

Entregable: Discos magnéticos

Objetivos

- Entender el funcionamiento de los discos duros
- Calcular la capacidad y las prestaciones de un disco duro a partir de su geometría y de la velocidad de giro

1. Introducción

Los dispositivos magnéticos

El hecho de que un dipolo magnético se pueda orientar mediante una corriente eléctrica y después no necesite energía para mantener su estado ha inspirado diversos dispositivos de almacenamiento de información analógica y digital a lo largo del siglo XX. En el ámbito de los computadores digitales, la grabación magnética ha estado en la base de una serie de tecnologías muy utilizadas y duraderas. Además de los núcleos de ferrita, se han utilizado películas de material ferromagnético sobre diversidad de soportes como, por ejemplo, los antiguos tambores ("drums"), las cintas flexibles abiertas ("open reel tapes") y cerradas ("streamers", "cartridges" y "cassettes"), los discos flexibles ("floppy disks") y los discos rígidos ("hard disks").

El material con el que se hace la película (**"el medio"** en adelante) forma un mosaico de dominios magnéticos que se comportan como dipolos independientes que se pueden orientar (ved la figura 1). La orientación de los dominios codifica la información binaria almacenada. El cabezal es el dispositivo próximo a la superficie encargado de provocar o detectar la orientación de los dipolos magnéticos, es decir, de escribir o leer los datos.

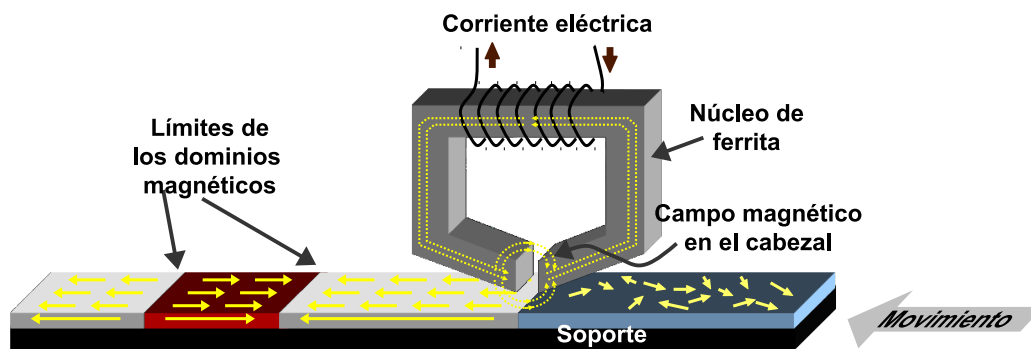


Figura 1: Mecanismo del almacenamiento magnético. El medio útil descansa sobre un soporte (rígido o flexible) y está hecho de material ferromagnético, es decir, es equivalente a una distribución de dipolos magnéticos. Los cabezales transforman corrientes eléctricas en campos magnéticos o al revés. Una vez el medio está en movimiento, un cabezal de escritura, gobernado por una corriente eléctrica, puede escribir información binaria orientando en un sentido u otro los dominios. Igualmente, un cabezal de lectura permite detectar los cambios de orientación de los dominios y recuperar los datos en forma de corriente eléctrica.

Según las características del soporte estos dispositivos han permitido accesos directos o solo secuenciales. Además, según el momento tecnológico y las necesidades particulares de los computadores, se han situado en cualquiera de los niveles de la jerarquía de memoria. Las memorias magnéticas han hecho el papel de memoria principal (los núcleos de ferrita y los tambores almacenaban los programas en ejecución), de memoria secundaria (los discos flexibles y rígidos soportan un sistema de archivos, el código de inicio del sistema operativo y el área de intercambio de la memoria virtual) y de memoria fuera de línea (discos flexibles y todos los tipos de cinta han aprovechado para hacer copias de seguridad, intercambio de datos y distribución de programas).

El disco duro es la única de estas tecnologías que ha sobrevivido hasta ahora, y se dedica sobre todo a memoria secundaria. El almacenamiento magnético está en retroceso y ya podemos vislumbrar un futuro sin discos magnéticos, en el que las memorias flash asumirán el mismo papel, aunque el precio de almacenamiento por bit aplazará la substitución durante algunos años.

