

# Virtual File System (VFS)

Profesor Gilberto Díaz

`gilberto@ula.ve`



Universidad de Los Andes

Facultad de Ingeniería

Departamento de Computación

# Dispositivos de Almacenamiento de Datos

## Dispositivos de Almacenamiento de Datos

Luego del advenimiento del computador y su creciente evolución, el hombre puede guardar ingentes cantidades de información en los distintos mecanismos de almacenamiento aprovechando diferentes fenómenos físicos para tal fin. En este capítulo se describen las distintas tecnologías actuales que se utilizan para confeccionar los medios de almacenamiento.

# Dispositivos de Almacenamiento de Datos

## Dispositivos de Almacenamiento de Datos

**Los Medios de Almacenamiento de Datos** se refieren a los elementos de hardware que proporcionan una de las principales funciones de los computadores modernos, guardar información por un intervalo de tiempo determinado.

# Dispositivos de Almacenamiento de Datos

## Dispositivos de Almacenamiento de Datos

A lo largo de la evolución del computador se han utilizado diversos fenómenos naturales en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento. Sin embargo, en términos prácticos, ninguno de estos desarrollos se ha convertido en un estándar universal de almacenamiento. Por esta razón, los computadores actuales cuentan con más de un medio físico de almacenamiento siguiendo una jerarquía de acuerdo a su función.

# Jerarquía de Almacenamiento

## Jerarquía de Almacenamiento

En la práctica, casi todos los computadores utilizan una variedad de tipos de dispositivos de almacenamiento, todos organizados en una jerarquía de almacenamiento en torno al procesador. Esta jerarquía establece una relación entre el rendimiento y el costo.

# Jerarquía de Almacenamiento

## Jerarquía de Almacenamiento

Mientras más cerca del procesador se encuentre el dispositivo mejores prestaciones tendrá pero su capacidad de almacenamiento se verá limitada por su alto costo. Por otro lado, mientras que el dispositivo se encuentre más alejado del procesador tendrá más capacidad de almacenamiento pues su costo es menor, sin embargo, estas tendrán un menor rendimiento.

# Jerarquía de Almacenamiento

## Jerarquía de Almacenamiento

Tradicionalmente, los dispositivos de almacenamiento se categorizan de acuerdo a la capacidad de mantener la información en el tiempo:

- Almacenamiento primario.
- Almacenamiento secundario.
- Almacenamiento terciario.

# Almacenamiento Primario

## Almacenamiento Primario

Las prestaciones de estos dispositivos son medidas en términos de la cantidad de información que puede ser transferida desde y hacia éstos, en una unidad de tiempo determinada.

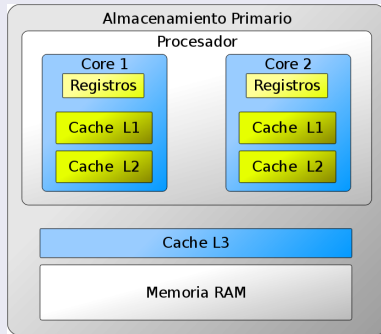


Figura : Dispositivos de Almacenamiento Primario



# Registros

## Registros

Los registros son elementos de almacenamiento con una capacidad muy limitada, ubicados dentro del procesador y conforman el tope de la jerarquía pues su contenido puede ser accedido de manera más rápida que cualquier otro medio de almacenamiento. Estos no son considerados parte de la memoria RAM del sistema pues tienen propósitos muy específicos dentro del procesador.

# Registros

## Registros

Todos los datos y operaciones son ubicados en los registros antes de que el procesador pueda realizar acciones sobre estos. Estos son movidos desde otros dispositivos de almacenamiento tales como: la memoria cache o la memoria RAM; estos serán discutidos más adelante.

# Clasificación de los Registros

## Clasificación de los Registros

Los registros se clasifican de acuerdo al número de bits que estos pueden almacenar: registros de 8 bits, 16 bits, 32 bits, etc. También, los podemos categorizar de acuerdo a su funcionalidad:

- Registros de Datos: Son registros utilizados para almacenar valores numéricos como enteros o punto flotante.
- Registros de Instrucciones: Almacenan la instrucción que se está ejecutando actualmente.
- Registros de Direcciones: Estos almacenan direcciones de memoria que son usadas por instrucciones que accesan indirectamente la memoria.
- Registros Condicionales: Se utilizan para guardar resultados que sólo tienen valores verdadero o falso.

