

Estructura de Computadores 2 [08/09]

Periféricos

1. Introducción
2. Dispositivos de almacenamiento
3. Hardware gráfico

27 de mayo de 2009

Bibliografía

- *Computer Architecture: A Quantitative Approach (3rd or 4th ed.)*, John L. Hennessy y David A. Patterson. Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- *Organización y arquitectura de computadores (7th ed.)*, William Stallings. Prentice Hall.
- *Organización de Computadores*, C. Hamacher, Z. Vranesic y S. Zaky. Mc Graw Hill, 2003.
- *Computer Organization and Design: The hardware/software interface (3rd ed.)*, David A. Patterson and John L. Hennessy. Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- *Real Time Rendering (3rd ed.)*, Tomas Akenine-Möller, Eric Haines y Naty Hoffman. A.K. Peters Ltd.

Introducción

- Taxonomía de dispositivos de E/S:
 - por comportamiento
 - entrada
 - salida
 - almacenamiento
 - por «interlocutor»
 - persona
 - máquina
 - por tasa de transferencia de datos
 - pico en la transferencia de datos generable entre dispositivo y procesador-memoria
- Ejemplos de dispositivos de E/S y velocidades:

Dispositivo	Comportamiento	Interlocutor	Transferencia (KB/s)
teclado	entrada	humano	0,01
ratón	entrada	humano	0,02
salida de voz	salida	humano	5,00
floppy disk	almacenamiento	máquina	50,00
impresora láser	salida	humano	100,00
disco magnético	almacenamiento	máquina	10 000,00
red inalámbrica	entrada/salida	máquina	10 000,00
tarjeta gráfica	salida	humano	30 000,00
red área local	entrada/salida	máquina	125 000,00

- Ejemplos dispositivo entrada-salida: **redes**
 - Medio más habitual para la comunicación entre ordenadores.
 - Características clave:
 - distancia
 - velocidad
 - topología
 - compartición de canal
 - Ejemplos:
 - Conexión de terminales vía puerto serie: línea dedicada a muy bajo coste. Lento.
 - LAN. En esencia un bus sin control centralizado. Ej:
 - ◊ Ethernet - 10 *Mbit/s*
 - ◊ Fast-Ethernet - 100 *Mbit/s*
 - ◊ Giga-Ethernet - 1 *Gbit/s*
 - ◊ 10-Giga-Ethernet - 10 *Gbit/s*
 - Redes de largo alcance: ARPANET ⇒ INTERNET
 - Clave: estandarización de la pila de protocolos TCP/IP
 - IP: Direccionamiento entre elementos de la red
 - TCP: Control de paquetes
 - Redes inalámbricas (*Wireless Network*): WIFI (*IEEE* 802,11)

Memoria secundaria (*mass storage devices*)

- Tradicionalmente dispositivos de **almacenamiento magnético**. Todavía hoy los discos magnéticos son la base de la memoria secundaria de un ordenador.
- Inicialmente: tarjetas perforadas (*punched cards*).
- Actualmente: dispositivos magnéticos (discos y cintas magnéticas), ópticos (CD, DVD, HD DVD y Blu-ray Disc), magneto-ópticos (MiniDisc) y memorias flash.
- Principal diferencia con memoria principal: no volátiles.g
- Otras diferencias:
 - más lentos, al ser en muchos casos dispositivos mecánicos (excepción hoy en día de las memorias flash)
 - menor coste por megabyte → gran capacidad a bajo coste

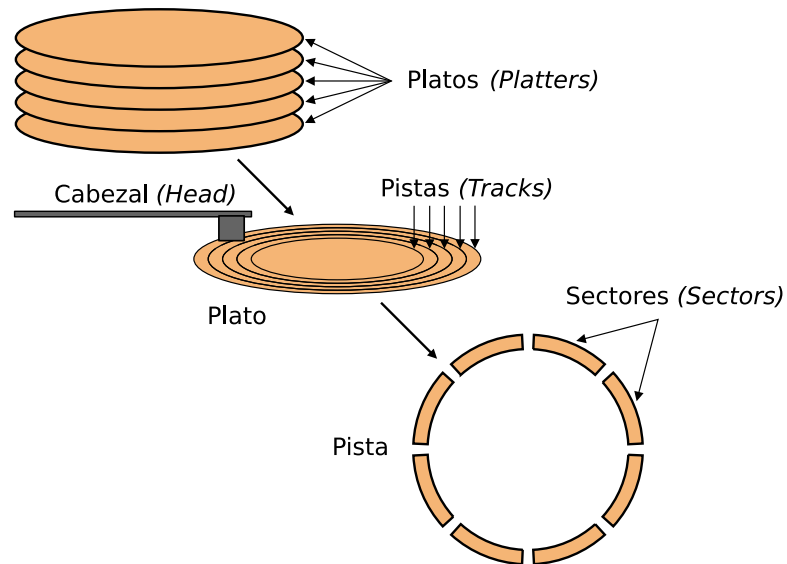


DISCOS MAGNÉTICOS

- Un disco magnético es un plato circular construido con metal o plástico cubierto por un material magnetizable. Los datos se graban en él y se recuperan mediante una bobina (cabeza o cabezal), que permanece quieta mientras el plato rota (con velocidad angular constante) bajo ella.
- Clásicamente hay dos tipos de discos magnéticos:
 - Disquettes (*floppy disks*): plato flexible
 - Discos duros (*hard disks*): plato metálico rígido
 - posibilidad de mayor tamaño, al ser rígido
 - posibilidad de mayor densidad de almacenamiento, al poder ser controlado de forma más precisa
 - posibilidad de girar a mayor velocidad → mayor tasa de transferencia de datos
 - posibilidad de incorporar más platos

