

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>XII</b>

### **CAPÍTULO 1**

<b>1 DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA LA FABRICACIÓN DE PANTALLAS PLANAS Y COMPARACIÓN DE LAS MISMAS.....</b>	<b>1</b>
---	----------

<b>1.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
------------------------------	----------

<b>1.1.1 EVOLUCIÓN DE LOS DISPLAYS.....</b>	<b>3</b>
---	----------

1.1.1.1 Tubo de rayos catódicos (Cathode Ray Tube o CRT) .....	3
--	---

1.1.1.2 Nixie.....	5
--------------------	---

1.1.1.3 Display de plasma (Plasma Display Panel o PDP) .....	5
--	---

1.1.1.4 Display fluorescente al vacío (Vacuum Fluorescent Display o VFD).....	6
---	---

1.1.1.5 Display electroluminiscente (Electroluminescent Display o ELD)...	7
---	---

1.1.1.6 Display de LEDs .....	8
-------------------------------	---

1.1.1.7 Display de cristal líquido (Liquid Crystal Display o LCD) .....	9
---	---

1.1.1.8 Diodo orgánico emisor de luz (Organic Light Emitting Diode u OLED).....	10
---	----

<b>1.1.2 ASPECTOS ERGONÓMICOS .....</b>	<b>11</b>
---	-----------

<b>1.1.3 EL MERCADO DE LAS PANTALLAS PLANAS .....</b>	<b>11</b>
---	-----------

<b>1.2 PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN BASADAS EN LA EMISIÓN DE ELECTRONES .....</b>	<b>13</b>
---	-----------

<b>1.2.1 PLASMA DISPLAY PANEL (PDP) .....</b>	<b>13</b>
---	-----------

1.2.1.1 Plasma.....	13
---------------------	----

1.2.1.2	Funcionamiento de un panel de visualización de plasma .....	16
1.2.1.3	Características .....	18
1.2.1.4	Ventajas y desventajas .....	25
1.2.1.5	Nuevas tecnologías .....	26
<b>1.2.2</b>	<b>FIELD EMISSION DISPLAY (FED).....</b>	<b>28</b>
1.2.2.1	Funcionamiento .....	29
1.2.2.2	Características .....	32
1.2.2.3	Ventajas y desventajas .....	34
1.2.2.4	Nuevas tecnologías .....	35
<b>1.2.3</b>	<b>ELECTROLUMINESCENT DISPLAY (ELD) .....</b>	<b>40</b>
1.2.3.1	Producción de luminiscencia.....	41
1.2.3.2	Estructura .....	43
1.2.3.3	Funcionamiento de un visualizador electroluminiscente .....	44
1.2.3.4	Características y ventajas .....	45
1.2.3.5	Nuevo material electroluminiscente para pantallas.....	48
<b>1.2.4</b>	<b>ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE (OLED) .....</b>	<b>49</b>
<b>1.2.5</b>	<b>LIGHT EMITTING POLYMER (LEP).....</b>	<b>51</b>
1.2.5.1	Introducción .....	51
1.2.5.2	Plástico eléctrico .....	52
1.2.5.3	Plásticos moleculares .....	56
1.2.5.4	El lazo de unión .....	56
1.2.5.5	Misterio condensado.....	58
1.2.5.6	Polímeros.....	62
1.2.5.7	Polímeros potentes .....	63
1.2.5.8	Polímeros Emisores de Luz .....	64
1.2.5.9	Diodo polímero emisor de luz (PLEDs) .....	67
1.2.5.10	Progresos de PLED .....	68
1.2.5.11	Ventajas y Desventajas .....	69
<b>1.3</b>	<b>PANTALLAS NO EMISIVAS .....</b>	<b>70</b>
<b>1.3.1</b>	<b>LIQUID CRYSTAL DISPLAY (LCD) .....</b>	<b>70</b>
1.3.1.1	Introducción .....	70
1.3.1.2	Fundamentos físicos.....	70

1.3.1.3	Fundamentos tecnológicos .....	84
1.3.1.4	Aplicaciones.....	95
1.3.1.5	Análisis de parámetros relevantes en los LCDs.....	100
1.3.1.6	Análisis comparativo entre tecnologías LCD .....	101
1.3.1.7	Ventajas y desventajas tecnología LCD .....	101
<b>1.4</b>	<b>COMPARACIÓN ENTRE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA FABRICACIÓN DE PANTALLAS PLANAS.....</b>	<b>103</b>

## **CAPÍTULO 2**

<b>2</b>	<b>DIODOS ORGÁNICOS EMISORES DE LUZ (OLED) [40] [41] .....</b>	<b>106</b>
<b>2.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>106</b>
<b>2.2</b>	<b>HISTORIA .....</b>	<b>109</b>
<b>2.3</b>	<b>DISPLAYS OLED.....</b>	<b>111</b>
<b>2.4</b>	<b>COMPONENTES DEL OLED .....</b>	<b>112</b>
<b>2.5</b>	<b>FABRICACIÓN DE LOS OLEDs .....</b>	<b>113</b>
<b>2.6</b>	<b>EMISIÓN DE LUZ CON OLEDs .....</b>	<b>114</b>
<b>2.7</b>	<b>MOLÉCULA OLED PEQUEÑA CONTRA EL POLÍMERO OLED .....</b>	<b>117</b>
<b>2.8</b>	<b>TIPOS DE OLEDs.....</b>	<b>117</b>
<b>2.8.1</b>	<b>OLED DE MATRIZ PASIVA (PMOLED). .....</b>	<b>118</b>
2.8.1.1	Funcionamiento OLEDs de Matriz Pasiva .....	119
<b>2.8.2</b>	<b>OLED DE MATRIZ ACTIVA (AMOLED).....</b>	<b>120</b>
2.8.2.1	Funcionamiento de los OLEDs de Matriz Activa .....	121
<b>2.8.3</b>	<b>OLED TRANSPARENTE .....</b>	<b>123</b>
<b>2.8.4</b>	<b>OLED DE TAPA EMISIVA. ....</b>	<b>124</b>
2.8.4.1	Transparencia .....	125
2.8.4.2	Emisión Superior.....	126
<b>2.8.5</b>	<b>OLED PLEGABLE O FLEXIBLE .....</b>	<b>127</b>
2.8.5.1	Durabilidad.....	127
2.8.5.2	Flexibilidad .....	127
2.8.5.3	Sustratos flexibles .....	128

2.8.5.4	Empaquetado y encapsulación de FOLED. [41] .....	129
2.8.6	OLED BLANCO .....	129
2.9	VENTAJAS DE OLED .....	130
2.10	DESVENTAJAS DE OLED .....	131

## **CAPÍTULO 3**

3	APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA OLED .....	132
3.1	APLICACIONES ACTUALES.....	133
3.1.1	RADIOS PARA AUTOS.....	133
3.1.2	TELÉFONOS MÓVILES (Display secundario, 4 colores).....	133
3.1.3	CÁMARAS DIGITALES .....	134
3.1.4	REPRODUCTORES DE MÚSICA.....	135
3.1.5	TELÉFONOS MÓVILES (Display principal, full color) .....	135
3.1.6	TELEVISORES .....	136
3.1.7	TABLERO DE INSTRUMENTOS DE CIERTOS VEHÍCULOS.....	137
3.1.8	TECLADO .....	138
3.2	POSIBLES APLICACIONES .....	139
3.2.1	DISPOSITIVOS CON PANTALLAS FLEXIBLES.....	139
3.2.2	PAPEL DE PARED LUMINOSO.....	140
3.2.3	PANTALLAS ELECTRÓNICAS EN LA ROPA Y ETIQUETAS DE PRODUCTOS.....	141

## **CAPÍTULO 4**

4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	143
4.1	CONCLUSIONES.....	143

<b>4.2</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>145</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>147</b>
	<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>151</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

<b>Figura 1-1.</b>	<b>Clasificación de las pantallas planas (FPD).....</b>	<b>2</b>
<b>Figura 1-2.</b>	<b>Esquema de un Tubo de Rayos Catódicos para pantallas a color.....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 1-3.</b>	<b>Fotografía de un display tipo Nixie.....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 1-4.</b>	<b>Esquema de un display de plasma.....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 1-5.</b>	<b>Control del encendido de los segmentos en un VFD.....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 1-6.</b>	<b>Componentes de un display electroluminiscente.....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 1-7.</b>	<b>Estructura de un diodo emisor de luz.....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 1-8.</b>	<b>(a) Display de 7 segmentos. (b) Display de 9 segmentos.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 1-9.</b>	<b>Estructura de un display de cristal líquido.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1-10.</b>	<b>Estructura de un OLED.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1-11.</b>	<b>Mercado mundial de pantallas planas (proyección para el 2006)....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 1-12.</b>	<b>Proceso mediante el cual un átomo emite fotones de energía.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 1-13.</b>	<b>Esquema de un panel de visualización de plasma.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 1-14.</b>	<b>Ubicación de los electrodos de pantalla y de direccionamiento.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 1-15.</b>	<b>Variación de pulsos de corriente eléctrica para manipular la intensidad de cada subpíxel.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 1-16.</b>	<b>Esquema de escaneo simple.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 1-17.</b>	<b>Esquema de exploración dual.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 1-18.</b>	<b>Celdas de fósforos simétricos y asimétricos.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 1-19.</b>	<b>Televisor de plasma (Panasonic 30").....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 1-20.</b>	<b>Esquema comparativo entre PDP y ALiS.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 1-21.</b>	<b>Estructura de un display de emisión de campo.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 1-22.</b>	<b>Estructura de los extremos de los emisores.....</b>	<b>30</b>

<b>Figura 1-23.</b> Estructura de una pantalla basada en la tecnología SED.....	36
<b>Figura 1-24.</b> Estructura de un nanotubo de carbono.....	37
<b>Figura 1-25.</b> Representación del plegado de los hexágonos.....	38
<b>Figura 1-26.</b> CNT de pared única.....	39
<b>Figura 1-27.</b> CNT de múltiples paredes.....	39
<b>Figura 1-28.</b> Estructura de un display electroluminiscente.....	43
<b>Figura 1-29.</b> Esquema de direccionamiento X-Y.....	46
<b>Figura 1-30.</b> Estructura de un ELD utilizando la técnica de color por blanco para la obtención de color.....	48
<b>Figura 1-31.</b> Posibles aplicaciones de los polímeros.....	55
<b>Figura 1-32.</b> Pantalla de Polímero.....	55
<b>Figura 1-33.</b> Procesador con tecnología LEP.....	64
<b>Figura 1-34.</b> Diodo emisor de luz basado en un polímero orgánico.....	64
<b>Figura 1-35.</b> Estructura de un Polímero emisor de luz.....	65
<b>Figura 1-36.</b> Comparación entre el rendimiento, densidad luminosa y voltaje aplicado.....	67
<b>Figura 1-37.</b> Distribución atómica en moléculas de cristal líquido.....	71
<b>Figura 1-38.</b> Disposición de las moléculas en una fase nemática.....	73
<b>Figura 1-39.</b> Disposición de las moléculas en una fase esméctica.....	74
<b>Figura 1-40.</b> Estructura por capas de una fase colestérica.....	75
<b>Figura 1-41.</b> Línea rectangular cerrada dibujada en el plano xy para la deducción de la ecuación (13).....	79
<b>Figura 1-42.</b> Línea rectangular cerrada dibujada en el plano xz para la deducción de la ecuación (15).....	79
<b>Figura 1-43.</b> Ejemplo de polarización de una onda electromagnética.....	82
<b>Figura 1-44.</b> Efecto Freedericksz.....	83
<b>Figura 1-45.</b> Estructura básica de un display.....	84
<b>Figura 1-46.</b> Principio de funcionamiento de un LCD: con electrodos energizados.....	85

<b>Figura 1-47.</b> Principio de funcionamiento de un LCD: con electrodos no energizados.....	85
<b>Figura 1-48.</b> Representación esquemática de un TN.....	88
<b>Figura 1-49.</b> Componentes de un LCD TN.....	88
<b>Figura 1-50.</b> Funcionamiento de un TN.....	89
<b>Figura 1-51.</b> Relación entre voltaje y transmisión en un TN.....	89
<b>Figura 1-52.</b> Relación entre voltaje y transmisión en un SBE.....	90
<b>Figura 1-53.</b> Estructura de un DSTN.....	92
<b>Figura 1-54.</b> Direccionamiento directo de LCDs de siete segmentos.....	93
<b>Figura 1-55.</b> Esquema del funcionamiento de una matriz pasiva.....	94
<b>Figura 1-56.</b> Esquema del funcionamiento de una matriz activa.....	95
<b>Figura 1-57.</b> Detalle de la generación de diferentes colores.....	98
<b>Figura 1-58.</b> Representación gráfica tiempo de respuesta.....	100
<b>Figura 1-59.</b> Ángulo de visión de algunas tecnologías de pantallas planas.....	104

## **CAPÍTULO 2**

<b>Figura 2-1.</b> Ejemplos tipos de OLEDs.....	106
<b>Figura 2-2.</b> La tecnología OLED permitirá en el futuro el desarrollo de pantallas que se doblen.....	107
<b>Figura 2-3.</b> Pantalla Samsung de 40" basada en la tecnología OLED.....	108
<b>Figura 2-4.</b> Estructura de un OLED.....	112
<b>Figura 2-5.</b> Impresora de alta precisión de inyección a tinta para la fabricación de displays OLEDs de polímeros.....	113
<b>Figura 2-6.</b> Generación de luz en un OLED.....	115
<b>Figura 2-7.</b> OLED de matriz pasiva.....	118
<b>Figura 2-8.</b> Estructura de un PMOLED.....	120

<b>Figura 2-9.</b> OLED de matriz activa.....	120
<b>Figura 2-10.</b> Ejemplos de backplane de poli-silicio.....	122
<b>Figura 2-11.</b> Ejemplo de un dispositivo de backplane a-Si.....	123
<b>Figura 2-12.</b> Estructura de un OLED transparente.....	124
<b>Figura 2-13.</b> Estructura de un OLED de tapa emisiva.....	124
<b>Figura 2-14.</b> Analogía entre un oled transparente y un OLED de tapa emisiva..	125
<b>Figura 2-15.</b> Dos ejemplos de transparencia en configuraciones de matriz pasiva (izquierda) y activa (derecha).....	126
<b>Figura 2-16.</b> OLED en relación con un TOLED.....	126
<b>Figura 2-17.</b> Pantalla plana mediante un OLED flexible.....	127
<b>Figura 2-18.</b> Empaquetado y encapsulación de FOLED.....	129
<b>Figura 2-19.</b> Ejemplo de un OLED blanco.....	130

## **CAPÍTULO 3**

<b>Figura 3-1.</b> Evolución de los dispositivos que utilizan LEDs Orgánicos.....	132
<b>Figura 3-2.</b> Primer radio de auto que utilizó un display OLED.....	133
<b>Figura 3-3.</b> Fotografía del Motorola Timeport P8767.....	134
<b>Figura 3-4.</b> Primera cámara digital que incorpora AMOLED de 2.2".....	134
<b>Figura 3-5.</b> Fotografía del BenQSiemens S88.....	136
<b>Figura 3-6.</b> Prototipo de Tv OLED Samsung de 40".....	137
<b>Figura 3-7.</b> Tablero de instrumentos de un Audi A6 Allroad Quattro.....	137
<b>Figura 3-8.</b> Primer teclado basado en la tecnología OLED.....	138
<b>Figura 3-9.</b> Prototipo de un dispositivo con pantalla enrollable.....	139
<b>Figura 3-10.</b> Posible aplicación de un display OLED desenrollable.....	140
<b>Figura 3-11.</b> Propuesta de papel de pared luminoso de OSRAM.....	141
<b>Figura 3-12.</b> OLEDs en etiquetas de ciertos productos.....	142



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Características de una pantalla de plasma de 42" .....	24
<b>Tabla 1-2.</b> Características de una pantalla de tecnología ALiS.....	27
<b>Tabla 1-3.</b> Comparación tecnologías LCD.....	101
<b>Tabla 1-4.</b> Parámetros importantes de las tecnologías de fabricación de pantallas planas.....	105

### ANEXO A

ASPECTOS ERGONÓMICOS

### ANEXO B

HISTORIA DE LOS POLÍMEROS

### ANEXO C

HISTORIA DE LOS LCDs  
ILUMINACIÓN EN LCD  
GENERACIÓN DEL COLOR EN LCD

### ANEXO D

INFORME TÉCNICO

### ANEXO E

DISPOSITIVOS QUE HACEN USO DE LA TECNOLOGÍA OLED

## RESUMEN

En el presente trabajo se da una visión general acerca de los displays de pantallas planas, así como, una descripción detallada de diferentes tecnologías para su fabricación y una comparación de las mismas, resaltando de todas las tecnologías mencionadas la de los OLEDs (Diodo Orgánico Emisor de Luz), que es el principal objetivo de este Proyecto de Titulación, sus características más importantes de funcionamiento, formas de fabricación, tipos de OLEDs, sus ventajas y desventajas y una diversidad de aplicaciones existentes y posibles a futuro.

En el primer capítulo, se da una introducción de los displays de pantalla plana con una breve historia de los mismos, también se realiza la descripción de la gran mayoría de las tecnologías existentes para la fabricación de pantallas planas; luego, se realiza una comparación de todas ellas, se presentan al final de cada tecnología descrita sus ventajas y desventajas.

En el segundo capítulo, se da una descripción detallada de la tecnología OLED, capas (componentes) con los que se construye el OLED, formas de fabricación, emisión de luz con los OLEDs, principales características de funcionamiento, tipos de OLEDs, ventajas y desventajas de esta tecnología.

En el tercer capítulo, se da una perspectiva de las aplicaciones actuales y posibles de esta tecnología a futuro, dejando en claro que las principales aplicaciones de los OLEDs son todas aquellas en la cuales se trate de presentar diferentes tipos de información.

En el cuarto capítulo, se trata de las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la experiencia del estudio de la tecnología OLED.

Se utilizará el corchete como símbolo para indicar el número de referencia bibliográfica a la cual pertenece dicha sección.

Al final de este Proyecto de Titulación se hace referencia un glosario completo de las siglas y los términos utilizados, además, se han incluido algunos anexos que pueden resultar de interés para mayor referencia del lector.

## **PRESENTACIÓN**

Las tecnologías de fabricación de pantallas están adaptándose cada vez más a las necesidades de los usuarios, tanto en aspectos de dimensiones, capacidad resolutive y en el ahorro de consumo de energía. Por ello, se apuesta por las nuevas tecnologías dirigidas a la obtención de pantallas cada vez más planas, de menor grosor y de mayor calidad visual.

Por tanto, el estudio de las tecnologías para la fabricación de pantallas planas existentes y sus tendencias futuras es de vital importancia tanto para el conocimiento en general como para el entendimiento de las mismas.

## CAPÍTULO 1

### 1 DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA LA FABRICACIÓN DE PANTALLAS PLANAS Y COMPARACIÓN DE LAS MISMAS

#### 1.1 INTRODUCCIÓN [1]

Durante los últimos tiempos las tecnologías empleadas por las pantallas han ido adaptándose cada vez más a las necesidades de los usuarios, tanto en aspectos de dimensiones, capacidad resolutive y en el ahorro del consumo de energía. Por tal razón la tendencia apunta al abandono del uso de los monitores convencionales basados en el Tubo de Rayos Catódicos (Cathode Ray Tube o CRT) y cada día se buscan nuevas tecnologías dirigidas a la obtención de pantallas mucho más planas, de menor grosor y de mayor calidad visual. Además, se debe tomar en cuenta que los monitores de CRT tienen un grave impacto medio-ambiental una vez finalizada su vida útil, puesto que poseen una alta concentración de plomo, cadmio y mercurio.

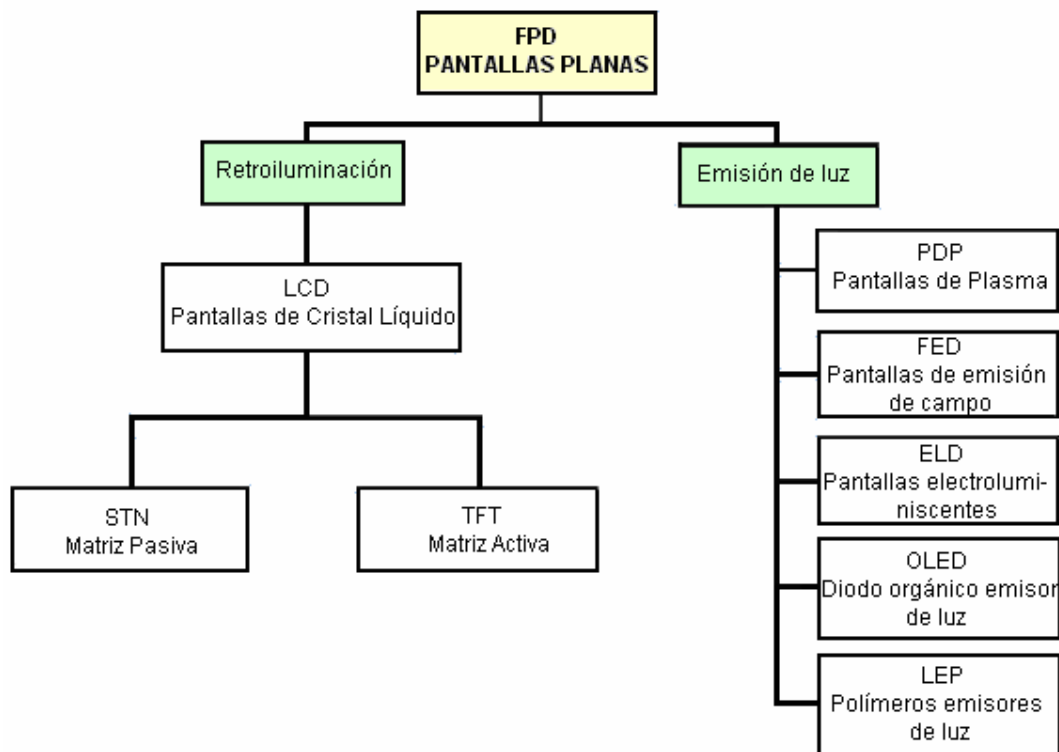
La norma UNE-EN ISO 13406-1<sup>1</sup> define a la pantalla plana de la siguiente manera: "Aquella que está formada por una superficie plana con un radio de curvatura mayor de 2 metros, destinada a la presentación de información; la superficie incluye una zona activa constituida por un conjunto regular de elementos pictográficos discretos eléctricamente alterables (píxeles), dispuestos en filas y columnas"; es decir, que tiene una estructura matricial.

Las pantallas planas (Flat Panel Display o FPD) pueden clasificarse en dos grupos como se muestra en la figura 1-1:

- Pantallas planas que emiten luz
- Pantallas planas que utilizan un sistema de retroiluminación

---

<sup>1</sup> UNE-EN ISO 13406-1: Requisitos ergonómicos para trabajos con pantallas de visualización de panel plano. Parte 1: Introducción.



**Figura 1-1.** Clasificación de las pantallas planas (FPD). [1]

Las pantallas planas que utilizan el sistema de retroiluminación son conocidas con el nombre de pantallas de cristal líquido (Liquid Crystal Display o LCD), las pantallas más representativas dentro de este tipo son las TFT LCD (Thin Film Transistor).

Podemos decir que del grupo de las pantallas planas (FPD) que emiten luz, sobresalen las pantallas de plasma (Plasma Display Panel o PDP) como las de mayor importancia.

Por otra parte, la construcción de pantallas de televisión y de monitores ha estado dominada casi en su totalidad por la tecnología del tubo de rayos catódicos o CRT. Desde los inicios de la tecnología de visualización electrónica, no obstante, se han deseado pantallas de video planas, delgadas y livianas que permitan reproducir una imagen de calidad igual o superior a la de los tubos de rayos catódicos.

Durante algún tiempo las pantallas de cristal líquido (LCD) han suplido esta necesidad, con algunas deficiencias, tales como un limitado ángulo de visión (hay que mirarlás casi de frente), respuesta lenta a video de movimientos rápidos y operación a rangos de temperatura reducidos.

La necesidad más urgente hoy en día de pantallas planas ha dado origen a una serie de tecnologías que compiten entre sí, siendo las más prometedoras las pantallas de plasma (PDP) y las pantallas de emisión de campo (Field Emission Display o FED). El potencial del mercado es grande y las recompensas económicas para sus creadores muy estimulantes, lo que hace de este campo uno de gran actividad investigativa para salir adelante con la pantalla más delgada y plana que cumpla los requisitos necesarios para su amplia aceptación.

### **1.1.1 EVOLUCIÓN DE LOS DISPLAYS [2]**

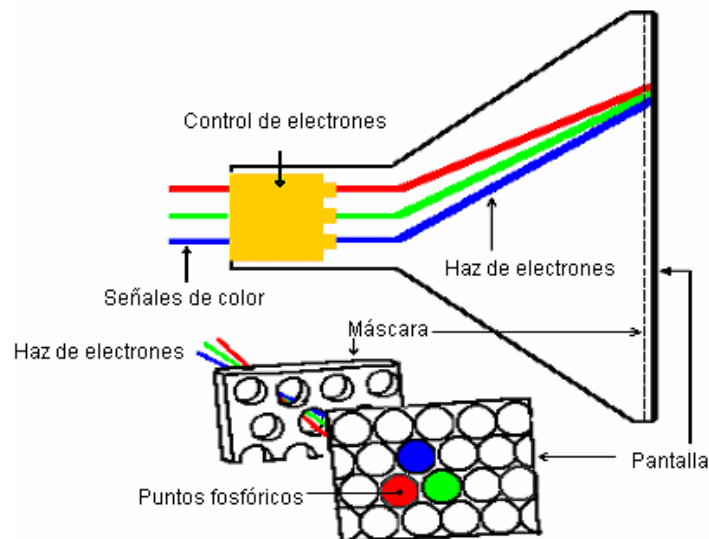
Durante el último medio siglo, el desarrollo tecnológico por el que han atravesado los displays ha sido impresionante, ya que si analizamos detenidamente el proceso evolutivo de cada una de las distintas tecnologías, podemos darnos cuenta de que algunos de estos tipos de visualizadores siguen siendo utilizados, mientras que otros se han extinguido.