# Clasificación de los Registros

## Clasificación de los Registros

Los registros se clasifican de acuerdo al número de bits que estos pueden almacenar: registros de 8 bits, 16 bits, 32 bits, etc. También, los podemos categorizar de acuerdo a su funcionalidad:

- Registros Punto Flotante: Guardan valores numéricos con formato punto flotante.
- Registros Vectoriales: Son registros especializados para almacenar data que es procesada vectorialmente.
- Registros Constantes: Almacenan valores que sólo pueden ser leídos, ejemplo: uno, cero, PI, etc.
- Registros de Propósito General: Estos pueden almacenar tanto valores numéricos como direcciones.

# Clasificación de los Registros

## Clasificación de los Registros

Los registros se clasifican de acuerdo al número de bits que estos pueden almacenar: registros de 8 bits, 16 bits, 32 bits, etc. También, los podemos categorizar de acuerdo a su funcionalidad:

- Registros de Propósito Especial: Mantienen el estado del programa, por ejemplo, el contador del programa.
- Registros para Gestionar la Memoria: Estos registros realizan tareas como mantener los datos que se buscan de forma adelantada desde la memoria.

# Memoria Cache

## Memoria Cache

El siguiente lugar en la Jerarquía está conformado por la **Memoria Cache**. Estos dispositivos son memorias pequeñas muy rápidas que almacenan una copia de los datos más frecuentemente usados de la memoria principal del computador. Se utilizan para reducir el tiempo promedio de acceso a la memoria principal. Cuando un procesador requiere leer o escribir a una localidad de memoria, primero revisa si hay una copia en la memoria cache. Si existe, entonces el procesador lee o escribe a la memoria chache.

# Memoria Cache

## Memoria Cache

Estos medios de almacenamiento están contruidos utilizando dos tipos de tecnología de memoria.

- **Dynamic RAM (DRAM):** Es un tipo de memoria que almacena cada bit de datos en un capacitor dentro de un circuito integrado. Ya que los capacitores pierden su carga con el tiempo la información se pierde a menos que su carga sea refrescada periodicamente. Por esto, un proceso de refrescamiento es necesario para mantener los datos. La principal ventaja de las DRAM es que son muy sencillas estructuralmente pues sólo necesitan un transistor y un capacitor por bit. Por esta razón, estos dispositivos se pueden contruir con una alta densidad, es decir, colocar más elementos electrónicos en el mismo espacio.

# Memoria Cache

## Memoria Cache

Estos medios de almacenamiento están contruidos utilizando dos tipos de tecnología de memoria.

- **Static RAM (SRAM):** Este tipo de memoria utiliza cuatro transistores que forman dos inversores acoplados de forma cruzada. Esta estructura tiene dos estados estables: 1 y 0. Dos transistores adicionales se utilizan para controlar las operaciones de escritura y lectura. Debido al número de elementos que utilizan las SRAM para almacenar cada bit estas no pueden ser tan densas como las DRAM, es decir, tienen menos capacidad de almacenamiento.



# Niveles de Memoria Cache

## Niveles de Memoria Cache

Actualmente se pueden encontrar los siguientes tipos de memoria cache:

- **Cache L1:** Se encuentra en cada núcleo de procesamiento y está hecha con tecnología SRAM. Esta es dividida en memoria para datos y memoria para instrucciones.
- **Cache L2:** Está ubicada al lado de cada núcleo de procesamiento y está implementada en DRAM.
- **Cache L3:** Este nivel de cache se ha hecho popular nuevamente gracias a los procesadores multi núcleos. Esta memoria tiene mucho más capacidad que los otros niveles de cache y es compartida por todos los núcleos. Es utilizada para almacenar todos los datos que se encuentran en L1 y L2 de aquellos núcleos que no tienen tareas que realizar y entran en modo suspendido.

# Memoria Principal

## Memoria Principal

Tradicionalmente conocida como **Memoria RAM**, por sus siglas en inglés *Random Access Memory*, es el dispositivo de almacenamiento principal de un computador pues a través de este pasan todos los datos para ser procesados por el procesador, por ejemplo, un programa debe encontrarse en la memoria principal antes de poder ser ejecutado.

# Memoria Principal

## Memoria Principal

La palabra *Random* no está relacionada con el acceso aleatorio a los datos, sino con el tiempo de acceso a las localidades de la memoria, es decir, se refiere a que el tiempo promedio de acceso a cualquier localidad es el mismo, sin importar su ubicación dentro de la RAM. En contraste, el tiempo de acceso a datos, de acuerdo a su posición, varía en otro tipo de dispositivos tales como: magnéticos y ópticos. Generalmente, las memorias principales de un computador son asociadas con componentes volátiles, es decir, su contenido se pierde cuando se desconecta la alimentación eléctrica.

