



Sistemas Operativos 2

Unidad 3: Dispositivos de almacenamiento

Conceptos generales

René Ornelis
Primer semestre de 2025

Contenido

1	Introducción	5
2	Discos duros magnéticos (electromecánicos)	5
2.1	Estructura física de un disco	5
2.2	Estructura de las pistas.....	7
2.3	Intercalado de sectores.....	7
2.3.1	Cilindros.....	7
2.4	Tiempo de acceso.....	8
2.5	LBA (Large Block Addressing).....	8
2.5.1	¿Qué es Large Block Addressing (LBA)?	8
2.5.2	¿Cómo funciona el LBA?	9
2.5.3	Capacidades y versiones de LBA	9
2.5.4	Ventajas del LBA.....	9
2.5.5	Implementación del LBA.....	9
2.6	Capacidad.....	10
2.7	Daños en la superficie magnética	10
2.7.1	Fallos mecánicos.....	10
2.7.2	Daños físicos y choques.....	10
2.7.3	Cómo detectar y prevenir fallos.....	10
3	Disco de estado sólido	11
4	Estructura y composición.....	11
4.1	Principio de funcionamiento	11
4.2	Proceso de escritura y borrado.....	11
4.3	Gestión de datos.....	11
4.4	Ventajas y rendimiento	12
4.5	Tipos de SSD	12
5	Discos electromecánicos vs discos de estado sólido.....	12
5.1	Evolución de los SSD vs. HDD	12
5.2	¿Reemplazarán los SSD a los HDD?	12
5.3	Margen de mercado de SSD vs. HDD	13
5.4	¿Aún hay discos electromecánicos más rápidos que los SSD?.....	13
5.5	Futuro de los SSD vs. HDD	13

Índice de figuras

Figura 1: Aspecto exterior de un disco	5
Figura 2: Estructura interna de un disco	6
Figura 3: Estructura de un disco	6
Figura 4: Estructura de un sector	7
Figura 5: Intercalado de sectores	7
Figura 6: Cilindros	8
Figura 7: Pronóstico de SSD vs HDD.....	14

Dispositivos de almacenamiento

1 Introducción

La importancia de los dispositivos de almacenamiento radica en que permiten la persistencia de los datos del usuario (lo cual es un activo intangible valioso) y del sistema operativo en sí, y este debe optimizar el acceso ya que, al ser un componente mecánico, el tiempo de acceso es perceptible por el usuario y forma parte de la **usabilidad** del sistema: un sistema con acceso lento al disco provocará que el usuario perciba que el sistema no le es útil.

En esta unidad veremos cómo la estructura y la administración de un disco duro, así también el tema de la tolerancia a fallos, en la que el sistema operativo debe ser capaz de detectar la fallas e incluso repararlas en el sistema de archivos (que veremos en la siguiente unidad).

2 Discos duros magnéticos (electromecánicos)

2.1 Estructura física de un disco

Si se abre una computadora, se sacan el disco duro y se remueve la cubierta de esta, veremos que tiene una estructura similar a la Figura 1, donde podemos apreciar varios componentes:

- El conector de poder
- La conexión de datos. Transfiere los datos del/hacia el CPU.
- El jumper block, que en los discos IDE, son parte de la configuración del esquema maestro-esclavo en todas sus combinaciones,
- Cabezas de lectura/escritura: están intercaladas entre los platos y se encargan del acceso a la información.