#### **1.1.1.1 Tubo de rayos catódicos (Cathode Ray Tube o CRT) [2]**

El tubo de rayos catódicos fue desarrollado para ser utilizado en los televisores cerca de los años 40s. El funcionamiento de un CRT básicamente radica en que un haz de electrones es acelerado mediante un campo eléctrico desde el fondo hasta el frente del tubo, lugar en donde impacta con una película de materiales compuestos basados en fósforo, que brilla al ser impactada permaneciendo en este estado por un cierto tiempo (persistencia).

En el momento en el cual se crea una imagen, el haz de electrones es ligeramente desviado debido a la acción de campos eléctricos o magnéticos de modo de barrer la pantalla del tubo de arriba hacia abajo, y de izquierda a derecha, a una velocidad de aproximadamente 30 a 70 veces por segundo, que entre la persistencia del brillo en la pantalla más la persistencia de la imagen en la retina del ojo del observador, se crea el efecto de una imagen bidimensional (2 dimensiones).

Al imprimir la pantalla con variedades de fósforo que emitan diferentes colores, mediante el uso de tres haces de electrones que parten de posiciones diferentes y una rejilla colocada dentro del tubo antes de la pantalla, como se ilustra en la figura 1-2, es posible generar imágenes de colores.



**Figura 1-2.** Esquema de un Tubo de Rayos Catódicos para pantallas a color. [3]

Este tipo de display se ha desarrollado notablemente en este medio siglo, y aunque un poco voluminoso, es una solución viable y vigente para displays de elevada resolución; en efecto, la mayoría de los computadores aún usan este tipo de display para sus terminales.



### 1.1.1.2 Nixie [2]

Actualmente este tipo de display numérico se encuentra extinguido. En este visualizador 10 o más cátodos cada uno de ellos con la forma de un dígito u otro símbolo eran colocados en un tubo de vidrio lleno de neón con algo de mercurio. En el momento en el cual era aplicado un alto voltaje al cátodo de interés, el gas que rodeaba ese cátodo se iluminaba con un color rojizo, viéndose el dígito elegido. Lo descrito anteriormente se muestra en la figura 1-3.



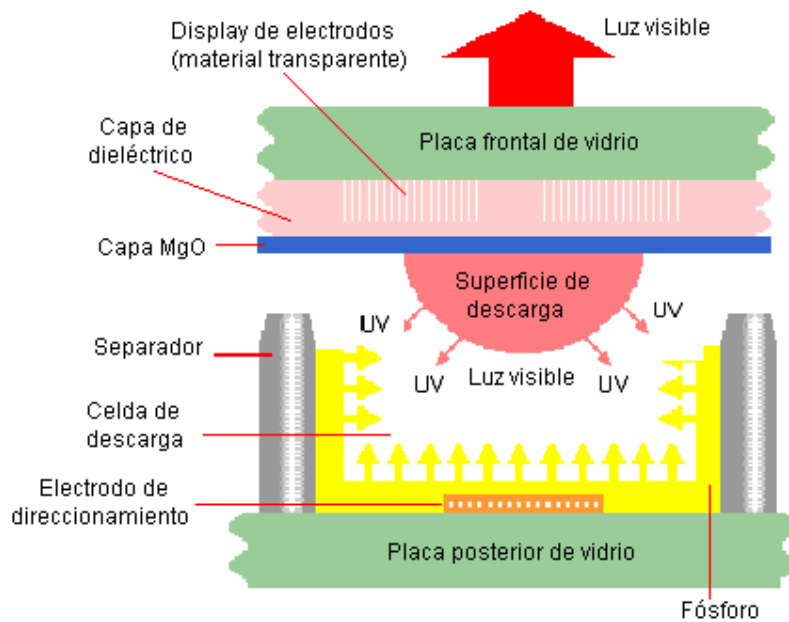
**Figura 1-3.** Fotografía de una display tipo Nixie. [4]

Los displays de filamento incandescente (Incandescent Filament Display o IFD), fueron una variación del nixie, en donde 7 cátodos eran empleados para generar símbolos mediante 7 segmentos.

### 1.1.1.3 Display de plasma (Plasma Display Panel o PDP) [2]

Este tipo de display emplea un fenómeno físico similar al nixie, pero con una forma de fabricación diferente. Un display de plasma se construye en base a un delgado “sandwich” compuesto por un sustrato cerámico de un lado y vidrio del otro, estos dos elementos se encuentran ligeramente separados entre sí (figura 1-4), donde el espacio de separación está lleno con neón y algo de mercurio.

En un PDP los cátodos están impresos mediante una película conductora en el lado interno del fondo cerámico, y los ánodos mediante otra película conductora transparente en el lado interno del frente de vidrio.



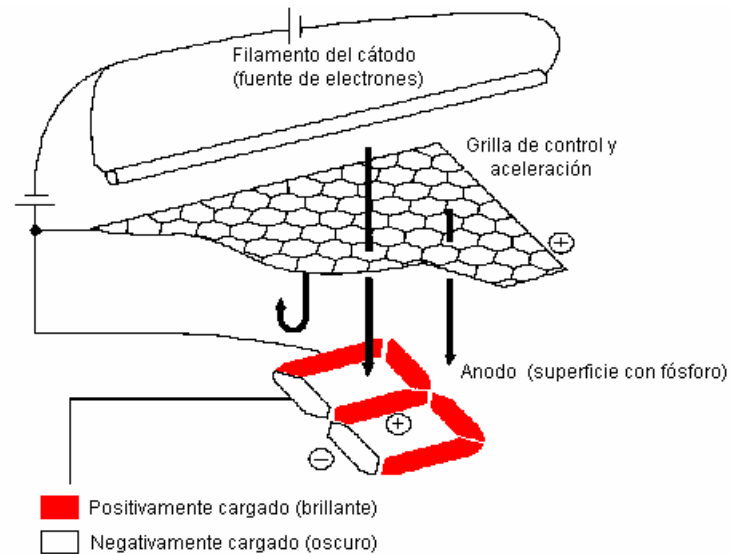
**Figura 1-4.** Esquema de un display de plasma. [5]

#### 1.1.1.4 Display fluorescente al vacío (Vacuum Fluorescent Display o VFD) [6] [2]

Esta tecnología maneja el esquema físico de un PDP (sandwich), aunque el principio físico es similar al del CRT por la existencia de un terminal de grilla entre un cátodo muy caliente y el ánodo.

La figura 1-5 hace referencia a que en este tipo de displays es posible controlar el encendido de los segmentos con un voltaje bajo (12 a 15 [V]) aplicado a la grilla, en vez de tener que conmutar un voltaje más elevado, convirtiéndose esta característica en una ventaja de los VFDs.

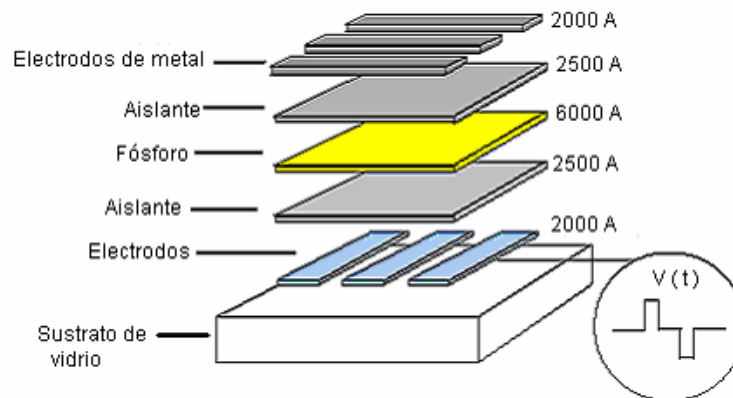
Los VFDs son muy empleados en equipamiento de video (VCRs) y de audio.



**Figura 1-5.** Control del encendido de los segmentos en un VFD. [6]

#### 1.1.1.5 Display electroluminiscente (Electroluminescent Display o ELD) [7] [2]

Este display basa su fabricación en una fina capa de fósforo, y otra de variaciones de zinc ( $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$  u otros), con un dieléctrico intermedio, que a su vez son encerradas en forma de “sandwich” entre dos capas de vidrio, como muestra la figura 1-6.

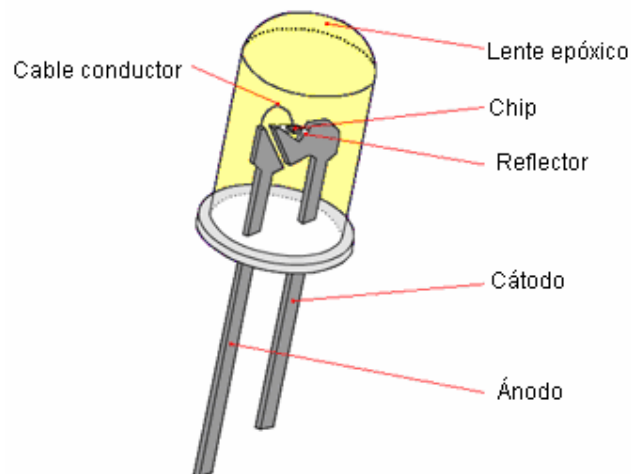


**Figura 1-6.** Componentes de un display electroluminiscente. [7]

Si se aplica un voltaje elevado (típicamente un voltaje alterno de 80V o más de amplitud y frecuencia entre 400Hz y 1000Hz) mediante electrodos transparentes impresos en la cara interna de los vidrios, el fósforo emite luz, cuyo color puede ser controlado mediante mezclas de pigmentos, para que la luz sea verde, azulada verdosa, amarilla limón, naranja, roja o blanca. Al ser totalmente sólidos, los ELDs son muy resistentes a golpes, vibraciones, temperatura y humedad, aunque la necesidad de conmutar altos voltajes de alterna hace imprácticos los usos donde sea necesario controlar separadamente el encendido de múltiples puntos. Sin embargo, son muy usados en forma de paneles completos como iluminación posterior de displays LCD.

#### 1.1.1.6 Display de LEDs [9]

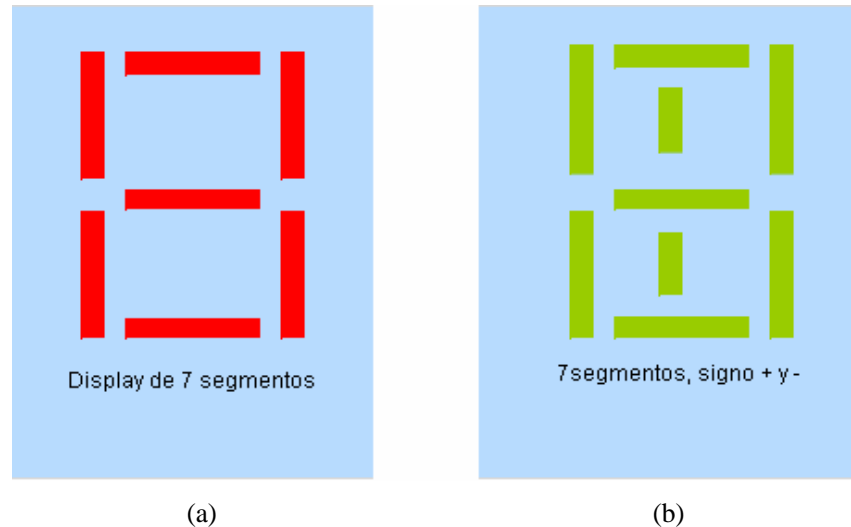
Un diodo es un componente electrónico a través del cual la corriente pasa en un solo sentido. Los diodos emisores de luz (Light-Emitting Diode o LED) son semiconductores que generan luz al pasar una corriente a través de ellos. Un diodo emisor de luz consta de los siguientes elementos, como se detalla en la figura 1-7.



**Figura 1-7.** Estructura de un diodo emisor de luz. [8]

Se emplean en numerosos dispositivos comunes, como el sintonizador de un aparato de radio.

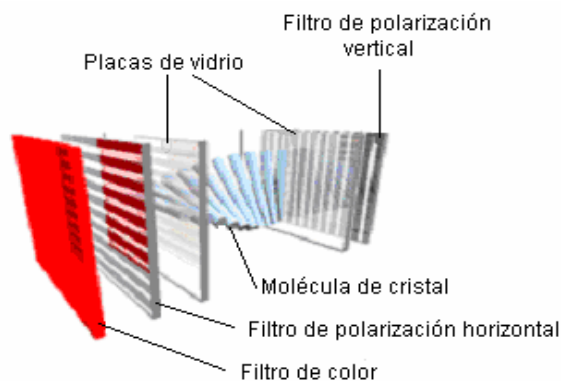
Una disposición de siete LEDs en forma de ocho puede utilizarse para presentar cualquier número del 0 al 9 como muestra la figura 1-8. Esta disposición suele emplearse en calculadoras y relojes digitales.



**Figura 1-8.** (a) Display de 7 segmentos. (b) Display de 9 segmentos. [9]

#### 1.1.1.7 Display de cristal líquido (Liquid Crystal Display o LCD) [10] [2]

Este display fue desarrollado a inicios de los años 70s, y físicamente esta compuesto por un “sandwich” de dos capas de vidrio que contienen entre sí un líquido de propiedades ópticas especiales. Se basan en la propiedad del líquido mencionado de rotar la luz polarizada en forma relativa a un par de polarizadores cruzados laminados en ambas caras del display (figura 1-9).



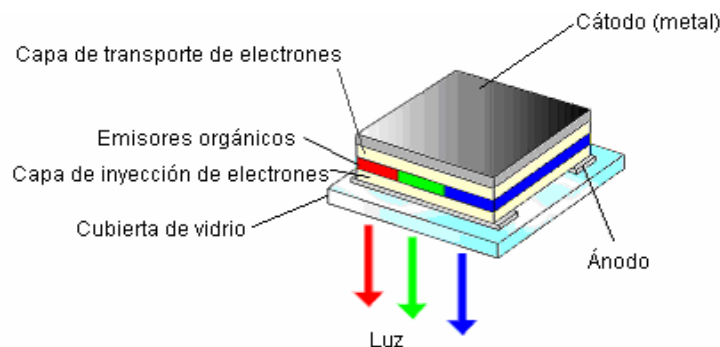
**Figura 1-9.** Estructura de un display de cristal líquido LCD. [10]

A diferencia de todos los casos previos los LCDs son ópticamente pasivos (no emiten luz) sino que sólo bloquean o no su paso, por lo que se caracterizan por consumir cantidades mínimas de energía.

#### 1.1.1.8 Diodo orgánico emisor de luz (Organic Light Emitting Diode u OLED) [11]

Un OLED es un dispositivo electrónico que se lo fabrica colocando varias películas delgadas de materiales orgánicos entre dos conductores, como se observa en la figura 1-10. Cuando se aplica una corriente eléctrica, se emite luz.

Los OLEDs optimizan el consumo de energía y son ideales para aplicaciones portátiles.



**Figura 1-10.** Estructura de un OLED. [11]

### **1.1.2 ASPECTOS ERGONÓMICOS [1]**

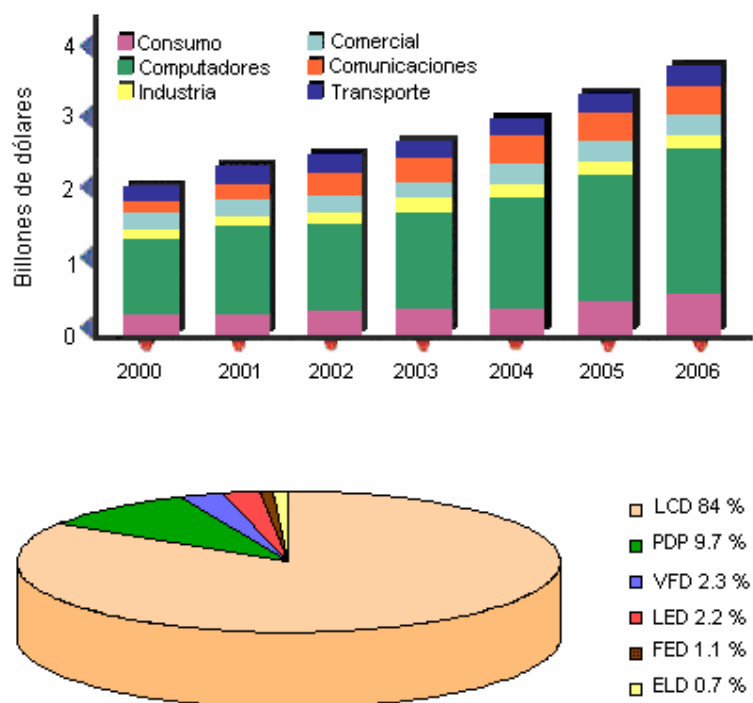
Al momento de adquirir y trabajar con pantallas de visualización de información debemos tener en cuenta algunos de los factores de ergonomía visual como por ejemplo: tamaño de la pantalla, distancia de visualización, resolución, píxeles muertos, frecuencia de refresco, tiempo de respuesta, ángulo de visión, contraste, brillo, color, consumo de energía y radiaciones. Todos estos factores ergonómicos se analizan y detallan en el anexo A.

### **1.1.3 EL MERCADO DE LAS PANTALLAS PLANAS [12]**

La composición del mercado FPD ha variado sustancialmente en los últimos años. Las pantallas planas se han transformado en elementos comunes, y a la vez se han especializado para dar servicio a grupos de aplicaciones específicas, cuidando obviamente aspectos de mayor volumen y de mayor crecimiento potencial.

Si se observa la figura 1-11, se puede comprobar que, exceptuando el mercado de computadores, que por sí sólo supera a todos los demás juntos, existe un cierto número de sectores en los que se aplican pantallas, cuyas cuotas de mercado son semejantes.

Tales sectores pueden tener especificaciones y requerimientos muy diferentes, lo que justifica la pervivencia marginal de una serie de tecnologías emisivas y pasivas, que aunque carentes de la versatilidad necesaria para competir en mercados distintos, pueden resultar idóneos para una aplicación específica.



**Figura 1-11.** Mercado mundial de pantallas planas (proyección para el 2006). [12]



## **1.2 PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN BASADAS EN LA EMISIÓN DE ELECTRONES**

### **1.2.1 PLASMA DISPLAY PANEL (PDP) [13]**

El panel de visualización de plasma fue inventado en la Universidad de Illinois de Urbana - Champaign (UIUC) ubicada al sur de Chicago en el año de 1964, para uno de los primeros sistemas generalizados de asistencia por computadora. Este display fue fabricado combinando el fenómeno físico denominado “plasma” (que consiste en gas ionizado) junto a un dispositivo eléctrico en forma de panel, por tal razón la comprensión de qué es el plasma y cómo se forma es fundamental para el estudio de las pantallas que hacen uso del mismo.

#### **1.2.1.1 Plasma [14] [15]**

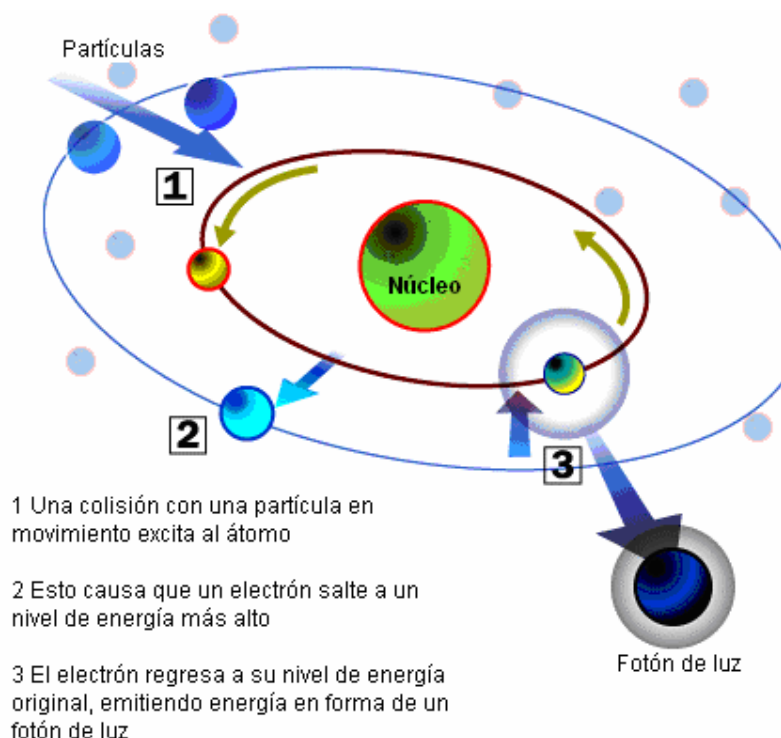
Al hablar de plasma se hace referencia al cuarto estado de la materia, el mismo que, no es sólido, líquido ni gaseoso. Este estado contiene a una gran cantidad de partículas cargadas eléctricamente, suficientes en número para afectar a sus propiedades eléctricas y a su comportamiento. Se estima que cerca del 99% del universo visible está constituido por plasma.

Cuando en un gas cada átomo contiene igual número de protones (cargas positivas) y electrones (cargas negativas) la carga total del sistema es nula, por tal razón se habla de un plasma neutro. Mientras que si existe un desequilibrio en la carga total del sistema se habla de un plasma no neutro.

Un plasma no neutro es generado debido a la presencia de un campo eléctrico, el mismo que provoca que los electrones libres choquen con los átomos, dando como resultado el desalojo de los electrones, al producirse el desalojo de los electrones en un átomo, éste se convierte en un ión.

En el momento en el que el campo eléctrico atraviesa al plasma, los electrones se dirigen hacia el área del plasma cargado positivamente, mientras que los protones se dirigen hacia el área cargada negativamente.

De esta manera, las partículas están constantemente chocando entre ellas. Estas colisiones alteran los átomos de gas en el plasma provocando que emitan fotones<sup>2</sup> de energía, tal como se indica en la figura 1-12.



**Figura 1-12.** Proceso mediante el cual un átomo emite fotones de energía. [15]

En la mayoría de los casos las interacciones entre las partículas cargadas y las neutras determinan el comportamiento y la utilidad del plasma obtenido. Los tipos de átomos en el plasma, la relación de partículas ionizadas, partículas neutras y partículas con energía, todo ello nos da un amplio abanico de tipos, características y comportamientos diferentes. Cada uno de estos únicos

<sup>2</sup> Fotón: partícula fundamental responsable de las manifestaciones cuánticas de la radiación electromagnética, que se mueve siempre a la velocidad de la luz.

comportamientos determinan la utilidad de los plasmas cada vez con un mayor número de aplicaciones en nuestra vida diaria.

Los plasmas proporcionan importantes aplicaciones en la tecnología y en los dispositivos así como en nuestra manera de entender el universo que nos rodea. Los plasmas son el inicio y el apoyo para aplicaciones actuales como son el procesamiento de semiconductores por plasma, la esterilización de productos médicos, lámparas, láseres, revestimientos de láminas de diamante, fuentes potentes de microondas, entre otros.

La ciencia de los plasmas abarca una amplia variedad de disciplinas desde la física de los plasmas hasta los aspectos materiales, químicos, atómicos y moleculares. Su naturaleza interdisciplinar caracteriza su comportamiento físico, el cual incluye la ionización de gases que abarcan desde la ionización débil hasta la ionización fuerte.

Estos términos caracterizan varios plasmas desde los gases relativamente de alta presión con pequeñas fracciones de átomos ionizados y cargados a relativas bajas temperaturas (por ejemplo, el plasma usado en los chips de los computadores y las fuentes de luz) hasta aquellos gases de baja densidad con gran cantidad de partículas del gas ionizadas, y cargadas a muy altas temperaturas (por ejemplo, los plasmas de fusión).

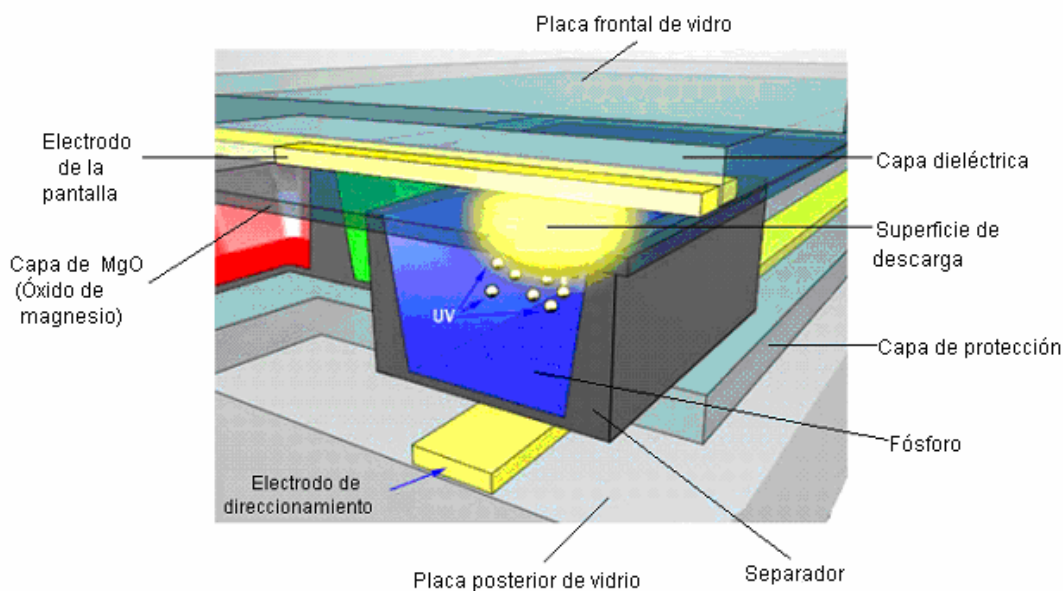
Varios tipos de plasma son el origen de diferentes aplicaciones y fenómenos naturales. Sin embargo, existen importantes aspectos en el amplio rango de parámetros que caracterizan y diferencian los plasmas naturales de los plasmas creados por el hombre.