Discos magnéticos

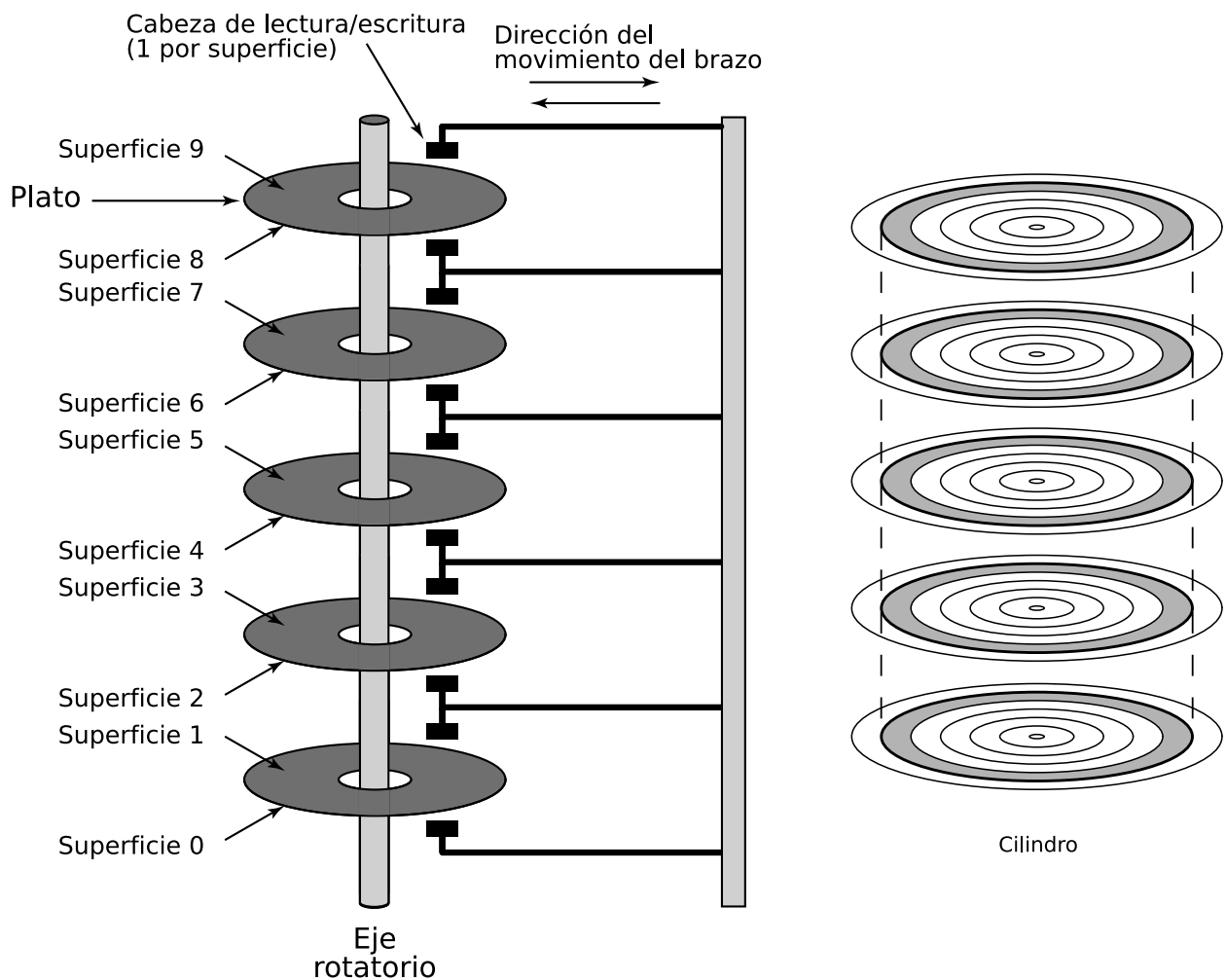
- Un sistema de disco consta de tres partes: el **disco** (el conjunto de discos o platos), el **mecanismo de disco** (mecanismo electromecánico que hace girar el disco y mueve las cabezas) y el **controlador de disco** (circuitaría electrónica que controla el funcionamiento del sistema).
- Los discos constan de una serie de platos (habitualmente entre 1 y 5, de entre 1" y 3,5") con dos superficies grabables cada uno, que giran a una velocidad de entre 5400 y 15000 *rpm*. Cada superficie magnética se divide en círculos concéntricos o pistas (entre 10K y 50K pistas por superficie). Las pistas se dividen en sectores (100 - 500 sectores por pista), donde se almacena la información (un valor típico suele ser de 512 *byte* por sector). Un sector es la mínima cantidad de información manejable (leer o escribir) del disco.



- Cada pista es del mismo ancho que la cabeza, y pistas adyacentes están separadas por bandas vacías, para evitar interferencias.
- Cada sector contiene, además de los datos que almacena, información de control útil para el controlador del disco. Los sectores contiguos en una pista se separan mediante huecos o separadores (*gaps*) en la superficie magnética. La estructura concreta de un sector depende del fabricante, pero normalmente incluye:
 - Identificación del sector
 - Datos
 - Información de estado
 - Código de corrección de errores (*ECC*)
 - Campos de sincronización
 - Huecos
- Tradicionalmente todas las pistas tenían el mismo número de sectores y almacenaban el mismo número de bits, con el objetivo de simplificar la electrónica
→ Menor densidad de grabación en pistas exteriores
- La sucesiva introducción de complejidad en las controladoras de disco permitió tanto el uso de **sectores de longitud variable** como de técnicas de grabación de **densidad de bit constante**.

Discos magnéticos

- Normalmente las cabezas de las diferentes superficies están conectadas entre sí, con lo que se mueven de forma conjunta, situándose sobre la misma pista en cada superficie magnética: **cilindro** (*cylinder*)



- Algunas características de los sistemas de discos:

- Transportabilidad del disco
 - Disco fijo
 - Disco extraíble
- Platos
 - Plato único
 - Múltiples platos
- Superficies
 - Superficie única
 - Superficie doble
- Desplazamiento de cabezas
 - Cabeza fija (una por pista)
 - Cabeza móvil (una por superficie)
- Mecanismo de la cabeza
 - Contacto (disquette)
 - Separación fija
 - Separación aerodinámica (Winchester)

Discos magnéticos

- A nivel de sistema de ficheros del SO, el acceso a bloques del tamaño de un sector es muchas veces impracticable ($20\text{ GB} / 512\text{ Bytes/sector} > 40$ millones de sectores)
- Sectores contiguos se agrupan en *clusters*. Un **cluster** es la menor unidad de disco que puede ser asignada a un fichero (típicamente $1 - 128\text{ sectores/cluster}$)
Ventajas de utilizar un tamaño de cluster grande: se optimizan recursos.
Inconvenientes: Aumento de espacio desperdiciado.
- En la actualidad los discos duros suelen incorporar memorias caché para aumentar su rendimiento.
- Proceso de acceso a los datos. 2 fases:

1. **Acceso al bloque** → **tiempo de acceso**. 2 pasos:

- a) Búsqueda o Posicionado (*seek*). Seleccionar la pista correcta a la que acceder: colocación de la cabeza sobre la pista en sistemas con cabeza móvil, selección electrónica de una cabeza en sistema con cabezas fijas
→ **tiempo de búsqueda** (*seek time*) (se proporcionan valores mínimo, máximo y medio)
- b) Espera (*wait*). Esperar a que la rotación en la pista coloque el sector deseado bajo la cabeza
→ **latencia o retardo rotacional** (*rotational latency/delay*)
Latencia media: la mitad de la revolución del disco

$$Lat_{avg} = \frac{0,5\text{ rotación}}{\text{velocidad de rotación del disco (rpm)}}$$

