

Temas Avanzados en Procesado de Señales

Tratamiento Digital de Señales Visuales

Tema 1: Introducción

...luz, luminancia, brillo, color, sistema visual humano, captura, presentación...

José María Martínez Sánchez



Escuela Politécnica Superior



Universidad Autónoma de Madrid
E28049 Madrid (SPAIN)



Video Processing and Understanding Lab
Grupo de Tratamiento e Interpretación de Vídeo



Indice



- Introducción
- Formación de imágenes
- Representación del color
- Tecnologías de Captura y Presentación

• Expansión multimedia

- Todos los medios van hacia *lo digital* en todos sus aspectos: representación, transmisión, proceso, recuperación, profesional, particular.
- Desarrollo de las técnicas de compresión y comunicación (buena calidad a baja tasa), y abaratamiento de costes gracias a tecnología VLSI.
- Establecimiento de estándares internacionales (ISO, ITU-T).

• ... crecimiento explosivo de las tecnologías *wireless* y de *networking*...

- Conjuntamente potencian un cambio en el modo de trabajar y de comunicarse.
- Hacia anchos de banda ilimitados, conectividad total, amplia movilidad y contenido de alta riqueza multimedia.

• El tratamiento de señales visuales es la raíz del *boom* multimedia.

- Tratamiento de señales de vídeo: un campo multidisciplinar (vídeo, gráficos, visión, bases de datos multimedia, adaptación, *networking*, etc.).
- Tratamiento de imágenes como fundamento e iniciación.

• Campos de aplicación

- Teledetección (*remote sensing*), transmisión y almacenamiento (ofimática, TV), medicina, radar y sónar, astronomía, visión para procesos industriales (robótica), vigilancia, síntesis, exploración geológica, soldadura, etc.
- Aplicable a cualquier situación que maneje datos 2D digitales (temperaturas, presiones, etc.).

• Parcelas de estudio

- Representación y modelado: qué representa cada muestra o píxel, caracterización matemática, muestreo y cuantificación, transformadas, representaciones estadísticas.
- Procesamiento:
 - Mejora (*enhancement*): realce de información existente, algoritmos interactivos, muy dependiente de la aplicación.
 - Restauración: minimización de degradaciones conocidas (sistemas lineales, modelos de ruido, estimadores no lineales).
 - Análisis: medición cuantitativa de características para describir el contenido (segmentación como técnica básica).
 - Reconstrucción: de objetos 2D o 3D a partir de proyecciones u observaciones 1D (e.g., rayos X).
- Comunicación: codificación, compresión (reducción del n° de bits sin perder información apreciable) y estándares.

- Introducción
- Formación de imágenes
 - Luz
 - Luminancia y color
 - Sensación de brillo
 - Modelo de caracterización del brillo
 - Luminosidad y efecto Weber
 - Corrección Gamma
 - Respuesta en frecuencia espacial del SVH
 - Respuesta en frecuencia temporal del SVH
 - Criterios de fidelidad
- Representación del color
- Tecnologías de Captura y Presentación

- Onda electromagnética en el espectro visible (380-780nm)
- Intensidad de radiación: función de densidad espectral de energía

$$C(\mathbf{X}, t, \lambda), \quad \mathbf{X} = (x, y, z)$$

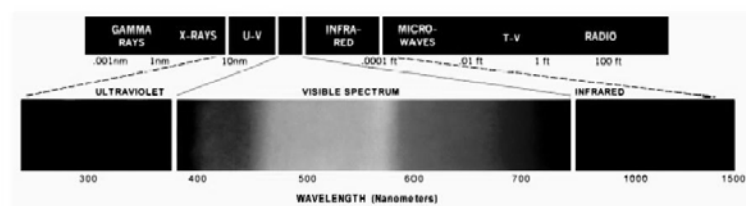
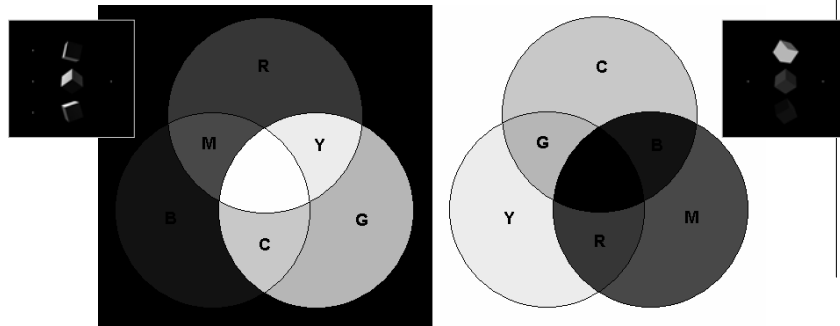


Imagen superior extraída de "Video processing and communications", Y. Wang, Prentice Hall, 2002

- Si se recibe de un objeto, la intensidad *recibida* es la incidente (*E*) afectada por la reflexión difusa y por la reflexión especular (*r*). En general:

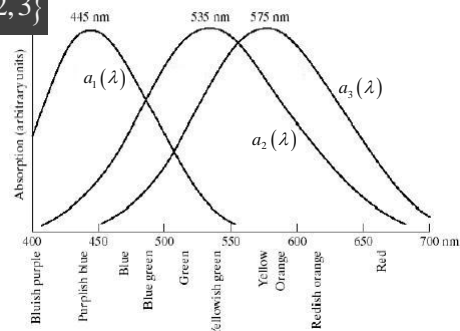
$$C(\mathbf{V}, geom, t, \lambda) = r(\mathbf{V}, geom, t, \lambda) \cdot E(geom, t, \lambda)$$

- Fuentes primarias o emisoras (aditivas) y secundarias o reflectivas (sustractivas).



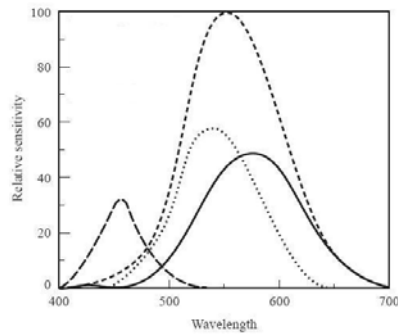
- Rangos de visión: escotópica, mesotópica, fotópica*.
- Fotoreceptores de la retina: conos (fotópica, color, día) y bastones (escotópica, no color, noche).
- Teoría tri-receptor del color (1802): los receptores dan lugar a sólo tres valores:

$$\alpha_i(c) = \int C(\lambda) \cdot a_i(\lambda) d\lambda, \quad i \in \{1, 2, 3\}$$





- *Sensación de color*: luminancia (Y) y crominancia (tinte, saturación)

