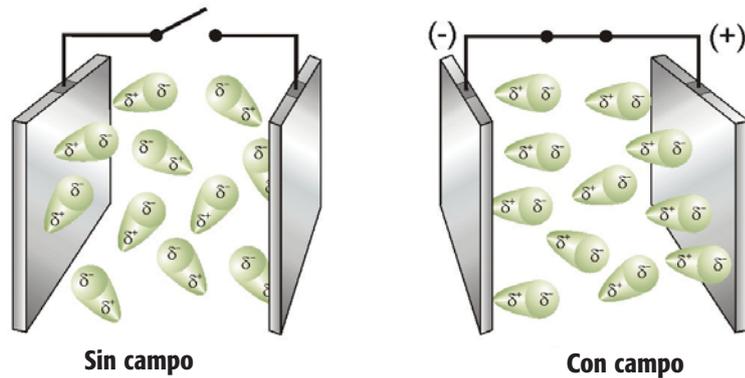
Una molécula polar puede representarse como una flecha o como una figura lobular, tipo gota (ver Figura 11).



**Figura 11.** Distintas representaciones de una molécula polar.



Para demostrar la separación de cargas eléctricas en una molécula polar, se puede colocar una muestra de estas sustancias en un campo eléctrico. Éstas tienden a orientarse de acuerdo al campo, siendo el extremo negativo de la molécula atraído hacia la placa positiva, y el extremo positivo hacia la placa negativa. Cada molécula como un todo es eléctricamente neutra, por lo que no tiene carga neta; como resultado de esto, las moléculas polares sólo se orientarán en el campo, pero no sentirán atracción efectiva hacia ninguna de las placas (ver Figura 12).



**Figura 12.** Moléculas polares sometidas a un campo eléctrico. Tienen a alinearse en sentido opuesto al campo.

Las moléculas no polares no sienten efecto alguno ni se orientan en un campo eléctrico.

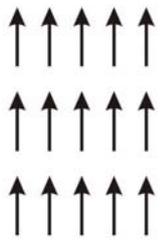
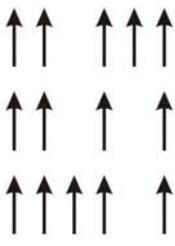
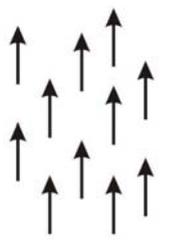
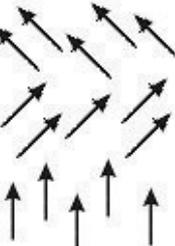
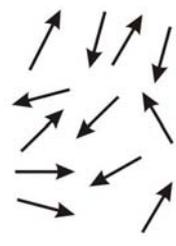
En ciertas moléculas orgánicas llamadas **calamíticas**, se pueden presentar estados tales como los descritos para los cristales líquidos. Las moléculas calamíticas son alargadas, rectilíneas, rígidas y muy polares.

En aquellos sólidos formados por moléculas calamíticas, la fusión produce un estado intermedio de fluido viscoso, el cristal líquido, el cual es anisotrópico en sus propiedades ópticas. Cuando aumenta la temperatura, este estado mesomorfo presenta otro punto de fusión, convirtiéndose en un líquido isotrópico (ver Figura 13).



**Figura 13.** Representación de los distintos estados y características por las que atraviesa un sólido del tipo de cristal líquido, con el aumento de la temperatura.

La Figura 14 esquematiza cuatro estados anisotrópicos y un estado isotrópico de las moléculas calamíticas; pudiendo realizarse el siguiente análisis:

Cristales de moléculas calamíticas	Cristal anisótropo			Líquido isotrópico
	Esméctico	Nemático	Colestérico	
				
a	b	c	d	e

**Figura 14.** Esquema de ubicación y características de los estados posibles en las moléculas calamíticas.

- La **Figura 14.a** representa las moléculas calamíticas como **sólido cristalino**. Muestra una regularidad de posición y de orientación de las moléculas.
- La **Figura 14.b** representa un estado mesomorfo de estas moléculas, denominado **cristal líquido esméctico**. Muestra una estratificación regular y posición al azar de las partículas, a pesar su orientación fija.
- La **Figura 14.c** es la representación de otro estado mesomorfo, en el cual las moléculas muestran un desorden de posición pero también con una orientación fija. Este estado se llama **cristal líquido nemático**.
- La **Figura 14.d** es la representación de la mesofase colestérica, que consta de capas de cristales orientadas en forma nemática y rotadas un determinado ángulo respecto de las siguientes.
- La **Figura 14.e** representa a las moléculas calamíticas en el estado líquido en donde ahora hay desorden de posición y de orientación.

Se distinguen entonces tres clases de cristales líquidos:

- **Esmécticos:** la regularidad de posición molecular está parcialmente abolida. Las moléculas se sitúan al azar en estratos paralelos que distan entre sí unos 2 Amströng. La orientación molecular es constante.
- **Nemáticos:** ya no existen estratos. La posición de las moléculas es completamente desordenada, pero éstas tienen forma de varilla y están



apuntando en la misma dirección. La única regularidad es la constancia de orientación.

- **Colestéricos:** estos cristales son llamados así debido a que poseen una estructura molecular similar a la del colesterol. Si bien los cristales líquidos colestéricos se asemejan a los nemáticos, el eje molecular cambia secuencialmente de dirección. Este efecto es explicado mediante el análisis de la estructura molecular del cristal, y produce la rotación del eje de orientación, que al pasar de un plano a otro describe una trayectoria en forma de hélice.

