

cristales líquidos

dispositivos electroópticos de representación (II)

En este segundo artículo sobre cristales líquidos, se tratarán aquellos aspectos de los mismos que han encontrado aplicación práctica en dispositivos de visualización y conversores ópticos. Se darán sus aspectos más usuales para empleos convencionales y un estudio comparativo de los diferentes tipos.

M.A. Muriel, J.A. Martín Pereda y J.M. Otón

LIQUID CRYSTALS

Electrooptic display devices (part two)

The second part of this work on liquid crystals concerns their present practical applications on displays and optical converters. Their main characteristics for conventional uses are described. A comparative study of the different types is also presented.

INTRODUCCION

Como ya se expuso en el primer artículo de esta pequeña serie dedicada a los cristales líquidos, las potenciales aplicaciones que pueden ofrecer estos materiales sobrepasan con mucho a las de casi todos aquellos actualmente en uso. La única excepción la constituyen, quizás, los semiconductores, ya ampliamente conocidos de todos. Pero, como también se comentó en dicho artículo, han sido muy pocas las que, hasta la fecha, han encontrado un uso tan generalizado como el que pudiera tenerse, por ejemplo, en los diodos emisores de luz o en los tubos de rayos catódicos. La única excepción la constituyen los visualizadores pasivos realizados con nemáticos del tipo positivo. Su uso es ya hoy tan general que muy pocos son los hogares en los que, de una forma u otra, bien en relojes o en calculadoras de bolsillo, no estén presentes. Por ello, en el presente artículo, nuestro interés se centrará en el estudio de sus propiedades y características así como en el de su empleo. Aunque ya han aparecido en la literatura en castellano algunos artículos sobre este tema, no creemos que con ellos haya quedado cerrado el mismo. Nuestra exposición, lógicamente, habrá de tener bastante puntos en común con ellos. Ahora bien, estimamos que existen otros dispositivos, basados en un principio de trabajo análogo y de muy reciente aparición, que merecen también entrar en este apartado de usos reales y generalizados. De casi todos ellos se darán aquí sus principios de funcionamiento y cuáles son las perspectivas futuras y sus tendencias. En ningún caso haremos referencia a ningún tipo particular ya que cada fabricante emplea un nemático diferente. Se darán, tan sólo, las características

generales que en cada caso concreto habrán de ser precisadas.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VISUALIZADORES DE CRISTAL LIQUIDO

Visualizadores por dispersión dinámica

Como ya se vió en el artículo anterior, cuando a una célula de cristal líquido nemático con anisotropía dieléctrica negativa se le aplica una cierta tensión continua o una alterna de baja frecuencia, se produce un efecto que recibe el nombre de dispersión dinámica. Este efecto consiste, básicamente, en un movimiento de carácter turbulento dentro del cristal líquido que conduce a una dispersión óptica. El material que, antes de serle aplicada la tensión era prácticamente transparente, pasa a tener un aspecto lechoso cuando se conecta la tensión adecuada. La raíz de este fenómeno no es sino un desplazamiento de cargas en el seno del cristal líquido debido a la tensión aplicada. Este movimiento de cargas libres, característico de los nemáticos negativos, obliga a las moléculas alargadas del cristal a perder la posición que previamente tenían y adoptar otras orientaciones totalmente aleatorias. El resultado es la pérdida de transparencia antes apuntada.

Debido a las características de este efecto, el resultado final no depende de la configuración inicial de las moléculas. Tanto orientaciones homogéneas como homeotrópicas dan lugar a un mismo final. En el caso de adoptar la configuración homeotrópica, el primer efecto que aparece es la inducción de una orientación homogénea. Debido a la mayor facilidad de control, esta orientación, la homeotrópica, es la preferida.

La tensión umbral para este fenómeno no tiene el carácter abrupto que luego veremos en los otros tipos de visualizadores. Aquí, para muestras de 25 micras de espesor, las tensiones típicas de trabajo se encuentran entre 10 y 25 voltios.

Los tiempos de subida y bajada son, respectivamente, del orden de 50 y 200 ms, tiempos que pueden considerarse adecuados para su empleo en visualizadores. De hecho fueron así empleados en los primeros años de la década de los 70, constituyendo lo que hoy se conoce como primera

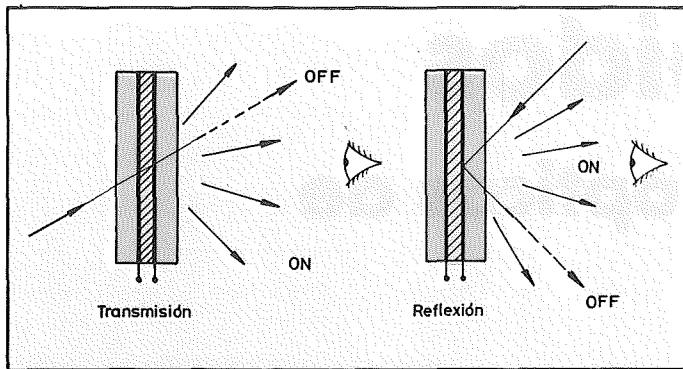


Figura 1

generación de visualizadores de cristal líquido. Las dos formas de trabajo empleadas fueron las dos convencionales que luego se han usado para la segunda generación: por transmisión y por reflexión. Ambas aparecen en la figura 1, y su manera de actuar es clara. Cuando no existe ninguna tensión aplicada el nemático es transparente y puede transmitir o reflejar la luz. Cuando tiene tensión por el contrario, se vuelve opaco y ni transmite ni refleja la luz.

El principal inconveniente que presentan, y que es el que hizo que se les desechara, es el derivado del movimiento de cargas, base del fenómeno. Este movimiento de cargas constituye, de hecho, una pequeña corriente con el consiguiente consumo de potencia. Como puede apreciarse en la tabla 1, este consumo es unas treinta veces superior al que se tiene con los otros visualizadores, y ha hecho que apenas puedan encontrarse ya de este tipo. Su importancia es más histórica que actual.

Visualizadores de efecto de campo o torsionados

Constituyen la denominada segunda generación y son la base de toda la industria actual de visualizadores de uso común. Su estructura ya se vió en el primer artículo y, conjuntamente con su forma de trabajo, aparece en la figura 2. Su base son los nemáticos de anisotropía positiva que, como recordamos, orientaban sus moléculas en la dirección del campo eléctrico que se les aplicaba. La estructura molecular que se les da en estas células, es la torsionada en 90°. Esto quiere decir que son homogéneos con respecto a las paredes que les soportan pero perpendiculares entre sí, en lo que se refiere a las superficies opuestas. Esta estructura helicoidal se romperá al ser aplicada una determinada tensión y pasará a ser homeotrópica. Ambas configuraciones, lo cual es fundamental, se comportan de forma muy distinta cuando las atraviesa luz polarizada. En la primera,

cuando está presente la hélice, si una radiación óptica entra en la célula polarizada según la dirección en que están orientados los ejes principales de las moléculas, sufre una rotación en su paso por ella análoga a la que presentan dichas moléculas. Es decir, a la salida, la radiación seguirá polarizada pero ortogonalmente a como estaba en un principio: ha sufrido una rotación de 90°. En cambio, cuando, una vez aplicada la tensión, la configuración es homeotrópica, la radiación óptica no sufre ninguna alteración en su paso por la célula. La dirección del haz polarizado a la salida es la misma que a la entrada. Ambos hechos son la base del comportamiento de estos dispositivos.