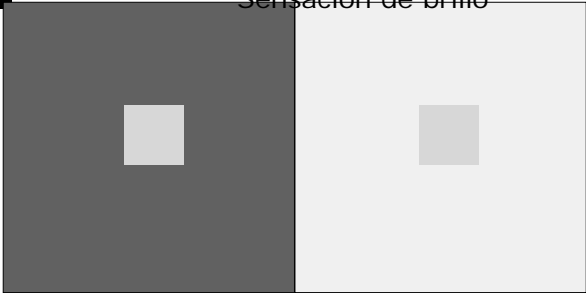
$$Y = \int C(\lambda) \cdot a_Y(\lambda) d\lambda, \quad a_Y(\lambda) = a_1(\lambda) + a_2(\lambda) + a_3(\lambda)$$



- Sistema perceptual sensible al cambio y adaptable a cada situación, y con una determinada sensibilidad ante variaciones espaciales y temporales.
- Sistema visual humano (SVH-HVS): la luminancia estimula la sensación de brillo; el brillo es la luminancia percibida.
- No hay medida generalmente aceptada del brillo. Viene condicionado por:
 - Valor de la luminancia respecto de su entorno
 - Estado de adaptación de nuestro sistema visual.
 - Para un estado dado, diferencia percibida entre dos luminancias.
 - Distribución espacio-temporal de la luminancia.

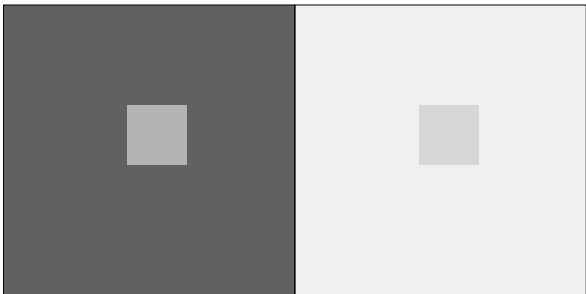
Formación de Imágenes: Sensación de brillo



Respuesta relativa al entorno: contraste simultáneo

L

R



Respuesta relativa al entorno: contraste simultáneo

L

R

TAPS: Tratamiento Digital de Señales Visuales (JoseM.Martinez@uam.es) Octubre 2010 Introducción 11

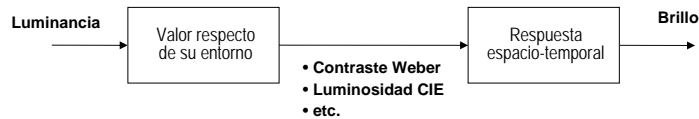



Formación de Imágenes: Sensación de brillo



Respuesta a la distribución espacial de luminancia

TAPS: Tratamiento Digital de Señales Visuales (JoseM.Martinez@uam.es) Octubre 2010 Introducción 12



- Modo de evaluar el brillo de elementos pequeños y bien definidos respecto a fondos uniformes.
- Luminosidad (CIE'1986 - *Commission Internationale de L'Éclairage*):

- Función no lineal de la luminancia (Y), relativa a la máxima luminancia del dispositivo de presentación (Y_n):

$$L = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

- La diferencia de luminosidad entre un elemento (Y_E) y el fondo (Y_B) resulta:

$$\Delta L = 116 \left(\frac{Y_E - Y_B}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

- El mínimo incremento perceptible de luminosidad corresponde a $\Delta L = 1$

☛ Contraste Weber (Weber, Fechner, 1860)

- La Ley de Weber indica que el HVS es sensible a cambios de luminancia relativos al entorno próximo: *la relación entre el incremento mínimo perceptible de luminancia de un objeto respecto de su entorno y la propia luminancia del entorno es constante.*

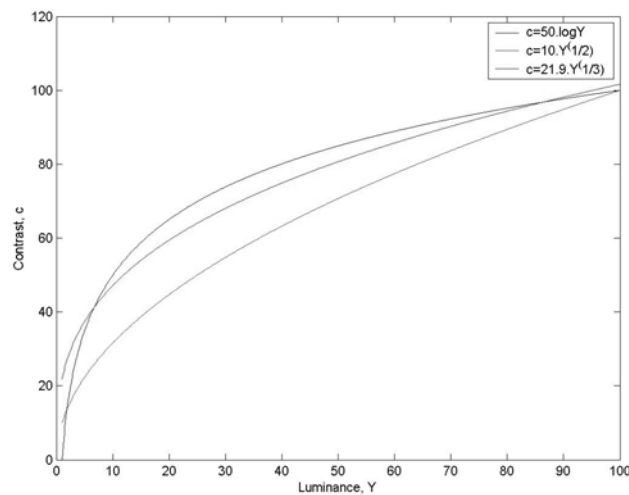
$$\frac{\Delta Y_{\min}}{Y} = \Delta c_{\min} = cte$$

- La Ley de Weber permite deducir una expresión para el *contraste*:

$$\text{Dado que } d(\log_a Y) = \frac{\log_a e}{Y} dY \Rightarrow \Delta(\log_a Y) = \frac{\Delta Y}{Y} = \Delta c \Rightarrow c = a_1 + a_2 \cdot \log_a Y$$

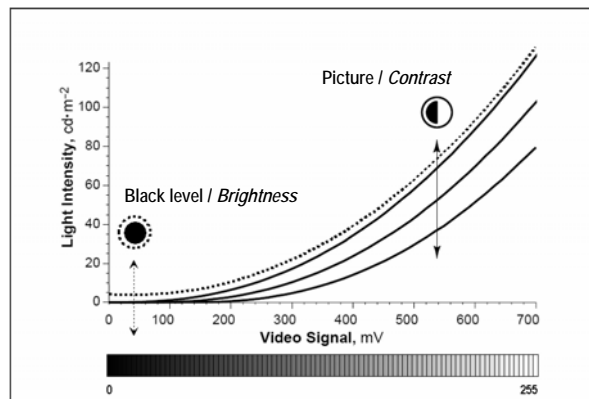
- En la práctica se usan también aproximaciones exponenciales:

$$c = \alpha_n \cdot Y^{1/n}, n = 2 (\alpha_2 = 10), 3 (\alpha_3 = 21.9), \dots$$



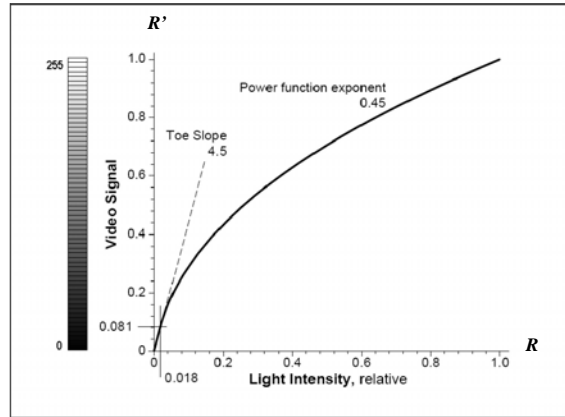
- La intensidad de luz que produce un dispositivo de presentación no suele ser función lineal del voltaje que se le aplica.
- En el caso de un CRT (*Cathodic Ray Tube*) la intensidad es proporcional a la tensión elevada a 2,5. A este factor se le denomina *gamma*.
- Los sistemas de captación codifican la señal de vídeo, previamente a transmitirla o almacenarla, con una función inversa para compensar o *corregir la gamma* que caracteriza esta no linealidad.
- La corrección gamma en TV tiene en cuenta aspectos perceptuales.
- Coexistencia de sistemas con diversas correcciones. Efectos no deseados por incoherencia en los factores de corrección.

