

# Tecnología LCD



## Índice

---

|  |    |
|--|----|
| Introducción .....   | 6  |
| Historia .....   | 7  |
| Cristales líquidos .....   | 7  |
| TFT.....   | 9  |
| Fundamentos físicos .....  | 10 |
| Cristales líquidos .....   | 10 |
| Nemáticos .....  | 11 |
| Esmécticos.....  | 11 |
| Colestéricos.....  | 12 |
| Polarización y efecto Freedericksz.....                                    | 13 |
| Polarización .....   | 13 |
| Efecto Freedericksz .....  | 14 |
| Fundamentos tecnológicos.....  | 15 |
| LCD .....  | 15 |
| TN (Twisted Nematics).....   | 16 |
| SBE (Supertwisted Birefringet Effect) y STN (Super Twisted Nematics) ..... | 18 |
| DSTN (Dual Super Twisted Nematics) .....                                   | 19 |
| Direccionamiento .....   | 19 |
| Directo.....   | 19 |
| Matriz pasiva .....  | 20 |
| Matriz activa.....   | 21 |
| Iluminación.....   | 22 |
| Reflectivo .....   | 22 |
| Transmisivo .....  | 22 |
| Transreflectivo .....  | 22 |
| Generación del color.....  | 23 |
| Teoría del color .....   | 23 |
| Máscaras de color .....  | 24 |
| Tiras.....   | 24 |
| Mosaico.....   | 24 |
| Delta .....  | 25 |
| El LCD como periférico .....   | 25 |
| HD44780U.....  | 25 |
| Características.....   | 26 |

---

|   |    |
|---|----|
| Componentes.....                          | 27 |
| Funcionamiento .....                      | 29 |
| LM157E1-A2 .....                          | 32 |
| Otras tecnologías .....                   | 34 |
| Plasma.....                               | 34 |
| Electroluminiscencia.....                 | 34 |
| OLED (Organic Light Emitting Diode) ..... | 34 |
| Conclusión .....                          | 36 |
| Bibliografía .....                        | 36 |

## Ilustraciones

---

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1: Esquema de un transistor TFT .....                                  | 9  |
| Fig. 2: Distribución atómica en moléculas de cristal líquido .....          | 10 |
| Fig. 3: Disposición de las moléculas en una fase nemática.....              | 11 |
| Fig. 4: Disposición de las moléculas en una fase esméctica .....            | 12 |
| Fig. 5: Estructura por capas de una fase colestérica .....                  | 13 |
| Fig. 6: Ejemplos de polarización .....                                      | 14 |
| Fig. 7: Efecto Freedericksz .....   | 15 |
| Fig. 8: Representación esquemática de un TN .....                           | 16 |
| Fig. 9: Funcionamiento de un TN.....  | 17 |
| Fig. 10: Relación entre voltaje y transmisión en un TN.....                 | 17 |
| Fig. 11: Relación entre voltaje y transmisión en un SBE .....               | 18 |
| Fig. 12: Direccionamiento directo de LCDs de siete segmentos.....           | 20 |
| Fig. 13: Esquema del funcionamiento de una matriz pasiva .....              | 20 |
| Fig. 14: Esquema del funcionamiento de una matriz activa .....              | 21 |
| Fig. 15: Máscara de color por tiras.....                                    | 24 |
| Fig. 16: Máscara de color de mosaico .....                                  | 24 |
| Fig. 17: Máscara de color en delta.....                                     | 25 |
| Fig. 18: Diagrama de bloques del HD44780U.....                              | 27 |
| Fig. 19: Correspondencia pantalla-memoria (una línea) .....                 | 28 |
| Fig. 20: Correspondencia pantalla-memoria (dos líneas) .....                | 29 |
| Fig. 20: Ejemplo de transferencia con MPU de cuatro bits.....               | 30 |
| Fig. 21: Conexión con un LCD de una línea y caracteres de 5x8.....          | 31 |
| Fig. 22: Conexión con un LCD de una línea y caracteres de 5x10.....         | 31 |
| Fig. 23: Conexión con un LCD de dos líneas y caracteres de 5x8.....         | 31 |
| Fig. 24: Conexiones para poder mostrar 16 caracteres en una sola línea..... | 32 |
| Fig. 25: Diagrama de bloques de la LM157E1-A2.....                          | 33 |
| Fig. 26: Transferencia de las señales LVDS a la pantalla.....               | 33 |

## Introducción

---

Como su nombre indica, las pantallas TFT-LCD son la unión de tecnologías procedentes de dos campos de investigación a priori dispares: la electrónica (TFT) y la química y cristalografía (LCD).

Si bien ya conocíamos y usábamos paneles LCD desde mediados de los años 70 en aparatos como calculadoras o relojes digitales e incluso ordenadores portátiles, no ha sido hasta finales del siglo pasado que la tecnología de pantallas planas basadas en LCD ha dado un salto cualitativo que ha permitido la introducción de dicha tecnología en el día a día. Las pantallas planas se han popularizado tanto que en la compra de un ordenador domestico ya casi no se considera la alternativa de un CRT (que aún siguen ganando por precio pero ya no por calidad).

La introducción de los paneles TFT-LCD ha dado un impulso definitivo a la popularización de las "tecnologías de la información y comunicación" gracias a hacer posible aparatos tales como los ordenadores portátiles modernos, teléfonos móviles, PDAs y toda una serie de "electrónica de bolsillo" que hoy en día son verdaderos prodigios de miniaturización y portabilidad.

Este documento da una visión general de la tecnología LCD, la historia del descubrimiento de los diferentes componentes así como de la tecnología y describiendo los aspectos que la componen: fundamentos físicos y tecnológicos.

Por último se describen las tecnologías de pantalla plana alternativas y de futuro.

---

## Historia

---

### ***Cristales líquidos***

Todo empezó en 1888, cuando el botánico Friedrich Reinitzer estudiaba el colesterol en las plantas. Al estudiar el comportamiento de fusión del benzoato de colesterol descubrió que este parecía tener dos puntos de fusión; al calentarse la sustancia, esta primero pasaba a un líquido turbio para luego (al calentarse más) pasar a un líquido transparente.

Si embargo, fue el cristalógrafo alemán F. Lehmann en 1889 el que acuñó el término *crystal líquido* al descubrir que el líquido turbio intermedio entre la fase cristalina y el líquido transparente poseía propiedades ópticas y una estructura molecular similar a la de un cristal sólido.

Inadvertidamente, entre ambos habían descubierto un nuevo estado de la materia: las mesofases, que es un paso intermedio entre dos fases, en este caso entre la cristalina y la líquida.

Estudios posteriores permitieron a Friedel establecer una clasificación de los cristales líquidos en 1922, distinguiendo tres tipos: nemáticos, esmécticos y colestéricos.

A pesar de ser ampliamente estudiados durante el primer tercio del siglo XX, los cristales líquidos cayeron en el olvido, relegándose a una mera curiosidad de laboratorio.

La primera descripción de un panel de cristal líquido fue formulada por Heilmeyer en 1968. Se basaba en el fenómeno de dispersión dinámica, por el cual la aplicación de una corriente eléctrica a un cristal líquido nemático (ver siguiente apartado) causaba la división del material en dominios de ejes aleatorios. Al ser estos dominios ópticamente asimétricos, dispersan la luz, volviéndose opacos. Esto presentaba un potencial para la creación de paneles electrónicos, aunque quedaba por solventar el problema que presentaba el alto voltaje de saturación en relación al voltaje umbral para el cambio, punto que hacía impracticable el direccionamiento x-y en matrices muy grandes.

En 1971, Schadt y Helfrich describieron un nuevo tipo de panel de cristal líquido, los *Twisted Nematic* (o Nematico retorcido). La descripción de dicha tecnología se explica en siguientes apartados, pero basta decir que este tipo de panel es todavía el dominante en las aplicaciones tecnológicas de hoy en día y permite la creación de paneles con direccionamiento de celdas x-y (ver más abajo).

Sin embargo, esta primera implementación de los paneles TN (*Twisted Nematics*) adolecía de un problema de contraste para matrices de más de diez filas, problema por el cual la relación entre el voltaje de selección y el voltaje de no selección causa que a mayor número de filas aparezcan celdas "parcialmente seleccionadas", reduciendo la resolución. Este problema recibió un tratamiento general por Alt y Pleshko en 1974, que describieron la relación del voltaje de selección de un punto de una matriz en relación al número de filas multiplexadas. De esta manera, se obtuvo una relación directa entre el número de filas multiplexadas y el contraste del panel.

Se realizaron grandes esfuerzos de investigación durante las décadas de los 70 y 80 para crear paneles de muchas filas que permitieran un contraste suficiente. En 1983 Y. Ishii, S. Kozaki, F. Funada, M. Matsumura y T. Wada consiguieron contrastes con una relación mayor a 10:1 (relación entre voltaje de selección y no selección).

En 1984, cuando se creía que no se podía avanzar más con los paneles TN, la investigación recibió un fuerte impulso con la aparición de los paneles de *Supertwisted Birefringent Effect* (Efecto Súper retorcido Birrefringente o SBE). En estos paneles (se describe con más detalle esta tecnología en apartados siguientes) se consigue una relación entre transmisión y voltaje que lo convierte en un biestable, ofreciendo paneles de más de cien filas con un gran contraste. Desgraciadamente, la fabricación de dichos paneles es cara y complicada.

El concepto de SBE se usó posteriormente en los paneles *Supertwisted Nematic* (Nemático Súper retorcido o STN). Estos paneles de fabricación más barata, ofrecen paneles con una buena relación T-V (transmisión-voltaje) si bien el contraste decae rápidamente en función del ángulo de visión.

## TFT

A principios de los años 60, P.K. Weimer describió dispositivos que usaban CdS (*Cadmium Sulfide* o Sulfuro de Cadmio) como material activo (concepto que ya se formuló en los años 30), lo que planteaba las bases de los *Thin-Film transistors* (Transistores de película plana o TFT). Esta tecnología (descrita más adelante) se pensó en un principio como una alternativa de bajo coste a los transistores de cristal único. Pronto se descubrió que adolecían de bajas velocidades de cambio de estado y de estabilidad. Desde entonces se han usado varios materiales activos tales como el CdSe (Selenido de Cadmio), Te (Teluro), polySi (Polisilicio),  $\alpha$ -Si (Silicio amorfo),  $\alpha$ -Ge (Germanio amorfo), etc. Entre estos, los más usados han sido el  $\alpha$ -Si y el polySi.