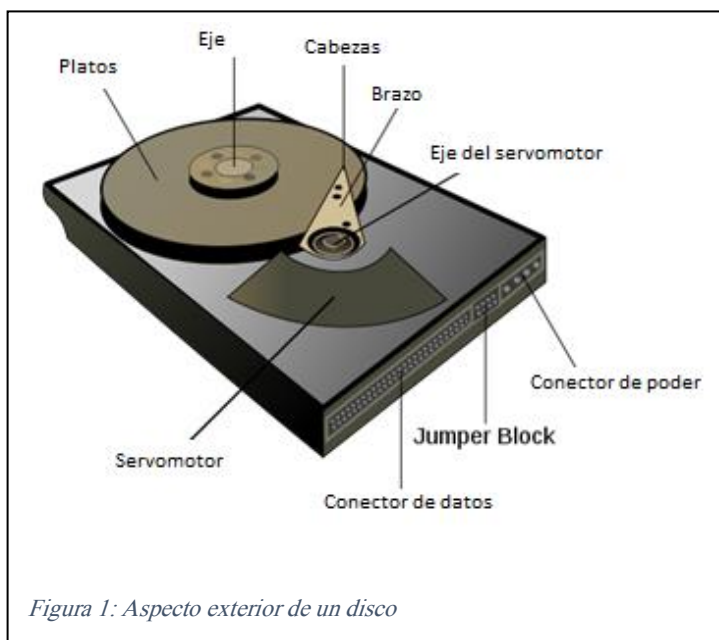


Figura 1: Aspecto exterior de un disco

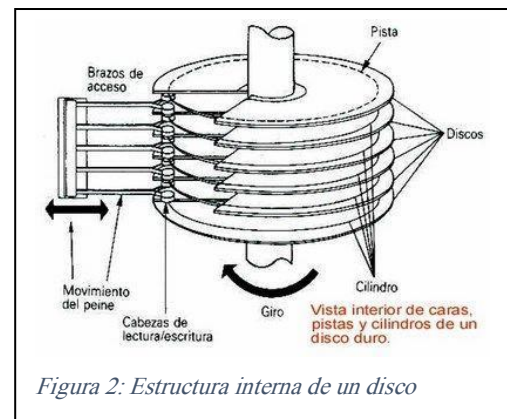
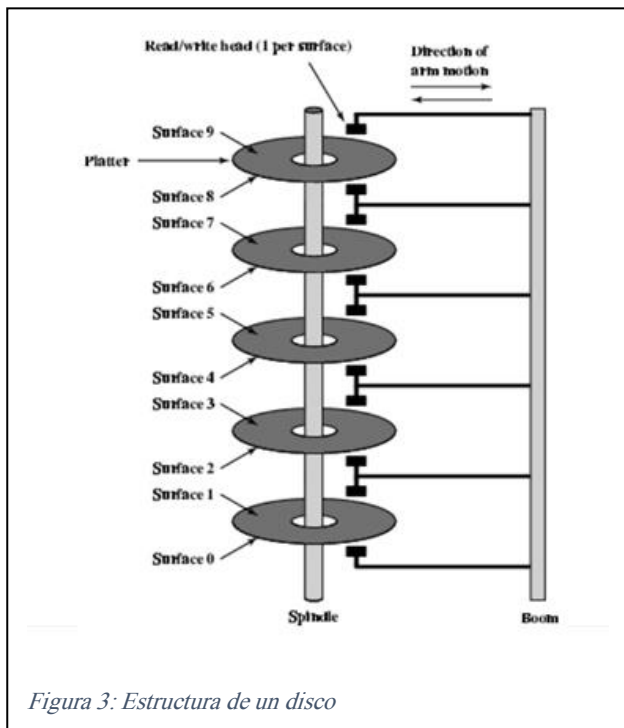
- Brazo, el cual sostiene las cabezas de lectura/escritura.
- Eje del servomotor, el cual al girar mueve el brazo y las cabezas pueden recorrer el disco bidireccionalmente hacia adentro y afuera en una trayectoria semicircular.
- Platos: Pila de discos cubierto de material electromagnético, donde se guarda la información. Un motor dentro del disco duro hace girar los platos a velocidades muy altas, típicamente entre 5,400 y 15,000 revoluciones por minuto (RPM).
- Eje del disco duro, que gira constantemente en una sola dirección, para aprovechar la inercia.

Principio de funcionamiento:

- **Escritura de datos:** Cuando se escribe datos en el disco duro, la cabeza de escritura aplica un campo magnético a la capa del plato para cambiar la polaridad de pequeñas áreas magnéticas en la superficie del disco. Estos cambios en la polaridad representan los datos binarios (0s y 1s).
- **Lectura de datos:** Cuando se leen datos, la cabeza de lectura detecta las variaciones en el campo magnético de la superficie del disco. Estas variaciones se convierten de nuevo en señales eléctricas que el sistema interpreta como datos.