Ejemplo:

$$Lat_{avg} = \frac{0,5\text{ rotación}}{7200\text{ rpm}/60} = 4,2\text{ ms}$$

2. **Transferencia** (*transfer*). Transferencia de un bloque de bits (típicamente un sector). → **tiempo de transferencia** (*transfer time*): es función del tamaño de sector, la velocidad de rotación y la densidad de grabación de la pista. Puede expresarse como:

$$T_t = \frac{b}{rN}$$

T_t = tiempo de transferencia
 b = número de bytes a transferir
 N = número de bytes en la pista
 r = velocidad de rotación (rps)

- Adicionalmente:

3. Control del disco y de la transferencia → **tiempo del controlador**
4. Tiempos de espera adicionales impuestos por el sistema

⇒ Tiempo de acceso medio total:

$$\begin{aligned} T_a &= T_s + T_r + T_t + T_{contr} + T_{espera} \\ &= T_s + \frac{1}{2r} + \frac{b}{rN} + T_{contr} + T_{espera} \end{aligned}$$

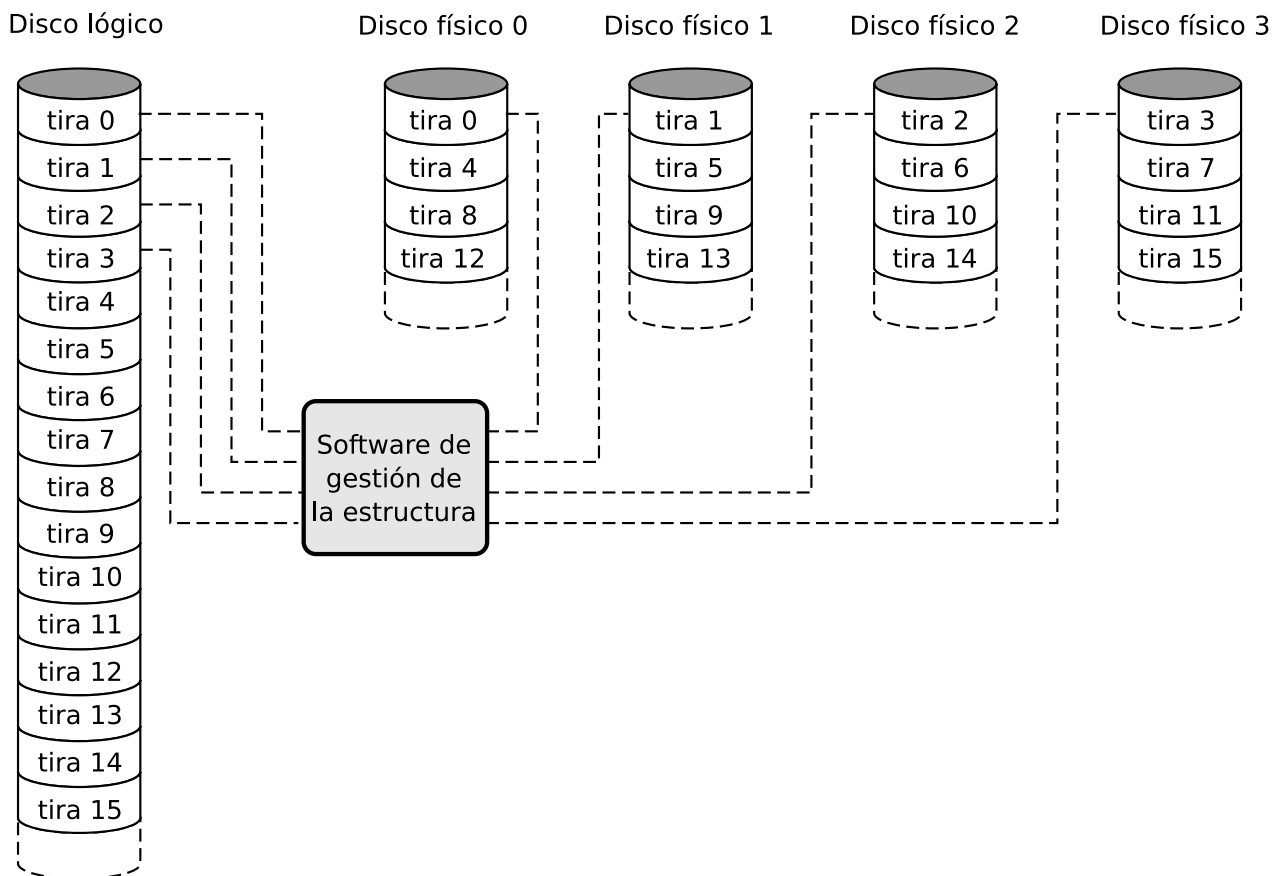
RAID (*Redundant Array of Inexpensive/Independent Disks*)

- Conjuntos de discos que operan independientemente y en paralelo. Mejora en
 - rendimiento
 - ✓ Con varios discos, las peticiones separadas de E/S se pueden gestionar en paralelo si los datos requeridos residen físicamente en discos diferentes.
 - ✓ Una única petición de E/S también puede ser ejecutada en paralelo si el bloque de datos al que se accede está distribuido a lo largo de varios discos (*stripping*).
 - ✗ En principio, con un conjunto de discos la fiabilidad disminuye: N discos tendrían $1/N$ veces la fiabilidad de un único disco.
 - fiabilidad
 - ✓ La fiabilidad puede incrementarse añadiendo información redundante: tolerancia a fallos.
 - ✓ Con redundancia, la fiabilidad de un conjunto de discos puede ser mucho mayor que la de un único disco grande equivalente (MTTR (*mean time to repair*) \ll MTTF (*mean time to failure*)).
- Variedad de alternativas para organizar los datos en múltiples discos. Se desarrolla una serie de esquemas estándares, con distintos grados de sobrecarga introducida y rendimiento: **RAID**
- RAID: conjunto de esquemas o niveles independientes con las siguientes características comunes:
 1. Conjunto de unidades físicas de disco vistas por SO como una única unidad lógica.
 2. Datos distribuidos a través de las unidades físicas del conjunto.
 3. Redundancia de datos aumenta fiabilidad del conjunto
Consideraciones de diseño (para reducir MTTR):
 - discos de reserva (*hot spares*)
 - cambio de discos en caliente (*hot swapping*)

RAID (*Redundant Array of Independent Disks*)