Unidades de capacidad

Siguiendo el convenio del IEC, ([ved el artículo en Wikipedia](#)) podemos medir las cantidades de memoria con prefijos decimales y binarios (ved la Figura 2). Este convenio intenta eliminar ambigüedades al expresar la capacidad de los dispositivos de memoria y la ocupación de espacio que hacen los archivos que contienen.

Prefijos decimales			Prefijos binarios		
símbolo	nombre	valor	símbolo	nombre	valor
kB	kilo	10^3	KiB	kibi	2^{10}
MB	mega	10^6	MiB	mebi	2^{20}
GB	giga	10^9	GiB	gibi	2^{30}
TB	tera	10^{12}	TiB	tibi	2^{40}

Figura 2: Prefijos para expresar cantidades de memoria según el convenio del IEC.

Las cantidades de memoria RAM, por tradición, se suelen escribir con prefijos decimales aunque su interpretación sea binaria: un módulo de memoria de 1 GB de capacidad, por ejemplo, tiene 2^{30} bytes en lugar de 10^9 .

Para expresar la capacidad de los discos duros o el tamaño de los archivos, conviene usar los prefijos decimales de forma coherente. Windows no sigue la norma y utiliza prefijos decimales (ved la Figura 3) con significado binario, como si fuera memoria RAM. Linux (ved la Figura 4) permite al usuario escoger entre ambas posibilidades.

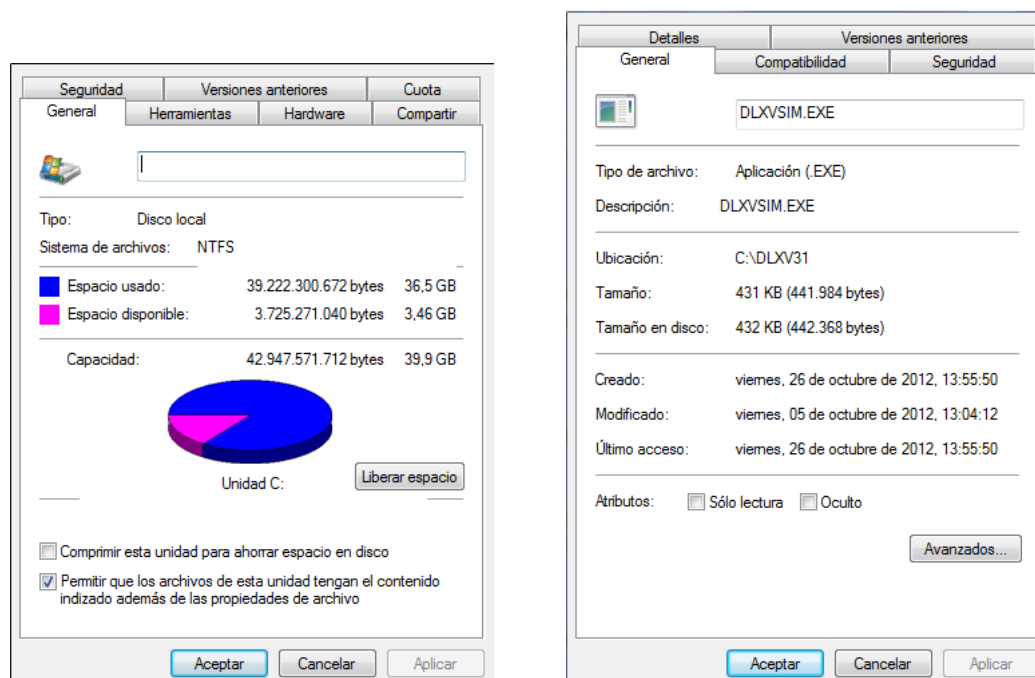


Figura 3: Las ventanas de *Propiedades* de Windows muestran la capacidad de los discos y el tamaño de los archivos sin prefijos y con prefijos binarios. Notad que $42.947.571.712/2^{30} \approx 39,9$ GB

```

...$ df
Filesystem            512-blocks      Used Available Capacity Mounted on
/dev/disk0s2          975093952 929132584 45449368      96 %      /
devfs                  376          376          0    100 %    /dev
localhost:/kUcYdqkvr 975093952 975093952          0    100 %    /Volumes/MobileBackups
...$ df -h
Filesystem            Size      Used Avail Capacity Mounted on
/dev/disk0s2          465Gi     443Gi   22Gi     96 %      /
devfs                  188Ki     188Ki     0Bi    100 %    /dev
localhost:/kUcYdqkvr 465Gi     465Gi     0Bi    100 %    /Volumes/MobileBackups
...$ df -H
Filesystem            Size      Used Avail Capacity Mounted on
/dev/disk0s2          499G      476G     23G     96 %      /
devfs                  193k      193k      0B    100 %    /dev
localhost:/kUcYdqkvr 499G      499G      0B    100 %    /Volumes/MobileBackups
...$

