

# La vida de un disco duro. Anatomía y funcionamiento

---



# La vida de un disco duro. Anatomía y funcionamiento

---

*Sergio Barreto Gómez*

Instituto Politécnico Nacional  
— México —

*La vida de un disco duro. Anatomía y funcionamiento*  
Sergio Barreto Gómez

Primera edición: 2018

D.R. © 2018  
Instituto Politécnico Nacional  
Luis Enrique Erro s/n  
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”  
Zacatenco, Deleg. Gustavo A. Madero  
CP 07738, Ciudad de México

Dirección de Publicaciones  
Revillagigedo 83, Centro  
Deleg. Cuauhtémoc  
CP 06070, Ciudad de México

ISBN 978-607-414-605-9

Impreso en México / *Printed in Mexico*  
[www.publicaciones.ipn.mx](http://www.publicaciones.ipn.mx)

Dedicado a Arturo Barreto Gómez,  
quien me hizo ver una nueva realidad.

*In memoriam.*



# Agradecimientos

Haber nacido a principios de los años sesenta, sin que existiera Internet y lo que eso implica, me hace estar agradecido ahora con los muchos creadores de la tecnología (Internet, Google, YouTube) y todas las personas que han hecho aportaciones a este nuevo mundo de información.

A mi esposa Paty y a nuestros hijos, Sergio y Abraham, por su apoyo y entusiasmo, y a Lionel Reim, un buen amigo y maestro de los discos duros.





# Contenido

|                    |    |
|--------------------|----|
| INTRODUCCIÓN ..... | 17 |
|--------------------|----|

## PRIMERA PARTE. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

|  |    |
|--|----|
| 1. INICIOS DEL DISCO DURO .....            | 21 |
| Definición .....                           | 21 |
| Rutina de inicio .....                     | 22 |
| Funcionamiento básico .....                | 22 |
| Área del sistema del disco .....           | 23 |
| Referencias .....                          | 24 |
| 2. COMPONENTES DEL DISCO DURO .....        | 25 |
| Componentes magnéticos .....               | 25 |
| Platos .....                               | 26 |
| Cabezas .....                              | 28 |
| Imán de neodimio .....                     | 28 |
| Componentes electromecánicos .....         | 29 |
| Motor de giro o <i>spindle motor</i> ..... | 29 |
| Fundamentos .....                          | 30 |
| Campos magnéticos .....                    | 32 |
| Motores para el disco duro .....           | 34 |
| Componentes básicos del motor BLDC .....   | 34 |
| Brazo de suspensión .....                  | 37 |
| Cabezas de lectura-escritura .....         | 38 |
| Componentes mecánicos .....                | 42 |
| La carcasa del disco .....                 | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Componentes electrónicos .....                      | 43 |
| La tarjeta PCB .....                                | 43 |
| Referencias .....                                   | 48 |
| <br>  |    |
| 3. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS EN EL DISCO DURO ..... | 49 |
| <i>Tracks</i> y cilindros .....                     | 49 |
| <i>Logical Block Address</i> (LBA) .....            | 50 |
| Sector .....  | 50 |
| <i>Zoned Bit Recording</i> (ZBR) .....              | 51 |
| Servo sector .....                                  | 53 |
| Referencias .....                                   | 54 |
| <br>  |    |
| 4. UNIDADES LÓGICAS .....                           | 55 |
| Parte lógica del disco duro .....                   | 55 |
| Conceptos sobre volumen y partición .....           | 55 |
| El volumen en Unix .....                            | 56 |
| Volumen: partición y arreglo .....                  | 57 |
| Rutina de arranque del CPU .....                    | 59 |
| Tipos de interfaces .....                           | 60 |
| Interfaz IDE .....                                  | 60 |
| Interfaz SATA .....                                 | 61 |
| Interfaz SCSI .....                                 | 61 |
| Tipos de conectores SCSI .....                      | 63 |