Gamma: respuesta de un CRT a una señal de tensión de entrada



$$\text{Light} = \text{Signal}^\gamma \quad (\gamma = 2.5)$$

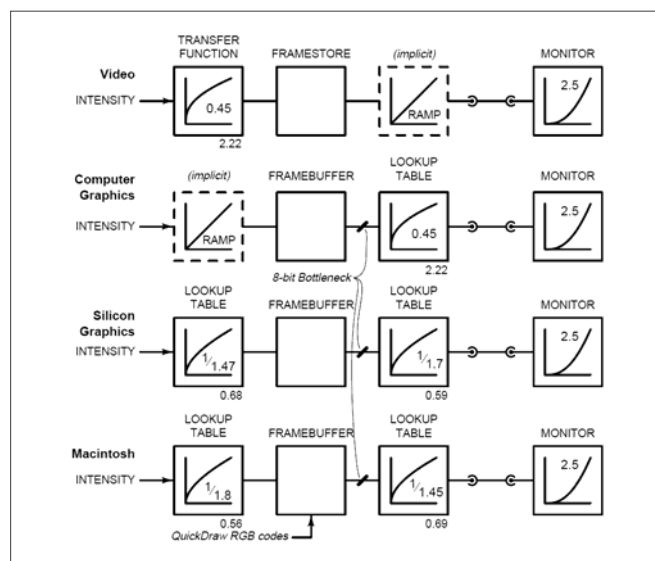
Corrección gamma en la banda R de la REC709



$$R'_{709} = \begin{cases} 4.5R & , R \leq 0.018 \\ 1.099R^{0.45} - 0.099 & , R > 0.018 \end{cases}$$

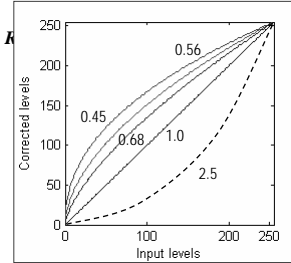
$$R = \begin{cases} R'_{709}/4.5 & , R'_{709} \leq 0.081 \\ \left(\frac{R'_{709} + 0.099}{1.099} \right)^{\frac{1}{0.45}} & , R'_{709} > 0.081 \end{cases}$$

Corrección gamma en diversos sistemas



Incoherencias en la corrección gamma

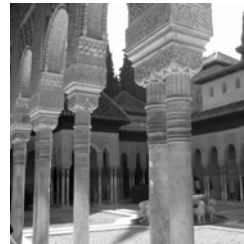
Sin corrección (1.0)



Corregida 0.45



Corregida 0.68
(SILICON)



Corregida 0.56
(MAC)

• Obtención de la respuesta al impulso: bandas de *Mach* (~1865)

- Fenómeno causado en una transición abrupta de luminancia, que demuestra de nuevo que el brillo no es proporcional a la luminancia.
- Esta respuesta a un escalón se puede utilizar para obtener la respuesta al impulso espacial.
- La respuesta evidencia el efecto de *inhibición lateral* del HVS.

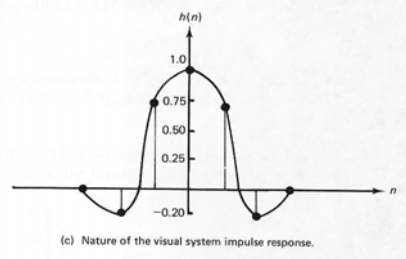
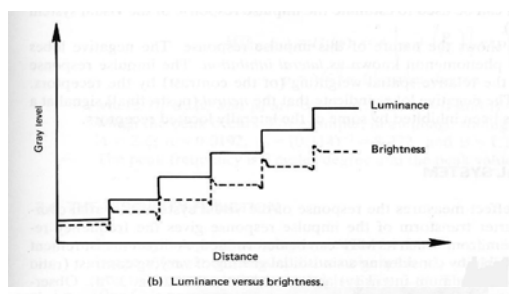
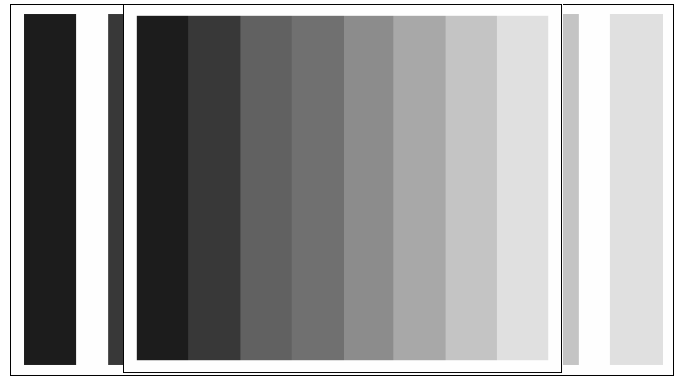
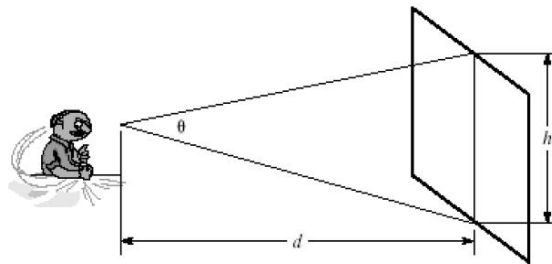


Imagen extraída de "Fundamentals of Digital Image Processing", A.K. Jain, Prentice Hall, 1989

• Obtención directa de la respuesta en frecuencia: pruebas subjetivas.