```

Figura 4: Linux y MacOS siguen el convenio del IEC cuando listan la capacidad de los discos instalados en un computador. La figura muestra la respuesta de la consola de MacOS a la orden *df*. Por omisión, la orden *df* muestra las capacidades en bloques de 512 bytes; con el modificador *-h* en bytes con prefijos binarios y con el modificador *-H* en bytes con prefijos decimales. Linux, por su parte, muestra por omisión bloques de 1 KB y el efecto de los modificadores *-h* y *-H* es ligeramente distinto.



EJERCICIO 1 Un archivo ocupa 125829120 bytes. Expresad su volumen con prefijos decimales y binarios. Prefijos decimales: $125,829120 \cdot 10^6 \text{ B} = 126 \text{ MB}$
 Prefijos binarios: $120 \cdot 2^{20} \text{ B} = 120 \text{ MiB}$

2. Estructura de los discos duros

Los discos duros actuales son del tipo “Winchester”, y fueron inventados por los ingenieros de IBM. El diseño de estas unidades se basa en la física del aire, que hace que un disco en rotación mantenga en suspensión un cabezal magnético a la distancia crítica del medio. Cuando el disco entra en reposo, la electrónica de la unidad “aparca” los cabezales en una zona de “aterrizaje” prevista para eso.

Los discos duros corrientes (ved la Figura 5) están formado por uno o más platos (*platters*) paralelos que giran solidariamente sobre su eje. El conjunto de n platos ofrece hasta $2n$ superficies útiles (*sides*), sobre las que un brazo mecánico aplica tantos cabezales (*heads*) como caras.

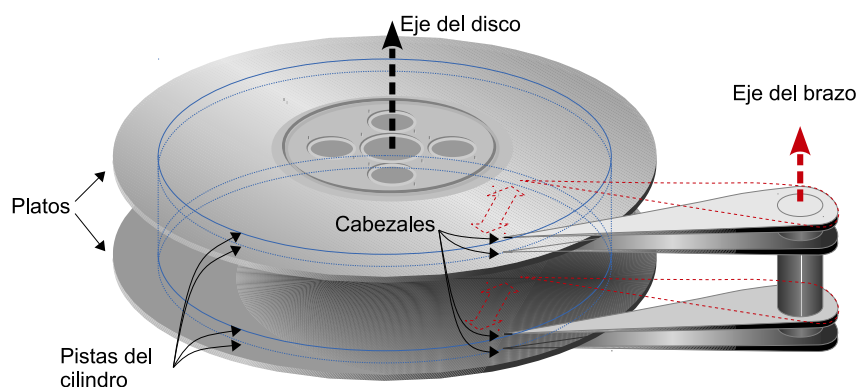


Figura 5: Esquema de un disco duro formado por dos platos. La unidad dispone de cuatro cabezales magnéticos. Cuando el brazo ubica los cabezales en un cierto punto, las cuatro pistas accesibles forman un cilindro.

Un motor permite situar el sistema de cabezales en una serie establecida de puntos. Cada punto de posicionamiento del brazo define una pista (*track*) en cada superficie. El conjunto de pistas (tantas como caras o como cabezales) accesibles con el brazo posicionado en un punto dado recibe el nombre de cilindro (*cylinder*).

Cada pista está dividida en sectores, que son las unidades direccionables para leer y escribir. Cada sector es una estructura de datos que contiene, entre otros, las marcas de separación con los sectores vecinos, la identificación del sector, el contenido (el bloque de datos que se

escribe o lee en él) y el código redundante que permite detectar errores. Puedes consultar los detalles de un sector de disco en los libros de Scott Mueller “*Upgrading and Repairing PCs*”, en la biblioteca o en [Google books](#). Desde los primeros diseños de disco duro la capacidad habitual de los sectores es de 512 bytes. Sin embargo, los sistemas de archivos (como por ejemplo Minix) pueden definir bloques lógicos formados por 2^n bloques físicos.