En la figura 2 se han representado las dos situaciones en que se puede encontrar una célula torsionada cuando se encuentra trabajando en el modo de reflexión, según tenga o no tensión aplicada. Este modo es el usualmente empleado en los visualizadores de relojes y calculadoras. En el primer caso, sin tensión conectada, la luz que, después de atravesar un primer polarizador, está polarizada linealmente atraviesa

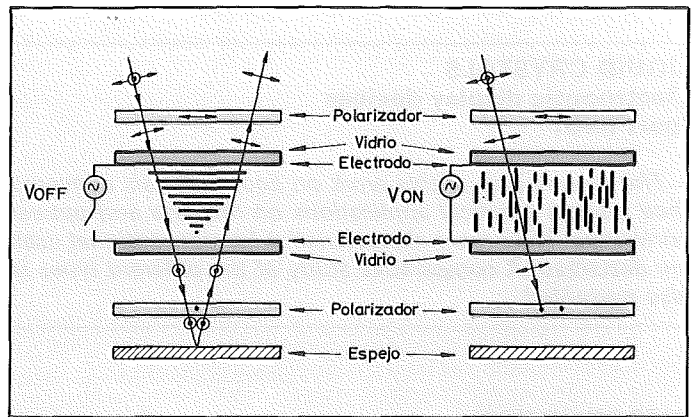


Figura 2

la célula y gira noventa grados su dirección de polarización. Atraviesa un segundo polarizador, perpendicular al primero y después de ser reflejada en una superficie especular vuelve a recorrer en sentido contrario el camino anterior. Debido a la orientación de los polarizadores, aparecerá una radiación a la salida. En cambio, cuando se aplica una cierta tensión y se orientan homeotrópicamente las moléculas, la luz no rotará en su paso por la célula, por lo que será absorbida por el segundo polarizador. El resultado es que no se reflejará nada en el espejo y el visualizador aparecerá sin luz u opaco. Esta situación es la que se presenta en los relojes en los segmentos negros. El funcionamiento por transmisión es por

Efecto	Gama de temperatura [°C]	Umbral de trabajo [V]	Consumo de potencia [$\mu\text{W} \times \text{cm}^{-2}$]	Tiempos de respuesta [ms]		Contraste	Angulo de observación	Tiempo de vida [10^3h]
				ON	OFF			
Dispersión dinámica	-20↔60	10↔25	30↔200	50	200	20:1	±80°	20↔30
Nemático torsionado	-10↔60	1,5↔8	1↔5	10↔100 (depende de la tensión)	100	100:1	±20°↔±50° (depende de la tensión)	50↔100
Combinación de transición de fase con efecto «Guest-Host»	0↔60	12↔40	5↔50	1↔5	2↔100	10:1	±80°	50↔100

Tabla 1. Comparación de características de varios tipos de visualizadores de cristal líquido.

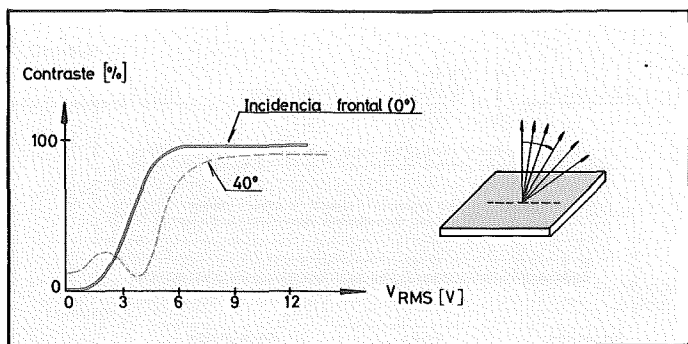


Figura 3

completo análogo, salvo en que no existe espejo y la luz no tiene que recorrer el camino de vuelta. No merece por ello la pena que nos detengamos en él.

El contraste que presentan entre ambos estados es muy superior al que ofrecían los visualizadores vistos en el apartado anterior. Una curva característica aparece en la figura 3. Como puede apreciarse, la tensión umbral se encuentra alrededor de 3 voltios, que pueden ser continuos o de baja frecuencia. Esta curva depende del ángulo de incidencia, siendo menos abrupta para ángulos diferentes de 0°. Para un ángulo de observación de 40° es la que aparece a trazos.

El siguiente punto que ha de ser tratado es el de los tiempos de conmutación de un estado a otro. Si suponemos

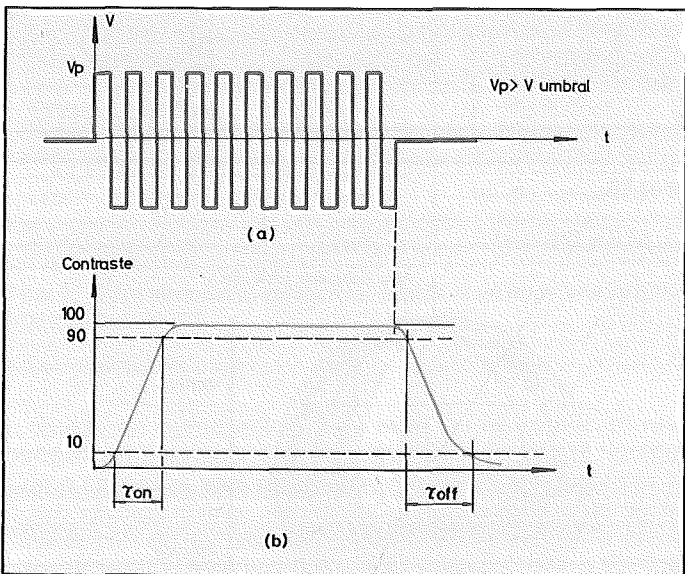


Figura 4

que la señal aplicada a la célula es la de la figura 4a, la respuesta sería la que aparece en la figura 4b. El primer detalle a tener en cuenta es que la señal aplicada es una señal alterna de una determinada frecuencia. Por una serie de razones que aquí no vamos a detallar, jamás se suelen emplear tensiones continuas ya que ello llevaría consigo una operación no satisfactoria. Las tensiones y las frecuencias empleadas aparecen en la figura 5, en la que se ha sombreado la zona útil de trabajo. La tensión umbral se ha situado en 3 voltios eficaces, según vimos antes.