Esto crea que sea complejo caracterizar qué entendemos por plasma y qué puede ser incluido dentro de la ciencia del plasma.

### 1.2.1.2 Funcionamiento de un panel de visualización de plasma [15]

Un visualizador de plasma esta formado por numerosas celdas posicionadas entre dos placas de vidrio, dichas celdas contienen a gases como: neón y xenón. Cabe indicar que entre las dos placas de vidrio también encontramos varios electrodos, los mismos que tienen la función de acceder a cada una de las celdas anteriormente mencionadas.

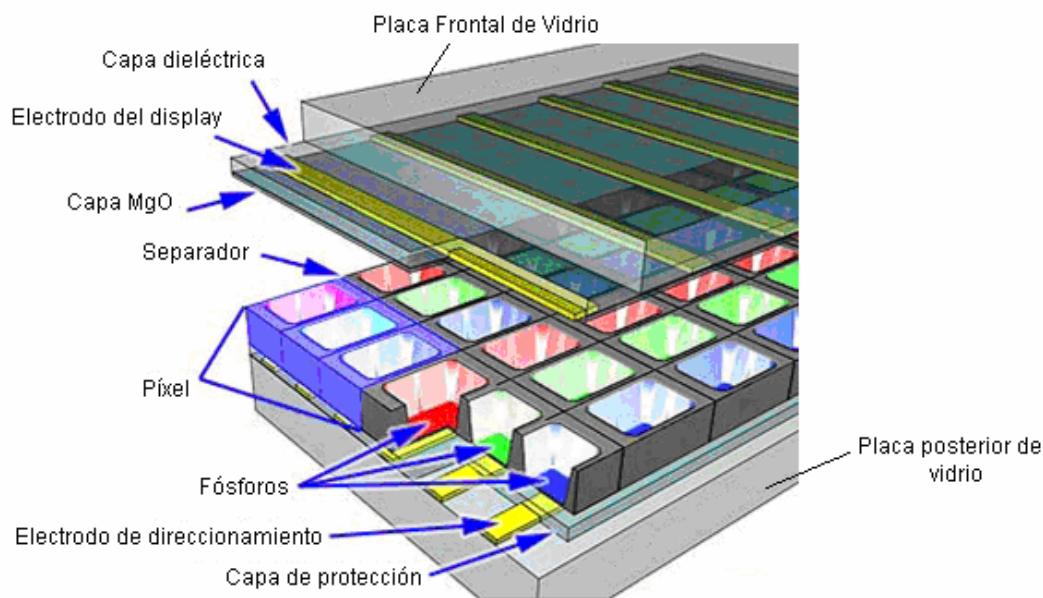
Detrás de las celdas sobre la placa posterior de vidrio encontramos a los electrodos de direccionamiento<sup>3</sup>, por otra parte sobre cada una de las celdas, a lo largo de la placa frontal se encuentran los electrodos de pantalla, los mismos que están recubiertos de un material aislante y de una capa protectora compuesta por óxido de magnesio, como se indica en la figura 1-13.



**Figura 1-13.** Esquema de un panel de visualización de plasma. [15]

<sup>3</sup> Electrodo de direccionamiento: electrodos ubicados perpendicularmente uno del otro formando una matriz, de tal manera que si se aplica un voltaje apropiado entre el electrodo de la columna  $i$ -ésima y el de la fila  $j$ -ésima se direcciona un solo píxel.

Los electrodos de direccionamiento se encuentran organizados en columnas mientras que los electrodos de pantalla se encuentran distribuidos en filas, de tal manera que la asociación de estos dos tipos de electrodos conforman una malla, tal como se indica en la figura 1-14.



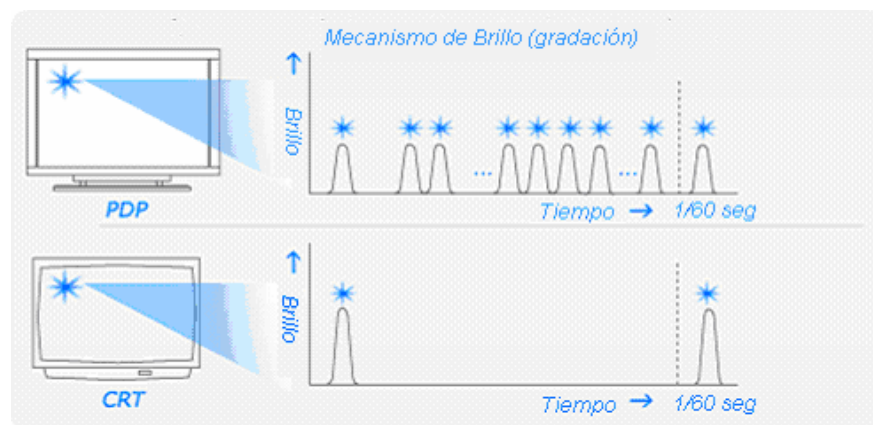
**Figura 1-14.** Ubicación de los electrodos de pantalla y de direccionamiento. [15]

Cuando el gas de una celda específica debe ser ionizado, los electrodos que conforman a dicha celda son cargados mediante el sistema de control, este proceso (refrescamiento de la pantalla) se lleva a cabo durante una fracción de segundo, miles de veces. La diferencia de potencial con la que se cargan los electrodos correspondientes provoca que fluya una corriente a través del gas en la respectiva celda.

La corriente crea un rápido flujo de partículas cargadas que estimula a los átomos de gas para que liberen fotones ultravioleta. Los fotones interactúan con el material fosforescente que recubre la cara interna de la celda. Cuando un fotón ultravioleta impacta en un átomo de fósforo, uno de los electrones del átomo salta a un nivel más alto de energía y el átomo se “calienta”. Cuando el electrón

regresa a su nivel normal, libera energía en forma de un fotón de luz visible, de un color específico que depende del material fosforescente.

En la figura 1-15 se indica cómo variando los pulsos de corriente eléctrica, el sistema de control puede incrementar o disminuir la intensidad de cada subpíxel de color rojo, verde o azul, creando una gama de millones de combinaciones de color, que también aumenta el consumo de energía y reduce la vida del fósforo, lo que puede ser crítico en algunos usos.



**Figura 1-15.**

Variación de pulsos de corriente eléctrica para manipular la intensidad de cada subpíxel.

### 1.2.1.3 Características [14] [17]

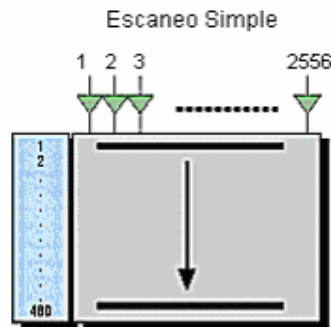
#### Esquemas de escaneo

En la actualidad existen básicamente 2 esquemas de escaneo o exploración para las pantallas de visualización de plasma, siendo éstos:

- Escaneo simple
- Escaneo dual

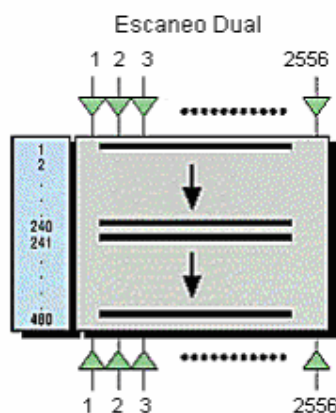
En el escaneo simple (figura 1-16), todas las celdas que conforman la pantalla son direccionadas antes de la fase de dibujado.

Este diseño sólo requiere un esquema de escaneo, por tal razón se reduce su costo.



**Figura 1-16.** Esquema de escaneo simple. [14]

En el escaneo dual, la pantalla se divide en 2 mitades, luego se direcciona la mitad superior o la mitad inferior de la pantalla como se muestra en la figura 1-17, por lo que requiere dos esquemas de escaneo, lo que encarece el costo de la pantalla, pero este esquema requiere la mitad de tiempo del que emplea el escaneo simple, con lo que se dispone de más tiempo para la fase de dibujado.

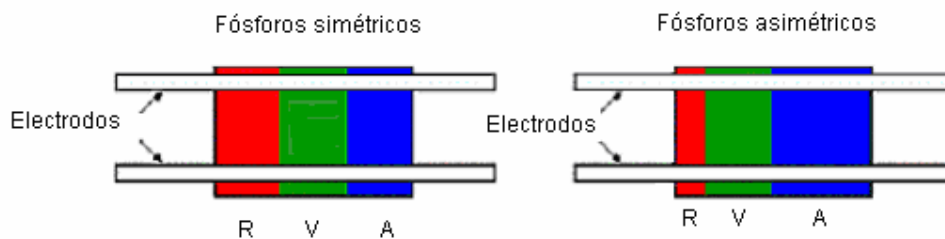


**Figura 1-17.** Esquema de exploración dual. [14]

La gran mayoría de las pantallas PDP utilizan una configuración basada en el escaneo simple que aporta una compensación optimizada entre el brillo, la vida y el costo de la pantalla.

### Fósforos simétricos y asimétricos

Las celdas de fósforo simétrico a su vez se conforman de subceldas de fósforo rojo, verde y azul tienen el mismo tamaño mientras que en las celdas de fósforo asimétrico el tamaño de la subcelda azul es mayor que la verde y la subcelda roja es menor que la verde. Lo descrito anteriormente se ilustra en la figura 1-18.



**Figura 1-18.** Celdas de fósforos simétricos y asimétricos. [14]

La razón de esta asimetría está en que el fósforo azul es el que más contribuye en la temperatura del color. Cuando el azul es más brillante, es posible utilizar un rojo y verde más brillantes así que el panel es más brillante. Sin embargo, la configuración asimétrica tiene mayores desventajas en términos de construcción y tiempo de vida.

Esto ocurre porque debido al tamaño diferente de las celdas, también se reduce el rango del voltaje que se necesita para que se ilumine. Sin embargo, da lugar directamente a una producción más baja lo que aumenta el costo final. Debido a estas 2 razones, la mayoría de los fabricantes opta por construir las pantallas utilizando fósforos simétricos.



## **Esquema de modulación**

Al momento de generar sombras (difuminados<sup>4</sup>) de color, la intensidad percibida de cada color se debe controlar de manera independientemente. Mientras que en los CRTs esto se consigue mediante el modulado de la corriente del haz de electrones, y por lo tanto de las intensidades de luz emitidas, las pantallas PDP logran este objetivo utilizando la modulación de código de pulso (PCM). Dividiendo cada campo en 8 subtramas cada una de ellas con un ancho de pulso acorde con una palabra de 8 bits, se consigue ajustar los anchos de pulsos de direccionamiento en 256 pasos. Puesto que el ojo es mucho más lento que el PCM, la intensidad del color también está integrada en este tiempo: si modulamos por ancho de pulso en 8 bits, podemos traducirlo a 256 intensidades de color. Así el número de combinaciones posibles es de  $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$  colores diferentes para cada píxel.

## **Consumo de energía**

Uno de los principales problemas con respecto a las pantallas de visualización de plasma fue el consumo de energía, mientras que las PDP tenían relativamente poco peso y podían tener un ancho delgado entre 6 y 10 cm, tenían todavía un consumo de energía prohibitivo. La eficacia luminosa, es decir la cantidad de la luz para una cantidad dada de energía, era aproximadamente 1 lm/W. Pero a pesar de estos problemas iniciales que ya están resueltos, en la actualidad las PDP se pueden fabricar en industrias con menos requerimientos y utilizando procesos de impresión directos a baja temperatura y baratos.

## **Tiempo de vida**

Un factor determinante a la hora de adquirir una pantalla de visualización de plasma es el tiempo de vida de ésta, el tiempo de vida de una pantalla de plasma es de alrededor de 10.000 a 20.000 horas, un factor normalmente no considerado

---

<sup>4</sup> Difuminar: proceso mediante el cual se disminuye la claridad o intensidad en los colores de una determinada imagen.

en el costo de las pantallas: costo por hora. Para usos esporádicos esto no es un problema, pero para computadoras de escritorio de uso continuo, es un tema diferente.

Sin embargo, el uso imprudente de este tipo de pantallas puede realmente acortar su esperanza de vida. Por otro lado, no es recomendable dejar imágenes inmóviles en las pantallas de visualización de plasma pues pueden causar que algunos de sus componentes se quemen.

### **Ángulo de visualización y tamaño del píxel**

Estudios han demostrado que el ángulo de visualización para los displays de plasma se ubica en los  $160^\circ$  tanto horizontales como verticales, por lo tanto para poder visualizar el contenido de este tipo de pantallas de una manera óptima no se tendrá que sobrepasar el valor de dicho ángulo.

Por otra parte el tamaño del píxel de este tipo de visualizadores constituye una de las principales limitaciones, ya que hasta el día de hoy los fabricantes de este tipo de pantallas no consiguen obtener píxeles menores a 0,3 mm. Se estima que en un futuro cercano este tipo de visualizadores logren establecerse como presentadores de información cuyas dimensiones se encuentren entre 25 y 70 pulgadas, como se muestra en la figura 1-19.



**Figura 1-19.** Televisor de plasma (Panasonic 30"). [16]

## **Resolución y brillo**

La mayoría de televisores de plasma vienen con resoluciones de 800 x 600 píxeles y 1280 x 1024 píxeles. De los paneles de visualización de plasma hace alarde también el buen brillo (1000 lx<sup>5</sup> o más alto, con el “lx” siendo el estándar de la medida para la iluminación, el lux). Los televisores de plasma son más grandes que los televisores LCD, y su tamaño no se compara al volumen.

Los fabricantes de este tipo de visualizadores maximizan el brillo cuando especifican las características del producto iluminando y midiendo tan sólo una pequeña parte del total de la pantalla. Sin embargo, se debe considerar el brillo medio que se calcula midiéndolo en diferentes puntos de la pantalla.

## **Contraste**

Las pantallas de plasma convencionales sufrían normalmente de un bajo contraste. Esto se debe a la necesidad de celdas a las que se aplica constantemente un voltaje mínimo. Sin esta característica tecnológica, las celdas de plasma sufrirían el mismo lento tiempo de respuesta que ofrecen los tubos fluorescentes caseros, haciéndolos poco prácticos.

El efecto es, sin embargo, que los píxeles que deberían estar apagados todavía emiten un poco de luz, reduciendo el contraste. Pero ya existen algunas tecnologías que han logrado elevar el nivel de contraste a 400:1.

Los fabricantes de plasma miden el contraste en una habitación totalmente oscura y ello no es real en un ambiente con luminosidad normal.

En la tabla 1-1, se especifican algunos de los parámetros que los fabricantes nos detallan al momento de adquirir una pantalla de plasma.

---

<sup>5</sup> Lx: unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades, que corresponde a un Lumen por metro cuadrado.

PARÁMETROS	PLASMA 42"
Tamaño del panel	42"
Resolución	852 x 480
Píxeles	408.960
Brillo ( $\text{cd/m}^2$ )	500 $\text{cd/m}^2$
Brillo medio (real)	230 $\text{cd/m}^2$
Relación de contraste (habitación oscura)	500:1
Relación de contraste (iluminación media)	30:1
Horas de vida del fósforo	20.000
Envejecimiento del panel (burn-in)	Sí
Pérdida significativa de brillo debido al uso del producto	Sí
Consumo	300-900 vatios
Peso	80 lbs.
Ángulos de visión	160°/160°
Facilidad de reparación	Restictiva, muy complicada

**Tabla 1-1.** Características de una pantalla de plasma de 42". [17]

### Cociente del contraste

El cociente del contraste indica la diferencia entre la parte más brillante de un cuadro y la parte más oscura de un cuadro, medida en pasos discretos, en cualquier momento dado. La implicación es que un cociente de un contraste más alto significa más detalle del cuadro. Los cocientes del contraste para los paneles de visualización de plasma se anuncian a menudo tan altos como 10000:1.

En la realidad no existen pruebas estandarizadas para el cociente del contraste, esto implica que cada fabricante puede publicar virtualmente cualquier número. Para ilustrar este detalle, algunos fabricantes medirán el contraste con el cristal delantero quitado, lo que explica algunas de las grandes demandas con respecto a sus cocientes anunciados. Para referencia un monitor de computadora basado en CRT está sobre 50:1 y una página impresa está sobre 80:1.

#### **1.2.1.4 Ventajas y desventajas**

La principal ventaja de las PDP con respecto a otros dispositivos es que este panel de visualización posee dimensiones diagonales de 20 a 80 pulgadas. Por otro lado, el gran tamaño de estos paneles proporciona un alto contenido de información.

Esto hace que el PDP sea la tecnología ideal para el legendario dispositivo de visualización montado en la pared, que se puede utilizar en casa así como en ambientes comerciales e industriales como futuro reemplazo de monitores y proyectores.

A continuación se presentan otras de las ventajas y desventajas de los paneles de visualización de plasma:

##### **Ventajas**

- Amplio ángulo de visión (160° verticales y horizontales).
- Calidad de imagen brillante.
- 16 millones de colores de profundidad.
- Completamente plana en los formatos de pantallas grandes.
- Pueden construirse de gran tamaño.
- Ancho de la pantalla aproximadamente 6 a 10 cms, pensada para pantallas mural.
- Peso ligero, aproximadamente 1/6 de las pantallas CRT.
- Operaciones internas digitales.
- No les afectan los campos magnéticos.
- No presentan parpadeos.

##### **Desventajas**

- Consumen mucha energía.
- Vida útil reducida (alrededor de 10.000 a 20.000 horas).

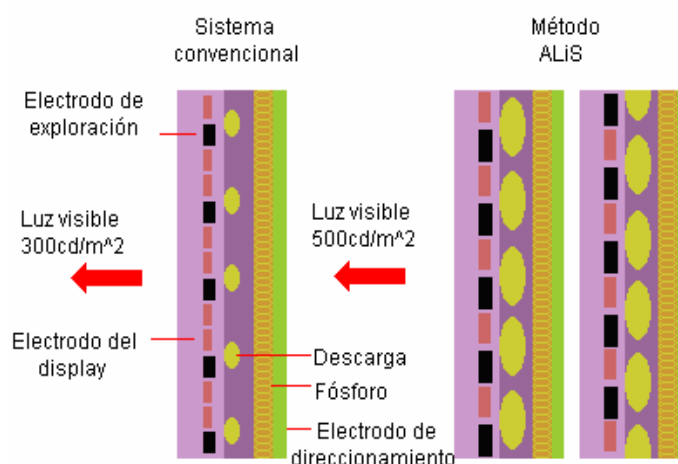
- Tamaño mínimo de píxel 0,3 mm, lo cual limita la penetración en el mercado de las PCs.

### 1.2.1.5 Nuevas tecnologías

#### Iluminación alternada de superficies (Alternate Lighting of Surfaces o ALiS) [18][19]

Generalmente las pantallas de plasma convencionales sufren de una baja resolución, es por esta razón que la compañía llamada Fujitsu ha optado por desarrollar una novedosa pantalla de plasma, utilizando la tecnología ALiS (Alternate Lighting of Surfaces), la misma que emplea un sistema de escaneo entrelazado en lugar de un escaneo progresivo, como lo hacían las convencionales PDPs.

La tecnología ALiS tiene la ventaja de requerir únicamente la mitad del número de conductores de su precursor (PDP), como se indica en la figura 1-20, porque el área de la descarga para el método de ALiS puede ser más amplia que en el método convencional, por tanto se puede obtener una alta luminiscencia<sup>6</sup>.



**Figura 1-20.** Esquema comparativo entre PDP y ALiS. [18]

<sup>6</sup> Luminiscencia: propiedad que presentan algunos materiales y seres vivos de emitir luz cuando son sometidos a determinada temperatura, esta luz es visible solamente en la oscuridad.

La tabla 2 hace referencia a las principales características que hoy en día nos ofrecen las pantallas de plasma basadas en la tecnología ALiS.

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN
Píxeles de la exhibición	1280x1024
Tamaño eficaz de la exhibición (milímetro)	499x399
Número de colores	260.000
Luminiscencia (cd/m <sup>2</sup> )	150 (pico blanco)
Cociente del contraste (en sitio oscuro)	80:1
Peso (kilogramo)	10
Ángulo de la visión	>160°

**Tabla 1-2.** Características de una pantalla de tecnología ALiS. [19]

### **Exhibición de cristal líquido direccionable de plasma (Plasma Addressed Liquid Crystal Display o PALCD) [18]**

PALCD (Plasma Addressed Liquid Cristal Display) es el resultado de la combinación entre el PDP y LCD. Tektronix junto a Sony se encuentran trabajando, para convertir al PALCD en un producto viable para los mercados profesionales y caseros.

En esta tecnología en lugar de hacer uso del efecto de ionización del gas contenido para producir la imagen, se sustituye el diseño de la matriz activa de TFT-LCD<sup>7</sup> con una matriz de ánodos y cátodos que usan descargas de plasma para activar los elementos LCD de la pantalla. El resto del panel trabaja exactamente de la misma manera que el LCD estándar para producir la imagen. De nuevo, esto no apunta al mercado de los monitores de escritorio, sino a televisores y tableros de más de 42 pulgadas. La construcción de este producto no demanda demasiados requerimientos de limpieza por lo que su costo no encarece.

---

<sup>7</sup> TFT-LCD: (Thin Film Transistor –Liquid Crystal Display)

### **1.2.2 FIELD EMISSION DISPLAY (FED) [20]**

El visualizador basado en la emisión de campo funciona de una manera similar a un CRT, es por esta razón que la calidad de la imagen que este tipo de display ofrece es igual o mejor a la de un tubo de rayos catódicos normal.

Se habla de que un FED tiene mucha similitud a un CRT, ya que en un CRT se tiene un único tubo por el cual viajan los electrones que son enviados desde el cátodo hacia un recubrimiento de fósforo, mientras que en un display basado en la emisión de campo en lugar de tener un único tubo se tiene mini-tubos para cada píxel. En un FED cada píxel lo conforman los subpíxeles R-G-B, en donde cada subpíxel es un mini-tubo, es decir un tubo de vacío en miniatura.

Estos mini-tubos de vacío están contruidos de molibdeno, material que tiene la ventaja de desprender fácilmente a sus electrones mediante una diferencia de voltaje, de esta manera los electrones golpean a los fósforos de color rojo, verde y azul en la parte frontal emitiendo el color de manera secuencial, es decir primero se mostrará la información verde, luego la roja y finalmente la azul.

El FED fue inventado en los años 70, aunque los modelos del producto llevaron más de dos décadas de trabajo. Con centenares de patentes en la tecnología, PixTech era el pionero en este campo con la producción de los visualizadores más pequeños durante 1990 y el 2000. Otras compañías incluyendo Futaba, Ratheon, Motorola, el TI, Candescent y Sony también estuvieron involucradas en el desarrollo del FED. Sin embargo, durante ese mismo período, los avances de los LCDs de matriz activa eran extraordinarios, y aunque consideraban a los FEDs más rugosos y útiles en ambientes más ásperos que los visualizadores LCDs, los FEDs se desarrollaban de manera importante.



### 1.2.2.1 Funcionamiento [20][21]

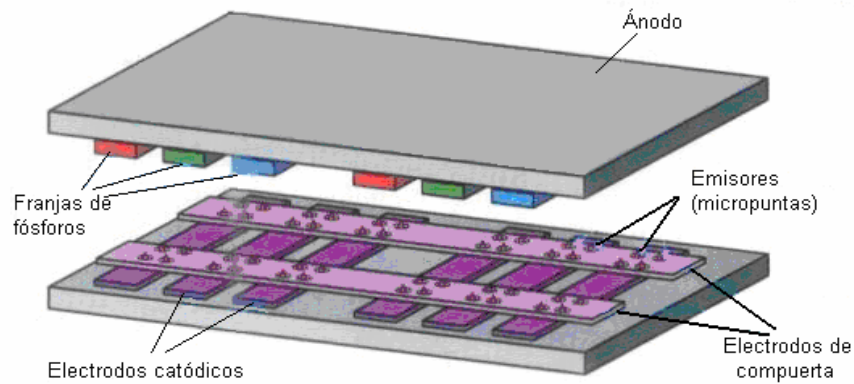
Este tipo de pantallas tienen muchas semejanzas con los monitores tubos de rayos catódicos convencionales. Por tal motivo, una de las compañías que construye pantallas planas con esta tecnología llama a su producto ThinCRT<sup>8</sup>. Así, como en un monitor CRT, los electrones son acelerados en el vacío y enviados hacia la capa de fósforo que al ser excitado por este bombardeo de electrones se ilumina, en un FED sucede lo mismo con la diferencia de que en vez de un solo cañón de electrones, cada píxel tiene su propio cañón de electrones. Otra diferencia radica en que en un FED los electrones son generados por la emisión de campo, mas no por una emisión térmica como sucede en un CRT, es decir que el display de emisión de campo no tiene que calentar el cátodo, por esta razón se dice que el display de emisión de campo utiliza un cátodo frío en donde el rango de temperaturas en el que puede trabajar es bastante amplio (-40°C a 85°C).

El término de "cátodo frío" se debe a que los electrones se generan a temperatura ambiente sin el calentamiento necesario de los CRTs convencionales. Los emisores consumen sólo una fracción de la energía utilizada por los tradicionales cátodos calientes de un CRT. Esto da como resultado una pantalla bastante eficiente en el consumo de energía. Más eficiencia se gana debido a la ausencia de la máscara de sombra<sup>9</sup> utilizada en los CRTs convencionales, que puede desperdiciar un 80% de la energía. La figura 1-21 hace referencia a la estructura de un display de emisión de campo con los elementos que lo conforman.

---

<sup>8</sup> ThinCRT: Tubo de Rayos Catódicos delgado.

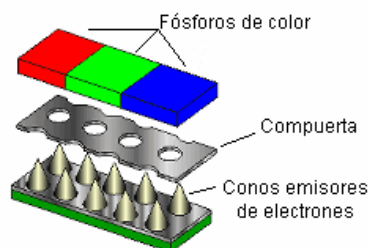
<sup>9</sup> Máscara de sombra: tecnología utilizada en las pantallas del tipo CRT, la máscara de sombra está compuesta por pequeños agujeros que son realizados en una placa metálica, separando los fósforos de color en la capa situada detrás del vidrio frontal en la pantalla.



