

# SESIÓN DE LABORATORIO 8

## Discos de estado sólido

### Objetivos

- Entender el funcionamiento y características básicas de las unidades de disco de estado sólido.
- Interpretar adecuadamente las especificaciones indicadas por el fabricante de un disco de estado sólido.
- Adquirir experiencia en la consulta y manejo de la información aportada por los fabricantes de discos de estado sólido a través de la Hoja de Especificaciones (Data Sheet) y el Manual del Producto (Product Manual).
- Conocer las implicaciones prácticas de los parámetros de rendimiento y confiabilidad de los discos de estado sólido que indican los fabricantes.

### Desarrollo

En esta sesión se va a trabajar con un disco de estado sólido del fabricante Western Digital perteneciente a la serie WD Blue 3M NAND SATA SSD. En particular, trabajaremos con el modelo de 500 GB que es el instalado en los ordenadores del laboratorio de Arquitectura de Computadores. En resumen, en esta sesión de laboratorio se realizarán cálculos elementales de carácter cuantitativo relacionados con el rendimiento y la confiabilidad del disco.

Para el desarrollo de esta sesión de laboratorio se debe consultar tanto la hoja de Especificaciones ([WD Blue SSD Data Sheet](#)) como el manual del producto ([WD Blue SSD Product Manual](#)). En particular, el segundo de estos documentos es la referencia completa del dispositivo, por lo que representa una fuente de información de especial importancia. Adicionalmente, para aquella persona interesada, puede consultarse también el documento [WD SSD Dashboard Application](#) que ofrece una descripción muy interesante de la aplicación desarrollada en entorno Microsoft Windows por Western Digital para la gestión y configuración de sus discos de estado sólido.

A continuación podemos ver algunas imágenes de esta unidad de disco.



## Parámetros básicos

Las siguientes cuestiones, siempre que no se indique lo contrario, se refieren al modelo específico de disco WDS500G2B0A. Para resolverlas hay que consultar la Hoja de Especificaciones o el Manual del Producto, ambos publicados por el fabricante.

### Factor de forma

El fabricante ofrece dos formatos físicos (Factor de forma) distintos para esta unidad de disco de estado sólido con la misma capacidad de almacenamiento. ¿De qué dos formatos físicos se trata exactamente? En el caso del formato con dimensiones más reducidas, ¿qué significan los números 2280?

Un formato físico es el WD Blue SSD 2.5"/7mm cased y el otro sería WD Blue SSD M.2 2280

El 2280 hace referencia a las dimensiones del dispositivo, 22mm de ancho x 80mm de largo.

### Celda de almacenamiento

Esta unidad de disco emplea tecnología Flash TLC (Triple Level Cell), lo que permite almacenar 3 bits por celda. A pesar de que el espacio físico necesario para almacenar bits es reducido, también es cierto que el número de ciclos de escritura que toleran estas celdas es menor que en otros casos como SLC (Single Level Cell) o MLC (Multi Level Cell). Ahora bien, desde el punto de vista del rendimiento, ¿la tecnología TLC es más o menos rápida que la SLC?

La tecnología TLC es menos rápida que la SLC. Su única ventaja es que es más barata

### Capacidad de almacenamiento

Indique el número exacto de sectores que tiene el disco WDS500G2B0A según indica el fabricante y su tamaño en bytes para este modelo de disco según se indica en el Manual del Producto. Teniendo en cuenta los valores de estos dos parámetros, ¿cuál es la capacidad exacta que garantiza el fabricante expresada en bytes?

Sectores = 976.773.168

Tamaño sector = 512 bytes

$Capacidad = sectores \times tamaño\ sector$

$Capacidad = 976.773.168 \times 512$

$Capacidad = 5 \times 10^{11} \text{ bytes} = 500 \text{ GB}$

## Unidades de capacidad

La capacidad de nuestro disco, de acuerdo con la nomenclatura usada por el fabricante para indicar la capacidad nominal, ¿es exactamente 500 GB (gigabyte,  $G = 10^9$ ) o 500 GiB (gibibyte,  $Gi = 2^{30}$ )? Justifique su respuesta.

Es 500 GB (gigabyte,  $G = 10^9$ )

## Jerarquía de almacenamiento

De acuerdo con el apartado Tiered Caching del Manual del Producto, la unidad de disco organiza el almacenamiento como una especie de jerarquía de memoria estructurada en tres niveles con distintas tecnologías. Esta organización permite aumentar el rendimiento gracias al principio de localidad. Identifica estos tres niveles e indica la tecnología concreta de cada nivel.

Volatile cache - DDR DRAM cache  
Tiered Caching Structure - A non-volatile flash write cache  
Mass storage - TLC NAND flash

## Relación entre coste y capacidad

Estime cuántos euros cuesta almacenar cada GB de información con este disco si su precio de mercado es de 75 €. Considere la capacidad nominal que indica el fabricante. Indique la respuesta en €/GB.

$$\begin{aligned} \text{Coste} &= \frac{75\text{€}}{500 \text{ GB}} \\ \text{Coste} &= 0,15 \text{ €/GB} \end{aligned}$$

## Confiabilidad

### Resistencia del disco

La resistencia (Endurance) de la unidad de disco se puede estimar mediante la totalidad de datos escritos en la misma (TBW, Terabytes Written) durante el periodo de garantía (5 años). De acuerdo con el fabricante, ¿qué volumen de información se debería escribir por día para llegar a comprometer la confiabilidad del disco al cabo de 3 años de uso?

