

B.7. Dispositivos de visualización y modulación

B.7.1. Introducción

Una imagen vale más que mil palabras => los visualizadores son de suma importancia:

- en monitores
- pantallas informativas

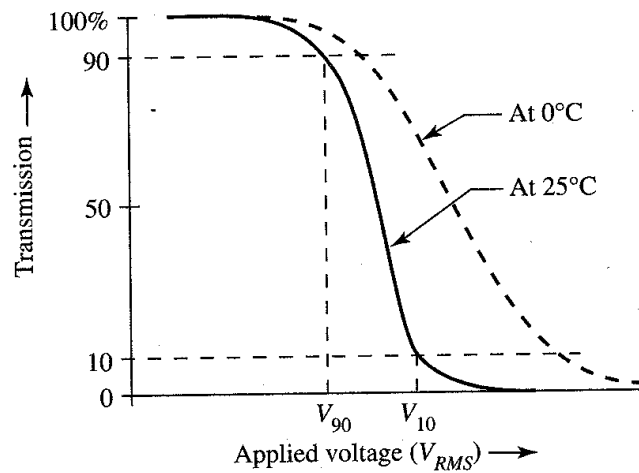
Principalmente son de cristal líquido. Hay LCD de matriz activa y LCD de matriz pasiva.

Ventajas del LCD:

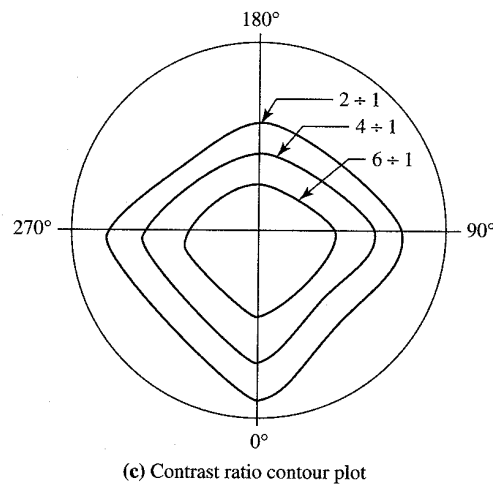
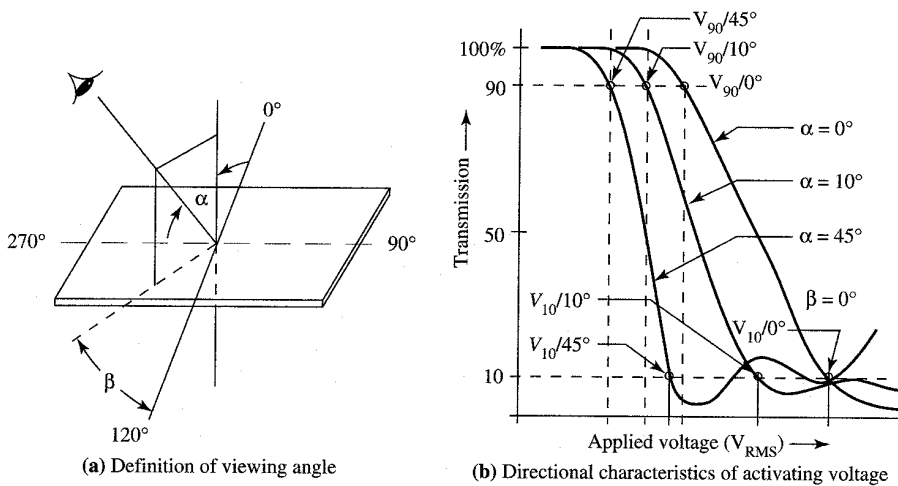
- bajo consumo
- bajas tensiones de alimentación (1.5-5V)
- compatibles con CMOS
- se leen a plena luz solar
- flexibilidad

Desventajas del LCD:

- no va con baja iluminación ambiental
- respuesta demasiado lenta
- ángulo de visión reducido
- muy sensible a la temperatura



El contraste del visualizador depende del ángulo de visión α por lo que la tensión requerida para la activación es también función del ángulo de visión.



B.7.1.1 Factores humanos a tener en cuenta en los visualizadores

3 factores a tener en cuenta:

1- legibilidad

2- brillo

3- contraste

Legibilidad: propiedad que permite leer con facilidad y precisión los caracteres alfanuméricos.

Máxima resolución del ojo humano: 15 minutos de arco
(H, altura del carácter; D distancia desde donde se mira)

$$\tan \alpha = \frac{H}{D}$$

Los límites de los visualizadores son:

visualizador de LED	20 minutos
visualizador de LCD de transmisión	26 minutos
visualizador de LCD de reflexión	30 minutos

La proporción de los caracteres recomendada es:

Anchura/altura	50% a 100%
Espaciado/altura	26% a 63%
Anchura del segmento/altura	13% a 20%
Máximo ángulo de visión/ángulo normal	0° a 19°

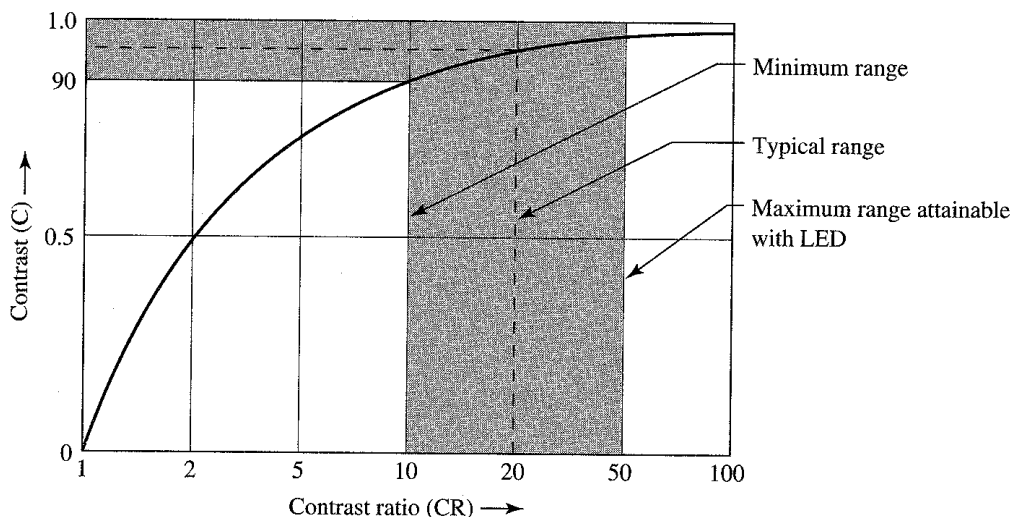
Brillo: percepción psico-física => subjetiva
depende de la forma, del color, etc.
=> se mide el contraste

Contraste: relación entre el brillo del objeto
y el brillo del fondo

Para visualizadores se define:

Contraste, $C = \frac{L_0 - L_B}{L_0}$ Relación de contraste, $CR = \frac{L_0}{L_B}$
Pasivos: Activos:

L_0 : luminancia del objeto; L_B : luminancia del fondo
ambas en cd/m^2



B.7.2. Cristales líquidos: principios de funcionamiento

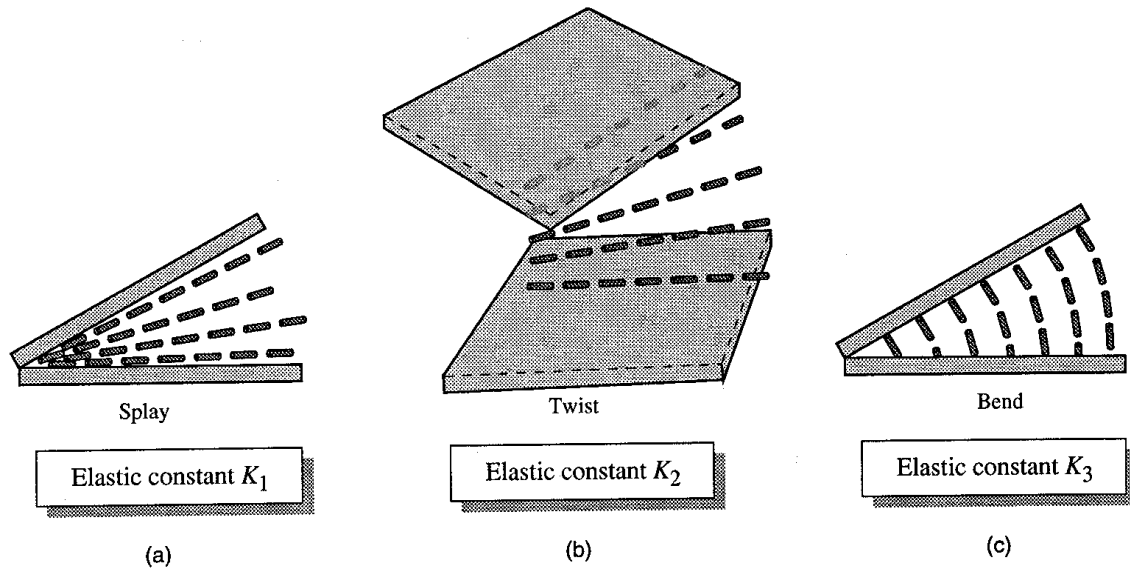
Se pueden controlar sus características ópticas con un campo eléctrico, variando la orientación de las moléculas.

=> cambia el eje óptico

Distorsiones en un cristal líquido:

- i) divergencia.
- ii) giro, se gira el alineamiento de las moléculas.
- iii) curvatura, se curva el alineamiento de las moléculas.

Constantes elásticas que definen dichas distorsiones son:
 K_1 , K_2 y K_3 y valen entre 10^{-5} y 10^{-7} dinas.