El gran salto en la investigación en la tecnología TFT se dio con las investigaciones de LeComber y su equipo que en 1979 describieron las características de un TFT de  $\alpha$ -Si que encajaban perfectamente con los requerimientos de celdas de cristal líquido, con una tensión de estado OFF muy baja y relaciones de ON/OFF muy buenas, sentando así las bases para los paneles TFT-LCD modernos. Es más, los circuitos TFT de  $\alpha$ -Si se pueden fabricar a bajas temperaturas (250-350°C), lo que permite el uso de sustratos de vidrio baratos, posibilitando así la fabricación a gran escala:

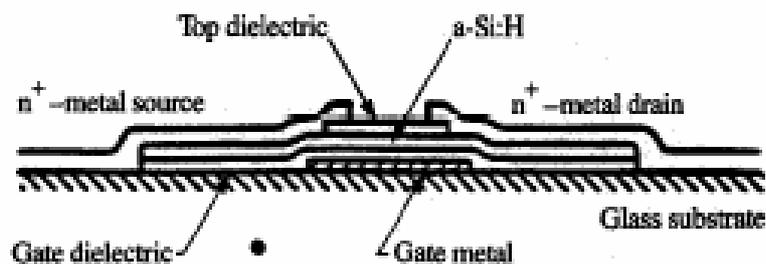


Fig. 1: Esquema de un transistor TFT

## Fundamentos físicos

### Cristales líquidos

Como se ha descrito en el apartado **Historia**, los cristales líquidos representan un estado intermedio de la materia, o mesofase, entre el estado cristalino (o sólido) y el isotrópico (o líquido).

Las moléculas de un LC (Liquid Crystal o cristal líquido) poseen una estructura molecular complicada y suelen tener por lo general forma de barra aplanada o de disco. Los átomos que la componen se sitúan a lo largo del eje de la molécula (en el caso de las "barras") o en el plano definido por la misma (en el caso de los "discos"):

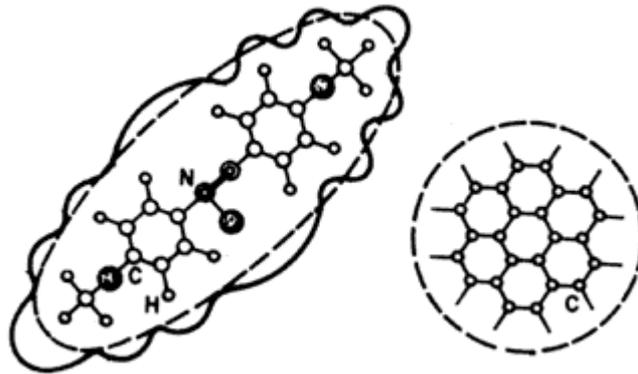


Fig. 2: Distribución atómica en moléculas de cristal líquido

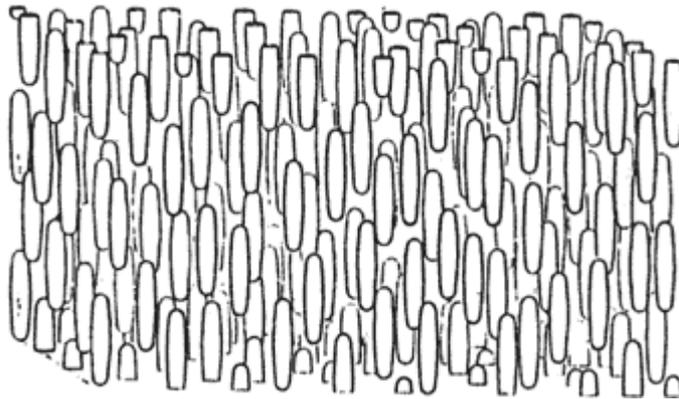
Estas propiedades tienen una importancia capital en el comportamiento de los LC.

Se dice que un LC es un material *anisotrópico*. Las moléculas de un cristal líquido están orientadas a lo largo de un mismo eje o *director*. El nivel de orden y posicionamiento de las mismas determina la fase del LC. Cuanto mayor sea el alineamiento con el director, más anisotrópico será el material, y cuanto menos alineamiento exista, más isotrópico será, siendo en su extremo un líquido.

En función del ordenamiento de las moléculas, podemos distinguir tres tipos (o fases) de LC: nemáticos, esmécticos y colestéricos.

## Nemáticos

La fase nemática se caracteriza por mostrar un orden en la orientación de sus moléculas y un desorden en la posición de los centros de masas de las mismas. De esta manera, el movimiento de las mismas esta limitado a la rotación alrededor del eje común, movimiento lateral o deslizamiento paralelo al citado eje:



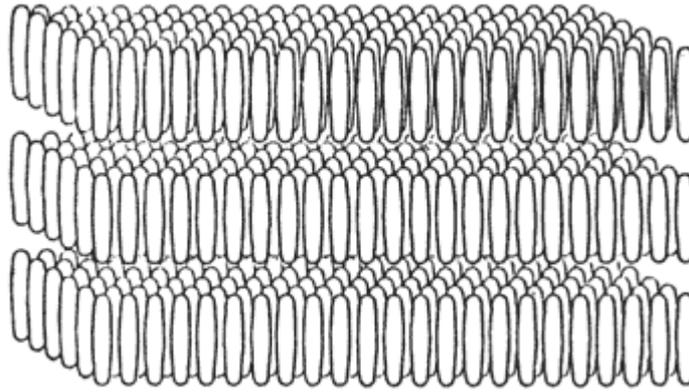
**Fig. 3: Disposición de las moléculas en una fase nemática**

Debido al ordenamiento de sus moléculas, respecto a los centros de masa, un LC nemático se comporta como un líquido, moviéndose las mismas de forma caótica. Aún así, sus moléculas mantienen sus ejes paralelos al director.

Influyen particularmente en este orden la temperatura y densidad, ya que al altas temperaturas se pierde la orientación con el director (como ya se ha descrito al inicio de este apartado) y a una elevada densidad, al estar la moléculas muy juntas, se producen efectos de unión que dan origen a estructuras microscópicas en forma de hilo que flotan en la superficie del líquido. De ahí el nombre de nemático, que significa *hilo* en griego.

## Esméticos

Al igual que la fase nemática, la fase esméctica presenta ordenación en sus moléculas, pero esta es mucho mayor. Se ordenan en capas planas y paralelas entre sí, a la manera de "pisos":



**Fig. 4: Disposición de las moléculas en una fase esméctica**

Como en el caso anterior, una molécula puede girar en torno al eje común pero no puede salir de la capa en la que está. En cada plano se puede dar un grado de alineamiento entre los centros de masas de manera que en caso más ordenado aparece una disposición como la mostrada en la figura 3 y en el caso más caótico se diría que es nemático por capas. El material sigue presentando un aspecto líquido ya que las capas deslizan unas sobre otras.

Esta ordenación es la que se da en las pompas de jabón, de ahí el nombre esméctico, que en griego quiere decir *jabón*.

## **Colestéricos**

Los LC colestéricos presentan ordenación por capas al igual que en caso anterior aunque con una diferencia fundamental: los ejes moleculares se orientan paralelamente al plano de la capa. De esta manera, cada capa presenta una orientación longitudinal de sus moléculas.

Debido a la estructura molecular, existe una diferencia de ángulo entre las orientaciones longitudinales de las capas, de manera que eje de orientación describe una trayectoria helicoidal al pasar de un plano a otro:

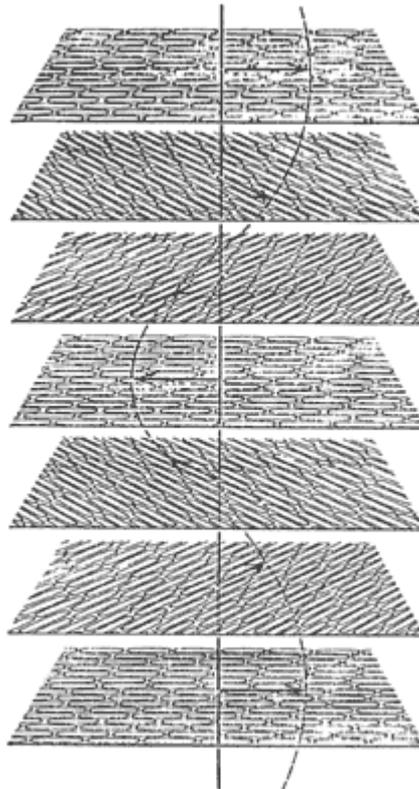


Fig. 5: Estructura por capas de una fase colestérica

### **Polarización y efecto Freedericksz**

Como hemos visto, la disposición molecular de los LC forma un eje de orientación de las mismas. Este eje, al que nos hemos referido como director, determina una serie de propiedades ópticas de los LC que precisamente los hace muy útiles para la tecnología que describimos en este documento. Este director también es conocido como *eje óptico*.

De esta manera, al incidir luz blanca sobre un LC con determinado ángulo respecto al eje óptico, se obtendrá luz de color (color que será función del ángulo antes descrito). Como veremos más adelante, una gran ventaja que presentan los LC es la posibilidad, debido a la debilidad de las fuerzas de interacción molecular, de modificar a voluntad la orientación del eje óptico.

### **Polarización**

Al igual que los LC, ciertos cristales sólidos poseen un eje óptico que les confiere una serie de propiedades de aplicación tecnológica. De uso en los paneles LCD son los *polarizadores*.

La luz, como onda electromagnética, esta compuesta de un campo eléctrico y un campo magnético que oscilan transversalmente a la dirección de propagación de la misma. En un rayo de luz natural, las diferentes ondas que lo componen (al oscilar a diferentes longitudes y fases) provocan que no haya una dirección determinada del campo eléctrico resultante. Se dice en este caso que la luz no esta polarizada.