## SEGUNDA PARTE. ESTRUCTURA LÓGICA

|  |    |
|--|----|
| 5. PARTICIONES PC .....                                    | 69 |
| Particiones DOS .....                                      | 69 |
| <i>Master Boot Record</i> (MBR) .....                      | 69 |
| Estructura básica del MBR .....                            | 73 |
| Estructura de una entrada de la tabla de particiones ..... | 74 |
| Firma del <i>boot sector</i> .....                         | 75 |
| Particiones primaria y extendida .....                     | 76 |
| Referencias .....  | 78 |
| <br>   |    |
| 6. PARTICIÓN DE APPLE .....                                | 79 |
| Mapa de particiones .....                                  | 79 |

|   |    |
|---|----|
| Estructura de datos .....                                 | 80 |
| Tipos de particiones de Apple .....                       | 81 |
| Referencias .....   | 82 |
| 7. PARTICIÓN GPT .....                                    | 83 |
| Áreas de la partición GPT .....                           | 83 |
| Estructura de los datos de la partición GPT .....         | 84 |
| Estructura de la entrada de la tabla de particiones ..... | 85 |
| Tipos de partición GPT .....                              | 86 |
| Referencias .....   | 87 |

### TERCERA PARTE. SISTEMAS DE ARCHIVOS FAT Y NTFS

|   |     |
|---|-----|
| 8. SISTEMA DE ARCHIVOS FAT .....  | 91  |
| Estructura de los datos del sistema FAT .....                               | 91  |
| Versiones de la FAT .....   | 92  |
| Estructura básica de la entrada del directorio .....                        | 93  |
| FAT16 .....   | 97  |
| Áreas de la estructura FAT12/16 .....                                       | 97  |
| FAT32 .....   | 103 |
| Áreas de la estructura FAT32 .....  | 103 |
| FAT16: tabla de asignación de archivos o <i>File Allocation Table</i> ..... | 106 |
| Entrada de directorios .....  | 106 |
| Estructura de la entrada de los directorios .....                           | 107 |
| Referencias .....   | 108 |
| 9. SISTEMA DE ARCHIVOS NTFS .....   | 109 |
| Estructura del sistema NTFS .....   | 109 |
| Estructura básica NTFS .....  | 109 |
| Estructura general de la MFT .....  | 110 |
| Estructura simplificada de la MFT .....                                     | 110 |
| Estructura extendida de la entrada de la MFT .....                          | 111 |
| Referencias .....   | 114 |
| 10. METADATOS DEL SISTEMA NTFS .....  | 115 |
| Archivos de datos administrativos del sistema (metadatos) .....             | 115 |
| Concepto de atributo en las entradas de la MFT .....                        | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| Header del atributo .....  | 116 |
| Contenido del atributo .....                                       | 117 |
| Tipos de atributos estándar .....                                  | 118 |
| Concepto del atributo reducido o <i>sparse</i> .....               | 120 |
| Concepto de índice en NTFS .....                                   | 121 |
| Árbol <i>B</i> o <i>B-tree</i> .....                               | 121 |
| Nodos del índice .....   | 125 |
| Entrada del índice o <i>index entry</i> .....                      | 125 |
| Referencias .....  | 128 |
| <br>   |     |
| 11. CATEGORÍAS DEL SISTEMA NTFS .....                              | 129 |
| Categoría: archivos del sistema de archivos .....                  | 130 |
| Archivo \$MFT (entrada # 0) .....                                  | 130 |
| Archivo \$MFTMirr (entrada # 1) .....                              | 133 |
| Archivo \$Boot (entrada # 7) .....                                 | 136 |
| Archivo \$Volume (entrada # 3) .....                               | 138 |
| Archivo \$AttrDef (entrada # 4) .....                              | 138 |
| Categoría: archivos de contenido .....                             | 140 |
| Archivo \$Bitmap (entrada # 6) .....                               | 140 |
| Archivo \$BadClus (entrada # 8) .....                              | 141 |
| Distribución de los archivos de metadatos en NTFS .....            | 143 |
| Categoría: metadatos .....   | 143 |
| Atributo \$STANDARD_INFORMATION .....                              | 144 |
| Atributo \$FILE_NAME .....   | 145 |
| Atributo \$DATA .....  | 146 |
| Atributo \$ATTRIBUTE_LIST .....                                    | 147 |
| Atributo \$SECURITY_DESCRIPTOR .....                               | 149 |
| Archivo \$Secure .....   | 149 |
| Archivo boot.ini y sus atributos .....                             | 151 |
| Ejemplo con el <i>runtime</i> del programa Explorer .....          | 151 |
| Ejemplo con el editor de sectores del programa WinHex .....        | 153 |
| Criterio de asignación de entradas de la MFT y los atributos ..... | 155 |
| Categoría: nombre del archivo .....                                | 156 |
| Índices del directorio .....                                       | 156 |
| Directorio raíz .....  | 156 |
| Enlaces o <i>links</i> de directorios y archivos .....             | 156 |
| Identificador del objeto .....                                     | 157 |
| Estrategia de análisis .....                                       | 157 |