## Aplicaciones de los cristales líquidos

Mucho se estudió sobre las propiedades de los materiales líquidos cristalinos. El conocimiento se tiene a mano, ahora es el momento de encontrar los procesos para su aplicación.

A continuación se describirán algunos de los instrumentos más empleados que funcionan en base a estas propiedades.

### Monitores monocromáticos LCD

Imaginemos poder “jugar” con la claridad y la oscuridad utilizando un haz de luz, un polarizador y un analizador.

Girando este último observaríamos después de él desde la máxima intensidad de luz hasta la oscuridad. Imaginemos ahora que a una pantalla la dividimos en muchas cuadrículas o “píxeles” y que cada una de ellas deje pasar luz o no según se orienta el dispositivo “iluminador” ya ideado. De esta manera, podemos dibujar letras o imágenes en la pantalla, iluminando convenientemente algunos píxeles.

Un equipo como éste, probablemente no sea opción muy conveniente técnicamente hablando, pues se necesitaría un dispositivo mecánico que produzca el movimiento de giro del analizador.

¿Será posible aprovechar las propiedades del cristal líquido para lograr esto? Si se coloca una capa de esta sustancia entre el polarizador y el analizador, ambos fijos, y se hace “rotar” el cristal líquido para que cambie su actividad óptica respecto a la luz polarizada incidente, iluminará o no el píxel. ¿Se lo podrá rotar de alguna forma no mecánica?

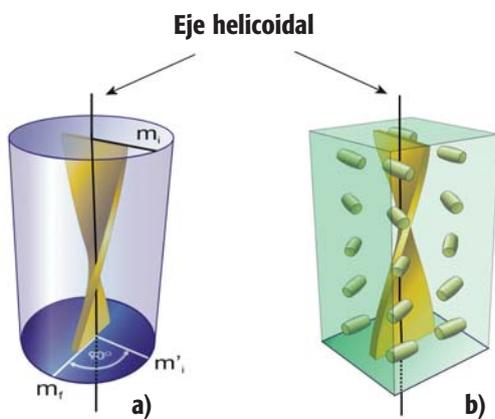
Es posible manipular las propiedades ópticas de un cristal líquido sometiéndolo a un campo eléctrico, el cual cambia la orientación de sus moléculas por ser éstas polares. Cuando se les aplica un campo eléctrico, los cristales líquidos se orientan de una forma diferente (muestran otra cara del cristal), modificando así su propiedad óptica.

Tener la posibilidad de “girar” el cristal líquido para que cambie la actividad óptica respecto a la luz polarizada incidente, es lo que permite iluminar la pantalla y así obtener la imagen buscada.



Comercialmente se usa cristal líquido nemático (moléculas en posición aleatoria y orientación paralela), y se coloca una delgada lámina de éste entre dos placas cristalinas, transparentes y rugosas. Los planos de estas placas son paralelos entre sí y con el plano de los ejes de las moléculas calamfíticas.

Al girar lentamente una placa transparente respecto a la otra, las moléculas se orientan y sus ejes adoptan la forma de los peldaños de una escalera de caracol (ver Figura 15). Si el ángulo girado por las placas es de  $90^\circ$ , los extremos de los ejes forman una hélice y las orientaciones de las moléculas  $m_i$  (molécula inicial), unida a la primera placa, y  $m_f$  (molécula final) unida a la última, forman también un ángulo de  $90^\circ$ . A esta clase de cristal líquido se le denomina **nemático girado**.



**Figura 15.** a) Representación del giro helicoidal de la capa de cristal líquido. b) Imagen de un giro helicoidal de las partículas.

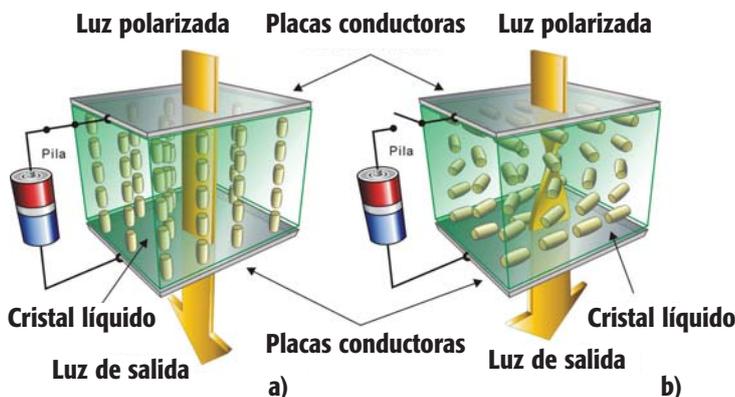
Esta rotación de las capas del cristal líquido se puede comparar con tener un mazo de naipes entre las manos y hacer rotar una carta respecto de la otra hasta completar con las manos un ángulo de  $90^\circ$ .

Si la experiencia es exitosa, se observa cómo cada naipе gira un pequeño ángulo respecto del otro, asemejándose a la forma de una escalera caracol aplanada.

Se ubica el cristal líquido nemático girado de manera tal que las moléculas estén orientadas perpendicularmente a la dirección de propagación de la luz, y entre dos placas conductoras delgadas y transparentes.

Se logra un cambio apreciable en la orientación de las moléculas con una mínima entrega de energía. Si se aplica un campo eléctrico en dirección paralela al eje helicoidal de giro de las moléculas del cristal, por ejemplo conectando una pila entre las placas, las mismas se orientan paralelamente al campo.

Si se desconecta la pila, cesa el campo eléctrico externo y la capa de cristal líquido vuelve a su forma original.