El segundo hecho a tener en cuenta en relación a la figura 4, es el de que aunque la señal sea alterna, los semiciclos

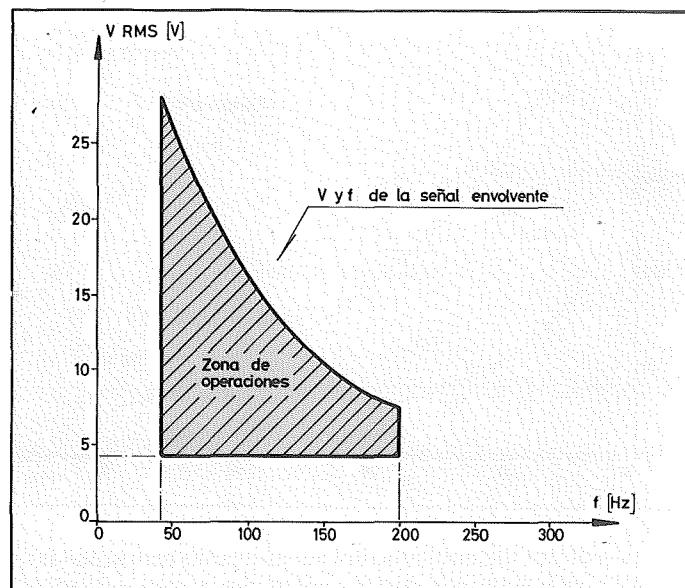


Figura 5

negativos tienen un efecto idéntico al de los positivos con respecto a su forma de actuar sobre las moléculas. Ello se debe a las propiedades físicas de la molécula de nemático, que no tiene posición diferenciada en lo que se refiere a sentido debido a su simetría. La tensión efectiva que actuará será así la correspondiente al valor eficaz de la señal rectificadora en doble onda.

El último punto a considerar es el de que los tiempos de subida τ_{ON} y τ_{OFF} son diferentes y dependen de la tensión aplicada de distinta forma. Su variación con la tensión aparece en la figura 6. Como puede apreciarse, así como τ_{ON} disminuye apreciablemente al aumentar V , τ_{OFF} en cambio se mantiene casi constante e incluso crece ligeramente. Este hecho es una de las principales limitaciones para la obtención de muy altas velocidades con los cristales líquidos. La única manera de reducir estos tiempos es aumentando la temperatura. Esto reduce la viscosidad y, en

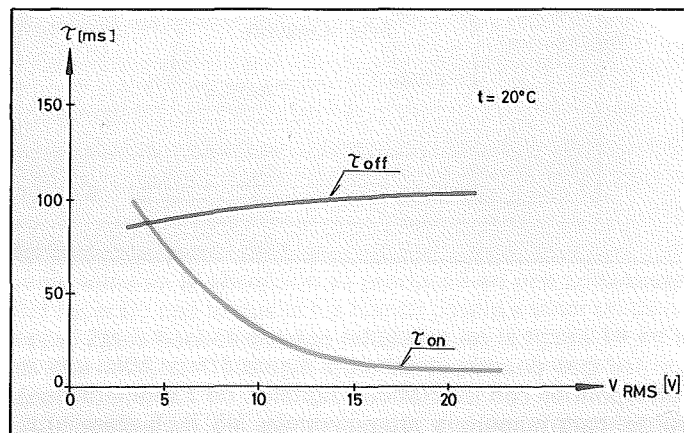


Figura 6

consecuencia, la facilidad de volteo de las moléculas. Una curva característica aparece en la figura 7. Por otra parte, con respecto al tiempo de desactivación, τ_{OFF} , surge otro hecho adicional que le complica. La respuesta real a un pulso de tensión es la de la figura 8. El hecho más significativo

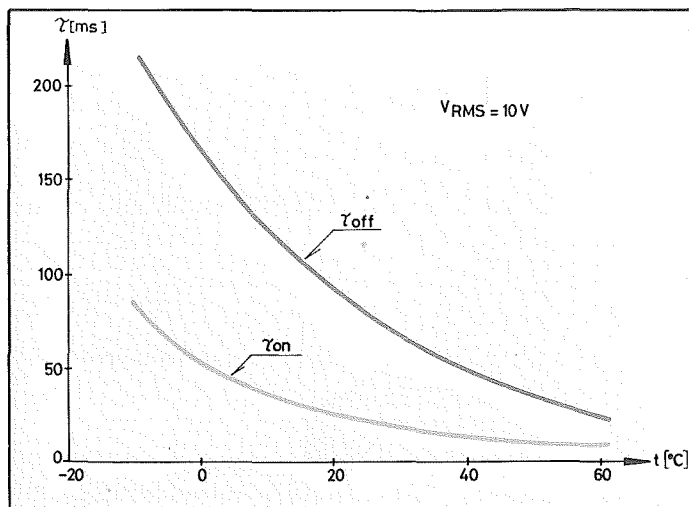


Figura 7

aparece en la bajada, en la que se presenta una prominencia muy acusada. Es lo que se denomina reflujos («backflow») y se debe a las características hidrodinámicas del nemático.

La constitución real de una célula de este tipo es la mostrada en la figura 9. En ella pueden apreciarse los elementos que la constituyen y su disposición. Los electrodos, realizados de SnO₂ o de ITO, adquieren la forma adecuada para la función que se desea. Los más comunes

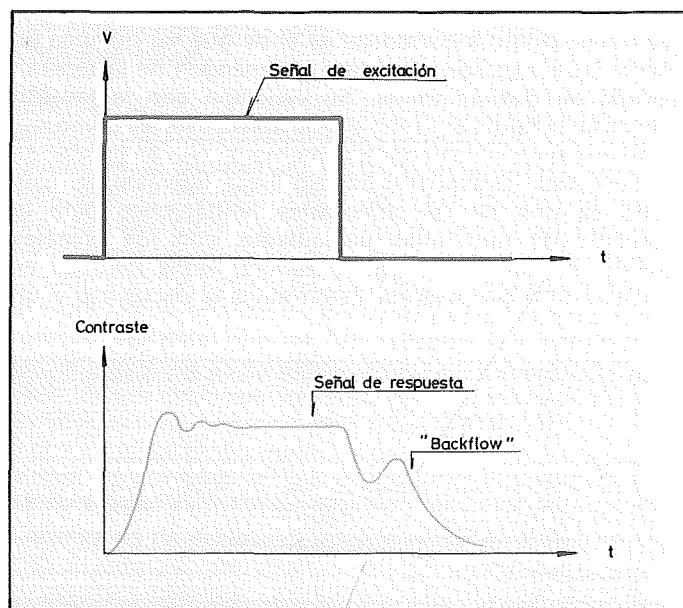


Figura 8

son los que pueden verse en la figura 10a y 10b, que se corresponden con los clásicos digitales, de 7 segmentos y 1 punto, para número, y alfanuméricos, de 7 × 5 elementos, para letras y números. Los de la figura 10c y 10d, son visualizadores especiales, el primero con 60 electrodos para simular las agujas de los relojes analógicos, y el segundo con 20, para la presentación de histogramas.

En la tabla 1 aparecen sus características más señaladas, conjuntamente con la de los de dispersión dinámica, ya vistos, y los de los de efecto huésped-anfitrión («guest-host») que veremos a continuación.