**Figura 1-21.** Estructura de un display de emisión de campo. [21]

La distancia entre el ánodo y el cátodo en un FED es de aproximadamente 2,5 mm (en vez de muchas pulgadas como en un CRT). La imagen es brillante para cualquier ángulo de visión debido a que el FED genera luz desde enfrente al píxel, por esta razón se dice que el ángulo de visión es de  $160^{\circ}$  horizontales y verticales, por otra parte la eficacia de la energía es alta a partir de 3 a 40 lm/w dependiendo del voltaje y del fósforo. El voltaje de operación de estas pantallas se sitúa en el rango de los 300 a los 5000 voltios.

Para alcanzar un voltaje de funcionamiento bajo, los extremos de los emisores se fabrican de un material de bajo-trabajo como el molibdeno y con una forma muy aguda (formando "conos"), como indica la figura 1-22, de manera que la fuerza del campo generado se aumenta sólo con aplicar a la compuerta un voltaje bajo. Así los electrones que emiten éstos (conos emisores), son acelerados hacia la pantalla de fósforo por un voltaje en el ánodo que puede ser alto o bajo. Cabe mencionar que los electrones fluyen del cátodo al ánodo para iluminar el fósforo.



**Figura 1-22.** Estructura de los extremos de los emisores. [20]

Aplicando una diferencia de voltaje de por ejemplo 80V entre el ánodo y la compuerta, el campo es tan alto que ocurre la emisión de electrones, dando como resultado una nube de electrones. Una vez que esta nube de electrones vea al cátodo (que se encuentra cargado a 400 V) choca contra el fósforo y se produce la luz. Un voltaje bajo simplifica el diseño de la pantalla pero no permite el uso del mismo tipo de fósforos eficientes y suficientemente probados que se utilizan en los monitores CRTs. Los problemas de diseño se van superando poco a poco, por lo que se ha optado por usar un voltaje alto y así poder utilizar los mismos fósforos que se venían utilizando en los CRT.

Dado que es difícil controlar la corriente de cada emisor individualmente, la pantalla funciona en un modo "saturado" es decir que cada píxel puede estar activado o desactivado.

Gran parte de la investigación en el campo de la tecnología FED todavía se centra en encontrar un material conveniente para los emisores de forma que se pueda bajar el voltaje a partir del cual conducen. Uno de estos materiales es el diamante que permite la emisión del campo a voltajes tan bajos como 1 o 2V. La fabricación de estos emisores supone un claro obstáculo por lo que los FED que podemos encontrar en el mercado continúan empleando metales para sus emisores.

Puesto que la tecnología FED trabaja en el vacío, la presión atmosférica se convierte en un problema a la hora de construir pantallas de grandes dimensiones (paneles). En particular, los mecanismos de sujeción<sup>10</sup> internos que evitan la implosión<sup>11</sup> de la pantalla, deben ser lo suficientemente delgados para caber en el espacio entre los píxeles. Este problema junto con el tiempo de vida de uso y la búsqueda por conseguir disminuir el voltaje de emisión son los principales retos en la tecnología FED.

---

<sup>10</sup> Sujeción: Unión con que algo está sujeto de modo que no puede separarse, dividirse o inclinarse.

<sup>11</sup> Implosión: Acción de romperse hacia dentro con estruendo las paredes de una cavidad cuya presión es inferior a la externa.

### **1.2.2.2 Características [22]**

Las características de funcionamiento de los FEDs están bien adaptadas a la proyección de imágenes en equipos médicos. A continuación se describen algunas características muy importantes que se encuentran asociadas a los displays de efecto de campo.

#### **Ángulo de visión**

El ángulo de visión para este tipo de pantallas es de  $160^{\circ}$  tanto horizontales como verticales, por tal motivo para visualizar el contenido presentado por un display de emisión de campo de una manera óptima no se tendrá que sobrepasar el valor de dicho ángulo.

#### **Brillo**

La mayoría de los visualizadores tienen una iluminación adecuada, sin embargo, las situaciones en las que el nivel de iluminación debería ser bajo por ejemplo la cabecera de un paciente en la noche, en este caso la visualización producto del nivel de iluminación bajo provoca que la información sea difícil de leer o a su vez se pueda leer mal. Debido a que el FED es un visualizador emisor que produce luz propia el brillo puede ser amortiguado continuamente. Los instrumentos al aire libre para los médicos de emergencias requieren de un alto brillo que compita con la luz directa del sol. Esto requiere a menudo el uso de filtros especiales que permitan realzar el contraste o a su vez filtros especiales para generar contraste.

#### **Velocidad**

La velocidad de visualización es el lapso de tiempo durante el cual la imagen puede ser cambiada mientras se mantiene el detalle de la imagen. La visualización con tiempos de reacción inadecuados creará una imagen borrosa durante la transferencia, este hecho por ejemplo se puede confundir con un flujo defectuoso de la sangre, o también se puede interpretar como una inestabilidad o

interferencia eléctrica. Con un tiempo de reacción de 20 nanosegundos (nseg) la tecnología del FED produce imágenes que se las puede apreciar claramente.

### **Calidad del color**

Los FEDs utilizan los fósforos convencionales de un CRT. Esto es de gran importancia en algunas áreas tales como la telemedicina. La capacidad de un display de demostrar tonos verdaderos por ejemplo de la carne depende en gran parte de la colorimetría<sup>12</sup> del dispositivo de visualización.

### **Control de la frecuencia de trama**

Funcionando a por ejemplo 400 Hz, el nivel gris a un 50% puede ser obtenido alternando un campo blanco de una trama con un campo negro de otra. Un nivel gris a un 25% se logra si de cuatro tramas una de ellas es blanca. Este método es simple, permitiendo el uso de dispositivos controladores (on/off), pero el funcionamiento del FED refleja un parpadeo lento debido a que la capacidad de conmutación de los dispositivos controladores no es muy alta.

### **Modulación de voltaje**

Este es el clásico método análogo de producir niveles grises y dar una respuesta de luminancia similar a lo que nos ofrece un tubo de rayos catódicos, sin embargo en el caso de los FEDs esto requiere de controladores de baja potencia y de una respuesta muy uniforme en los extremos.

### **Control de carga**

Este método corrige la no uniformidad en los extremos, pero requiere de controladores complejos para el control de la carga emitida.

---

<sup>12</sup> Colorimetría: ciencia que estudia la medida de los colores y que desarrolla métodos para la cuantificación del color, es decir para la obtención de valores numéricos del color.

### 1.2.2.3 Ventajas y desventajas

Entre las ventajas que nos ofrece un display de emisión de campo podemos citar las siguientes:

- Debido a que los FED producen luz únicamente en los píxeles encendidos, el consumo de energía depende directamente del contenido de la pantalla.
- Un display de emisión de campo genera luz desde enfrente al píxel, por lo que el ángulo de visión es excelente, 160° horizontales y verticales.
- FED tiene redundancia agregada a su diseño, utilizando cientos de emisores de electrones para cada píxel.
- Los fabricantes de este tipo de visualizadores afirman que no existe pérdida de brillo inclusive si un 20% de los emisores fallan.
- En resumen podemos decir que un visualizador de emisión de campo ofrece un amplio ángulo de visión, una respuesta más rápida, saturación más alta del color y un consumo de energía más bajo.

Con respecto a las desventajas que se encuentran inmersas en un display de emisión de campo podemos mencionar las siguientes:

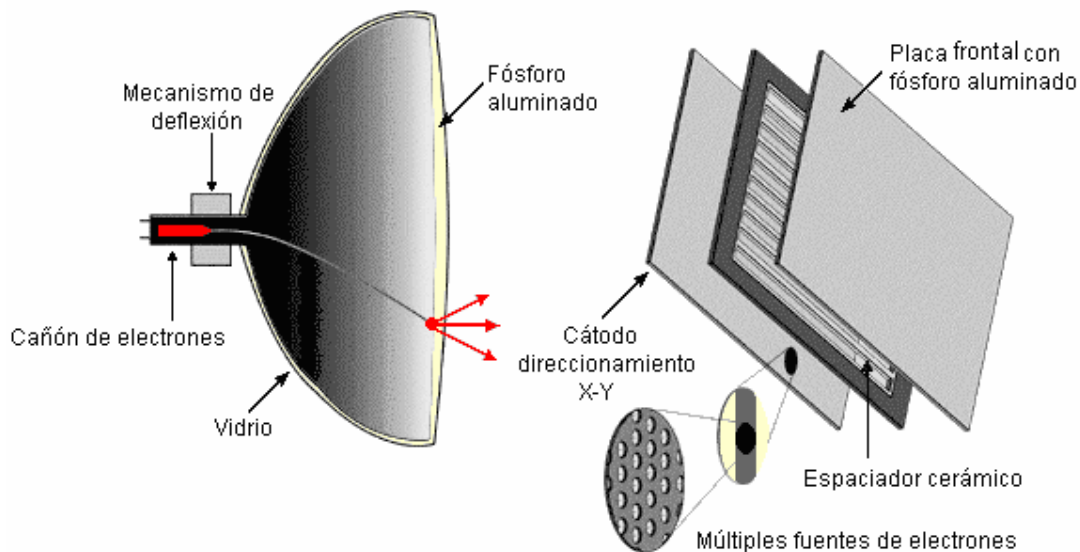
- Este tipo de visualizador es difícil de construir.
- Mientras el CRT tiene un único tubo de vacío, un FED necesita de aproximadamente 480.000 de ellos.
- Para mantener la diferencia entre el vacío y la presión externa del aire, un FED debe ser fuerte mecánicamente y muy bien sellado, lo que demanda de procesos complejos.

- Debido a que la tecnología FED trabaja en el vacío, la presión atmosférica se convierte en un problema a la hora de construir pantallas de grandes dimensiones (paneles).
- En particular, los mecanismos de sujeción internos que evitan la implosión de la pantalla deben ser lo suficientemente delgados para caber en el espacio entre los píxeles. Este problema junto con el tiempo de vida de uso y la búsqueda para conseguir disminuir el voltaje de emisión son los principales retos de esta tecnología.
- Un aspecto muy importante es que actualmente el tamaño conseguido en las pantallas FED es todavía pequeño del orden de unos 15 cms (6 pulgadas), suficiente para servir como pantallas de instrumentación médica por ejemplo, pero poco atractivas todavía para los computadores y pantallas de televisión.
- Un aspecto a considerar es la eficacia. Conseguir muchos electrones para producir la luz adecuada, la destrucción interna de la capa de la emisión es inevitable.

#### **1.2.2.4 Nuevas tecnologías**

##### **Pantallas de emisión electrónica de conducción de superficie (Surface Conduction Emitter Display o SED) [20]**

Canon y Toshiba propusieron esta tecnología, en donde el emisor está compuesto por una capa fina de partículas muy pequeñas de Óxido de Paladio (PdO), éstas se incrustan entre los huecos estrechos (10nm) donde no existe capa. Aplicando voltaje en esta ranura se crea un efecto de túnel que provoca la emisión de electrones, alguno de ellos son acelerados por el voltaje aplicado en ambas placas de cristal y colisionan con el material fosforescente lo que produce luz visible. Lo descrito anteriormente se ilustra en la figura 1-23.



**Figura 1-23.** Estructura de una pantalla basada en la tecnología SED. [20]

Este tipo de dispositivos no son nuevos, pero por otra parte los materiales emisores de los FED (principalmente metales) han demostrado ser inestables y así inadecuados para su uso en pantallas. Los prototipos de SED han conseguido luminancias de más del doble que las PDP con un bajo consumo, por lo que Canon está introduciendo esta tecnología en sus productos finales.

Algunas de estas pantallas tienen unas dimensiones que exceden de un metro en su diagonal (40 pulgadas), viniendo a consumir cerca del 50% de energía que consumiría un CRT y un 33% de lo que consumiría una pantalla de plasma si fueran ambos de las mismas dimensiones.

El SED ofrece un tiempo de respuesta inferior a 1 milisegundo, lo que permite mostrar imágenes más claras y con más definición.

El ángulo de visión que ofrece SED es de 180 grados, es decir, que podemos ver las imágenes desde cualquier lugar que miremos a la pantalla. Además, la relación de contraste es de 100.000:1 y el nivel de negro es muy bueno, al contrario que muchos LCDs que no muestran un negro completo, sino un poco aclarado. Además, el consumo energético de SED es mucho menor que el del plasma, una ventaja para el medio ambiente y para los usuarios.

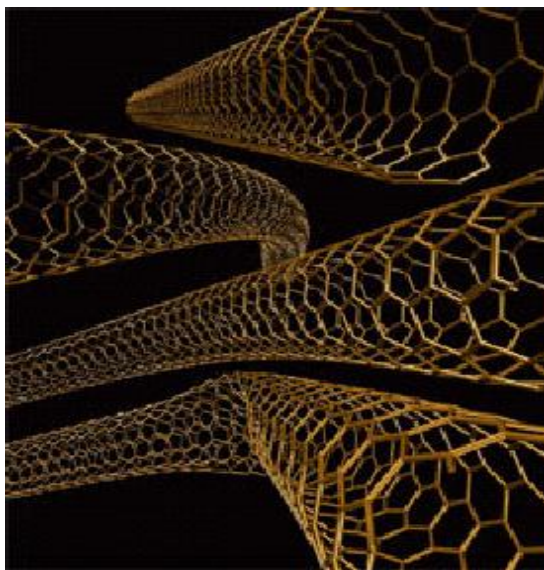


Es probable que a principios de este año se pongan a la venta los primeros modelos de monitores y televisores con esta tecnología.

Por lo que respecta al precio las compañías no quieren decir nada, aunque en un principio debería ser similar al de los LCD del mismo tamaño, aunque también se rumorea que su fabricación a gran escala podría hacerlos aún más baratos.

### **Nanotubos de carbono (CNTs) [23][24][25]**

Los nanotubos de carbono (CNTs) fueron descubiertos por el Dr. Sumio Iijima en 1991. Un nanotubo de carbono es una estructura periódica de átomos de carbono en una red hexagonal que se enrolla en sí misma adquiriendo la forma tubular, como se observa en la figura 1-24. Se denomina nanotubo porque tiene diámetros de entre 1 y 100 nm y su longitud puede llegar hasta 100 micrómetros o más. Para tener una idea más acorde con nuestro mundo se ha demostrado que cien nanotubos juntos tienen el espesor de un cabello humano.

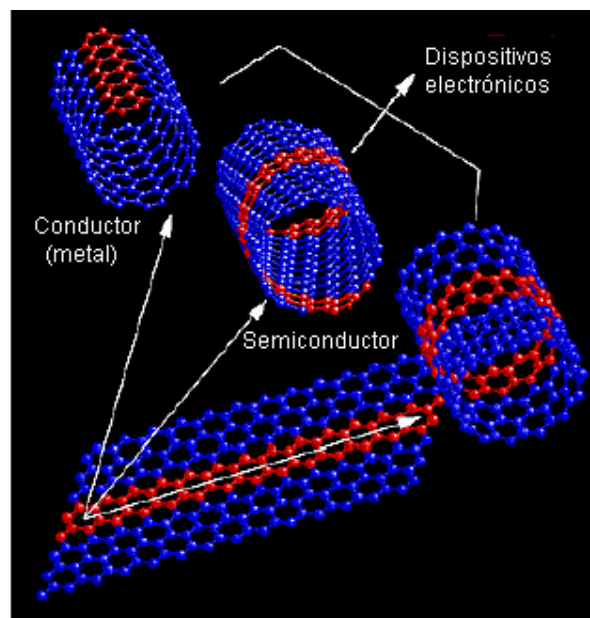


**Figura 1-24.** Estructura de un nanotubo de carbono. [25]

El CNT ha probado ser el material del siglo XXI. Con una resistencia 100 veces más fuerte que el acero, la conductividad del oro, una densidad de 1,3 gr/cm<sup>3</sup>,

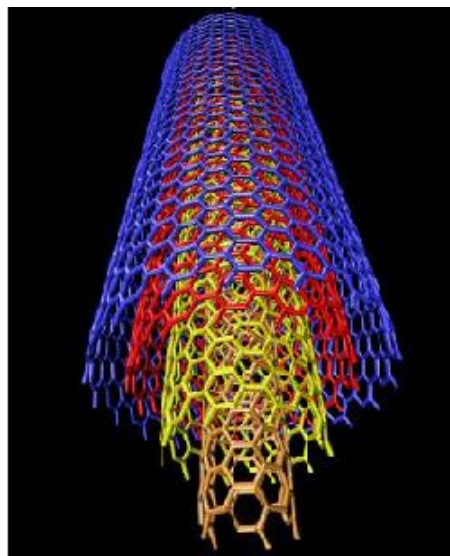
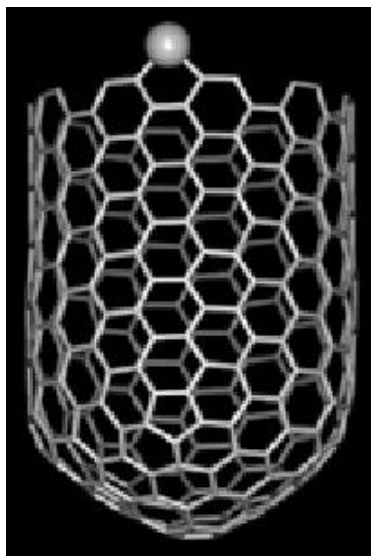
una enorme elasticidad y otra serie de propiedades químicas, mecánicas y eléctricas.

Pero a pesar de todas estas ventajas un nanotubo de carbono tiene un problema y es que sus propiedades eléctricas dependen de la estructura del tubo, es decir, de cómo se ha hecho el plegado con los hexágonos alrededor del tubo formando una estructura de hélice, como el ADN. Dependiendo de este plegado, el tubo puede ser semiconductor o conductor de la electricidad, figura 1-25, es decir que dependiendo de la estructura cristalina detallada de un tubo determinado tendrán propiedades metálicas o semiconductoras.



**Figura 1-25.** Representación del plegado de los hexágonos. [25]

Además cabe mencionar que los CNTs pueden ser de pared única (figura 1-26) o también pueden ser de múltiples paredes (figura 1-27).



**Figura 1-26.** CNT de pared única. [25] **Figura 1-27.** CNT de múltiples paredes. [25]

A los nanotubos de carbono de pared única se les representa por las siguientes siglas SWNTs<sup>13</sup> (Single-Walled Carbon Nanotubes), mientras que a los nanotubos de carbono de múltiples paredes se les representa como MWNTs<sup>14</sup> (Multi-Walled Carbon Nanotubes).

Por otro lado una de las propiedades más interesantes de los CNTs en general es su alta capacidad de emisión de electrones. En este campo, su interés radica en que sean capaces de emitir electrones a 0,11 eV de energía mientras que los mejores emisores de electrones utilizados en la actualidad emiten en un rango entre 0,3 y 0,6 eV. Además del estrecho rango de emisión de energía, los CNTs presentan otras ventajas respecto a los cristales líquidos utilizados en las pantallas planas, tales como: amplio ángulo de visión, capacidad de trabajar en condiciones extremas de temperatura y brillo suficiente para poder ver las imágenes a la luz del sol.

Las pantallas de nanotubos se presentan día a día de una manera progresiva. Los investigadores planean utilizar la tecnología FED utilizando nanotubos de carbono

<sup>13</sup> SWNT: Nanotubo de Carbono de pared única.

<sup>14</sup> MWNT: Nanotubo de Carbono de múltiples paredes.

como emisores de electrones, para sacar al mercado pantallas de bajo costo, de ultra alta definición y tamaños bastante respetables (por no decir directamente pantallas enormes).

Quedan por delante los esfuerzos por mejorar las características de resolución y tamaño para poder llegar a fabricar pantallas gigantes con esta tecnología y de esta manera ver si son realmente de bajo costo.

### **1.2.3 ELECTROLUMINESCENT DISPLAY (ELD) [26][27]**

Los visualizadores electroluminiscentes (ELDs) tienen sus orígenes en descubrimientos científicos en la primera década del siglo veinte, pero los ELDs no se convirtieron en productos comercialmente viables sino hasta 1980 aproximadamente.

Este tipo de visualizador es útil particularmente en ambientes donde no se requiere del color completo, sino donde son necesarios otros aspectos tales como la aspereza, la velocidad, el brillo, el alto contraste, y un gran ángulo de visualización. La tecnología para el mejoramiento del color de un display electroluminiscente ha avanzado perceptiblemente estos últimos años, especialmente para los microdisplays.

Existen dos formas principales de producir luz, siendo éstas:

- Incandescencia
- Luminiscencia

En la incandescencia, la corriente eléctrica pasa a través de un conductor (filamento) cuya resistencia al paso de corriente produce calor. Cuanto más se calienta el filamento, más luz produce.

La luminiscencia, en cambio, es el nombre dado a todas las formas de energía radiante visible debido a distintas causas con excepción de la temperatura.

#### **1.2.3.1 Producción de luminiscencia [27]**

Existen dos maneras de producir luminiscencia siendo éstas:

- Mediante mecanismos
- A través de excitación natural

##### **Mediante mecanismos**

Con relación a la producción de luminiscencia mediante mecanismos podemos mencionar los siguientes tipos:

##### **a) Fluorescencia**

La fluorescencia es la propiedad de una sustancia para emitir luz cuando es expuesta a radiaciones de tipo ultravioleta, rayos catódicos o rayos X. Las radiaciones absorbidas (invisibles al ojo humano) son transformadas en luz visible. Esta desaparece rápidamente cuando la fuente de excitación (luz o electricidad) que actúa es retirada.

##### **b) Fosforescencia**

Fenómeno en el cual ciertas sustancias tienen la propiedad de absorber energía y almacenarla, para emitirla posteriormente en forma de luz.

##### **A través de excitación natural**

Entre los tipos de luminiscencia debido a una excitación natural podemos mencionar los siguientes:

**a) Electroluminiscencia**

La electroluminiscencia se refiere a la producción de luz visible por una sustancia expuesta a un campo eléctrico sin la generación de energía térmica.

**b) Quimioluminiscencia**

La quimioluminiscencia es el nombre dado a la luz que se produce como resultado de reacciones químicas, tales como las que ocurren en el cuerpo de una luciérnaga.

**c) Cátodoluminiscencia**

La cátodoluminiscencia es la luz emitida por un material que es bombardeado por electrones (como los fósforos en la parte frontal de un tubo de rayos catódicos).

**d) Triboluminiscencia.**

Es la emisión de luz por una sustancia sólida debido a daños mecánicos (rayado, golpeado o enterrado).

**e) Fotoluminiscencia.**

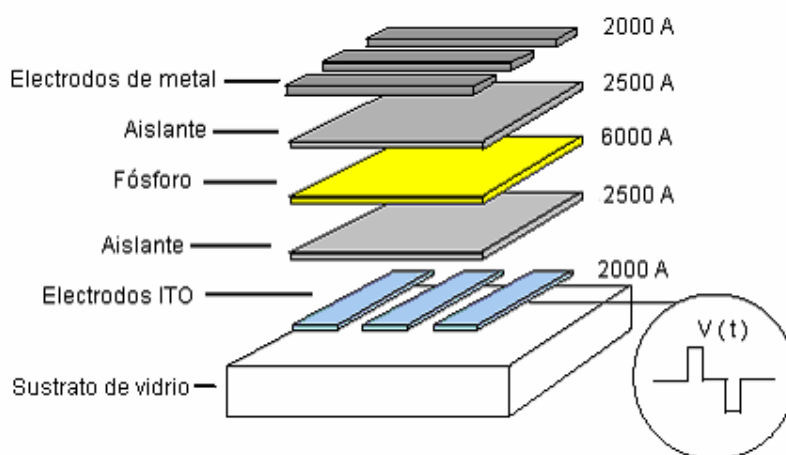
Fenómeno en cual la energía activadora es de origen electromagnético (rayos ultravioleta, rayos X o rayos catódicos). Puede ocurrir a través de ambos mecanismos: fluorescencia o fosforescencia. La fotoluminiscencia es sobre todo en estos días fluorescencia colorida para ser usada en productos para textiles brillantes, en semáforos, medicina y muchas otras ciencias. La fotoluminiscencia es ampliamente utilizada para iluminación, lámparas y tubos fluorescentes que incluyen componentes electroluminiscentes (mercurio) y componentes fotoluminiscentes (capas fluorescentes).

### f) Radioluminiscencia.

Es la emisión de luz por una sustancia bajo el bombardeo con radiación iónica (partículas alfa o beta). Primero fue observada y reportada por Pierre y Marie Curie y ha sido usada por mucho tiempo en relojes y otros mecanismos fosforescentes.

#### 1.2.3.2 Estructura [27]

Todos los ELDs tienen la misma estructura básica. Hay por lo menos seis capas que conforman el dispositivo. La capa central se llama la capa de fósforo, y se intercala entre dos capas de aislamiento. En la parte superior están colocados electrodos de metal y en la parte baja se sitúan electrodos hechos de óxido de indio (ITO), como se ilustra en la figura 1-28. Los dos tipos de electrodos son perpendicularmente puestos el uno del otro, formando una matriz. En el mismo fondo, se coloca un sustrato transparente, a menudo de cristal pero también se han probado materiales plásticos.



**Figura 1-28.** Estructura de un display electroluminiscente. [27]

En la figura 1-28 se puede ver cómo los espesores típicos de las capas individuales son algunos miles de Angstroms<sup>15</sup>, y por lo tanto a tal dispositivo se le denomina dispositivo electroluminiscente de película delgada (Thin Film Electroluminiscent TFEL).

Los dispositivos ELD se pueden comparar con un condensador "lossy" que se carga eléctricamente y después pierde su energía en forma de luz. Las capas aislantes son necesarias para evitar la formación de arcos entre las dos capas conductoras.