**Figura 16.** Efecto del cristal líquido nemático girado sobre la luz polarizada. a) Con campo eléctrico externo. b) Sin campo.

5 De manera comparativa, recuerda que una pila chica tiene una tensión de 1,5V.

Si se aplica una tensión de unos  $0,5 \text{ V}^5$  a la lámina de cristal líquido nemático girado, el campo eléctrico orienta las moléculas en dirección paralela al mismo, evitando su disposición helicoidal; por lo que la luz polarizada no podrá atravesar el analizador, como se observa en la Figura 17:

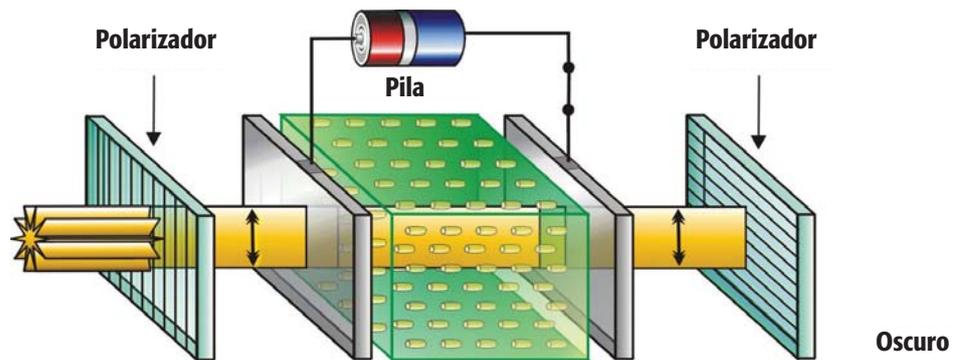


Figura 17. La luz polarizada no atraviesa el analizador a causa del efecto del campo eléctrico.

Mientras que, al desconectar la pila, la ausencia de campo eléctrico provoca la reorientación de las partículas de la capa de cristal líquido; ésta desviará un ángulo de  $90^\circ$  el plano de polarización de un haz de luz polarizada que la atraviese y el haz de luz traspasará el dispositivo. Observa la Figura 18:

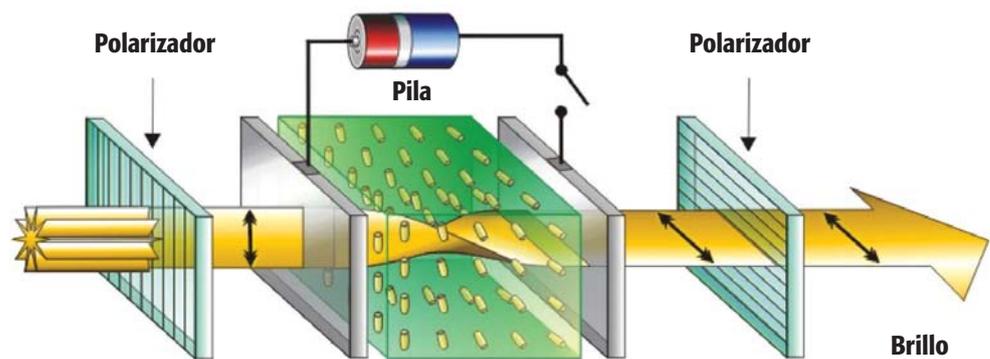
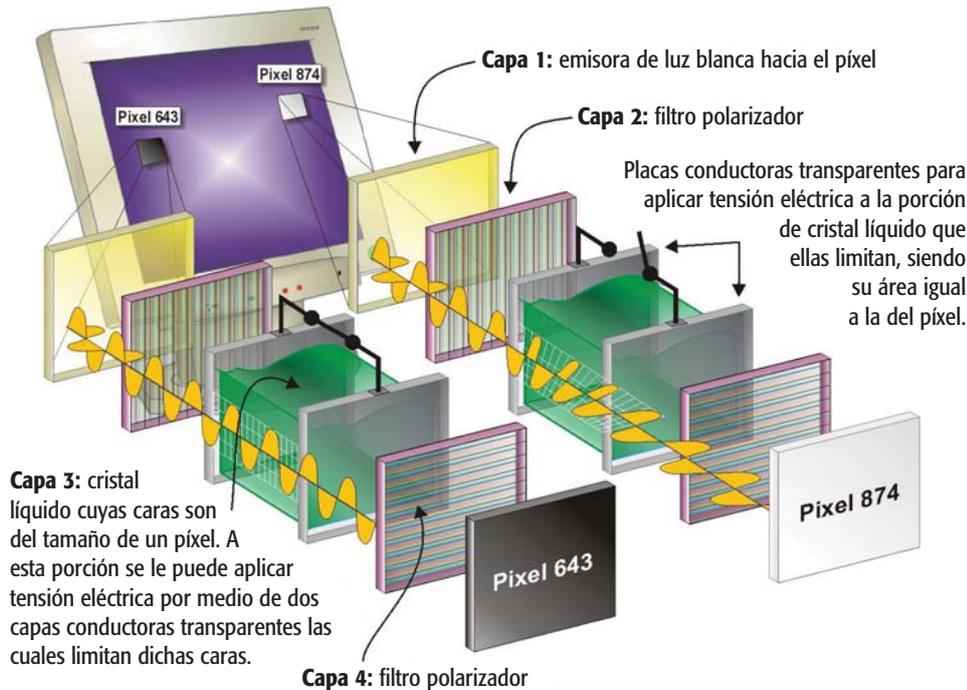


Figura 18. Paso del haz de luz polarizada por el segundo polarizador, luego de haber girado  $90^\circ$  al atravesar la capa de cristal líquido, debido a que no está sometido a un campo eléctrico externo.