|   |     |
|---|-----|
| Categoría: aplicaciones .....                                 | 158 |
| Cuotas de disco o <i>disk quotas</i> .....                    | 158 |
| <i>Logging</i> .....  | 159 |
| <i>Change journal</i> .....                                   | 162 |
| Ejemplo de creación de un archivo .....                       | 162 |
| Ejemplo de borrado de un archivo .....                        | 165 |
| Referencias .....   | 167 |
| <br>  |     |
| 12. ESTRUCTURA DE LOS DATOS DEL SISTEMA NTFS .....            | 169 |
| El concepto de <i>Fixup</i> .....                             | 169 |
| La estructura de la entrada de la MFT .....                   | 171 |
| Ejemplo de los campos de la entrada de la MFT .....           | 171 |
| <i>Header</i> del atributo .....                              | 173 |
| Estructura general del <i>header</i> del atributo .....       | 174 |
| Referencias .....   | 180 |
| <br>  |     |
| 13. ATRIBUTOS ESTÁNDAR .....                                  | 181 |
| Atributo \$STANDARD_INFORMATION .....                         | 181 |
| Estructura de datos del atributo \$STANDARD_INFORMATION ..... | 181 |
| Atributo \$FILE_NAME .....                                    | 183 |
| Estructura de los datos del atributo \$FILE_NAME .....        | 184 |
| Ejemplo del atributo \$FILE_NAME .....                        | 185 |
| Atributo \$DATA .....   | 186 |
| Atributo \$ATTRIBUTE_LIST .....                               | 186 |
| Estructura de los datos del \$ATTRIBUTE_LIST .....            | 187 |
| Atributo \$OBJECT_ID .....                                    | 188 |
| Estructura de los datos del \$OBJECT_ID .....                 | 189 |
| Atributo \$REPARSE_POINT .....                                | 189 |
| Estructura de los datos del atributo \$REPARSE_POINT .....    | 189 |
| Atributos índice y estructuras de datos .....                 | 190 |
| Atributo \$INDEX_ROOT .....                                   | 190 |
| Atributo \$INDEX_ALLOCATION .....                             | 192 |
| Estructura del <i>header</i> del \$INDEX_ALLOCATION .....     | 193 |
| Atributo \$BITMAP .....                                       | 193 |
| Estructura de datos general de las entradas del índice .....  | 194 |
| Índice de los directorios ( <i>directory index</i> ) .....    | 194 |
| Referencias .....   | 195 |

|   |     |
|---|-----|
| 14. LOS ARCHIVOS DEL SISTEMA O METADATOS .....      | 197 |
| Archivo \$MFT .....                                 | 197 |
| Archivo \$Boot .....                                | 197 |
| Estructura de los datos del archivo \$Boot .....    | 198 |
| Archivo \$AttrDef .....                             | 199 |
| Estructura de los datos del archivo \$AttrDef ..... | 199 |
| Archivo \$Bitmap .....                              | 200 |
| Archivo \$Volume .....                              | 201 |
| Atributo \$VOLUME_NAME .....                        | 202 |
| Atributo \$VOLUME_INFORMATION .....                 | 203 |
| Archivo \$ObjID .....                               | 203 |
| Estructura de los datos del archivo \$ObjID .....   | 204 |
| Archivo \$Quota .....                               | 204 |
| Estructura de los datos del índice \$O .....        | 205 |
| Estructura de los datos del índice \$Q .....        | 206 |
| Archivo \$LogFile .....                             | 207 |
| Archivo \$UsrJrnl .....                             | 208 |
| Estructura de los datos del archivo \$UsrJrnl ..... | 208 |
| Referencias .....                                   | 210 |