Internamente:

- Platos
- Cabezas de lectura y escritura
- Pistas
- Sectores

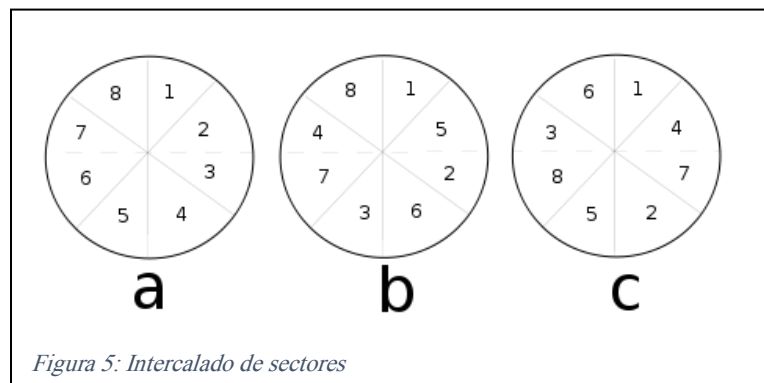
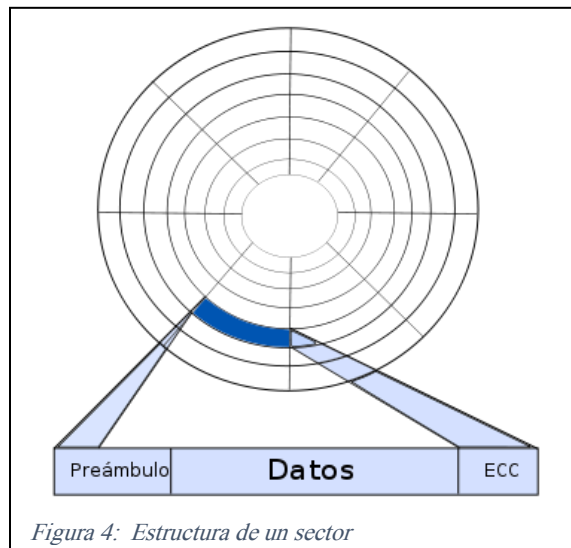


2.2 Estructura de las pistas

El hecho que la división de los sectores sea de forma angular, provoca que el tamaño de los sectores sea mayor en las pistas externas y menor en las internas. Sin embargo, todos los sectores logran la misma capacidad de almacenamiento. Esto se logra a través de variar la densidad del material electromagnético en los sectores, siendo más denso en los sectores internos que en los externos.

2.3 Intercalado de sectores

El buffer del disco será un factor fundamental y muy importante en la velocidad de lectura. Si un Buffer tiene una capacidad de almacenamiento de un sector, tras leer tal sector, deberá transmitir la información a la memoria principal; Este tiempo de transmisión será suficiente para que el sector contiguo se haya desplazado de la cabeza lectora y por tanto haya que esperar una nueva vuelta completa del disco para leer el sector. Una operación de lectura pierde cantidades despreciables de tiempo, pero que a grandes rasgos resultan en pérdidas de segundos o minutos. Para ello, se recurre al **intercalado de disco**, procedimiento consistente en numerar los sectores de forma no contigua o separados entre sí, de manera que después de la transmisión de datos a la memoria