# Memoria Principal

## Memoria Principal

Muchas tecnologías se han utilizado para implantar las memorias principales. A continuación se describen brevemente las más recientes:

- **Synchronous dynamic random access memory (SDRAM):**  
Tradicionalmente las DRAM tienen una interfaz asincrónica. Esto quiere decir que la memoria responde tan rápido como puede a los cambios en las entradas de control. Por el contrario, las SDRAM tienen una interfaz sincrónica, es decir, que ésta espera por la señal de reloj antes de responder a las entradas de control. Por lo tanto esta se encuentra sincronizada con el bus del sistema.

# Memoria Principal

## Memoria Principal

Muchas tecnologías se han utilizado para implantar las memorias principales. A continuación se describen brevemente las más recientes:

- **Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory (DDR SDRAM):** Esta memoria dobla la tasa de transferencia de su antecesor (SDRAM) gracias a un control más estricto de los datos eléctricos y las señales de reloj. La interfaz de esta memoria utiliza la estrategia *double pumping*<sup>a</sup> para bajar la frecuencia del reloj. Esto trae como beneficio la reducción de los requisitos de la integridad de la señal al conectarla al controlador de la memoria. La tasa de transferencia máxima de estas memorias es de 1600 MB/seg.

---

<sup>a</sup>Transferencia de datos durante el flanco de subida y el flanco de bajada de la señal de reloj

# Memoria Principal

## Memoria Principal

Muchas tecnologías se han utilizado para implantar las memorias principales. A continuación se describen brevemente las más recientes:

- **Double Data Rate 2 Synchronous Dynamic Random Access Memory (DDR2 SDRAM):** Además de utilizar la estrategia de *double pumping*, esta memoria permite mayores velocidades del bus y requiere menos voltaje al tener un reloj interno que trabaja a un cuarto de la frecuencia del bus. DDR2 es al menos dos veces más rápida que la mejor de las DDR. La tasa de transferencia máxima que proporcionan estas memorias es de 3200 MB/seg.

# Memoria Principal

## Memoria Principal

Muchas tecnologías se han utilizado para implantar las memorias principales. A continuación se describen brevemente las más recientes:

- **Double Data Rate 3 Synchronous Dynamic Random Access Memory (DDR3 SDRAM):** Este tipo de memoria tiene como principal ventaja de tener el doble de la tasa de transferencia que su antecesor. La máxima tasa de transferencia que ofrece una memoria DDR3 es de 6400 MB/seg.

# Almacenamiento Secundario

## Almacenamiento Secundario

La principal diferencia entre el almacenamiento primario y el secundario es que este último no es accedido directamente por el procesador; en su lugar, el computador utiliza mecanismos de Entrada/Salida para gestionar los datos.



# Almacenamiento Secundario

## Almacenamiento Secundario

La otra diferencia importante es que al eliminar la alimentación eléctrica de estos dispositivos, los datos no se pierden, es decir, son medios no volátiles. Por otro lado, los dispositivos de este nivel son considerablemente más lentos que los discutidos en la sección anterior; los tiempos de acceso a los datos en el almacenamiento primario está en el orden de los nano segundos mientras que en los dispositivos tradicionales en este nivel está en el orden de los milisegundos. Estos últimos compensan esta debilidad con otras características como gran capacidad de almacenamiento pues sus costos son dos órdenes de magnitud menos que los medios primarios.

# Almacenamiento Secundario

## Almacenamiento Secundario

En el almacenamiento secundario se utilizan tecnologías diversas para almacenar los datos, entre las más comunes utilizadas actualmente tenemos:

- **Medios Ópticos**
- **Memorias Flash:**
- **Medios Magnéticos**

En lo que sigue se describen algunos de los medios de almacenamiento más utilizados en las distintas tecnologías actuales.