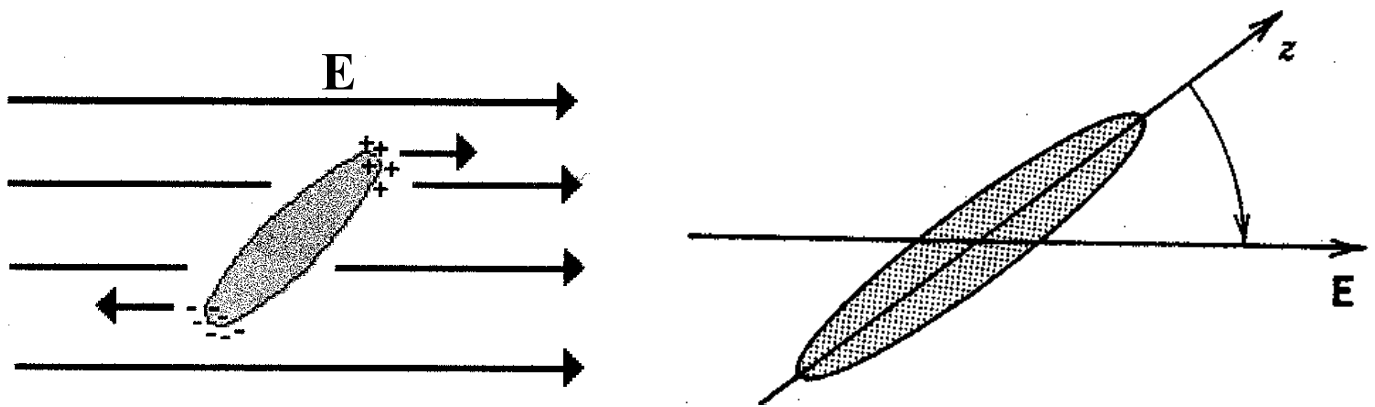


Anisotropía dieléctrica: Un cristal líquido es un cristal uniáxico

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$$

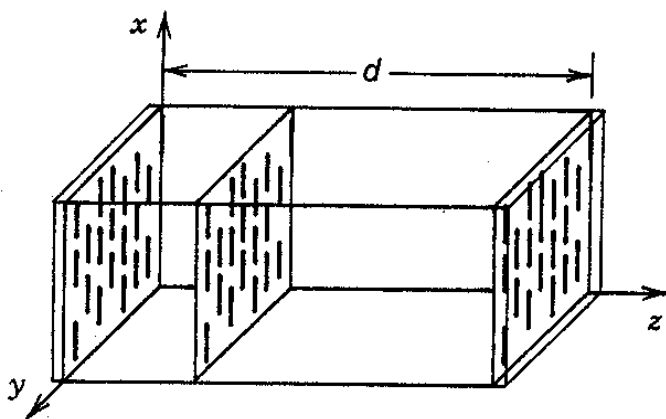
Cuando aplicamos un campo eléctrico constante, se inducen dipolos eléctricos y las fuerzas eléctricas producen un par sobre las moléculas.

- Si es un cristal uniáxico positivo ($\Delta\epsilon > 0$) la energía mínima se tiene cuando las moléculas se alinean con el campo.
- Si es un cristal uniáxico negativo ($\Delta\epsilon < 0$), la menor energía para las moléculas corresponde a aquella en que el eje óptico es perpendicular al campo.



Célula de cristal líquido (LCD): Fina capa de cristal líquido entre dos placas paralelas de vidrio.

Si ambas son frotadas de forma que las moléculas siempre tienen la misma orientación (eje óptico siempre paralelo a la orientación de estas):



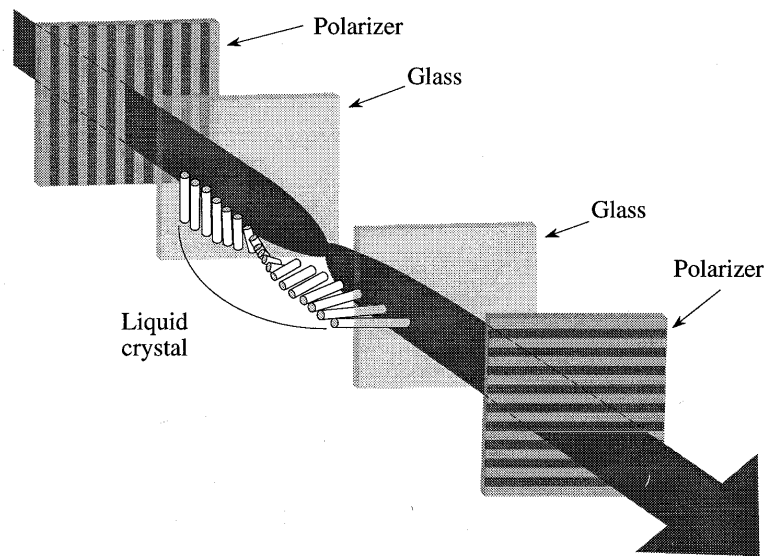
$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (n_{re} - n_{r0}) \cdot d$$

Si se aplica un campo eléctrico en la dirección z (d. d. p. V), las fuerzas eléctricas ($\Delta\epsilon > 0$) tenderán a hacer que las moléculas se alineen con el campo, pero las fuerzas elásticas de las superficies de las placas se opondrán a este movimiento.

Existirá un campo eléctrico mínimo que se habrá de aplicar para vencer dichas fuerzas y conseguir dicho alineamiento.

Recordemos que:

- i) cuando la luz viaja a lo largo del eje óptico, la polarización no varía ($\phi=0$);
- ii) cuando la luz se propaga perpendicularmente al eje óptico puede cambiar la polarización de la luz;
- iii) cuando la luz se propaga en un cristal líquido cuyo eje óptico gira lentamente la polarización sigue el giro del cristal



Utilizaremos dos polarizadores cruzados para modular la luz:

- El primer polarizador hace que la luz que entre a la célula sea únicamente la polarizada linealmente en la dirección seleccionada por éste.
- El segundo polarizador sólo permitirá pasar la componente de la luz que esté polarizada en su misma dirección.

Tres posibles configuraciones de cristales líquidos:

1) Orientación paralela: se utiliza si $\Delta\epsilon$ es positiva, las placas de vidrio son paralelas al eje óptico y al aplicar un campo eléctrico el eje óptico tiende a estar paralelo al campo eléctrico. El campo eléctrico necesario vale de 2V a 6V.

$$V_{th} = \sqrt{\frac{\pi K_1}{4\Delta\epsilon}}$$

2) Orientación perpendicular: se utiliza si $\Delta\epsilon$ es negativa. El campo eléctrico necesario vale

$$V_{th} = \sqrt{\frac{\pi K_3}{4|\Delta\epsilon|}}$$

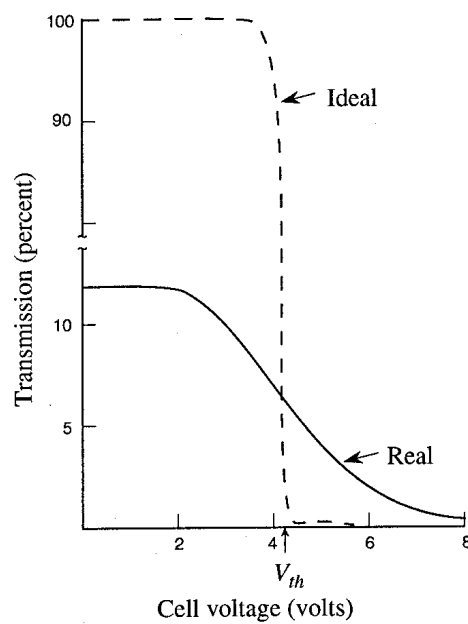
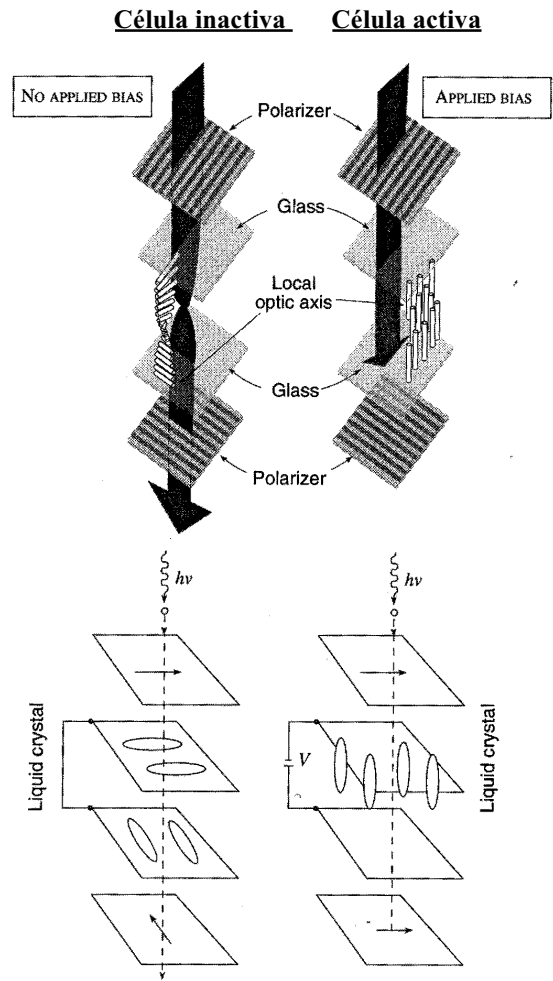
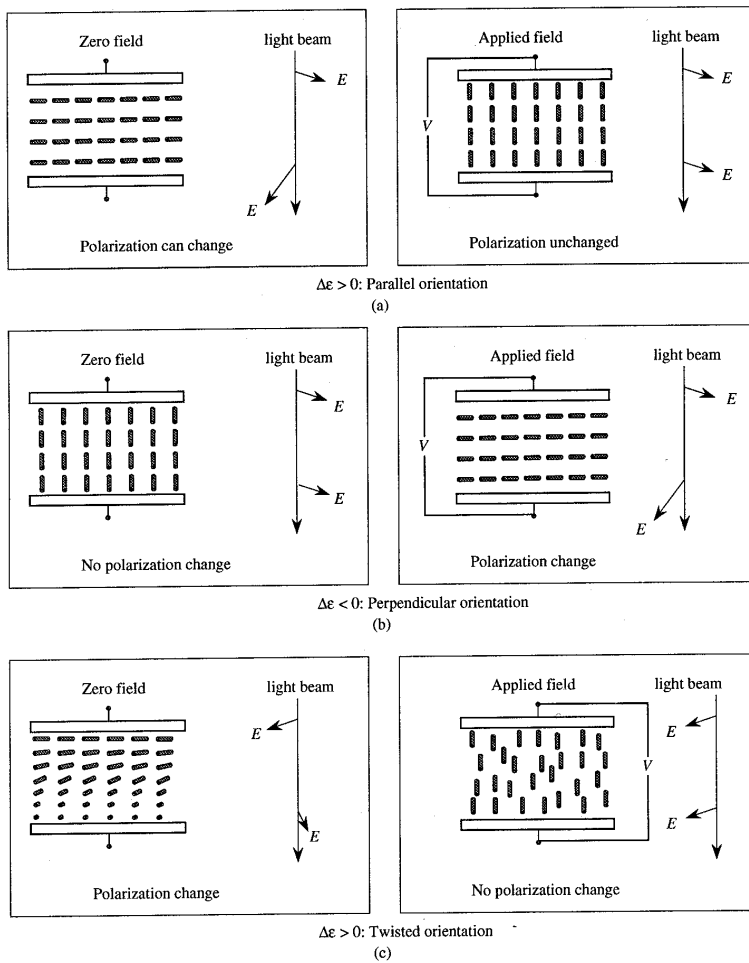
3) Orientación girada: se gira el eje óptico frotando las placas de vidrio y el campo eléctrico destruye el giro. El campo eléctrico necesario vale