- Sensibilidad a patrones espaciales estacionarios. Se asume isotrópica y se calcula en función de la frecuencia angular (ciclos/°).



$$\theta = 2 \cdot \arctan\left(\frac{h/2}{d}\right) = \frac{h}{d} \text{ (rad)} = \frac{180h}{\pi d} \text{ (}^\circ\text{)}$$



$$f_o = \frac{f_s}{\theta} = \frac{\pi d}{180h} f_s \text{ (ciclos/}^\circ\text{)}$$

Imagen extraída de "Video processing and communications", Y. Wang, Prentice Hall, 2002

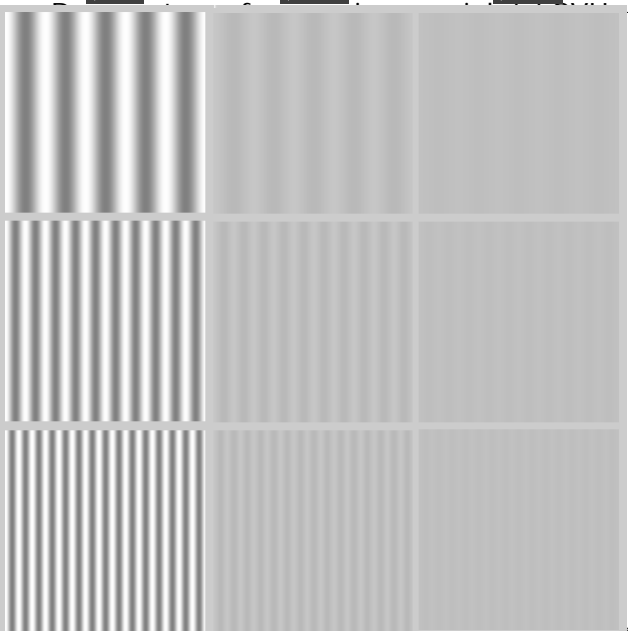
• Obtención directa de la respuesta en frecuencia: pruebas subjetivas.

- Sensibilidad a patrones espaciales estacionarios. Se asume isotrópica y se calcula en función de la frecuencia angular (ciclos/°).
- Experimentos como el de Kelly (1979), a base de patrones sinusoidales, muestran una respuesta en forma de filtro paso-banda. Patrón espacial de la forma:

$$c(x) = L_0 \cdot \left(1 + m \cdot \cos(2\pi \cdot f_x \cdot x)\right)$$




 $1/m = 1$
 $1/m = 10$
 $1/m = 50$


Formación de Imágenes:

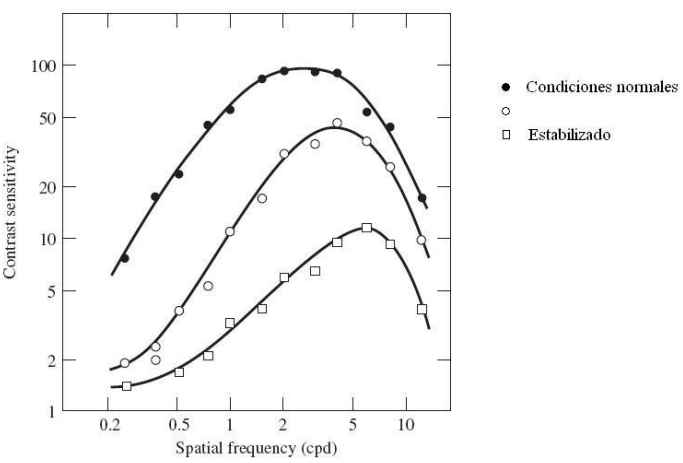


$f_x = 5$
 $f_x = 10$
 $f_x = 15$

TAPS: Tratamiento Digital de Señales Visuales (JoseM.Martinez@uam.es) Octubre 2010 Introducción 27


Formación de Imágenes:


Respuesta en frecuencia espacial del SVH



● Condiciones normales
 ○ Estabilizado
 □ Estabilizado

Imagen extraída de "Video processing and communications", Y. Wang, Prentice Hall, 2002

TAPS: Tratamiento Digital de Señales Visuales (JoseM.Martinez@uam.es) Octubre 2010 Introducción 28

• Respuesta temporal:

- Sensibilidad a variaciones temporales de contraste.
- Experimento de *Kelly* (1961), con patrones temporales de variación sinusoidal:

$$c(t) = L_0 \cdot (1 + m \cdot \cos(2\pi \cdot f_i \cdot t))$$

- Respuesta en forma de filtro paso-banda, corte dado por el periodo de persistencia del ojo, más sensible a mayor brillo medio.



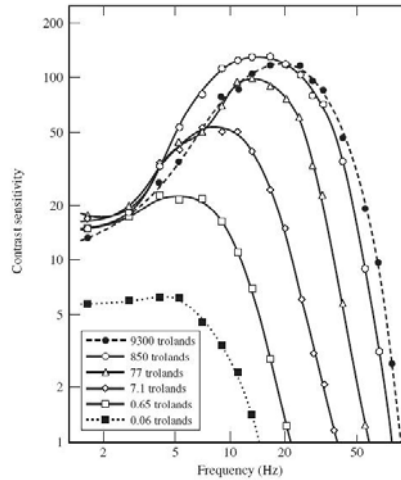


Imagen extraída de "Video processing and communications", Y. Wang, Prentice Hall, 2002

✿ Respuesta espacio-temporal:

- Reducción general de la sensibilidad espacial y temporal (aprovechada por el entrelazado en TV).
- Las respuestas espaciales y temporales pasan de ser paso-banda a ser paso-bajo, es decir, aumenta la sensibilidad relativa en bajas frecuencias (al acercarnos a la TV, reduciendo así la frecuencia angular, vemos el *flicker*).

✿ Efecto del seguimiento del ojo sobre la sensibilidad temporal.

• Escalas subjetivas:

- Escalas de bondad aplicadas sobre una imagen aislada (globales) o comparativamente sobre un grupo de imágenes.
- Escalas de defectos, basadas en la apreciación de su mayor o menor visibilidad.
- Método de la burbuja para clasificar conjuntos de imágenes.

• Medidas objetivas:

▪ Error cuadrático medio:
$$\sigma_{mse}^2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |\psi[n, m] - \psi'[n, m]|^2$$

▪

▪ Relación señal a ruido:
$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sigma^2}{\sigma_{mse}^2} \quad PSNR$$

- Introducción
- Formación de imágenes
- Representación del color
 - Teoría tricromática
 - Especificación de la cualidad del color. Cromaticidad
 - Temperatura de color y balance de blanco
- Tecnologías de Captura y Presentación

Teoría tricromática de la mezcla de colores (1855)

- Sensación de color: "La mayor parte de los colores pueden reproducirse mezclando tres, denominados primarios".

- Según la teoría tri-receptor, nuestros conos generan tres valores por color:

$$\alpha_i(c) = \int C(\lambda) \cdot a_i(\lambda) d\lambda, \quad i \in \{1, 2, 3\}$$

- Seleccionamos tres primarios con distribuciones $P_k(\lambda)$ tales que $\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P_k(\lambda) d\lambda = 1$ y que sean linealmente independientes.

