

Grupo ARCOS

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

Tema 6: E/S y dispositivos periféricos

Estructura de Computadores

Grado en Ingeniería Informática
Grado en Matemática aplicada y Computación
Doble Grado en Ingeniería Informática y Administración de Empresas



Contenidos

1. Introducción

2. Buses

- ▶ Estructura y funcionamiento
- ▶ Jerarquía de buses

3. Periféricos

- ▶ Concepto y tipos de periféricos
- ▶ Estructura general de un periférico
- ▶ Módulos de E/S

4. Caso de estudio: disco duro y discos de estado sólido

5. Interacción E/S: técnicas de E/S

Contenidos

1. Introducción

2. Buses

- ▶ Estructura y funcionamiento
- ▶ Jerarquía de buses

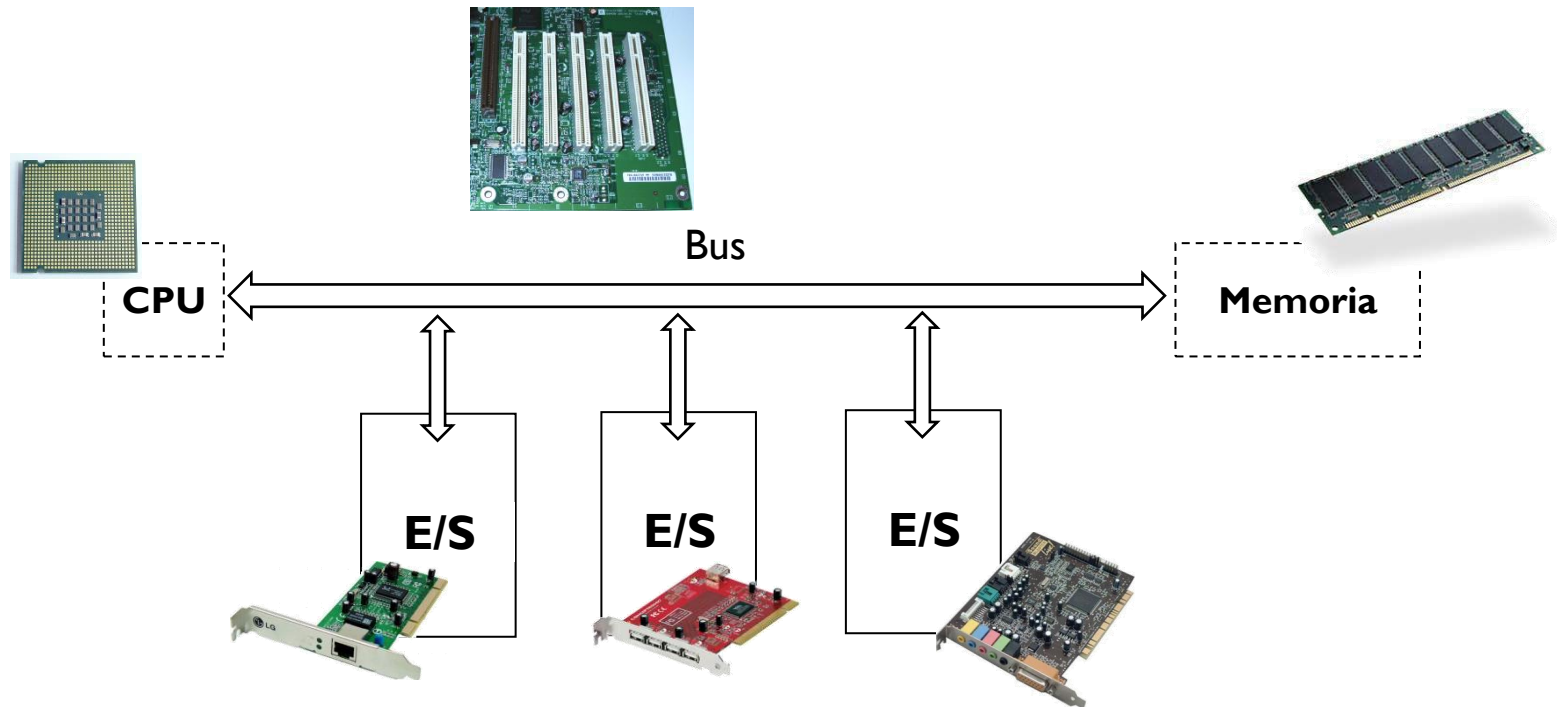
3. Periféricos

- ▶ Concepto y tipos de periféricos
- ▶ Estructura general de un periférico
- ▶ Módulos de E/S

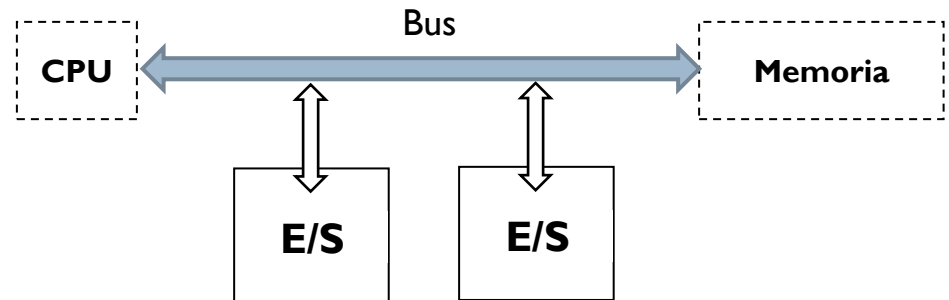
4. Caso de estudio: disco duro y discos de estado sólido

5. Interacción E/S: técnicas de E/S

Introducción

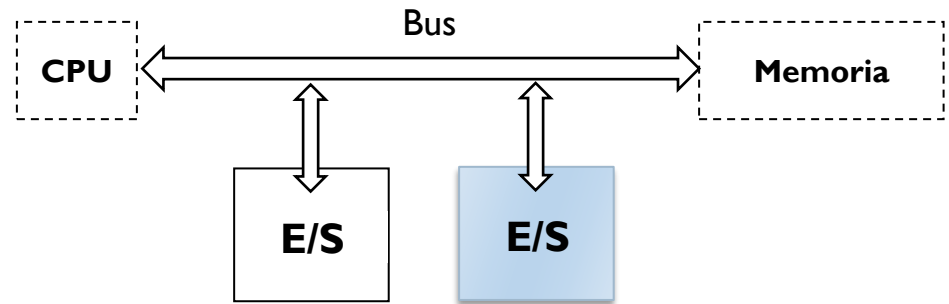


Introducción



- Qué es un bus de interconexión

Introducción



- ▶ Qué es un periférico
- ▶ Qué es un módulo de entrada/salida
- ▶ Cómo se acceden a los datos de los periféricos

Contenidos

1. Introducción

2. Buses

- ▶ Estructura y funcionamiento
- ▶ Jerarquía de buses

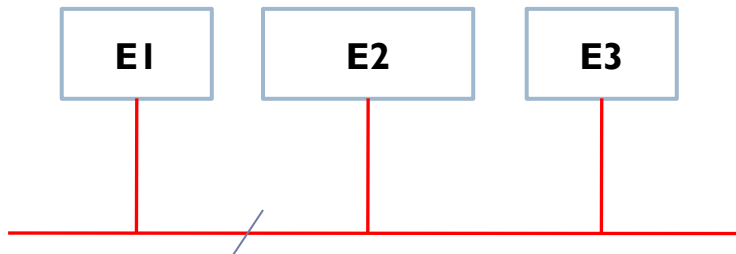
3. Periféricos

- ▶ Concepto y tipos de periféricos
- ▶ Estructura general de un periférico
- ▶ Módulos de E/S

4. Caso de estudio: disco duro y discos de estado sólido

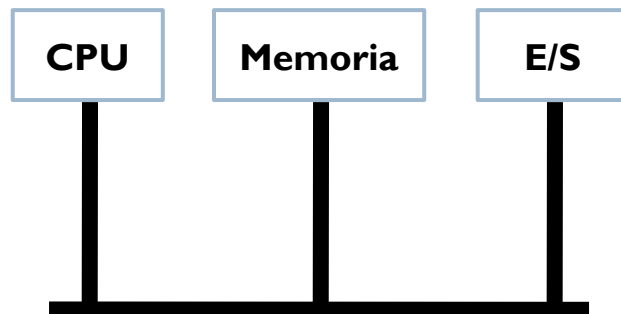
5. Interacción E/S: técnicas de E/S

Bus



- ▶ Un bus es un **camino** de comunicación **entre dos o más dispositivos**.
- ▶ **Constituido** por **varias líneas** de transmisión de bit.
- ▶ **Medio compartido**, unívoco.
- ▶ Permite transmitir varios bits entre dos elementos conectados a él

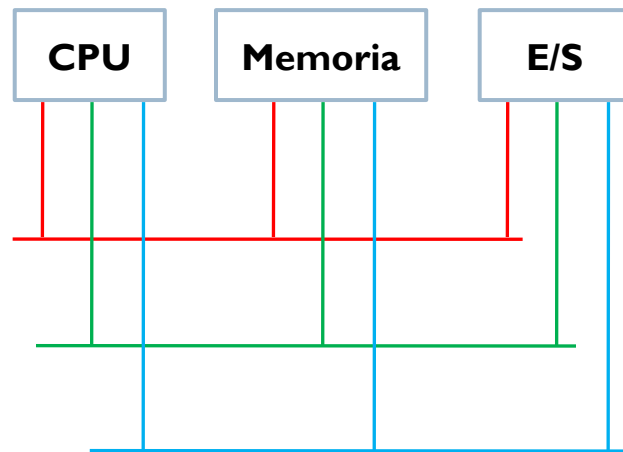
Bus del sistema



► Bus del sistema

- Conecta los principales componentes del computador
- Representa la unión de tres buses:
 - Control
 - Direcciones
 - Datos

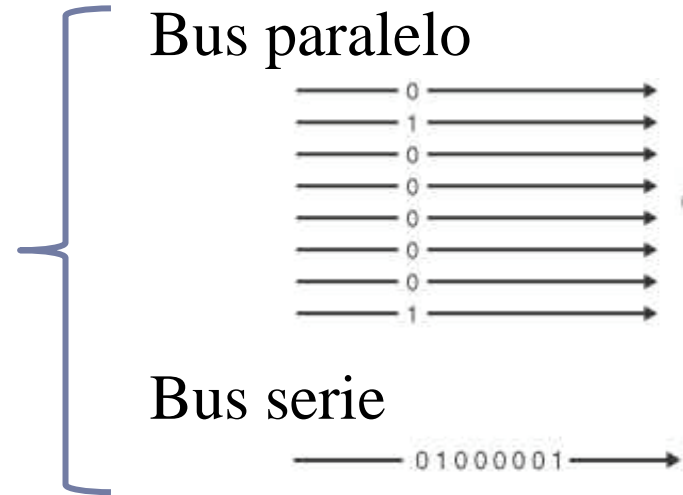
Buses



- ▶ Bus de **datos**
 - ▶ Transmite datos
 - ▶ Su anchura y velocidad influye mucho en las prestaciones
- ▶ Bus de **direcciones**
 - ▶ Direcciones de memoria y dispositivos de E/S
 - ▶ Su anchura determina la máxima capacidad de memoria
- ▶ Bus de **control**
 - ▶ Señales de control y temporización

Características de un bus

- ▶ **Ancho del bus:** determina el número de bits que pueden transmitirse simultáneamente



- ▶ **Frecuencia:** frecuencia de reloj con la que puede operar
- ▶ **Velocidad de transferencia:** número de bytes por ciclo de reloj
- ▶ **Ancho de banda** (tasa de transferencia): bytes transmitidos por segundo
 - ▶ Velocidad de transferencia X frecuencia

Ejercicio

- ▶ Calcular el ancho de banda en MBps de un bus de 32 bits y una frecuencia de 66 MHz

Ejercicio (solución)

- Calcular el ancho de banda en MBps de un bus de 32 bits y una frecuencia de 66 MHz

$$\text{Ancho de banda} = \frac{32 \text{ bits} \times 66 \text{ MHz}}{8 \text{ bits por byte}} = \frac{32 \times 66 \cdot 10^6}{8} = 264 \text{ MBps}$$

Método de arbitraje (protocolo del bus)

- ▶ Determina qué elemento de los que están conectados al bus puede acceder al bus
 - ▶ Esquema **centralizado**: un controlador del bus concede el uso del bus
 - ▶ Cuando un elemento quiere acceder al bus solicita permiso al controlador a través de las líneas de control (BUSRQ)
 - ▶ Cuando el bus está libre el controlador concede el uso (BUSACK)
 - ▶ Esquema **distribuido**: cada elemento conectado al bus incluye una lógica de control de acceso que permite usar de forma conjunta el bus (protocolo de acceso)

Buses síncronos y asíncronos

- ▶ Un bus **síncrono** está gobernado por una señal de reloj y un protocolo de comunicación ajustado al funcionamiento del reloj
 - ▶ Rápido
 - ▶ Todos los dispositivos conectados a él deben operar a la misma frecuencia de reloj
- ▶ Un bus **asíncrono** no utiliza un reloj, la comunicación se realiza mediante el envío de ordenes a través de las líneas de control del bus

Jerarquías de buses

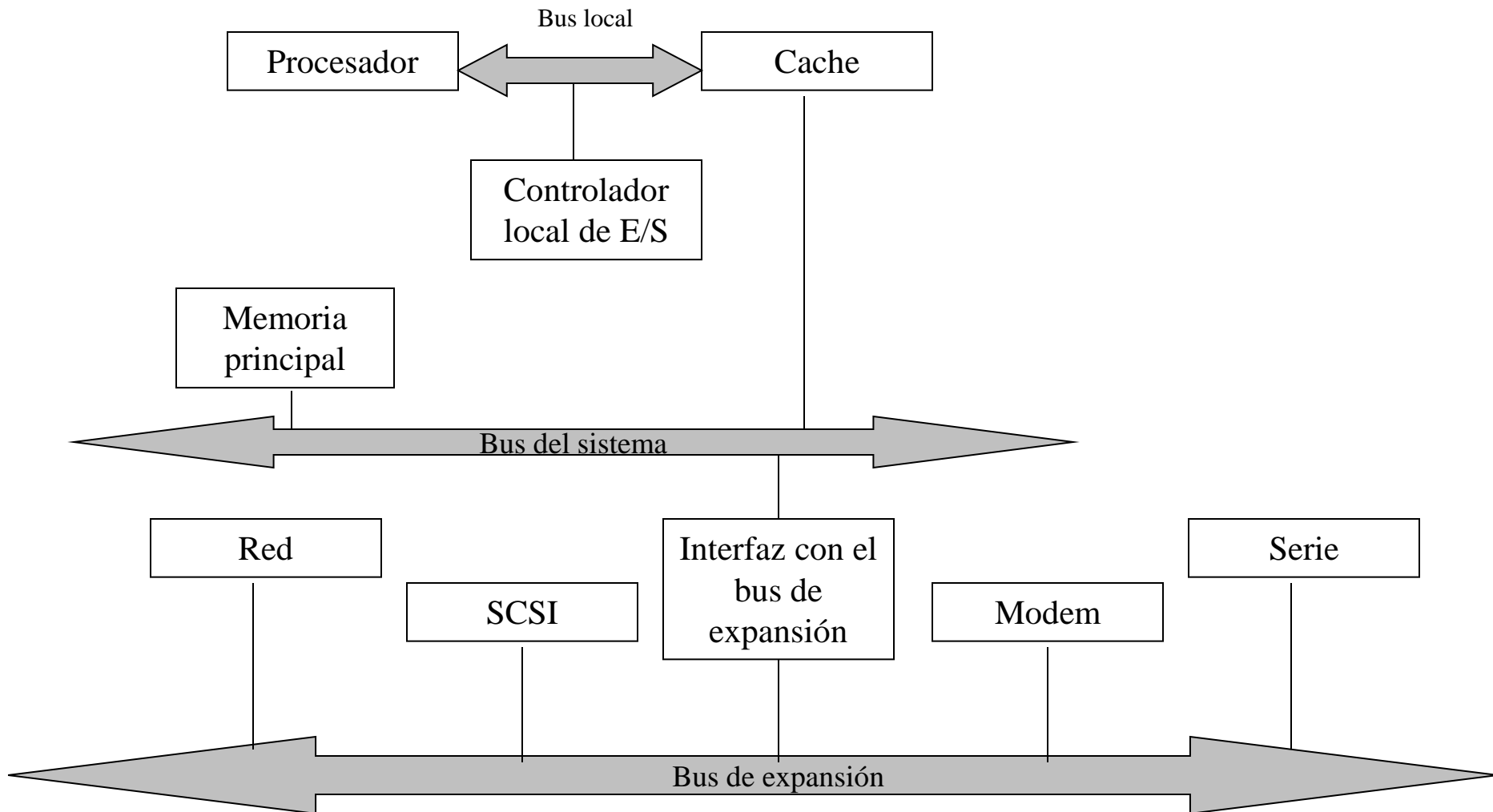
▶ Problema:

- ▶ A más dispositivos conectados al bus, mayor es el retardo de propagación.
- ▶ A medida que aumenta el número de peticiones de transferencia, se puede producir un cuello de botella.