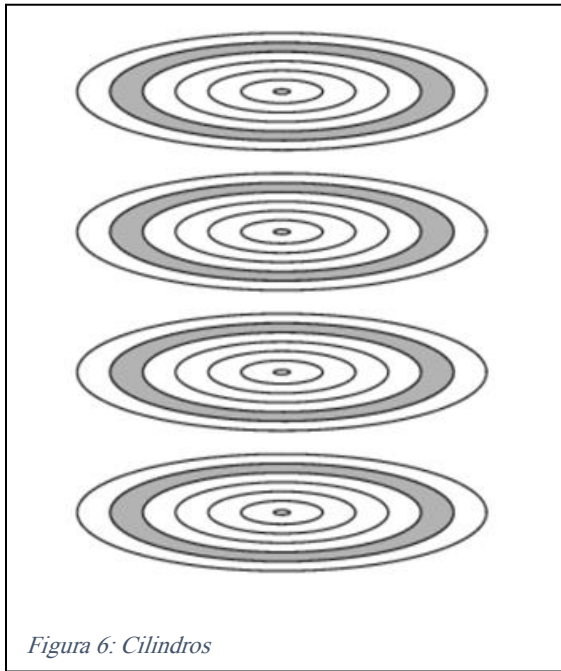


principal no haya que esperar una rotación completa. El intercalado puede ser *simple* o *doble*, según la velocidad de transmisión de datos del buffer.

Podemos observar en la Figura 5, donde **a** muestra sectores sin intercalado, **b** muestra sectores con intercalado simple (de un sector) y **c** muestra un intercalado doble (dos sectores).

El intercalado de sectores está determinado por la relación entre la velocidad de transferencia y la velocidad angular. Por ejemplo: si en el tiempo que se lee y transfiere a memoria un sector, el disco giró y avanzó tres sectores, entonces se necesita un intercalado de tres sectores, es decir habrá tres sectores en medio un sector y el siguiente en orden lógico.

2.3.1 Cilindros



2.4 Tiempo de acceso

El proceso de acceso de un disco duro es así:

- Cuando la computadora necesita acceder a datos, el controlador del disco duro mueve el brazo de las cabezas de lectura/escritura a la pista donde están almacenados los datos.
- Los platos giran hasta que el área deseada esté bajo la cabeza de lectura/escritura.
- La cabeza lee o escribe datos según sea necesario.

[CHS] = tiempo de búsqueda de cilindro + tiempo rotacional de búsqueda del sector + tiempo de transferencia en las cabezas

2.5 LBA (Large Block Addressing)

El **Large Block Addressing (LBA)** es un método para direccionar bloques de datos en discos duros y otros dispositivos de almacenamiento. Específicamente, se utiliza para superar las limitaciones de los métodos de direccionamiento más antiguos y manejar discos duros con capacidades mayores. LBA es un esquema crucial para el direccionamiento eficiente de datos en discos duros de gran capacidad. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y simplificar el proceso de acceso al disco ha sido fundamental para la evolución de la tecnología de almacenamiento y la integración de discos duros de alta capacidad en sistemas modernos.

2.5.1 ¿Qué es Large Block Addressing (LBA)?

Large Block Addressing (LBA) es un esquema de direccionamiento que permite al sistema operativo y al controlador de disco duro acceder a bloques de datos en discos duros de gran capacidad. A diferencia del método tradicional de direccionamiento CHS (Cylinders, Heads,

Sectors), que tiene limitaciones en cuanto a la capacidad máxima del disco, LBA proporciona un método más flexible y escalable para gestionar discos duros grandes.

2.5.2 ¿Cómo funciona el LBA?

- **Direccionamiento de bloques:** En lugar de utilizar cilindros, cabezas y sectores para ubicar los datos, LBA utiliza una única dirección lineal para cada bloque de datos. Esto simplifica el proceso de acceso al disco duro, ya que el controlador puede identificar y acceder a cualquier bloque usando un número único.
- **Número de bloques:** En LBA, cada bloque de datos en el disco tiene un número único. Por ejemplo, el primer bloque es el bloque 0, el segundo bloque es el bloque 1, y así sucesivamente. Esto permite un acceso directo y rápido a cualquier bloque sin necesidad de calcular las ubicaciones basadas en cilindros, cabezas y sectores.

2.5.3 Capacidades y versiones de LBA

- **LBA-28:** La primera versión del LBA, LBA-28, utiliza 28 bits para direccionar bloques. Esto permite una capacidad de dirección de hasta 128 GB (2^{28} bloques, con cada bloque típicamente siendo de 512 bytes).
- **LBA-48:** Para discos duros con capacidades mayores, se introdujo LBA-48, que utiliza 48 bits para direccionar bloques. Esto aumenta la capacidad máxima de direccionamiento a 128 PB (petabytes) (2^{48} bloques). LBA-48 es compatible con discos duros modernos de alta capacidad y proporciona la flexibilidad necesaria para manejar grandes volúmenes de datos.