- Si se mezclan en proporciones β_k para generar un color cualquiera $C(\lambda)$, ha de verificarse:

$$\alpha_i(c) = \int \left[\sum_{k=1}^3 \beta_k \cdot P_k(\lambda) \right] \cdot a_i(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^3 \beta_k \cdot a_{i,k}, \quad \text{con} \quad a_{i,k} = \int P_k(\lambda) \cdot a_i(\lambda) d\lambda$$

- Estas son las *color matching equations*:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}$$

- La energía de los primarios se calibra con respecto a un *blanco de referencia*:

$$W(\lambda) = w_1 \cdot P_1(\lambda) + w_2 \cdot P_2(\lambda) + w_3 \cdot P_3(\lambda)$$

- Se definen las cantidades relativas de cada primario (valores *tristímulo*) necesarias para generar un color:

$$T_k(c) = \frac{\beta_k}{w_k}$$

- Para cada color monócromo, $C(\lambda) = \delta(\lambda - \lambda')$, obtengo la terna aplicando las *color matching equations*:

$$\sum_{k=1}^3 w_k \cdot T_k(\lambda') \cdot a_{i,k} = \alpha_i(c) = \int \delta(\lambda - \lambda') \cdot a_i(\lambda) d\lambda = a_i(\lambda'), \quad i = \{1, 2, 3\}$$

- , de modo que puedo determinar tres *color matching functions*, $T_k(\lambda)$, a partir de las cuales, para cualquier color puedo obtener sus *valores tristímulo* según:

$$T_k(c) = \int C(\lambda) \cdot T_k(\lambda) \cdot d\lambda$$

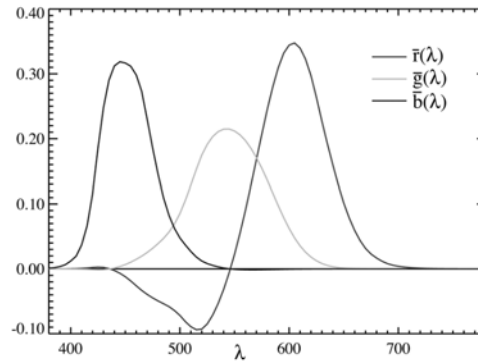
- Los valores $T_k(c), k = \{1, 2, 3\}$ definen un sólido de color del que sólo se pueden representar aquellos colores que verifiquen $T_k(c) \geq 0, \forall k \in \{1, 2, 3\}$.

- El objetivo es buscar primarios que representen tantos colores como sea posible (*valores tristímulo* positivos).

- Esta teoría es la base de la captación y representación del color. Una cámara (o monitor) ha de tener sensores (o emisores) con una respuesta en frecuencia igual a las *color matching functions*.

Color matching functions para 1931 CIE-RGB

$$\begin{aligned} P_1(\lambda) &= \delta(\lambda - \lambda_1) & \lambda_1 &= 700 \text{ nm (R)} \\ P_2(\lambda) &= \delta(\lambda - \lambda_2) & \lambda_2 &= 546.1 \text{ nm (G)} \\ P_3(\lambda) &= \delta(\lambda - \lambda_3) & \lambda_3 &= 435.8 \text{ nm (B)} \end{aligned}$$



Imágenes extraídas de "en.wikipedia.org"

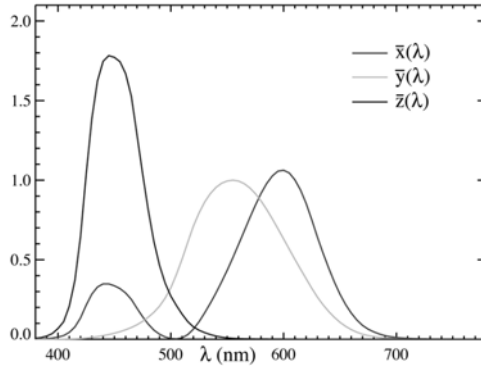
- La sensación de color (tinte, saturación) depende de la ponderación *relativa* de los primarios, por lo que con dos valores es posible especificar un color.
- Cromaticidades: separan la crominancia (tinte y saturación) de la luminancia:

$$t_k(c) = \frac{T_k(c)}{T_1(c) + T_2(c) + T_3(c)}, \quad k = \{1, 2, 3\} \quad \sum_{k=1}^3 t_k(c) = 1$$

- CIE-XYZ: conjunto de primarios no realizables capaz de representar todos los colores que percibimos:
 - 1931 CIE-XYZ *color matching functions*.
 - Diagrama de cromaticidad: representación de $x = t_x(c)$ e $y = t_y(c)$
- Sistemas de especificación del color (RGB, YIQ, YUV, HSI, Lab, etc.).

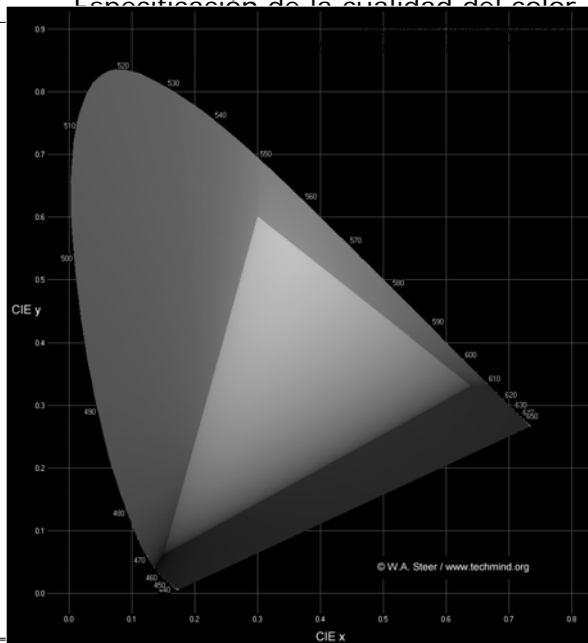
Representación del Color:
Especificación de la cualidad del color
(crominancia)

Color matching functions para CIE-XYZ



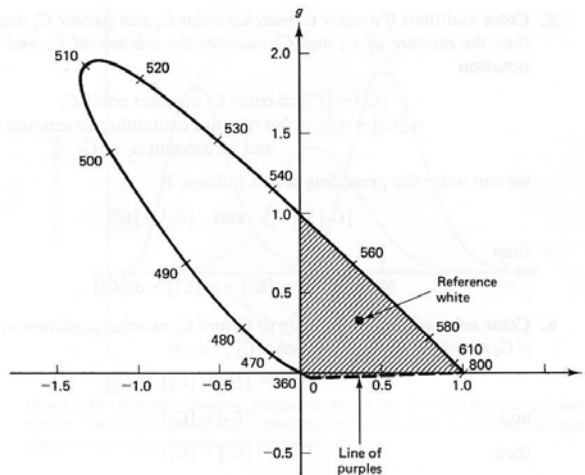
Imágenes extraídas de "en.wikipedia.org"