La Figura 19 es una representación esquemática de todos los componentes de un monitor de cristal líquido blanco y negro, donde se observan separadas las placas metálicas, el polarizador y el analizador.



**Figura 19.** Esquema de las capas que componen un monitor de cristal líquido monocromático.

Nuevamente, el conocimiento científico pudo plasmarse en una tecnología de avanzada.

## Monitores color LCD

¿Cómo hacemos ahora para darle color a esta pantalla?

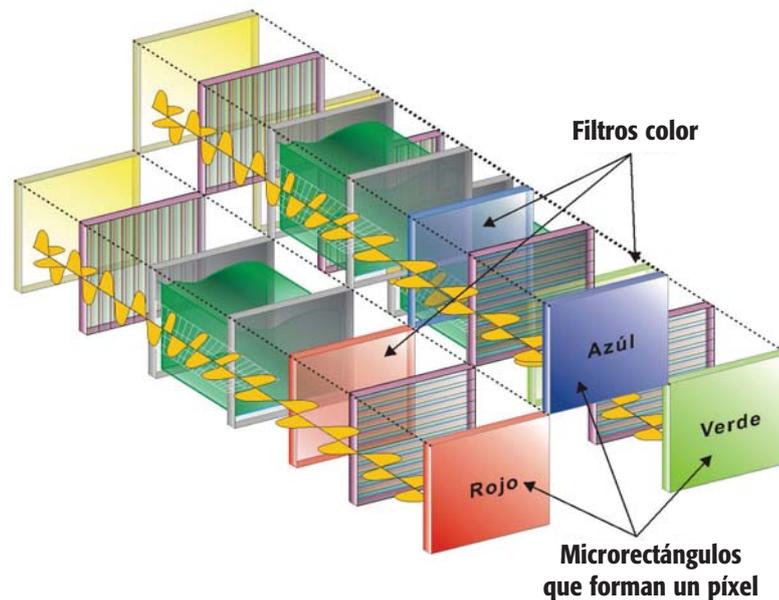
Un monitor color es más complejo que el blanco y negro. Cada píxel debe formarse con tres porciones de cristal líquido muy próximas a las cuales se les ha agregado, antes del analizador, filtros que absorben determinadas longitudes de onda de la luz blanca incidente, dejando pasar la longitud correspondiente a cada uno de los colores primarios aditivos<sup>6</sup> (rojo, verde y azul).

Estas porciones requieren ser de un tamaño tal que el píxel correspondiente se vea de un color determinado, resultante de la combinación de estos tres colores.

Para lograr una gran variedad de colores, se regula la intensidad de la luz emergente que atraviesa cada uno de los filtros, haciendo que las moléculas se orienten más o menos según el voltaje aplicado.

<sup>6</sup> Los colores primarios aditivos son rojo, verde y azul y permiten obtener los demás colores como suma de ondas electromagnéticas. Los colores primarios sustractivos son rojo, amarillo y azul, a partir de los cuales se puede obtener un color por absorción de las ondas electromagnéticas de los restantes colores.

En síntesis, la pantalla color de cristal líquido está compuesta por cinco capas:



**Figura 20.** Representación de las tres porciones de cristal líquido con sus respectivos filtros para formar un píxel de un color, determinado por la suma de los tres colores primarios con una cierta intensidad.

- Una capa interna que ilumina desde atrás hacia la pantalla, generando luz blanca. Esta luz consiste, como cualquier haz de luz, en ondas electromagnéticas que vibran en diferentes planos de propagación.
- La segunda capa es el **polarizador**, el cual deja pasar sólo un plano de luz.
- La tercera capa o intermedia de la pantalla es la capa cristalina, que consta de dos placas conductoras transparentes de óxido de estaño, entre las que se puede aplicar tensión desde un valor cero hasta un valor máximo de unos 0,5V; teniendo entre medio la sustancia orgánica viscosa llamada **cristal líquido**.
- La cuarta capa es el filtro de longitudes de onda.
- La última capa es otro polarizador a 90°, llamado **analizador**.

## Calculadoras

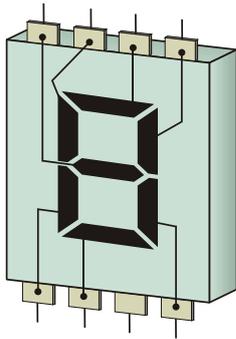
¿Podremos achicar estos dispositivos para hacerlos más portátiles, de bolsillo? Por ejemplo, ¿podremos diseñar pantallas que no necesiten un foco emisor de luz desde su interior? Parece que además del conocimiento científico hace falta imaginación.

Las calculadoras actuales son de bajo consumo, porque no requieren energía eléctrica para generar luz de alguna manera, sino que utilizan la luz natural proveniente del exterior.

El dispositivo consta del polarizador, la capa de cristal líquido nemático girado con las placas

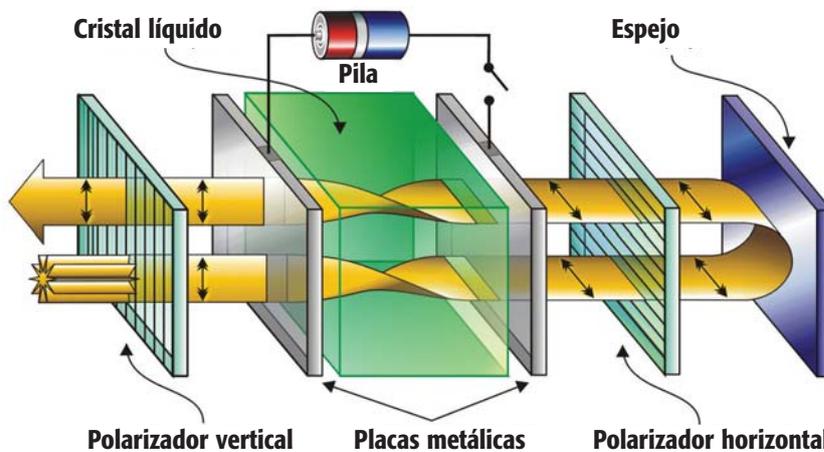
conductoras incluidas, el analizador a  $90^\circ$  y un espejo reflectante en la cara posterior.