#### CUARTA PARTE. LA UNIDAD DE ESTADO SÓLIDO

|  |     |
|--|-----|
| 15. INICIOS .....  | 213 |
| Principio de funcionamiento .....                                    | 214 |
| Transistor Mosfet .....  | 215 |
| Transistor de compuerta flotante o <i>floating gate Mosfet</i> ..... | 216 |
| Efecto <i>Fowler-Nordheim tunneling</i> .....                        | 217 |
| Referencias .....  | 220 |
| 16. PROCESOS DE LECTURA-ESCRITURA .....                              | 221 |
| I/O Line o <i>bit line</i> .....                                     | 221 |
| El block .....   | 222 |
| Proceso de borrado .....   | 223 |
| Proceso de escribir .....  | 224 |
| Proceso de lectura .....   | 225 |
| Tecnologías <i>single level cell</i> y <i>multi-level cell</i> ..... | 226 |
| Single-level cell (SLC) .....  | 226 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Multi-level cell (MLC) ..... | 227 |
| Referencias .....            | 228 |

QUINTA PARTE. APUNTES SOBRE LA RECUPERACIÓN DE DATOS

|  |     |
|--|-----|
| 17. RECUPERACIÓN DE DATOS .....                                | 231 |
| Consideraciones físicas .....                                  | 231 |
| Caída del disco funcionando .....                              | 234 |
| Caída del disco apagado .....                                  | 235 |
| Consideraciones lógicas del sistema de archivos .....          | 236 |
| Recuperación en sistemas RAID .....                            | 237 |
| Referencias .....  | 238 |
| 18. MANEJO DEL DISCO DURO .....                                | 239 |
| Manejo adecuado de un disco duro .....                         | 239 |
| Formas de prevenir la pérdida de información .....             | 239 |
| Fallas por daño de virus, borrado o formateo intencional ..... | 240 |
| Manejo físico de los discos .....                              | 240 |

APÉNDICE

|  |     |
|--|-----|
| FORMAS DE LEER LOS DISTINTOS MODELOS DE DISCOS ..... | 245 |
| Referencias .....                                    | 254 |





# Introducción

Tenemos el privilegio de vivir en esta época de tecnología avanzada, con importantes cambios en la manera de procesar la información, de almacenarla y de recuperarla. Manejamos grandes cantidades de conocimiento en la palma de nuestra mano. Todo esto es posible porque nuestra información se transformó en bits y se digitalizó. Documentos, fotografías, audios y videos han experimentado una evolución digital sorprendente y tienen en la actualidad una calidad sin precedentes. El costo de los equipos que los generan también es accesible, haciendo posible que tengamos grandes cantidades de información digital con la consiguiente necesidad de contar con sistemas de almacenamiento cada vez mejores para su manejo, velocidad, capacidad, confiabilidad, etcétera.

El disco duro ha estado presente y a la vanguardia desde hace medio siglo, pero ¿qué sabemos de él?, ¿qué es?, ¿cómo guarda la información?, ¿cómo funciona?, ¿cuántos tipos hay?, ¿cómo hay que tratarlo? Estas preguntas son válidas y necesarias porque a diario lo utilizamos aunque no lo veamos. Por la información que contiene se convierte en “la sangre” de la computadora; mucho más valiosa que la computadora misma. Sin embargo, a pesar de ser un elemento tan importante, sabemos poco acerca de él. Conocer más del disco duro nos permite entender su funcionamiento y comportamiento, y nos da mayor confianza para manejarlo. Es como conocer la anatomía del nuestro cuerpo y saber qué le hace daño, qué le hace bien y actuar en consecuencia.