TBW = 200 TB  
3 años = 1095 días  
 $200\text{TB} / 1095 \text{ día} = 0,183 \text{ TB} \times \text{día}$

## Estimación del AFR

La Hoja de Especificaciones únicamente aportan un límite superior del MTTF (Mean Time To Failure). En base a este parámetro, haga una estimación del valor del AFR (Annualized Failure Rate) del disco. Importante: consulte el valor exacto del MTTF en el Manual del Producto.

MTTF = 1,75M de horas                      MTBF = MTTR + MTTF  
Los discos no tienen reparación, por lo que el MTTR = 0. Entonces MTBF = MTTF.  
ARF = 1/MTBF  
ARF = 8760/1,75M horas  
ARF = 0,005

## Tiempo de vida

Calcule una estimación de la probabilidad de que un disco funcione correctamente al cabo de 10 años de vida.

$P[T \leq t] = 1 - e^{\frac{-t}{MTBF}}$   
 $P[T \leq 10 \text{ años}] = 1 - e^{\frac{-87600 \text{ horas}}{1,75 \text{ M horas}}}$   
 $P[T \leq 10 \text{ años}] = 1 - 0,95$   
 $P[T \leq 10 \text{ años}] = 0,05$

## Fallos durante el primer año

¿Cuál sería el número esperado de discos fallados en un sistema de almacenamiento integrado por 50 dispositivos al cabo del primer año de funcionamiento?

ARF = 0,005                                      N° dispositivos = 50  
  
Fallos = ARF x N° dispositivos  
Fallos = 0,005 x 50  
Fallos = 0,25                      = 1 dispositivos

## Reposición de discos

Considere un Centro de Datos con un total de 500 discos de estado sólido. Estime el número de discos fallados al cabo de 7 años de funcionamiento suponiendo que el AFR es 5 veces más grande durante los primeros 6 meses de funcionamiento y, al cabo de 4 años, el AFR se duplica cada año. ¿Cuántos discos de repuesto se deberían comprar, como mínimo, para hacer frente a este tipo de incidencias?

$\text{Discos dañados} = 500 \text{ disp} \times 0,005 \times \left( \left( \frac{5 \times 6}{12} \right) + \frac{6}{12} + 1 + 1 + 1 + 2 + 4 + 8 \right)$   
 $\text{Discos dañados} = 50$   
  
Hacen falta 50 discos como mínimo

## Errores irrecuperables de lectura

Estime el número medio esperado de errores irrecuperables de lectura que se podrían producir si hubiera que hacer una copia de seguridad del contenido de 50 discos del modelo WDS200T2B0A (2 TB de capacidad).

1 error /  $1 \times 10^{16}$  bits

$$\begin{aligned} \text{Errores} &= 50 \text{ disp} \times 2 \text{ TB} \times \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ byte}} \times \frac{1 \text{ error}}{1 \times 10^{16} \text{ bits}} \\ \text{Errores} &= 0,08 \text{ errores} \end{aligned}$$

## Rendimiento

### Codificación 8b/10b de SATA

La interfaz externa de este disco es SATA a 6 Gb/s. Dado que la información se transmite con codificación 8b/10b, ¿cuál es el ancho de banda efectivo, expresado en MB/s, que podemos obtener para transmitir datos netos de usuario?

$$6 \text{ Gb/s} \times 0,8 = 4800 \text{ MB/s}$$

### Benchmark de medida

¿Qué benchmark se ha utilizado para medir el rendimiento del disco? ¿En qué sistema operativo se han obtenido las medidas?

25°C en un PC con chip Intel QM87, Intel Core i5-4300M, 4GB RAM y Windows 8 64-bit

### Copia entre discos

En el mejor de los casos, ¿cuánto tiempo tardaremos en copiar un fichero de 150 GB de una unidad a otra?

$$\frac{150 \text{ GB}}{530 \text{ MB/s}} = 283,02 \text{ segundos} = 4,72 \text{ minutos}$$

Repita el cálculo anterior adaptando los cálculos al caso de que la temperatura ambiente en la que están ambos discos es de 75°C.

$$\frac{150 \text{ GB}}{60 \text{ MB/s}} = 41,67 \text{ min}$$

## Accesos aleatorios y secuenciales

En determinadas condiciones, el fabricante indica que la unidad de disco puede soportar hasta 95.000 IOPS de 4 KB (operaciones de lectura). ¿A qué ancho de banda, expresado en MB/s, corresponde este volumen de tráfico? Compare el valor resultante con el ancho de banda obtenido en accesos secuenciales.

$$95000 \text{ operaciones} \times 4 \text{ KB} = 380 \text{ MB/s}$$

Calcule el tiempo que la unidad de disco tardará en servir de 50 millones de peticiones de escritura de 4 KB.

$$\frac{50 \text{ millones}}{95000} = 526,32 \text{ segundos} = 8,77 \text{ minutos}$$

## Gestión de la energía

### Consumo medio

¿Cuántos mW, por término medio, consume la unidad cuando está activa? ¿Qué benchmark se ha utilizado para estimar este parámetro?

54 mW      Utilizando MobileMark 2014

### Consumos máximos y pico

Especifique los consumos máximos y de pico que consume la unidad cuando está procesando peticiones secuenciales de acceso, y compare estos valores con el consumo medio anterior.

5500mW versión 2.5" y 5650mW versión M.2 2280.

Es entre 101-104 veces más alto.

## Consumos de lectura y escritura

Cuantifique, para accesos secuenciales y valores máximos de consumo, qué relación de consumo energético hay entre lecturas y escrituras.

2050mW para lecturas y 3350mW para escrituras en 2.5"

2050mW para lecturas y 3300mW para escrituras en M.2 2280.

Para lectura el consumo energético es menor que para escritura.