### **1.2.3.3 Funcionamiento de un visualizador electroluminiscente [27]**

En un display electroluminiscente la capa de fósforo emite luz cuando un campo eléctrico suficientemente grande se aplica a través de ésta. Este fenómeno se conoce como electroluminiscencia. El valor necesario está típicamente en el orden de 1,5 MV/cm. Este campo eléctrico es establecido por los electrodos, mientras que la función de las dos capas de aislamiento es evitar que fluya una corriente demasiado grande hacia el fósforo, que de otra manera podría destruir el dispositivo.

La matriz formada por los electrodos conforma los diversos píxeles del visualizador. La característica especial de los electrodos de ITO es que son transparentes, por lo que permiten la visualización de la luz a través del sustrato de cristal del fondo. Los electrodos superiores se hacen a menudo de un material, que absorbe la luz más que reflejarla. Esto se hace para asegurar, que la luz, que se propaga de vuelta hacia estos electrodos, no será reflejada a un cierto ángulo y redirigida hacia la capa de fósforo incidiendo en algún otro píxel, puesto que esto bajaría las características del contraste del visualizador.

---

<sup>15</sup> Angstroms: unidad de longitud empleada principalmente para expresar longitudes de onda, distancias moleculares y atómicas, se representa por el símbolo Å.



Para crear el campo eléctrico necesario, se aplica un voltaje elevado (típicamente un voltaje alterno de 80V o más de amplitud y frecuencia entre 400Hz y 1000Hz) a los electrodos transparentes impresos en la cara interna de los vidrios, para de esta manera conseguir que el fósforo emita luz, cuyo color puede ser controlado mediante mezclas de pigmentos, para que la luz sea verde, azulado verdosa, amarillo limón, naranja, roja o blanca.

Al ser totalmente sólidos, los ELDs son muy resistentes a golpes, vibraciones, temperatura y humedad, aunque la necesidad de conmutar altos voltajes de alterna hace imprácticos los usos donde sean necesarios controlar separadamente el encendido de múltiples puntos. Sin embargo, son muy usados en forma de paneles completos como iluminación posterior de displays LCD.

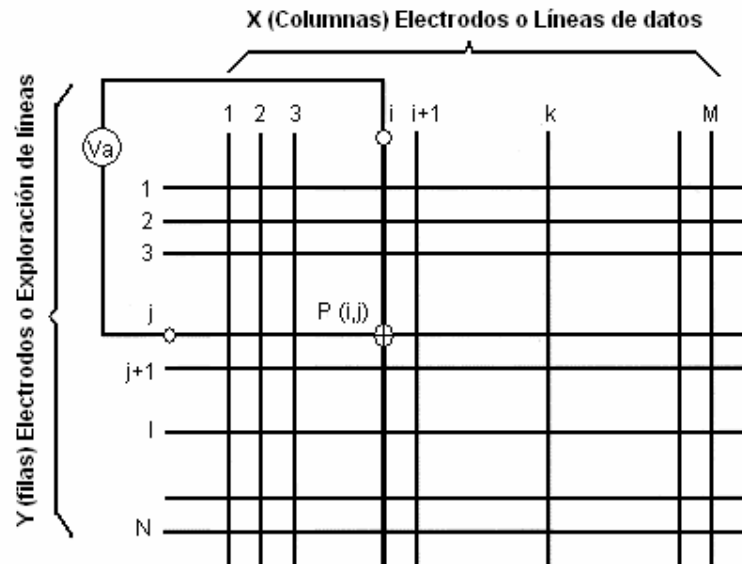
#### **1.2.3.4 Características y ventajas [27]**

##### **Métodos de direccionamiento**

Básicamente existen dos métodos de direccionamiento utilizados por un display electroluminiscente siendo éstos:

- Matriz X-Y
- Matriz activa

En el método de direccionamiento matriz X-Y los electrodos forman M columnas (líneas de datos) y N filas (líneas de exploración) según se muestra en la figura 1-29.



**Figura 1-29.** Esquema de direccionamiento X-Y. [27]

Un solo píxel se direcciona aplicando un voltaje apropiado entre el electrodo de la columna  $i$ -ésima y el electrodo de la fila  $j$ -ésima. El esquema típico de direccionamiento usado aquí se llama línea-en-un-tiempo (line-at-a-time) y es básicamente un método de multiplexación.

El principio es, que una sola línea de exploración es direccionada mientras que toda la información para esta línea se escribe en las líneas de datos al mismo tiempo. Cada línea de exploración es direccionada una tras otra de tal modo que la imagen se dibuja línea a línea. Este esquema es relativamente simple y tiene algunas desventajas.

En el caso en que el visualizador tiene muchas líneas de exploración, la fracción de tiempo en la cual una línea de exploración se ilumina respecto al tiempo total de escaneo es pequeña. Esto afecta a la luminiscencia de forma negativa, puesto que cada píxel se ilumina durante poco tiempo. Lo que puede producir parpadeo.

Por otra parte en el método de direccionamiento matriz activa, un dispositivo activo, típicamente un transistor, está conectado con cada píxel. Los

visualizadores, donde cada píxel es conducido por un transistor, se llaman visualizadores de matriz activa.

Usar un visualizador de matriz activa tiene algunas ventajas pero también algunas desventajas. Es posible incluir un condensador de almacenamiento en cada píxel, que funcionará como un dispositivo de memoria. Usando este elemento de memoria, los píxeles individuales se pueden alimentar constantemente y no solo mientras que se están barriendo. Esto aumenta la luminiscencia del visualizador.

También, puesto que es necesario un campo eléctrico algo grande, el voltaje que debe ser utilizado es también alto ( $> 100\text{ V}$ ), convirtiéndose esto en una desventaja. Otra desventaja es que, si un transistor falla, el píxel fallará y se quedará parpadeando.

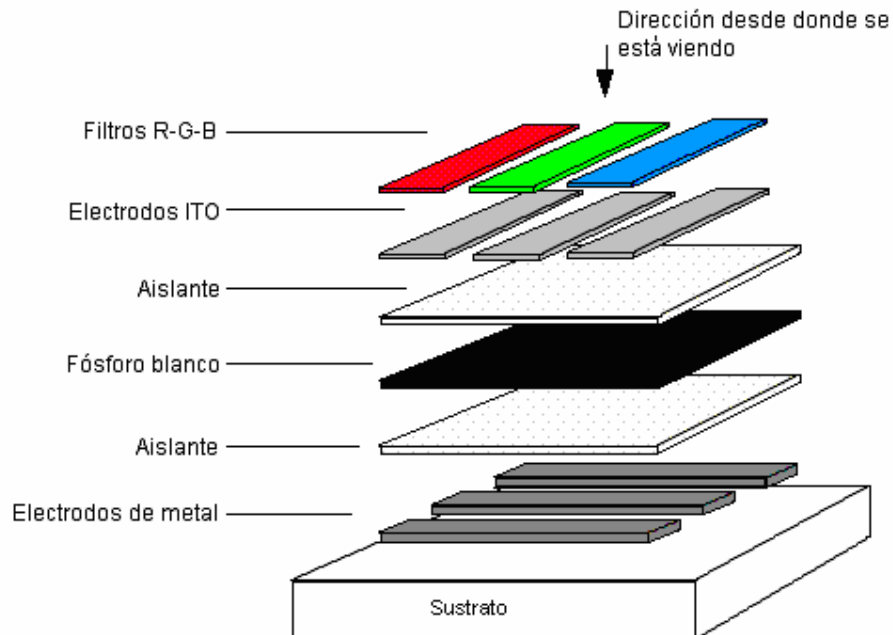
## **Color**

Los primeros ELDs eran visualizadores monocromáticos<sup>16</sup>, pero también se pueden hacer visualizadores de color usando esta tecnología.

Al principio se trabajó en la búsqueda de patrones de fósforos que emitiesen luz en rojo, verde y azul, o bien en la utilización de filtros. Aunque hay varias aproximaciones para la obtención de color, la que está siendo actualmente más utilizada es la llamada técnica de "color por blanco". En esta estructura solo se utiliza una capa de fósforo combinada con un patrón de filtros de color, figura 1-30. Esta estructura tiene la ventaja de mantener la facilidad de fabricación de los dispositivos monocromos y alcanza el color creando un patrón laminado de filtros de color al final del proceso.

---

<sup>16</sup> Monocromático: se refiere a que solo permite dos colores siendo estos el blanco y el negro.



**Figura 1-30.**

Estructura de un ELD utilizando la técnica "color por blanco" para la obtención de color. [27]

A continuación se describen las ventajas que se encuentran asociadas con las características propias de un display electroluminiscente:

- Representación visual sin rival.
  - Alto brillo y contraste.
  - Ángulo amplio de la visión  $> 160^\circ$ .
- Respuesta rápida de la exhibición  $< 1$  ms.
- Emisiones bajas de interferencias electromagnéticas.
- Extremadamente durable.
- Fiable, larga vida funcional.

#### 1.2.3.5 Nuevo material electroluminiscente para pantallas [28]

Investigadores de la Universidad Politécnica de Valencia desarrollan un nuevo material electroluminiscente aplicable a pantallas digitales de electrodomésticos,

móviles o PDAs. Es un material más duradero y estable frente a agentes atmosféricos que los actuales y sus características luminiscentes han sido mejoradas.

Los polímeros<sup>17</sup> electroluminiscentes tienen importantes ventajas con respecto a otros materiales electroluminiscentes inorgánicos como los LEDs (Light Emitting Diode). Las ventajas son, entre otras, su bajo costo, fácil procesabilidad, flexibilidad mecánica, posibilidad de preparar recubrimientos continuos y tridimensionales con materiales electroluminiscentes y, no menos importante, que permiten la posibilidad de manipular la emisión del color.

Sin embargo, las actuales prestaciones de los polímeros electroluminiscentes son insatisfactorias, ya que se degradan fácilmente a causa de agentes ambientales. Esta es la razón por la que no ha sido posible llegar a una aplicación comercial del mismo.

Evitar esa degradación es el objetivo de un grupo de investigadores del Instituto de Tecnología Química (ITQ) de Valencia, centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y de la Universidad Politécnica de Valencia, en la que actualmente se encuentran trabajando.

#### **1.2.4 ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE (OLED) [29]**

Organic Light Emitting Diode, podría ser traducido como: diodo orgánico emisor de luz. Los OLEDs son polímeros, es decir, grandes moléculas compuestas de unidades químicas en cadena que son capaces de convertir energía eléctrica en luz cuando se sitúan entre dos electrodos, por lo que, la química tiene mucho que ver con esta tecnología.

---

<sup>17</sup> Polímero: (viene del griego poly que significa muchos y meros que significa parte o segmentos) sustancia cuyas moléculas son por lo menos aproximadamente múltiplos de unidades de peso molecular bajo.

Un dispositivo OLED está basado en una serie de películas orgánicas muy delgadas que son apiladas entre dos electrodos, una opaca y otra transparente. Cuando se aplica una polarización<sup>18</sup> a estas capas de películas mediante los dos electrodos, las mismas son excitadas para emitir una luz brillante en un efecto conocido como electroluminiscencia. A pesar de usar varias capas de película, el espesor del conjunto es muy reducido, generalmente menor a 500 nanómetros (0,5 milésimas de milímetro) debido a que cada capa apenas posee un espesor de un micrón<sup>19</sup> ( $\mu\text{m}$ ).

Los OLEDs utilizan sustancias que emiten luz roja, verde, azul o blanca. Sin ninguna otra fuente de iluminación, los materiales de OLED presentan el video y las imágenes brillantes, claros, que son fáciles de mirar casi a cualquier ángulo.

Los displays OLEDs tienen un ángulo de visión amplio, de aproximadamente 170 grados y requieren de muy poca energía, solamente entre 2 y 10 voltios.

La duración de una pantalla OLED se estima en 20.000 horas pero ya están en desarrollo pantallas de hasta 150.000 horas.

Las pantallas basadas en OLEDs ofrecen la ventaja de no emitir luz todo el tiempo, por lo que su consumo de potencia es considerablemente menor, debido a esto la tecnología OLEDs ha venido ganando terreno principalmente en el mercado de los dispositivos portátiles.

Las pantallas OLEDs permiten visualizar imágenes más nítidas y brillantes con un menor grosor de pantalla (menor a 1 milímetro). La capacidad de contraste mejora tanto en estas pantallas que permiten visualizar contenidos en ambientes fuertemente iluminados.

Se tratará con mayor detalle esta tecnología en un capítulo posterior.

---

<sup>18</sup> Polarización: Dirección del vector campo eléctrico de una onda electromagnética. Puede ser Vertical, Horizontal, Circular o Elíptica.

<sup>19</sup> Micrón: Millonésima parte de un metro.

## 1.2.5 LIGHT EMITTING POLYMER (LEP) [30]

### 1.2.5.1 Introducción

Los primeros computadores que se vendían en 1980 tenían una estructura externa hecha artesanalmente, con paneles de madera brillantes, y podía confundirse con facilidad con una pieza del mobiliario doméstico. Por dentro era otra historia. El Nascom Two disponía de una velocidad de reloj de 2 MHz y 8 KB de memoria, cifras que ahora parecen insignificantes, pero la tecnología subyacente es la misma que la de cualquier otro computador actual. Sin embargo, esta tecnología está cambiando, ya que aparecen nuevos materiales y nuevas formas de fabricar computadores que quizás terminen afectando y sustituyendo no sólo los procesos internos, sino también el concepto mismo de computador.

La laca es un ejemplo de lo que ahora conocemos como un polímero, pero ese nombre todavía no se había inventado. De hecho, nadie conocía cuál era su estructura molecular.

La baquelita fue el primer plástico totalmente sintético, mucho antes de que aparecieran otros polímeros como el nylon, el acrílico, el PVC. Desde entonces, se ha incrementado el número de plásticos a miles y se están desarrollando nuevos de modo continuo. Aunque las primeras investigaciones revelaron una amplia gama de propiedades, todos tenían una cosa en común: no eran conductores<sup>20</sup> de electricidad. Así que muchos plásticos se usan como aislantes<sup>21</sup> en casi todos los equipos eléctricos.

En las últimas décadas se han descubierto unas cuantas clases especiales de plásticos. Algunos resultan excelentes conductores eléctricos, y otros se comportan como semiconductores<sup>22</sup>.

---

<sup>20</sup> Conductor Eléctrico: Se dice que un cuerpo es conductor eléctrico cuando puesto en contacto con un cuerpo cargado de electricidad transmite ésta a todos los puntos de su superficie.

<sup>21</sup> Aislante Eléctrico: Se denomina aislante eléctrico al material con escasa conductividad eléctrica.

<sup>22</sup> Semiconductor: Es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo del campo eléctrico en el que se encuentre.

### 1.2.5.2 Plástico eléctrico

Existe una familia de plásticos llamada polímeros conjugados, donde un cambio estructural abre toda clase de posibilidades eléctricas. Es decir, cada átomo comparte su electrón sobrante con sus dos vecinos, tanto más cuanto establece un doble enlace con uno de ellos, pero sin ignorar a los otros. Esta capacidad de pasar los electrones entre un átomo y el siguiente es lo que abre la posibilidad de la conducción.

Se descubrió que era posible controlar la capacidad de conducir una corriente mediante la incorporación de pequeñas cantidades de una sustancia que puede donar o quitar un electrón extra, y así producir un “agujero” con carga positiva. Incrementando la cantidad de la sustancia, los polímeros podrían ser tan buenos conductores como los metales. Por desgracia, había una desventaja. En el mejor de los casos ciertos polímeros son inestables, pero con la sustancia agregada tienden a explotar en contacto con el aire. Esto retrasó el trabajo con los polímeros durante algunos años. Pero recientemente se han logrado desarrollar polímeros conjugados más estables. Uno de los más interesantes el PTV (Politienileno vinileno), que consiste en una columna de anillos de carbono.

Todo parece seguir en marcha, pero se preguntará ¿por qué utilizar polímeros? ¿Por qué no seguir con los metales?

El porqué utilizar polímeros en lugar de metales está en las ventajas que presentan los polímeros en comparación a los metales, alguna de estas ventajas es que son más ligeros, no se corroen con facilidad, son más flexibles y pueden moldearse y procesarse a temperaturas más bajas que el metal fundido.

¿Se imagina un cable plástico revestido por un aislante plástico? Aunque lo mejor de todo sería un plástico semiconductor.



Los requerimientos para la producción de semiconductores convencionales requieren de una precisión y una limpieza extremas. El sustrato de silicio tiene que generarse como un cristal perfecto y el proceso para convertirlo en un chip implica una tecnología intrincada<sup>23</sup>. Resultan rentables solamente si se fabrican a gran escala.

Los polímeros semiconductores igualmente requerirán de una ingeniería de precisión, pero sin el mismo nivel de limpieza o la complejidad de la tecnología de procesamiento que se utiliza en la manipulación de los semiconductores convencionales, no sería necesario crear cristales perfectos (el sustrato polimérico podría vaciarse para formar una hoja fina). La investigación sobre los polímeros semiconductores lleva unos 20 años y los principios de funcionamiento están ya establecidos.

Son muy pocas las aplicaciones prácticas, debido en parte a las enormes inversiones que se han hecho ya en la fabricación de chips. Lo que se necesitaba era una aplicación brillante y que vino a la luz (literalmente), en el momento en que algunos investigadores aplicaron un voltaje a una fina lámina de plástico conductor y lo vieron resplandecer con una luz verdosa.

Al igual que en un LED semiconductor convencional, al aplicar un cierto voltaje se lleva a algunos electrones a un nivel más alto de energía que les permite desplazarse a través del material. Esto crea “agujeros” de carga positiva allí donde los electrones se situaban. Cada vez que un electrón móvil encuentra uno de estos “agujeros”, cae en él y libera su energía extra en forma de un fotón de luz.

Los polímeros emisores de luz o LEPs, pueden crearse de cualquier forma y tamaño, es lo que los diferencia de los LEDs convencionales. Todo lo que se necesita es insertar una pieza de este material entre dos finos electrodos. Por supuesto, uno o ambos de estos electrodos debe ser transparente para que la luz

---

<sup>23</sup> Intrincada: Que da rodeos, se entrecruza o está enredado y por ello es enrevesado y complicado.

pueda salir, pero los electrodos transparentes se utilizan desde hace tiempo en las pantallas LCD y son sencillos de fabricar con materiales como el óxido de estaño.

Esta tecnología se ha desarrollado vertiginosamente. Su eficiencia alcanza ya a los de los LEDs más brillantes. Y lo más importante, pequeños cambios químicos en el polímero permiten generar una amplia gama de colores, lo que ofrece la perspectiva de pantallas LCD de color, brillantes y de bajo costo.

La técnica utilizada al fabricar pantallas LEP de color utiliza la tecnología de impresión de inyección de tinta para formar una fina matriz de puntos poliméricos rojos, verdes y azules en una rejilla de electrodos<sup>24</sup>. En principio, esto podría ser la base para construir grandes monitores y pantallas de TV que fuesen como flexibles hojas de papel.

Una de las ventajas ofrecidas por los LEPs es la de tener una iluminación autónoma, ya que no necesitan una retroiluminación separada, y podrían ser visibles desde cualquier ángulo. Serían un sustituto más que deseable para los monitores convencionales.

Algunas de las propuestas más sugerentes en cuanto a las aplicaciones de las pantallas plegables de LEPs, van desde la fabricación de vestidos que cambien de color o que presenten algún tipo de información, como lo muestra la figura 1-31, hasta el video empaquetado. En publicidad las posibilidades son infinitas, y se incrementarán a medida que los costos se reduzcan.

Los carteles publicitarios podrían comportarse como monitores planos que se reprogramarían en lugar de solamente pegarse. Las pantallas de las tiendas podrían reflejar de forma instantánea los precios actuales, e incluso el envoltorio plástico de un producto podría ser una atractiva (o molesta) pantalla para el consumidor.

---

<sup>24</sup> Electrodo: Es un conductor utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.



**Figura 1-31.** Posibles aplicaciones de los polímeros. [30]

Estas cosas no están a la vuelta de la esquina, pero sí hay algunas aplicaciones comerciales como teléfonos móviles con paneles LEP (figura 1-32), y pantallas LEP en dispositivos como reproductores de música que estarán pronto en el mercado.



**Figura 1-32.** Pantalla de Polímero. [30]

En la actualidad se está trabajando en técnicas de impresión para generar pantallas de alta resolución y de color real en computadoras portátiles, televisores y monitores del futuro.

### **1.2.5.3 Plásticos moleculares**

Aunque el futuro de la electrónica de polímeros parece brillante, hay una nube en el horizonte. Es el tamaño. Aunque se han logrado avances en la fabricación de procesadores de plástico, este cambio no ha abarcado al principal problema al que se enfrenta actualmente el silicio: la rápida aproximación al límite de miniaturización de los circuitos, es decir, cuán pequeños se pueden hacer sin que empiecen a surgir efectos cuánticos y problemas de este tipo.

Una de las posibles soluciones, fue sugerida en 1974, la cual consiste en la utilización de moléculas individuales como conectores, transistores y otros elementos de un circuito integrado. El movimiento de los electrones alrededor de una sola molécula podría evitar algunos de los problemas que emergen al tratar de formar regiones definidas dentro de un área de cristal microscópica. Y reduciría notablemente el tamaño de los elementos del circuito.

Si bien la tecnología de la informática molecular tarde mucho más, pronto será posible fabricar procesadores plásticos conectados por cables de plástico sobre una placa base de plástico. Toda esta CPU polimérica estará unida a una pantalla de plástico y será alimentada por una batería plástica, y estará empaquetada en una caja de plástico. Claro que todo esto es una simple posibilidad, pero es tentadora. Imagine un computador tan delgado como una hoja de papel, ligero, a prueba de agua y que se pueda enrollar cuando termine de trabajar con él. Quizás entonces echemos de menos los anticuados paneles de metal que recubren nuestras carcasas actuales.

### **1.2.5.4 El lazo de unión**

El estado de los polímeros se mide por el grado de unión y de movilidad de sus filamentos moleculares. Algunos polímeros son líquidos porque sus filamentos pueden deslizarse con facilidad unos a otros, otros son rígidos porque sus nudosas cadenas están fuertemente unidas entre sí y son resistentes al

movimiento. Existen polímeros en estados intermedios, entre estos tenemos una amplia gama de materiales: desde los neumáticos hasta las bolsas de basura y los sprays.

Los polímeros están constituidos por una larga cadena molecular hecha de unidades idénticas y repetidas conocidas como monómero (o co-polímeros, cuando se componen de dos distintos monómeros unidos). Algunos monómeros son simples, otros son moléculas grandes y complejas. Y no suelen comportarse como el polímero que crean. Por ejemplo, si se descompone el nylon en sus monómeros, se obtendrá una molécula poco atractiva relacionada con dos sustancias denominadas putresceno y cadavereno, las cuales originan el olor a carne descompuesta.

Los polímeros eléctricamente activos, por lo general tienen, estructuras bastante simples. Un factor que tiene en común es que pertenecen a un grupo conocido como polímeros conjugados, donde la columna de polímeros contiene enlaces<sup>25</sup> dobles entre los átomos de carbono adyacentes. Cuando estos enlaces dobles se rompen y rehacen, los electrones se mueven a lo largo de la cadena y crean un flujo de corriente.

Los polímeros y los plásticos enteramente no son creación del hombre, ya que existen muchos plásticos naturales y suelen valer mucho. Durante siglos se han utilizado sustancias como la cera francesa, la laca china y el ámbar. Aunque son plásticos, su origen es totalmente natural: la cera francesa se obtiene de secreciones de insectos, la laca china del árbol de laca, y el ámbar es resina de pino solidificada.

---

<sup>25</sup> Enlace químico: Unión entre dos o más átomos para formar una entidad de orden superior.

### 1.2.5.5 Misterio condensado

Los nuevos materiales semiconductores basados en polímeros demandarán nuevas técnicas para la creación de los transistores, resistencias e interconexiones necesarias para fabricar circuitos informáticos. Algunas de estas técnicas proceden de la tecnología actual, y otras exigirán ideas totalmente nuevas. Una de las más extrañas es que sólo funcionan a las temperaturas más bajas que se puedan imaginar.

El grado de violencia a la que los átomos de una sustancia vibran se mide a través de la temperatura. Si se mantiene lo bastante alta, los átomos se mezclan con regularidad. Si baja al cero absoluto<sup>26</sup>, se paralizan. En los pocos grados finales sobre el cero absoluto, la materia entra en un estado de superconductividad, donde una corriente podría fluir una y otra vez, y los líquidos se moverían cuesta arriba contra la ley de la gravedad. En temperaturas aún más bajas, unas millonésimas de grado, las cosas son fantásticas.

De acuerdo con la física cuántica, cada átomo tiene una ecuación de onda propia (Ecuación de Schrödinger), que define la región del espacio donde puede encontrarse, la deducción de esta ecuación se detalla a continuación:

El momento de una partícula es igual a:

$$p = m \cdot v; \quad \text{de donde: } \begin{array}{l} m : \text{masa de la partícula} \\ v : \text{velocidad de la partícula} \end{array}$$

Para una partícula libre la energía de la misma se representa como:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + V(x) \tag{1}$$

---

<sup>26</sup> Cero Absoluto: Es la temperatura teórica más baja posible, corresponde a  $-273,15^{\circ}\text{C}$  o  $-459,67^{\circ}\text{F}$  aproximadamente.