La Figura 21 esquematiza una unidad de display de 7 segmentos, los cuales son porciones de cristal líquido conectados de forma tal que se le puede aplicar o no tensión de unos 0,5 V a cada segmento. Internamente se crean superficies reflectivas o no reflectivas, de modo tal que se pueden dibujar los números del 0 al 9.



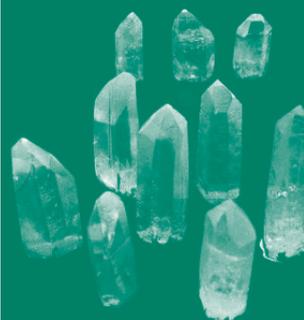
**Figura 21.** Representación de una parte de display de calculadora donde se oscurecerán algunos segmentos formando así un número.

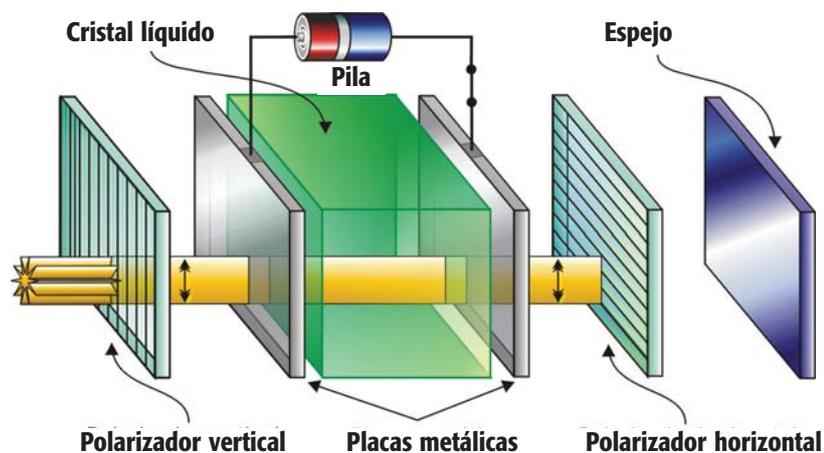
La luz natural atraviesa el polarizador y de esta manera se polariza en una única dirección. De no haber tensión aplicada entre las placas conductoras, el haz de luz atraviesa el cristal líquido girando  $90^\circ$ , cruzando el analizador, reflejándose en el espejo, y repitiendo el proceso en orden inverso difundiendo la luz al exterior. El segmento en esas condiciones se verá iluminado.



**Figura 22.** Esquema del paso a través del sistema polarizador - cristal líquido - analizador, reflexión y salida de un haz de luz polarizada en un segmento de display de calculadora sin tensión eléctrica.

Si en un segmento se aplica una diferencia de potencial entre las láminas conductoras, la luz natural atraviesa el polarizador, se polariza, cruza el cristal líquido sin desviarse, y por lo tanto no atraviesa el analizador, ni se refleja luz alguna. Este segmento se verá opaco, como muestra en la Figura 23.





**Figura 23.** Esquema del paso a través del sistema polarizador - cristal líquido y retención de un haz de luz polarizada en el analizador en un segmento de display de calculadora con tensión eléctrica.

Las mismas propiedades de los cristales líquidos utilizadas en el funcionamiento de los monitores y calculadoras (actividad óptica y polaridad de sus moléculas) se aplican en otros dispositivos digitales, como celulares, relojes, equipos de audio, etc.

## Otras aplicaciones de los cristales líquidos

Para comprender profundamente el funcionamiento de otros equipos basados en tecnología CL, es necesario saber que los cristales líquidos presentan otras propiedades como la birrefringencia, refracción, reflexión, reflexión selectiva, etc. Un desarrollo detallado de todos esos fenómenos físicos, implicaría abordar un conjunto de temas que superan el alcance del presente trabajo.

Sin embargo, mencionaremos algunos dispositivos que son muy conocidos, como los indicadores de temperatura.

Unas de las propiedades que se mencionó como característica a medir para analizar la anisotropía de un sólido es la velocidad de propagación de una onda luminosa en ese medio. Cuando esta velocidad no es la misma en todas las direcciones, se dice que el cristal es birrefringente. Si un rayo incide sobre un material **birrefringente**, éste se divide en dos rayos que atraviesan al sólido, uno denominado rayo ordinario y otro denominado rayo extraordinario. La experiencia demuestra que ambos están polarizados linealmente<sup>7</sup> y en direcciones perpendiculares entre sí y pueden tener diferente velocidad de propagación.

Ciertos cristales birrefringentes presentan **dicroísmo**<sup>8</sup> debido a que una de las componentes polarizadas es absorbida con mayor intensidad que la otra.

De acuerdo a la frecuencia de la vibración luminosa, a los índices de refracción del cristal para los rayos ordinario y extraordinario y al espesor del cristal, se produce un desfasaje en las ondas

**7** En ciertas condiciones, el rayo ordinario y el extraordinario pueden seguir la misma trayectoria pero a diferentes velocidades. Al salir del cristal, estarán desfasados entre sí. Según sea el desfasaje, la luz emergente estará polarizada circularmente, elípticamente o linealmente.