# Medios Ópticos

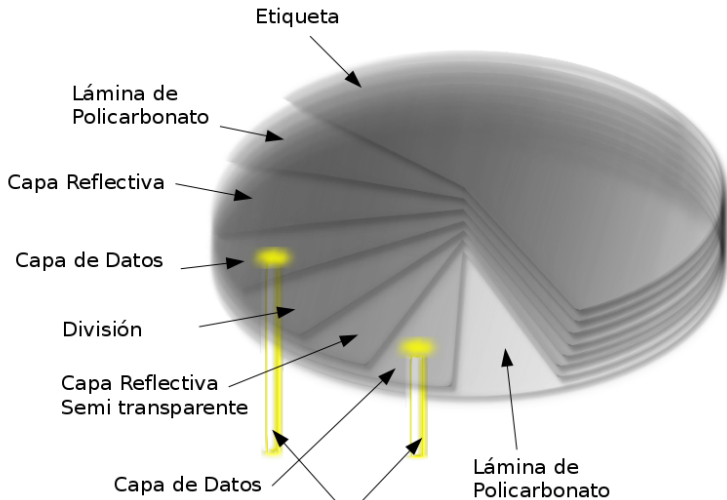
## Medios Ópticos

Los dispositivos ópticos utilizan un láser para leer o escribir los datos. El cabezal donde está ubicado el lente del láser, es accionado por dos servo mecanismos para gestionar su movimiento. El primero mantiene la distancia correcta entre el lente y el disco. El segundo mueve el cabezal a lo largo de un camino espiral trazado en el disco. Actualmente, las unidades ópticas pueden leer y escribir sobre medios removibles (discos) tales como CDR, CDRW, DVD, blue ray, etc.



# Medios Ópticos

## Medios Ópticos



# Memorias Flash

## Memorias Flash

Son medios de almacenamiento, no volátiles, basados en dispositivos que pueden ser borrados y reprogramados eléctricamente. Estos dispositivos son un tipo específico de memorias *EEPROM*

# Memorias Flash

## Memorias Flash

El almacenamiento de la información se logra gracias a que los FGMOSFET pueden mantener una carga eléctrica por largos periodos de tiempo sin tener que estar conectados a una fuente de alimentación. Esto se logra gracias a una capa de óxido que rodea la compuerta flotante y atrapa la carga que se almacena. De esta manera un medio de almacenamiento con esta tecnología puede guardar información por 10 años aproximadamente y soporta alrededor de un millón de ciclos de borrado y escritura.

# Memorias Flash

## Memorias Flash

Entre las principales ventajas de las memorias *Flash* tenemos: una mayor resistencia a impactos físicos y una alta velocidad de lectura, aunque no tanto como las memorias RAM volátiles. Cuando estas son empaquetadas en tarjetas de memoria (memory cards), son extremadamente duraderas pues las hace resistentes al agua, altas temperaturas y presiones. Entre los medios más populares tenemos: memory cards, pen drives, y discos de memoria de estado sólido.



# Medios Magnéticos

## Medios Magnéticos

Esta tecnología utiliza distintos patrones de magnetización para guardar datos de manera no volátil. Los datos son accedidos a través de uno o más cabezales, movidos mecánicamente, que recorren una superficie magnetizable para leer o escribir. Los medios magnéticos más populares son: cintas, discos flexibles y discos duros. Estos últimos actualmente son los medios secundarios más utilizados en los computadores actuales. Los discos flexibles ya no son utilizados y las cintas se usan preferiblemente para almacenamiento masivo y respaldos.

# Discos Duros

## Discos Duros

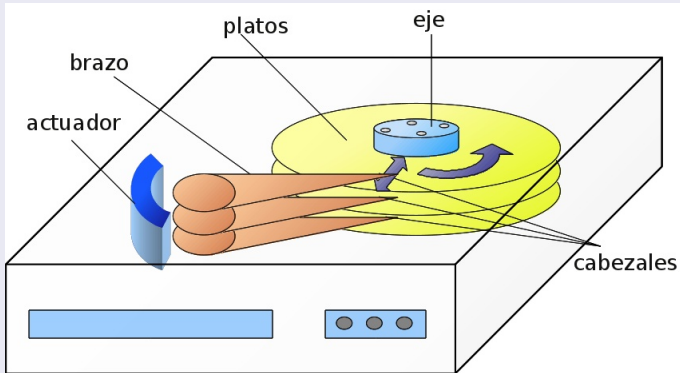


Figura : Disco óptico doble capa

# Cilindros

## Cilindros

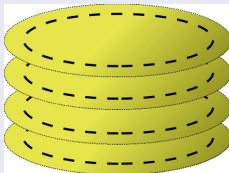


Figura : Pistas y cilindros

# Discos Duros

## Discos Duros

Desde la invención de los discos duros su capacidad se ha incrementado considerablemente partiendo de 5MB en 1953 hasta 3TB para el 2010 [?]. Una de las estrategias utilizadas para aumentar la capacidad de los discos duros es colocar más pistas sobre la superficie de los platos. La densidad de las pistas aumenta alrededor de 60 % por año.