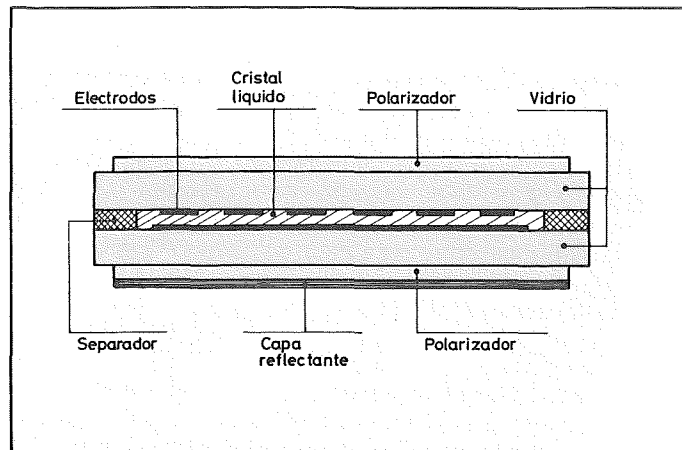


Figura 9

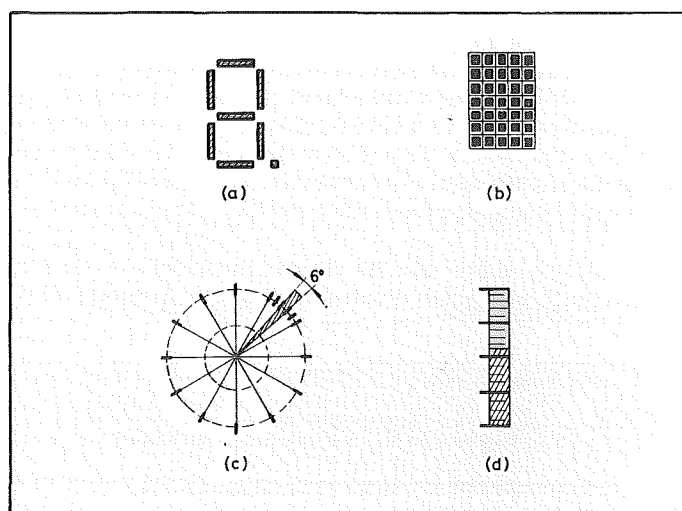


Figura 10

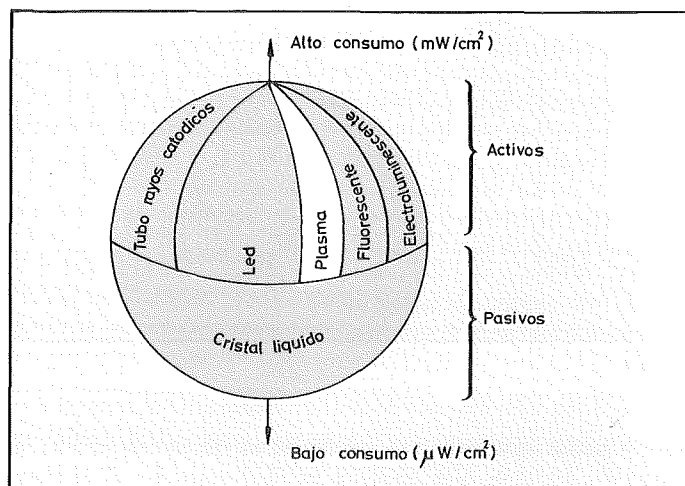


Figura 11

Una de las principales ventajas que ofrece este tipo de visualizador con respecto a los otros existentes es la de su muy bajo consumo de potencia, próximo a 1 μW /carácter, y su pequeña tensión de trabajo. En la tabla 2 aparece una síntesis comparativa con otros visualizadores. En la figura 11 aparecen también todos estos visualizadores ordenados de acuerdo con su consumo y su forma de trabajo. En ella se ve

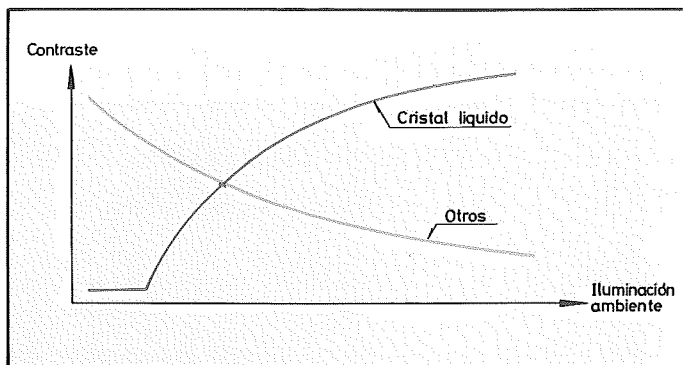


Figura 12

también uno de los posibles inconvenientes que pueden presentar y es el de que, al ser pasivos, no emiten luz, sino que simplemente modulan la del ambiente. Este hecho ha de compensarse, en trabajos nocturnos, con sistemas de iluminación exterior, cosa que no precisan los otros ya que al ser activos ellos mismos emiten la luz. Por el contrario, esta desventaja pasa a ser una ventaja cuando el medio en el que se encuentran tiene una alta iluminación. En este caso, el contraste obtenido es mucho mejor en el caso de los de cristal líquido que de los otros. La curva de la figura 12 muestra lo anterior para un caso general.

Visualizador	Tensión de trabajo [V]	Consumo de potencia
Tubo fluorescente	9↔50	10↔50 mW/carácter
Electroluminiscente	100↔240	500 mW/cm ²
Plasma	30↔250	30↔100 mW/carácter
LED	1,5↔5	10↔50 mW/carácter
Nemático torsionado	1,5↔8	0,5↔2 μW/carácter

Tabla 2. Tabla comparativa de diferentes visualizadores respecto al nemático torsionado.

Queda un punto adicional y es el de la resolución que pueden proporcionar los visualizadores de cristal líquido. Como es lógico, esta resolución vendrá determinada por la posibilidad de realizar electrodos en las caras internas de las células con un tamaño lo suficientemente reducido como para alcanzar la resolución deseada y que, al mismo tiempo, no existan interferencias entre los efectos de dos elementos contiguos. El gráfico de la figura 13 muestra la evolución del número de elementos de imagen (pixels) en función del año. Como puede apreciarse, la tendencia de crecimiento es de un orden de magnitud cada tres años y medio.

Visualizadores de color

La presencia en estos visualizadores de dos materiales diferentes, los cristales líquidos y los colorantes orgánicos dicróicos («dyes»), en los que los primeros sirven de soporte a los segundos, imponiéndoles su dirección, hace que se les denomine en la terminología anglosajona «guest-host» (huésped-anfitrión). Según veremos a continuación, su funcionamiento se basa en efectos similares a los vistos

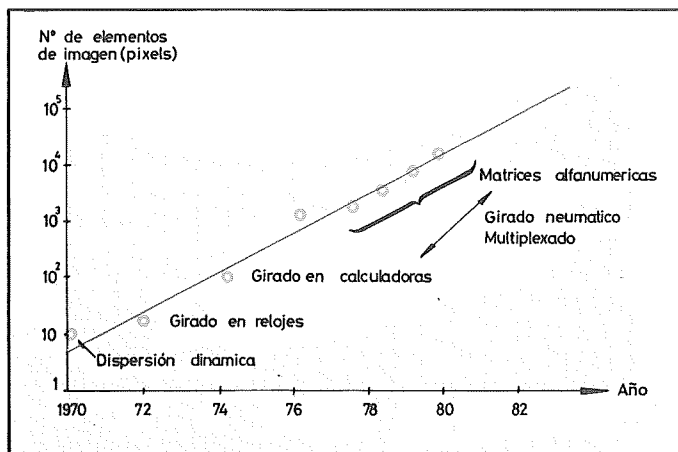


Figura 13

hasta aquí más otros nuevos introducidos por los colorantes. De hecho van a ser éstos, ahora, los que den color al visualizador.