- RAID 0

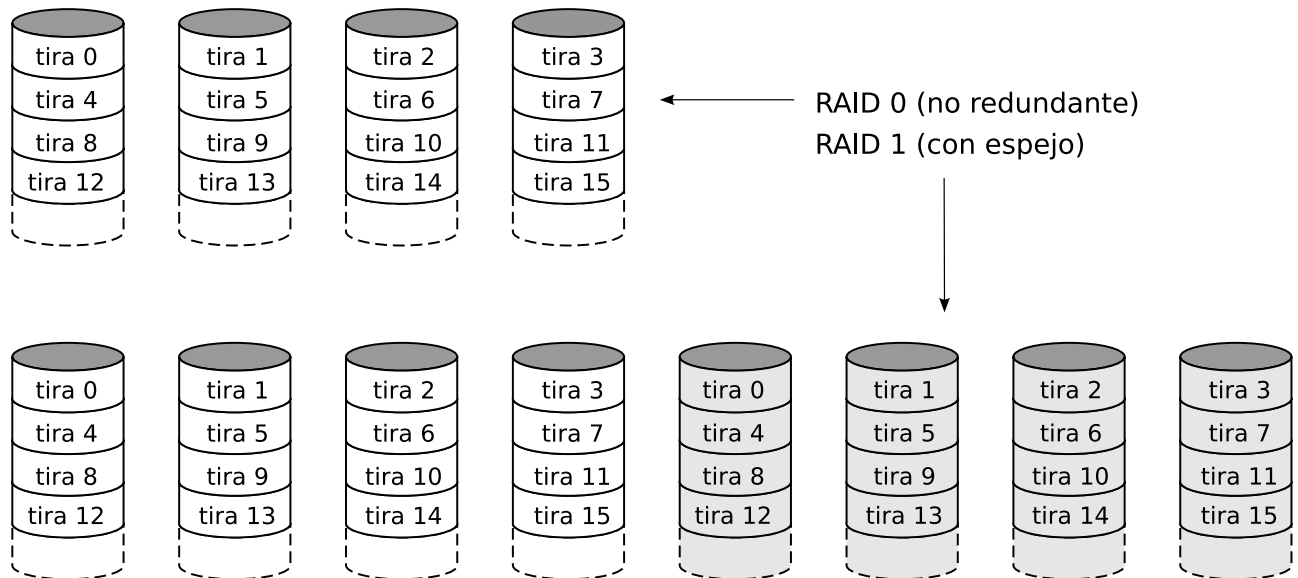
- No incluye redundancia de datos
- Configuración básica para mejorar prestaciones y capacidad a bajo coste, pero empeorando fiabilidad
- Un único archivo grande se almacena en unidades de disco separadas partiéndolo en trozos más pequeños (**tiras de datos**) que se reparten cíclicamente entre los discos (*stripping*).
- Una operación de E/S que implica a tiras lógicas contiguas se puede gestionar en paralelo: se reduce el tiempo de transferencia.
- Al conjunto de tiras lógicamente consecutivas que se proyecta sobre la misma tira en cada disco se lo denomina **franja**.
- Al sistema de ficheros la colección de discos se le presenta como un único disco grande.



RAID (*Redundant Array of Independent Disks*)

• RAID 1

Todas las configuraciones de RAID salvo la 0 incluyen información redundante para permitir la recuperación de datos en caso de fallo de disco. En el caso del esquema RAID 1 la redundancia se logra mediante la simple duplicación de todos los datos. Se realiza una distribución cíclica de los datos, como en el caso de RAID 0, pero con un disco espejo para cada disco del conjunto. Gran fiabilidad.



Ventajas:

- Una petición de lectura puede ser servida por cualquiera de los discos que contiene los datos pedidos.
- Respecto a RAID 0: posibilidad de recuperar errores.
- Respecto a RAID 2-5: no hay penalización de escritura.
- La recuperación tras un fallo es sencilla.

Principal inconveniente: el coste. Se requiere el doble del espacio del disco lógico que se quiere soportar.

• RAID 2

Los niveles RAID 2, 3, 4 y 5 incrementan la fiabilidad mediante la incorporación de esquemas de detección de errores, sin necesidad de duplicar totalmente los discos. Toda la información redundante se mantiene en un único disco en los niveles 2, 3 y 4, mientras que se encuentra distribuida entre todos los discos en RAID 5.

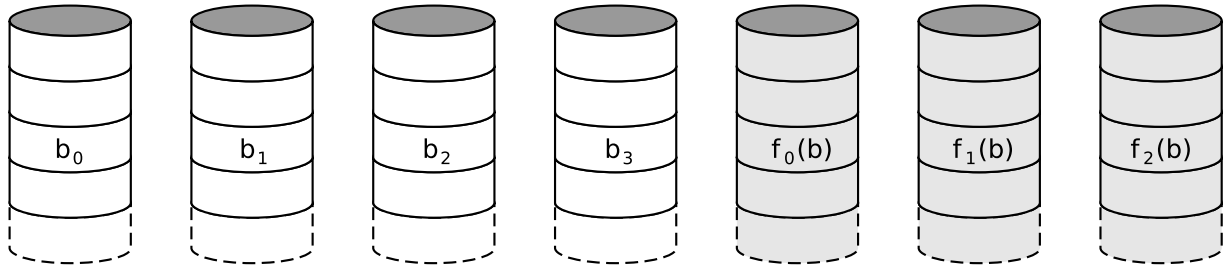
Los niveles 2 y 3 de RAID usan una técnica de acceso paralelo: todos los discos miembros del RAID participan en la ejecución de cada petición de E/S. Los datos se descomponen en tiras **muy pequeñas** (a nivel incluso de byte o palabra).

En RAID 2 el código de corrección de errores (*ECC*) se calcula a partir de los bits de cada disco, y los bits del código se almacenan en varios discos de paridad. El *ECC* normalmente utilizado es el código de Hamming, que permite corregir errores en un bit y detectar errores en dos bits.

RAID (*Redundant Array of Independent Disks*)

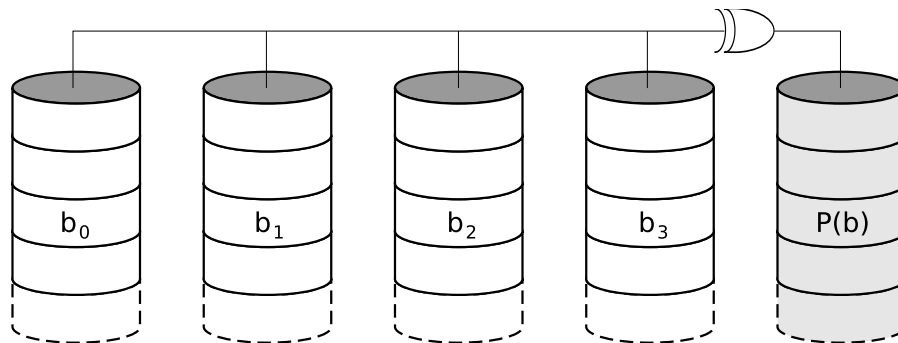
- **RAID 2**

Consigue altas velocidades de transferencia, aunque en la práctica no se implementa nunca, al resultar excesivamente costoso.