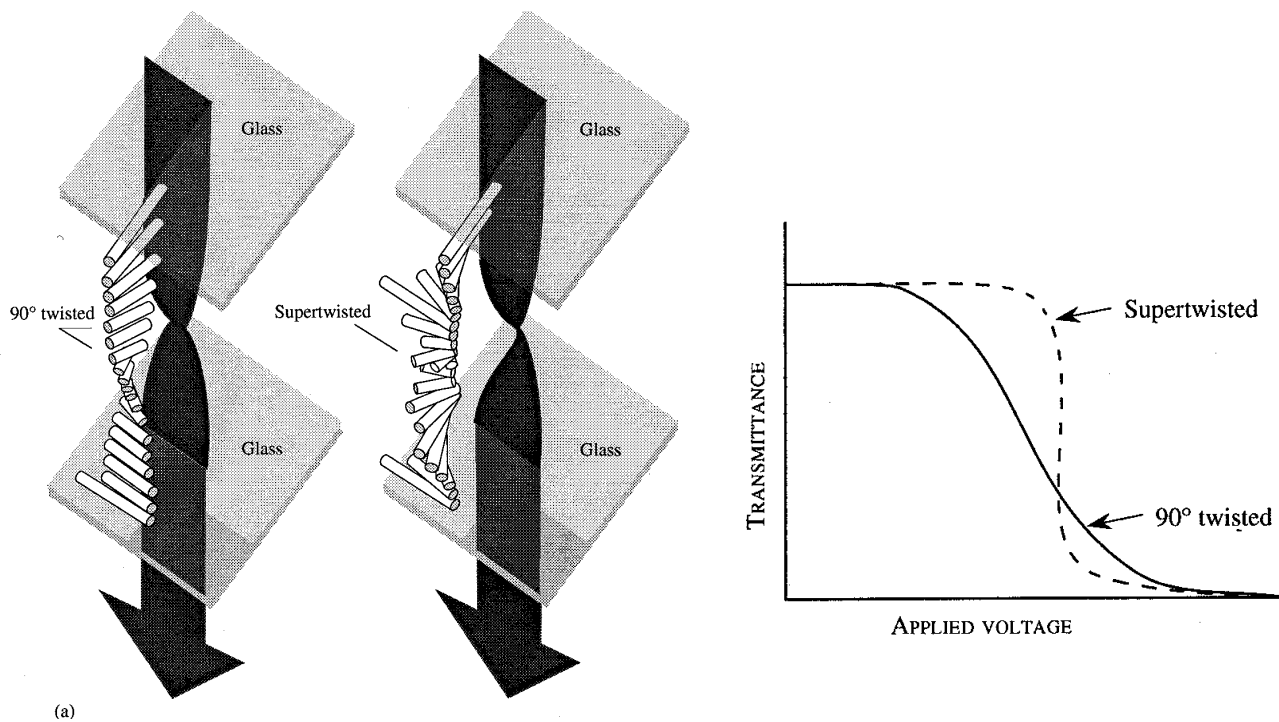
$$V_{th} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{4K_1 + K_3 - 2K_2}{\pi\Delta\epsilon}}$$

Desventaja: eje óptico no cambia bruscamente

En cristales líquidos supergirados (STN) con giros de hasta 270°, el cambio sí que es brusco.

Problema: como controlar toda una pantalla de LCD.

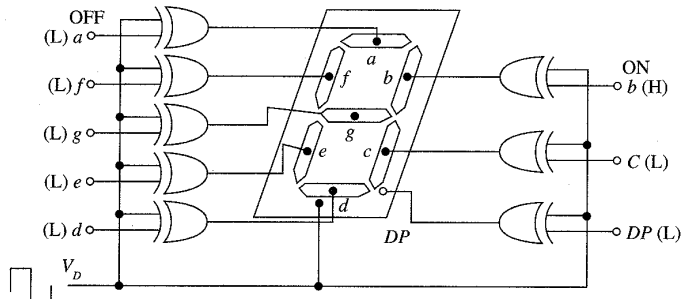




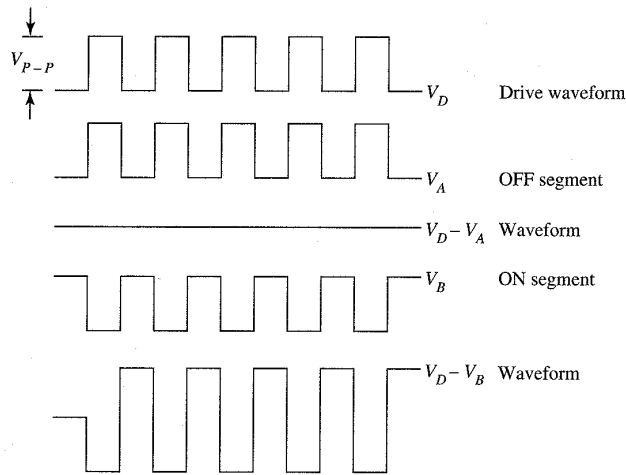
B.7.2.1 Como activar las células de cristal líquido

- Se controlan con tensión AC. La tensión DC debe ser inferior a 50mV para evitar un efecto de electrólisis.
- El circuito equivalente es un condensador en paralelo con una resistencia.
- La frecuencia suele ser 1kHz.
- Si se tiene una matriz de células hay que multiplexar la señal.

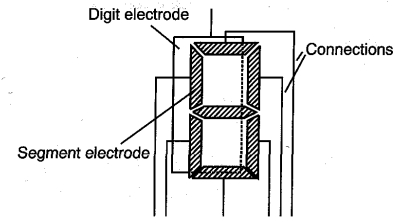
Alimentación directa: se le aplica la señal directamente a cada una de las células.



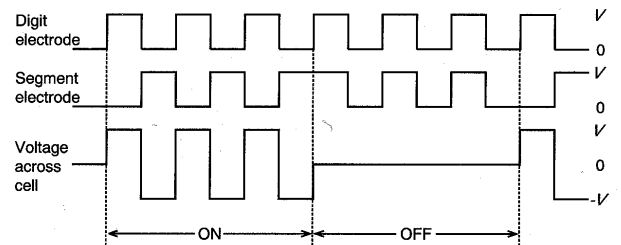
(a) Direct drive circuit



(b) OFF and ON segment waveforms

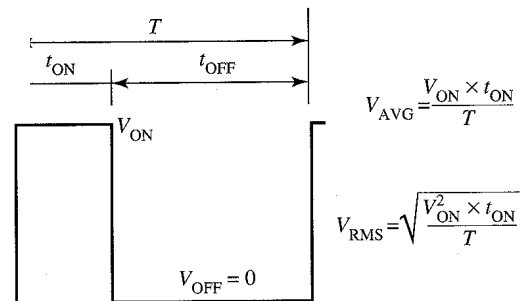


(a)

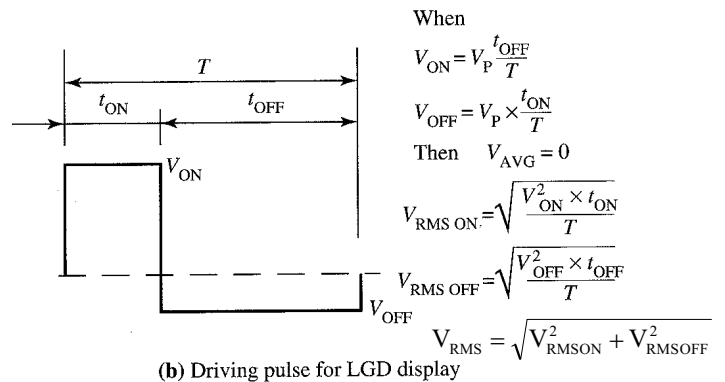


(b)

Alimentación multiplexada: se le aplica la señal a una fila y a una columna para activar una célula, pero recordando que el valor medio debe ser 0V y el valor eficaz el deseado para tener un estado alto o bajo.