Los sectores pueden identificarse por las coordenadas CHS de cilindro, cabezal o superficie y número de sector dentro de la pista. Esta numeración era visible en las unidades antiguas, pero la electrónica de las unidades actuales oculta las coordenadas y proporciona a los programas (es decir, a los manejadores de dispositivo del sistema operativo) una numeración lineal LBA (*logical block address*) que va desde el 0 en adelante.

3. Capacidad de un disco duro

Las dimensiones físicas condicionan fuertemente la capacidad de un disco, dado que limitan el número de platos y la superficie útil de las caras. Los fabricantes hablan de un **factor de forma** (o “*form factor*”), expresado en pulgadas, que hace referencia al espacio necesario en el chasis del computador. Los factores de forma habituales son de 3.5” para computadores de sobremesa y 2.5” para portátiles. Podéis consultar estos detalles en [el artículo de la Wikipedia](#).

El aprovechamiento espacial de la superficie magnética depende de dos factores: la densidad de pistas y el número de sectores por pista.

La **densidad lineal de pistas**, que suele expresarse como **número de pistas por pulgada de radio** (o “*tpi*”, por “*tracks per inch*”), está relacionada con las dimensiones de los cabezales y con la electrónica de control de la unidad. Actualmente, la **anchura de las pistas se mide en decenas de nanómetros** y la **densidad de pistas en centenares de miles por pulgada**. El número total de cilindros de un disco vendrá determinada, por tanto, por el **diámetro de la pista más externa (OD, Outermost Diameter)**, el **diámetro de la pista más interna (ID, Innermost Diameter)** y por la **densidad lineal de pistas**.



EJERCICIO 2 Un disco duro de 6 caras tiene una densidad de pistas de 40000 tpi. El diámetro más interno es de 1.5” y el más externo de 3.5”.

1. ¿Cuál es el área útil? Expresa el resultado en pulgadas cuadradas (*sq in*).
2. ¿Cuántos cilindros y cuántas pistas contendrá?

El **número de sectores por pista** depende de las estrategias de distribución. La capacidad de un sector es una constante del disco que afecta a muchos niveles del diseño del sistema, desde la electrónica de control de la unidad hasta la gestión del sistema de archivos que hace el sistema operativo. Para una tecnología dada, hay un mínimo de superficie del medio que se dedica a un sector.

Como resultado de la distribución de pistas y sectores en las superficies de los discos, se puede calcular una densidad superficial (“*areal density*”) de bits, que habitualmente se mide en bits por pulgada cuadrada (*bit/sq in*). Actualmente supera los 500 Gb/sp in.

Hay tres estrategias de distribución de sectores en las pistas circulares (ved las figuras 6 y 7).

CAV (*Constant Angular Velocity*): El número de sectores por pista es fijo, y el disco gira a velocidad angular constante. Los sectores de los cilindros exteriores son más grandes que los interiores, pero su tiempo de paso por debajo del cabezal es el mismo. Con esta distribución, los cilindros internos, más densos, condicionan el número de sectores por pista.

Si H es el número de cabezales, C el número de cilindros, S el número de sectores por pista y B la capacidad de un sector (en bits o en bytes), la capacidad de una unidad será de