Representación del Color:
Especificación de la cualidad del color



© W.A. Steer / www.techmind.org

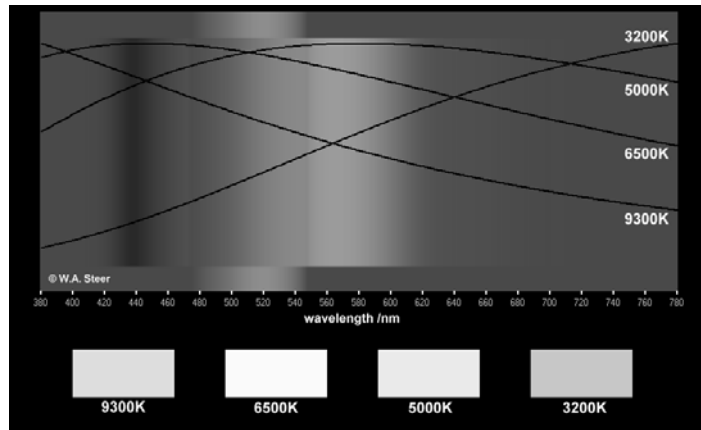
Representación del Color:
Especificación de la cualidad del color
(crominancia)



Representación del Color:
Temperatura de color y balance de blancos

- El color percibido de un objeto no radiante depende del tipo de fuente que lo ilumine, por lo que la fuente ha de considerarse en su especificación.
- La distribución espectral de la energía radiada por un material que se calienta es esencialmente igual para todos los materiales; sólo depende de su temperatura: radiación de un cuerpo negro.

Densidad espectral de energía radiada por un cuerpo negro en función de T(°K)



$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

- La *temperatura de color* es una medida de la cualidad de una fuente de luz. Se corresponde con la temperatura en °K a la que debe estar un cuerpo negro para que genere una luz con igual distribución espectral. Luz incandescente y natural.

Color de un cuerpo negro en función de T(°K)



Temperatura de color (fuentes artificiales)

Cerilla	1700 K
Vela	1850 K
Lámpara incandescente (tungsteno) – 40w	2650 K
Lámpara incandescente (tungsteno) – 100w	2865 K
Lámpara de estudio profesional (CP)	3350 K
Luz fluorescente blanca*	5200 K
Flash electrónico*	5500 K
Lámpara de descarga de Xenon*	6420 K
Pantalla de un televisor analógico* (CRT)	9300 K

* Fuentes no incandescentes: *Color Rendering Index (CRI)* como indicador de la fiabilidad del color indicado por la temperatura de color.

Temperatura de color (fuentes naturales)

Sol: Puesta / Salida	2000 K
Sol: Una hora antes/tras puesta/salida	3550 K
Luz de día D50 (estándar USA)	5000 K
Sol: mediodía en verano - latitudes medias	5400 K
Sol: mediodía en verano	5800 K
Luz: día nublado	6000 K
Luz de día D65 (estándar UE)	6500 K
Luz: mediodía soleado en verano – sombra	7100 K
Luz: mediodía soleado en verano	9500 a 30000 K
Luz de un rayo	28000 a 30000 K

• Aplicación a sistemas de captura y representación:

- Ajuste de la temperatura de color (un parámetro) para que los primarios de los dispositivos se adapten a una fuente que ilumina o emulen una fuente que radia, ambas definidas de modo estándar por su temperatura.
- El balance de blancos es similar: consiste en ajustar la sensibilidad de las crominancias (dos parámetros) para lograr un *blanco de referencia (white point)* que depende del tipo de fuente que ilumina o que se desea emular, ya sea definiéndola de modo estándar o a partir de nuestra percepción de un color blanco de la escena.

Puntos Blancos

Name	CIE 1931		CIE 1964		CCT °K	Hue	Note
	x	y	x	y			
E	1/3	1/3	1/3	1/3	5400		Equal energy
D50	0.34567	0.35850	0.34773	0.35952	5000		
D55	0.33242	0.34743	0.33411	0.34877	5500		
D65	0.31271	0.32902	0.31382	0.33100	6500		Television, sRGB color space
D75	0.29902	0.31485	0.29968	0.31740	7500		
A	0.44757	0.40745	0.45117	0.40594	2856		Incandescent tungsten
B	0.34842	0.35161	0.3498	0.3527	4874		Discontinued
C	0.31006	0.31616	0.31039	0.31905	6774		Discontinued
9300	0.28480	0.29320			9300		Blue phosphor monitors
F2	0.37207	0.37512	0.37928	0.36723	4200		Cool White Fluorescent
F7	0.31285	0.32918	0.31565	0.32951	6500		Narrow Band Daylight Fluorescent
F11	0.38054	0.37691	0.38543	0.37110	4000		Narrow Band White Fluorescent

Información extraída de "en.wikipedia.org"



Captura con iluminación interior bien ajustada



Captura con iluminación interior ajustada a luz de día, más cálida (azul) que la interior



Captura con iluminación de día ajustada a luz de interior, más fría (roja) que la luz de día.

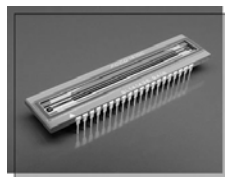
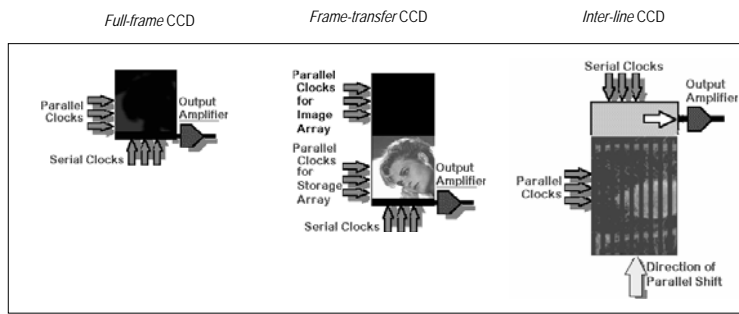


Captura con iluminación de día bien ajustada

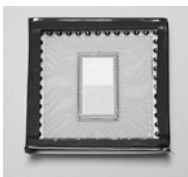
Imágenes extraídas de "www.cs.mtu.edu/~shene"

- Introducción
- Formación de imágenes
- Representación del color
- Tecnologías de Captura y Presentación
 - Captura: CCD y color
 - Presentación: emisión y proyección

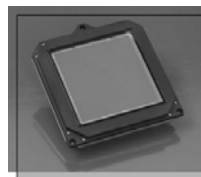
- *Arrays* de dispositivos enlazados sensibles a la luz y capaces de almacenar carga. Elevada eficiencia (70%) y sensibles a la banda infrarroja.
- Origen en 1969, en los *Bell Labs*, con idea de hacer memorias semiconductoras. Primer CCD comercial en 1973 (100x100 píxeles).
- Tipos de CCD:
 - *Full-frame*: necesita obturador mecánico y tiempo para ser leído, *fill factor* del 100%. Máximas calidad de imagen y complejidad para tasas altas.
 - *Frame-transfer*: CCD de doble tamaño (zona de captura y zona de almacenamiento), conforme se lee se capta la siguiente imagen, no es imprescindible el obturador, *fill factor* del 100%, doble coste.
 - *Interline*: evolución del *frame-transfer* con las zonas de captura y almacenamiento entrelazadas en columnas, *fill factor* del 50% (ampliable al 90% con lentes). Máxima velocidad y robustez y mínima calidad.