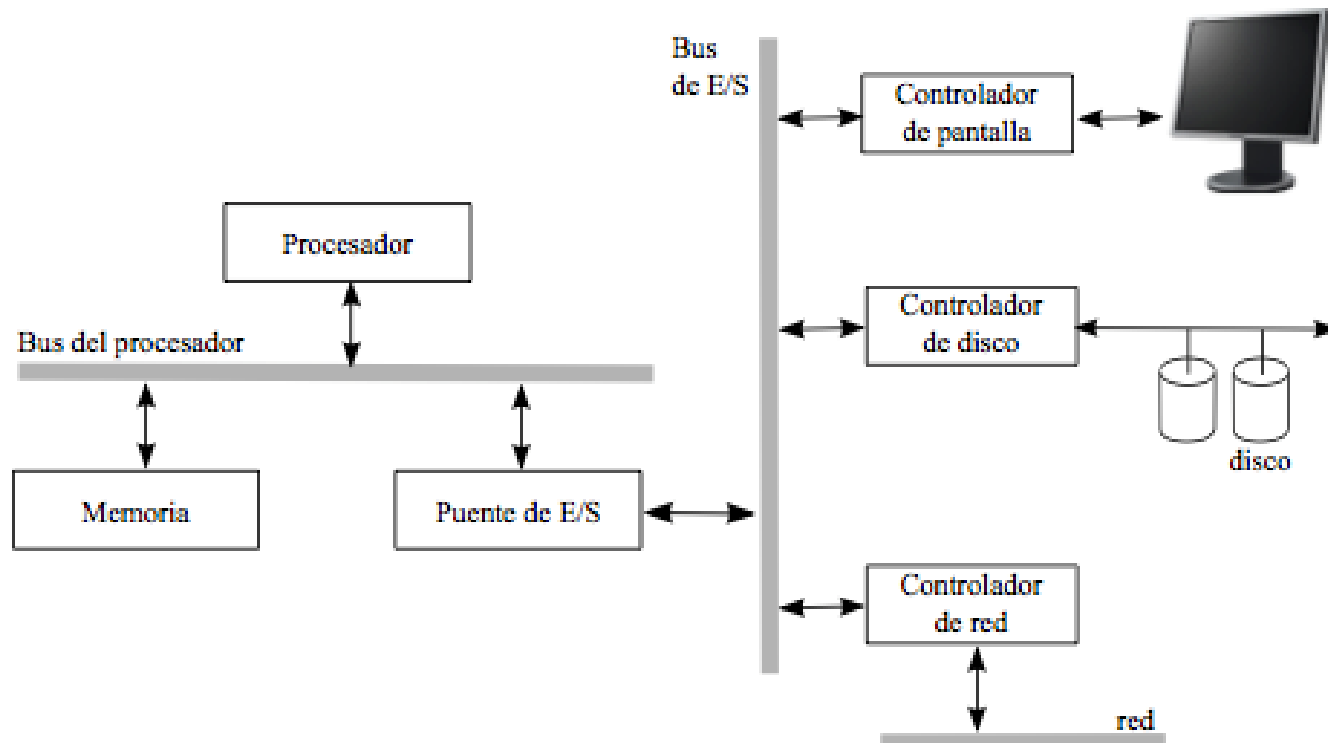
▶ Soluciones:

- ▶ Aumentar la velocidad de transmisión de datos con buses más anchos.
- ▶ Utilizar más buses de datos, organizados jerárquicamente.

Jerarquías de buses

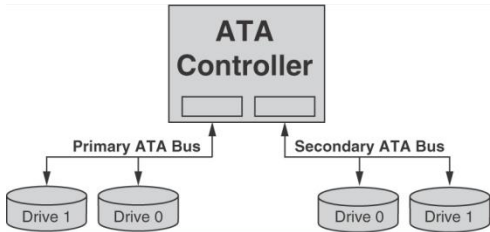
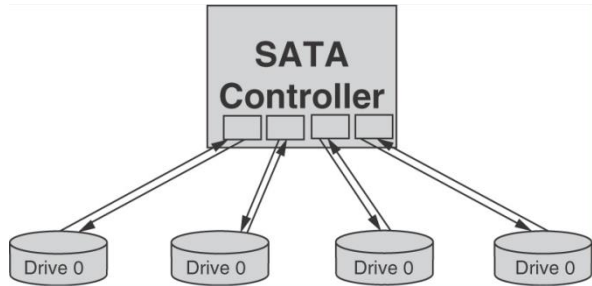
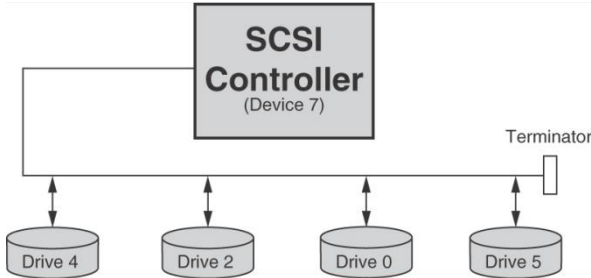
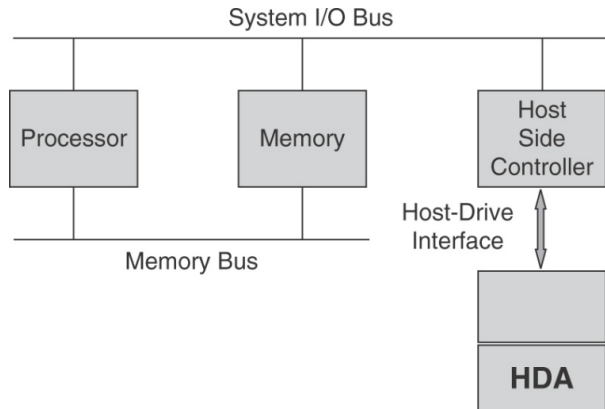


Esquema de buses en un sistema informático típico



Controladores de disco

Memory Systems
Cache, DRAM, Disk
Bruce Jacob, Spencer Ng, David Wang
Elsevier

	~ [1980 – 2010]	~ [2010 – 2022]
PC normal		
Servidores		

Curiosidades: Familia USB



	Transfer (por seg.)	Aparición
USB4	40 Gbps	2019
USB 3.2	20 Gbps	2017
USB 3.0	600 MB/s	2010
USB 2.0	60 MB/s	2000
USB 1.0	1.5 MB/s and 187 KB/s	1996

	Song / Pic	256 Flash	USB Flash	SD-Movie	USB Flash	HD-Movie
	4 MB	256 MB	1 GB	6 GB	16 GB	25 GB
USB 1.0	5.3 sec	5.7 min	22 min	2.2 hr	5.9 hr	9.3 hr
USB 2.0	0.1 sec	8.5 sec	33 sec	3.3 min	8.9 min	13.9 min
USB 3.0	0.01 sec	0.8 sec	3.3 sec	20 sec	53.3 sec	70 sec

<http://www.unp.co.in/f140/comparison-of-usb-3-0-port-with-usb-2-0-and-usb-1-0-a-70063/>

Contenidos

1. Introducción

2. Buses

- ▶ Estructura y funcionamiento
- ▶ Jerarquía de buses

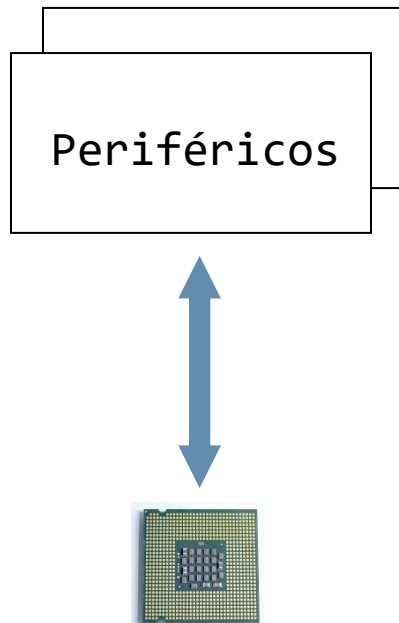
3. Periféricos

- ▶ Concepto y tipos de periféricos
- ▶ Estructura general de un periférico
- ▶ Módulos de E/S

4. Caso de estudio: disco duro y discos de estado sólido

5. Interacción E/S: técnicas de E/S

Concepto de periférico



► Periférico:

- Todo aquel dispositivo externo que se conecta a un procesador a través de la unidades o **módulos de entrada/salida** (E/S).
- Permiten almacenar información o comunicar el computador con el mundo exterior.

Clasificación de periféricos (por uso)



► Comunicación:

► Hombre-máquina

- (Terminal) teclado, ratón, ...
- (Impresa) plotter, escáner, ...

► Máquina-máquina (Módem, ...)

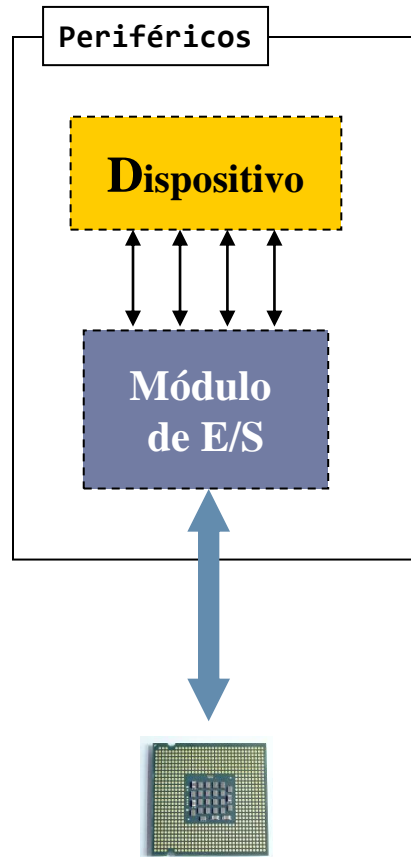
► Medio físico

- (Lectura/accionamiento) x
(analógico/digital)

► Almacenamiento:

- Acceso “directo” (Discos, DVD, ...)
- Acceso secuencial (Cintas)

Estructura general de un periférico



- ▶ Compuesto de:

- ▶ **Dispositivo**

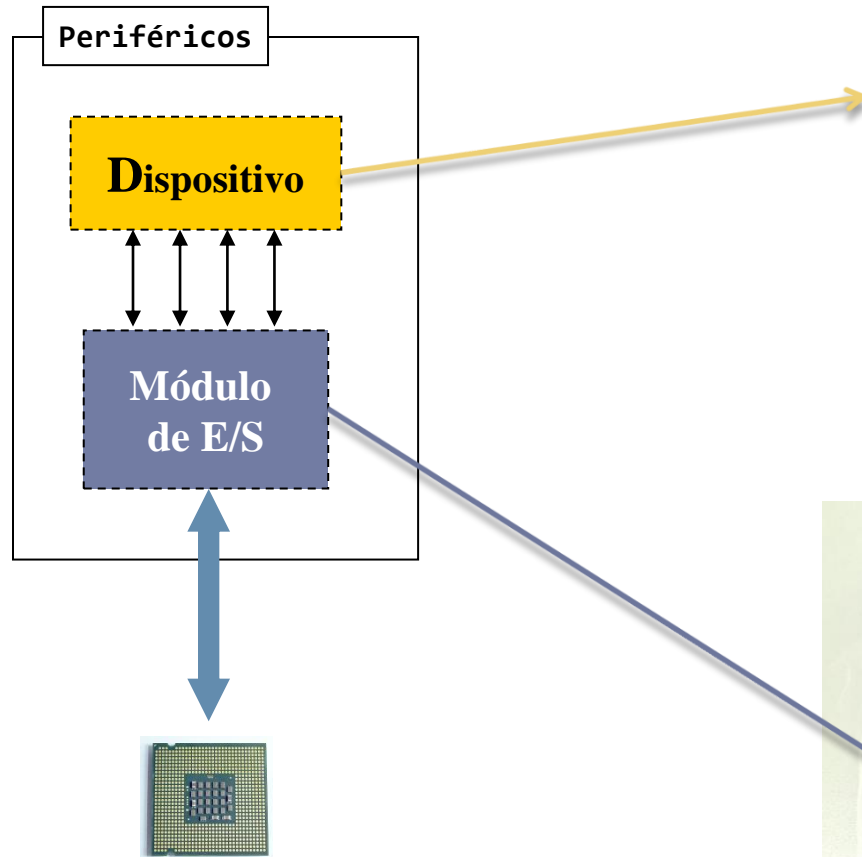
- ▶ Hardware que interactúa con el entorno

- ▶ **Módulo de Entrada/Salida**

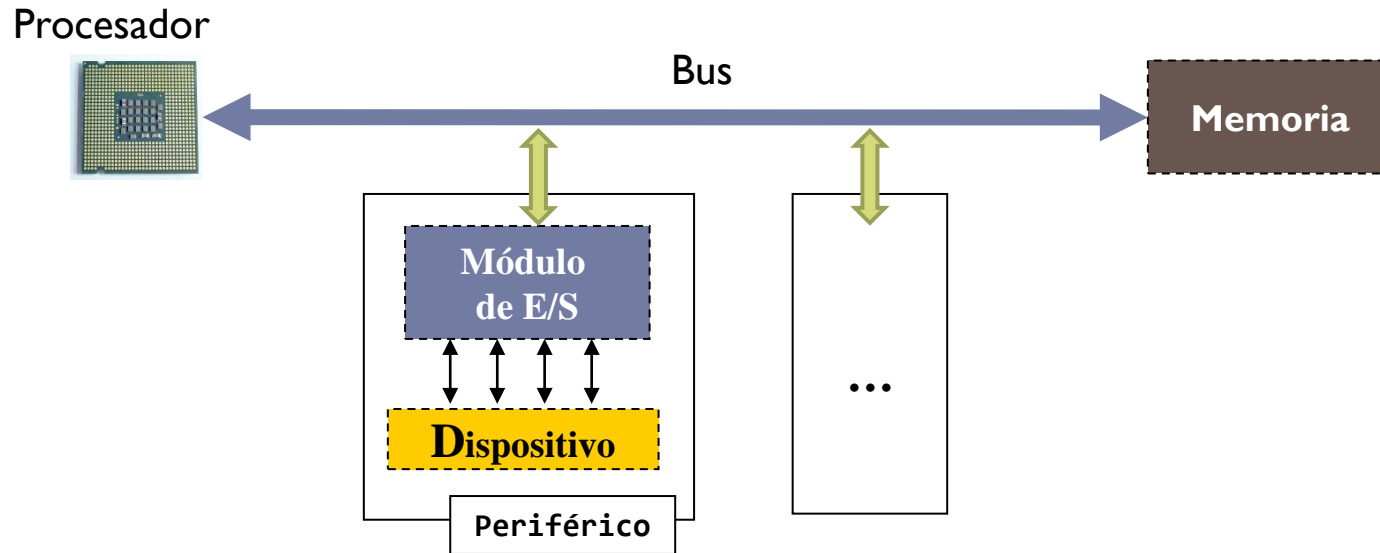
- ▶ También denominado **controlador**
 - ▶ Interfaz entre dispositivo y el procesador, que le oculta las particularidades de éste