$$C(\text{CAV}) = H \times C \times S \times B$$

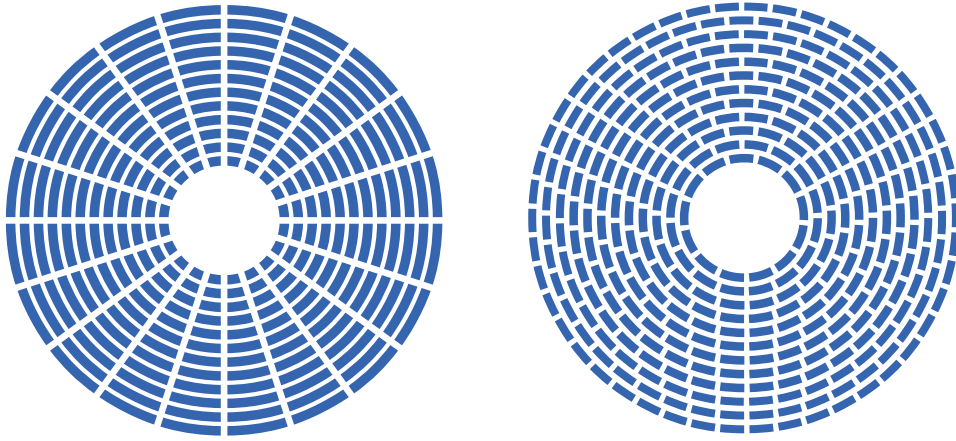


Figura 6: Dos estrategias de distribución de sectores en las caras de un disco con 12 cilindros. A la izquierda, un ejemplo de organización CAV con 20 sectores por pista, que coloca un total de 240 sectores por cara. En la pista exterior los sectores son el triple de largos que en la pista interior. A la derecha, un ejemplo de organización CLV donde la pista exterior contiene 46 sectores, y cada una de las siguientes contiene 3 sectores menos hasta llegar a la interior que solamente tiene 13. En total, hay 354 sectores por cara.

La organización CAV ha sido utilizada en los discos flexibles. Por ejemplo, los disquetes DS, DD tenían dos caras y 80 cilindros y su capacidad nominal estaba indicada como “720 KB”. MS-DOS los formateaba con 9 sectores de 512 bytes por pista. La capacidad resultante era:

$$\begin{aligned}
 C(\text{DS,DD}) &= 2 \text{ caras} \times 80 \text{ cilindros} \times 9 \text{ sectores/pista} \times 512 \text{ bytes/sector} \\
 &= 1440 \text{ sectores} \times 512 \text{ bytes/sector} \\
 &= 720 \text{ KiB} \\
 &= 737280 \text{ B} \simeq 737 \text{ KB}
 \end{aligned}$$

Esta organización no aprovecha las pistas exteriores. A mayor radio, menor densidad lineal; así que el número de sectores por pista está condicionado por la máxima densidad lineal posible en la pista ID.



EJERCICIO 3 Calcula la capacidad del disco duro del ejercicio 2 suponiendo que recibe formato CAV de 4100 con sectores de 512 bytes. ¿Cuál es la densidad areal del disco? Exprésala en unidades de kbit/sq in y de Mbit/sq in.

CLV (*Constant Linear Velocity*): La longitud de los sectores es fija e independiente del radio del cilindro. En cada operación la velocidad de rotación se ajusta para mantener constante la velocidad lineal. Es decir, que la rotación es más lenta al operar sobre los cilindros exteriores y más rápida sobre los cilindros interiores.

Esta organización, que complica mucho el control de la unidad, no se aplica a los discos magnéticos, aunque que sí se utiliza en dispositivos ópticos como los discos compactos.

ZCAV/ZBR (*Zone Constant Angular Velocity/Zone Bit Recording*): Los cilindros del disco están repartidos en diversas zonas en forma de anillo o corona circular, todas ellas concéntricas. Dentro de cada zona, las pistas tienen un número constante de sectores.

Si la zona z contiene C_z cilindros, y en cada uno hay S_z sectores/pista, la capacidad de un disco será:

$$C(\text{ZCAV}) = H \times \sum_z (C_z \times S_z) \times B$$

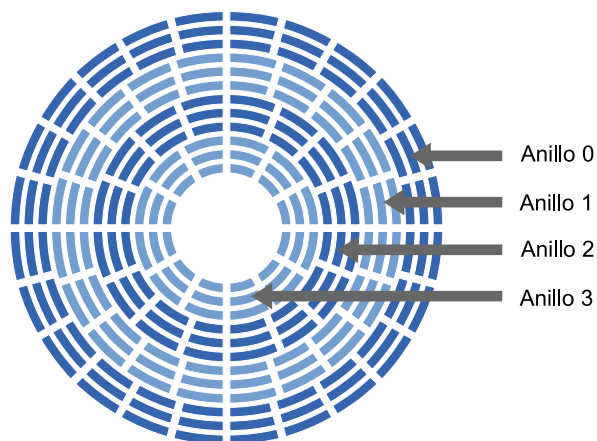


Figura 7: Ejemplo de distribución ZCAV de sectores en un disco. Hay cuatro zonas, numeradas de 0 (la más externa) a 3. Dentro de cada zona, las pistas tienen un número fijo de sectores. En el ejemplo, todas las zonas tienen tres cilindros; sin embargo, las zonas externas tienen más capacidad que las internas.