Pues bien, los polarizadores "filtran" la luz de manera que solo dejan pasar aquellas ondas que se correspondan con ángulo específico de vibración. La luz que pasa al otro lado es luz polarizada y sólo contendrá ondas de un determinado ángulo:

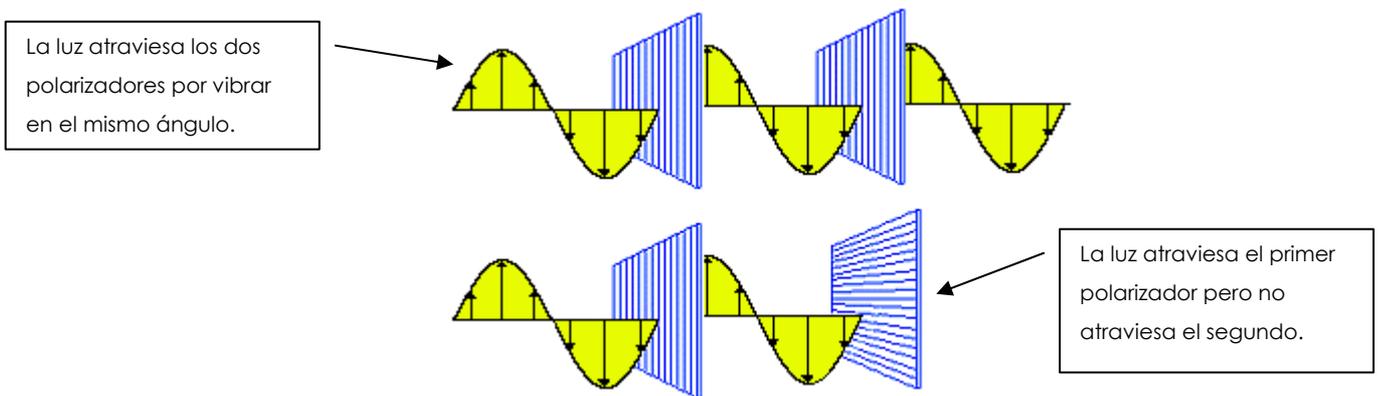
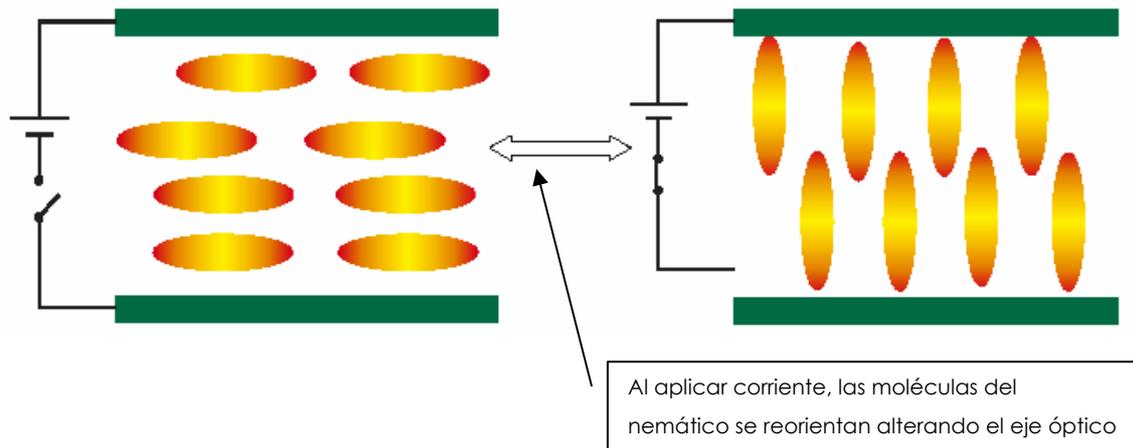


Fig. 6: Ejemplos de polarización

### Efecto Fredericksz

Al ser las moléculas de un LC dipolos eléctricos, la aplicación de un campo eléctrico externo provoca cambios en el material. El primer fenómeno observado de esta índole es el efecto Fredericksz (descubierto en 1943 por el científico ruso de mismo nombre), por el cual al aplicar un campo eléctrico a un LC nemático, las moléculas del mismo orientan su eje principal (o largo) paralelamente o perpendicularmente al campo aplicado en función de si el momento bipolar de la misma esta orientado en la dirección del eje principal o no. Al tratarse de un LC, la reorientación de unas moléculas "empujan" a las demás, aún aplicando un campo eléctrico pequeño, de manera que todas quedas orientadas en la misma dirección, cambiando así el eje óptico:



**Fig. 7: Efecto Freedericksz**

Como veremos más adelante, este fenómeno juega un papel clave en la tecnología LCD.

## Fundamentos tecnológicos

Una vez hemos visto los fundamentos físicos, tenemos que ver como se conjugan para dar lugar a la tecnología LCD.

### LCD

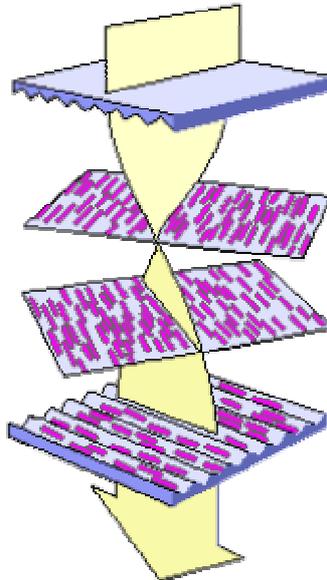
Como su nombre indica, la pieza clave en esta tecnología, la que permite la existencia de la misma, son los LC y en particular la fase nemática, que al ser más “desordenada” es la que permite una mayor manipulación del eje óptico.

El fundamento básico de los LCD consiste en una fina capa de LC (por lo general nemático) entre dos placas de vidrio unidas a sendos polarizadores. En la parte inferior se sitúa una fuente de luz que puede ser un simple espejo (en el caso de los LCDs reflectivos), una fuente activa como pueda ser un halógeno (en el caso de los LCDs transmisivos) o una combinación de ambos (en el caso de los LCDs transreflectivos). Podemos distinguir las siguientes arquitecturas de LCD: Twisted Nematics, Supertwisted Birifrengent Effect, Super Twisted Nematics y Dual Super Twisted Nematics.

## TN (Twisted Nematics)

Es el tipo de LCD más usado ya que resulta el más simple y por tanto apropiado para calculadoras y relojes.

Las superficies de vidrio se tratan por la cara en contacto con el nemático creando surcos microscópicos paralelos que coincidan con el ancho de las moléculas. Las moléculas del LC en contacto con el vidrio se alinean con los surcos y por ende todas las del elemento. Una vez realizado el "emparedado", se gira 90° una de las superficies, quedando los surcos de una transversales a la otra. Esto provoca que las moléculas del nemático queden "retorcidas" por capas, describiendo un cuarto de giro desde la capa superior a la inferior, lo que a su vez modifica el eje óptico, que adquiere el citado cuarto de giro:



**Fig. 8: Representación esquemática de un TN**

Es ahora cuando se entiende en su totalidad el funcionamiento de los LCDs. Si tenemos en cuenta el efecto Freedericksz, al aplicar un voltaje a ambos vidrios, las moléculas sufrirán un reordenamiento que alterará el director (o eje óptico) del LC, de manera que la luz incidente ya no realizará el cuarto de giro, si no que seguirá el eje óptico modificado y por tanto no podrá atravesar el polarizador de la parte inferior (recordemos que el haz de luz ya ha sido polarizado a su entrada de una manera definida). Conseguiremos así que el LCD aparezca completamente opaco:

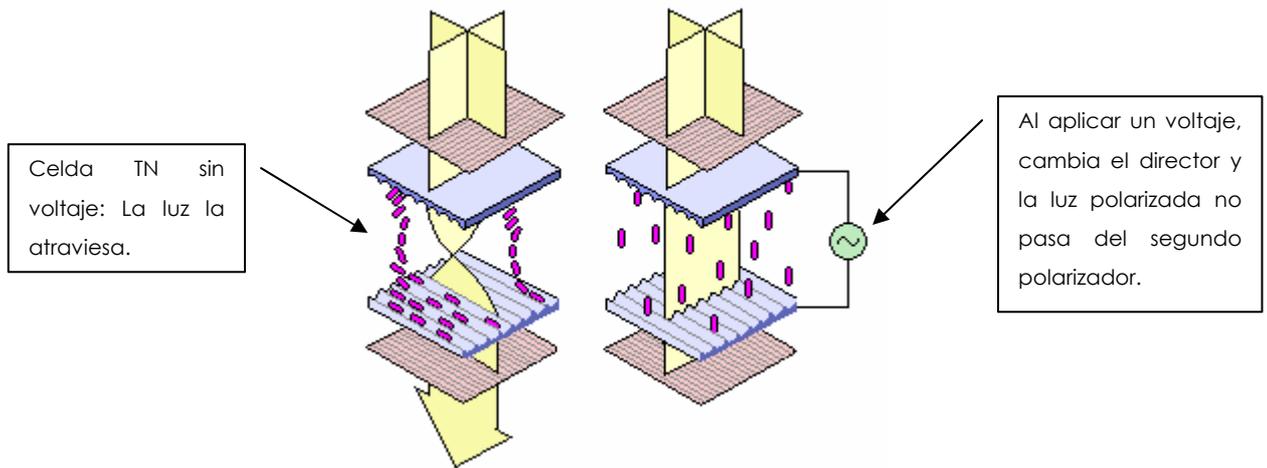


Fig. 9: Funcionamiento de un TN

En función de la intensidad del campo, los LCD TN cambian de claro a oscuro en incluso a estados intermedios, lo que da origen a escalas de grises, en función de la variación de orientación. Como es el voltaje aplicado el que determina la variación de la orientación de las moléculas, podemos establecer una relación directa entre voltaje y transmisión (lo claro u oscuro que esta un LCD). La siguiente gráfica describe esta relación:

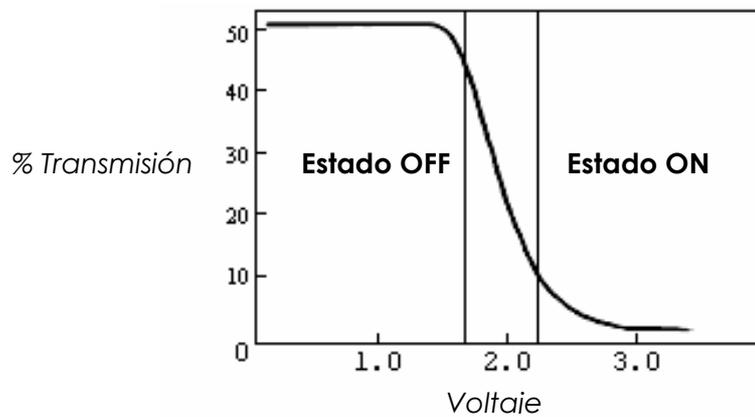


Fig. 10: Relación entre voltaje y transmisión en un TN

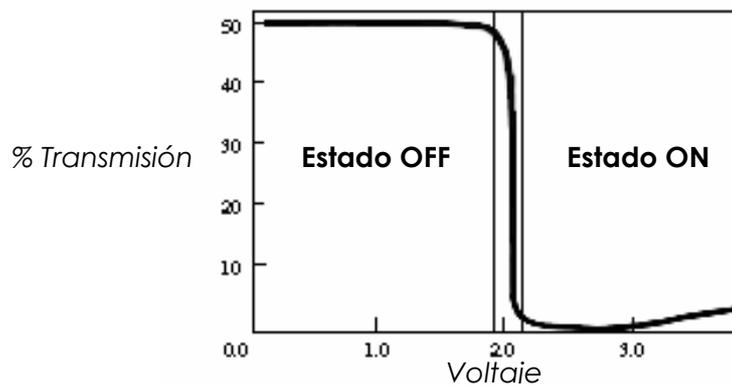
Las dos líneas verticales representan los voltajes del estado OFF (celda transparente) y del estado ON (celda opaca). Nótese que existe una zona intermedia en la cual la celda no esta ni activa ni desactivada. Esto plantea un problema al querer direccionar muchos píxeles mediante multiplexado (véase apartado **Direccionamiento**) ya que se requieren

valores muy cercanos entre el estado ON y el OFF si no queremos que aparezcan problemas de contraste.

### **SBE (Supertwisted Birefringent Effect) y STN (Super Twisted Nematics)**

Como se ha visto en el punto anterior, los LCD TN no resultan prácticos para paneles con muchas filas y columnas.

Para solventar este problema, se desarrollaron los LCD SBE (Supertwisted Birefringent Effect). En estos, el giro (o "retorcimiento") del director es de  $270^\circ$ . Ya que este giro no resulta estable en un nemático puro (ya que giraría  $90^\circ$  en el sentido contrario), al añadir componentes colestéricos al LC, se consigue estabilizar dicho giro. De esta manera se consigue una relación transmisión-voltaje como sigue:



**Fig. 11: Relación entre voltaje y transmisión en un SBE**

Como se puede apreciar, el giro del director provoca que las tensiones de estados ON y OFF estén mucho más cerca, llegando al comportamiento de un biestable. Este comportamiento permite la creación de paneles de varias filas y columnas (más de 100) con un contraste más que aceptable.

Sin embargo, el proceso de "dopado" del nemático y el complicado comportamiento óptico que se deriva del mismo hicieron de los LCD SBE difíciles y caros de fabricar. Es por estos motivos que apareció una solución intermedia entre los TN y los SBE; los STN (Super Twisted Nematics).

Tomando la idea de un retorcimiento superior a  $90^\circ$ , los LCD STN giran su director entre  $180^\circ$  y  $270^\circ$ , siendo el ángulo más usado el de  $210^\circ$ .

Este ángulo intermedio permite una diferencia de voltajes entre estados lo suficientemente cercana como para poder implementar grandes matrices y a su vez proporcionar un cierto margen entre estados ON y OFF, lo que permite la consecución de escalas de grises.

Sin embargo, y como hemos visto en los casos anteriores, los STN iniciales sufrían de efectos de coloración no deseados; en el estado OFF un píxel aparecía con una tonalidad azul y en el estado ON con una tonalidad amarillenta. Aparte de no resultar cómodo para el usuario, resultaban inútiles para la fabricación de paneles a color ya que son necesarios píxeles con blancos y negros puros.

### **DSTN (Dual Super Twisted Nematics)**

Para evitar el efecto indeseado del cambio de fase, se desarrollaron los LCD DSTN (Dual Super Twisted Nematics). La solución al problema consiste en añadir una segunda capa de STN con el giro en el sentido contrario.

De esta manera, en el estado OFF, el cambio de fase de la primera capa es compensado por la segunda, mostrándose el píxel en negro. En el estado ON, la segunda capa no tiene efecto, mostrándose luz blanca.

Con estos LCD se consiguen ratios de contraste de hasta 400:1. Como defecto notar que el contraste cae drásticamente en función del ángulo de visión.

## **Direccionamiento**

Hemos visto como funciona una celda (o píxel) LCD, pero no sabemos como funciona un panel entero, esto es, como hacer que se "enciendan" y se "apaguen" los diferentes componentes. El uso de comillas es intencionado ya que, como veremos en el siguiente apartado, los elementos de un LCD no emiten luz, sólo dejan o no que pase esta.

### **Directo**

El método de direccionamiento más sencillo y en principio simple es el de direccionamiento directo, cada elemento del panel tiene unas conexiones que regulan su tensión individualmente. Este método es apropiado para LCD de pocos elementos, como pueda ser una

calculadora o un reloj digital. Sin embargo, resulta impracticable para paneles con más elementos, como puedan ser matrices, al complicarse en gran manera el cableado de los elementos:

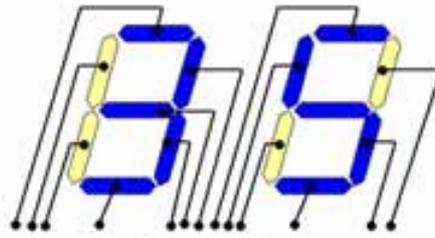


Fig. 12: Direccionamiento directo de LCDs de siete segmentos

### Matriz pasiva

Como hemos visto, el direccionamiento directo cuando los elementos se multiplican resulta difícil y poco eficiente. Para solventar este problema, se implementa una matriz pasiva, que consiste en unas filas de electrodos transparentes situados por encima y debajo de la capa LCD. Cada capa de electrodos está situada perpendicularmente con respecto a la otra, de manera que cada fila de una capa se "intersecta" con la otra en un píxel LCD:

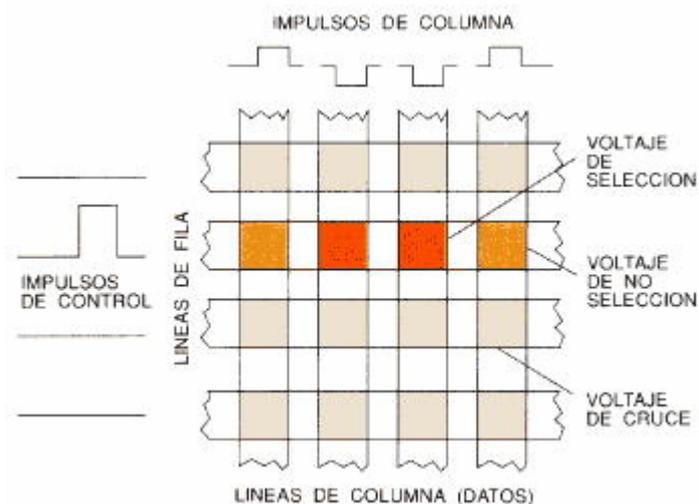


Fig. 13: Esquema del funcionamiento de una matriz pasiva

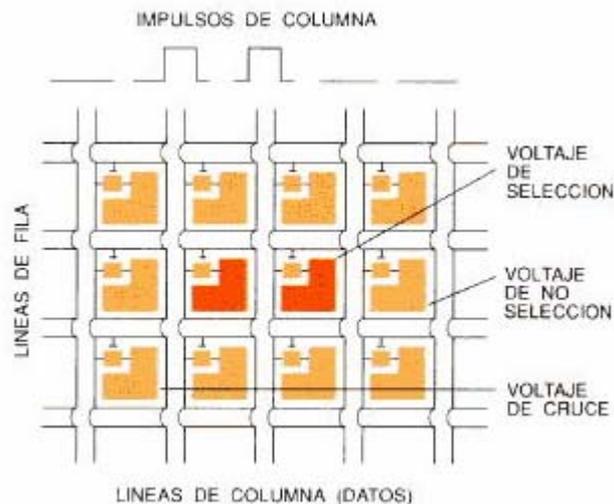
Los píxeles se activan enviando un impulso de control a toda una fila y se suma o resta el voltaje de una columna. Si el voltaje resultante es suficiente, el píxel se activa, volviéndose opaco. El píxel tiene un corto tiempo de carga en el cual se vuelve opaco. Al eliminar la tensión, el LC

actual como un capacitador en descarga, tardando un tiempo en volverse transparente. Transmitiendo estos impulsos a un ratio adecuado (normalmente 60hz) se consigue el efecto de permanencia (al igual que un CRT).

Este tipo de direccionamiento tiene la desventaja que a mayor densidad de filas y columnas, se crea un efecto campo que activa parcialmente los píxeles circundantes a uno activo, creando un efecto de "imagen fantasma". Otro problema reside en el tiempo de descarga de las celdas, que ante cambios muy rápidos (como el movimiento de un puntero), se produzca un efecto de "rastros".

### Matriz activa

Si bien en una matriz pasiva el direccionamiento se produce por el cruce de tensiones por encima y debajo del LC, en una matriz activa el direccionamiento se produce por completo por debajo del LC, estando la parte superior cubierta con un electrodo continuo. El direccionamiento se produce mediante una matriz de TFT, donde cada transistor direcciona un píxel:



**Fig. 14: Esquema del funcionamiento de una matriz activa**

En estas matrices, los transistores se pueden activar individualmente, provocando el efecto Freedericksz en cada píxel sin afectar a los circundantes. Este tipo de matrices no sufren las limitaciones de las pasivas (efecto fantasma y rastros), pero requieren una retroiluminación mayor ya que el TFT no es muy transparente y absorbe parte de la luz.