- **RAID 3**

También consiste en un acceso paralelo, con datos distribuidos en pequeñas tiras. Se diferencia de RAID 2 en la utilización de un único disco redundante, independientemente del tamaño del conjunto de discos. En lugar de un código de corrección de errores, se calcula un bit de paridad para el conjunto de bits individuales que están en la misma posición en todos los discos de datos.



También consigue altas velocidades de transferencia para una transacción, aunque como RAID 2 solo puede ejecutar una operación de E/S a la vez. Implementación bastante costosa.

Cálculo de paridad bit i -ésimo:

$$X4(i) = X3(i) \oplus X2(i) \oplus X1(i) \oplus X0(i)$$

Recuperación bit i -ésimo en caso de fallo del disco $X1$:

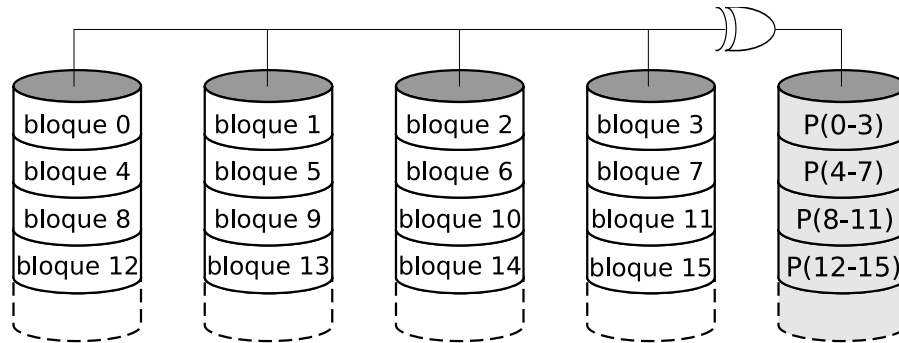
$$X1(i) = X4(i) \oplus X3(i) \oplus X2(i) \oplus X0(i)$$

Penalización de escritura: dos lecturas y dos escrituras

$$\begin{aligned} X4'(i) &= X3(i) \oplus X2(i) \oplus X1'(i) \oplus X0(i) \\ &= X3(i) \oplus X2(i) \oplus X1'(i) \oplus X0(i) \oplus X1(i) \oplus X1(i) \\ &= X4(i) \oplus X1(i) \oplus X1'(i) \end{aligned}$$

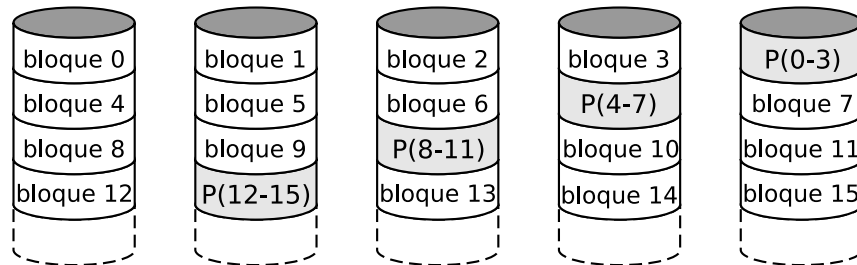
- **RAID 4**

Los niveles 4 y 5 de RAID usan una técnica de acceso independiente. Cada disco del conjunto opera de forma independiente → Peticiones de E/S separadas se atienden en paralelo. En ambos casos las tiras de datos utilizadas son relativamente grandes, y se calcula una tira de paridad, bit a bit, a partir de las correspondientes tiras de cada disco de datos (paridad en bloques). En RAID 4 los bits de paridad se almacenan en la tira correspondiente en un disco de paridad (que constituye un cuello de botella).



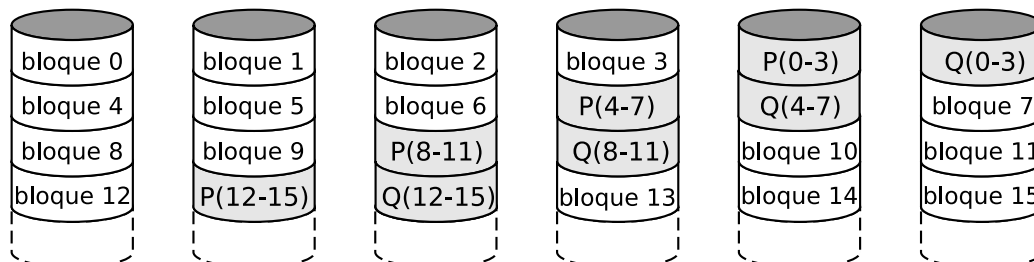
- **RAID 5**

Como RAID 4, pero distribuyendo las tiras de paridad a lo largo de todos los discos. Típicamente con un esquema cíclico. Se elimina el cuello de botella de RAID 4.



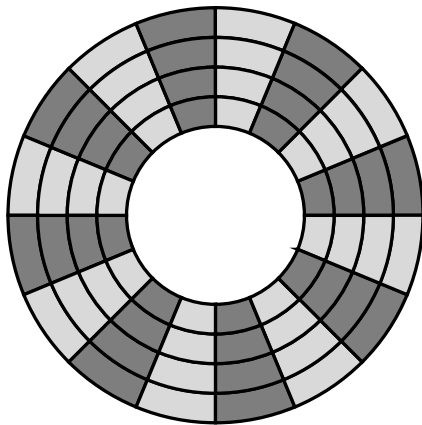
- **RAID 6**

En el esquema de nivel 6 se realizan dos cálculos de paridad distintos, que se almacenan en bloques diferentes. Para un conjunto cuyos datos requieran N discos se utilizarán $N + 2$. Los datos se pueden recuperar incluso ante el fallo de dos discos a la vez.

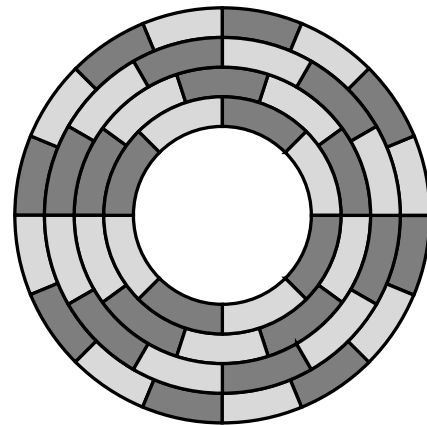


Dispositivos ópticos

- Surgen con la aparición, en 1983 del **disco compacto** (CD, *compact disc*) digital de audio (originalmente de hasta 74 m). Su éxito posibilita el desarrollo de la tecnología de discos compactos de memoria óptica de bajo coste.
- **CD-ROM** (*Compact Disc Read-Only Memory*).
 - Disco compacto de solo lectura basado en la tecnología del CD-Audio.
 - La información digital (datos o audio, hasta 640 MBs originalmente) se graba como una serie de hoyos microscópicos en una superficie reflectante. Esta capa se encuentra protegida por una fina película de laca transparente.
 - A partir de un disco maestro, grabado mediante un láser de alta intensidad, se realizan copias mediante un proceso de estampación.
 - La información del disco se recupera mediante un láser de baja potencia situada en la unidad lectora (150 KB/s, 1X).
 - Para maximizar la capacidad del disco inicialmente se utilizó una rotación del disco con velocidad lineal constante (CLV). Sin embargo, la continua necesidad de aumentar la velocidad de rotación para lograr mayores tasas de transferencia hace que desde los dispositivos 12X se emplee velocidad angular constante (CAV), como en los dispositivos magnéticos. También existen soluciones híbridas.