# Archivos de Computadora

## Archivos de Computadora

Un archivo de computadora es un bloque arbitrario de información, codificado en un formato determinado, guardado en lenguaje binario dentro de un dispositivo especial de almacenamiento. También, podemos decir que un archivo es donde un programa almacena su información.

# Archivos de Computadora

## Archivos de Computadora

Estos proporcionan la función más básica dentro de un sistema de archivos. La cantidad de información contenida en un archivo puede ir desde unos cuantos bytes hasta ocupar la capacidad total de un medio de almacenamiento; y esta puede ser un trozo de texto, una imagen, código fuente de un programa, código binario de un programa, etc. En cierto sentido, un archivo de computadora es el equivalente a un documento tradicional impreso en papel.

# Archivos de Computadora

## Archivos de Computadora

Los archivos son utilizados como parte fundamental en algunos sistemas operativos. En particular, Unix introduce la noción de que todo elemento del sistema es visto como un archivo.

# Archivos de Computadora

## Archivos de Computadora

En Unix podemos encontrar dos tipos de archivos comunes: archivos regulares y directorios. Aunque la información dentro de un directorio es una cadena bytes con un formato específico, el sistema de archivos lo maneja como un archivo más.



# Archivos de Computadora

## Archivos de Computadora

Otros archivos que podemos encontrar en Unix son:

- **Archivos regulares:** Constituyen todos aquellos archivos tradicionales como: texto, imágenes, código fuente, programas, etc.
- **Directorios:** Son utilizados por el sistema de archivos para estructurar jerárquicamente todos los otros archivos.
- **Enlaces simbólicos (Symbolic Links):** Es un medio a través del cual se puede hacer referencia a un archivo con otro nombre desde cualquier otro sitio del sistema de archivos.
- **Enlaces duros (Hard Links):** Un enlace de este tipo es una referencia al espacio donde se almacena la información. Cuando se crea un enlace duro el contador de enlaces al archivo se incrementa.
- **Archivos especiales:** Son archivos especiales que hacen referencias a dispositivos físicos tales como discos duros, particiones de discos

# Sistemas de Archivos

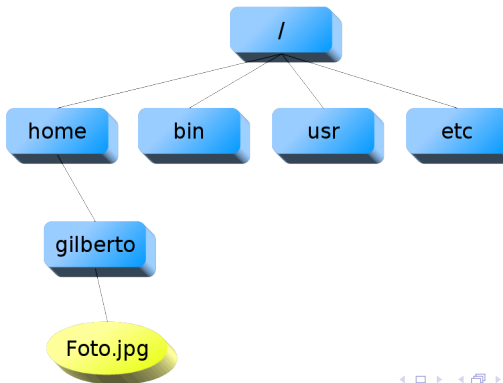
## Sistemas de Archivos

Un Sistema de archivos es el conjunto de estructuras de datos y algoritmos utilizados para organizar la información. Desde el punto de vista de un sistema operativo Unix, un sistema de archivos es una abstracción utilizada por el kernel para organizar los recursos de almacenamiento: discos duros, unidades de CD/DVD, USB, etc.

# Introducción

## Sistemas de Archivos

El kernel integra todos estos recursos dentro de una jerarquía de directorios que comienza con el directorio `/`. Sistema de archivo también se utiliza para hacer referencia a las particiones de un disco.



# Introducción

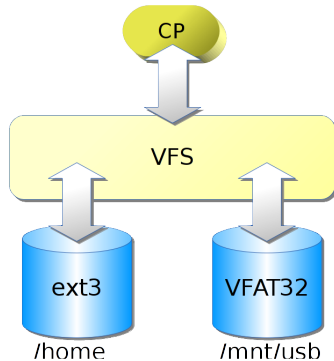
## Virtual File System (VFS)

El Sistema de Archivos Virtual (también conocido en inglés como *Virtual File System Switch*, VFS), es una capa de abstracción implementada directamente sobre el kernel, que se encarga de atender todas las llamadas de sistema relacionadas con sistemas de archivos.

# Introducción

## Virtual File System (VFS)

el VFS también permite la coexistencia de varios sistemas de archivos.



# Introducción

## Virtual File System (VFS)

VFS ofrece varias llamadas al sistema para la gestión de archivos.

- open
- stat
- read
- write
- chmod, etc.

# Virtual File System

Los sistemas de archivos soportados por el VFS se pueden agrupar en 3 categorías:

- Sistemas de archivos basados en discos.
- Sistemas de archivos de red.
- Sistemas de archivos especiales.