CCD Lineal



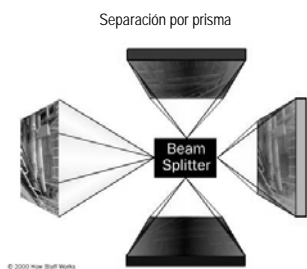
Frame-transfer CCD



Full-frame CCD

Imágenes extraídas de www.galaxia.com

- Hay varias aproximaciones a la captura de imágenes en color mediante CCDs:
 - Separación del haz de luz en tres colores primarios (RGB) y utilización de tres CCDs: máxima calidad de color y máximo coste.
 - Uso de un filtro de color rotativo: máxima calidad de color a costa de un aumento (>x3) del tiempo de captura.



Imágenes extraídas de www.howstuffworks.com

- Hay varias aproximaciones a la captura de imágenes en color mediante CCDs:
- Separación del haz de luz en tres colores primarios (RGB) y utilización de tres CCDs: máxima calidad de color y máximo coste.
 - Uso de un filtro de color rotativo: máxima calidad de color a costa de un aumento (>x3) del tiempo de captura.
 - *Color filter arrays*: colocación de un filtro de color delante de cada píxel (*array* de filtros), baja complejidad a costa de obtener una resolución menor que la del CCD y una calidad de color inferior. El más popular es el filtro de Bayer (1973).
 -

Filtro de Bayer:

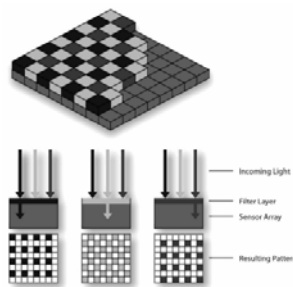


Imagen Bayer



Demosaicing

Imagen interpolada

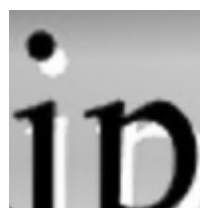
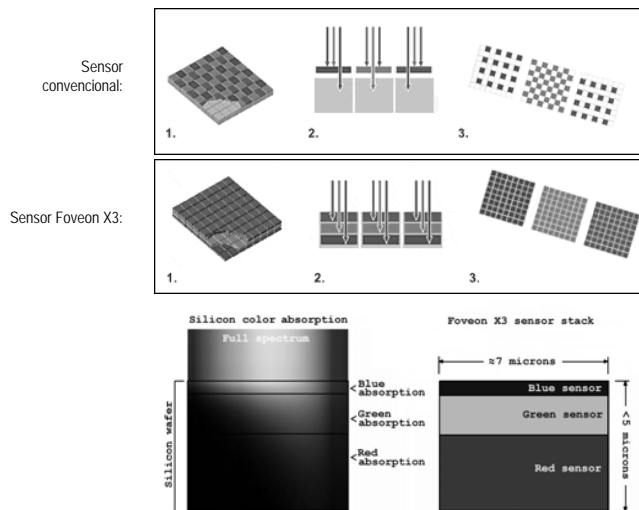


Imagen original



Imágenes extraídas de "en.wikipedia.org"

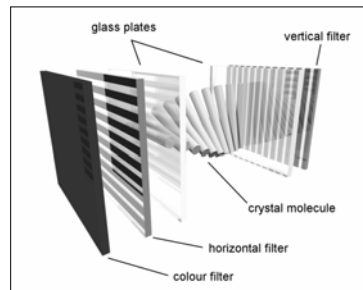
- Hay varias aproximaciones a la captura de imágenes en color mediante CCDs:
 - Separación del haz de luz en tres colores primarios (RGB) y utilización de tres CCDs: máxima calidad de color y máximo coste.
 - Uso de un filtro de color rotativo: máxima calidad de color a costa de un aumento (>x3) del tiempo de captura.
 - *Color filter arrays*: colocación de un filtro de color delante de cada píxel (*array* de filtros), baja complejidad a costa de obtener una resolución menor que la del CCD y una calidad de color inferior. El más popular es el filtro de Bayer (1973).
 - La tecnología X3 (2002) de Foveon.



Imágenes extraídas de "en.wikipedia.org" y de "www.foveon.com"

- Tecnologías LCD (*Liquid Crystal Display*):
 - Control del paso de luz entre dos filtros polarizados perpendiculares.
 - Dispositivos de matriz activa (AMLCD).
 - Desventajas: resolución, contraste, ángulo de visión, tiempo de respuesta, paneles pequeños.

Estructura de un sub-píxel de un LCD en color



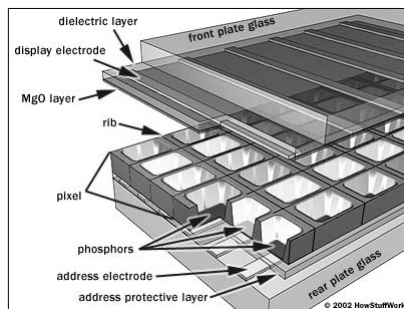
Resoluciones típicas de paneles LCD para monitores

Monitor	Resolution
QVGA (quarter-video graphics array)	320 x 240
VGA (video graphics array)	640 x 480
SVGA (super video graphics array)	800 x 600
XGA (extended graphics array)	1024 x 768
WXGA (wide extended graphics array)	1280 x 800
SXGA (super extended graphics array)	1280 x 1024
SXGA+	1400 x 1050
UXGA (ultra extended graphics array)	1600 x 1200
WSXGA (wide super extended graphics array)	1680 x 1050
WUXGA (wide ultra extended graphics array)	1920 x 1200

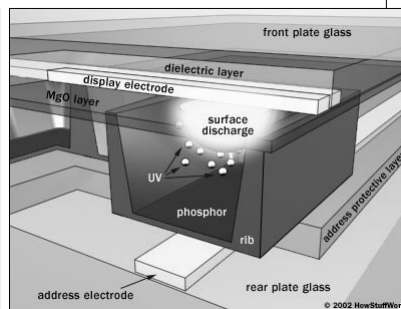
Imágenes extraídas de "en.wikipedia.org"

- Tecnologías PDP (*Plasma Display Panel*):
 - Generación de luz coloreada por ionización de celdas de gas.
 - Desventajas: tiempo de vida, eficiencia, fragilidad, *burn-in*.