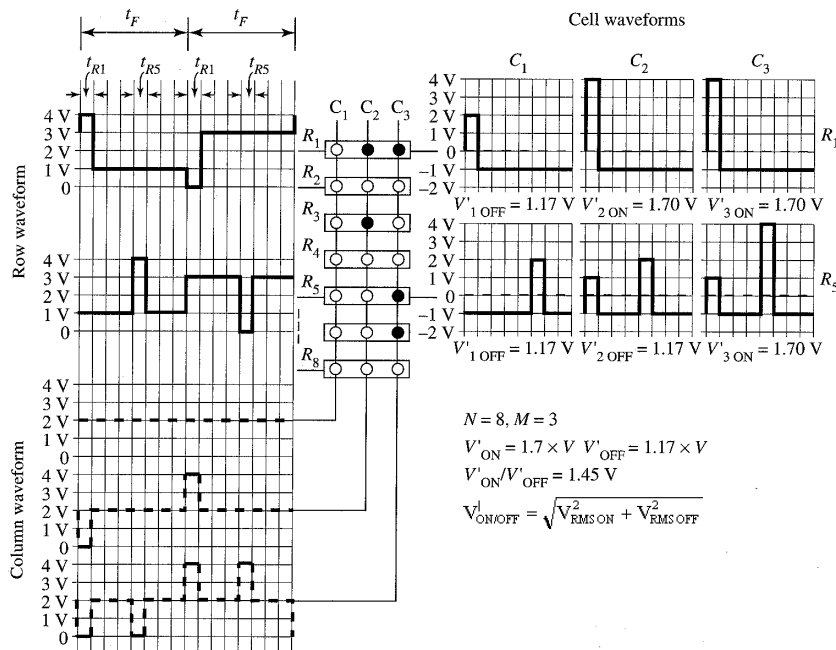


(a) Driving pulse for regular displays



(b) Driving pulse for LGD display

(en la figura el valor eficaz oscila entre 1,17V y 1,70V => se busca que esta diferencia sea lo mayor posible)

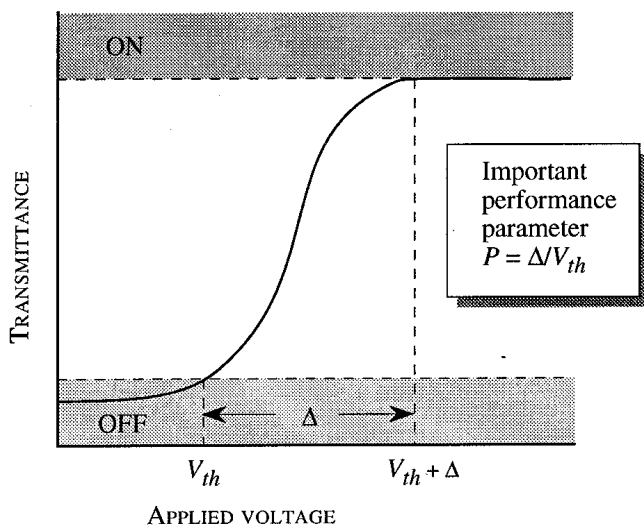


B.7.3 Retos para pasar de la célula a la pantalla de cristal líquido

Queda por estudiar cómo direccionar cada uno de los pixels de la pantalla.

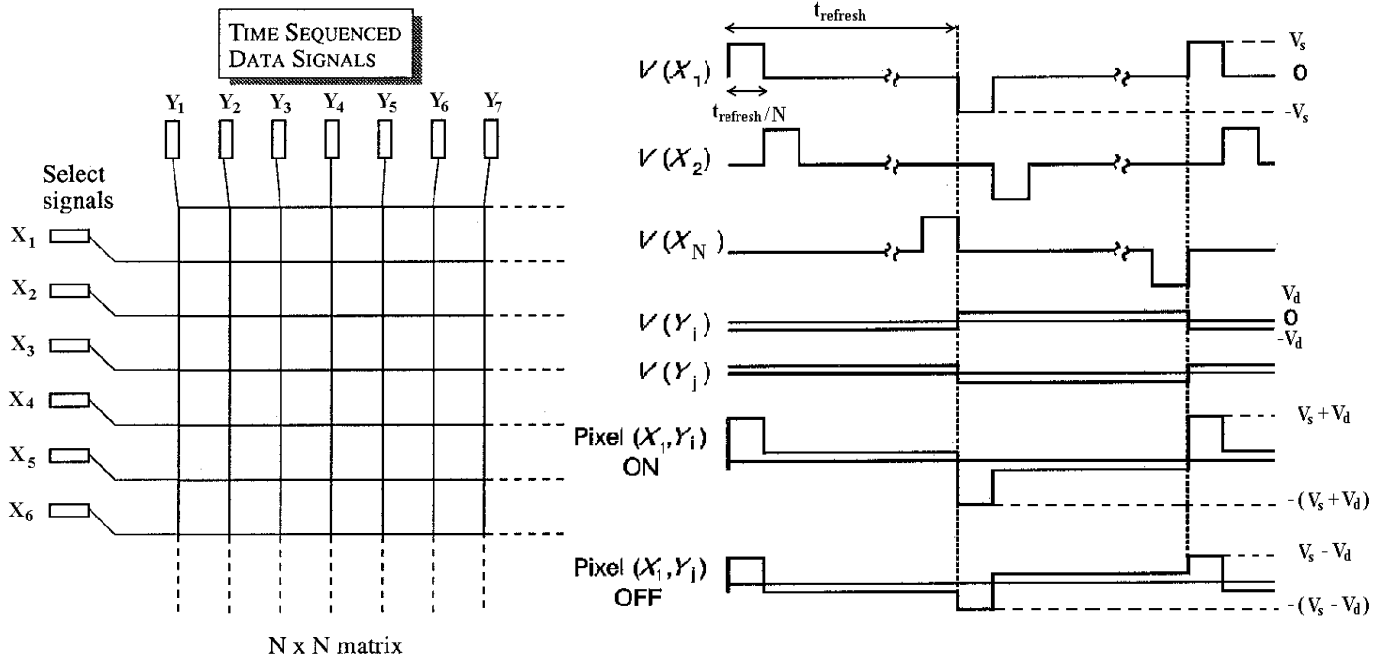
B.7.3.1 El direccionamiento de pixels

Curva T-V en el caso estático (polarización de continua):



En una pantalla las imágenes deben cambiar (refrescarse) rápidamente y es el valor RMS el que determina el estado del pixel.

Δ está relacionado con el tamaño de la matriz.

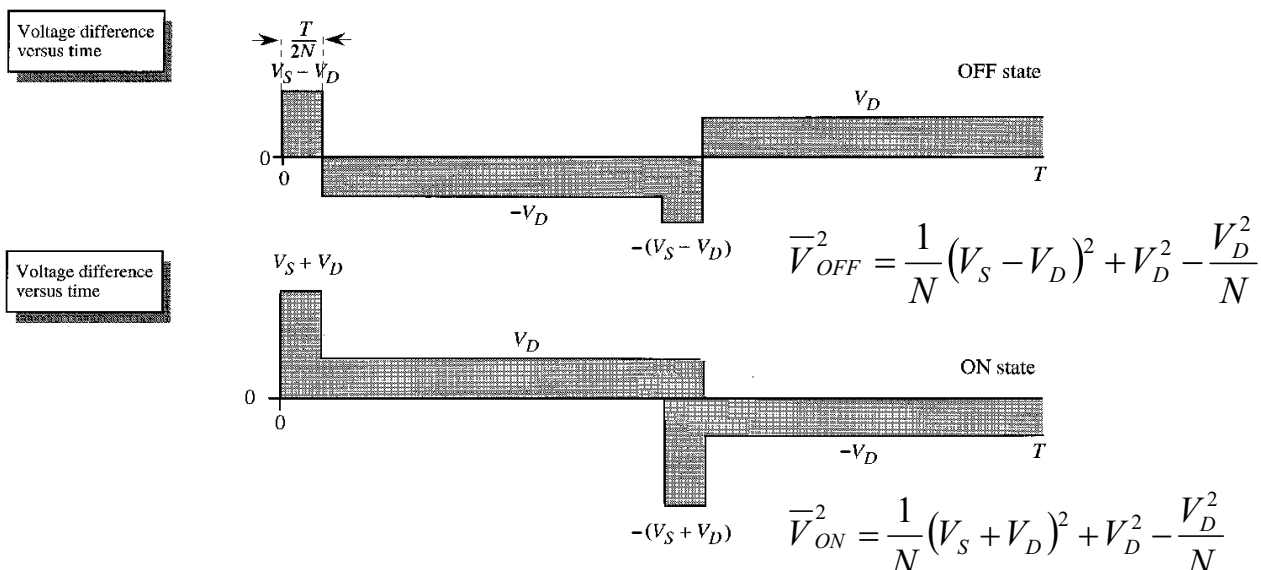


Fila: Señales de referencia (strobe) $V(X_1)-\dots-V(X_N)$, pulsos de tensión de duración t_{refresh}/N de amplitud V_s o $-V_s$.

Columna: Señales de información $V(Y_1)-\dots-V(Y_N)$ de valor constante V_D o $-V_D$ durante t_{refresh} .

Tensión aplicada a la célula (pixel): $V(X_i)-V(Y_j)$.

2 posibilidades. En el primer caso, el valor RMS de la señal es mayor y el pixel está a ON. En el segundo caso es menor y el pixel está a OFF.