## **Iluminación**

Si bien ya hemos visto como un píxel de LC se activa y desactiva e incluso como se activa “parcialmente” (graduando el voltaje aplicado entre el estado ON y el estado OFF), este no puede generar luz por sí mismo, sólo deja pasar la luz o no. Para poder ver la actividad de un píxel es necesaria una fuente de luz, que se sitúa en la parte posterior del LCD. En los LCD actuales distinguimos tres tipos de iluminación: reflectiva, transmisiva y transreflectiva.

### **Reflectivo**

Es el más sencillo de los métodos de iluminación y el más usado en los paneles más simples, como puedan ser los de calculadoras o relojes. Consiste en la colocación de un espejo o superficie reflectante, de esta manera la luz que nos permite ver el panel es producto de la reflexión de la luz ambiente en el fondo del LCD. Tiene la ventaja de no necesitar una fuente de tensión y por tanto no influye en el consumo del aparato. Como desventaja, depende fuertemente de la luz ambiental y del ángulo de incidencia de la misma.

### **Transmisivo**

La iluminación transmisiva es la usada en los paneles LCD modernos tales como los monitores TFT o las pantallas de los ordenadores portátiles. Consiste en colocar una fuente de luz blanca (un halógeno por norma general) en la parte posterior del LCD. Proporciona un buen contraste y definición independientemente de la luz ambiente. La fuente de luz ha de ser muy homogénea, si no, pueden aparecer sombras que desvirtúen la imagen y el color.

### **Transreflectivo**

El método Transreflectivo es una combinación de los dos anteriores. Incorpora una capa reflectiva pero también una fuente de luz que puede estar tanto detrás del reflector (teniendo este un cierto grado de transparencia) como bordeando la capa de LC (y aprovechando así el reflector). Ejemplos de este uso son las pantallas iluminadas de los teléfonos móviles o de ciertas consolas portátiles (como la GameBoy Advance SP).

## **Generación del color**

El último paso que nos queda por explicar es la generación del color. Hemos visto como que un píxel LC no solo se “enciende” y “apaga” si no que también puede adquirir valores intermedios dando lugar a una escala de grises. Si bien los elementos LC presentan propiedades ópticas como la difracción que dan lugar a colores, estas no son adecuadas (por el poco control que se puede ejercer sobre las mismas) para la generación del color. Es más, hemos visto en el ejemplo de los STN que este tipo de comportamientos ópticos presenta más problemas que ventajas.

### **Teoría del color**

Para poder generar color en LCD, se recurre a la teoría del color y a formulas y usadas en otras tecnologías de representación.

Como ya sabemos, la luz blanca es la suma de todas las longitudes de onda que la componen, esto es, de los diferentes colores. Por tanto, al “sumar” colores obtenemos luz blanca. Es lo que se dice la teoría aditiva del color. Bastan tres colores primarios (rojo, verde y azul) para que mediante la combinación de diferentes intensidades de los mismos obtengamos todo el espectro de colores. Esta es la manera en la que se generan los colores en los monitores CRT, cuando un haz de electrones incide sobre un fósforo de uno de estos tres colores. Cuando se iluminan tres elementos consecutivos RGB (Red, Green, Blue) a diferentes intensidades, obtenemos un píxel de color.

Pues bien, en los LCDs se aplica exactamente el mismo principio, salvo que lo que se “ilumina” para cada color primario es un píxel LC. Delante de cada uno de esto se halla un filtro de color que “colorea” (valga la redundancia) la cantidad de luz que ha dejado pasar el píxel LC. La combinación de tres píxeles da como resultado un píxel de color.

En un panel de matriz activa, esto implica que para cada subpíxel hace falta un transistor. Si tomamos como ejemplo un monitor TFT del mercado (Sony SDM-X72) que tiene una resolución de 1280x1024, esto representa un total de 3.932.160 transistores que son direccionados individualmente.

Las pantallas TFT modernas pueden conseguir tantos colores como las CRT (colores de 24 bits o 16.777.216 colores).

## Máscaras de color

Para la generación del color se emplean tres tipos de máscaras de color diferentes: por tiras, de mosaico y en delta.

### Tiras

Los subpíxeles se ordenan por filas en una disposición RGB, de manera que los colores están agrupados por columnas. Son de fabricación y diseño muy simples, presentando una mezcla de color pobre y de poca resolución:

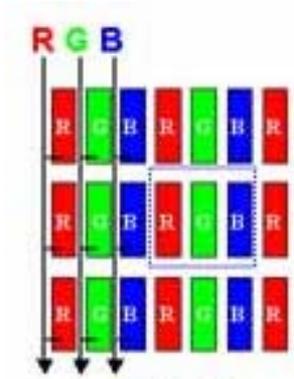


Fig. 15: Máscara de color por tiras

### Mosaico

Se distribuyen los subpíxeles de cada color en diagonal por la matriz, de manera que un subpíxel de un color está rodeado a derecha e izquierda y por encima y por debajo de subpíxeles de color diferente. El diseño de la matriz es simple, pero su fabricación es complicada. Presentan un buen comportamiento general de mezcla de color y resolución:

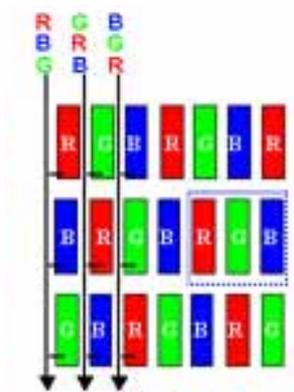


Fig. 16: Máscara de color de mosaico

### Delta

Los subpíxeles se agrupan en filas en una disposición RGB, pero con la particularidad que cada fila esta desplazada lateralmente medio subpíxel con respecto a la superior. De esta manera, cada subpíxel se halla en el centro de un hexágono cuyos vértices ocupan subpíxeles de color diferente al suyo. El diseño y fabricación de la matriz son complicados, pero es el que ofrece mejores características de color y resolución:

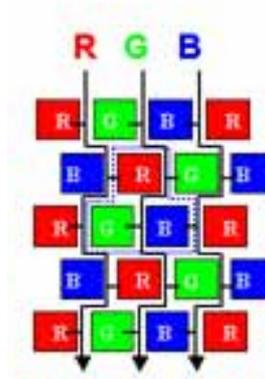


Fig. 17: Máscara de color en delta

## El LCD como periférico

Ahora que comprendemos por completo como funciona un LCD, vamos a estudiar dichos paneles desde el punto de vista de su conexión con los dispositivos que han de mostrar información en ellos ya que, de por sí, un LCD no tiene sentido.

En este apartado describiremos la electrónica comercial usada en dos tipos de LCD: un controlador para panel de matriz pasiva para caracteres alfanuméricos (Hitachi HD44780U) y un panel TFT LCD color (matriz activa) de 15,7" (LG.Philips LM157E1-A2).

### HD44780U

Este controlador de la casa Hitachi se usa para mostrar caracteres alfanuméricos en paneles LCD de matriz pasiva (los típicos que se pueden encontrar por ejemplo en un "busca" o en el frontal de un servidor).

Permite mostrar caracteres alfanuméricos y Kana (japoneses) y puede direccionar una matriz LCD bajo el control de un procesador de 4 u 8 bits.

Proporciona todos los elementos necesarios para el manejo de un LCD: RAM de pantalla, generador de caracteres, y controlador para el LC de manera que se puede configurar un sistema con un mínimo de componentes. La ROM de generación de caracteres contiene 208 fuentes de caracteres de 5x8 y 32 fuentes de caracteres de 5x10, sumando un total de 240 fuentes diferentes. Además, su bajo consumo (entre 2.7V y 5.5V) lo hace adecuado para aplicaciones portátiles alimentadas con baterías.