**8** Dicroísmo: efecto óptico que se presenta en algunos cristales cuando son iluminados con luz polarizada; pueden verse de dos colores distintos si se observan desde ángulos diferentes.

de ambos rayos; se puede lograr que se refleje sólo una longitud de onda de un color dado. Si por ejemplo el cristal tiene un espesor tal que introduce una diferencia de fase para una frecuencia dada, la luz emergente está polarizada linealmente y por lo tanto habrá alguna posición en la que un analizador pueda detenerla completamente<sup>9</sup>. Se dice que ese cristal es una lámina semionda para la frecuencia de dicha onda, para cualquier otra frecuencia no será una lámina semionda; por lo tanto, si una lámina es semionda para la luz roja, se pueden intentar dos casos extremos: hacer que predomine ese color o eliminarlo.

Si se ilumina con luz blanca a esa lámina, sólo la componente roja estará polarizada linealmente; todas las otras longitudes de onda están polarizadas circular o elípticamente.

Si se coloca el analizador paralelo al plano de polarización de esa onda, suprimirá en mayor o menor proporción todas las otras ondas. La luz resultante tendrá un matiz rojizo.

Si se colocara el analizador  $90^\circ$  respecto de la posición anterior, anularía completamente el rojo, mientras que las otras longitudes de onda se transmitirán en cierto grado. La luz resultante será la complementaria del rojo, que es el verde.

De esta manera, podríamos fabricar nuestro propio arco iris. El sueño de todos los niños! Si la lámina cristalina varía gradualmente de espesor a lo largo de la misma, una parte de ella será lámina semionda del rojo, otra del amarillo, otra del verde y así sucesivamente.

## Termómetros

Ya hemos mencionado cómo es la estructura de un cristal líquido colestérico.

Experimentalmente se encontró que cada una de las capas que conforman el cristal no está orientada al azar, sino que está girada unos  $15^\circ$  respecto de sus vecinas. Por lo tanto, las moléculas del cristal colestérico como un todo, presentan una forma helicoidal, similar a los cristales líquidos nemáticos girados. Para encontrar dos capas orientadas idénticamente se necesitan entonces unas 24 capas, lo que implica que la hélice da una vuelta completa ( $360^\circ$ ).

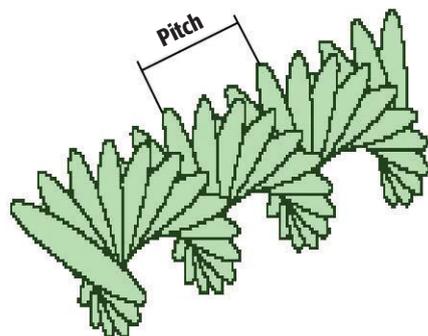
La orientación en espiral de sus moléculas da al cristal líquido colestérico un retorcimiento con apariencia de onda. Tiene inclusive crestas, donde todas las moléculas tienden a orientarse hacia arriba y hacia abajo, en lugar de hacia los lados. El espacio entre crestas adyacentes se denomina *pitch* (paso), la misma palabra inglesa usada para describir la distancia entre las ranuras de un tornillo.

La base del funcionamiento de los termómetros de cristal líquido es que éstos poseen la propiedad de ser birrefringentes, y que el *pitch* depende fuertemente de la temperatura.

El *pitch* es uno de los parámetros principales a la hora de seleccionar estos materiales para su uso en termómetros, pues su valor es del orden de las longitudes de onda del espectro visible. De acuerdo a la composición química del cristal líquido y a la temperatura a la que éste se encuentra, puede tener un valor entre unas decenas de nanómetros y algunos micrones.

<sup>9</sup> Una luz polarizada circularmente no mostrará variación de intensidad por el giro del analizador, puede parecer luz no polarizada. Una luz polarizada elípticamente presentará variación de intensidad a medida que se gira el analizador, pero no habrá posición de éste que la anule totalmente.





**Figura 24.** Representación helicoidal del cristal líquido colestérico.

Para cada cristal líquido colestérico, hay un estrecho rango de temperaturas entre las cuales el pitch de la espiral es del orden de la longitud de onda del espectro visible.

Cuando se ilumina con luz blanca una capa de cristal líquido colestérico, de manera que la dirección de propagación de la luz sea paralela al eje de la hélice, ésta se polariza originando los rayos ordinario y extraordinario. Para una longitud de onda dada, los rayos se encuentran desfasados en un ángulo de  $90^\circ$  resultando una onda polarizada circularmente, y por tanto esta capa actúa como una lámina cuarto de onda.

Experimentalmente se comprueba que el pitch disminuye al aumentar la temperatura y que la máxima reflexión se da para la onda cuya longitud de onda está directamente relacionada con el pitch, y que es la onda que se polarizó circularmente dentro de la estructura del cristal líquido. Un observador verá el color correspondiente a esa longitud de onda.