Si C_z es constante, como es habitual:

$$C(\text{ZCAV}) = H \times C_z \times \sum_z S_z \times B$$

Por ejemplo, el computador Apple Macintosh repartía los 80 cilindros de los disquetes DS, DD en cinco zonas de 16 cilindros, y definía 12, 11, 10, 9 y 8 sectores/pista en ellos. La capacidad del disquete era:

$$\begin{aligned} C(\text{DS,DD}) &= 2 \text{ caras} \\ &\times 16 \text{ cilindros/zona} \\ &\times (12 + 11 + 10 + 9 + 8) \text{ sectores/pista por zona} \\ &\times 512 \text{ bytes/sector} \\ &= 1600 \text{ sectores} \times 512 \text{ bytes/sector} = 800 \text{ KiB} \\ &= 1600 \text{ sectores} \times 512 \text{ bytes/sector} = 819,2 \text{ KB} \end{aligned}$$

Esta geometría supone un compromiso entre CAV y CLV. Permite mejorar la densidad areal sin complicar el control en exceso. Se han dado dos casos significativos, que difieren en si se busca una velocidad lineal constante o una velocidad angular constante.

- Antiguamente, las unidades de disquete del Macintosh ajustaban la velocidad de rotación según la zona para conseguir una velocidad lineal constante.
- Los discos duros actuales giran a **velocidad de rotación constante**, por lo tanto la velocidad lineal (en bits/s) es siempre mayor en las zonas exteriores que en las interiores.



EJERCICIO 4 Calcula la capacidad del disco duro del ejercicio 2 suponiendo que recibe formato ZCAV con la siguiente distribución de sectores de 512 bytes.

Zona	Diámetros min-máx	<i>t_{pi}</i>	sectores/pista
0	3.00"–3.50"	40000	7600
1	2.50"–3.00"	40000	6450
2	2"–2.50"	40000	5300
3	1.50"–2.00"	40000	4100

¿Cuál es la densidad areal del disco? Exprésala en unidades de Mbit/sq in y Gbit/sq in.

4. Prestaciones de los discos duros

Las unidades actuales de disco giran a una velocidad constante especificada por el fabricante en revoluciones por minuto (rpm). Las velocidades más frecuentes están entre 4500 y 15000 rpm.

Temporización básica

El disco opera cuando recibe una orden a través de la interfaz. Las órdenes de lectura y escritura direccionan sectores. En cuanto a la temporización, el acceso para leer o escribir un bloque del disco significa:

1. Posicionar el brazo para hacer accesible el cilindro implicado. El tiempo necesario se llama **latencia de posicionamiento** (*seek time*) y se mide en milisegundos. Este tiempo depende de la posición previa del cabezal y de la velocidad de movimiento del brazo. Por eso, los fabricantes dan diversas medidas, como son el tiempo medio (*average seek time*) de posicionamiento, obtenido estadísticamente, o el tiempo mínimo de pasar de un cilindro al adyacente (*track-to-track seek time*) que es el caso más rápido de posicionamiento.
2. Esperar que el sector direccionado pase por debajo del cabezal. Este tiempo se llama **latencia rotacional** (*rotational latency*) y también se mide en milisegundos. Depende de la velocidad de rotación del disco, y su valor medio es la mitad del periodo de rotación, es decir, el tiempo necesario para que el disco gire 180°. Cuanto mayor sea la velocidad de rotación (*spindle speed*) más corta será esta latencia.
3. Hacer la transferencia, es decir, la lectura o la escritura íntegra del bloque. La velocidad de transferencia de los datos depende de la velocidad de rotación y de la densidad (es decir, de la longitud del sector en la pista).

El disco duro sigue el patrón temporal de la mayoría de las memorias:

- Hay una **latencia** o tiempo de acceso entre el inicio de la operación y el comienzo de la transferencia. Resulta de sumar las latencias de posicionamiento y de rotación, y sigue una distribución de probabilidad, dado que depende de dos latencias variables. En el caso más favorable, la latencia será casi nula en los accesos en los que el brazo ya está ubicado en la pista objetivo y la operación comienza justamente cuando el sector direccionado iba a pasar por debajo del cabezal, pero es fácil imaginar casos menos favorables. En general, podemos esperar latencias promedio del orden de 10 a 20 milisegundos.
- Hay una **velocidad de transferencia interna** que en el disco depende de la velocidad lineal a la que circula el sector por debajo del cabezal. En la distribución por zonas, la velocidad lineal en las zonas exteriores es mayor que en las internas. La velocidad de transferencia máxima en los discos corrientes está alrededor de 200 MB/s.