Ejemplo

Disco magnético

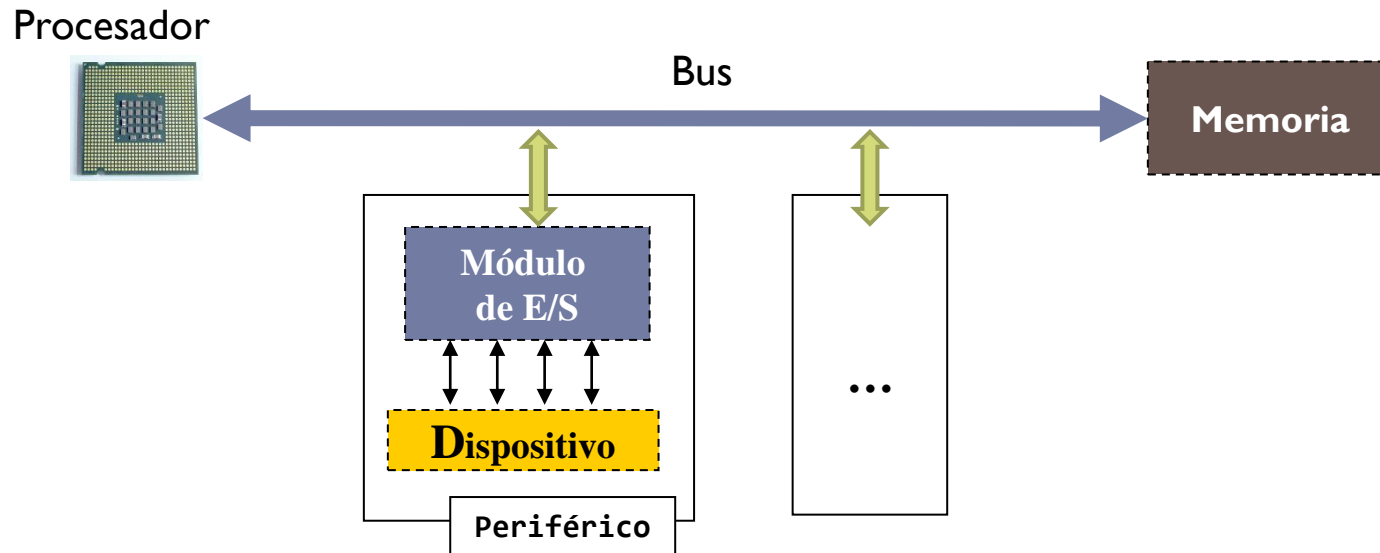


Módulo de E/S



- Las **unidades o módulos de E/S** realizan la conexión del procesador con los dispositivos periféricos.

Necesidad de los módulo de E/S



- ▶ Gran variedad de periféricos.
 - ▶ Los periféricos son 'raros'
- ▶ La velocidad de transferencia de datos de los periféricos es mucho menor que la de la memoria o el procesador.
 - ▶ Los periféricos son 'muy lentos'
- ▶ Formatos y tamaños de palabra de los periféricos distintos a los del computador al que se conectan.

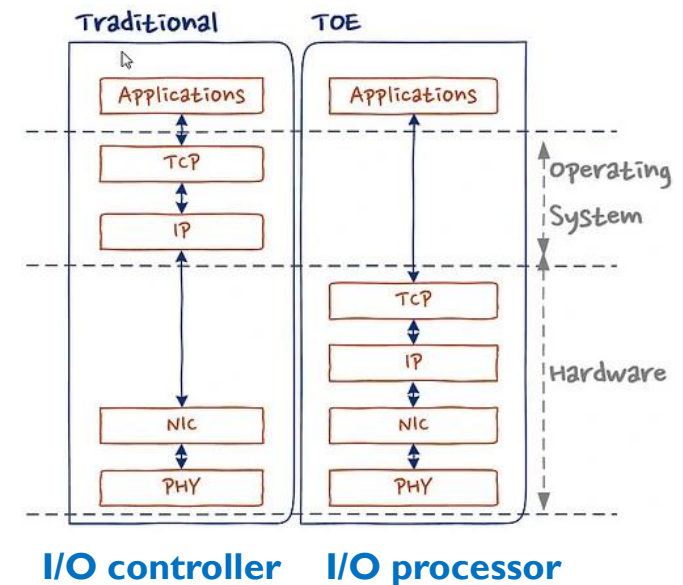
Módulos de E/S: posibles tareas

► Tareas comunes:

- Control y temporización
- Comunicación con CPU o memoria
- *Buffering* o almacenamiento intermedio
- Detección de errores
- Etc.

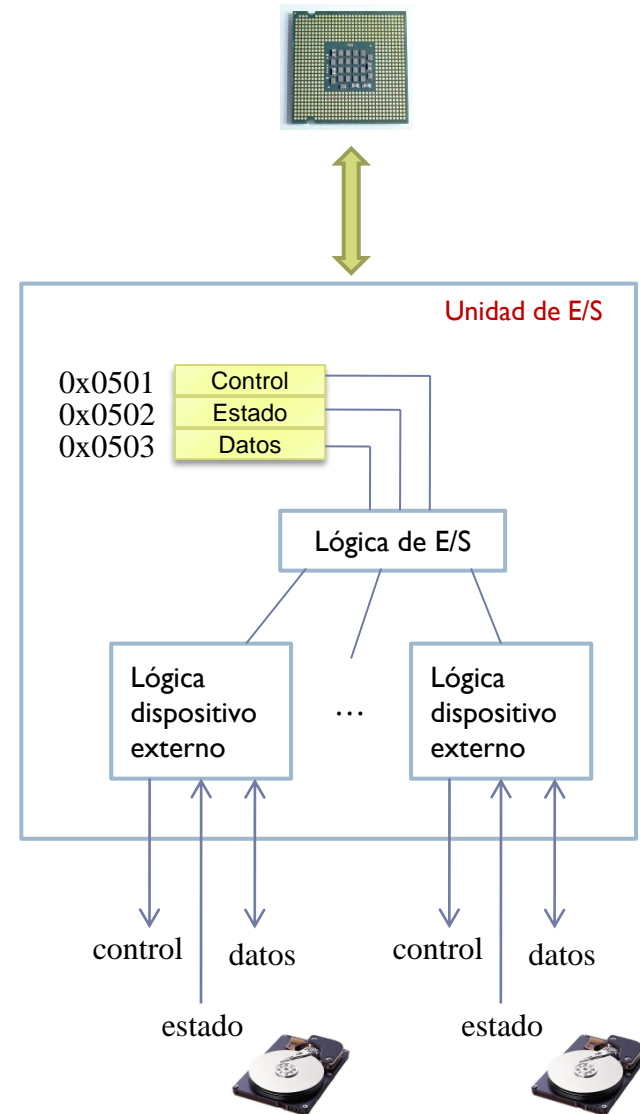
► Tipos de módulos por complejidad:

- **Controladores E/S:**
módulo simple que requiere de CPU para el control del dispositivo.
- **Canales de E/S o procesador E/S:**
realiza casi todo el control de E/S

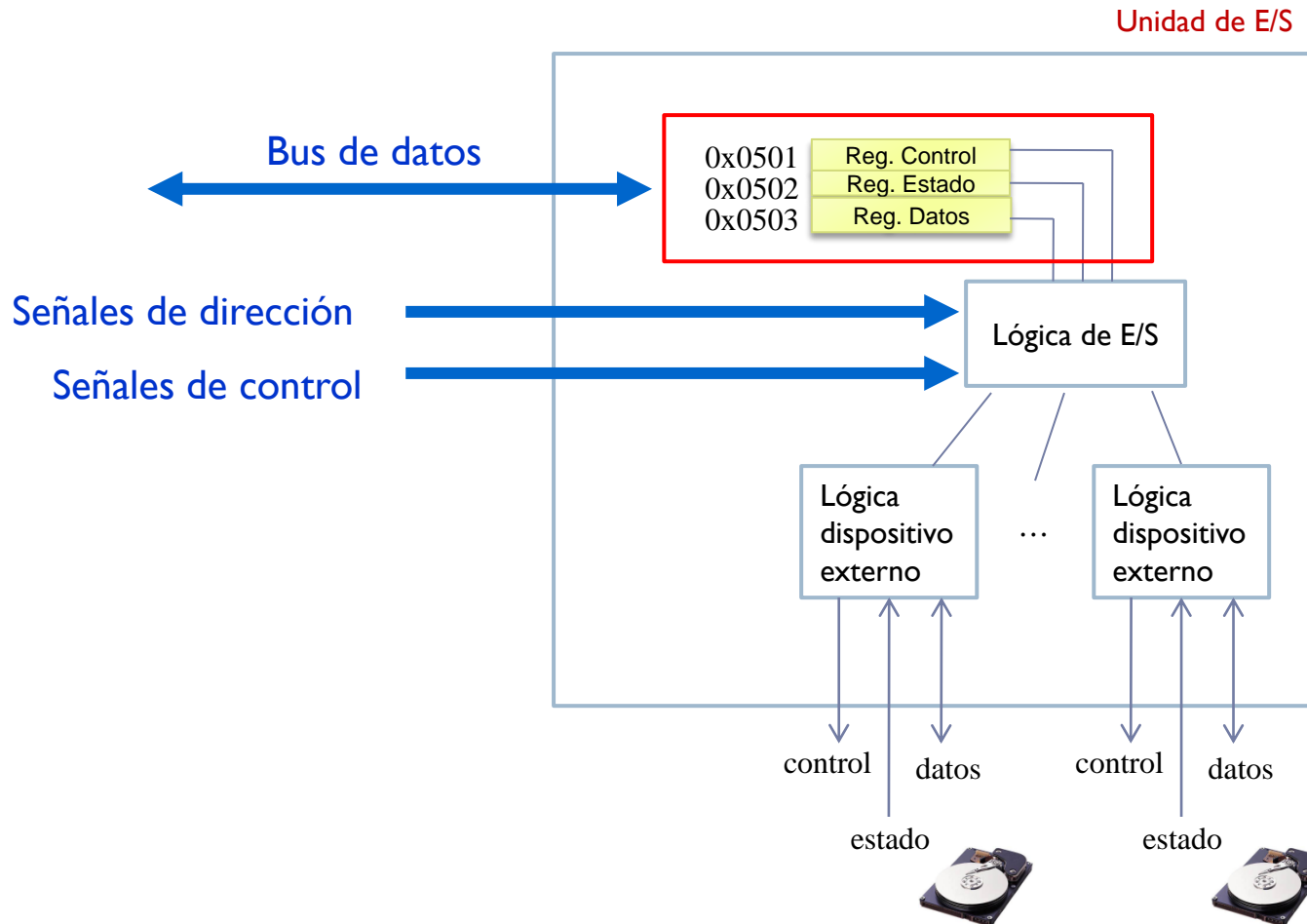


Módulo de E/S: funciones

- ▶ **Atender al procesador:**
 - ▶ Decodificación de órdenes
 - ▶ Información de estado
 - ▶ Control y temporización
 - ▶ Ej.: datos a memoria ppal.
- ▶ **Controlar periférico(s):**
 - ▶ Comunicación con dispositivos
 - ▶ Detección de errores
 - ▶ Almacenamiento temporal de datos
 - ▶ periférico->procesador

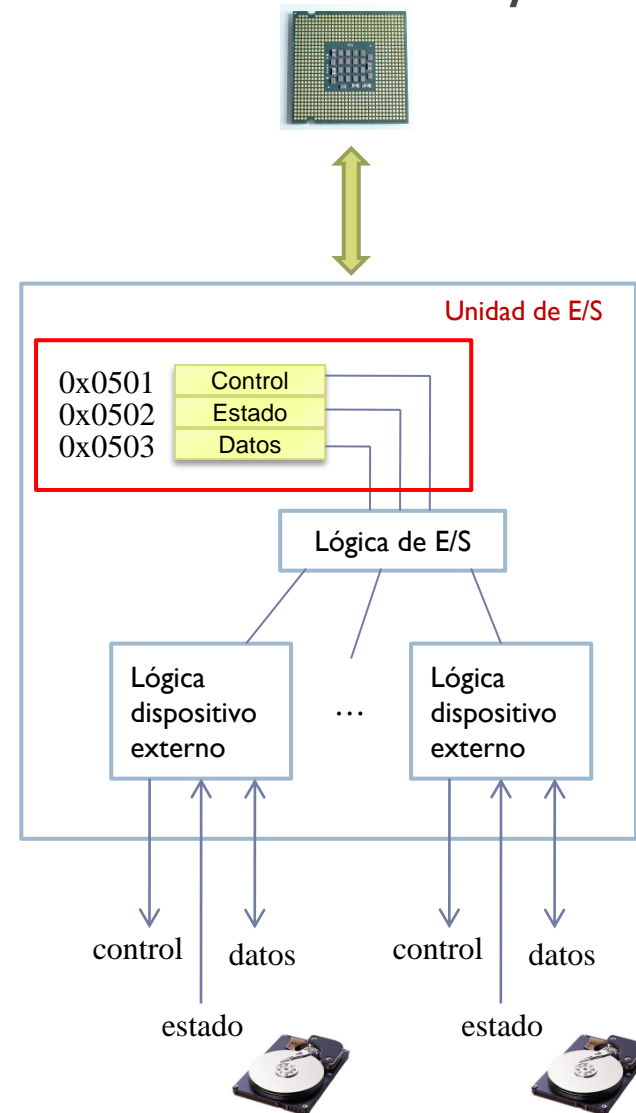


Modelo simplificado de módulo de E/S



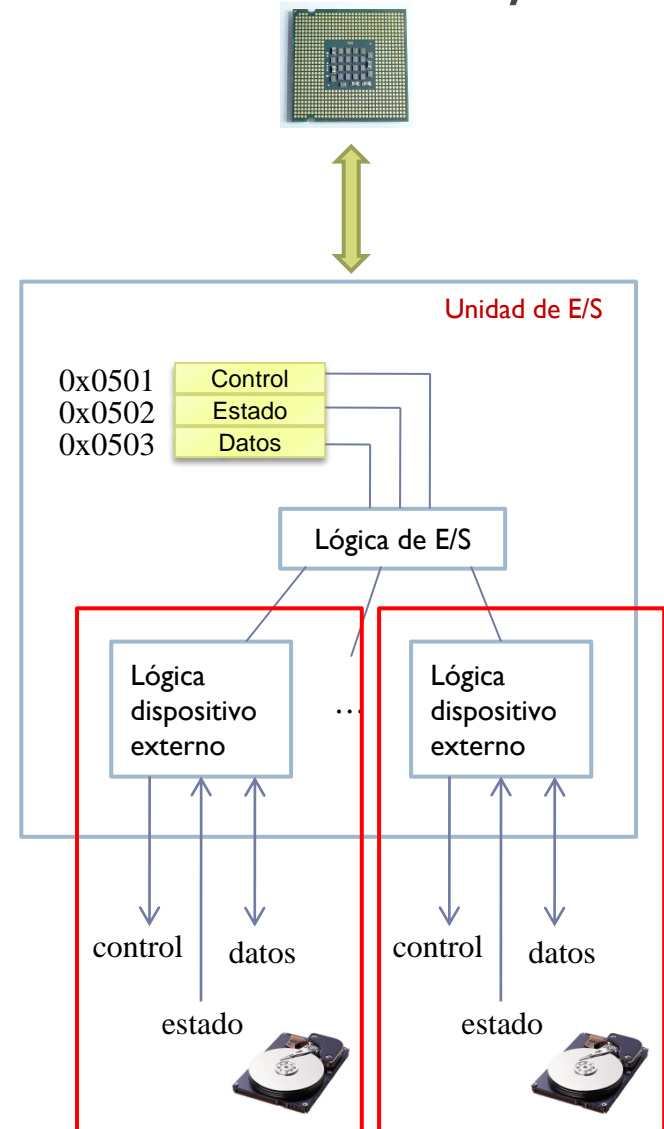
Modelo simplificado de módulo de E/S

- ▶ Interacción entre procesador y Unidad de E/S a través de 3 registros:
 - ▶ Registro de **control**
 - ▶ Ordenes para el periférico
 - ▶ Registro de **estado**
 - ▶ Estado desde de la última orden
 - ▶ Registro de **datos**
 - ▶ Datos intercambiados Procesador/Perif.