Despejando  $m \cdot v$  de (1):

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = E - V(x)$$

$$m \cdot v^2 = 2 \cdot (E - V(x)) \cdot \frac{m}{m}$$

$$m^2 \cdot v^2 = 2 \cdot m \cdot (E - V(x))$$

$$m \cdot v = \{2 \cdot m \cdot (E - V(x))\}^{1/2} \quad (2)$$

**De Broglie:** toda la materia tiene una onda asociada a ella.

La longitud de onda,  $\lambda$ , de la onda asociada a la materia es:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}; \quad \text{donde: } h : \text{constante de Planck (6,626 } J \cdot s) \quad (3)$$

$m \cdot v$  : cantidad de movimiento

Reemplazando (2) en (3) tenemos:

$$\lambda = \frac{h}{\{2 \cdot m \cdot (E - V(x))\}^{1/2}} \quad (4)$$

De la ecuación de ondas clásica sabemos que:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{4 \cdot \pi^2}{\lambda^2} \Psi(x) = 0 \quad (5)$$

Reemplazando (4) en (5):

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{4 \cdot \pi^2}{\frac{h^2}{2 \cdot m \cdot (E - V(x))}} \Psi(x) = 0$$

Agrupando:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2 \cdot m \cdot (E - V(x))}{\left(\frac{h}{2 \cdot \pi}\right)^2} \psi(x) = 0$$

$$\frac{2 \cdot m \cdot (E - V(x))}{\left(\frac{h}{2 \cdot \pi}\right)^2} \psi(x) = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$$

$$(E - V(x)) \cdot \psi(x) = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \cdot \left(\frac{h}{2 \cdot m}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot m}$$

$$E\psi(x) = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \cdot \left(\frac{h}{2 \cdot m}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot m} + V(x) \cdot \psi(x) \quad (6)$$

La función de onda para una partícula libre es:

$$\psi(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)} \quad (7)$$

El momento  $p$  de una partícula, y el número  $k$  de ondas está relacionado de la siguiente manera:

$$p = \eta \cdot k; \quad \text{donde: } \eta = \left(\frac{h}{2 \cdot \pi}\right) \quad (8)$$

La frecuencia angular  $\omega$ , está relacionada con la frecuencia lineal  $\nu$ , por la siguiente expresión:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu \quad (9)$$



La energía  $E$ , de una partícula está relacionada con la frecuencia lineal  $\nu$ , por la siguiente expresión:

$$E = h \cdot \nu \quad (10)$$

Despejando  $\nu$  de (10):

$$\nu = \frac{E}{h} \quad (11)$$

Reemplazando (11) en (9):

$$w = 2 \cdot \pi \cdot \frac{E}{h} \quad (12)$$

Reemplazando (8) en (12) tenemos:

$$w = \frac{E}{\eta} \quad (13)$$

Reemplazando (13) y (8) en (7):

$$\psi(x, t) = A e^{\frac{i}{\eta}(px - Et)} \quad (14)$$

Si derivamos dos veces (14) con respecto a  $x$ , se obtiene:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi(x, t) = -\frac{1}{\eta^2} p^2 \psi(x, t)$$

De (1), se deduce que:

$$E = \frac{p^2}{2 \cdot m}$$

Para obtener la energía  $E$ , debemos derivar la ecuación de onda con respecto a  $t$ , de este proceso se obtiene que:

$$E \cdot \psi(x, t) = -\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) \quad (15)$$

Reemplazando (15) en (6), se determina la ecuación de Schrödinger:

$$-\frac{\hbar^2}{2 \cdot m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi(x, t) = -\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t)$$

A medida que la temperatura cae, esta región se hace gradualmente mayor hasta que las regiones adyacentes se solapan y no haya nada que diferencie un átomo de otro. Como los átomos individuales no conservan ningún tipo de separación individual, toda la masa se mueve y vibra como una unidad.

#### 1.2.5.6 Polímeros [30]

La materia está formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros.

La producción de los polímeros se debe a la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. Algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

En la naturaleza existen polímeros de gran significación comercial como es el caso del algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel.

La seda es otro polímero natural muy apreciado y es una poliamida semejante al nylon. La lana, proteína del pelo de las ovejas, es otro ejemplo. El hule de los árboles de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes.

Sin embargo, en nuestra vida diaria utilizamos materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas, éstos en su mayor parte son polímeros. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas.

Los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermolecular dependen de la composición química del polímero.

#### **1.2.5.7 Polímeros potentes**

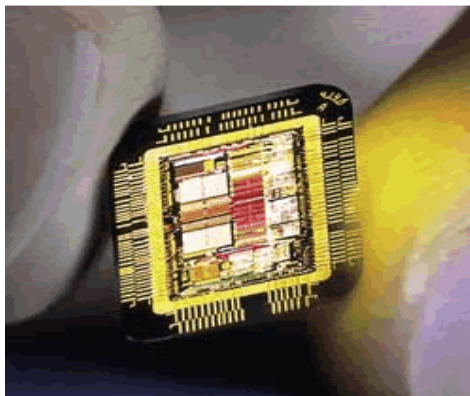
Aunque la pantalla flexible es la aplicación estrella de esta tecnología, nunca podría salir del laboratorio si tiene que ir unida a una batería actual. Es verdad que las baterías han mejorado notablemente en los últimos años. Hace no mucho los teléfonos móviles debían recargarse cada noche. Hoy es suficiente hacerlo una vez a la semana.

Pero no tiene porqué ser así. Hay una tecnología de baterías que almacena más energía que cualquier otra, es flexible, ligera y, como las pantallas LEP, puede fabricarse como láminas del grosor del papel y tomar cualquier forma. Se denomina batería de polímero litio.

Con procesadores de plástico, pantallas de plástico y baterías de plástico parece que no necesitamos más razones para desencantarnos por los polímeros.

Pruebas recientes han demostrado que un solo chip del nuevo plástico (figura 1-33), con la medida de un micrón puede proporcionar más de 300 GHz de ancho

de banda, lo suficiente para gestionar casi cien millones de conversaciones telefónicas simultáneas. O, para decirlo de modo digital, podría transmitir 100 GB por segundo, suficiente para llenar de datos 150 cables de fibra óptica de tercera generación.



**Figura 1-33.** Procesador con tecnología LEP. [30]

#### 1.2.5.8 Polímeros Emisores de Luz [31]



**Figura 1-34.** Diodo emisor de luz basado en un polímero orgánico. [32]

De todas las tecnologías de pantalla emergentes de los laboratorios, ninguna parece tener más importancia que las pantallas LEP (Light Emitting Polymer). Los polímeros conjugados se han encontrado útiles como conductores en electrodos de baterías, coberturas transparentes conductoras, electrolitos de capacitores y conectores para placas impresas en ambos lados. Luego se descubrió que ciertos polímeros conjugados podían emitir luz además de transportar corriente eléctrica,

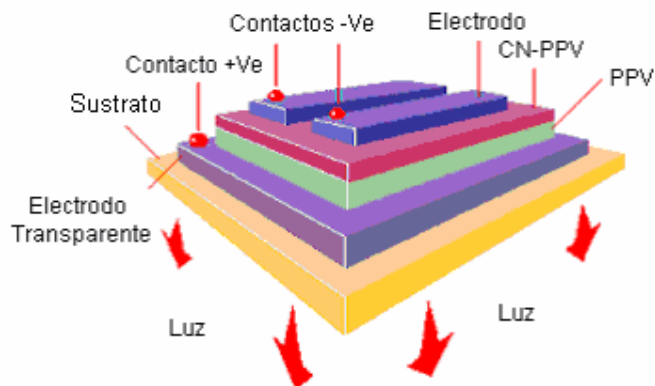
en seguida apareció la idea de crear una tecnología de pantalla como la mostrada en la figura 1-34 utilizando estas propiedades.

LEP está relacionado con los LED (Light Emitting Diode), pero mientras que el productor de luz de un LED es un material semiconductor tradicional, LEP usa polímeros especiales para lograr el mismo efecto. En términos simples, los polímeros conjugados son materiales plásticos con características físicas que confieren propiedades conductivas. Al pasar la corriente a través de una celda fabricada con ellos, la estructura molecular del polímero es excitada, emitiendo luz. La eficiencia de la salida de este proceso se mejoró positivamente en los últimos años, hasta el punto en donde se ha conseguido la emisión de luz a través del espectro del azul hasta casi el infrarrojo.

En los LEPs se utilizan dos capas de polímeros como se muestra en la figura 1-35, una capa de transporte de agujeros (hole transporting) de fenileno de vinilo (PPV) y una capa de CN-PPV un derivado capaz de alcanzar el mismo efecto.

Cuando los electrones y los agujeros fluyen en direcciones opuestas entre dos electrodos se encuentran, los electrones "caen en los agujeros" y emiten su energía sobrante como fotones de luz.

Cuanto mayor sea la diferencia de energía entre el agujero y el electrón; la luz emitida se encuentra más próxima al rojo que al espectro de los azules. A finales de los años 90, por fin se desarrolló un material de polímero azul que hacia posible producir un visualizador basado en polímeros a todo color.



**Figura 1-35.** Estructura Polímero emisor de luz. [33]

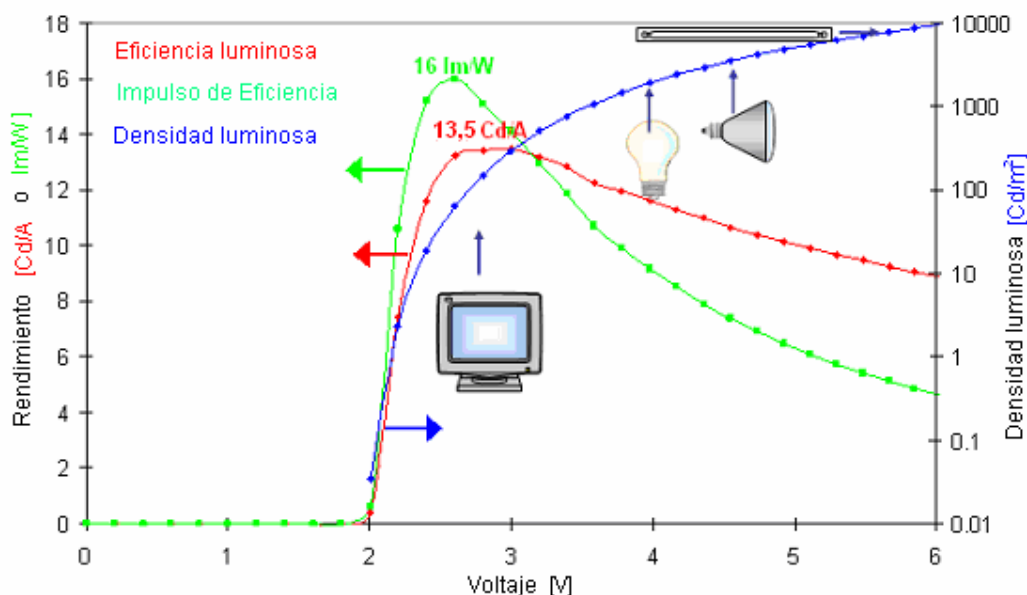
Los polímeros son extremadamente simples de producir, y sus circuitos no necesitan ser más complejos que los que se utilizan en los LCDs actuales. De hecho, la tecnología tiene muchas ventajas potenciales sobre el LCD: se requiere una hoja de plástico en vez de dos hojas de vidrio, los LEP no necesitan luz trasera, por lo que consumen menos energía, y debido a que la superficie del LEP es la que produce luz, los ángulos de visión posibles son mayores. Además, no sólo puede aplicarse a superficies muy grandes, sino que además utilizan sustratos flexibles, y por lo tanto las pantallas pueden ser curvas e inclusive flexibles.

Con todas estas ventajas, se anuncia que las pantallas LEP reemplazará a las pantallas LCD tradicionales en los próximos años. Sin embargo, en términos de productos reales, actualmente se está iniciando su fabricación y prueba. Hasta ahora sólo existen prototipos monocromáticos, y pantallas del tamaño de un bloc de notas.

Esencialmente la creación de los display es similar pero más simple que la de los LCD. Sobre la superficie de la capa de sustrato se aplica una capa de electrodos transparentes, encima de la cual se sitúa una capa de PPV y a continuación una segunda capa de electrodos. Cuando la corriente pasa entre las dos capas de electrodos el polímero emite fotones, los cuales pasan a través de la capa de electrodos transparentes y del sustrato hacia el visualizador. El display está

estructurado en celdas similar a los píxeles de los LCD y cada uno puede direccionarse individualmente utilizando una matriz activa de electrodos.

Es posible generar cualquier color mediante esta tecnología, se pueden obtener altos valores de rendimiento así como de luminosidad mediante la aplicación de voltajes bajos (figura 1-36).



**Figura 1-36.** Comparación entre el rendimiento, densidad luminosa y voltaje aplicado. [34]

#### 1.2.5.9 Diodo polímero emisor de luz (PLEDs) [35]

Diodo polímero emisor de luz (PLEDs) es una tecnología de iluminación trasera (backlighting) para monitores. Los polímeros son sustancias formadas por una reacción química en la que dos o más moléculas se combinan para formar otras moléculas más grandes. Los PLEDs son pantallas de una película delgada que se construyen a manera de un sandwich de polímeros entre dos capas de electrodos a una corta distancia. El polímero emite luz cuando se expone a la electricidad.

Los PLEDs permiten mostrar colores de todas las gamas y son relativamente económicos comparados con otras técnicas, como lo son los LCD u OLED y además requieren menos energía para funcionar.

#### **1.2.5.10 Progresos de PLED**

Desde el descubrimiento de los PLEDs en 1989, el esfuerzo significativo se ha dirigido en el desarrollo de los materiales rojos, verdes y azules que exhiben estabilidad y eficacia altas bajo condiciones de funcionamiento normales, y permitir la integración en usos de pantallas planas (FPD).

Para una amplia gama de productos electrónicos, el curso de vida útil (tiempo estimado para que la luminiscencia del dispositivo llegue a la mitad de su valor inicial) debe exceder de 10.000 horas. Los displays a todo color utilizan típicamente grupos de luz roja, verde y azul adyacentes de tres píxeles. Aunque las condiciones actuales de los polímeros verdes y rojos no cumplen las especificaciones de estabilidad requeridas para una gama de productos electrónicos, mediante PLED alcanzamos una mejor estabilidad en polímeros azules.

Los PLEDs se pueden utilizar para proporcionar luz de casi cualquier tonalidad visible y más allá.

Un curso de vida sobre las 100.000 horas en dispositivos de laboratorio con un brillo de 100 cd/m a temperatura ambiente, ya se han logrado en la actualidad.



### **1.2.5.11 Ventajas y Desventajas**

#### **Ventajas**

- Los polímeros son extremadamente simples de producir, ligeros, no se corroen con facilidad, son flexibles y pueden moldearse a temperaturas bajas.
- No necesitan circuitos muy complejos como los utilizados por las tecnologías actuales.
- Se requiere de una sola hoja de plástico.
- Bajo consumo de energía.
- Iluminación autónoma.
- No necesitan una retroiluminación separada.
- Podrían ser visibles desde cualquier ángulo cercano a 180°.
- Mejor claridad de imagen, menor espesor y peso total.
- PLED es una tecnología emissive: es decir que emite la luz en función de su operación eléctrica.
- Un display PLED consiste de material polímero fabricado en un sustrato de cristal o de plástico, y no requiere elementos adicionales tales como contraluces, filtros y polarizadores.
- La tecnología de PLED es muy económica con relación al consumo de energía y se presta a la creación de displays ultrafinos de iluminación que funcionarán con voltajes bajos.
- Tiempos de reacción rápidos permitiendo cuadros de video a todo color incluso a baja temperatura.
- Los primeros transistores moleculares requieren temperaturas muy bajas para funcionar (alrededor de  $-213^{\circ}\text{C}$ ).

#### **Desventajas**

- El problema pendiente es cómo reducir el sobrecalentamiento de dispositivos moleculares frágiles.

- En términos de productos reales, actualmente se está iniciando su fabricación y prueba.

## **1.3 PANTALLAS NO EMISIVAS**

### **1.3.1 LIQUID CRYSTAL DISPLAY (LCD) [36]**

#### **1.3.1.1 Introducción**

Si bien ya se disponía de paneles LCD a mediados de los años 70 en dispositivos como calculadoras o relojes digitales e incluso computadores 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 la actualidad.

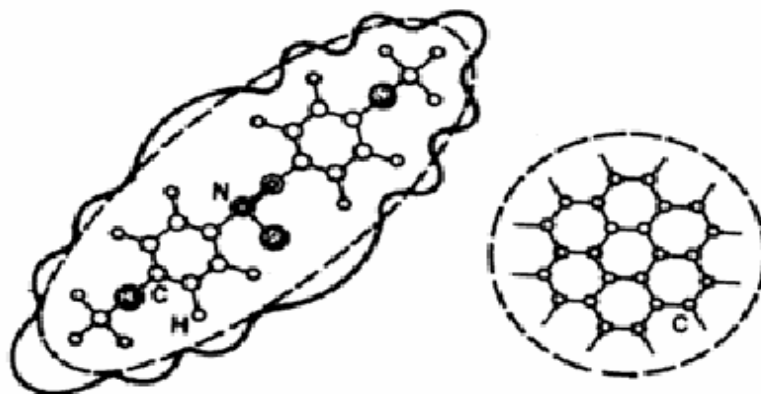
Los cristales líquidos combinan propiedades tanto de cristales como de líquidos; en los cristales la luz que los atraviesa se polariza en dirección del alineamiento de las moléculas y en los líquidos donde la luz fluye es posible orientar la dirección de las moléculas mediante un campo eléctrico.

#### **1.3.1.2 Fundamentos físicos**

##### **Cristales líquidos**

Los cristales líquidos representan un estado intermedio de la materia, o mesofase, entre el estado cristalino (o sólido) y el isotrópico (o líquido).

En un LC (Liquid Crystal o cristal líquido) sus moléculas poseen una estructura molecular complicada y por lo general tienen formas de barra aplanada o de disco (figura 1-37). 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”):



**Figura 1-37.** Distribución atómica en moléculas de cristal líquido. [36]

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

Otra característica de especial importancia en los cristales líquidos es su interacción con la luz, la electricidad y la temperatura. En un sólido las moléculas tienen una posición determinada y no se mueven respecto de las adyacentes; lo contrario a lo anterior sucede con los líquidos.

Las moléculas de un cristal líquido tienen una forma alargada y cilíndrica y la posición entre ellas puede depender de diferentes factores, tales como la temperatura o los campos eléctricos a los que estén sometidos. La aplicación de un campo eléctrico a estas sustancias provoca que la posición de sus moléculas cambie de una posición indeterminada a otra perfectamente uniforme. Esta característica será fundamental en su interacción con la luz.

Si intentásemos hacer pasar un haz de luz polarizada a través del cristal líquido, éste será opaco o transparente en función de cómo estén organizadas las moléculas del cristal, lo que a su vez dependerá de si está o no sometido a un campo eléctrico<sup>27</sup>.

---

<sup>27</sup> Campo Eléctrico: Es una propiedad del espacio que rodea a una carga eléctrica y conforma un espacio vectorial de tal manera que todo punto perteneciente a dicha región, se caracteriza por un vector llamado intensidad de campo eléctrico.

Los LCs están organizados en capas sucesivas; la posición de las moléculas de cada capa está ligeramente desfasada unas de otras, de tal manera que entre la primera y la última capa hay un desfase total de  $90^\circ$  cuando no hay influencia de ningún campo eléctrico.

La luz polarizada se obtiene de hacer pasar la luz incidente en el display por unos filtros ópticos o polarizadores situados en ambas caras del dispositivo: uno colocado verticalmente y otro horizontal, esto es desfasados  $90^\circ$  uno del otro.

El filtro polarizador<sup>28</sup> hace que la fase de las ondas de luz tenga una posición determinada (la del primer filtro) que prácticamente coincide con la fase de la primera posición de las moléculas de la primera capa del cristal por lo que la luz es conducida por ésta y entregada a la siguiente capa y así sucesivamente.

Cuando la luz pasa a través de la última capa su fase a cambiado  $90^\circ$  respecto de la fase con la que incidió y está perfectamente en fase con el filtro posterior que en estas circunstancias es transparente. La luz lo atraviesa y se refleja en un espejo.

Aplicando un campo eléctrico por medio de un electrodo a una determinada zona del cristal (la necesaria para crear un segmento de un número, por ejemplo) las moléculas de cristal de esta zona (y en todas las capas) toman una posición igual y en fase con el primer filtro pero no con el segundo, no dejando pasar éste la luz y por lo tanto nada que reflejar por el espejo, sin embargo las zonas del cristal sin influencia del campo eléctrico siguen siendo transparentes, el contraste se obtiene así de la relación luz/oscuridad entre zonas transparentes y opacas.

Se dice que un LC es un material anisotrópico. Las moléculas de un LC están orientadas a lo largo de un mismo eje o director. La fase o tipo de LC está determinado por el nivel de orden y posicionamiento de sus moléculas. Cuanto mayor sea el alineamiento con el director, más anisotrópico será el material, y

---

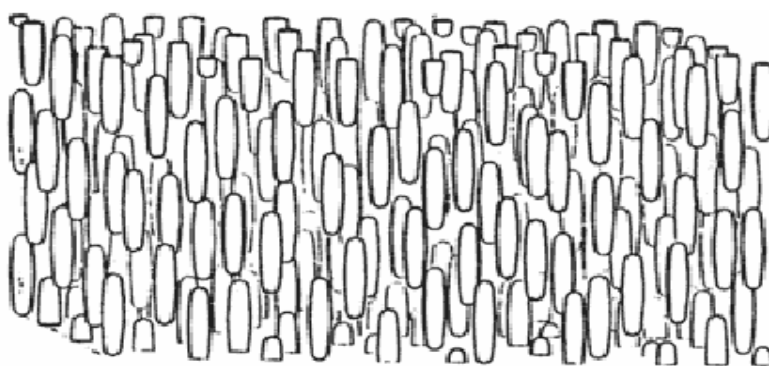
<sup>28</sup> Filtro Óptico o Polarizador: Es un filtro que sólo permite el paso de la luz polarizada.

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

Un LC en fase nemática se caracteriza por presentar un orden en la orientación de sus moléculas y un desorden en la posición de los centros de masas<sup>29</sup> de las mismas (figura 1-38). De esta manera, el movimiento de las mismas está limitado a la rotación alrededor del eje común, movimiento lateral o deslizamiento paralelo al citado eje



**Figura 1-38.** Disposición de las moléculas en una fase nemática. [36]

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

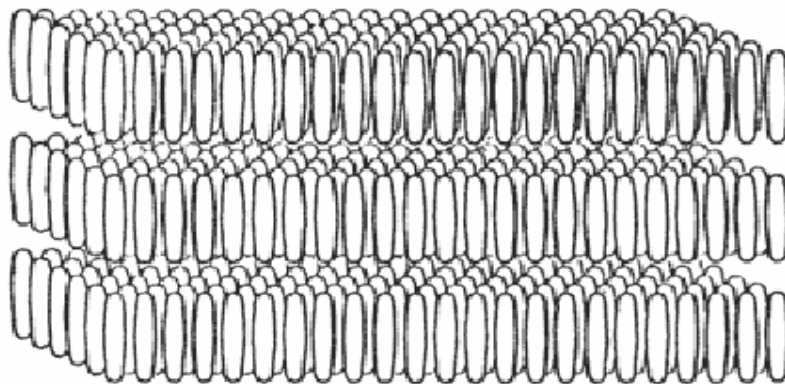
Influyen particularmente en este orden la temperatura y densidad, ya que cuando se tiene altas temperaturas se pierde la orientación con el director y a una elevada densidad, al estar las moléculas muy juntas, se producen efectos de unión que

<sup>29</sup> Centro de masa: Es el punto donde se supone concentrada toda la masa del sistema.

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.

### Esmécticos

La característica de la fase esméctica es presentar una ordenación en sus moléculas. Se ordenan en capas planas y paralelas entre sí, a la manera de “pisos”.



**Figura 1-39.** Disposición de las moléculas en una fase esméctica. [36]

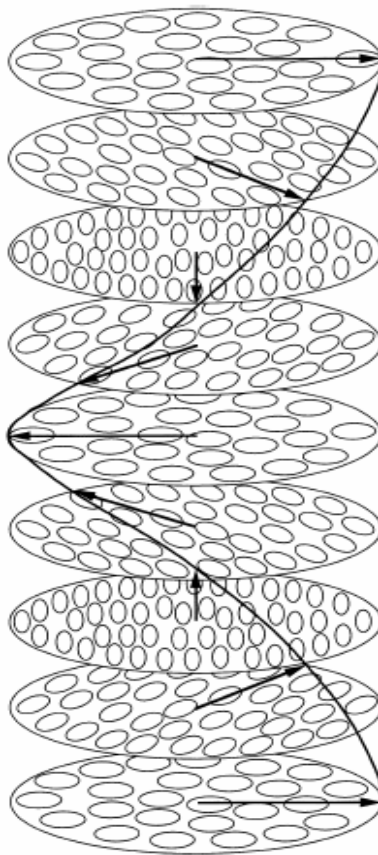
Una molécula puede girar en torno al eje común pero no puede salir de la capa en la que está. En cada plano se puede dar un grado de alineamiento entre los centros de masas de manera que en caso más ordenado aparece una disposición como la mostrada en la figura 1-39 y en el caso más caótico se diría que es un LC nemático por capas. El material tiene un aspecto líquido ya que las capas se 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 de tipo colestéricos presentan ordenación por capas al igual que en el 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 (figura 1-40).

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



**Figura 1-40.** Estructura por capas de una fase colestérica. [36]

## Polarización y efecto Freedericksz

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

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). Una gran ventaja que presentan los LC es la posibilidad, debido a la debilidad de la 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 confieren una serie de propiedades de aplicación tecnológica. Una aplicación en los paneles LCD son los polarizadores

La luz, como onda electromagnética, está compuesta de un campo eléctrico y un campo magnético<sup>30</sup> que oscilan transversalmente a la dirección de propagación de la misma.

La ecuación de onda para las ondas electromagnéticas

Las ondas en una cuerda obedecen a una ecuación en derivadas parciales llamada ecuación de onda

$$\frac{\partial^2 y(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, \tau)}{\partial \tau^2} \quad (1)$$

---

<sup>30</sup> Campo Magnético: Es una región del espacio en la que una carga eléctrica puntual que, desplazándose a una velocidad, sufre una fuerza perpendicular y proporcional a la velocidad y a una propiedad del campo, llamada inducción magnética.