2.5.4 Ventajas del LBA

- **Escalabilidad:** LBA permite el uso de discos duros de gran capacidad sin las limitaciones del esquema CHS, que se queda corto a medida que aumentan las capacidades de almacenamiento.
- **Simplicidad en la gestión de datos:** Al utilizar una dirección lineal, el acceso a los datos es más sencillo y eficiente, evitando la necesidad de convertir entre coordenadas de cilindros, cabezas y sectores.
- **Compatibilidad:** LBA es compatible con sistemas operativos modernos y estándares de interfaces de disco duro, como SATA (Serial ATA) y SCSI (Small Computer System Interface), facilitando la integración de discos duros grandes en diferentes sistemas.

2.5.5 Implementación del LBA

- **Controladores de Disco:** Los controladores de disco y las interfaces de almacenamiento implementan el LBA para manejar la dirección y acceso a los bloques de datos. Los sistemas operativos modernos y las interfaces de disco duro están diseñados para soportar LBA-48, lo que permite aprovechar discos de gran capacidad.
- **Sistemas operativos:** Los sistemas operativos modernos utilizan LBA para acceder a los discos duros, lo que les permite manejar grandes volúmenes de datos sin problemas de direccionamiento.

2.6 Capacidad

Dependiendo de la estructura del disco, el cálculo de tamaño bruto del disco es:

- Disco con CHS:

Capacidad del disco = cilindros * cabezas * sectores en cada pista * tamaño del sector

- Disco con LBA

Capacidad = tamaño del sector * número de sectores

2.7 Daños en la superficie magnética

Los daños en las superficies de los discos (*crash*) en un disco duro magnético, también conocidos como fallos o fallos catastróficos, pueden ocurrir debido a una variedad de razones. Estos fallos suelen resultar en la pérdida de datos y, en algunos casos, en la incapacidad del disco para funcionar. Estos daños pueden ser causados por una combinación de fallos mecánicos, errores electrónicos, problemas de energía, daños físicos, desgaste y errores de usuario. La prevención y el monitoreo adecuado son clave para minimizar el riesgo de pérdida de datos.

2.7.1 Fallos mecánicos

- **Daño en el plato:** Los platos dentro del disco duro giran a alta velocidad. Si hay un defecto en la superficie del plato o si se daña debido a un impacto físico, puede provocar la pérdida de datos en esa área.
- **Cabeza de lectura/escritura desalineada o dañada:** Las cabezas de lectura/escritura están suspendidas a una distancia extremadamente pequeña de la superficie del plato. Si estas cabezas se desalinean o se dañan, pueden raspar la superficie del plato, causando daños y pérdida de datos.

2.7.2 Daños físicos y choques

- **Impactos y vibraciones:** Los discos duros son sensibles a impactos y vibraciones, especialmente cuando están en uso. Un golpe o una vibración fuerte pueden dañar los componentes internos, como las cabezas de lectura/escritura o los platos, causando fallos.

2.7.3 Cómo detectar y prevenir fallos

- **Monitoreo de salud:** Utilizar herramientas de diagnóstico y monitoreo de salud del disco duro (como S.M.A.R.T., Self-Monitoring, Analysis, and Reporting Technology) puede ayudar a detectar signos tempranos de fallos.
- **Copias de seguridad:** Mantener copias de seguridad regulares de los datos importantes es crucial para proteger la información en caso de un fallo en el disco duro.

- **Mantenimiento adecuado:** Asegurarse de que el disco esté bien ventilado y libre de polvo, y evitar golpes o vibraciones fuertes puede ayudar a prevenir fallos.

3 Disco de estado sólido

Los discos de estado sólido (SSD, por sus siglas en inglés) funcionan de manera muy diferente a los discos duros magnéticos (HDD). Los SSDs utilizan memoria flash NAND para almacenar datos sin partes móviles, lo que les permite ofrecer un rendimiento mucho más rápido y una mayor durabilidad en comparación con los discos duros magnéticos.