Primera parte  
Principios de funcionamiento



# 1. Inicios del disco duro

El disco duro (Hard Disk Drive, HDD) tiene una historia de sólo cinco décadas. International Business Machines Corporation (IBM) introdujo en septiembre de 1956 su computadora IBM 305 con una unidad de almacenamiento magnético de 5 MB; 50 discos de 61 cm de diámetro (el tamaño de un refrigerador industrial), un peso aproximado de una tonelada y un costo de 160 000 dólares.

En la actualidad el disco duro ha evolucionado enormemente gracias al desarrollo de la ciencia, la ingeniería y la participación de muchas disciplinas del conocimiento como son la electrónica analógica y digital; la mecánica y los servomecanismos; los materiales magnéticos, y los procesamientos de señales, la tribología, la informática, las matemáticas, etcétera.

Con la aparición de los discos de estado sólido (Solid State Drive, SSD) la tendencia del disco duro ha sido volverse mayormente electrónico, aunque por el momento el costo es de dos dólares por giga y la capacidad común en el mercado (de 40 a 500 GB) detiene su participación masiva. El SSD, técnicamente, no es un disco duro porque ya no contiene discos internamente, sino solamente *chips*; externamente posee igual apariencia e interfaz pero con mayor velocidad de lecto-escritura.

Actualmente, y desde hace medio siglo, el disco duro tradicional de almacenamiento magnético lleva el liderazgo, principalmente por su bajo costo (0.11 dólares por giga) y mayor capacidad (más de 4 TB por unidad); la demanda de estos sistemas de almacenamiento sigue creciendo y tienen funcionando a más del 99% de las computadoras. Enfocaremos nuestro estudio en este tipo de discos magnéticos.

## DEFINICIÓN

El disco duro es una unidad de almacenamiento magnético digital (llámese texto, audio, video o cualquier cosa que el ser humano pueda digitalizar) que modifica con-

venientemente la orientación del material magnético contenido en los platos para su posterior lectura e interpretación. En realidad el disco duro no “almacena” información, sólo reorienta las partículas magnéticas (norte-sur, sur-norte); las organiza en grupos (codifica) para que representen elementos como letras, colores, frecuencias y tonos, entre otros, los cuales, mediante un programa adecuado, serán traducidos en textos, imágenes, sonidos, etcétera.

## RUTINA DE INICIO

- Power on Self-Test, POST
- Encendido, los *chips* regresan el estado de la tarjeta lógica
- Autoprueba de partes
- Arranque del motor
- Desmontaje de las cabezas de la zona de estacionamiento
- Lectura del *servo* y del *firmware*
- Lectura del área del sistema y del *firmware*
- Lectura de la extensión del *firmware*

## FUNCIONAMIENTO BÁSICO

Lo primero que hace el disco después de recibir alimentación de corriente es checar el estado de sus *chips* con la Micro Controller Unit (MCU), la memoria y el Voice Coil Motor Controller (VCM). Después realiza una autoprueba de sus partes y espera el estado de éstas (cabezas, motor, actuador de bobina de voz, platos), si están correctas se manda corriente de arranque al motor y se regula su velocidad con una corriente estabilizadora.

Con los platos girando a su velocidad nominal, se crea un flujo o capa de aire alrededor de éstos, llamado *air bearing*; este flujo de aire limpia la superficie de los platos de las impurezas que pudieran tener y las deposita en un filtro de aire; también mueve el seguro de las cabezas, las cuales son liberadas para iniciar su rutina de ubicación. Sin este flujo de aire, el seguro plástico mantendría a las cabezas en su zona de estacionamiento para evitar que choquen con los platos. Cuando el disco es apagado, el giro que lleva el motor genera por inercia una pequeña corriente que mueve las cabezas a su zona de parqueo. Después de que las cabezas son liberadas, éstas se mueven independientemente sobre la capa de aire que los platos tienen alrededor; en este momento, las cabezas buscan leer el *servo* contenido en