La base del nuevo efecto radica, en primer lugar, en que las moléculas de colorante son alargadas, como lo son las de los cristales líquidos. Y esto conduce a que sus propiedades de absorción sean también diferentes según se considere su eje principal o uno perpendicular a él. Así, si se encuentran orientadas en la dirección en que se propaga la luz, su absorción es prácticamente nula. Un haz de luz blanca que las atraviesa apenas es alterada. Por el contrario, si la luz blanca incidente está polarizada linealmente y las moléculas se alinean con sus ejes principales según esa misma dirección, la absorción es muy fuerte resultando un haz de salida netamente diferente del de entrada en lo que a sus componentes cromáticas se refiere. Dependiendo del colo-

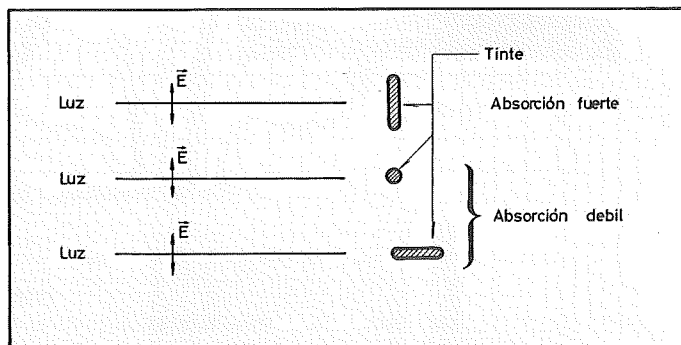


Figura 14

rante tomado, la absorción se producirá en una zona u otra del espectro con lo que la luz blanca pasará a tener un cierto color. Estos hechos quedan reflejados en la figura 14 en la que se muestran los casos que dan lugar a absorción y los que no.

La variación del alineamiento de las moléculas de colorante se consigue merced a la introducción de éstas en una matriz de cristal líquido. En este caso, las de éste actuarán como parte activa para el control de la dirección de las del colorante ya que, al estar entremezcladas, todas adquieren el mismo alineamiento. El cristal líquido usado puede ser colestérico o nemático y en ambos casos, la acción de un campo eléctrico tendrá el efecto de orientar las moléculas de acuerdo con los principios vistos hasta aquí.

Si el colorante, junto con un colestérico, se añade a un nemático, las moléculas del conjunto adoptarán una orientación helicoidal. Al aplicarse una tensión superior a un umbral, esta estructura se altera produciéndose una transición de la fase colestérica a la nemática. Con ello, las moléculas del colorante cambiarán también su orientación y, en consecuencia, su absorción. En la figura 15 se presenta

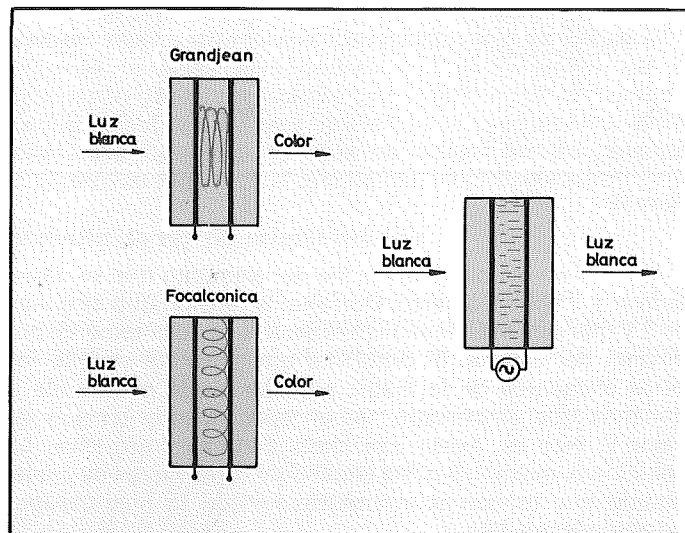


Figura 15

un esquema del funcionamiento descrito. Estos visualizadores se llaman negativos ya que el color aparece cuando no hay tensión aplicada.

La figura 16 muestra el caso que el colorante se introduce únicamente en una matriz de cristal líquido nemático.

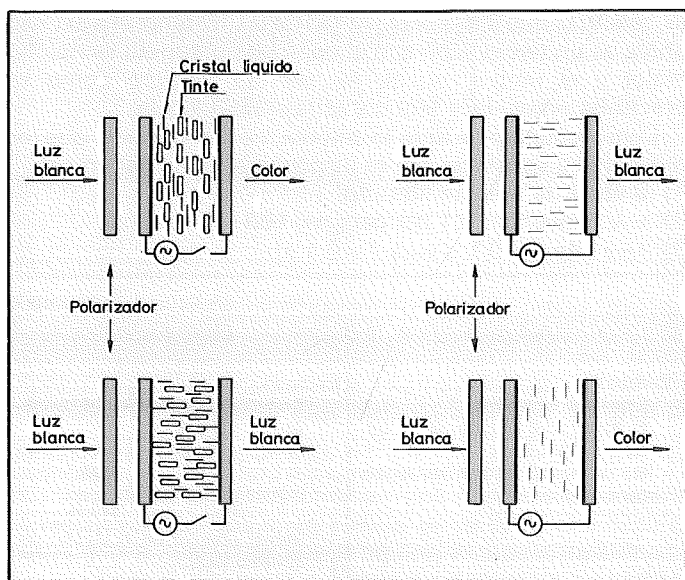


Figura 16

Dependiendo del tipo de éste que se emplee, resultarán visualizadores negativos o positivos. Para los primeros, los nemáticos empleados habrán de ser de anisotropía dieléctrica positiva mientras que para los segundos deberán de ser de negativa.

La comparación con los otros tipos de visualizadores de cristal líquido aparece en la tabla 1.

MÉTODOS DE EXCITACION EN VISUALIZADORES DE CRISTAL LIQUIDO

Excitación estática o directa

Este tipo de excitación es el que pudiéramos considerar más convencional, ya que consiste, simplemente, en que cada elemento del correspondiente dígito, se excita directa e independientemente de los otros. Es obvio que cuando el número de dígitos que interviene en un visualizador es pequeño, no presenta apenas inconvenientes. Pero cuando aumenta la necesidad de información, aumenta también la complejidad de conexionado y de los circuitos excitadores. Así, por ejemplo, un visualizador de 9 dígitos requiere $9 \times (7+1) + 1 = 73$ conexiones y los correspondientes circuitos. El 7 proviene del número de segmentos de cada dígito; el primer 1, del punto y el segundo 1 del electrodo común.

Como se comprende fácilmente es necesaria otra técnica de excitación que presente menores condicionantes que ésta. La más utilizada es la matricial, que veremos a continuación.

Excitación secuencial o multiplexada

La excitación de cada elemento es ahora matricial, esto es, la tensión se aplica no a cada segmento por separado, como era antes, sino a conjuntos de ellos correspondientes a distintos dígitos. Un esquema simplificado de este tipo de excitación para un visualizador de 9 dígitos, es el que se muestra en la figura 17. El número de conexiones que son precisas ahora es de sólo $9+8=17$, donde el 9 corresponde a los 9 dígitos que ahora son columnas, y el 8 a los 8 segmentos de los dígitos, que ahora son filas de la matriz. Igualmente, un visualizador alfanumérico necesitaría ahora tan sólo $5+7=12$ conexiones para el caso de un solo dígito.