Velocidad angular constante (CAV)

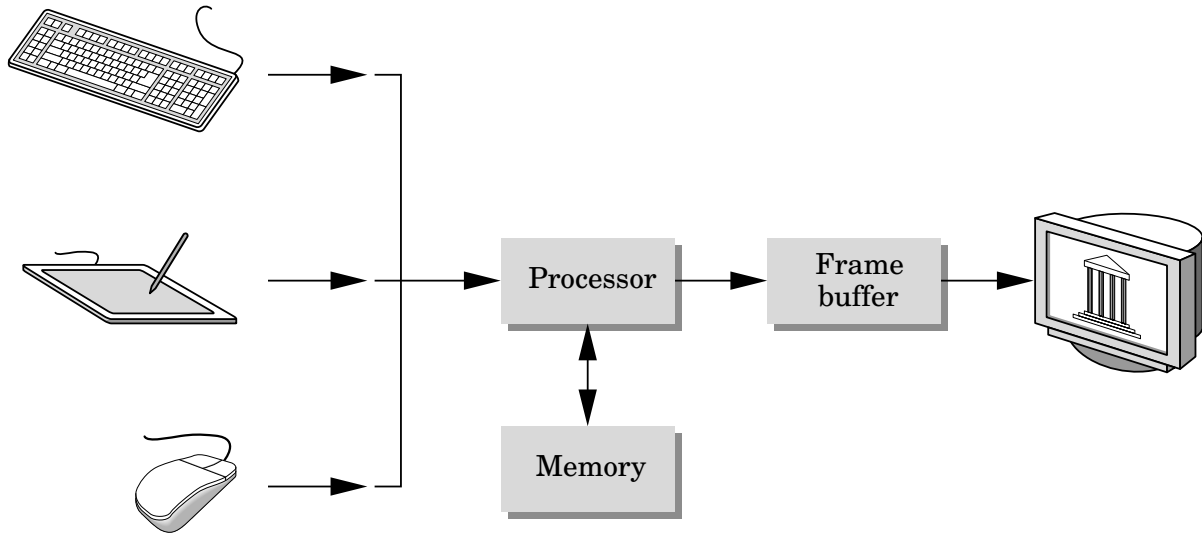


Velocidad lineal constante (CLV)

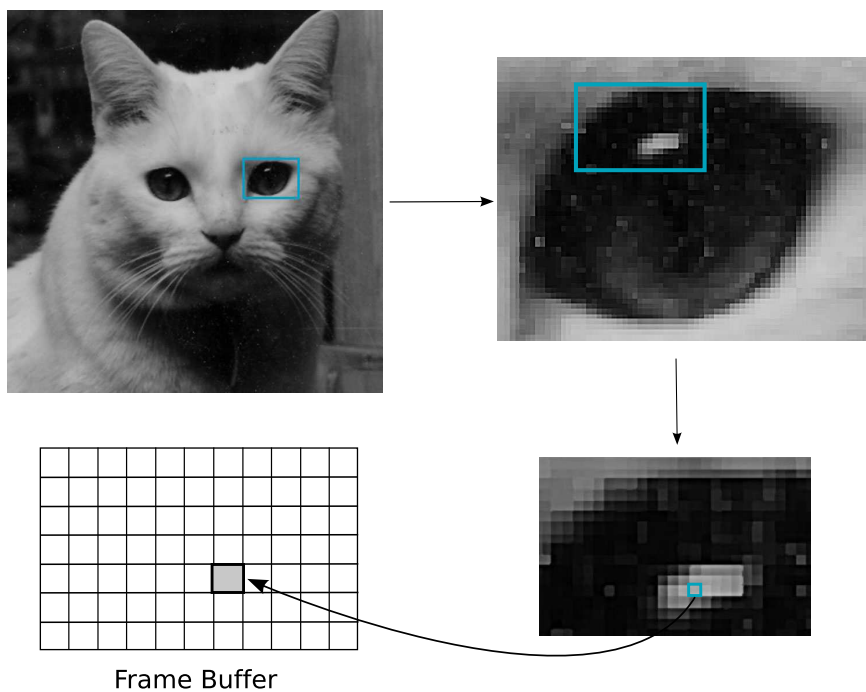
- Principal ventaja de CD-ROM frente a medios magnéticos: el coste.
- Desventajas: solo lectura y mayor tiempo de acceso.
- Revisiones posteriores del formato: CD-R o WORM (*Write Once - Read Many*) y CD-RW.
- Evolución de los medios ópticos: DVD (*Digital Versatile Disc*)
Inicialmente, solo lectura. Mismo tamaño que un CD pero mucha más capacidad (4,7 GBs/capa):
 - Láser con menor longitud de onda que permite enfocar la luz en puntos más pequeños.
 - Hoyos más pequeños y pistas menos separadas.
 - Uso de varias capas de grabación por cara.

Evolución: DVD-R, DVD-RAM, DVD-RW, DVD+R, DVD+RW

El sistema gráfico

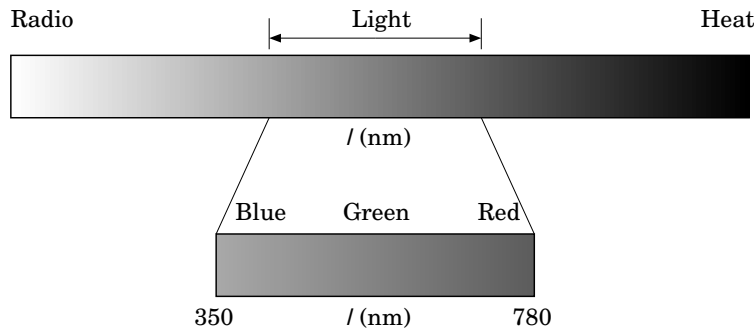


- En la actualidad, todos los sistemas gráficos están basados en **píxeles**. Una imagen se genera como un *array* o ristra de píxeles.
- La secuencia de píxeles se almacena en una región de la memoria denominada *frame buffer*.
- Se define la **profundidad** del frame buffer como el número de bits utilizados para almacenar la información de cada píxel. Determina el máximo número de colores distintos posibles.
- La **resolución** del frame buffer, número total de píxeles, determina el detalle de la imagen final.