En donde  $y(x,t)$  es la función de onda, que en el caso de las ondas en una cuerda corresponden al desplazamiento de la cuerda. La velocidad de la onda es  $v = \sqrt{F/\mu}$ , siendo  $F$  la tensión y  $\mu$  la densidad lineal de masa. La solución general de esta ecuación es

$$y(x,\tau) = f_1 \text{sen}(x - v\tau) + f_2 \text{sen}(x + v\tau) \quad (2)$$

Las funciones correspondientes a esta solución general pueden expresarse como una superposición de funciones de onda armónicas de la forma

$$y(x,\tau) = y_0 \text{sen}(kx - \omega\tau) \quad (3) \quad \text{e} \quad y(x,\tau) = y_0 \text{sen}(kx + \omega\tau) \quad (4)$$

en donde  $k = 2\pi/\lambda$  es el número de onda y  $\omega = 2\pi \cdot f$  es la frecuencia angular.

Las ecuaciones de Maxwell implican que tanto  $E$  como  $B$  obedecen a ecuaciones de onda semejantes a la ecuación (1). Consideremos sólo el vacío, en el cual no hay cargas o corrientes y supongamos que  $E$  y  $B$  son funciones del tiempo y de una coordenada espacial que tomaremos como coordenada  $x$ . Una onda de este tipo se llama onda plana, porque  $E$  y  $B$  son uniformes en todos los puntos de cualquier plano perpendicular al eje  $x$ . Para una onda electromagnética plana que se propaga paralelamente al eje  $x$ , las componentes  $x$  de los campos son nulas, de modo que los vectores  $E$  y  $B$  son perpendiculares al eje  $x$  y obedecen respectivamente a las siguientes ecuaciones de onda:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial \tau^2} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 B}{\partial \tau^2} \quad (6)$$

donde  $c = 1/\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}$  es la velocidad de las ondas.

### Deducción de la ecuación de onda

Relacionemos en primer lugar la derivada respecto al tiempo de uno de los vectores de campo con la derivada respecto al espacio del otro. Hacemos esto aplicando la ley de Faraday, la versión modificada de la ley de Ampere a curvas del espacio adecuadamente elegidas. Primero relacionemos la derivada espacial de  $E_y$  con la derivada respecto al tiempo de  $B_z$  aplicando la ley de Faraday a la línea rectangular de lados  $\Delta x$  y  $\Delta y$  que se encuentra contenida en el plano  $xy$ , como se muestra en la figura 1-41. La circulación de  $E$  alrededor de  $C$  (integral de línea de  $E$  alrededor de la curva  $C$ ) es

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\lambda} = E_y(x_2)\Delta y - E_y(x_1)\Delta y \quad (7)$$

En donde  $E_y(x_1)$  y  $E_y(x_2)$  son los valores de  $E_y$  en los puntos  $x_1$  y  $x_2$ , respectivamente. Las contribuciones del tipo  $E_x \Delta x$  de los lados inferior y superior son cero porque  $E_x=0$ . Como  $\Delta x$  es muy pequeño (comparado con la longitud de onda), podemos sustituir la diferencia de  $E_y$  en los lados derecho e izquierdo de la curva (puntos  $x_1$  y  $x_2$ ) aproximadamente por

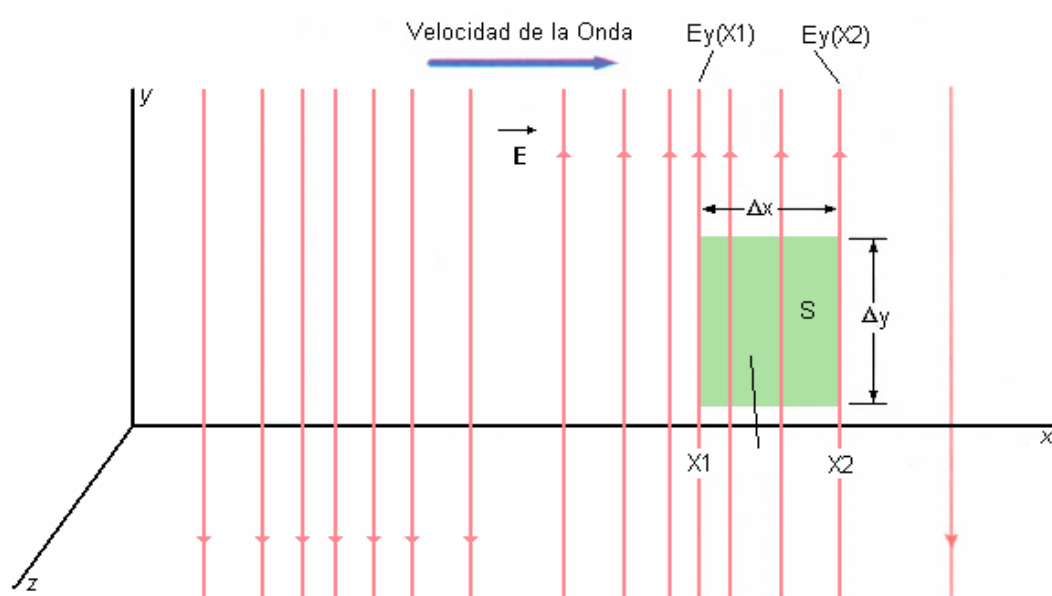
$$E_y(x_2)\Delta y - E_y(x_1)\Delta y = \Delta E \approx \frac{\partial E_y}{\partial x} \Delta x \quad (8)$$

Entonces

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\lambda} = \frac{\partial E_y}{\partial x} \Delta x \cdot \Delta y \quad (9)$$

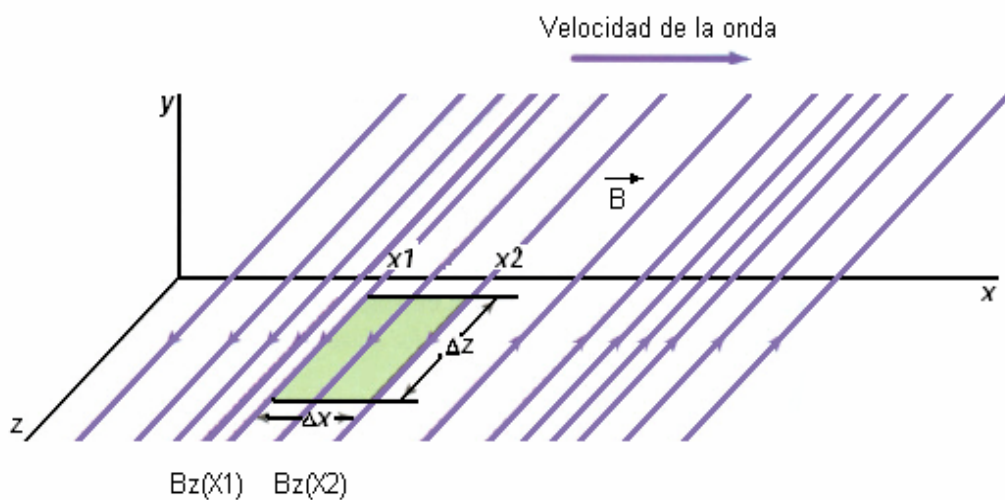
La ley de Faraday es

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\lambda} = - \int_S \frac{\partial B_n}{\partial \tau} \cdot d\mathbf{A} \quad (10)$$



**Figura 1-41.**

Línea rectangular cerrada dibujada en el plano xy para la deducción de la ecuación (13).



**Figura 1-42.**

Línea rectangular cerrada dibujada en el plano xz para la deducción de la ecuación (15).

El flujo  $\partial B_n / \partial \tau$  a través del área limitada por esta curva vale aproximadamente

$$\int_s B_n \cdot dA \approx \frac{\partial B_z}{\partial \tau} \Delta x \Delta y \quad (11)$$

La ley de Faraday nos da entonces

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} \Delta x \Delta y = - \frac{\partial B_z}{\partial \tau} \Delta x \Delta y \quad (12)$$

o sea,

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = - \frac{\partial B_z}{\partial \tau} \quad (13)$$

La ecuación (13), implica que si existe una componente de campo eléctrico  $E_y$  que depende de  $x$ , debe existir una componente de inducción magnética  $B_z$  que depende del tiempo o, inversamente, si existe una componente de inducción magnética  $B_z$  que depende del tiempo, debe existir un campo eléctrico  $E_y$  que depende de  $x$ . Podemos obtener una ecuación semejante relacionando la derivada espacial de  $B_z$  con la derivada temporal  $E_y$  mediante la aplicación de la ley de Ampere al rectángulo de lados  $\Delta x$  y  $\Delta z$  contenido en el plano  $xz$ , como se ve en la figura 1-42.

La ley de Ampere para el caso en el que no existen corrientes de conducción  $I=0$  se reduce a:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot \partial \lambda = \mu_o \varepsilon_o \int_s \frac{\partial E_n}{\partial \tau} dA \quad (14)$$

Dando como resultado:

$$\frac{\partial B_z}{\partial x} = -\mu_o \epsilon_o \frac{\partial E_y}{\partial \tau} \quad (15)$$

Podemos eliminar  $B_z$  o  $E_y$  de las ecuaciones (14) y (15) derivando cualquiera de ellas respecto de  $x$  o  $t$ . Si derivamos ambos miembros de la ecuación (14) respecto a  $x$ , obtenemos

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) = -\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial B_z}{\partial \tau} \right) \quad (16)$$

Intercambiando el orden de las derivadas espaciales y temporales en el miembro de la derecha de la igualdad obtenemos

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = -\frac{\partial}{\partial \tau} \left( \frac{\partial B_z}{\partial x} \right) \quad (17)$$

Ahora sustituimos  $\frac{\partial B_z}{\partial x}$  mediante la ecuación (15)

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = -\frac{\partial}{\partial \tau} \left( -\mu_o \epsilon_o \frac{\partial E_y}{\partial \tau} \right) \quad (18)$$

que nos da la ecuación de ondas

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \mu_o \epsilon_o \frac{\partial^2 E_y}{\partial \tau^2} \quad (19)$$

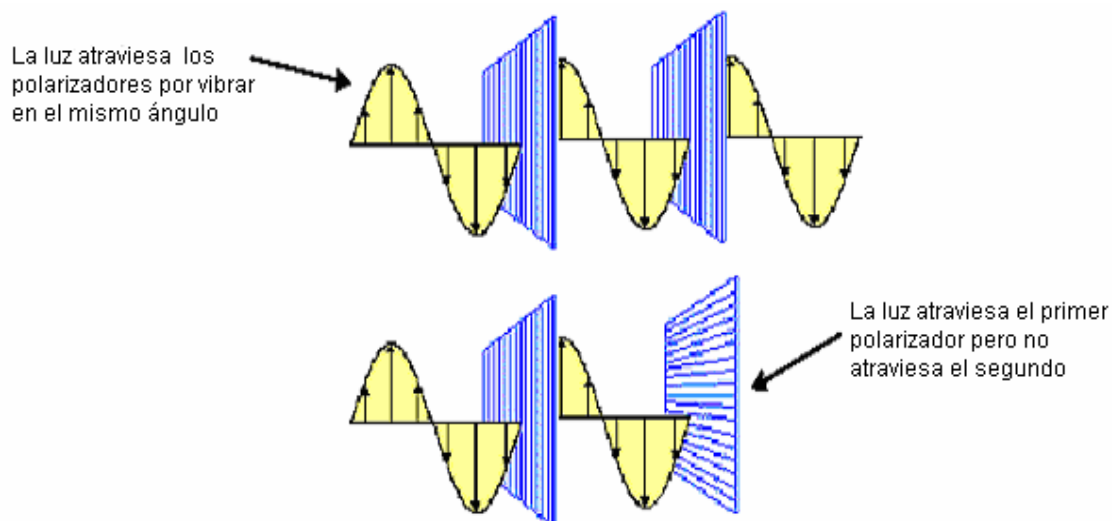
Comparando esta ecuación con la (1), vemos que  $E_y$  obedece a una ecuación de onda para ondas con velocidad  $c = 1/\sqrt{\mu_o \cdot \epsilon_o}$ .

Por el contrario, si hubiésemos escogido eliminar  $E_y$  entre las ecuaciones (13) y la (15), habríamos obtenido una ecuación idéntica a la ecuación (19), con  $B_z$  sustituyendo a  $E_y$ . Así pues, hemos demostrado que tanto el campo eléctrico  $E_y$  como el magnético  $B_z$  obedecen a una ecuación de onda para las ondas que se mueven con velocidad  $1/\sqrt{\mu_o \cdot \epsilon_o}$ , que es la velocidad de la luz.

No es que se trate de dar un análisis detallado de la matemática implícita en la teoría de ondas, pero sí, una pequeña ayuda para comprender de mejor manera la polarización de las ondas de luz, se recuerda que para esta deducción se han tomado condiciones ideales del vacío.

Las diferentes ondas que componen un rayo de luz natural (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 está polarizada.

Pues bien, los polarizadores “filtran” la luz de manera que solo dejan pasar aquellas ondas que se correspondan con un ángulo específico de vibración (figura 1-43). La luz que pasa al otro lado es luz polarizada y sólo contendrá ondas de un determinado ángulo.

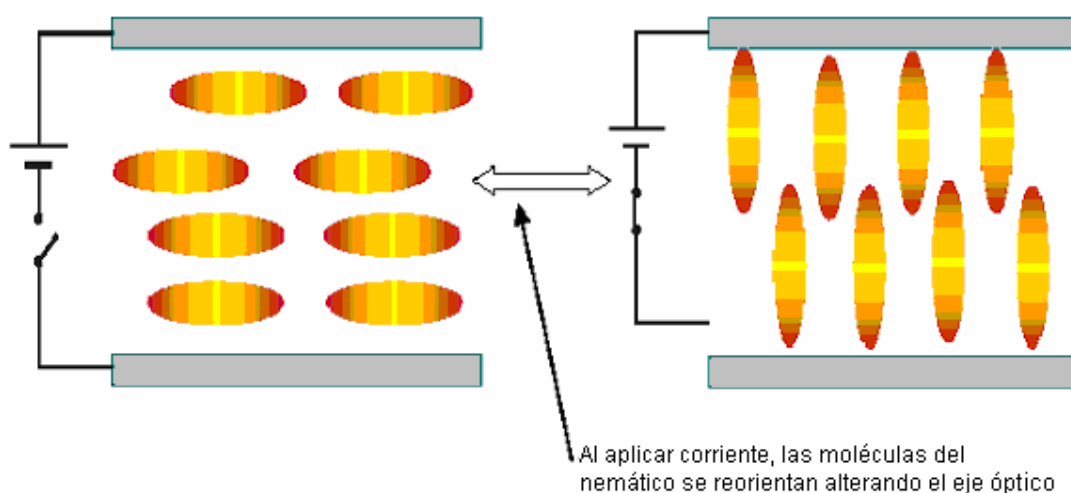


**Figura 1-43.** Ejemplo de polarización de una onda electromagnética. [36]

### Efecto Freedericksz

En la figura 1-44 se indica que, al ser las moléculas de un LC dipolos eléctricos<sup>31</sup>, la aplicación de un campo eléctrico externo provoca cambios en el material. El primer fenómeno observado de esta índole es el efecto Freedericksz (descubierto en 1943 por el científico ruso del 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 está orientado en la dirección del eje principal o no.

Al hablarse de un LC, la reorientación de unas moléculas “influyen” a las demás, aún aplicando un campo eléctrico pequeño, de manera que todas quedan orientadas en la misma dirección, cambiando así el eje óptico:



**Figura 1-44.** Efecto Freedericksz. [36]

Este fenómeno juega un papel clave en la tecnología LCD.

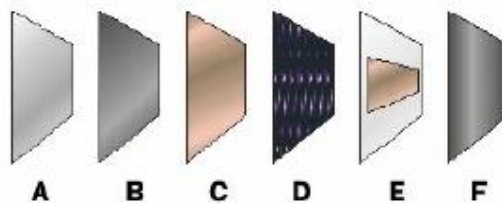
<sup>31</sup> Dipolo eléctrico: Es un sistema de dos cargas de signo opuesto e igual magnitud cercanas entre sí.

### 1.3.1.3 Fundamentos tecnológicos

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

#### Display de Cristal Líquido (LCD)

La figura 1-45 ilustra un ejemplo de la estructura de un display muy básico; al activarse se visualizaría un rectángulo horizontal.

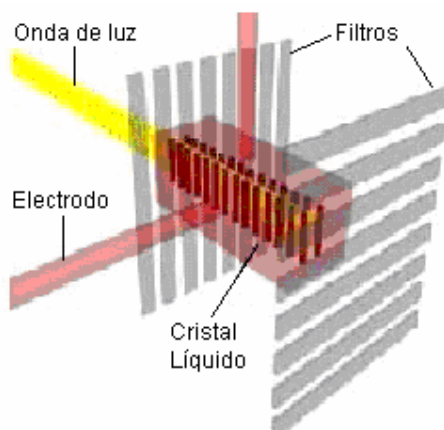


**Figura 1-45.** Estructura básica de un display. [37]

- A:** Espejo
- B:** Capa de vidrio con filtro polarizador vertical
- C:** Electrodo transparente (común)
- D:** Cristal líquido
- E:** Capa de vidrio con electrodo transparente (en forma de rectángulo)
- F:** Filtro polarizador horizontal

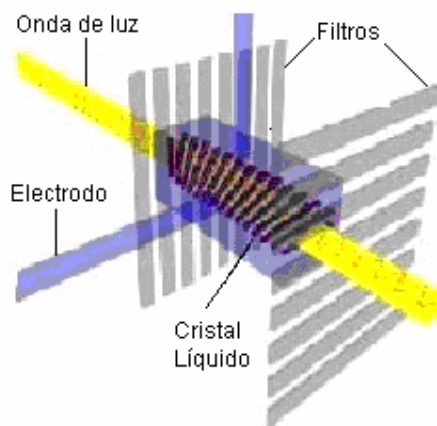
Las figuras 1-46 y 1-47, muestran con más detalle el principio de funcionamiento del LCD.





**Figura 1-46.** Principio de funcionamiento de un LCD: con electrodos energizados. [37]

En la figura 1-46, se puede observar que al chocar luz incidente sobre el primer filtro, éste solamente deja pasar luz ya con una determinada polarización, al estar los electrodos energizados se crea un campo eléctrico, el cual influye en las capas sucesivas del LC y sus moléculas, las mismas que toman una posición igual y en fase con el primer filtro pero no con el segundo, no dejando éste pasar la luz.



**Figura 1-47.** Principio de funcionamiento de un LCD: con electrodos no energizados. [37]

En la figura 1-47, en cambio se observa que al chocar luz incidente sobre el primer filtro, éste solamente deja pasar luz con una determinada polarización, al no utilizar electrodos energizados, las capas sucesivas del LC están ligeramente desfasadas unas de otras, de tal manera que entre la última capa y la primera

existe un desfase de  $90^\circ$ , por la no presencia de un campo eléctrico. Cuando la luz pasa a través de la última capa del LC su fase a cambiado  $90^\circ$  respecto de la fase con la que incidió y está en fase con el filtro posterior que en este caso es transparente.

El campo eléctrico con el que se excitan los electrodos del display se genera con un voltaje alterno (el voltaje continuo provocaría una electrólisis<sup>32</sup> en su interior que destruiría los electrodos) generado por un oscilador y controlado por circuitos electrónicos. Este control puede ser estático (pocos elementos de imagen a visualizar) o multiplexado (mayor número de elementos de imagen).

Como se ha comentado, uno de los factores que afectan a las propiedades del cristal líquido es la temperatura. Con demasiado frío el cristal líquido es opaco y al contrario si está demasiado caliente, la temperatura ambiente y sus cambios pueden, por lo tanto, afectar de forma apreciable al contraste al igual que lo hace el valor de voltaje de excitación.

En el primer ejemplo de display LCD (Figura 1-45) se observa la presencia de un espejo en la cara interna del display que hace rebotar la luz incidente, esto es lo que permite ver la información, zonas del display dejan pasar la luz al espejo mientras que otras no y así se forma la imagen a visualizar. Lo anterior es cierto mientras exista luz incidente, ya sea natural o artificial, pero no lo es en ambientes sin luz. Por otro lado este tipo de display deja pasar la luz o la interrumpe pero no la genera (como sucede con otros tipos de displays) de tal modo que se necesita una fuente de luz propia para estos casos. La función de iluminar de forma autónoma el display se encomienda a generadores de luz incorporada al mismo display como lámparas de incandescencia, lámparas de cátodo frío (muy habituales), diodos LED y otras. La luz se aplica, en este caso, en la cara interna del display no existiendo ningún espejo.

---

<sup>32</sup> Electrólisis: Consiste en la descomposición mediante una corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos. La palabra electrólisis procede de dos radicales, electro que hace referencia a electricidad y lisis que quiere decir ruptura.

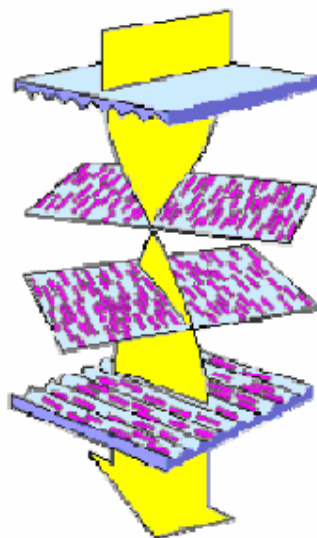
Como su nombre indica, la pieza clave en esta tecnología, son los LC y en particular la fase nemática, que al ser más “desordenada” es la que permite una mayor manipulación del eje óptico.

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). Se puede distinguir las siguientes arquitecturas de LCD: Twisted Nematics, Supertwisted Birifrengent Effect, Super Twisted Nematics y Dual Super Twisted Nematics.

#### **TN (Twisted Nematics)**

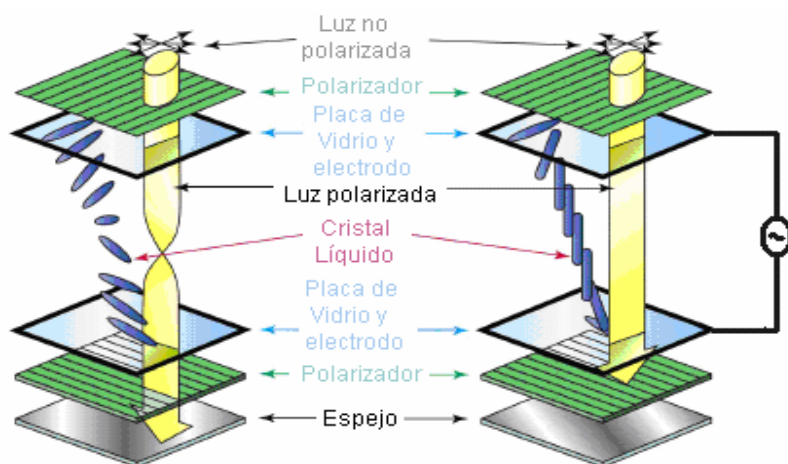
Es el LCD más utilizado ya que resulta el más simple y por tanto adecuado para calculadoras y relojes.

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  $90^\circ$  una de las superficies, quedando los surcos de una transversales a la otra (figura 1-48). 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:

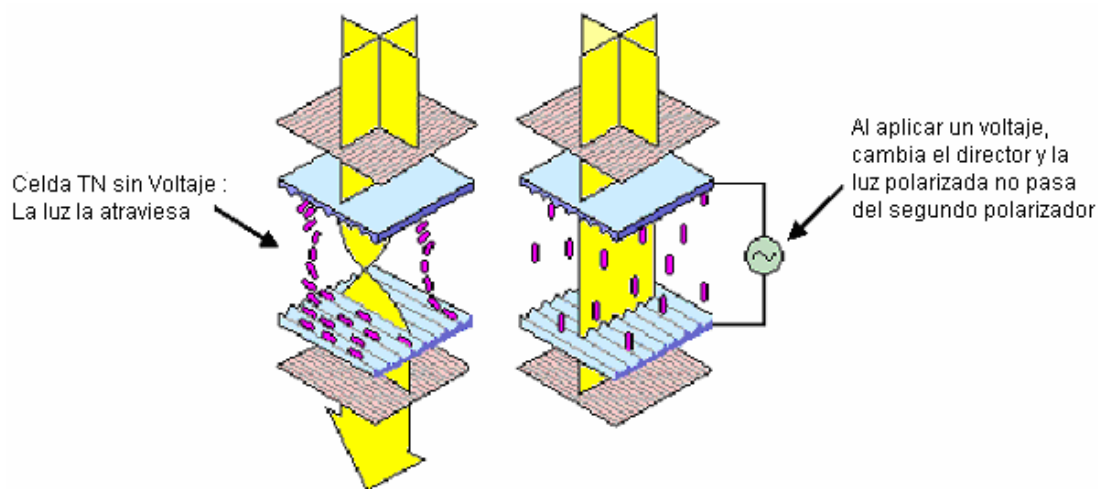


**Figura 1-48.** Representación esquemática de un TN. [36]

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:

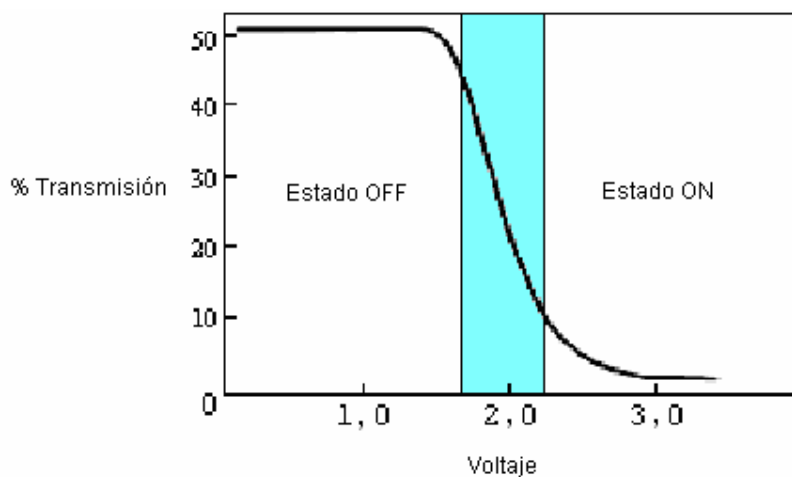


**Figura 1-49.** Componentes de un LCD TN. [38]



**Figura 1-50.** Funcionamiento de un TN. [36]

En la figura 1-50 se muestra el funcionamiento de los LCD TN, y en función de la intensidad del campo, los LCD TN cambian de claro a oscuro e incluso a estados intermedios, lo que da origen a escalas de grises, en función de la variación de orientación. La variación de la orientación de las moléculas está determinada por el voltaje aplicado, se puede establecer una relación directa entre voltaje y transmisión (lo claro u oscuro que está un LCD). La figura 1-51 describe esta relación:



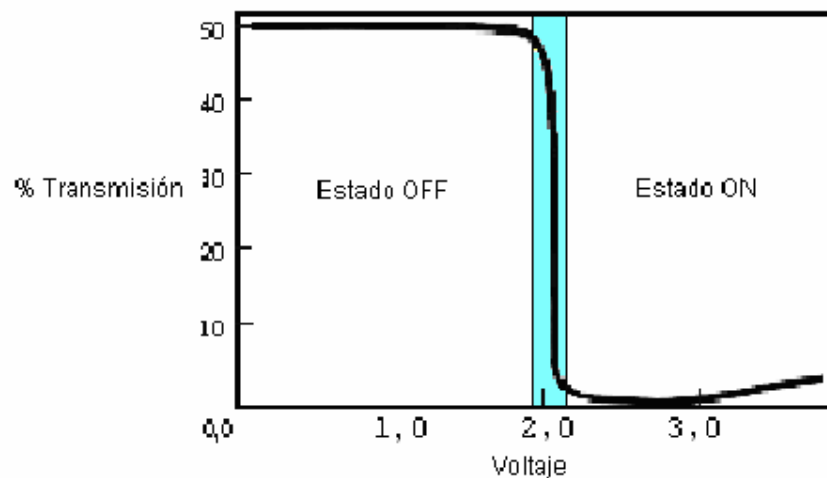
**Figura 1-51.** Relación entre voltaje y transmisión en un TN. [36]

Las dos líneas verticales representan los voltajes del estado OFF (celda transparente) y del estado ON (celda opaca). Fíjese que existe una zona intermedia en la cual la celda no está ni activa ni desactivada. Esto plantea un problema al querer direccionar muchos píxeles mediante multiplexado ya que se requieren valores muy cercanos entre el estado ON y el OFF si no queremos que aparezcan problemas de contraste.