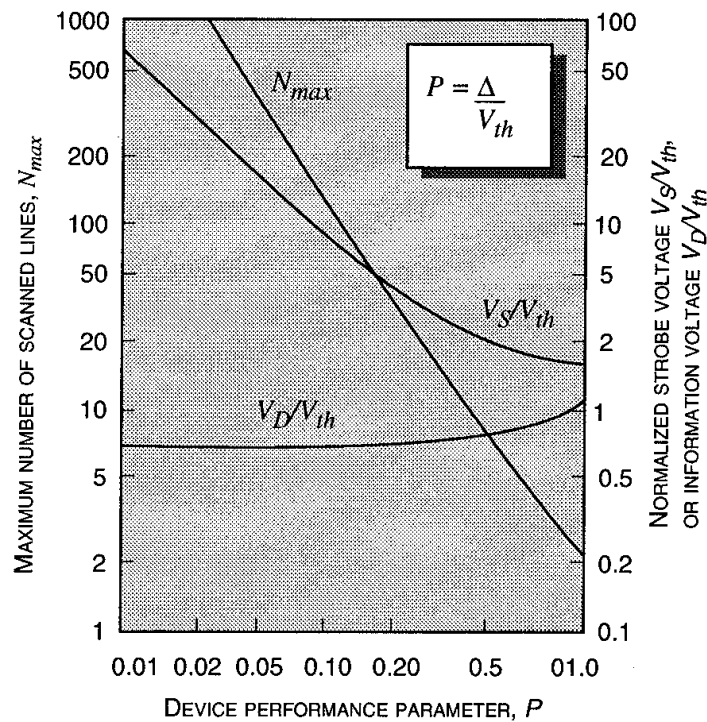


El número máximo de filas y columnas será:

$$N_{max} = \left(\frac{\bar{V}_{ON}^2 + \bar{V}_{OFF}^2}{\bar{V}_{ON}^2 - \bar{V}_{OFF}^2} \right)^2$$

con $\bar{V}_{OFF} = \bar{V}_{th}$ y $\bar{V}_{ON} = \bar{V}_{th} + \bar{\Delta}$

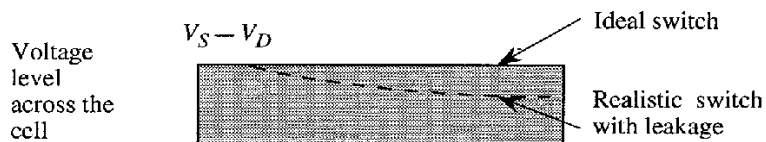
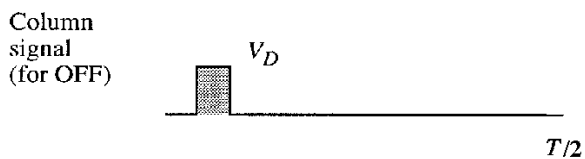
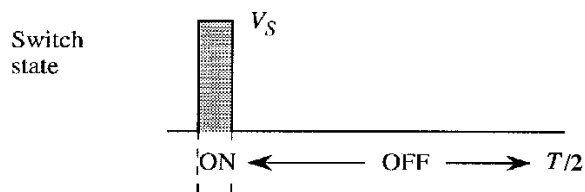
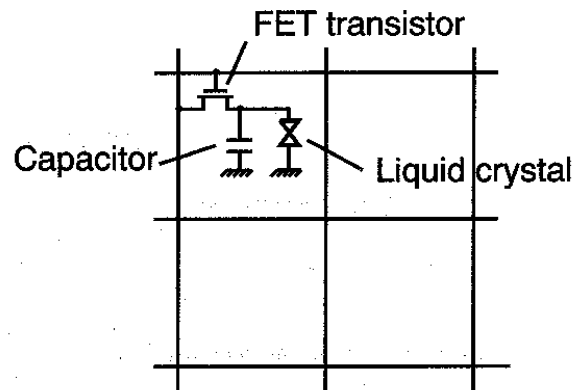
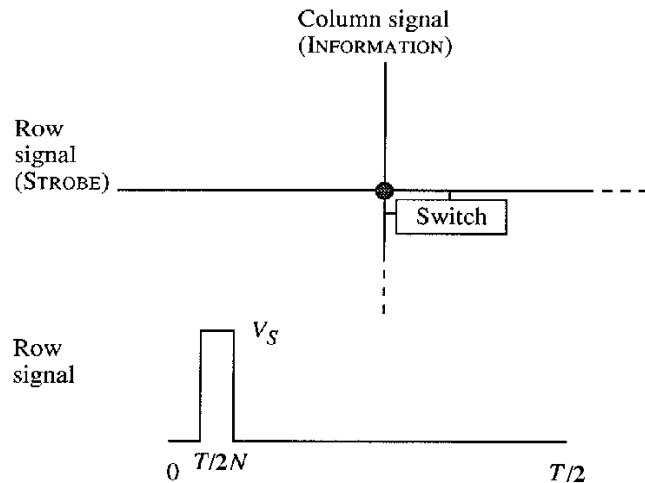
si $P = \frac{\bar{\Delta}}{\bar{V}_{th}}$ $N_{max} = \left(\frac{(1+P)^2 + 1}{(1+P)^2 - 1} \right)^2$



En un un cristal nemático girado a 90° , $P = 0,1$ y es difícil aumentar N_{max} . En cristales nemáticos supergirados P tiene valores mucho menores y N_{max} puede aumentar mucho más.

B.7.3.2 La solución del interruptor

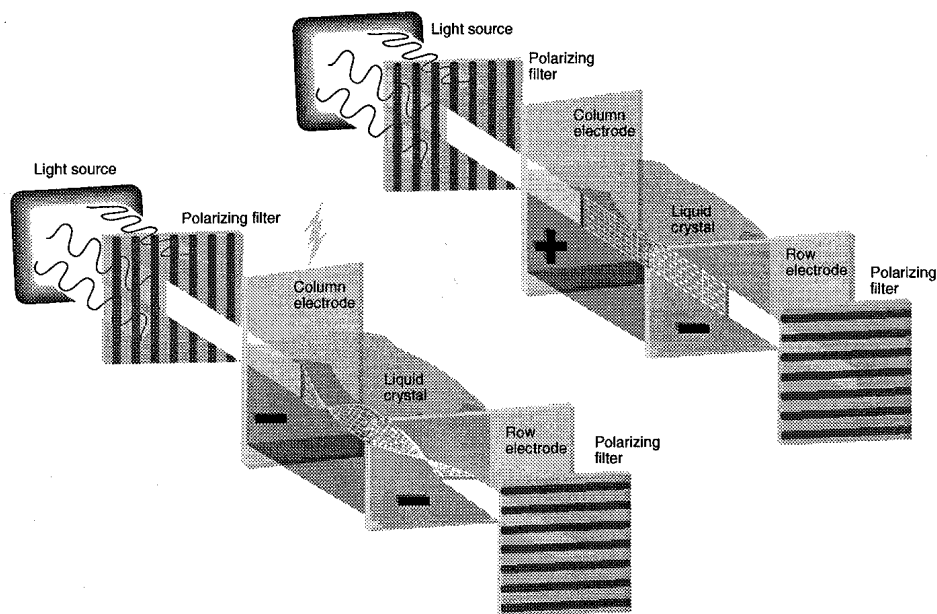
Si somos capaces de mantener la tensión aplicada durante más tiempo, resolvemos este problema



B.7.4 Visualizadores de cristal líquido con matriz pasiva

Son visualizadores de elementos pasivos

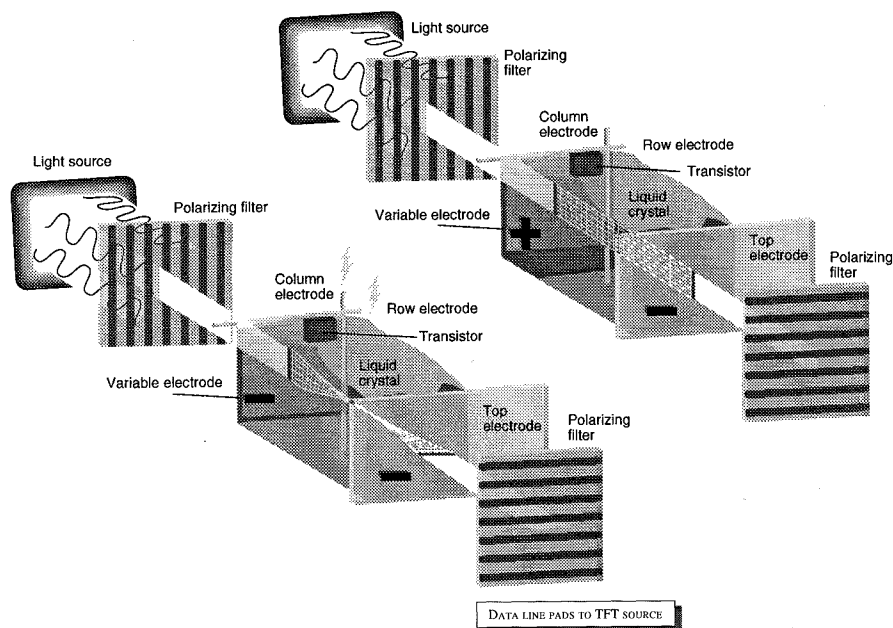
- Substrato de vidrio: vidrios muy planos, muy bien pulidos y frotados en una dirección para alinear el cristal líquido.
 - Electrodo transparente: basados en ciertos tipos de óxidos (ITO).
 - Cristal líquido STN: se coloca entre los substratos con el espaciado requerido ($4\mu\text{m}$ a $6\mu\text{m}$). El alineamiento es crítico.
 - Luz de fondo: la iluminación de fondo aumenta el consumo, pero permite dar luminosidad a la pantalla => mayor consumo.
 - Filtros de colores: para obtener pantallas de colores se colocan filtros de los tres colores básicos, verde azul y rojo.
- => con cristales STN se pueden obtener matrices pasivas de hasta 640×480 pixels.