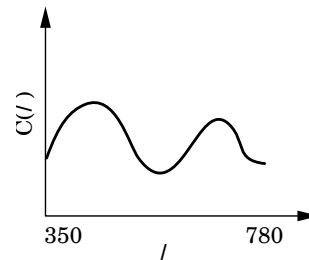


Representación del color

El color con el que percibimos las cosas no es más que el resultado de la interacción de la luz con el medio. La luz es una forma de radiación electromagnética:



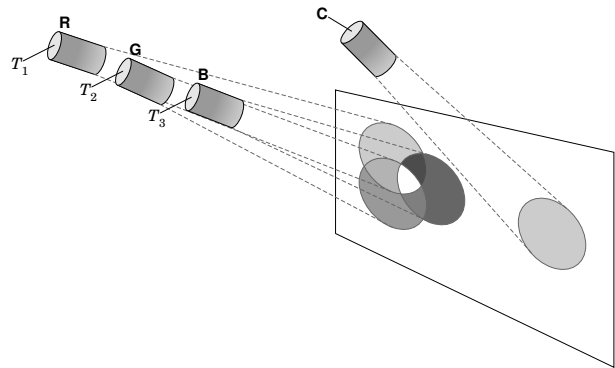
Un color se puede definir con una función $C(\lambda)$:



Un monitor capaz de representar todos los colores posibles está fuera de las posibilidades actuales \Rightarrow Como el ojo humano no es capaz de distinguir más que un número limitado de colores (unos 10 000 000) se utiliza la **teoría de los tres colores**.

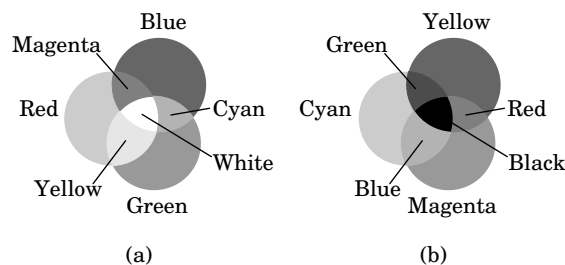
- **Modelo de color aditivo.** Se considera que un color está formado por la combinación o suma de tres colores primarios, ajustando la intensidad de cada uno de ellos individualmente.

Utilizando como colores primarios el rojo (**R**), el verde (**G**) y el azul (**B**) se alcanza un número de colores representables cercano al distinguido por el ojo humano: **modelo RGB**, utilizado en monitores



$$C = T_1R + T_2G + T_3B$$

- **Modelos de color sustractivo.** Utilizado en impresión. Se comienza con una superficie blanca, a la que se le restan los tres colores primarios. Normalmente se utilizan cian (**C**), magenta (**M**) y amarillo (**Y**): **modelo CMY**

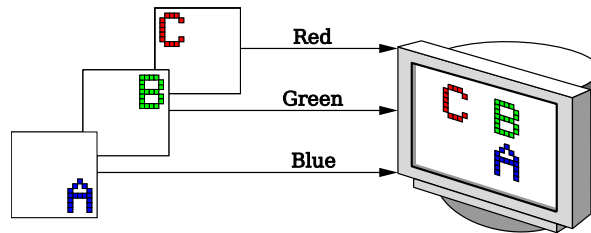


Representación del color

Tratamiento del color en un sistema gráfico. 2 aproximaciones:

- **Modelo de color RGB**

- Clásicamente más difícil de implementar que la opción indexada, debido a los mayores requerimientos de memoria. En sistemas actuales la restricción de la memoria ha dejado de ser un problema.
- Para cada píxel se guardan las tres componentes RGB. Conceptualmente, equivale a tener un *frame buffer* separado para cada una de las componentes.
- Ejemplo: resolución 1280×1024 con 24 bits por píxel (color verdadero, *true color*, 3 bytes, uno por componente) → más de 3 *MBytes* de memoria necesarios para el *frame buffer*, que tienen que ser refrescados a tasas suficientes para evitar parpadeos.



- **Color indexado**

- Útil cuando se dispone de espacio limitado para el *frame buffer*.
- Consiste en escoger una **paleta** o tabla de colores, es decir, un subconjunto, del total de colores disponibles.
- En los bits almacenados por píxel no indicamos el color del píxel en RGB, sino el índice del color en la paleta de colores con la que se está trabajando.
- Ejemplo: k bits por píxel en el *frame buffer*, pero nuestro hardware gráfico puede trabajar con una profundidad de color por componente RGB de m bits. Es decir, podemos representar en pantalla 2^{3m} colores diferentes, pero el *frame buffer* solo puede guardar 2^k valores de colores distintos → se crea una tabla de tamaño $2^k \times 3m$, en la cual se especifican los 2^k colores de $3m$ bits con los que se quiere trabajar. Esta tabla constituye la paleta de colores. Una vez construida la tabla, los colores se especifican por el índice mediante el cual podemos acceder a su posición en la tabla. Para $k = m = 8$ podemos escoger 256 colores del total de 16 *M* colores.

Input	Red	Green	Blue
0	0	0	0
1	$2^m - 1$	0	0
⋮	0	$2^m - 1$	0
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
$2^k - 1$	⋮	⋮	⋮

$\leftarrow m \text{ bits} \quad \leftarrow m \text{ bits} \quad \leftarrow m \text{ bits} \rightarrow$

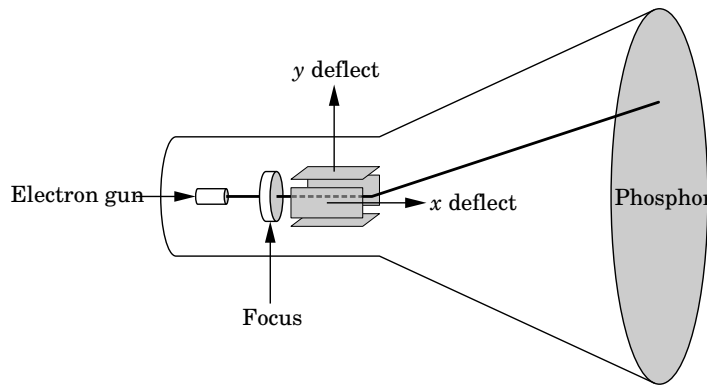
Dispositivos de salida

La salida más habitual del sistema gráfico se proporciona a través de un **monitor** o pantalla (*display*). Un monitor es un dispositivo periférico por el que se visualizan los datos contenidos en el *frame buffer*.