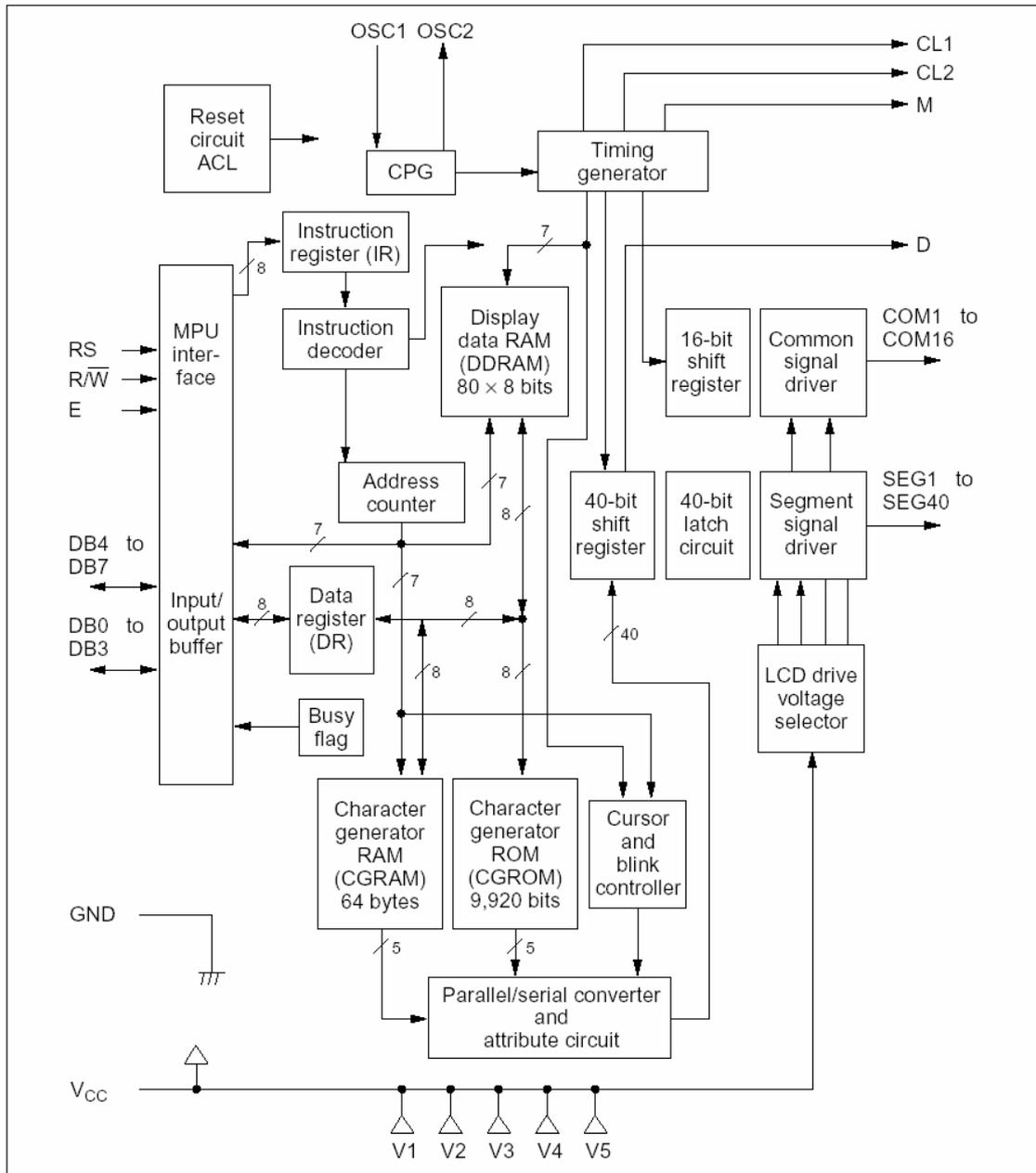
## Características

Sus características son las siguientes:

- Caracteres de 5x8 y 5x10.
- Bajo consumo: entre 2.7V y 5.5V.
- Amplio rango de voltajes del controlador del LC: entre 3V y 11V.
- Correspondencia con bus de interficie MPU de alta velocidad: 2MHz cuando  $V_{cc} = 5V$ .
- Compatible con MPU de 4 u 8 bits.
- RAM de pantalla de 80 x 8 bits, con un máximo de 80 caracteres.
- ROM de generación de caracteres de 9.920 bits con un total de 240 fuentes de caracteres:
  - 208 fuentes de 5x8 puntos.
  - 32 fuentes de 5x10 puntos.
- RAM de generación de caracteres de 64 x 8 bits:
  - 8 fuentes de 5x8 puntos.
  - 4 fuentes de 5x10 puntos.
- Ciclos de tareas programables:
  - 1/8 para una línea de 5x8 puntos con cursor.
  - 1/11 para una línea de 5x10 puntos con cursor.
  - 1/16 para dos líneas de 5x8 puntos con cursor.
- Controlador del LCD con señal común de 16 bits y señal de segmento de 40 bits.

### Componentes

El diagrama de bloques del controlador es el siguiente:



**Fig. 18: Diagrama de bloques del HD44780U**

El controlador tiene dos registros de 8 bits, uno de instrucciones (IR) y otro de datos (DR). El IR almacena los códigos de instrucción, direcciones de la RAM de pantalla (DDRAM) y de la RAM del generador de caracteres (CGRAM). El IR sólo puede modificarse desde la MPU.

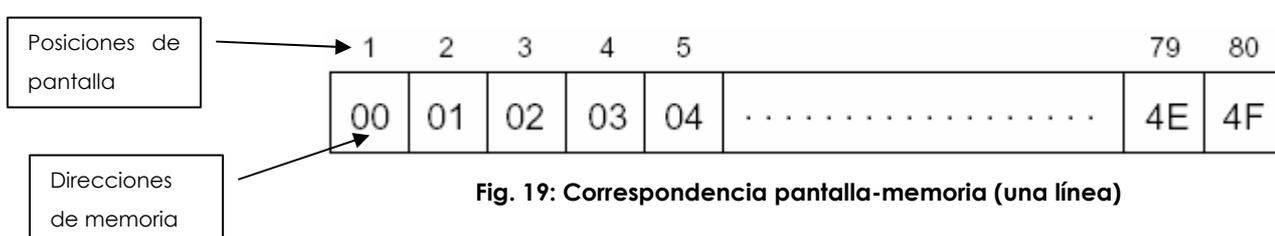
El DR almacena temporalmente los datos que se han de escribir en la DDRAM o en la CGRAM y datos que han de leerse de la DDRAM y la CGRAM, así como almacena los datos que se han leído de alguna de estas memorias. Los datos que se escriben en el DR desde la MPU son automáticamente escritos en la DDRAM o CGRAM por medio de una operación interna que activa la señal de ocupado (busy flag: BF), impidiendo la aceptación de cualquier instrucción que venga. El estado de este "flag" se puede leer en el pin DB7 poniendo el selector de registros (RS) a cero y  $R/\bar{W}$  a uno.

La transferencia de datos con la MPU se completa cuando esta lee el DR. Después de la lectura, se accede a los datos de la DDRAM o CGRAM en la siguiente dirección y se envían al DR para la próxima lectura por parte de la MPU. Por medio de la señal de selección de registro (RS), se pueden seleccionar los IR o DR.

El Address Counter (AC) es el encargado de de asignar direcciones tanto para la DDRAM como para la CGRAM. Al escribir una dirección en el IR, se envía al AC. La selección de la memoria (DDRAM o CGRAM) se determina al mismo tiempo en función de la instrucción. Después de cada escritura/lectura en/de la DDRAM o CGRAM, se incrementa/decrementa en 1 el AC. El contenido del AC se puede leer en los pins DB0 a DB6 poniendo  $RS = 0$  y  $R/\bar{W} = 1$ .

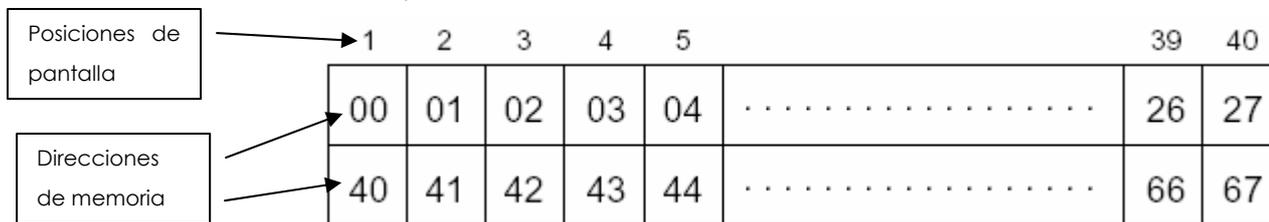
La memoria de pantalla (DDRAM) almacena los caracteres a mostrar codificados con 8 bits, de manera que puede almacenar hasta 80 caracteres. El AC direcciona las posiciones de la DDRAM en hexadecimal, de manera que la primera posición corresponde a la dirección 00 y la última corresponde a la 4F. Con esta memoria se pueden mostrar datos en pantallas de una o dos líneas.

Cuando se usan pantallas de una línea, las posiciones de pantalla se corresponden con las de memoria de manera que en la primera posición de pantalla se mostrará el carácter almacenado en la posición 00, la segunda corresponderá a la posición 01 y así sucesivamente:



**Fig. 19: Correspondencia pantalla-memoria (una línea)**

En pantallas de dos líneas se respeta la correspondencia para la primera línea, pero la dirección de memoria que corresponde al inicio de la segunda línea no es consecutiva con la dirección correspondiente al final de la primera:



**Fig. 20: Correspondencia pantalla-memoria (dos líneas)**

La memoria de generación de caracteres (CGRAM) permite modificar patrones de caracteres por programa. Para caracteres de 5x8 puntos se pueden generar hasta ocho patrones. Para caracteres de 5x10, hasta cuatro. Este componente proporciona una gran flexibilidad al uso del LCD al poder programar caracteres a medida de las necesidades del dispositivo.

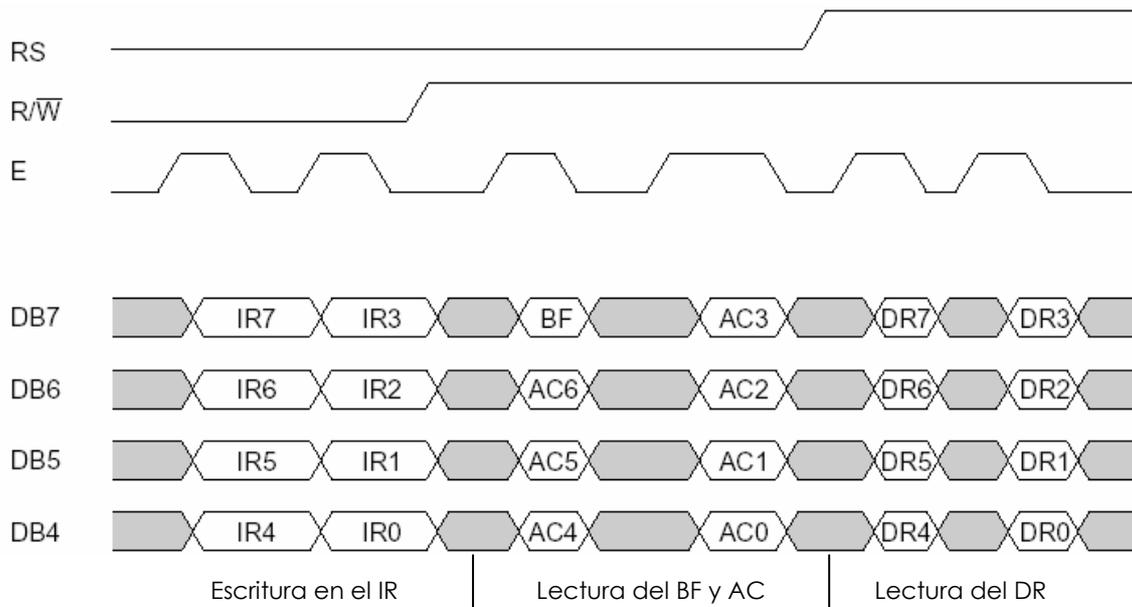
El circuito de generación de tiempo (Timing Generator) proporciona los ciclos de reloj necesarios para el funcionamiento del resto de componentes tales como la DDRAM, CGRAM, IR, etc. Las operaciones de lectura de RAM de pantalla y de acceso desde la MPU son controladas por un pulso de reloj diferente para evitar interferencias.