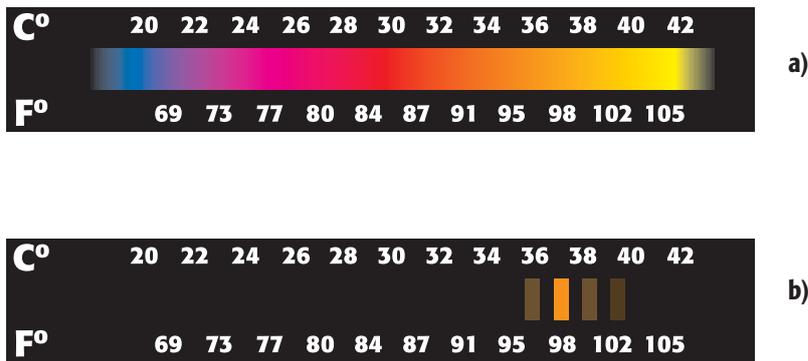
Se pueden fabricar termómetros de precisión, de unas décimas de grado, jugando con distintos tipos de cristales líquidos y sus espesores.

Por ejemplo, si a  $40^\circ\text{C}$  el pitch de un cristal líquido particular permite reflejar luz azul, se verá de color azul cuando se ilumine con luz blanca. Si a  $36^\circ\text{C}$ , el pitch es más largo y refleja la longitud de onda de la luz roja, entonces se verá de color rojo. Si a  $32^\circ\text{C}$  el pitch es mucho más largo y no refleja longitud de onda del espectro visible, entonces sólo se reflejará radiación infrarroja, y aparecerá transparente. En resumen, al variar la temperatura, se modifica el pitch y, por lo tanto, el color reflejado. Este comportamiento se denomina **reflexión selectiva** y es causado principalmente por la interferencia constructiva<sup>10</sup>.

El termómetro está constituido por una lámina plástica de color negro sobre la cual se insertan gotas de distintos cristales líquidos en forma espaciada. Sobre cada una de ellas se agrega una capa plástica transparente con la inscripción del número que indicará la temperatura señalada, así el cristal líquido refleja solamente la luz de color asociada a la temperatura que marca ese número. A menos que el cristal líquido esté reflejando selectivamente la luz, el visor se verá negro.

**10** La interferencia es un fenómeno que se presenta cuando se superponen dos o más trenes de ondas. Se dice constructiva cuando el desfase entre las ondas que interfieren es un múltiplo entero de la longitud de onda (las crestas coinciden entre sí).





**Figura 25.** a) Representación ideal de la escala de colores en un termómetro de cristal líquido. b) Vista de un termómetro de cristal líquido que indica 37°C de temperatura. Se puede observar que los cristales próximos al indicativo se encuentran también levemente coloreados.

La cara superior del termómetro debe ser aislante, debido a que lee temperaturas de su cara inferior. Así, se pueden emplear para medir temperaturas corporales, de superficies de vidrio en peceras y botellas de vino, etc.

### Polímeros de cristal líquido

Un polímero es una sustancia formada por grandes moléculas (macromoléculas) constituidas por muchas unidades pequeñas que se repiten llamadas **monómeros**.

En la naturaleza se encuentran polímeros en la mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, tal es el caso de las proteínas, la madera, el caucho, las resinas, etc.

Sin embargo, se puede sintetizar un polímero “a medida” variando los monómeros de partida y por ende sus propiedades intrínsecas, ya sea cambiando la forma de procesamiento como modificando los aditivos.

El universo polimérico es muy amplio y variable, por la abundancia de sus monómeros; por la variedad de tipos que hay, tales como plásticos, resinas, fibras o elastómeros; y por sus usos en recubrimientos, adhesivos, etc. Dentro de las propiedades de estos materiales, las mecánicas son fundamentales para delimitar su uso.

Algunos polímeros son cristales líquidos de importancia comercial, como por ejemplo el Kevlar. El ordenamiento anisotrópico de sus largas moléculas le confieren propiedades de alta resistencia, por lo que puede emplearse en chalecos antibala y en paragolpes y tableros de automóviles.



# Reflexión

Es un compromiso social de toda la comunidad científica trascender sus límites y transmitir los resultados de su tarea.

El docente es el que permite que el conocimiento científico adquirido a través de la investigación llegue a los distintos niveles educativos, seleccionando el saber a enseñar y adecuándolo a las circunstancias de enseñanza.

Dentro de este complejo proceso, el desafío es poder enseñar los contenidos curriculares establecidos desde los nuevos saberes, para formar en los alumnos mentes reflexivas y críticas a partir del mundo que actualmente nos rodea, es decir "el hoy".

Carl Sagan, un astrofísico que aportó mucho a la divulgación científica, menciona en uno de sus libros<sup>11</sup>: "...tenemos una inclinación profunda por la ciencia, en todos los tiempos, lugares y culturas. Ha sido el medio de nuestra supervivencia. Es nuestro derecho de nacimiento. Cuando, por indiferencia, falta de atención, incompetencia o temor al escepticismo, alejamos a los niños de la ciencia, les estamos privando de un derecho, los despojamos de las herramientas necesarias para manejar su futuro."

El estudio de las propiedades de la materia y las aplicaciones y usos de los materiales novedosos, representados aquí por los cristales líquidos, es una oportunidad para hacer "volar la imaginación" y desarrollar instrumentos de lo más insólitos; ¿A quién se le hubiera ocurrido, por ejemplo, diseñar las ventanas inteligentes con cristales líquidos, capaces de verse opacas o transparentes según la intensidad de la luz solar?, sistemas como éstos ya se están empleando.

Si es necesario conocer "la Naturaleza", también es importante saber cómo aprovechar los beneficios que ésta nos brinda, pero que no los regala, sino que tenemos que descubrirlos y así sentir una gran satisfacción. ¡Qué buena estrategia sería comenzar a pensar, de todas las cosas que conocemos, cuáles son útiles para generar tecnología que contribuya a una mejor calidad de vida para todos los habitantes de la Tierra!