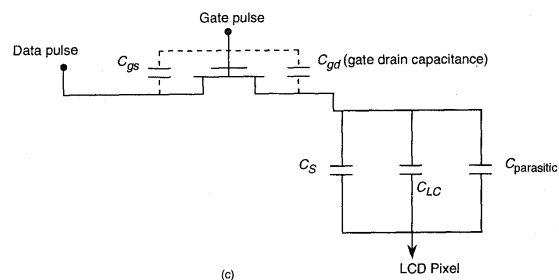
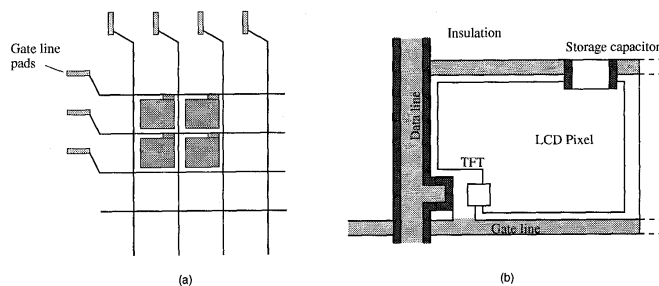
B.7.5 Visualizadores de cristal líquido de matriz activa

Se coloca un transistor que carga un condensador que retiene la tensión durante todo un periodo de refresco => mejor comportamiento y uso de cristales nemáticos de 90° .

Se utiliza un transistor de película fina (TFT)

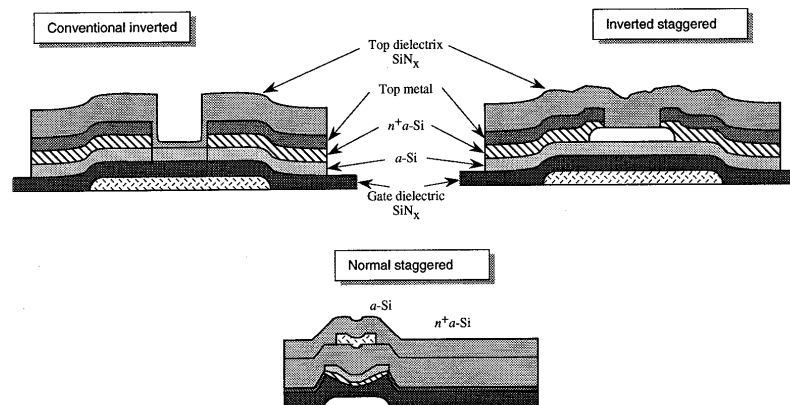


Las pérdidas deben ser mínimas, para un rendimiento óptimo.



Transistor de película fina (TFT): el proceso de fabricación está en desarrollo y es crítico al tener que utilizar substratos de vidrio.

Para visualizadores de gran tamaño => se utiliza a-Si => tensión umbral difícilmente controlable y movilidad de electrones muy baja.



B.7.6 Retos de la tecnología de los visualizadores

La tecnología de los visualizadores debe mejorar mucho => la pantalla es el elemento más caro en un ordenador portátil.

Hay que mejorar:

- i) el alto consumo de energía para hacer funcionar el visualizador
- ii) transmisión de luz pobre cuando el visualizador está a ON lo que resulta en una imagen muy pobre o la necesidad de una luz de fondo muy potente
- iii) ángulo de visión muy reducido.

Técnicamente estas mejoras se traducen en:

Retos para las pantallas de gran tamaño de cristal líquido.

Relacionados con materiales y dispositivos

- Nuevos cristales líquidos: con características T-V más abruptas, tensiones umbrales y consumos menores; absorción menor en el estado de ON.

- Transistores mejorados u otra tecnología de conmutación compatible con sustratos de vidrio de gran superficie: mayor movilidad en a-Si o Si policristalino.

- Nuevos materiales electro-ópticos, tal vez con cristales sólidos que se puedan utilizar para pantallas.

- Nuevos materiales que puedan modular luz no polarizada para así reducir pérdidas.

Relacionados con la fabricación

- La tecnología de fabricación debe ser compatible con sustratos mayores de 50cm (en la actualidad no pasan de los 25cm)

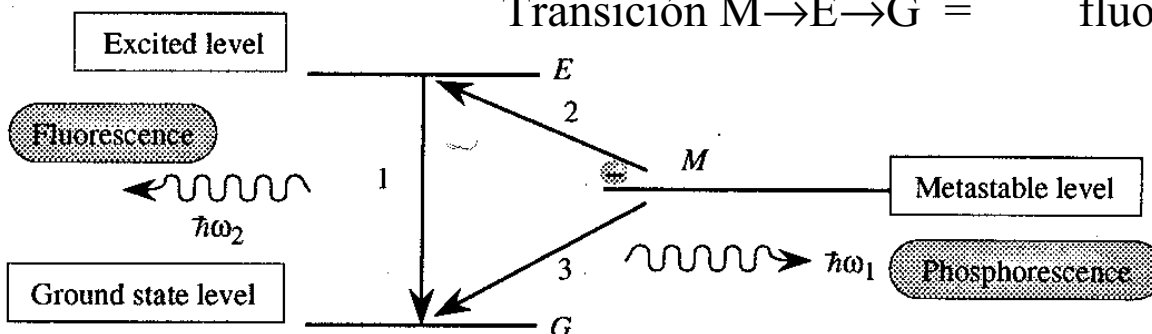
- Detección de fallos o errores fatales durante el proceso para abortarlo a tiempo.

B.7.6.1 Visualizadores basados en emisores de luz electrónicos o fósforos

La idea de emisión luminosa después de una excitación se puede extender a semiconductores con impurezas (materiales inorgánicos) y a materiales orgánicos ==> Fósforos

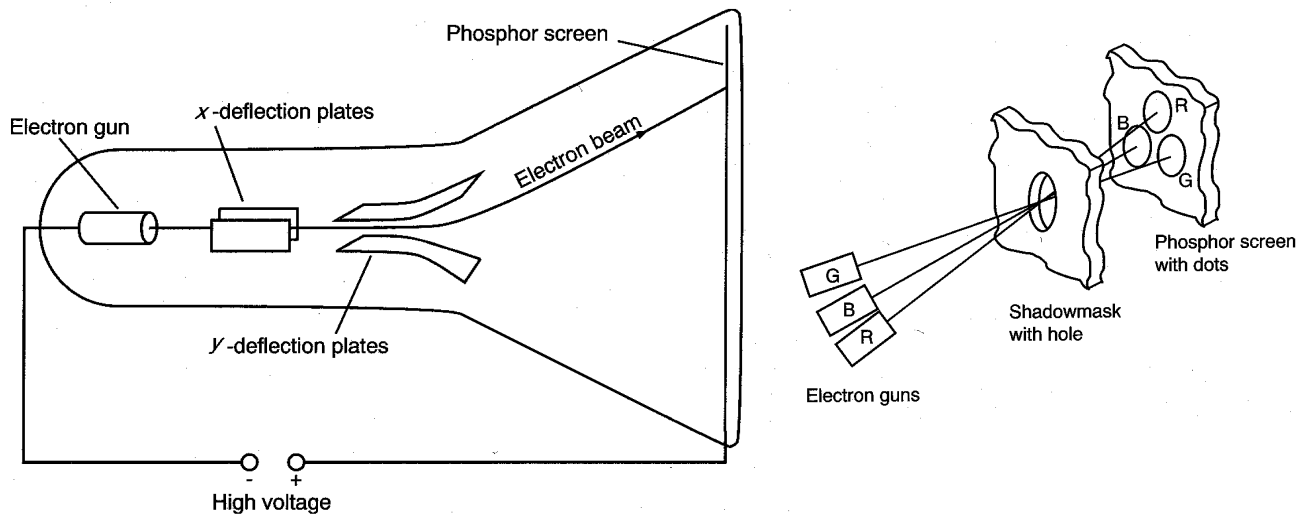
Transición $M \rightarrow G$ = fosforescencia.

Transición $M \rightarrow E \rightarrow G$ = fluorescencia

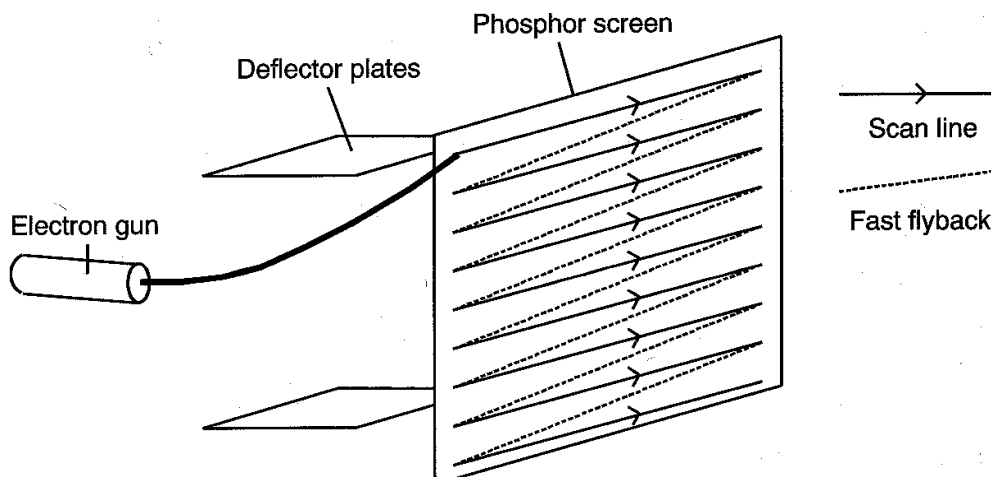


CRT (tubo de rayos catódicos):

El fondo de la pantalla es recubierto por fósforos. Es necesaria una inyección de electrones, por lo que se utiliza una “pistola” emisora de electrones.



Se ha de realizar una exploración de toda la pantalla, la cual se realiza por líneas de forma que la imagen sobre la pantalla se renueve al menos 45 veces por segundo para evitar el parpadeo.