Ahora bien, si designamos a los elementos de la matriz tomada como

- Filas: *a, b, c, ...*
- Columnas: *p, q, r, ...*

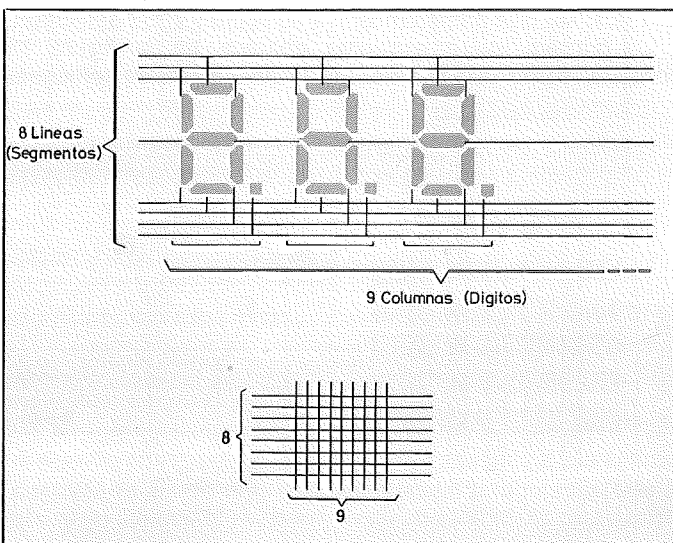


Figura 17

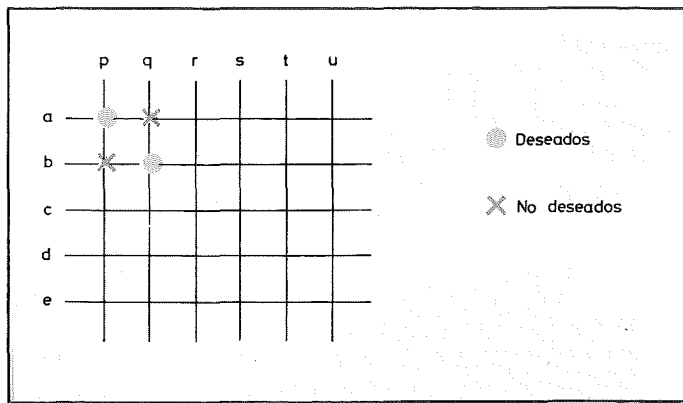


Figura 18

puede observarse que surge un problema y es que al querer excitar los elementos *ap* y *bq*, también resultarían excitados los *aq* y *bp* que no se desea excitar (figura 18). La solución a este problema consiste en la técnica de multiplexación o excitación muestreada temporalmente, que da el nombre a esta excitación matricial. La tensión se aplica así secuencialmente a filas, activándose las columnas apropiadas o viceversa. Este muestreo debe tener un ciclo de repetición lo suficientemente rápido como para evitar el efecto de parpadeo que pudiera presentarse a baja velocidad. Al período de secuencia de muestreo se le llama *T*, y si el número de líneas secuenciadas es *n*, el tiempo que queda útil para la excitación de cada elemento es *T/n*, con lo que habrá de ser

$$\tau_{ON} < T/n$$

$$\tau_{OFF} > T$$

y en consecuencia

$$\tau_{OFF} \geq n\tau_{ON}$$

Estas condiciones, de acuerdo con lo que se vió en anteriores apartados, se cumple con bastante facilidad en el caso de los cristales líquidos. A modo de recordatorio, hemos de decir también que la tensión aplicada debe ser alterna ya que la continua degrada al cristal líquido reduciendo su vida útil.

Queda ahora ver cómo se seleccionan los elementos matriciales para su excitación. Y las técnicas más usuales son dos, las que llamaremos 1/2 selección y 1/3 selección.

La primera, cuyo esquema aparece en la figura 19 consiste, como puede verse en la aplicación de tensiones

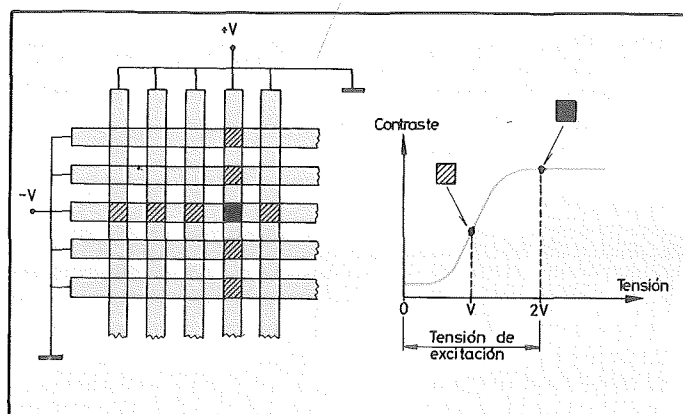


Figura 19

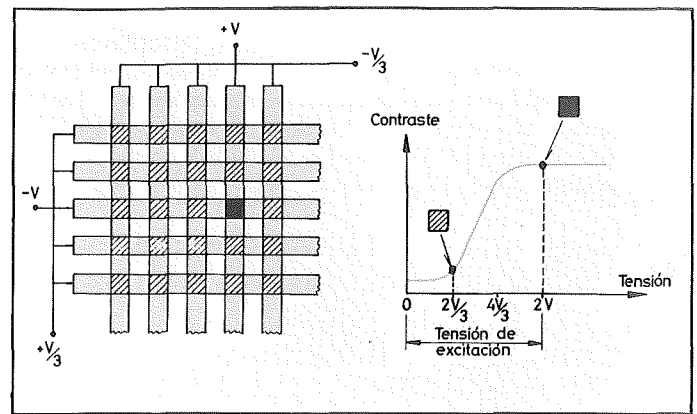


Figura 20

+*V* y -*V* en la columna y la fila del elemento que se desea activar y 0 voltios al resto. Con ello, la tensión que se aplica es 2 *V* que será la adecuada para estar lo suficientemente por encima del umbral. El problema que presenta es que los otros elementos de la matriz situados en la misma fila o columna que el excitado, tienen aplicada una tensión de valor *V*, esto es, existe una cierta diafonía entre ellos. La solución al mismo es la del empleo de dispositivos de cristal líquido que tengan el umbral de tensión lo más abrupto posible (figura 19).

La segunda técnica de selección es la mostrada en la figura 20. Vemos que la única diferencia con la anterior es el valor de las tensiones aplicadas, que ahora son +*V* y -*V*, a la fila y columna del elemento a excitar y +*V*/3 y -*V*/3 a las restantes columnas y filas, respectivamente. La diafonía, como puede comprobarse, no es ya sólo en los elementos de la misma fila y columna que el deseado, como era antes, sino en todos los de la matriz. La ventaja estriba en que, ahora, mientras que la tensión aplicada al que va a excitar sigue siendo 2 *V*, la que tienen los demás es sólo 2 *V*/3, esto es, mientras que antes era la mitad de la que tenía él a excitar, ahora es un tercio. Con ello el contraste obtenido es mucho mejor y el umbral puede no ser tan abrupto como se precisaba antes. Esta técnica es la más utilizada.