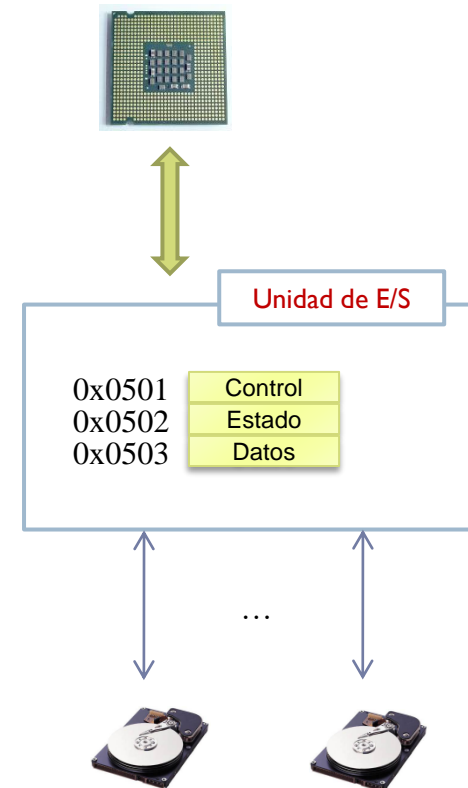
Modelo simplificado de módulo de E/S

- ▶ Interacción periférico/unidad de E/S:
 - ▶ **Líneas de datos:**
transferencia de información
 - ▶ **Señales de estado:**
diagnóstico del periférico
 - ▶ Ejemplos:
 - Nuevo dato disponible
 - Periférico encendido/apagado
 - Periférico ocupado
 - Periférico operativo o no
 - Error de operación
 - ...
 - ▶ **Señales de control:**
accionamiento del periférico
 - ▶ Ejemplos:
 - Encender o apagar
 - Saltar página en impresoras
 - Posicionar el brazo de un disco
 - ...



Módulo de E/S: características

- ▶ **Unidad de transferencia**
 - ▶ Bloque
 - ▶ Caracter
- ▶ **Direccionamiento**
 - ▶ Mapeado a memoria
 - ▶ Mapeado a puerto
- ▶ **Técnicas de Entrada/Salida**
 - ▶ E/S programada
 - ▶ Por interrupciones
 - ▶ Por DMA



Características (1 / 3)

▶ Unidad de transferencia:

▶ **Dispositivos de bloque:**

- ▶ Unidad: **bloque** de bytes
- ▶ Acceso **secuencial** o **directo** a bloques
- ▶ Operaciones: leer, escribir, situarse, ...
- ▶ Ejemplos: discos y “cintas”

▶ **Dispositivos de carácter:**

- ▶ Unidad: **caracteres** (ASCII, Unicode, etc)
- ▶ Acceso **secuencial** a caracteres
- ▶ Operaciones: `get`, `put`,
- ▶ Ejemplo: terminales, impresoras, tarjetas de red

- ▶ **Unidad transferencia**
 - ▶ Bloque
 - ▶ Caracter
- ▶ **Direccionamiento**
 - ▶ Mapeado memoria
 - ▶ Mapeado a puerto
- ▶ **Técnicas de E/S**
 - ▶ Programada
 - ▶ Interrupciones
 - ▶ DMA

Características (2/3)

► Direccionamiento de E/S:

► Espacio de memoria conjunto

- Los registros del ‘controlador’ se proyectan en memoria y usando un conjunto de direcciones de memoria se acceden a dichos registros.
- Ej: `sw a0 etiqueta_discoA`

► Espacio de memoria separado (puertos):

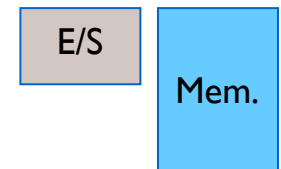
- Con instrucciones ensamblador especiales (in/out) se acceden a las direcciones de E/S (denominadas puertos) que representan los registros del ‘controlador’.
- Ej: `out a0 0x105A`

- Unidad transferencia
 - Bloque
 - Caracter
- Direccionamiento
 - Mapeado memoria
 - Mapeado a puerto
- Técnicas de E/S
 - Programada
 - Interrupciones
 - DMA

lw Reg., add.
sw Reg., add.



in Reg., add. lw Reg., add.
out Reg., add. sw Reg., add.



Linux

```

phoenix.arcos.inf.uc3m.es - default* - SSH Secure Shell
File Edit View Window Help
acaldero@phoenix:~$ cat /proc/ioports
0000-0cf7 : PCI Bus 0000:00
0000-001f : dma1
0020-0021 : pic1
0040-0043 : timer0
0050-0053 : timer1
0060-0060 : keyboard
0064-0064 : keyboard
0070-0073 : rtc0
0080-008f : dma page reg
00a0-00a1 : pic2
00c0-00df : dma2
00f0-00ff : fpu
0290-029f : pnp 00:01
0290-0294 : pnp 00:01
02f8-02ff : serial
0378-037a : parport0
03c0-03df : vga+
03f2-03f2 : floppy
03f4-03f5 : floppy
03f7-03f7 : floppy
03f8-03ff : serial
0400-047f : 0000:00:1f.0
0400-0403 : ACPI PM1a_EVT_BLK
0404-0405 : ACPI PM1a_CNT_BLK
Connected to phoenix.arcos.inf.uc3m.es

```

Windows

Información del sistema

Archivo Editar Ver Ayuda

Resumen del sistema	Recurso	Dispositivo
Recursos de hardware	0x00000000-0x0000000F	Controladora de acceso directo a r
Conflictos/uso compartido	0x00000000-0x0000000F	Bus PCI
DMA	0x00000010-0x0000001F	Recursos de la placa base
Hardware forzado	0x00000020-0x000000...	Controladora programable de inte
E/S	0x00000022-0x0000003F	Recursos de la placa base
IRQs	0x00000040-0x000000...	Cronómetro del sistema
Memoria	0x00000044-0x0000005F	Recursos de la placa base
Componentes	0x00000060-0x000000...	Recursos de la placa base
Entorno de software	0x00000061-0x000000...	Altavoz del sistema
	0x00000062-0x000000...	Recursos de la placa base
	0x00000064-0x000000...	Recursos de la placa base
	0x00000065-0x0000006F	Recursos de la placa base
	0x00000070-0x000000...	Sistema CMOS/reloj en tiempo real
	0x00000072-0x0000007F	Recursos de la placa base
	0x00000080-0x000000...	Recursos de la placa base
	0x00000081-0x000000...	Controladora de acceso directo a r
	0x00000084-0x000000...	Recursos de la placa base
	0x00000087-0x000000...	Controladora de acceso directo a r
	0x00000088-0x000000...	Recursos de la placa base
	0x00000089-0x000000...	Controladora de acceso directo a r
	0x0000008C-0x000000...	Recursos de la placa base

Buscar esto:

☐ Buscar sólo la categoría seleccionada ☐ Buscar sólo nombres de categoría

Características (3/3)

- ▶ Unidad transferencia
 - ▶ Bloque
 - ▶ Caracter
- ▶ Direccionamiento
 - ▶ Mapeado memoria
 - ▶ Mapeado a puerto
- ▶ Técnicas de E/S
 - ▶ Programada
 - ▶ Interrupciones
 - ▶ DMA

- ▶ **Técnicas de E/S:** Interacción Procesador-Controlador
 - ▶ **E/S programada**
 - ▶ **E/S por interrupciones**
 - ▶ **E/S por DMA (acceso directo a memoria)**
- ▶ **Más adelante...**

Contenidos

1. Introducción

2. Buses

- ▶ Estructura y funcionamiento
- ▶ Jerarquía de buses

3. Periféricos

- ▶ Concepto y tipos de periféricos
- ▶ Estructura general de un periférico
- ▶ Módulos de E/S

4. Caso de estudio: disco duro y discos de estado sólido

5. Interacción E/S: técnicas de E/S

Un poco de historia...



- ▶ El primer disco duro apareció en 1956
 - ▶ Encargo de las fuerzas Aéreas de EEUU
 - ▶ Se le llamó IBM RAMAC 305
 - ▶ 50 discos de aluminio de 61 cm (24") de diámetro
 - ▶ 5 MB de datos
 - ▶ Giraba a 3.600 revoluciones por minuto
 - ▶ Contaba con una velocidad de transferencia de 8,8 Kbps
 - ▶ Alquiler por año 35000 \$
 - ▶ Pesaba cerca de una tonelada

Un poco de historia...

- ▶ En 1980 aparece el primer disco de 5 1/4”
 - ▶ 5 MB
 - ▶ 10.000 \$



- ▶ En 1997 aparece el primer disco a 15000 RPM

Un poco de historia...



1956

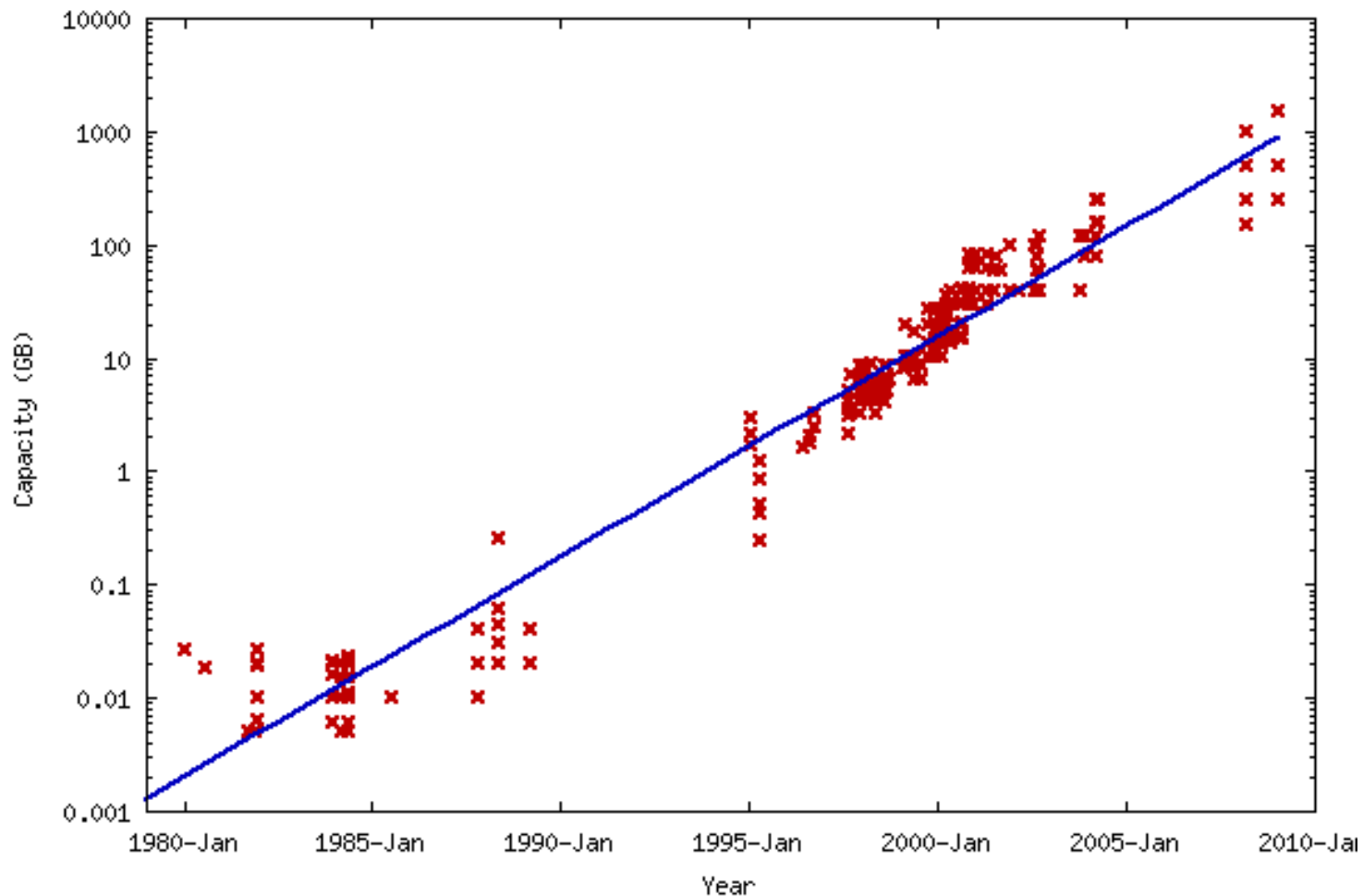


80's



2005

Un poco de historia...



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hard_drive_capacity_over_time.svg

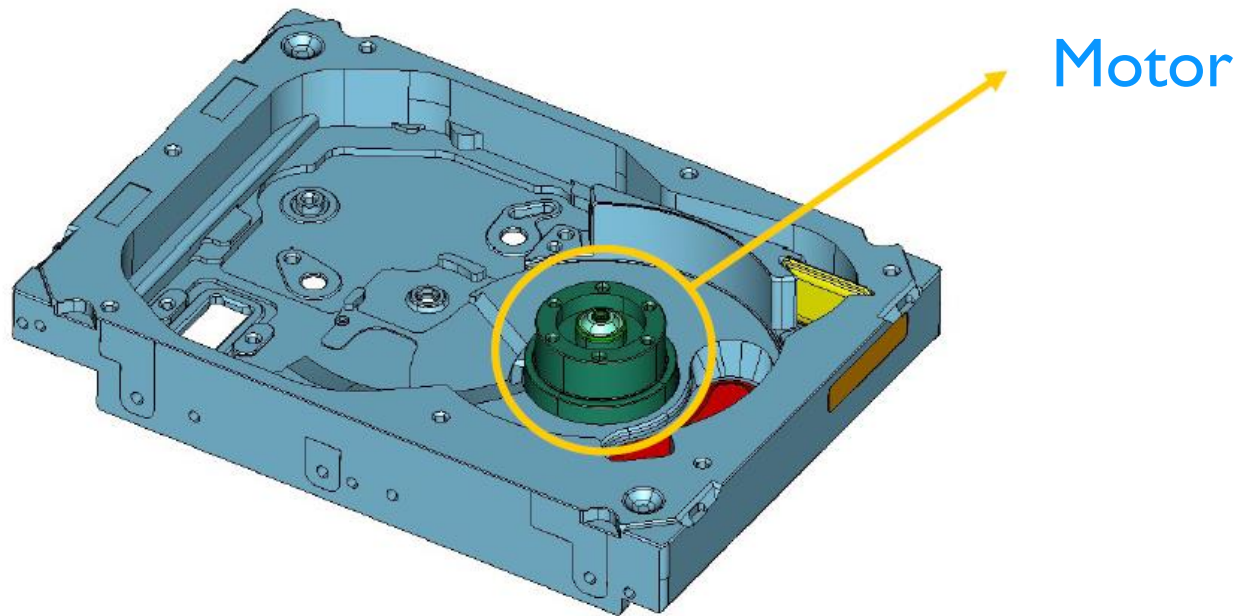
Evolución...