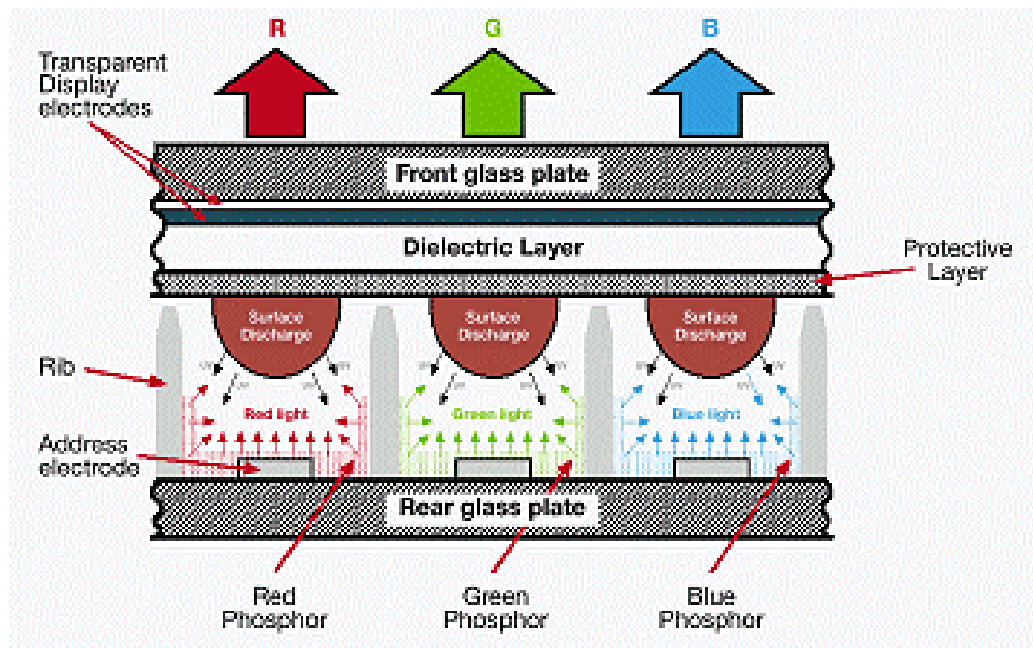


Visualizador de emisión de campo (FED):

- Cada pixel de fósforo tiene su propia fuente de electrones.
- La inyección de electrones se debe al efecto túnel de los electrones desde la punta emisora que tiene forma muy afilada para conseguir un alto rendimiento de emisión.

Visualizador de plasma:

Pantalla fina (40mm), de poco peso, alto brillo y un gran ángulo de visión ($>160^\circ$).



B.7.7 La necesidad de la modulación de la luz a alta velocidad

Para comunicaciones ópticas => moduladores de alta velocidad
LCDs son demasiado lentos => uso de LEDs y LDs

Modulación directa: se modula la corriente de entrada al dispositivo

Modulación externa: la luz de salida pasa a través de un material cuyas propiedades ópticas pueden ser modificadas por medios externos.

Modulación directa	Modulación externa
+ Circuito relativamente simple y compacto.	– Circuito "grande" para estándares microelectrónicos.
	– Disposición de elementos complicada.
	– Difícil de ajustar.
– La velocidad del dispositivo se controla por procesos internos del láser; e.d. recombinación e-h, longitud de la cavidad.	+ Las velocidades del dispositivo son bastante rápidas y se controlan mediante las propiedades del modulador.
– La frecuencia de emisión se puede alterar con la corriente de funcionamiento.	+ Frecuencia de emisión inalterada
– Aunque se puede alterar fácilmente la intensidad de salida, no es tan fácil de modular la fase, la amplitud o la frecuencia.	+ La fase se puede alterar

B.7.7.1 Características de los moduladores

Codifica información alterando: amplitud, fase o intensidad

Características principales: el rendimiento de modulación, ancho de banda de la modulación, pérdidas de inserción, consumo y aislamiento entre canales

Rendimiento de modulación: debemos conocer el tipo de modulación.

Modulación de intensidad $\Rightarrow \eta = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}}$

Profundidad de modulación (dB) $\Rightarrow \text{contraste} = 10 \log \frac{I_{max}}{I_{min}}$

Modulación de fase $\Rightarrow \eta = \sin^2 \frac{\phi}{2}$

Ancho de banda de modulación: al aumentar la frecuencia de modulación, cae el rendimiento de modulación. Esta limitado por elementos parásitos (RC) o constantes de tiempo intrínsecas (tiempo de tránsito, etc)

Pérdidas de inserción: son pérdidas provocadas por el modulador y debidas a dispersión, reflexión y absorción

$$\text{Pérdidas}(dB) = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

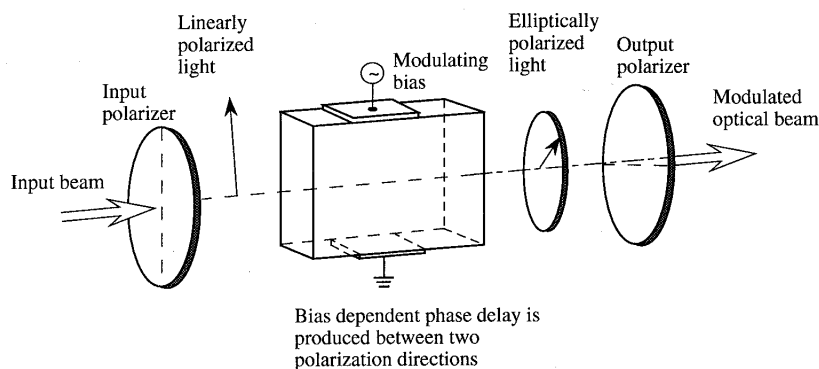
Consumo de potencia: se define como la potencia por unidad de ancho de banda necesaria para la modulación de intensidad.

Aislamiento: define en un sistema multi-salida la intensidad óptica que aparece en el canal de entrada j cuando es enviada una señal a través del canal de entrada i

$$\text{Aislamiento}(dB) = 10 \log \frac{I_i}{I_j}$$

B.7.8 Moduladores electro-ópticos

Partiendo del hecho de que si podemos modificar la polarización de la luz, podemos modular la intensidad, se busca dicho efecto mediante campos eléctricos.



$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \sin^2 \frac{\phi}{2}$$

La variación de la fase mediante campo eléctrico vale:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} L n_{ro}^3 r_{41} \frac{V}{d} \quad \text{para GaAs}$$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} L n_{ro}^3 r_{63} E \quad \text{para KPD}$$

r_{ij} : coeficiente electro-óptico

Material	$\lambda(\mu\text{m})$	$r_{ij} (10^{-12}\text{m/V})$
GaAs	0.8 -1.0	$r_{41} = 1.2$
Quartz	0.6	$r_{11} = -0.47$ $r_{41} = -0.2$
LiNbO ₃	0.5	$r_{13} = 9.0$; $r_{22} = 6.6$ $r_{42} = 30$
KDP	0.5	$r_{41} = 8.6$; $r_{63} = 9.5$

Materiales electro-ópticos y grabación de imágenes

Los materiales ferroeléctricos (PLZT) tienen un dipolo eléctrico diferente de cero que puede anularse si aplicamos un campo llamado campo eléctrico coercitivo, cuyo valor puede ser variado si se crea un campo interno mediante portadores fotogenerados.

Se ilumina una placa de PLZT con la imagen con luz UV y se le aplica tensión al dispositivo. Se generan portadores que quedan atrapados en defectos del material por lo que se genera un campo eléctrico local que se superpone al campo eléctrico externo. Esto da lugar a variaciones locales de las tensiones mecánicas internas en la placa PLZT por lo que se graba la imagen sobre la placa.

B.7.9. Moduladores interferométricos

Se basan en la modulación mediante métodos interferométricos, sin necesidad de polarizadores.

B.7.9.1. Modulador de Fabry-Perot (etalón)

Consiste en dos espejos semi transparentes que encierran un material electro-óptico.

El coeficiente de transmisión dependerá de la reflectividad de los espejos, distancia entre los espejos, índice de refracción y frecuencia de la luz

$$T = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left(\frac{2\pi n_r L}{\lambda_o} \right)}$$

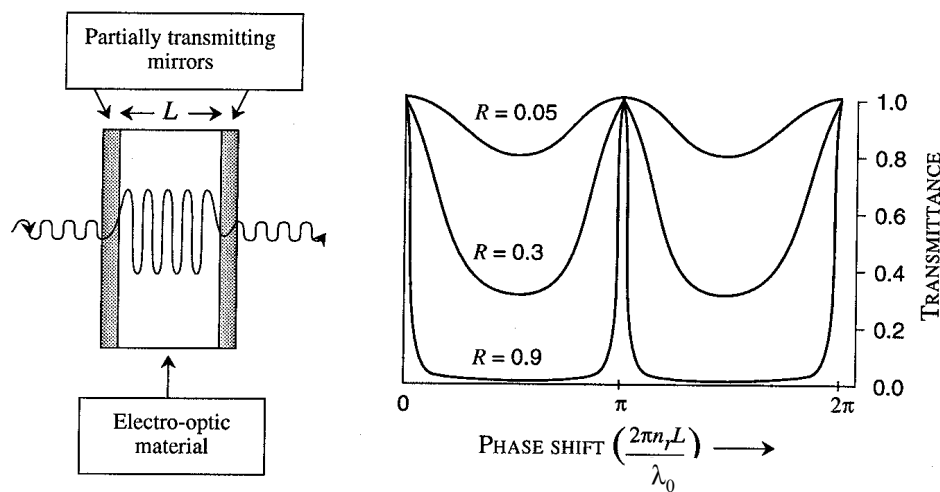
Si modificamos el índice de refracción por medio de un campo eléctrico => modulamos T

diferencia de frecuencia entre dos máximos sucesivos = rango de espectro libre (FSR)

$$FSR = \frac{c}{2n_r L}$$

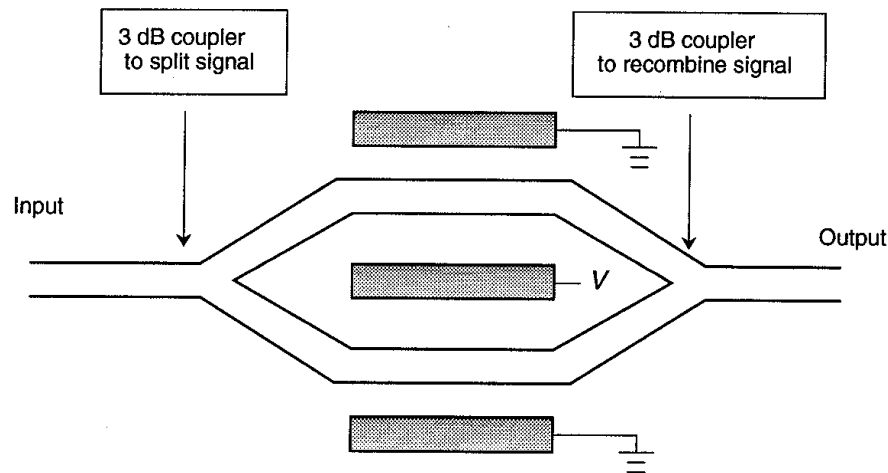
Precisión (F) = relación entre el FSR y la anchura máxima de cualquier pico de transmisión medida a la mitad del máximo

$$F = \frac{\pi^4 \sqrt{R_1 R_2}}{1 - \sqrt{R_1 R_2}}$$



B.7.9.2. Modulador de Mach-Zender

Se divide la señal que viaja en una guía con un acoplador y después de una corta distancia se vuelven a unir las señales. Según el desfase de las señales a unir la interferencia será constructiva o destructiva => variación de la intensidad



Problema: rendimientos muy bajos (pérdidas debidas a los acopladores).