# Virtual File System

Los sistemas de archivos soportados por el VFS se pueden agrupar en 3 categorías:

- Sistemas de archivos basados en discos: incluye sistemas de archivos nativos de Linux (ext2, ext3, ext4, ReiserFS, XFS, entre otros), sistemas de archivos utilizados por Windows (MS-DOS, FAT, NTFS), sistemas de archivos utilizados por otras variantes de Unix (MINIX, Solaris, BSD, etc), ISO9660 CD-ROM, UDF, y muchos más.



# Virtual File System

Los sistemas de archivos soportados por el VFS se pueden agrupar en 3 categorías:

- Sistemas de archivos de red: permiten acceder a archivos contenidos en sistemas de archivos en otros computadores, conectados en red. Entre los más conocidos están: NFS, Coda, AFS y CIFS.

# Virtual File System

Los sistemas de archivos soportados por el VFS se pueden agrupar en 3 categorías:

- Sistemas de archivos especiales: también llamados sistemas de archivos virtuales, utilizados para implementar características especiales del sistema operativo (por ejemplo rootfs, sockfs o sysfs) o del propio kernel (por ejemplo proc, utilizado para acceder a las estructuras de datos del kernel).

# Estructura

## Directory Entry Cache (dcache)

Este es un mecanismo que proporciona una búsqueda rápida para hallar Todos los caminos pasados como argumento a las llamadas a sistema son usados por VFS para buscar a través de *directory entry cache*

# Estructura

## Directory Entry Cache (dcache)

En el camino

`/bin/vi`

Un *dentry* representa cada componente en ese camino. Los 2 primeros son directorios, y el último es un archivo regular.

# Estructura

## Directory Entry Cache (dcache)

```

struct dentry
    atomic_t d_count; /* usage count */
    unsigned long d_vfs_flags; /* dentry cache flags */
    spinlock_t d_lock; /* per-dentry lock */
    struct inode *d_inode; /* associated inode */
    struct list_head d_lru; /* unused list */
    struct list_head d_child; /* list of dentries within */
    struct list_head d_subdirs; /* subdirectories */
    struct list_head d_alias; /* list of alias inodes */
    unsigned long d_time; /* revalidate time */
    struct dentry_operations *d_op; /* dentry operations table */
    struct super_block *d_sb; /* superblock of file */
    unsigned int d_flags; /* dentry flags */
    int d_mounted; /* is this a mount point? */
    void *d_fsdata; /* filesystem-specific data */
    struct rcu_head d_rcu; /* RCU locking */
    struct dcookie_struct *d_cookie; /* cookie */
    struct dentry *d_parent; /* dentry object of parent */
    struct qstr d_name; /* dentry name */
    struct hlist_node d_hash; /* list of hash table entries */
    struct hlist_head *d_bucket; /* hash bucket */
    unsigned char d_iname[DNNAME_INLINE_LEN_MIN]; /* short name */
;

```

# Estructura

## Estados de un *dentry*

- **used** Corresponde a un *inode* válido e indica que hay uno o más usuarios del objeto. (*d\_node* apunta a un *inode*)
- **unused** Corresponde a un *inode* válido. (*d\_node* es NULL)
- **negative** No es asociado a un *inode* válido pues fue borrado o el camino nunca fue válido.

# Estructura

## *dentry* Cache

Una vez que el VFS resuelve todo el camino dado, es conveniente guardar todo ese esfuerzo. Por eso el kernel guarda en cache los objetos *dentry* **dcache**. Estos constan de 3 partes:

- Lista de *dentries* usadas
- Una lista doblemente enlazada con los más reciente utilizados
- Una tabla hash y una función hash que resuelve rápidamente el camino correspondiente a un objeto *dentry*

# Estructura

## Operaciones de *dentry*

- `int d_revalidate(struct dentry *dentry, int flags)` Valida un *dentry*
- `int d_hash(struct dentry *dentry, struct qstr *name)` Crea una entrada en la tabla hash
- `int d_compare(struct dentry *dentry, struct qstr *name1, struct qstr *name2)` Compara 2 nombres de archivo
- `int d_delete (struct dentry *dentry)` La usa VFS cuando `d_count` llega a cero.
- `void d_release(struct dentry *dentry)` Se usa cuando se va a liberar un *dentry*
- `void d_iput(struct dentry *dentry, struct inode *inode)` La usa VFS cuando un objeto pierde el *inode* asociado