Estructura de un *display* PDP



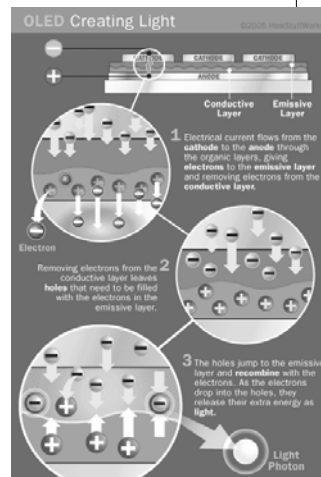
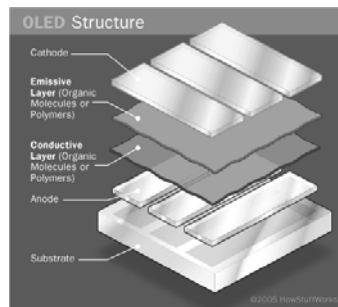
Detalle de un sub-píxel



Imágenes extraídas de "howstuffworks.com"

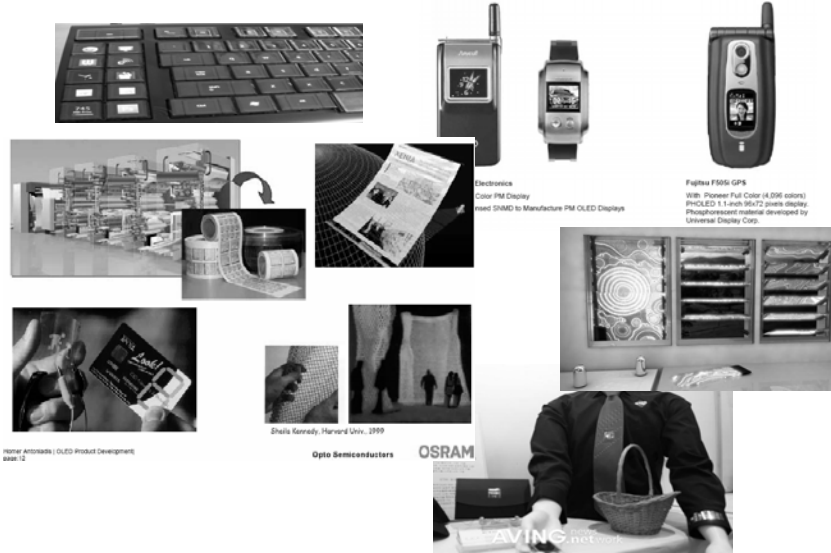
- Tecnologías OLED (*Organic Light Emitting Diodes*):
 - Basado en el principio de la electroluminiscencia orgánica.
 - Desventajas: tiempo de vida, necesidad de sellado.

Estructura de un *display* OLED



Imágenes extraídas de "howstuffworks.com"

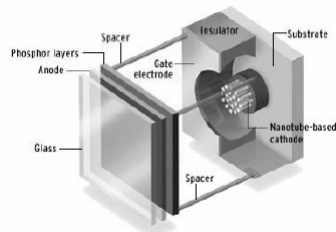
Aplicaciones actuales y futuras de los *displays* OLED:



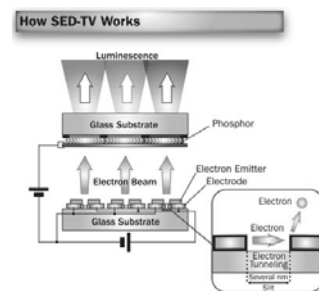
■ Tecnologías basadas en "micro CRT" (*Cathode Ray Tube*):

- FED (*Field Emission Display*)
- SED (*Surface-conduction Electron-emitter Display*)

Estructura de un *display* FED



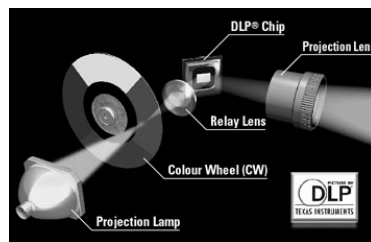
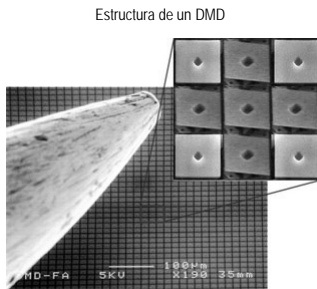
Estructura de un *display* SED



Imágenes extraídas de "howstuffworks.com" y de Lytica (white paper)

■ Tecnologías DLP (*Digital Light Processing*):

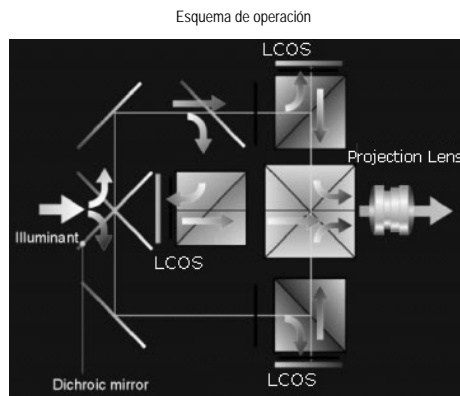
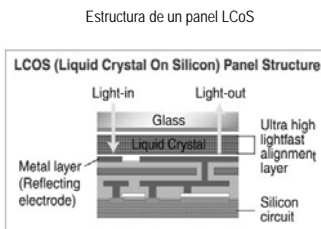
- Basada en una matriz de micro-espejos o DMD (*Digital Micromirror Device*), de estado controlable a gran velocidad.



Imágenes extraídas de "Digital Light Processing" y de NimbleGen Systems Inc.

■ Tecnologías LCoS (*Liquid Crystal on Silicon*):

- Basado en una superficie reflectante tapada por celdas LCD que controlan la cantidad de luz reflejada.



Imágenes extraídas de "hitachi.co.jp".

- ◆ Introducción
- ◆ Formación de imágenes
 - Luz
 - Luminancia y color
 - Sensación de brillo
 - Modelo de caracterización del brillo
 - Luminosidad y efecto Weber
 - Corrección Gamma
 - Respuesta en frecuencia espacial del SVH
 - Respuesta en frecuencia temporal del SVH
 - Criterios de fidelidad
- ◆ Representación del color
 - Teoría tricromática
 - Especificación de la cualidad del color. Cromaticidad
 - Temperatura de color y balance de blanco
- ◆ Tecnologías de Captura y Presentación
 - Captura: CCD y color
 - Presentación: emisión y proyección

Estas transparencias están editadas a partir de las generadas por el profesor

Jesús Bescós Cano durante sus años de impartición de esta asignatura.