El controlador del LCD es el encargado de proporcionar las señales para la activación/desactivación de los píxeles de la pantalla. Dispone de 16 señales comunes y 40 señales de segmentos. El controlador de parpadeo de cursos/carácter se encarga de hacer parpadear el cursor o carácter situado en la última posición de memoria direccionada por el AC.

### Funcionamiento

El controlador HD44780U puede ser controlado por una MPU de cuatro (dos operaciones) u ocho bits (una operación).

Cuando el controlador es conectado a una MPU de cuatro bits, sólo se usan los buses DB4 a DB7, quedando los buses DB0 a DB3 sin uso. Los datos se envían desde la MPU en dos "paquetes" de cuatro bits (primero los bits de orden alto y después los de orden bajo), tras los cuales se lee el estado del BF y del AC:



**Fig. 20: Ejemplo de transferencia con MPU de cuatro bits**

Si se usa una MPU de ocho bits, se usarán los buses DB0 a DB3 y se enviarán los datos en un solo paso.

La conexión con el LCD se puede hacer de varias maneras en función del número de líneas de la pantalla y el tamaño de fuente usado (5x8 o 5x10). De esta manera obtenemos la siguiente tabla de uso de las señales comunes del controlador del LCD:

| Número de líneas | Tipo de fuente | Señales comunes |
|------------------|----------------|-----------------|
| 1                | 5x8 + cursor   | 8               |
| 1                | 5x10 + cursor  | 11              |
| 2                | 5x8 + cursor   | 16              |

En cada carácter se usan cinco señales de segmento, por tanto el controlador puede mostrar hasta ocho caracteres por línea, con un total de dieciséis caracteres en una pantalla de dos líneas.

Se muestran a continuación los esquemas de conexión del controlador con el LCD para los tres casos descritos:

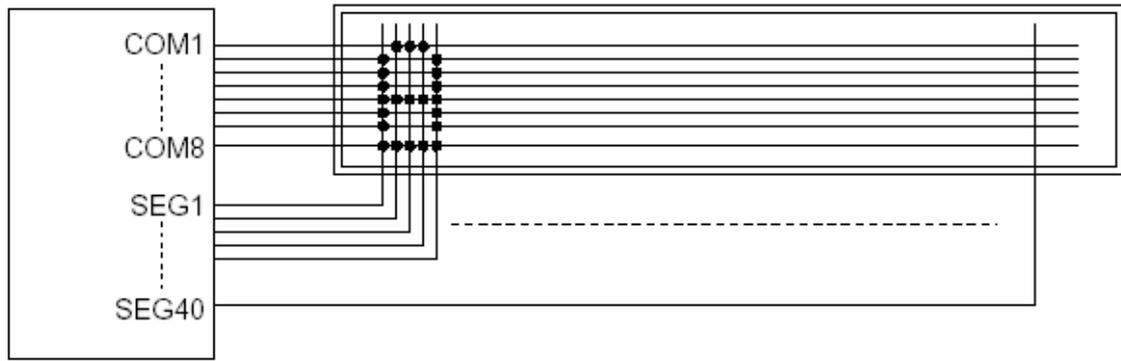


Fig. 21: Conexión con un LCD de una línea y caracteres de 5x8

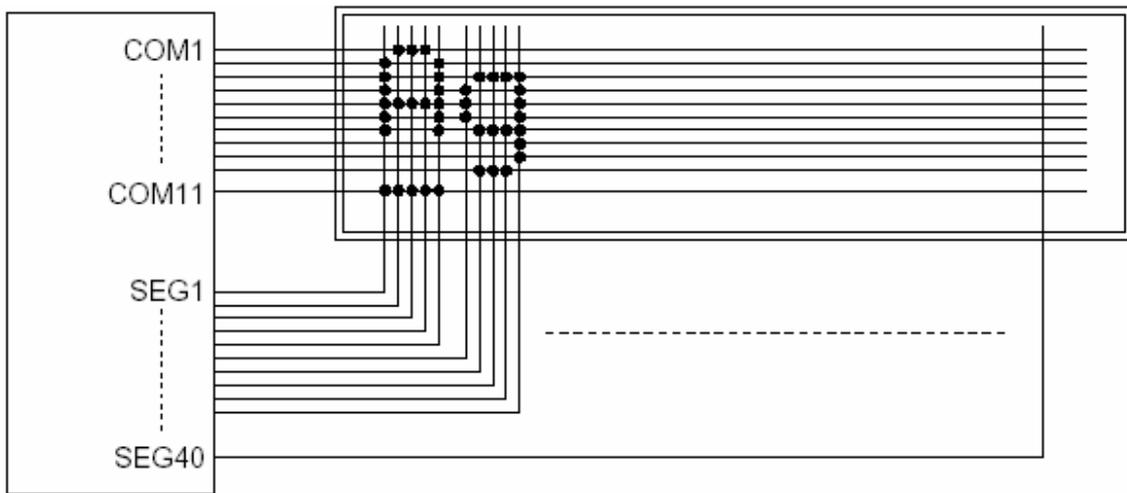


Fig. 22: Conexión con un LCD de una línea y caracteres de 5x10

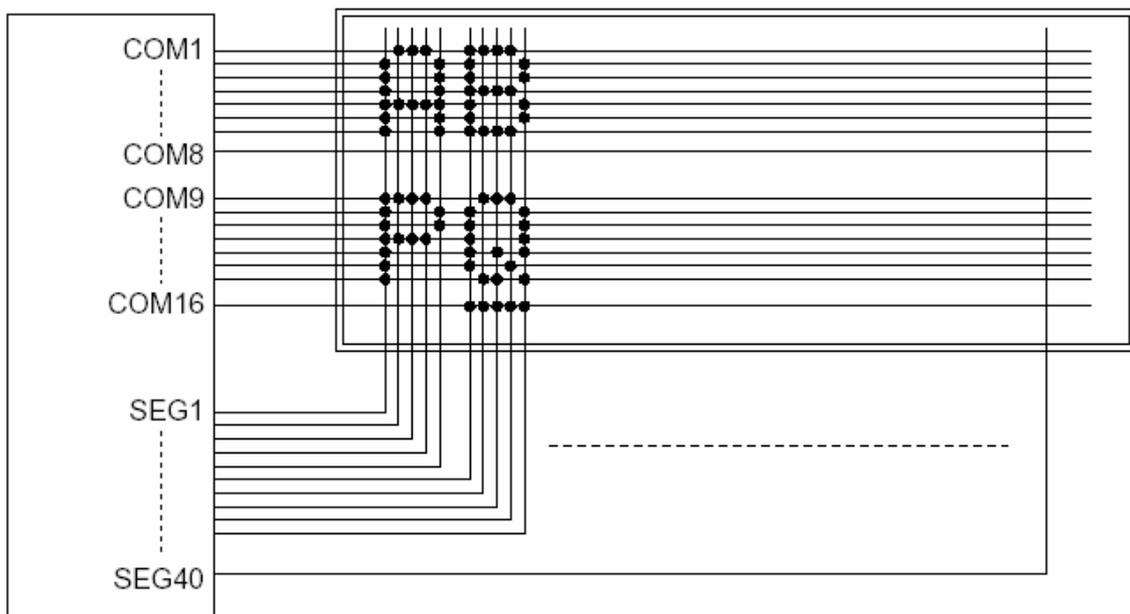
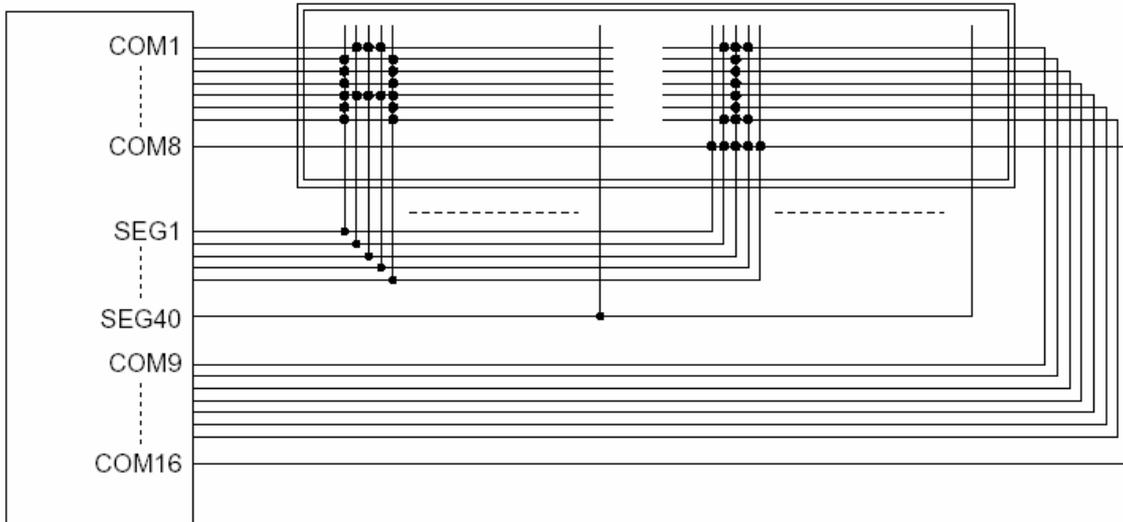


Fig. 23: Conexión con un LCD de dos líneas y caracteres de 5x8

Adicionalmente, cambiando la disposición de las conexiones de las señales comunes, se puede llegar a controlar una pantalla de una línea mostrando dieciséis caracteres de 5x8:



**Fig. 24: Conexiones para poder mostrar 16 caracteres en una sola línea**

## **LM157E1-A2**

Se trata de una pantalla LCD color de matriz activa de iluminación transmisiva proporcionada por una lámpara fluorescente de cátodo frío (CCFL). El direccionamiento se realiza mediante una matriz TFT de a-Si que proporciona una resolución de 1280x1024 píxeles. El tamaño de visualización es de 15,7".