Los parámetros más frecuentes de un monitor son:

- Resolución: Número de píxeles representados en pantalla en sentido horizontal y vertical.
- Tasa de refresco: Frecuencia con la que se actualiza el valor de cada píxel en pantalla.
- Tamaño de punto/píxel (*dot pitch*) → menor tamaño proporciona imágenes más suaves.

Hasta hace poco tiempo el tipo de pantalla más común eran las basadas en **Tubos de Rayos Catódicos (CRTs)**.



- Inicialmente: **monitores vectoriales** (*vector* o *random-scan displays*) (CRT similar al de un osciloscopio)
 - El haz de electrones se dirige sólo a las zonas de la pantalla donde ha de dibujarse.
 - Se dibuja un elemento en cada paso: punto, línea o carácter.
 - La imagen se almacena en memoria como una lista de comandos de dibujo. Mediante redibujados sucesivos se conserva en pantalla (refresco mínimo de 50 *Hz*).
 - Gran nitidez en los trazos, pero capacidad de representación muy limitada.



1. Posición del haz



2. Dibujo de una línea



3. Las líneas se dibujan en orden

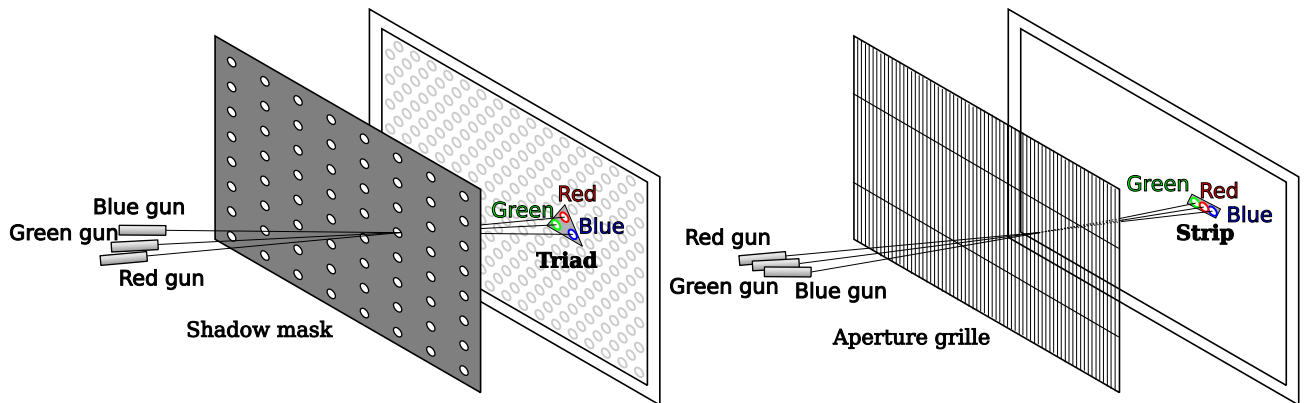


4. Refresco, se vuelve a dibujar



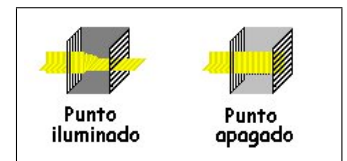
Dispositivos de salida

- A partir de los 80: tecnología actual **basada en píxeles** (*raster displays*). Los píxeles del *frame buffer* se representan como puntos en la superficie de la pantalla, con una tasa de refresco suficiente para evitar parpadeos (típicamente entre 50 y 85 Hz). Posibilidad o no de aplicar entrelazado (*noninterlaced display* vs. *interlaced display*).
- 3 materiales lumínicos diferentes que emiten, respectivamente, luz roja, verde y azul (**RGB**). Se lanzan haces de electrones independientes para cada uno de estos tres colores.
- 2 tecnologías: máscara de sombra (*shadow mask*) y rejilla de apertura (*aperture grille*).



En los últimos años se han popularizado las pantallas basadas en **crystal líquido** (*Liquid Crystal Display*).

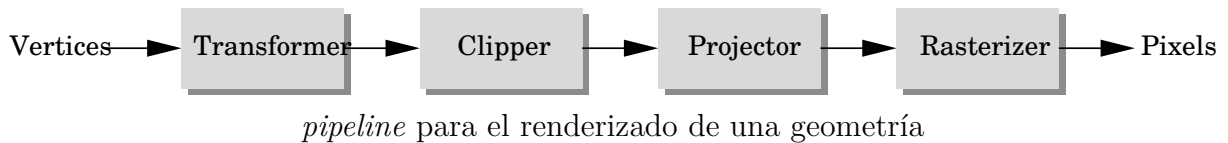
- Se basan en varias propiedades que tienen algunos cristales líquidos:
 - Cambian la polaridad de la luz que los atraviesa
 - Sus cristales se pueden orientar aplicando un campo eléctrico



- Principales ventajas: son más finas, ligeras y tienen mucho menos consumo eléctrico.
- Tecnologías principales:
 - **Matriz pasiva**
 - Una rejilla conectada a unos circuitos integrados permite seleccionar, de uno en uno, los píxeles para activarlos.
 - En desuso. Problemas:
 - ◇ tiempo de respuesta (capacidad de refresco) bajo → aparición de rastros
 - ◇ contraste pobre, provocado por la imprecisión en el control del voltaje
 - ◇ ángulo de visión bastante limitado.
 - **Matriz activa**
 - Dotamos de memoria a cada punto añadiéndole un **transistor de película fina** (**TFT**, *Thin Film Transistor*), que básicamente consta de un pequeño transistor y un condensador.
 - Conseguimos mantener la carga del píxel entre refrescos.
 - Mayor brillo y suavidad en las imágenes, mayor ángulo de visión y menor tiempo de respuesta que con matriz pasiva, pero también mayor coste.

La tarjeta gráfica

- Dispositivo que proporciona las capacidades gráficas del sistema.
- Proporciona la interfaz entre el sistema y la pantalla:
 - sistema - tarjeta gráfica: ISA, VESA, PCI, AGP, PCI-Express. . .
 - tarjeta gráfica - pantalla: salida analógica VGA, salida digital DVI. . .
- Las tarjetas gráficas modernas acaparan cada vez más tareas del proceso de renderizado



- incorporan grandes cantidades de memoria
 - incorporan procesadores (*GPUs*) propios cada vez más potentes
- La tarjeta gráfica puede trabajar en diferentes modos de vídeo. Los modos de vídeo se pueden dividir principalmente en modos gráficos y modos de texto.
- En un modo de texto la salida se compone únicamente de caracteres ASCII, mientras que en un modo gráfico puede ser cualquier imagen de mapa de bits.
- Los diferentes modos de vídeo se diferencian principalmente en la resolución, tasa de refresco y profundidad de color ofrecida. Normalmente, a menores resoluciones mayor profundidad de color y mayor refresco.