4 Estructura y composición

- **Memoria flash:** Los SSDs utilizan memoria flash NAND para almacenar datos. Esta memoria es un tipo de memoria persistente, lo que significa que retiene la información incluso cuando no hay energía.
- **Controlador:** El controlador es un componente clave en el SSD que gestiona la lectura y escritura de datos en las celdas de memoria. Se encarga de organizar los datos, realizar correcciones de errores y optimizar el rendimiento.

4.1 Principio de funcionamiento

- **Memoria NAND flash:** La memoria NAND está formada por celdas que almacenan datos en forma de cargas eléctricas. Estas celdas se agrupan en páginas y bloques. Las páginas son las unidades más pequeñas de lectura y escritura, mientras que los bloques son las unidades más grandes que se borran en conjunto.
- **Lectura de Datos:** Para leer datos, el controlador accede a las celdas de memoria y detecta las cargas eléctricas presentes. Cada carga representa un bit de información (0 o 1).
- **Escritura de Datos:** Al escribir datos, el controlador aplica una carga eléctrica a las celdas para representar los datos que se almacenarán. La memoria NAND se escribe en páginas y se borra en bloques.

4.2 Proceso de escritura y borrado

- **Escritura:** Los SSDs escriben datos en páginas específicas dentro de un bloque. La escritura directa en una celda implica modificar su carga para reflejar el nuevo dato.
- **Borrado:** Antes de poder escribir nuevos datos en una celda, el bloque completo debe ser borrado. Esto significa que todos los datos en el bloque se eliminan antes de que se pueda escribir nuevo contenido en él. Este proceso es más complejo que la escritura en discos duros, pero es esencial para mantener el rendimiento y la integridad de los datos.

4.3 Gestión de datos

- **TRIM:** La función TRIM permite al sistema operativo informar al SSD sobre los bloques de datos que ya no están en uso. Esto ayuda al controlador a gestionar mejor el espacio libre y a mantener el rendimiento.

- **Garbage collection:** Es una técnica utilizada por el controlador para gestionar el espacio ocupado y libre. Implica mover los datos válidos de bloques que están siendo eliminados y liberar espacio para nuevas escrituras.

4.4 Ventajas y rendimiento

- **Velocidad:** Los SSDs ofrecen tiempos de acceso y velocidades de lectura/escritura mucho más rápidas que los HDDs. Esto se debe a que no tienen partes móviles y pueden acceder directamente a cualquier celda de memoria.
- **Durabilidad:** Al no tener partes móviles, los SSDs son menos susceptibles a daños físicos y a fallos mecánicos, haciéndolos más duraderos y fiables.

4.5 Tipos de SSD

- **SATA SSDs:** Usan el mismo conector y protocolo que los discos duros tradicionales, por lo que son compatibles con la mayoría de los sistemas, pero tienen velocidades limitadas por la interfaz SATA.
- **NVMe SSDs:** Utilizan el protocolo NVMe (Non-Volatile Memory Express) y se conectan a través de una interfaz PCIe (Peripheral Component Interconnect Express). Ofrecen velocidades mucho mayores y mejor rendimiento que los SSDs SATA.

5 Discos electromecánicos vs discos de estado sólido

5.1 Evolución de los SSD vs. HDD

- **Discos duros electromecánicos (HDD):** Los HDD han sido el estándar durante décadas, basándose en tecnología magnética para almacenar datos en platos giratorios. Son relativamente baratos y ofrecen una gran capacidad de almacenamiento, aunque son más lentos, especialmente a la hora de acceder a los datos. A pesar de que su rendimiento en términos de velocidad es inferior, siguen siendo muy populares debido a su bajo costo por gigabyte.
- **Discos de estado sólido (SSD):** Los SSD llegaron para revolucionar el mercado de almacenamiento. Utilizan memoria flash NAND en lugar de piezas móviles, lo que resulta en una mayor velocidad de lectura y escritura, además de ser más resistentes al desgaste físico. Inicialmente eran más caros por gigabyte, pero los avances en la tecnología y la producción en masa han reducido significativamente los precios.