	Tasa de crecimiento por año
Capacidad	1.93 / año
Coste	0.60 / año
Prestaciones	0.05 / año



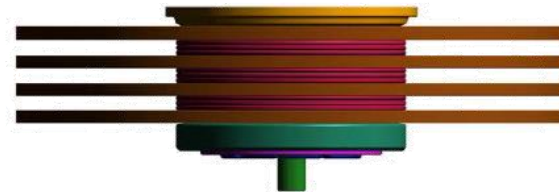
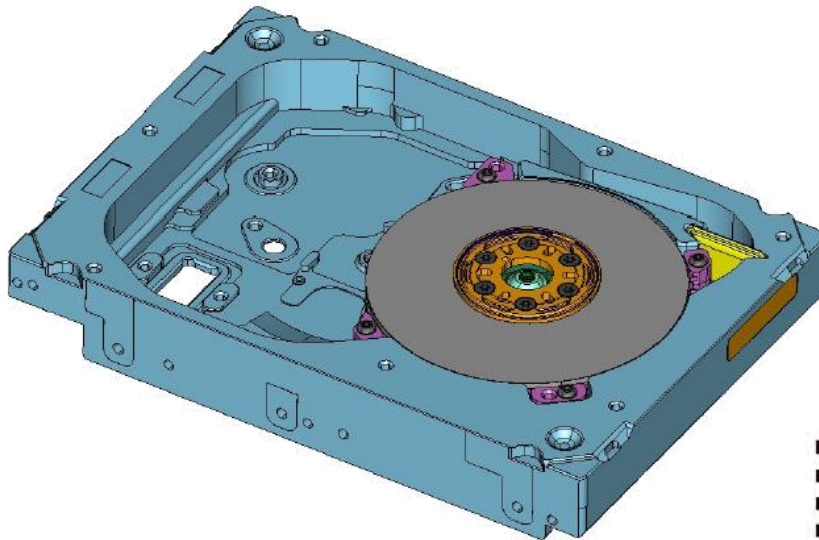
<https://www.pingdom.com/blog/amazing-facts-and-figures-about-the-evolution-of-hard-disk-drives/>

Anatomía de un disco duro



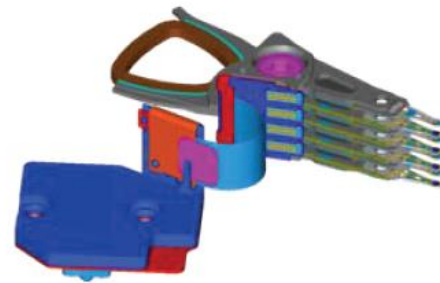
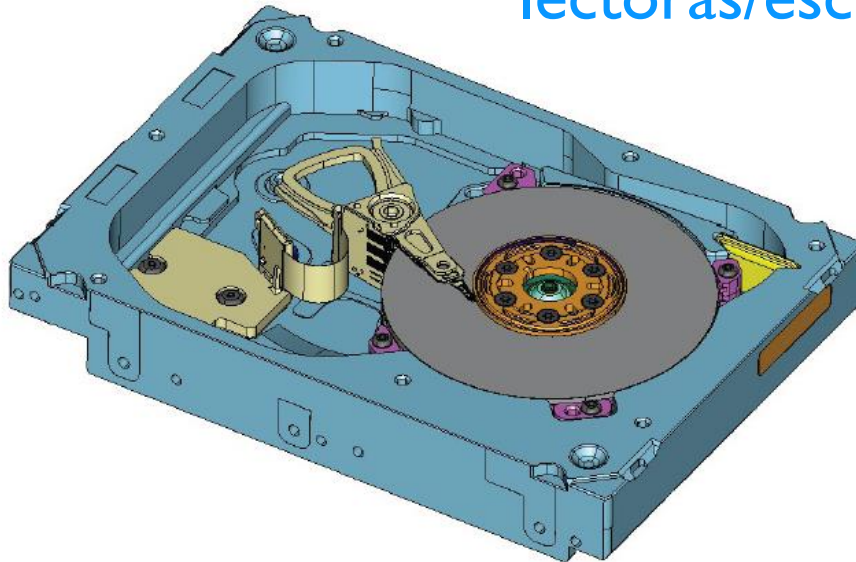
Anatomía de un disco duro

Discos

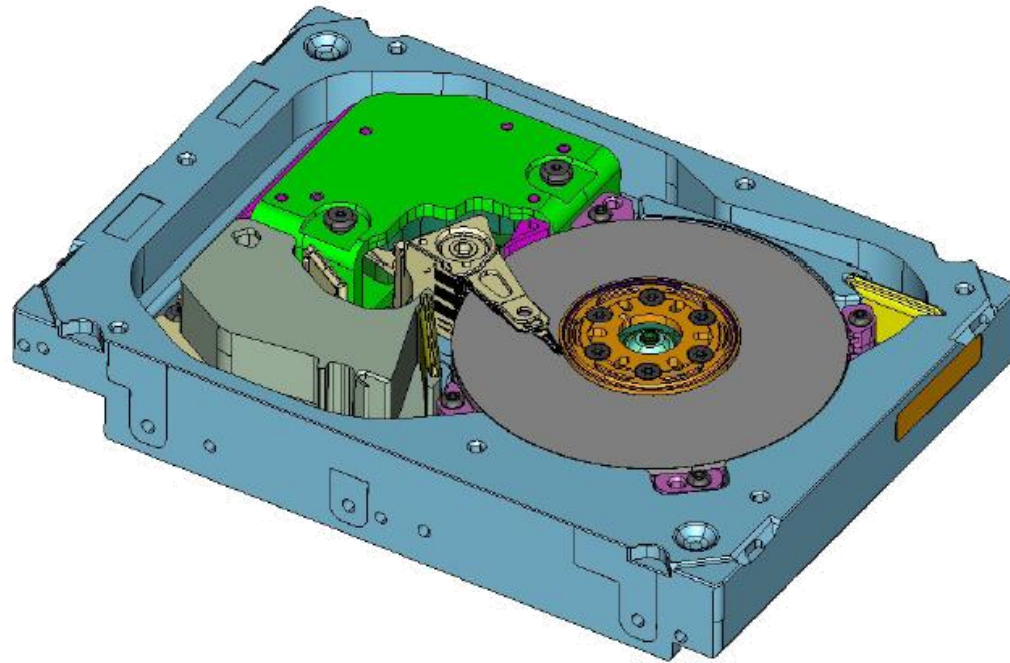


Anatomía de un disco duro

Cabezas
lectoras/escriptoras



Anatomía de un disco duro



Módulo de control y
mecánica

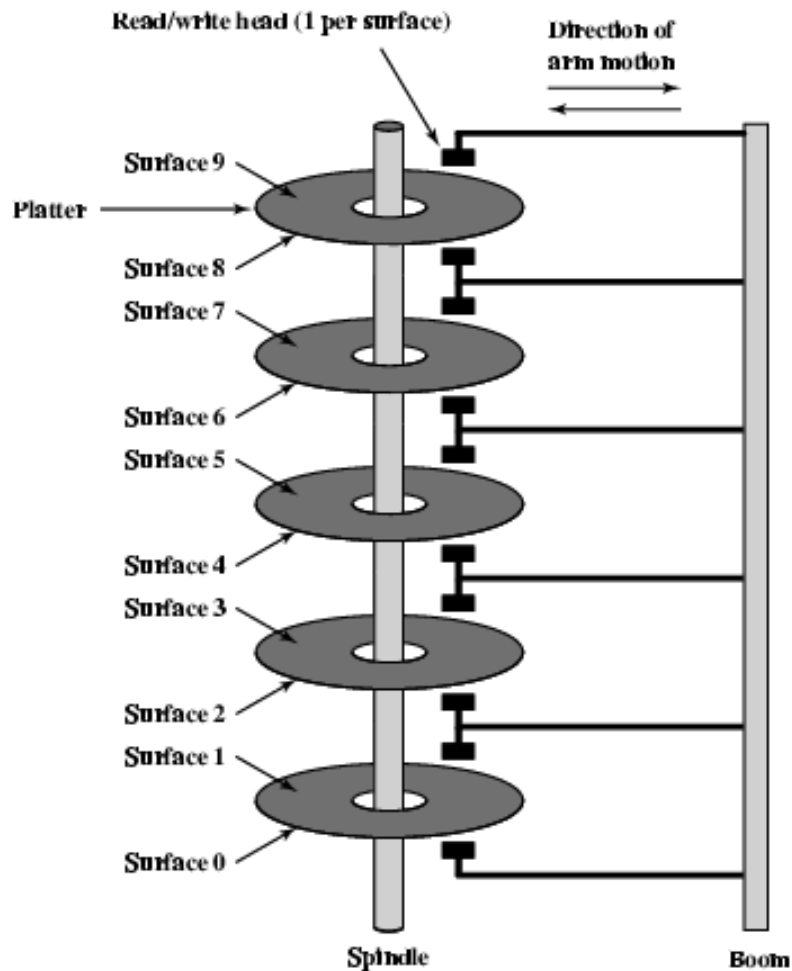
Anatomía de un disco duro



- ▶ **Controlador de disco**
 - ▶ Planificación de comandos
 - ▶ Corrección de errores
 - ▶ Optimización
 - ▶ Comprobación de integridad
 - ▶ Control de las revoluciones por minuto (RPM)
 - ▶ Caché de disco

<http://www.snia.org>

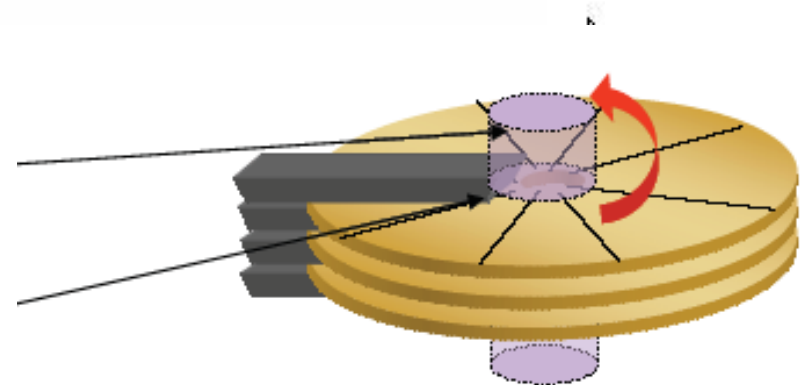
Múltiples platos



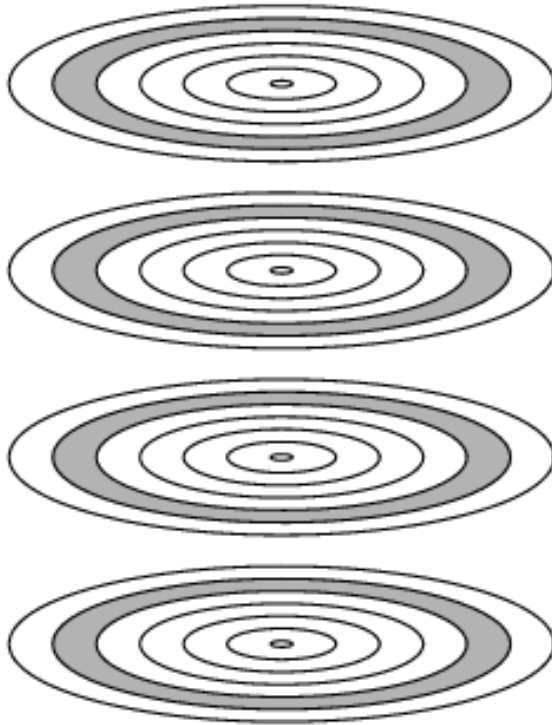
<http://www.snia.org>



Rotación

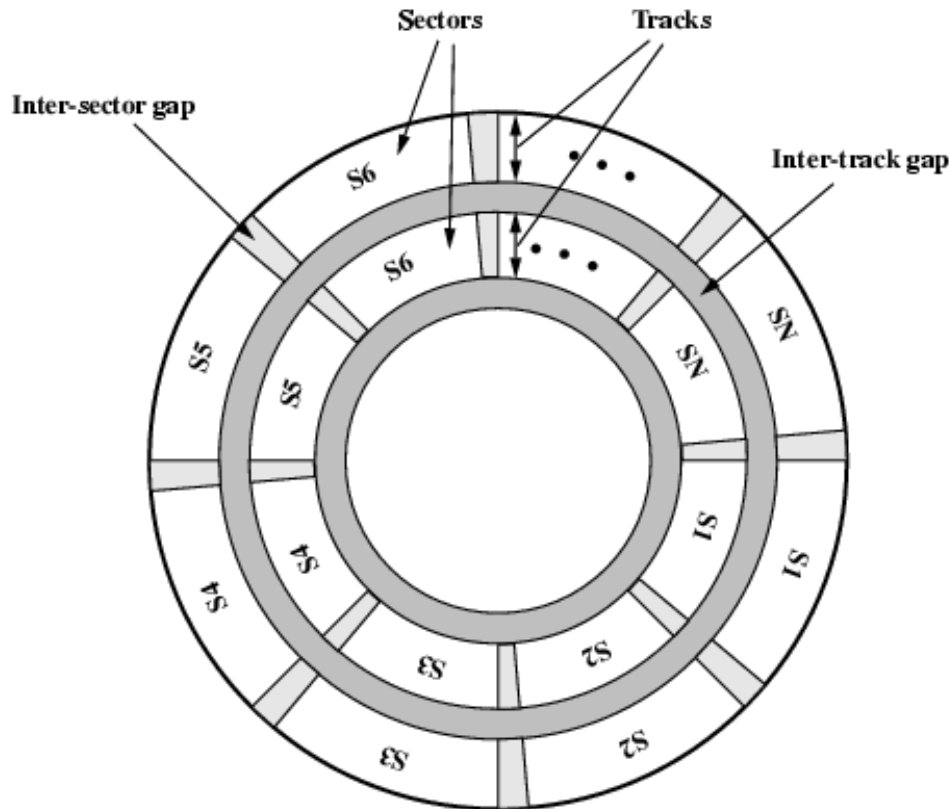


Cilindros



- **Cilindro:**
información accedida por
todas las cabezas en una
rotación

Almacenamiento: pistas y sectores



Pista:

- Un anillo del plato

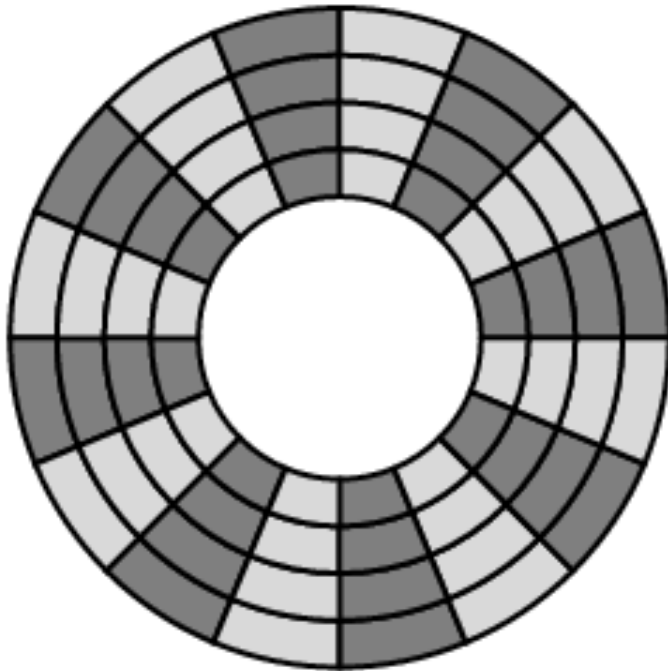
Sector:

- División de la superficie del disco realizada en el formateo (típicamente 512 bytes)

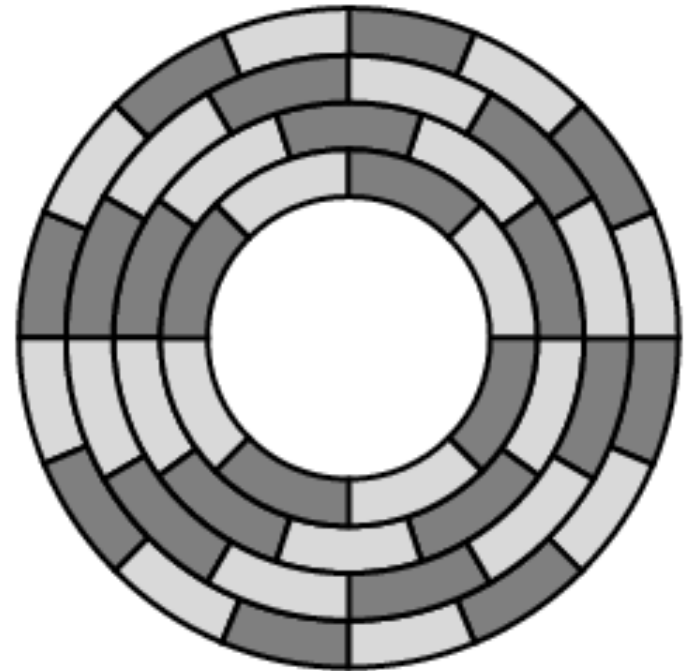
Bloques:

- El sistema de ficheros escribe en bloques
- Grupo de sectores

Distribución de sectores

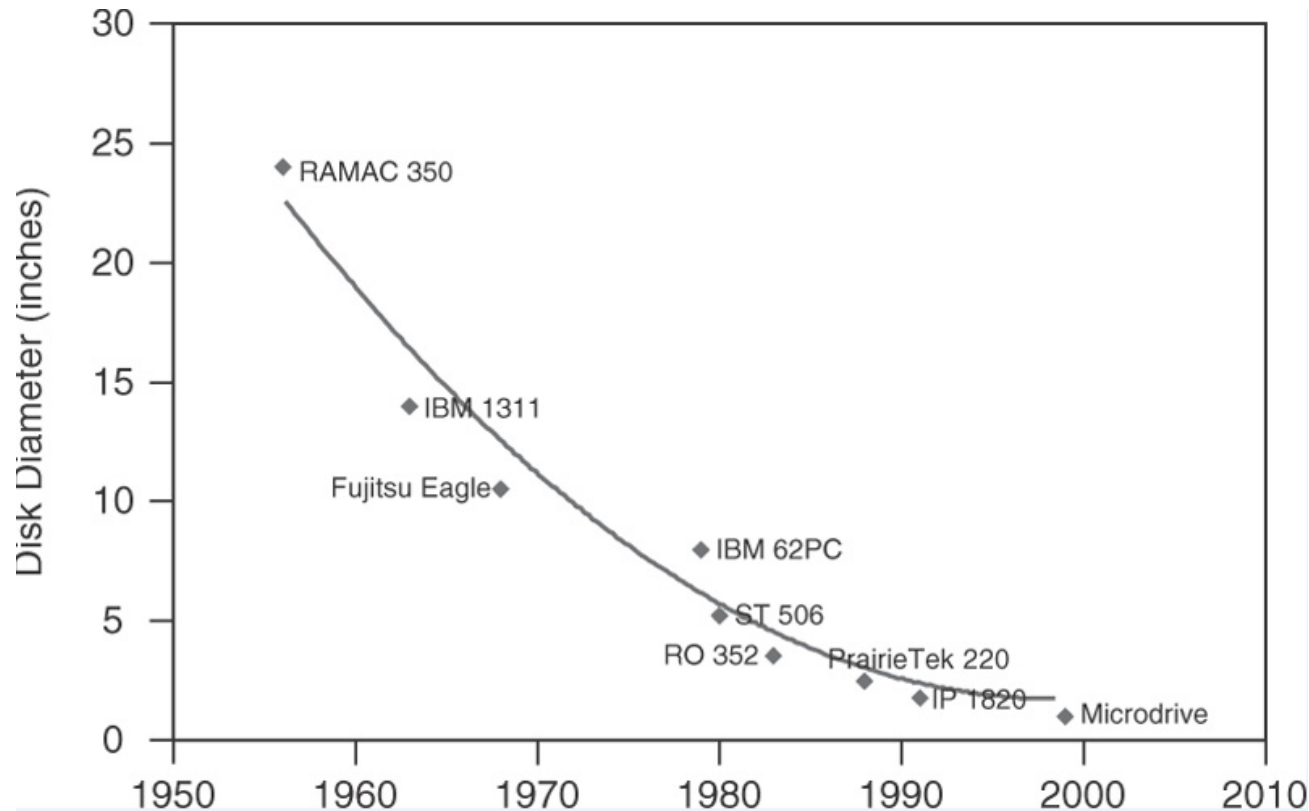


(a) Constant angular velocity



(b) Multiple zoned recording

Evolución del tamaño de los discos



Memory Systems
Cache, DRAM, Disk
Bruce Jacob, Spencer Ng, David Wang
Elsevier

Medida de la capacidad

- ▶ Bits por pulgada cuadrada
 - ▶ Dependen de la cabeza de lectura/escritura, del medio de grabación, de la rotación del disco y de la velocidad a la que el bus puede aceptar datos.
- ▶ Pistas por pulgada
 - ▶ Dependen de la cabeza de lectura/escritura, el medio de grabación, la precisión con la que la cabeza puede posicionarse y la capacidad del disco para girar en un círculo perfecto

Capacidad de almacenamiento

- ▶ Para discos con velocidad angular constante

- ▶ n_s : número de superficies
- ▶ p : número de pistas por superficie
- ▶ s : número de sectores por pista
- ▶ t_s : bytes por sector

$$Capacidad = n_s \times p \times s \times t_s$$

- ▶ Para discos con múltiples zonas

- ▶ z : número de zonas
- ▶ p_i : pistas de la zona i
- ▶ s_i : sectores por pista de la zona i

$$Capacidad = n_s \times t_s \times \sum_{i=1}^z (p_i \times s_i)$$

Ejercicio

- ▶ ¿Cuántos bytes almacena un disco duro de 250 GB ?

Recordatorio

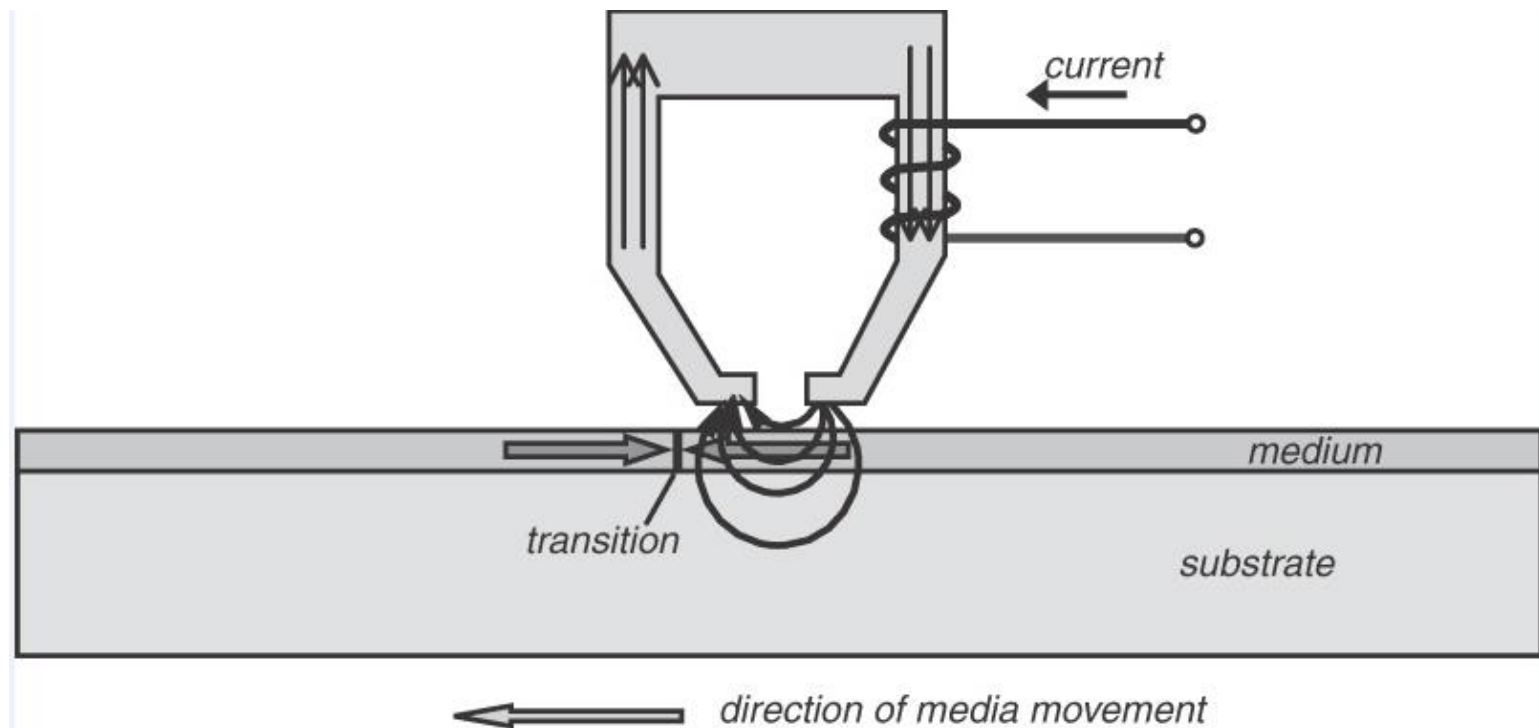
- ▶ 1 KB = 1024 bytes, pero en el SI es 1000 bytes
- ▶ Los fabricantes de disco duros y en telecomunicaciones emplea el SI.
 - ▶ Un disco duro de 30 GB almacena 30×10^9 bytes
 - ▶ Una red de 1 Mbit/s transfiere 10^6 bps.

Nombre	Abr	Factor	SI
Kilo	K	$2^{10} = 1,024$	$10^3 = 1,000$
Mega	M	$2^{20} = 1,048,576$	$10^6 = 1,000,000$
Giga	G	$2^{30} = 1,073,741,824$	$10^9 = 1,000,000,000$
Tera	T	$2^{40} = 1,099,511,627,776$	$10^{12} = 1,000,000,000,000$
Peta	P	$2^{50} = 1,125,899,906,842,624$	$10^{15} = 1,000,000,000,000,000$
Exa	E	$2^{60} = 1,152,921,504,606,846,976$	$10^{18} = 1,000,000,000,000,000,000$
Zetta	Z	$2^{70} = 1,180,591,620,717,411,303,424$	$10^{21} = 1,000,000,000,000,000,000,000$
Yotta	Y	$2^{80} = 1,208,925,819,614,629,174,706,176$	$10^{24} = 1,000,000,000,000,000,000,000,000$

Métodos de grabación

- ▶ En la última década se ha incrementando en un 100% la densidad de grabación
- ▶ Cada bit en una pista consta de múltiples granos magnéticos
- ▶ El tamaño de estos granos no puede reducirse por debajo de los 10 nanómetros debido a:
 - ▶ Efecto superparamagnético
 - ▶ La temperatura ambiente podría afectar a la estabilidad de los granos
- ▶ Técnicas de grabación:
 - ▶ Longitudinal: guardan datos de forma longitudinal sobre un plano horizontal
 - ▶ Perpendicular: los datos se alinean de forma vertical, lo que permite disponer de mayor espacio y guardar más información

Cabeza lectora/escritora



Memory Systems
Cache, DRAM, Disk
Bruce Jacob, Spencer Ng, David Wang
Elsevier

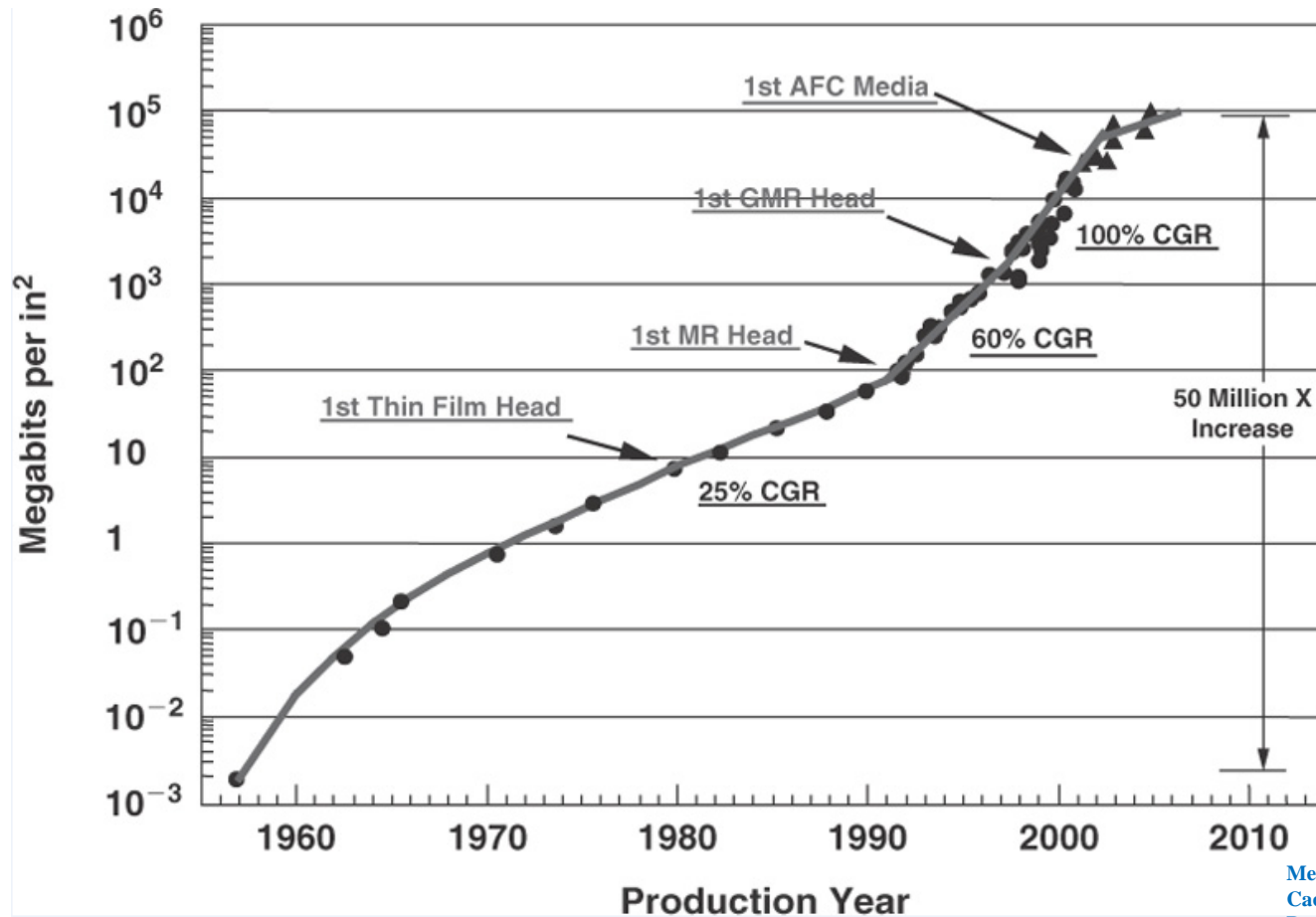
Densidad superficial

- ▶ Las mejoras en la capacidad de los disco se expresa como mejorar en la **densidad superficial**:

$$\text{Areal density (AD)} = \frac{\text{Tracks on a disk surface}}{\text{Inch}} \times \frac{\text{Bits on a track}}{\text{Inch}}$$