Los LCD TN no resultan prácticos para paneles con muchas filas y columnas.

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

Para solventar el problema de los LCD TN en aplicaciones con muchas filas y columnas, se desarrollaron los LCD SBE (Supertwisted Birefringent Effect). En éstos, el giro (o “retorcimiento”) del director es de  $270^\circ$ . Ya que este giro no resulta estable en un nemático puro (pues giraría  $90^\circ$  en el sentido contrario), al añadir componentes colestéricos al LC, se consigue estabilizar dicho giro. De esta manera se obtiene una relación transmisión-voltaje como la mostrada en la figura 1- 52.



**Figura 1-52.** Relación entre voltaje y transmisión en un SBE. [36]

El giro del director provoca que las tensiones de estados ON y OFF estén mucho más cerca, llegando al comportamiento de un biestable<sup>33</sup>. Este comportamiento permite la creación de paneles de varias filas y columnas (más de 100) con un contraste bastante 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).

Asumiendo 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 obtención de escalas de grises.

Sin embargo, 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 inservibles para la fabricación de paneles a color, ya que para este tipo de paneles son necesarios píxeles con blancos y negros puros.

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

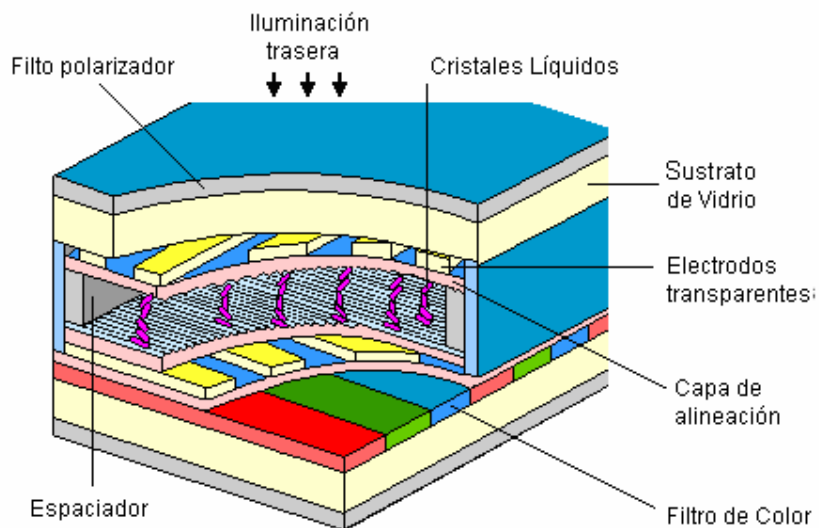
Se desarrollaron los LCD DSTN (Dual Super Twisted Nematics), con el fin de evitar el efecto indeseado del cambio de fase. La solución al problema consiste en añadir una segunda capa de STN con el giro en el sentido contrario.

---

<sup>33</sup> Biestable: es un elemento capaz de permanecer en un estado determinado o en el contrario durante un tiempo indefinido.

Así, 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.

La estructura de un LCD DSTN es mostrada en la figura 1-53



**Figura 1-53.** Estructura de un DSTN. [37]

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

### **Direccionamiento**

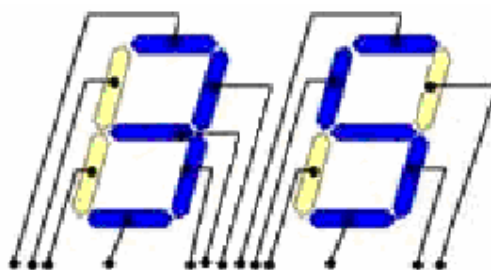
Se ha visto cómo funciona una celda (o píxel) LCD, pero no se sabemos cómo funciona un panel entero, esto es, cómo hacer que se “enciendan” y se “apaguen” los diferentes componentes. Los elementos de un LCD no emiten luz, sólo dejan o no que pase ésta.



## Directo

La técnica de direccionamiento más sencilla y en principio simple es el de direccionamiento directo, cada elemento del panel tiene sus propias conexiones las que regulan su voltaje individualmente (figura 1-54).

Este método es apropiado para LCD de pocos elementos, como pueda ser una calculadora o un reloj digital. No obstante, resulta impracticable para paneles con más elementos, como puedan ser matrices, al complicarse en gran manera el cableado de cada una de las partes:

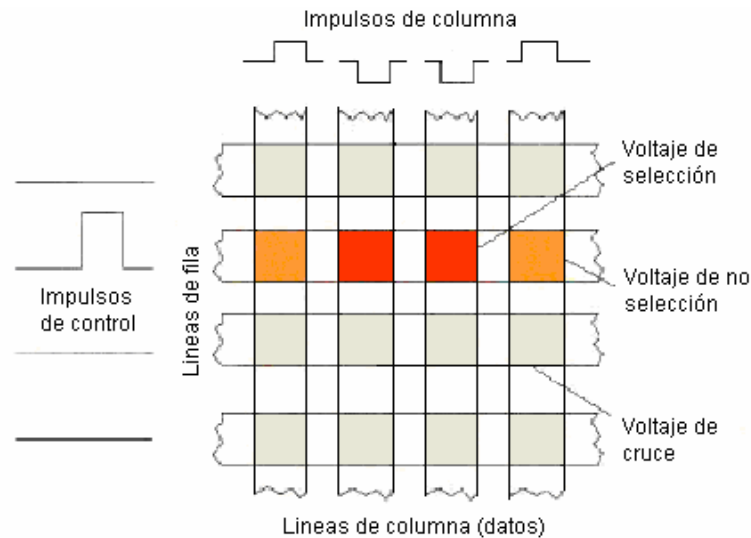


**Figura 1-54.** Direccionamiento directo de LCDs de siete segmentos. [36]

## Matriz pasiva

Como se ha visto, el direccionamiento directo cuando los elementos se multiplican resulta difícil y poco eficiente. Para resolver 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 “interseca” con la otra en un píxel LCD (figura 1-55).



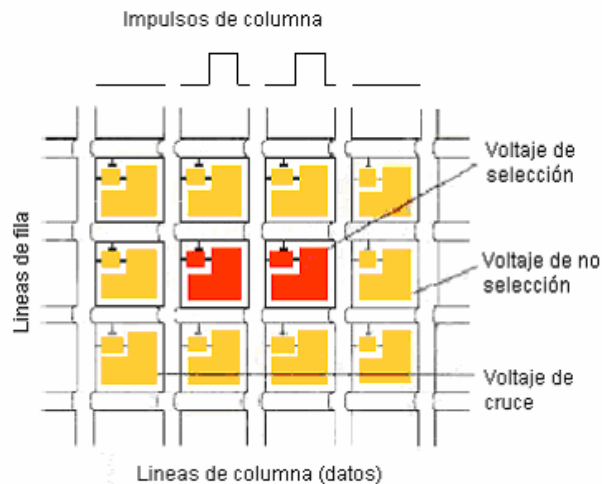
**Figura 1-55.** Esquema del funcionamiento de una matriz pasiva. [36]

Se activan los píxeles 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 el voltaje, el LC actúa como un capacitor en descarga, tardando un tiempo en volverse transparente. Transmitiendo estos impulsos a una relación adecuada (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 radica en el tiempo de descarga de las celdas, que ante cambios muy rápidos (como el movimiento de un puntero), se produzca un efecto de “rastro”.

### **Matriz activa**

Si bien en una matriz pasiva el direccionamiento se produce por el cruce de voltajes 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 es producido mediante una matriz de TFT, donde cada transistor TFT direcciona un píxel (figura 1-56).



**Figura 1-56** Esquema del funcionamiento de una matriz activa. [36]

En estas matrices, los TFTs 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 rastro), pero requieren una retroiluminación mayor ya que el TFT no es muy transparente y absorbe parte de la luz.

#### 1.3.1.4 Aplicaciones

Los LCD evolucionaron con el tiempo para cubrir aplicaciones más ambiciosas como pantallas de TV, monitores de PC y en general visualizadores de mayor resolución. Esto complicó su diseño haciéndolos cada vez más sofisticados. Con el paso del tiempo se han sucedido varias tecnologías de fabricación de LCDs, las principales son:

**De plano común**

Esta tecnología es apropiada para displays sencillos como los que incorporan calculadoras y relojes. Se emplea un único electrodo (común) posterior para generar el campo eléctrico.

**De matriz pasiva**

Dispositivos pensados para crear imágenes con buena resolución. En estos displays hay dos matrices de electrodos en forma de líneas paralelas (una frontal y otra vertical). Las líneas de la parte frontal están desfasadas  $90^\circ$  respecto de las líneas del electrodo vertical, los puntos de intersección entre ambos grupos de líneas forman los puntos, elementos de imagen o píxeles con los que se compone la imagen visualizada, un display con una matriz de  $256 \times 256$  líneas dispondrá de 65.536 píxeles. El modo de funcionamiento es multiplexado y controlado normalmente por circuitos integrados especializados en esta aplicación. Este tipo de display es barato y relativamente fácil de construir, pero tiene el inconveniente de tener una respuesta lenta de refresco de imagen, esto puede apreciarse en un PC portátil observando la estela que deja el puntero cuando movemos rápidamente el ratón. Lo anterior es producido porque zonas adyacentes al píxel a activar y que no deban de ser excitadas son también en parte activadas.

**TN LCDs (Twisted Nematics LCDs)**

Comúnmente tienen fondos grises y caracteres negros o íconos, entrega un excelente contraste mientras que las condiciones de manejo no sean demasiado exigentes (baja resolución y baja cantidad de imágenes por segundo).

Bueno para ser usado en relojes, calculadoras, instrumentos con pantallas simples, equipamiento de telecomunicaciones estándar.

**HTN LCDs (High Twisted Nematics LCDs)**

Comúnmente tienen fondos amarillo-verdosos y caracteres azul oscuros o íconos, son idénticos al funcionamiento de los TN LCDs pero mejorando la respuesta con un mayor giro en el LCD.

Tienen un mayor ancho de ángulo de visión y debido a la mejora en el tiempo de recuperación se permite mayor resolución.

Aplicaciones típicas: juegos portátiles con pantallas de iconos, pequeñas pantallas con información no gráfica.

**STN LCDs (Supertwisted Nematic LCDs)**

Mejora de las prestaciones de TN y HTN.

En su modo amarillo presenta un fondo naranja-verdoso y caracteres azul oscuro o pantalla gráfica.

En su modo gris presenta un fondo gris y caracteres azul-púrpura o display gráfico.

En su modo azul presenta un fondo azul oscuro, requiere iluminación con retroiluminación, el color del carácter.

En su modo blanco y negro (FSTN) presenta un fondo gris, caracteres negros o pantalla gráfica, alto contraste y un amplio ángulo de visión.

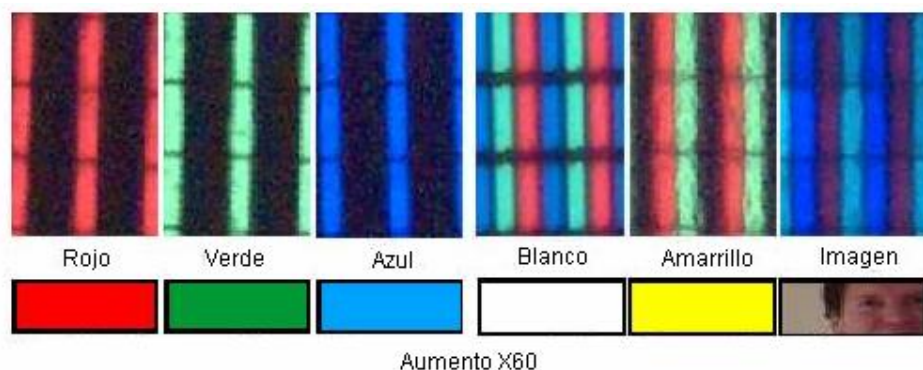
Son utilizados en productos gráficos como diccionarios electrónicos y equipamiento de telecomunicaciones.

### **DSTN LCDs (Double Layer Super-Twist Nematic) y CSTN (Colour Super-Twisted Nematic)**

Son versiones mejoradas de pantallas gráficas en B/N y color, siempre basadas en matriz pasiva, que mejoran la resolución, contraste y ángulo de visión de versiones previas. No llegan a la calidad de las versiones basadas en matriz activa, pero son bastante más económicas.

#### **De matriz activa (TFT)**

En estos displays existe en la cara interna posterior una matriz de transistores de película delgada (Thin Film Transistor) y capacitores, cada píxel está compuesto por un transistor y un capacitor, cada grupo transistor/capacitor está activado de forma secuencial (multiplexado) por líneas de control, el voltaje en las placas de cada capacitor determina el nivel de contraste de ese píxel con lo que se puede crear, controlando de forma adecuada este voltaje, una escala de grises. Si esta escala de grises tiene suficiente número de niveles (por ejemplo 256 niveles, se puede formar una imagen similar a la de un televisor monocromático), el número de transistores para obtener una resolución de 640x480 es de 307.200 y para 1024x780, es de 798.720. En la figura 1-57 se muestra cómo para que un determinado píxel pueda ser en color, necesitamos dividirlo en tres subpíxels (uno para cada color fundamental).



**Figura 1-57.** Detalle de la generación de diferentes colores. [37]

Se tiene por lo tanto tres subpíxels, cada uno con un filtro óptico diferente para el color rojo, verde y azul). Cada subpíxel tiene su propio transistor/capacitor de activación que puede generar 256 niveles de contraste por lo que la combinación de tres diferentes niveles genera un total de  $256 \times 256 \times 256 = 16,7$  millones de colores diferentes, por otro lado el número de transistores necesarios para obtener una resolución de 1024x780 es de 2.396.160.

### **TN+FILM TFT**

Se cubre la parte superior de los displays de matriz activa con una película de material discótico transparente mejorando el ángulo de visión de 90° a aproximadamente 140°.

Sin embargo se tiene un contraste pobre y la lentitud en la respuesta permanece invariable. Son TFTs económicos y ofrecen una relación precio/calidad adecuada.

### **IPS TFT, S-IPS o STFT (In Plane Switching o Super TFT)**

Los electrodos (2 por color en cada punto) están ambos en la misma capa.

El funcionamiento es inverso a los TFTs habituales. Si se aplica un campo eléctrico las moléculas se alinean paralelas al sustrato y puede pasar la luz. Si no se aplica un campo no pasa luz.

Se consigue un excelente campo de visión aproximado de 170°. Ambos electrodos están en la misma cara reduciendo el paso de luz, por lo que debe aumentarse la retroiluminación, teniendo un mayor consumo de energía. El tiempo de respuesta en las células TFTs mejora sensiblemente.

### **MVA TFT (Multi Domain Vertical Alignment)**

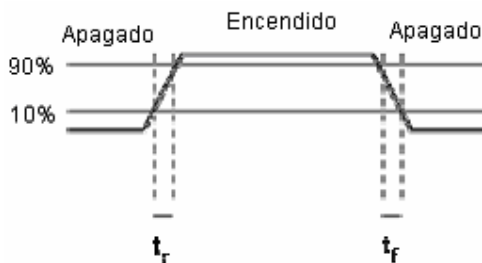
Las celdas transparentes y los electrodos tienen formas especiales para que la luz polarizada emitida no sea unidireccional. La luz se emite con un amplio campo de visión aproximado de 160° y el contraste es razonable.

Ofrece un mejor tiempo de respuesta que las convencionales TN+Film TFTs y las IPS TFTs. Ofrece el mejor compromiso ángulo de visión/tiempo de respuesta.

### 1.3.1.5 Análisis de parámetros relevantes en los LCDs

#### Tiempo de respuesta

El Tiempo de Respuesta de un panel LCD según el estándar ISO 13406-2 es el tiempo de encendido más el tiempo de apagado, medido entre el 10% y el 90%, del valor final,  $T_{\text{respuesta}} = t_r + t_f$  (figura 1-58). Valores buenos son del orden de 15 ms.



**Figura 1-58.** Representación gráfica tiempo de respuesta. [39]

#### Ángulo de visión

El ángulo de visión interesante es el horizontal. Muchas veces los fabricantes dan valores sin tener en cuenta la calidad ni la luminosidad. Valores razonables son del orden de 150°.

#### Contraste

Es una medida de cuánto brillo de diferencia tiene un blanco puro con un negro puro. Cuanto mayor sea el contraste, mejor será la nitidez de la imagen y más puro el blanco. Valores razonables son del orden de más de 500:1.



### 1.3.1.6 Análisis comparativo entre tecnologías LCD

Las pantallas de matriz pasiva se han visto superadas por el mejor tiempo de respuesta, contraste y brillo de las TFTs en cualquiera de sus versiones.

Tipo	Áng.	Cont	T	Brillo	Pw	Vida
LCD pasivo	70°	40:1	300ms	80	45w	60000 Horas
TN+	140°	140:1	25ms	250	50w	60000 Horas
CRT	>190°	300:1	-	250	180w	Años

**Tabla 1-3.** Comparación tecnologías LCD. [39]

### 1.3.1.7 Ventajas y desventajas tecnología LCD

#### Ventajas pantallas LCD de matriz pasiva

- Son pantallas que están realizadas mediante capas de moléculas de cristal líquido coloreado, dispuestas entre dos vidrios con gas, que según la intensidad de corriente que se les suministre giran mostrando un color u otro.
- Las pantallas LCD suelen tener buen comportamiento en ambientes muy luminosos pues por su naturaleza absorben los reflejos, al contrario que las pantallas de plasma que reflejan la luz.
- Imagen estable sin parpadeos, pues las imágenes se forman de una sola vez, lo que produce también menos fatiga visual.
- Menor consumo energético.
- Área de visualización mayor a igualdad de tamaño.
- Mucho menor peso y grosor.
- La imagen no se deforma en las esquinas.
- Inmunes a las interferencias electromagnéticas.
- Muy baja radiación electromagnética.
- Mayor vida útil de la pantalla.

**Desventajas LCD matriz pasiva**

- Peor gestión del color, los negros tienden a ser grises.
- Peor contraste y brillo.
- Menor ángulo de visualización, rondando los 120°.
- Menor velocidad de refresco de la imagen.
- Necesita retroiluminación, que tiene vida limitada sobre 50.000 horas.
- Mayor precio.

**Ventajas LCD de matriz activa**

- Esta tecnología es simplemente una evolución de las pantallas LCD, a las que se les incorpora un transistor por cada color y píxel, por tanto según donde se aplique la corriente se formará un color u otro.
- La imagen se actualiza o refresca con mayor rapidez que las pantallas de matriz pasiva, siendo capaces de representar 16 millones de colores.
- Actualmente son las pantallas LCD más extendidas.
- Mejor gestión del color.
- Mayor contraste y brillo.
- Mayor ángulo de visualización, rondando los 170°.
- Mayor velocidad de refresco o actualización de la imagen, rondando los 16 ms.

**Desventajas LCD de matriz activa**

- Mayor costo.

## **1.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA FABRICACIÓN DE PANTALLAS PLANAS**

Las pantallas planas con una mejor perspectiva de mercado y mejoras significativas a futuro tanto en fabricación, así como en sus características de funcionamiento se podría decir que son las que utilizan materiales orgánicos en sus componentes, debido principalmente a que no necesitan grandes cantidades de energía para su funcionamiento, presentando incluso iguales o mejores características que las pantallas planas que utilizan grandes cantidades de energía para su funcionamiento.

Es importante mencionar que estas tecnologías para la fabricación de pantallas planas, todavía no son tecnologías maduras, es decir continúan en constante estudio y cada día se presentan mejoras significativas en las mismas.

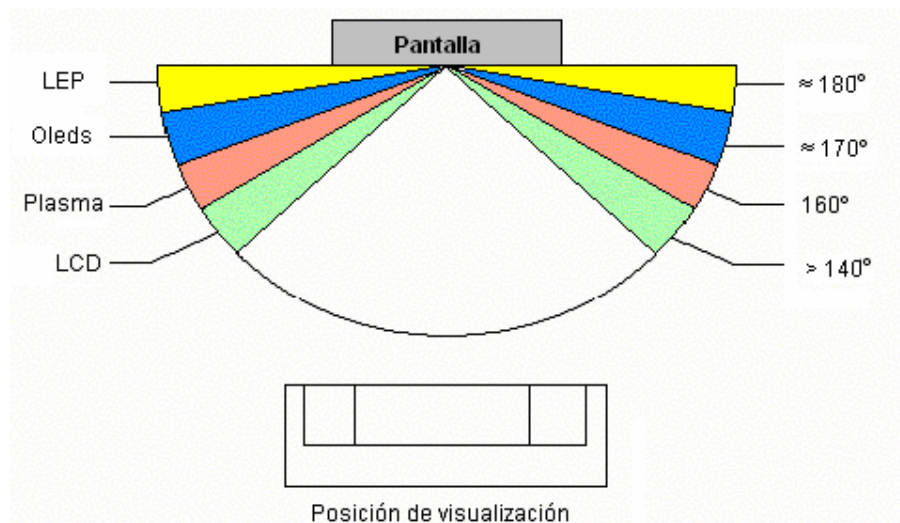
Por tal razón, la comparación con tecnologías que si bien es cierto ya tienen bien establecidos sus parámetros de funcionamiento, todavía se encuentran en estudios pensados principalmente en mejoras de algunas características como por ejemplo el ángulo de visión en LCDs, voltajes de operación en plasma, etc.

Otra de las ventajas principales en cuanto a las pantallas planas de componentes orgánicos, es que generan luz, tienen voltajes de operación bajos, con lo cual facilitan ser utilizados en aplicaciones portables.

En cuanto al espesor, las pantallas de elementos orgánicos, principalmente las constituidas por moléculas orgánicas, serán insignificantes en comparación a otras tecnologías.

Otra gran ventaja es que serán adaptables a cualquier forma, es decir que podrán ser instaladas o creadas en diferentes dispositivos y con una mejor interacción entre ellos.

Un aspecto importante en las pantallas planas es el ángulo de visión horizontal, por esta razón se presenta a continuación un gráfico comparativo del ángulo de visión en estas pantallas.



**Figura 1-59.** Ángulo de visión de algunas tecnologías de pantallas planas.

Otro aspecto importante es la flexibilidad que presentan estas pantallas, por lo que las aplicaciones pensadas para éstas ya no son solamente aplicaciones en las cuales las pantallas permanezcan estáticas, en posiciones o lugares fijos, sino que hasta sea posible enrollarlas, manipularlas en ropa, y en cualquier tipo de dispositivo utilizado para la presentación de información.

A continuación se presenta una tabla con parámetros importantes a considerar en pantallas planas.

TABLA COMPARATIVA								
	TIEMPO DE VIDA	ÁNGULO DE VISIÓN HORIZONTAL	VOLTAJE DE OPERACIÓN	TAMAIÑO DEL PIXEL	LUMINISCENCIA	GENERA LUZ	FLEXIBLE	ESPESOR
EMISIVAS								
PDP	10000 - 20000 h	160	-----	0,3 mm	> 10 cd/m <sup>2</sup>	SI	NO	40 mm
FED	-----	160	300 - 5000 V	0,3 mm	-----	SI	NO	1 - 3 cm
ELD	-----	>160	> 100 V		-----	SI	NO	
OLED	20000 - 150000 h	≈170	2 -10 V	0,25 mm	-----	SI	SI	100 nm – 500 nm
LEP	en prueba	≈180	-----	13,74 um X 16 um	-----	SI	SI	-----
NO EMISIVAS								
LCD								
DSTN	60000 h	49 - 100	-----	0,264 mm	70 – 90 cd/m <sup>2</sup>	NO	NO	-----
TFT	60000 h	> 140	-----	0,264 mm	300 cd/m <sup>2</sup>	NO	NO	0,82 - 1,5 mm

**Tabla 1-4.** Parámetros importantes de las tecnologías de fabricación de pantallas planas.