"Todo lo que el ser humano cree o ejecute en armonía con la "Ley del amor" es natural. Cuando el hombre actúa en armonía con los principios eternos, el universo entero es su patrimonio y puede disponer de él para su felicidad, utilizando de toda la imaginación y tecnología que sea capaz de conseguir"

Enrique Barrios

<sup>11</sup> El mundo y sus demonios.  
La ciencia como una luz en  
la oscuridad. Ed. Planeta.  
1995. Pág 344

---

# Bibliografía

---

**Blinov, L.M.** "Electro-optical and magneto-optical Properties of Liquid Crystals". John Wiley. 1983.

**Budinski, Kenneth G.; Budinski, Michael K.** "Engineering Materials. Properties and Selection". Editorial Prentice Hall. New Jersey, 1999.

**Collings, P.J.** "Liquid Crystals", Adam Hilger. 1990.

**Maiztegui, Alberto; Sabato, Jorge.** "Física II, séptima edición". Editorial Kapelusz. Argentina, 1972.

**Martínez Riachi, Susana; Freites, Margarita.** "Química para Ingeniería en Sistemas de Información". Editorial Copiar. Argentina, 2001.

**Ministerio de Educación.** "Programa Nacional de Innovación Educativa". 2000.

**Ministerio de Educación.** "Programa Nacional de Gestión Curricular y Capacitación. 2000.

**Schaffer, James; P. Saxena Ashok y otros.** "The Science and design of engineering materials". Editorial Mc Graw Hill. Boston, 1999.

**Shackelford James F.** "Ciencia de Materiales para Ingenieros". Editorial Prentice Hall Hispanoamérica S.A. México, 1992.

**Umland, Jean; Bellama, Jon.** "Química General, tercera edición". Editorial Thomson. México, 2003.

Páginas web

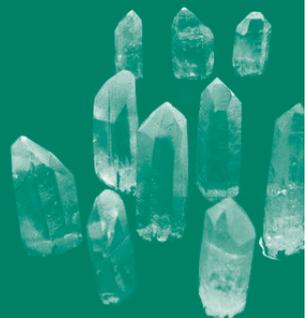
[http://www.cemes.fr/r2\\_rech/r2\\_sr4\\_nmat/th3\\_cholest.htm](http://www.cemes.fr/r2_rech/r2_sr4_nmat/th3_cholest.htm)

<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/textbook.htm>

<http://www.hull.ac.uk/chemistry/research/LChistory.html>

# Índice

<b>Estados de la Materia</b> .....	3
Los cinco estados de la materia .....	3
El Estado Sólido.....	5
Sólidos cristalinos.....	5
Sólidos policristalinos.....	5
Sólidos monocristalinos.....	7
Sólidos Amorfos .....	9
<b>Cristales Líquidos</b> .....	11
Historia de los cristales líquidos .....	11
Propiedades de los cristales líquidos.....	12
Actividad óptica .....	12
Polaridad .....	15
Aplicaciones de los cristales líquidos .....	18
Monitores monocromáticos LCD .....	18
Monitores color LCD .....	21
Calculadoras .....	22
Otras aplicaciones de los cristales líquidos .....	24
Termómetros.....	25
Polímeros de cristal líquido.....	27
<b>Reflexión</b> .....	28
<b>Bibliografía</b> .....	29
<b>Índice</b> .....	30



## **Trabajos seleccionados en la Convocatoria 2005**

### **Cristales líquidos:**

#### **un ejemplo fantástico de aplicación tecnológica de las propiedades de la materia**

S. Martínez Riachi, C. Carreño, L. Constable, P. Tarabaín, M. Freites

### **Agua subterránea y ambiente**

M. Blarasín, A. Cabrera

### **Fertilizantes y abonos: "alimentos" para las plantas**

A. Ringuelet, I. Gil

### **El calentamiento global de la tierra: un ejemplo de equilibrio dinámico**

V. Capuano, J. Martín

### **Los riesgos del alcohol en el embarazo**

R. Rovasio

# LA CIENCIA EN LA ESCUELA

El uso de los descubrimientos científicos y tecnológicos pueden afectar, positiva o negativamente, al bienestar y al desarrollo de la sociedad.

Nos encontramos ante la paradoja de una sociedad cada vez más tecnificada y con una mayor dependencia científica y, al mismo tiempo, escasamente informada en estas disciplinas.

Si la ciencia y la tecnología están cada vez más presentes en nuestras vidas, la comprensión de este fenómeno por parte de toda la sociedad se considera como uno de los valores intrínsecos de la democracia.

La ciencia es de todos, y para lograr su apropiación la escuela desempeña un rol fundamental. Docentes y directivos se cuestionan constantemente sobre la correspondencia entre el conocimiento científico y el conocimiento que se enseña en la escuela.

Al mismo tiempo, desde los ámbitos de investigación se evidencia la necesidad de transmitir el conocimiento producido a la sociedad.

Para que la ciencia llegue a la escuela, este conocimiento necesita ser adaptado para su difusión y enseñanza, es decir, que el conocimiento científico se convierta a través de sucesivas simplificaciones en conocimiento escolar, adecuado para alumnos de diferentes edades y desarrollo intelectual.

CORDOBENSIS pretende conducir este esfuerzo de transposición didáctica, y convertirse así en un instrumento de divulgación científica que permita llevar aquellos conocimientos generados por los investigadores cordobeses a todas las escuelas de nuestra provincia.



Gobierno de Córdoba  
Ministerio de Educación

CEDEPAP  
CENTRO DE DESARROLLO  
DE PROYECTOS AVANZADOS



AGENCIA  
CORDOBA  
CIENCIA  
S.E.