B.7.10 El acoplador direccional

Podemos utilizar de la misma manera un acoplador para modular y para conmutar la intensidad de luz.

La luz acoplada de una guía a otra depende de β .

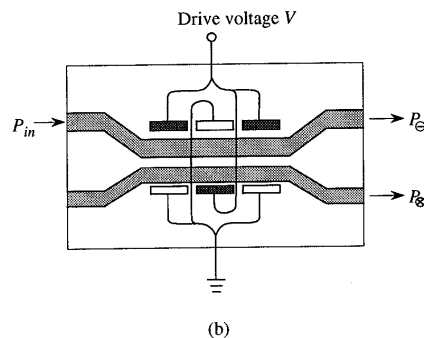
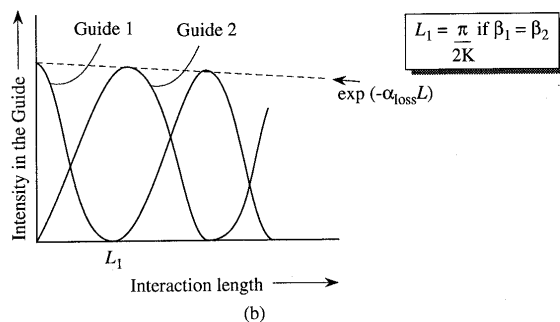
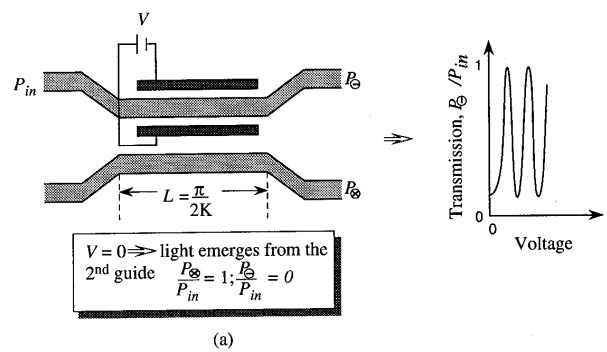
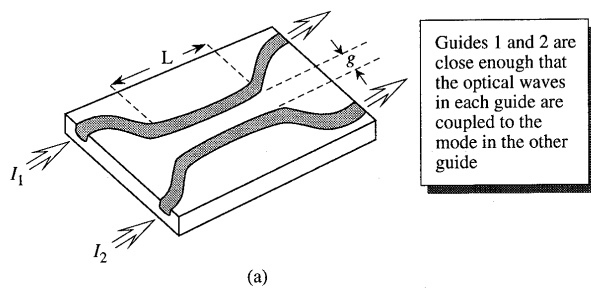
$$2\Delta = |\beta_1 - \beta_2| \neq 0$$

y recordemos que
$$\frac{P_2(z)}{P_1(0)} = \frac{K^2}{K^2 + \Delta^2} \sin^2\left(z\sqrt{K^2 + \Delta^2}\right)$$

=> modificaremos Δ con un campo eléctrico.

- Si $\Delta = 0$:
$$L_1 = \frac{\pi}{2K} \quad (\text{transferencia de energía})$$
- Si $\Delta = \Delta_{sw}$ con:
$$\sqrt{K^2 + \Delta_{sw}^2} \cdot L_1 = \pi$$

no habrá luz que emerja por la guía 2 y la luz re-emergerá por la guía 1



La conmutación se controla a través del K, la fuerza del efecto electro-óptico y la tensión de polarización aplicada.

K depende de la separación g de ambas guías de onda.

Para que la tensión aplicada sea baja se aplica una configuración tipo "push-pull" para los electrodos. En dicho caso:

$$\Delta = \frac{\pi \cdot n_{ro}^3 \cdot r_{eff} \cdot (2 \cdot E_y)}{2 \cdot \lambda}$$

Se requieren longitudes de interacción de 1cm y tensiones de 5 a 10V

B.7.11 Dispositivos avanzados de modulación y conmutación

A mejorar:

- coeficientes electro-ópticos pequeños

solución => pozos cuánticos

B.7.11.1 Motivaciones de los pozos cuánticos

Modificación de la densidad de estados

=> pasa a ser en forma escalón (la absorción y otros procesos dependen de la densidad de estados)

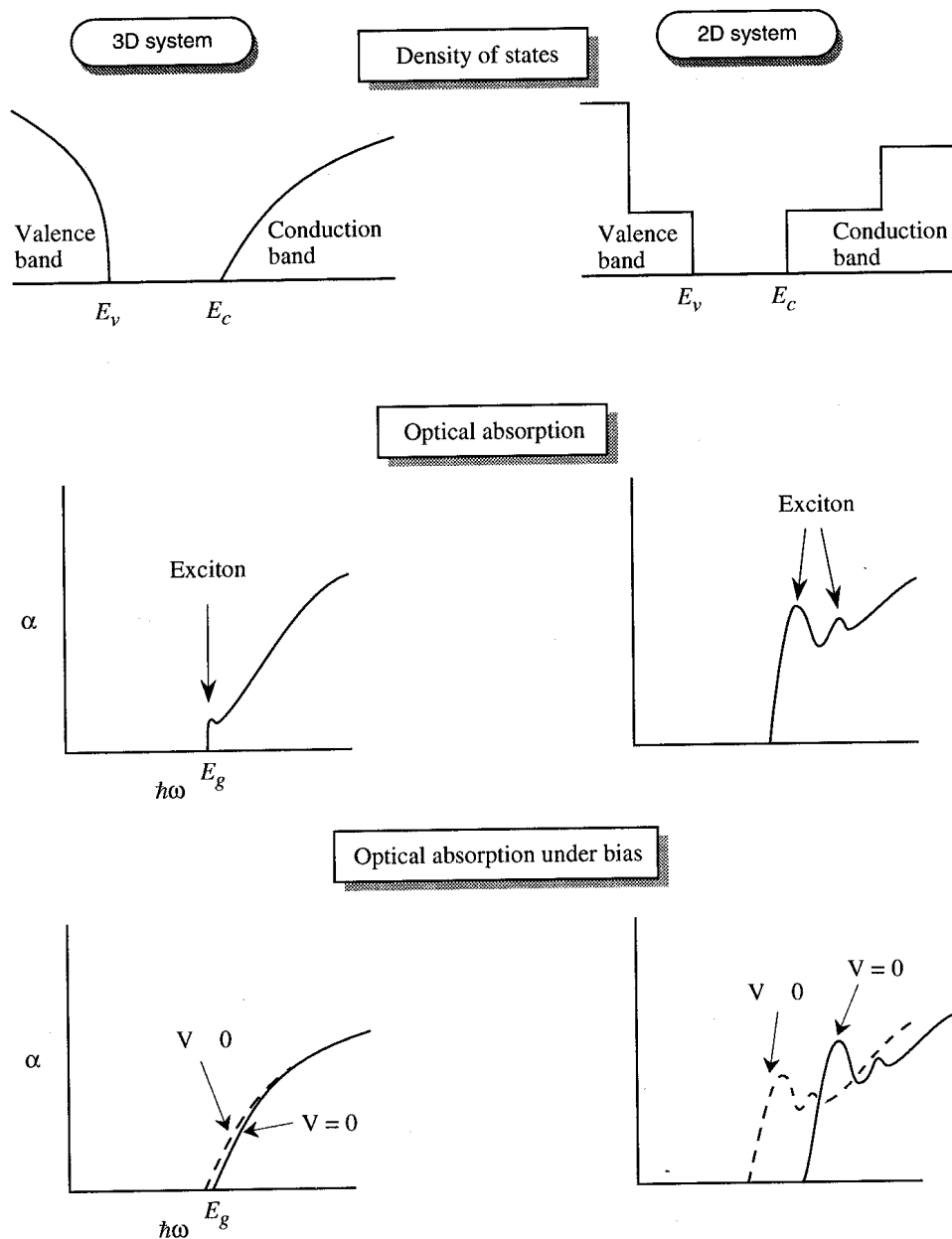
Efectos del excitón:

interacción electrostática de los pares electrón-hueco => picos de absorción óptica

Con pozos cuánticos los picos son mayores

Modificación de las propiedades ópticas por los campos:

variación del coeficiente de absorción con campos eléctricos muy acusada



B.7.11.2 Moduladores de electro-absorción

- Efecto cuántico de confinamiento de Stark ==> desplazamiento en frecuencia del espectro de absorción

Si luz de frecuencia $\hbar\omega$ incide sobre el dispositivo, la luz transmitida puede ser modulada por medio de un campo eléctrico.

La respuesta de los dispositivos QCSE es muy rápida (10ps).