Los píxeles están divididos en tres subpíxeles que proporcionan el color mediante una máscara dispuesta en tiras verticales RGB. Cada subpíxel puede graduarse con 256 intensidades diferentes, consiguiéndose más de 16 millones de colores en conjunto.

El direccionamiento de los píxeles en la matriz es izquierda a derecha y de arriba a abajo de manera que el píxel (0,0) está en la esquina superior izquierda y el píxel (1279,1023) está en la esquina inferior derecha.

Esta pantalla está diseñada para ofrecer un bajo consumo (12,1 W en condiciones normales). Se usan dos fuentes de alimentación separadas para el dispositivo; una alimenta la electrónica del LCD y la matriz TFT y la otra alimenta el CCFL. El diagrama de bloques pantalla es el siguiente:

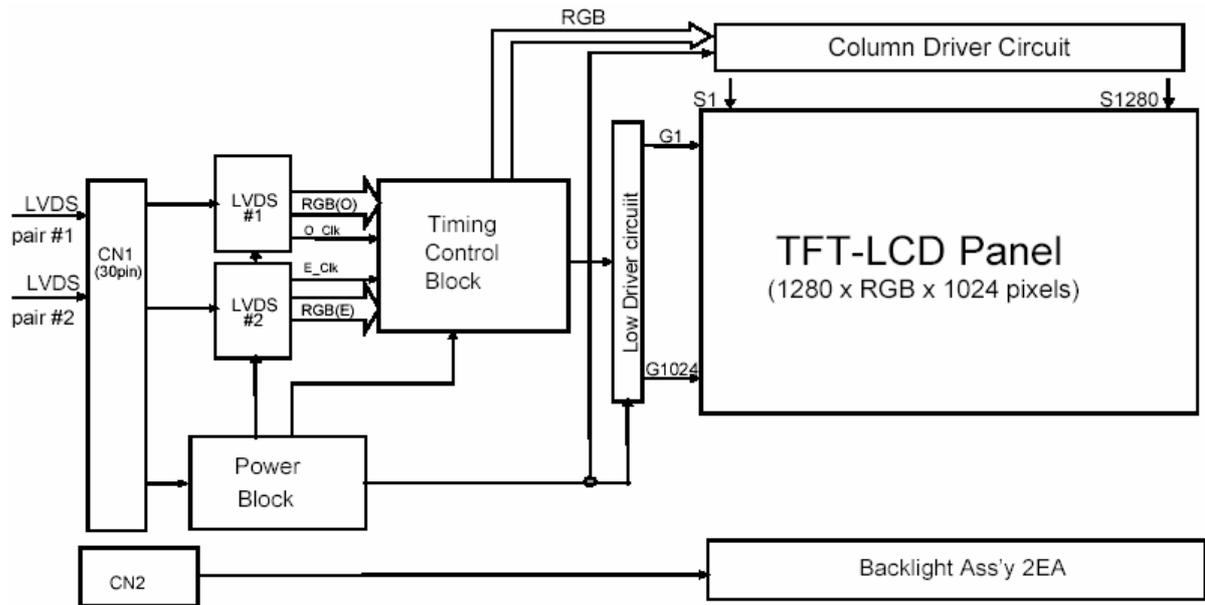


Fig. 25: Diagrama de bloques de la LM157E1-A2

Las señales RGB se reciben mediante dos canales LVDS (Low-Voltage Differential Signaling) que controlan los valores RGB de las columnas pares e impares de píxeles, de manera que se obtienen los valores de dos píxeles a la vez.

El receptor LVDS decodifica los valores RGB y la señal de reloj (que viene por cada uno de los canales) proporcionando los voltajes necesarios a cada subpíxel tal como se muestra en el esquema:

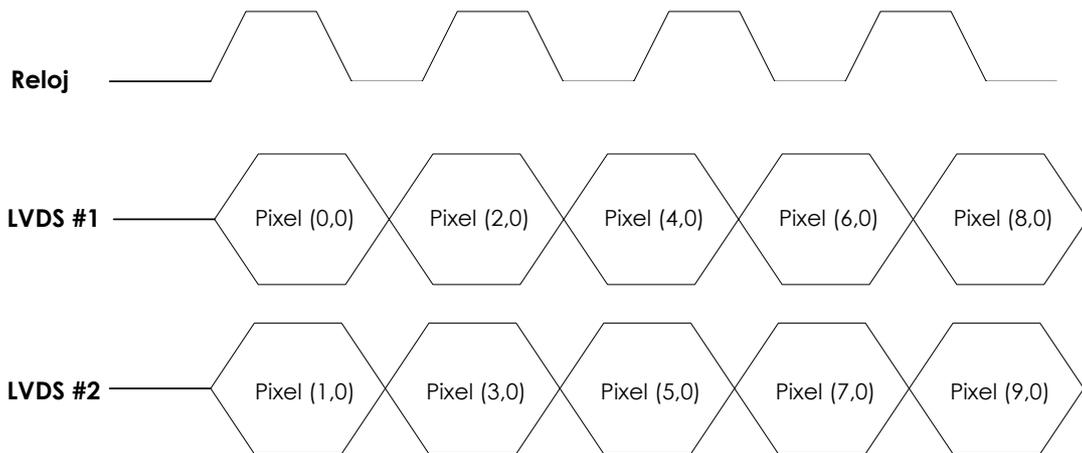


Fig. 26: Transferencia de las señales LVDS a la pantalla

---

## Otras tecnologías

---

Una vez que hemos visto el funcionamiento de la tecnología LCD, haremos un breve repaso a las otras tecnologías de pantalla plana.

### **Plasma**

Las pantallas de plasma son anteriores en su concepción a las LCD, pero no ha sido hasta hace poco que han conseguido una tecnología de color que superará a la que ocupa este documento.

El principio básico es muy similar al del LCD de matriz pasiva, consta de dos capas de hilos conductores por filas perpendiculares entre ellas. Estas se hallan pegadas a sendas caras de unos sustratos de vidrio que conforman un "emparedado" que encierra un gas (normalmente neón). Al producirse suficiente corriente en las intersecciones, el gas pasa a estado de plasma, emitiendo luz. Las antiguas pantallas de plasma eran energéticamente muy ineficientes y no podían generar color (emitían un color anaranjado), pero eran muy útiles para mostrar gran cantidad de datos ya que se podían fabricar de grandes dimensiones.

Las pantallas de plasma actuales son las competidoras directas (por calidad, espacio y tamaño) de los televisores domésticos.

### **Electroluminiscencia**

La electroluminiscencia de capa delgada es una tecnología también anterior al LCD que se planteaba como competencia al plasma y que se usó para grandes pantallas alfanuméricas pero que hoy en día ha caído en desuso.

El principio de funcionamiento es análogo al del plasma, pero sustituyendo el gas por una sustancia fosforescente.

Curiosamente, son el antecedente directo de los OLED, que representan lo último en paneles de representación.

### **OLED (Organic Light Emitting Diode)**

La tecnología OLED, desarrollada por los laboratorios Kodak es la siguiente frontera en las tecnologías de representación.

Esta tecnología se basa en los estudios de C.W. Tang y S.A. Van Slyke de compuestos orgánicos que actúan como diodos electro

luminiscentes, de manera que en aplicación de un campo eléctrico, estos compuestos emiten luz.

A diferencia de la tecnología LCD, que es "pasiva" en cuanto a luz se refiere (necesita de fuentes externas de luz), la tecnología OLED es "activa", esto es, cada elemento de la misma es emisor de luz. Esto presenta una serie de ventajas tales como un contraste y color difícilmente igualados incluso por tecnologías CRT como un bajo consumo, la capacidad de incorporarlos a polímetros blandos (obteniendo así paneles enrollables, por ejemplo) como de conseguir transparencias (imprescindible para los sistemas emergentes de "visualización enriquecida", por los cuales se "añade" información a lo que está observando el usuario).

---

## Conclusión

---

La tecnología LCD ha avanzado enormemente en los últimos años y seguirá desarrollándose en el futuro para ofrecernos nuevas posibilidades. Aunque será desbancada por las tecnologías emergentes (como OLED), todavía hay campo para la investigación y mejora de algunos aspectos no resueltos como puedan ser el ángulo de visión o la fuente de luz.

De momento, ha propiciado en gran manera la popularización de tecnologías "móviles" (tales como telefonía, sistemas GPS, consolas portátiles, etc.), tecnologías que no hubieran sido posibles sin una manera compacta y sencilla de representar la información y mostrarla al usuario, objetivo que consigue plenamente el LCD.

---

## Bibliografía

---

- W.E. Howard, *Thin-film-Transistor/Liquid cristal display technology – An introduction*, IBM Journal of Research and Development – Volume 36, Number 1 – 1992
- Steven W Depp y Webster E. Howard, *Pantallas Planas*, Investigación y Ciencia – Temas 4 "Máquinas de Computo" – 1995
- Samuel Musa, *Monitores de cristal líquido de matriz activa*, Investigación y Ciencia Enero 1998
- Leopoldo García-Colín Scherer y Rosalío Rodríguez Zepeda, *Cristales Líquidos*,  
<http://www.fzyb.uba.ar/Farmacotecnia%20I/CRISTALES%20LIQUIDOS.htm>
- Case Western Reserve University, *Polymers and Liquid crystals Virtual Textbook*, <http://plc.cwru.edu/>
- Plasma.com, *Learn about LCD TV and TFT LCD Displays*,  
[http://www.plasma.com/classroom/what\\_is\\_tft\\_lcd.htm](http://www.plasma.com/classroom/what_is_tft_lcd.htm)
- The PC Technology guide, *Panel Displays*,  
<http://www.pctechguide.com/07panels.htm>
- Hitachi, *HD44780U (LCD-II) (Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver)*, ADE-207-272(Z)  
<http://scutter.ece.uvic.ca/lab/ceng355/project/hd44780u.pdf> - 1998

- LG.Philips LCD, *LM157E1-A2 15,7" SXGA TFT LCD Preliminary Specification*, <http://www.alpha.fi/support/download/LM157E1-A2.pdf> - Mayo de 2000