- ▶ Hasta 1988 la tasa de mejora anual en AD fue del 29%
- ▶ Entre 1988 y 1996 la tasa de mejora fue del 60% al año
- ▶ Entre 1997 y 2003 la tasa de incremento fue del 100% anual
- ▶ Entre 2003-2011 la tasa de incremento ha sido del 30% anual
- ▶ En 2011 la mayor densidad en productos comerciales fue de 400 billones de bits por pulgada cuadrada
- ▶ El coste por bit se ha mejorado en un factor de 1.000.000 entre 1983 y 2011

Evolución de la densidad

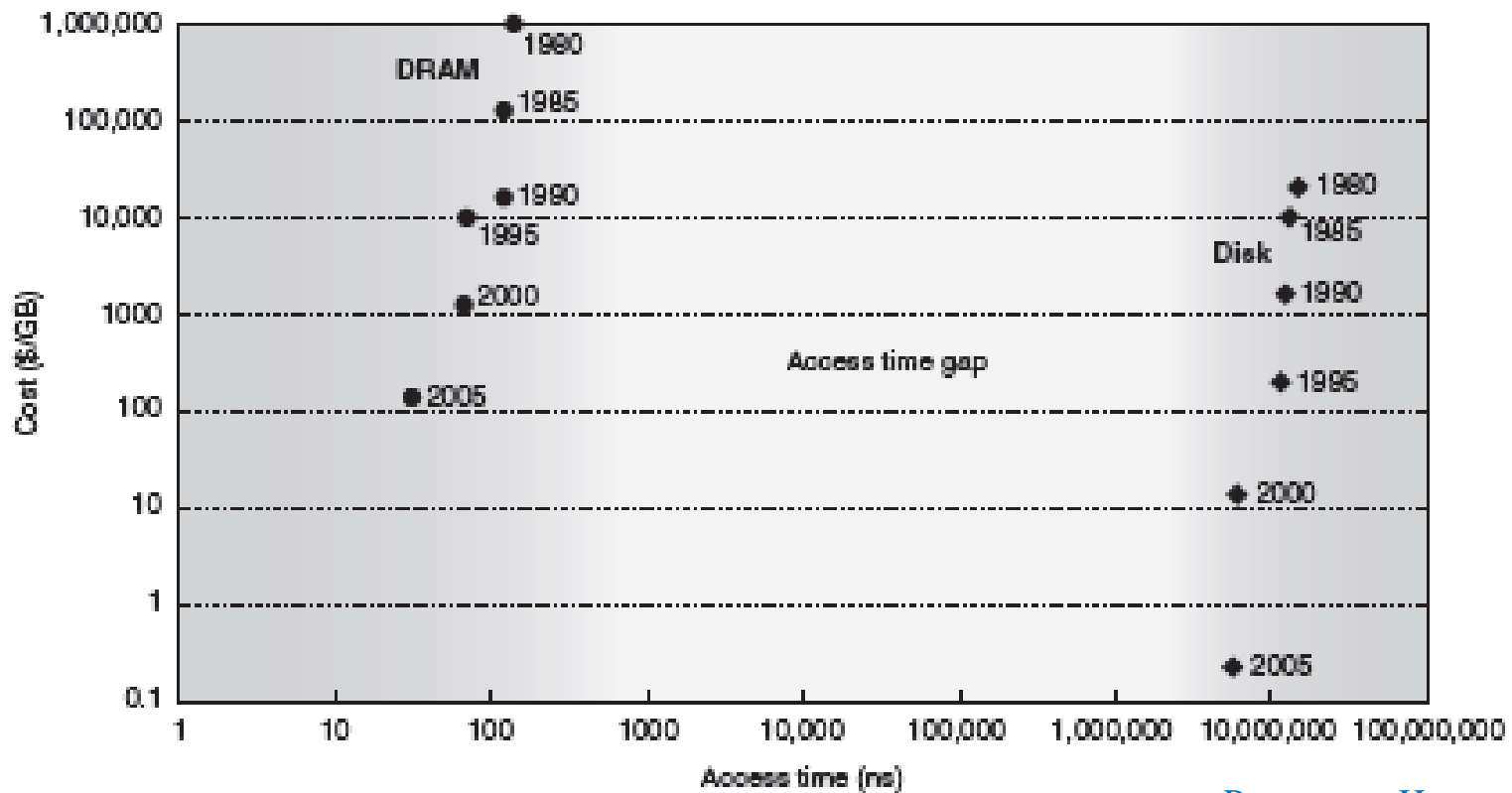


Memory Systems
Cache, DRAM, Disk
Bruce Jacob, Spencer Ng, David Wang
Elsevier

Discos y memoria principal

- ▶ La latencia de una memoria DRAM es 100.000 veces menor que la de un disco
- ▶ El coste por GB para una memoria DRAM está entre 30 y 150 veces el coste por GB de un disco duro
- ▶ En 2015:
 - ▶ Un disco de 8 TB transfiere 190 MB/s con un coste 250\$
 - ▶ Un módulo de 8 GB de DDR4 transfiere 25 GB/s y cuesta aprox. 70\$

Discos y memoria principal

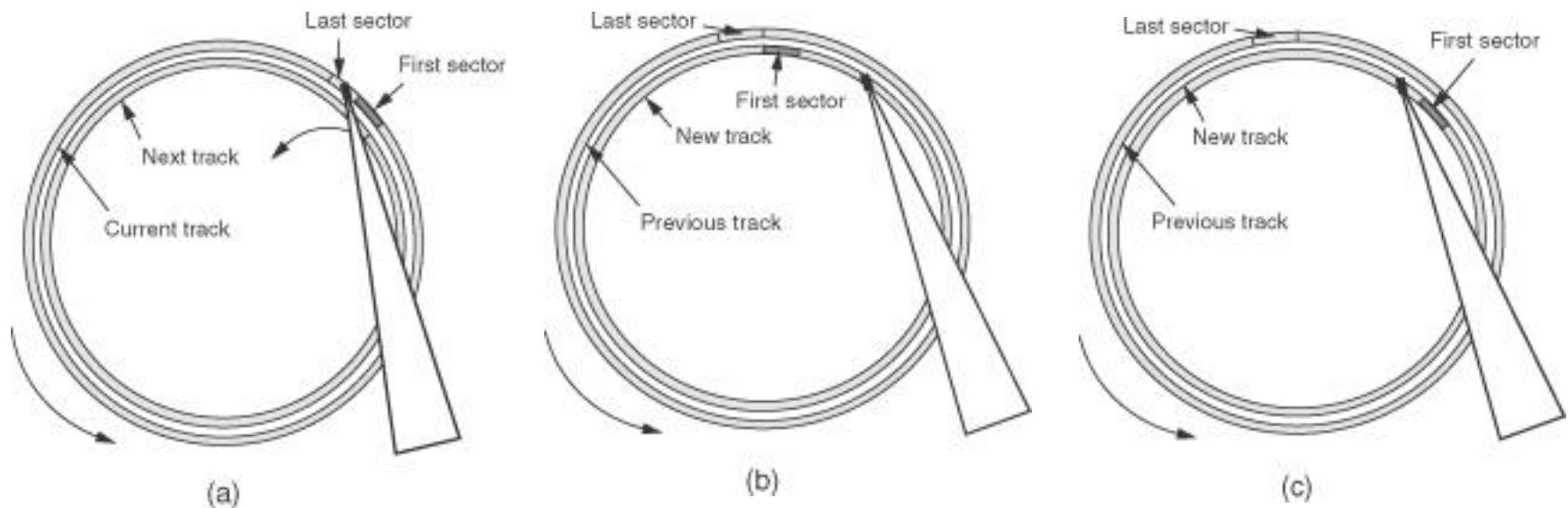


Patterson y Hennesy

Direccionamiento

- ▶ Tipos de direccionamiento:
 - ▶ Direccionamiento físico:
 - ▶ Cada sector se identifica por tres valores: cilindro-pista-sector.
 - ▶ Direccionamiento de bloques lógicos (LBN):
 - ▶ Cada sector se identifica con un bloque lógico y la correspondencia la hace el propio disco
- ▶ Los controladores de disco actuales realizan la traducción de LBN a dirección física

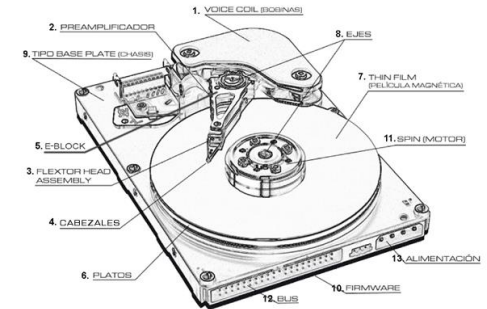
Posicionamiento y rotación



Memory Systems
Cache, DRAM, Disk
Bruce Jacob, Spencer Ng, David Wang
Elsevier

Tiempo de acceso

▶ $T_{\text{acceso}} = T_{\text{búsqueda}} + T_{\text{latencia}} + T_{\text{transferencia}}$



- ▶ **Tiempo de búsqueda** ($T_{\text{búsqueda}}$): tiempo necesario para mover la cabeza desde el cilindro actual al cilindro sobre el que se quiere operar
- ▶ **Latencia de rotación** (T_{latencia}): tiempo que pasa hasta que el sector deseado pasa por debajo de la cabeza de lectura/escritura
 - ▶ $T_{\text{latencia}} = \text{Tiempo medio para recorrer media pista}$
- ▶ **Tiempo de transferencia** ($T_{\text{transferencia}}$): tiempo necesario para recorrer un sector y transferir los datos de él

Tiempo de posicionamiento

- ▶ El aumento en la densidad de grabación da lugar a cilindros con mayor capacidad
 - ▶ Incrementa la probabilidad de reducir el número de posicionamientos de la cabeza
 - ▶ Aumenta la probabilidad de que los siguientes datos a solicitar estén en el mismo cilindro lo que reduce los posicionamientos

Latencia rotacional

- ▶ La latencia media es el tiempo en dar media vuelta

$$T_{rotate} = \frac{1}{2} \times \frac{60 \times 10^3}{RPM}$$

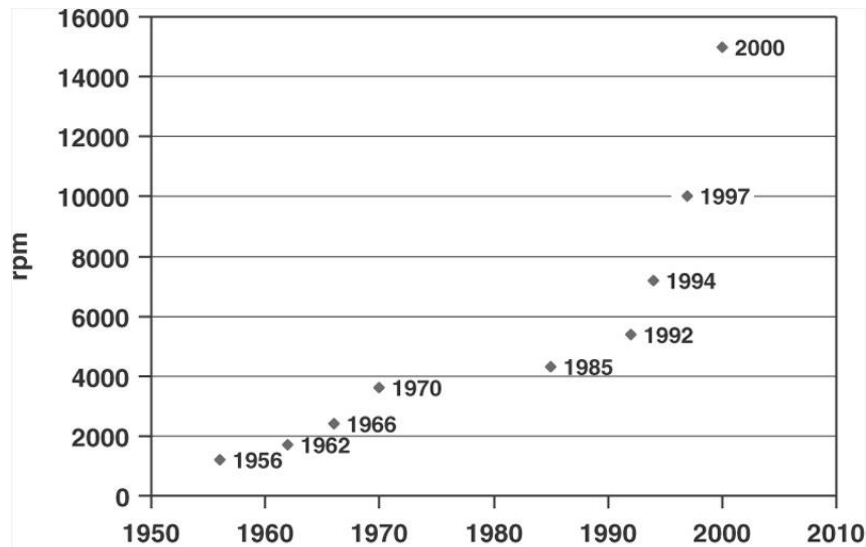
- Disco con latencia de acceso cero (*Zero-latency access*)
 - ▶ Transfieren los datos tan pronto como la cabeza se encuentra en la pista deseada a un buffer donde los bloques son después reordenados

Velocidad y latencia

Rotational Speed	Rotational Latency (en ms)
5400	5.6
7200	4.2
10000	3.0
12000	2.5
15000	2.0

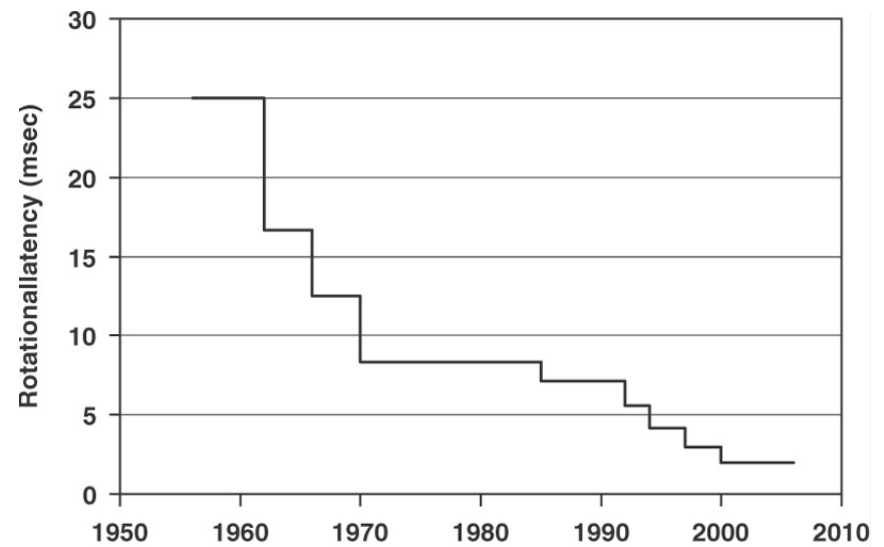
Evolución de las RPM y latencia rotacional