Como resumen de todo lo anterior, podemos decir, que los requisitos a satisfacer por el dispositivo de nemático son:

- 1) umbral de tensión abrupto.
- 2) τ_{ON} pequeño (< 1 ms para $n=100$ y $T=0,1$ s).
- 3) τ_{OFF} alto ($> 0,1$ s para $T=0,1$ s).

Estática	Multiplexada
Ventajas <ul style="list-style-type: none"> - Excelente contraste. - El diseño del circuito de excitación no es crítico. - No es necesaria compensación de temperaturas. 	Ventajas <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del número de conexiones ($M+N$). - El número de excitadores se reduce en un factor $\frac{MN}{M+N}$. - Mayor libertad en el diseño del conexionado.
Desventajas <ul style="list-style-type: none"> - Gran cantidad de conexiones ($N \times M + 1$). - Complejidad de diseño del conexionado. - Utilizar un excitador por elemento es muy caro. 	Desventajas <ul style="list-style-type: none"> - Diseño crítico del circuito, en cuanto a tolerancias y compensación de temperaturas. - La relación de contraste disminuye al haber una relación 1/2 ó 1/3 entre las tensiones aplicadas.

Tabla 3. Comparación entre las excitaciones estática y multiplexada (visualizador de *N* líneas (filas) y *M* unidades (columnas).

En la tabla 3 se presentan las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de excitación reflejados hasta aquí.

OTRAS APLICACIONES EN USO

Aunque como se comenta en la introducción, los visualizadores de cristal líquido constituyen la aplicación más significativa de estos materiales, existen algunos otros que, aunque menos extendidos, constituyen la base actual para algunas técnicas muy concretas como pueden ser el procesado de señales ópticas o la conmutación en comunicaciones ópticas. En este apartado nos centraremos, esencialmente en ellas, ya que se basan en los mismos dispositivos torsionados que hemos visto hasta aquí.

Válvula de luz de cristal líquido

Denominada también convertidor de imágenes o célula Hughes, por ser en sus laboratorios donde se desarrolló a mediados de los 70, es en esencia, un transductor óptico-

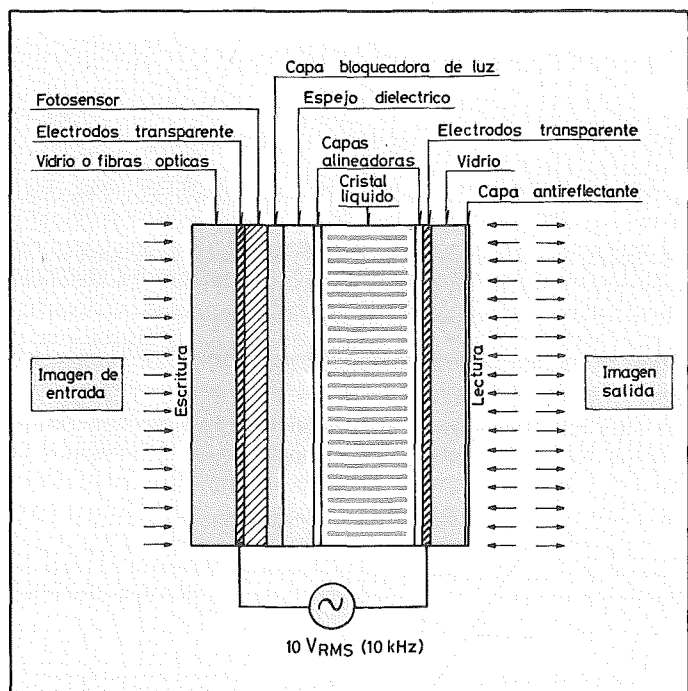


Figura 21

óptico capaz de aceptar una imagen de baja intensidad luminosa y convertirla, casi instantáneamente, en otra de salida con la luz intensa que procede de otra fuente luminosa. Su estructura básica es la mostrada en la figura 21. Su estructura física consiste en una capa de un material fotosensible, normalmente sulfuro de cadmio, una capa de entre 2 y 6 micras de cristal líquido nemático torsionado, separada de la primera por un espejo dieléctrico y una zona que bloquea a luz de entrada. La misión de la capa fotosensible es la de actuar como convertidor imagen óptica-resistencia eléctrica para el cristal líquido. El espejo dieléctrico sirve para reflejar la luz de lectura. La gran flexibilidad de esta válvula estriba en el cambio de fuente luminosa utilizada, mientras que se mantiene la misma imagen de trabajo. Ejemplos de esta flexibilidad son la conversión de longitudes de onda (por ejemplo de infrarrojo

a visible) y el paso de una imagen incoherente a otra coherente, lo que posibilita su procesado óptico.

El modo de trabajo de esta célula es, en principio, el basado en un efecto análogo al de las de nemático torsionado en 90° y que aquí está ligeramente modificado denominándosele efecto híbrido de campo. En este caso las

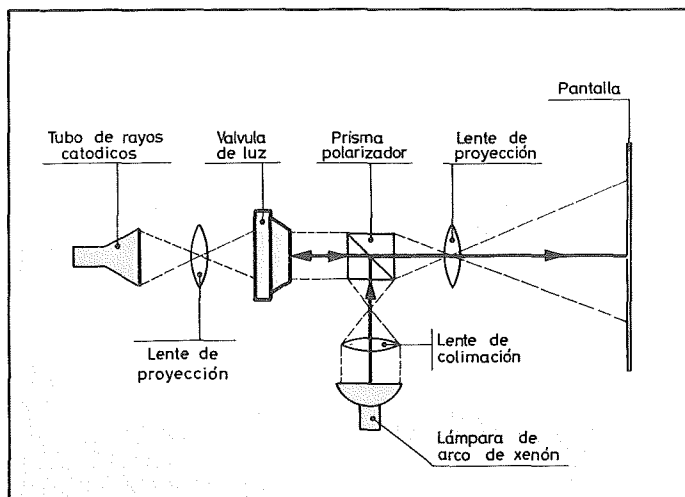


Figura 22

moléculas están torsionadas 45° en lugar de $\pi/2$. Cuando no existe ninguna radiación incidente a la entrada de la válvula, la resistencia que presenta el material fotoconductor es muy alta. Debido a esto, la tensión que se encuentra aplicada entre los electrodos transparentes cae prácticamente toda ella en el fotoconductor no actuando, en consecuencia, sobre las moléculas de cristal líquido, ya que no alcanza el valor umbral o de conmutación. Si ahora se hace incidir una

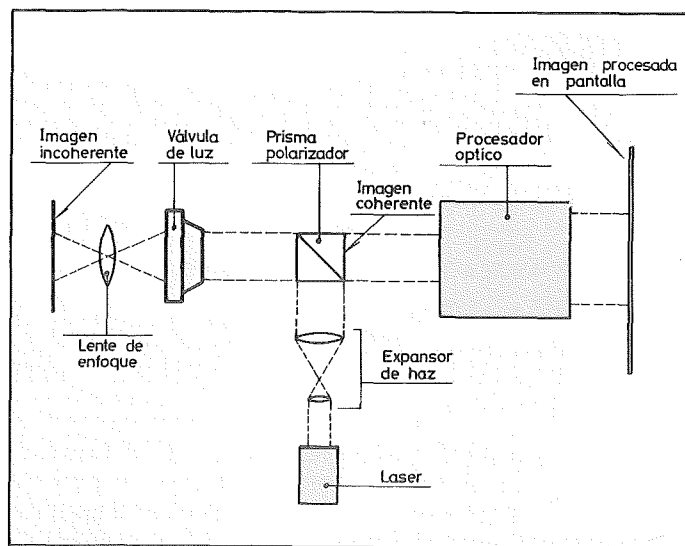


Figura 23

radiación polarizada de lectura sobre la salida de la válvula, después de atravesar la capa de cristal líquido y reflejarse en el espejo (figura 21) volverá a salir con idénticas características a como entró, esto es, con idéntica polarización. Por el contrario, si existe luz incidiendo sobre la cara de escritura, el