5.2 ¿Reemplazarán los SSD a los HDD?

Los SSD han avanzado mucho en términos de capacidad, velocidad y costo. Aunque los HDDs siguen siendo populares en ciertos nichos, como en almacenamiento masivo de datos (por ejemplo, en servidores y centros de datos, donde se requieren grandes volúmenes de almacenamiento), los SSD están reemplazando gradualmente a los HDD en aplicaciones donde el rendimiento es crítico. Esto incluye computadoras personales, portátiles y en servidores que requieren acceso rápido a los datos.

- **SSD en computadoras personales y portátiles:** Ya están casi completamente reemplazando a los HDD en muchos modelos, especialmente en laptops y computadoras de gama alta, donde la velocidad y la durabilidad son factores clave.

- **HDD en almacenamiento masivo:** Los HDD todavía dominan en aplicaciones de almacenamiento a gran escala, como en discos duros externos, servidores de almacenamiento de archivos y sistemas de respaldo. Esto se debe a que los HDD siguen siendo más baratos por gigabyte en comparación con los SSD.

5.3 Margen de mercado de SSD vs. HDD

- Los **SSD** están ganando terreno rápidamente, con un crecimiento en el mercado de consumo, especialmente con la adopción de la memoria flash NAND. Según algunos estudios, se espera que para 2026, los SSD representen más del 50% del mercado global de discos duros. Las proyecciones también indican que su participación en servidores y centros de datos seguirá aumentando.
- **HDD**, por su parte, continúa dominando en sectores donde la capacidad es más importante que la velocidad, debido a su menor costo por gigabyte. Aun así, su cuota de mercado ha disminuido en términos generales, y se está consolidando en nichos específicos como almacenamiento masivo y backup.

5.4 ¿Aún hay discos electromecánicos más rápidos que los SSD?

En términos generales, los SSD han superado a los HDD en velocidad de lectura y escritura. Sin embargo, los discos duros de alta gama, como los **HDDs de 15.000 RPM**, son más rápidos que los HDD tradicionales de 7.200 RPM o 5.400 RPM. Aun así, los SSD, especialmente los de interfaz **NVMe**, superan ampliamente a estos discos duros en velocidad.

- **SSD NVMe vs. HDD 15k RPM:** Los SSD con la interfaz NVMe pueden ofrecer velocidades de lectura/escritura de más de 3.000 MB/s, mientras que los HDD de 15k RPM rondan los 150 MB/s. Esta diferencia es enorme y hace que los SSD sean mucho más rápidos, incluso en comparación con los discos duros más rápidos de la generación anterior.
- **Velocidad de acceso:** Además, los SSD tienen tiempos de acceso mucho más rápidos, ya que no tienen piezas móviles. Los HDD, por su parte, están limitados por la necesidad de mover las cabezas de lectura/escritura sobre los discos, lo que introduce latencia adicional.

5.5 Futuro de los SSD vs. HDD

- Los **SSD** continuarán evolucionando y mejorando en capacidad y velocidad, y es probable que se conviertan en el estándar para la mayoría de los dispositivos personales y empresariales en los próximos años. Los avances en la memoria flash 3D NAND, la mejora de las interfaces como PCIe 4.0 y 5.0, y la reducción de costos seguirán impulsando su adopción.

- **HDD**, aunque en declive en términos de adopción en productos personales, seguirán siendo relevantes en el almacenamiento masivo y en aplicaciones donde se necesita una gran cantidad de espacio a un costo relativamente bajo. La densidad de almacenamiento en los HDD seguirá mejorando (con tecnologías como la grabación magnética asistida por calor, HAMR), lo que les permitirá ofrecer capacidades extremadamente altas.

Como se puede apreciar en la Figura 7, en los próximos años, el costo por TB de los SSD bajará más que el costo de los HDD. Probablemente, si mantienen la misma tendencia en rendimiento, los HDD entrarán en un proceso de obsolescencia.