Otros aspectos de la temporización

En general, las operaciones con el disco afectan a más de un sector, y el manejador del disco junto con el adaptador pueden optimizar el acceso aprovechando los casos más favorables.

- El acceso a sectores correlativos en la misma pista sólo exigirá el posicionamiento y la rotación para acceder al primer sector; el disco transferirá el resto de los sectores sin interrupción.
- El paso de una pista a otra sin cambiar de cilindro no requiere posicionamiento, sólo conmutación de cabezal. En condiciones ideales, este paso puede hacerse sin interrumpir la transferencia de sectores.

- El movimiento del brazo desde un cilindro al adyacente es un caso particular de posicionamiento, el más rápido de todos (*track-to-track time*).

Los sistemas operativos intentan gestionar la asignación de sectores para que el acceso al sistema de archivos de un disco sea lo más rápido posible (ved el [artículo en Wikipedia](#)).

Otro aspecto a considerar es la conexión del disco al computador. Actualmente, la velocidad de la conexión más frecuente (el bus Serial ATA) es mucho más rápida que la velocidad de transferencia interna. Sin embargo, puede ser que la velocidad de transferencia externa del dispositivo sea menor, como es el caso de algunos discos portátiles, o que las transferencias del disco entren en conflicto con otras transferencias concurrentes en los buses del computador. Por eso, los discos disponen de un *buffer* que permite sincronizar las transferencias internas y las externas (ved la Figura 8). Los fabricantes suelen especificar la capacidad del buffer de los discos, habitualmente entre 16 y 64 MB.

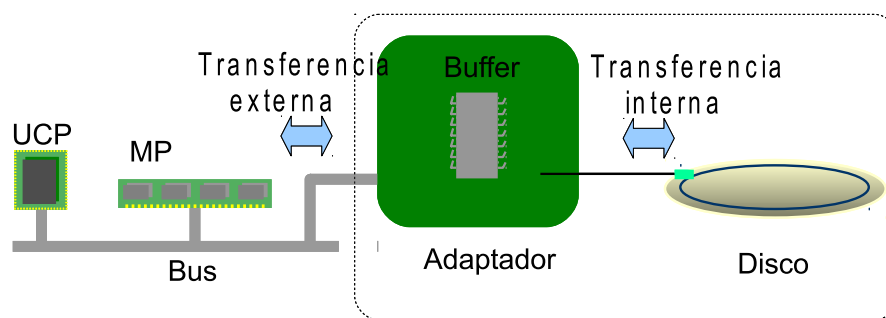


Figura 8: El buffer de disco forma parte de la electrónica de adaptación al computador. Permite resolver problemas generales de sincronización entre los diversos dispositivos del computador.

Ejemplos y ejercicios

Por ejemplo, consideremos un disco duro con organización CAV de 100 sectores de 512 bytes por pista, y tiempo medio de posicionamiento de 10 ms, que gira a 6000 rpm.

- Latencia rotacional mediana:

$$\text{Tiempo de una rotación} = \frac{60 \text{ s/minuto}}{6000 \text{ rpm}} = 0.01 \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

$$\text{Latencia rotacional media} = \frac{10}{2} = 5 \text{ ms}$$

- Tiempo de acceso medio (o latencia total media)

$$\begin{aligned} \text{Latencia total media} &= \text{Latencia posicional} + \text{Latencia rotacional media} \\ &= 10 + 5 = 15 \text{ ms} \end{aligned}$$

- Tiempo de paso de un sector debajo el cabezal (o tiempo de transferencia)

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de paso de un sector} &= \frac{\text{Tiempo de una rotación}}{\text{Número de sectores por pista}} \\ &= \frac{10 \text{ ms/rotación}}{100 \text{ sectores/rotación}} = 0.1 \text{ ms} \end{aligned}$$

- Velocidad de transferencia interna

$$\begin{aligned}\text{Velocidad de transferencia interna} &= \frac{\text{Capacidad de una pista}}{\text{Tiempo de una rotación}} \\ &= \frac{100 \text{ sectores} \times 512 \text{ bytes/sector}}{10 \text{ ms}} = 5120 \text{ KB/s}\end{aligned}$$

o también

$$\begin{aligned}\text{Velocidad de transferencia interna} &= \frac{\text{Capacidad del bloque}}{\text{Tiempo de paso de un sector}} \\ &= \frac{512 \text{ bytes}}{0.1 \text{ ms}} = 5120 \text{ KB/s}\end{aligned}$$