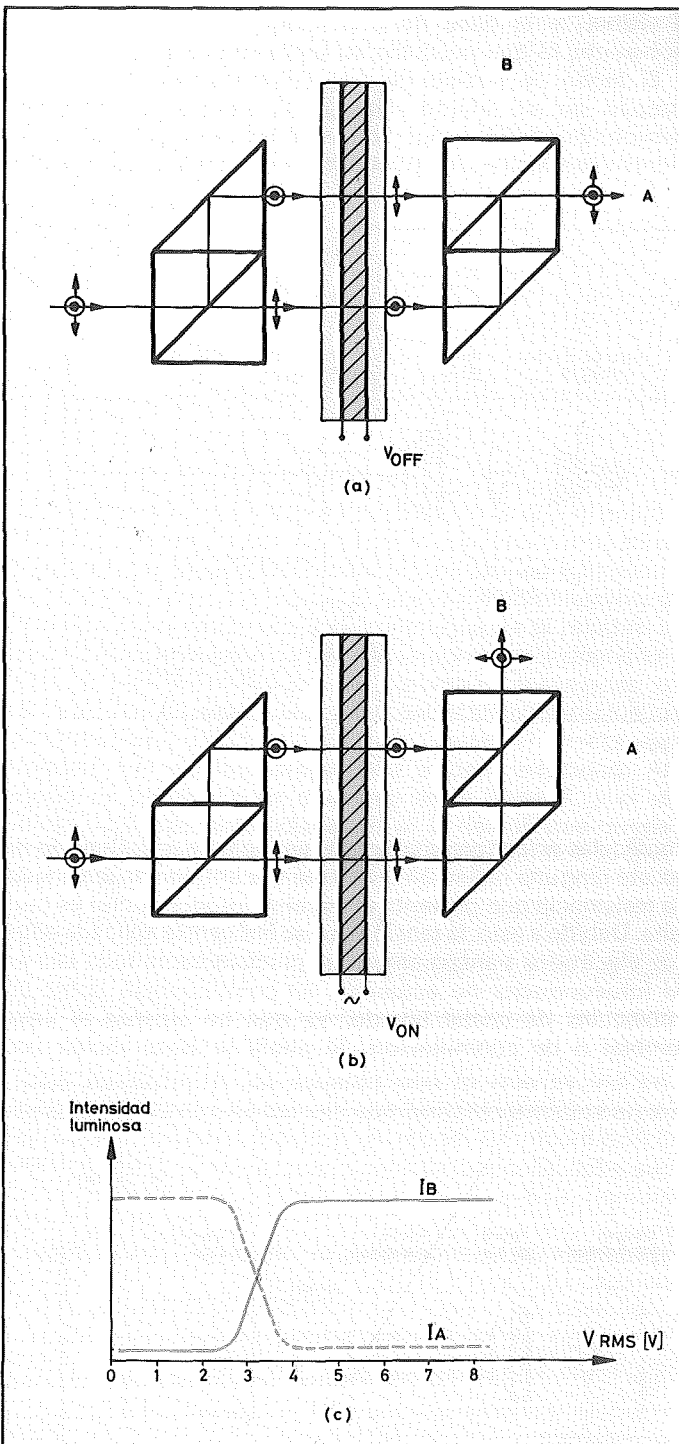


Figura 24

fotoductor pasará a tener una resistencia de pequeño valor, con lo que la tensión aplicada caerá en la capa de cristal líquido originando una reorientación que dependerá del valor de dicha tensión. Esta situación es ahora típica de birrefringencia y la polarización del haz de salida de lectura, será diferente al de entrada. Si se añade un analizador que bloquee la luz de salida polarizada en dirección idéntica a la de entrada de lectura, no se tendrá luz en el primer caso descrito y sí en el segundo. Son las situaciones OFF y ON respectivamente. Un prisma polarizador, como el de MacNielle, puede realizar las funciones de polarizador y analizador. Por otra parte, debido al hecho de que la transición de un estado a

otro no es abrupta, se puede obtener una cierta graduación electroóptica con varios niveles de grises. Esta célula es, como puede verse, de reflexión, aunque también puede encontrarse otro modelo trabajando en transmisión.

Dos aplicaciones concretas, actualmente en uso, son las representadas en las figuras 22 y 23. La primera es una típica de intensificación y amplificación. La segunda realiza la función de convertir imágenes incoherentes en coherentes, con la consiguiente posibilidad de procesamiento óptico. No creemos necesario entrar en detalles de su funcionamiento ya que de lo visto hasta aquí puede inferirse fácilmente.

Las características típicas de una célula Hughes son:

- Límite de resolución: 50 líneas/mm
- Umbral de fotosensibilidad: 1 erg/cm²
- Tiempo de respuesta: 30 ms
- Relación de contraste: 100:1

Estas válvulas descritas hasta aquí son lo que pueden denominarse primera generación. La segunda, recién introducida en el mercado añade dispositivos CCD posibilitando la introducción de información electrónica para su posterior paso a óptica.

Conmutador óptico basado en nemático torsionado

El esquema básico aparece en la figura 24, correspondiendo el de la figura 24a al caso de no existir tensión aplicada y el de la 24b al de sí estar presente. En la figura 24c se da la gráfica de la señal que sale por el camino A y el B, en función del valor de la tensión aplicada a la célula de cristal líquido. La base del funcionamiento consiste, simplemente, en separar el haz de entrada, sin polarizar, en dos, polarizados ortogonalmente, mediante el sistema de primas representados en la figura. Cada haz seguirá una trayectoria diferente y, después de atravesar al cristal líquido vuelven a incidir sobre otro sistema de prismas complementario al primero. Cuando no hay tensión aplicada, ambos haces giran 90° y recombinan de manera que sus trayectorias llegan a A, en donde ya siguen juntos. En cambio, cuando hay tensión en la célula, no rotan sus polarizaciones y los caminos que recorren en el segundo sistema de prismas hacen que salgan juntos en B.

Las características de este conmutador vienen impuestas por las de la célula de cristal líquido, por lo que su velocidad, por el momento es lenta.

CONCLUSIONES

Aunque existen otras muchas aplicaciones actualmente en uso de los cristales líquidos como por ejemplo en termómetros o en visualizadores de radiación infrarroja, los aquí presentados constituyen el bloque más significativo. Sirven para dar una visión general de cuál es la situación en el momento presente y para justificar el interés que, estimamos, presenta su estudio. En el siguiente artículo, último de esta serie, se verán finalmente algunos de sus posibles usos futuros. ●

Nota: Por limitaciones de espacio no es posible incluir los currículum de los autores. Remitimos al lector a la página 82 del número 140. Este artículo tendrá una tercera y última parte).