- Tiempo total medio de lectura de un sector

$$\begin{aligned}\text{Tiempo medio de lectura} &= \text{Latencia total media} + \text{Tiempo de paso del sector} \\ &= 15 + 0.1 = 15.1 \text{ ms}\end{aligned}$$

- Tiempo de transferencia de 50 sectores correlativos en la misma pista:

$$\begin{aligned}\text{Tiempo de transferencia} &= \text{Tiempo de paso de un sector} \times \text{número de sectores} \\ &= 0.1 \times 50 = 5 \text{ ms}\end{aligned}$$

- Tiempo medio de lectura de 50 sectores correlativos en la misma pista:

$$\begin{aligned}\text{Tiempo medio de lectura} &= \text{Latencia total media} + \text{Tiempo de transferencia} \\ &= 15 + 5 = 20 \text{ ms}\end{aligned}$$



EJERCICIO 5 Considerad el disco del ejercicio 4 cuando gira a 12000 rpm.

Tiempo de posicionamiento: *average seek time* de 8 ms, *track-to-track seek time* de 0.5 ms.

Para simplificar, suponed que el tiempo de posicionamiento medio DENTRO de una de las cuatro zonas es el tiempo medio de posicionamiento global dividido por el número de zonas, es decir, $8/4 = 2$ ms.

Calcula

1. El tiempo medio de acceso en cada una de las zonas del disco.
2. La velocidad de transferencia interna en cada una de las zonas.
3. El tiempo medio de lectura de un archivo de 90 KB suponiendo que está almacenado en sectores correlativos de la misma pista en dos casos: cuando la pista está dentro de la zona 0 y cuando está dentro de la zona 3.
4. El tiempo medio de lectura de un archivo de 90 KB que se encuentra almacenado en sectores al azar distribuidos en diversos cilindros de la zona 0.
5. El tiempo de lectura de un archivo de 900 MB suponiendo que está almacenado de manera óptima en la zona 0.

5. Conclusión

El mínimo espacio necesario para ubicar un bit viene definido por las características del medio, por las dimensiones del cabezal y por la distancia entre este y la superficie. La inversa de este espacio es la máxima densidad de datos. Para incrementar la capacidad de los discos, los

fabricantes han mejorado el diseño de los cabezales reduciendo sus dimensiones a fracciones de milímetro, modificando su forma para permitir la polarización vertical (y así los dominios magnéticos ocupan menos superficie en el medio) y reduciendo su distancia con el disco a unos pocos nanómetros.

Otra mejora ha sido la ampliación de la capacidad del sector físico (ved en la Wikipedia el artículo *Advanced Format*) para dar cabida a los bloques lógicos de 4 KiB sin necesidad de agruparlos por zonas. De esta manera, se reduce la proporción de bits de control y se aprovecha mejor el medio.

El efecto combinado de las mejoras ha sido descrito como la “Kryder’s Law”, (ved el artículo que se publicó en la página de la revista *Scientific American*) que dice que el crecimiento de la densidad de almacenamiento de los discos magnéticos es más rápido que el de la densidad de integración de los chips descrita por la ley de Moore.

La producción de discos duros se ha concentrado hoy en día en sólo tres fabricantes: Seagate, Toshiba y Western Digital (ved el diagrama en la *Wikipedia*).

6. Más bibliografía

En la Wikipedia podéis encontrar descripciones de los *tambores magnéticos*, las *memorias de núcleos de ferrita*, las *cintas magnéticas* y los *disquetes*. También hay una descripción de las *bibliotecas robotizadas* que se utilizaban en grandes centros de cálculo.

En *Tom’s hardware* encontraréis información variada sobre los discos duros: su historia, la evolución de los componentes y una descripción de las técnicas de codificación. También en la wikipedia, a partir del artículo sobre el *disco duro*, podéis acceder a una gran cantidad de artículos sobre la historia de los discos duros, los detalles tecnológicos que hemos discutido (capacidad y prestaciones) y otros igualmente importantes que no hemos citado (segmentos de mercado, medidas de fiabilidad), sin olvidar el vídeo que muestra una unidad de disco destapada en funcionamiento.