RPM



Memory Systems
Cache, DRAM, Disk
Bruce Jacob, Spencer Ng, David Wang
Elsevier

latencia rotacional



Memory Systems
Cache, DRAM, Disk
Bruce Jacob, Spencer Ng, David Wang
Elsevier

Tiempo de transferencia

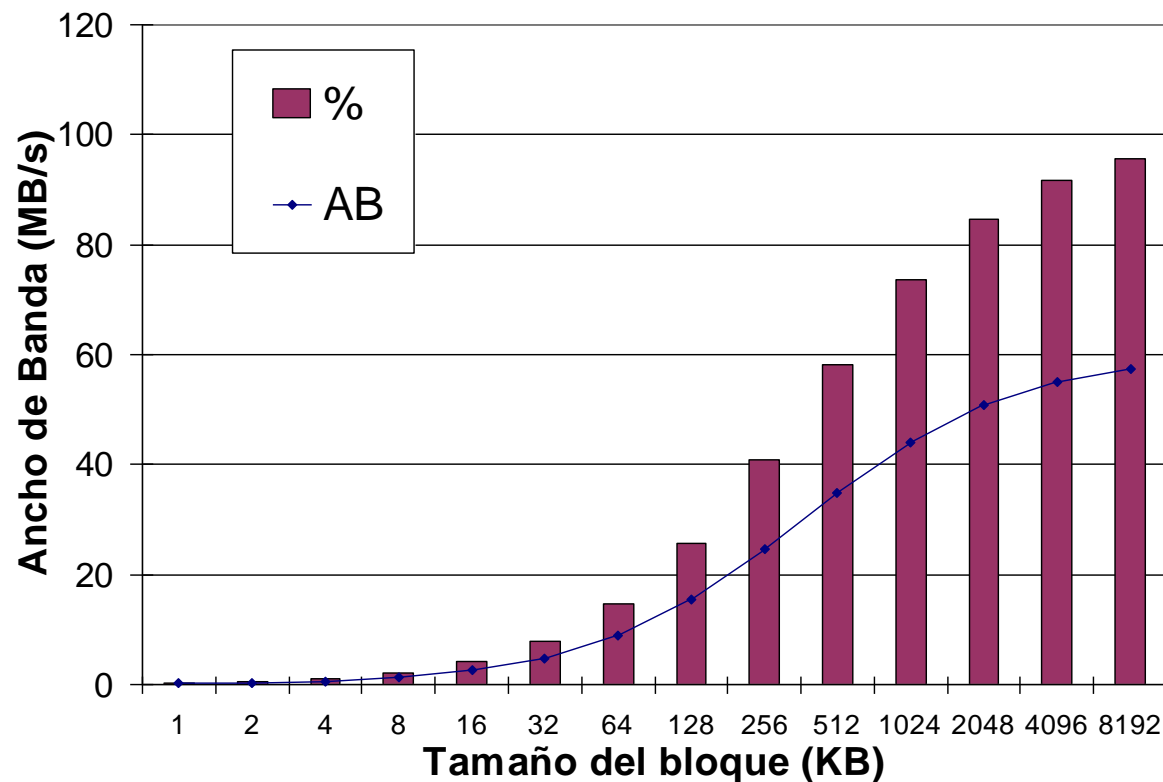
- ▶ Consta de dos partes:
 - ▶ Tasa de transferencia externa entre la memoria y la caché del disco
 - ▶ Tasa de transferencia interna entre la caché de disco y el medio de almacenamiento
- ▶ La tasa de transferencia interna se mide como:

$$T_{transfer} = \frac{N_{request}}{N_{track}} \times \frac{60}{RPM}$$

- ▶ Donde N_{track} es el número de sectores en una pista y $N_{request}$ la cantidad de datos solicitados en número de sectores.
- ▶ En los discos con pistas externas más densas la relación de sectores de las pistas más externas a las más internas suele estar entre 1.43 y 1.58.

Efecto del tamaño de la petición

- Efecto del tamaño de bloque ($t_a = 6$ ms y $AB = 60$ MB/s)



Controlador de disco

- ▶ Circuitos y componentes responsables de controlar el disco:
 - ▶ Interfaz de almacenamiento
 - ▶ Secuenciador de disco
 - ▶ Códigos correctores de errores (ECC)
 - ▶ Control del motor
 - ▶ Microprocesador
 - ▶ Controlador del buffer
 - ▶ Caché de disco

Caché de disco

- ▶ Explota la localidad
- ▶ Reduce los accesos físicos al disco
 - ▶ Reduce la disipación de calor
 - ▶ Mejora el rendimiento
- ▶ No suele exhibir localidad temporal debido a las cachés de datos de los SSOO
- ▶ Normalmente implementa lectura adelantada (*prefetch*) para mejorar la localidad espacial
- ▶ Las cachés de disco normalmente se dividen en segmentos independientes correspondientes a flujos secuenciales de datos

Caché de disco

- ▶ Algoritmos de reemplazo
 - ▶ *Random Replacement*
 - ▶ *Least Frequently Used* (LFU)
 - ▶ *Least Recently Used* (LRU)
- ▶ Su tamaño debería estar entre el 0.1 y el 0.3 % del tamaño del disco

Planificador de disco

- ▶ Los dispositivos actuales incluyen un planificador de las peticiones a disco cuyo objetivo es mejorar el tiempo de respuesta y minimizar el movimiento de las cabezas
- ▶ Políticas:
 - ▶ *First Come First Served* (FCFS)
 - ▶ *Shortest Seek Time First* (SSTF)
 - ▶ SCAN
 - ▶ C-SCAN
 - ▶ LOOK

Otros elementos del controlador

- ▶ **Secuenciador de disco**: gestiona las transferencias de datos entre la interfaz de almacenamiento y el buffer de datos
- ▶ **ECC**: comprueba y corrige errores mediante códigos de corrección
- ▶ **Control del motor**: detecta la posición actual de la cabeza y controla el avance a la pista futura
- ▶ **Microprocesador**: controla el funcionamiento global del disco
- ▶ **Controlador del buffer**: controla las señales para el buffer de memoria

Ejercicio

- ▶ Un disco duro tiene una velocidad de rotación de 7200 rpm y una densidad constante de 604 sectores por pista. El tiempo medio de búsqueda es de 4 ms.
- ▶ Calcular el tiempo de acceso a un sector

Ejercicio (solución)

- ▶ Capacidad:
 - ▶ $5 \text{ platos} * 2 \text{ caras/plato} * 30.000 \text{ pistas/cara} * 600 \text{ sectores/pista} * 512 \text{ bytes/sector} = 85,8 \text{ GB}$
- ▶ Latencia de rotación:
 - ▶ $L_r = \text{Tiempo de media vuelta a una pista}$
 - ▶ $7.200 \text{ vueltas/minuto} \rightarrow 120 \text{ vuelta/segundo}$
 $\rightarrow 0,0083 \text{ segundos/vuelta} \rightarrow 4,2 \text{ milisegundos (media vuelta)}$
- ▶ Tiempo de transferencia de un sector:
 - ▶ Hay 600 sectores por pista y la pista se lee en 8,3 milisegundos
 - ▶ $8,3 / 600 \rightarrow 0,014 \text{ milisegundos}$
- ▶ Tiempo de búsqueda:
 - ▶ Cada 100 pistas 1 ms, y hay que ir a la pista 600
 - ▶ $600 / 100 = 6 \text{ milisegundos}$

Ejercicio

- ▶ Sea un disco duro con tiempo medio de búsqueda de 4 ms, una velocidad de rotación de 15000 rpm y sectores de 512 bytes con 500 sectores por pista. Se quiere leer un fichero que consta de 2500 sectores con un total de 1,22 MB. Estimar el tiempo necesario para leer este fichero en dos escenarios:
 - ▶ El fichero está almacenado de forma secuencial, es decir, el fichero ocupa los sectores de 5 pistas adyacentes
 - ▶ Los sectores del fichero están distribuidos de forma aleatoria por el disco

Ejercicio

- ▶ Sea un disco con un solo plato con las siguientes características:
 - ▶ Velocidad de rotación: 7200 rpm
 - ▶ Platos: 5, con 2 superficies por plato
 - ▶ Número de pistas de una cara del plato: 30000
 - ▶ Sectores por pista: 600 (de 512 bytes)
 - ▶ Tiempo de búsqueda: 1 ms por cada 100 pistas atravesadas
- ▶ Suponiendo que la cabeza está en la pista 0 y se solicita un sector de la pista 600, calcular:
 - ▶ Capacidad del disco duro
 - ▶ La latencia de rotación
 - ▶ Tiempo de transferencia de un sector
 - ▶ Tiempo de búsqueda del sector pedido

Fiabilidad

- ▶ Sea T_{MF} el tiempo medio hasta el fallo
- ▶ Sea T_{MR} el tiempo medio de reparación
- ▶ Se define la disponibilidad de un sistema como:

$$disponibilidad = \frac{T_{MF}}{T_{MF} + T_{MR}}$$

- ▶ ¿Qué significa una disponibilidad del 99%?
 - ▶ En 365 días funciona correctamente $99 \cdot 365 / 100 = 361.3$ días
 - ▶ Está sin servicio 3.65 días
- ▶ Los fallos en los discos duros contribuyen al 20-55% de los fallos en el sistema de almacenamiento

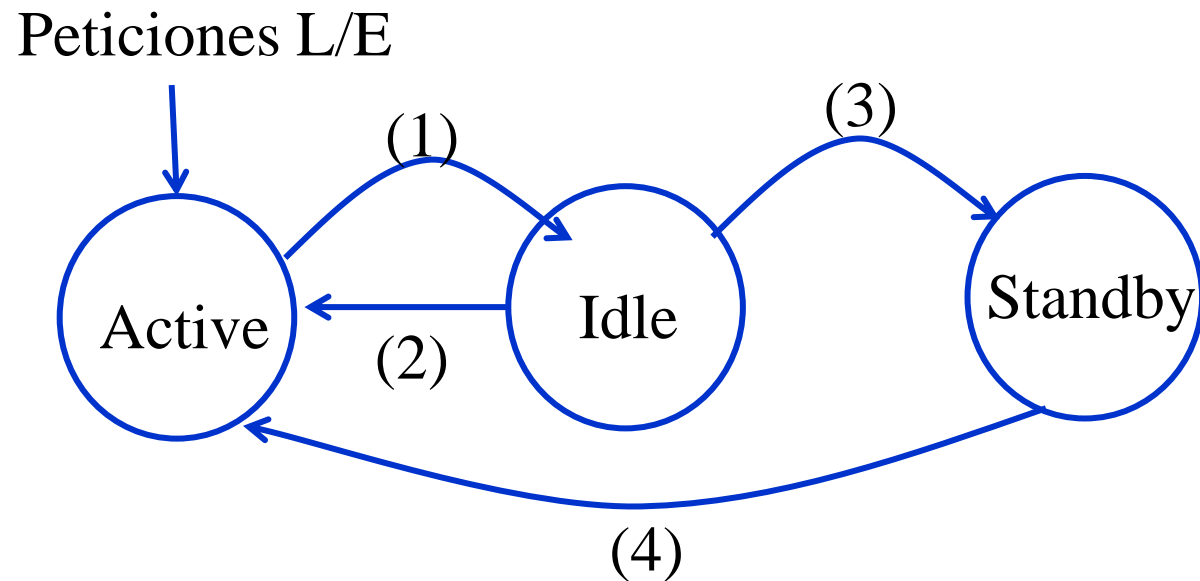
Consumo de energía

- ▶ Un típico disco ATA del 2011 consume:
 - ▶ 9 w cuando está inactivo
 - ▶ 11 w cuando está leyendo o escribiendo
 - ▶ 13 w en una operación de posicionamiento
- ▶ Estimación del consumo en un disco

$$Power = N_{platter} \times D_{platter}^{4.6} \times RPM^{2.8}$$

- ▶ Donde $N_{platter}$ es el número de discos y $D_{platter}$ el diámetro de los platos
- ▶ La temperatura es el factor que más afecta a la fiabilidad de los discos
 - ▶ Cada 10° de incremento por encima de los 21° reduce la fiabilidad de la electrónica en un 50%

Diagrama de transición de estados de consumo de energía



- ▶ (1): No hay peticiones pendientes pero los platos siguen girando, las cabezas se aparcan
- ▶ (2): El disco recibe una petición en el estado *idle*
- ▶ (3): Para reducir la energía el disco se para y las cabezas se sitúan fuera del disco
- ▶ (4): Nuevas peticiones, el disco tiene que activarse

Estrategias de ahorro de energía

- ▶ Basada en *timeouts*. Cuando el disco está en estado *idle* durante un cierto tiempo pasa a *standby*
- ▶ Predicción dinámica. Basada en el funcionamiento de las aplicaciones
- ▶ Mecanismos estocásticos.
- ▶ Gestión de la energía guiado por la aplicación
 - ▶ La aplicación informa sobre el patrón de acceso (en el código o generados por el compilador)

Problemas del apagado de los discos

- ▶ Se incrementa el consumo cuando los platos tienen que volver a girar
- ▶ Reduce la fiabilidad de los discos. Los fabricantes suelen indicar el número de ciclos de start/stop que puede soportar un disco. Por encima de este valor la probabilidad de fallos se incrementa en un 50%
- ▶ Los métodos de ahorro de energía se suelen aplicar a dispositivos portátiles y no se aplican a servidores por las cargas de datos intensivas.

Contenidos

1. Introducción

2. Buses

- ▶ Estructura y funcionamiento
- ▶ Jerarquía de buses

3. Periféricos

- ▶ Concepto y tipos de periféricos
- ▶ Estructura general de un periférico
- ▶ Módulos de E/S

4. Caso de estudio: disco duro y discos de estado sólido

5. Interacción E/S: técnicas de E/S

Discos de estado sólido

SSD (*Solid State Drive*)

- ▶ Dispositivo de almacenamiento de bloques basado en semiconductores que actúa como una unidad de disco
 - ▶ Basados en memorias Flash
 - ▶ Almacenamiento no volátil
 - ▶ Basados en memorias DDR
 - ▶ Requiere baterías y backup en disco para conseguir almacenamiento no volátil

HDD

con partes móviles



SDD

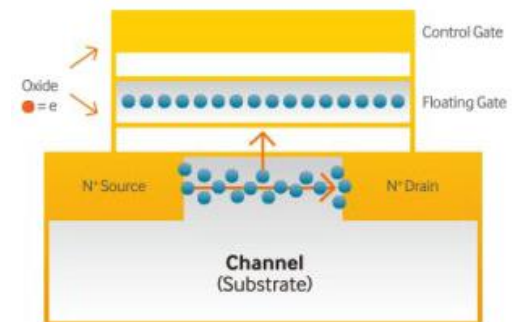
sin partes móviles

Memorias Flash

- ▶ Memorias no volátiles que se pueden borrar y grabar eléctricamente
- ▶ Tipos:
 - ▶ Flash NOR
 - ▶ Basadas en puertas NOR
 - ▶ Permite acceder a datos de 1 byte
 - ▶ Buenas para accesos aleatorios de alta velocidad
 - ▶ Usada en memorias BIOS (función de arranque)
 - ▶ Operaciones de lectura más rápidas
 - ▶ Flash NAND
 - ▶ Basadas en puertas NAND
 - ▶ Lee y escribe a alta velocidad en modo secuencial en tamaños de bloques
 - ▶ No puede acceder a bytes individuales
 - ▶ Mayor densidad y más baratas. Usada en SSD
 - ▶ Más duraderas, menos caras, más densas, operaciones de escritura/borrado más rápidas

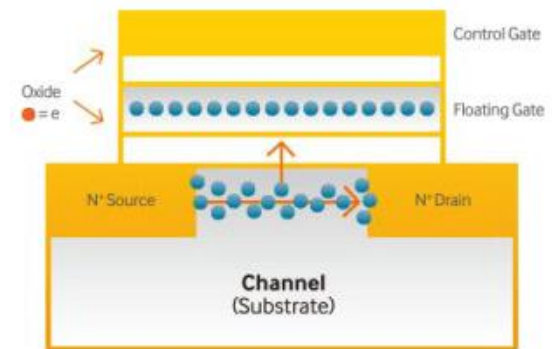
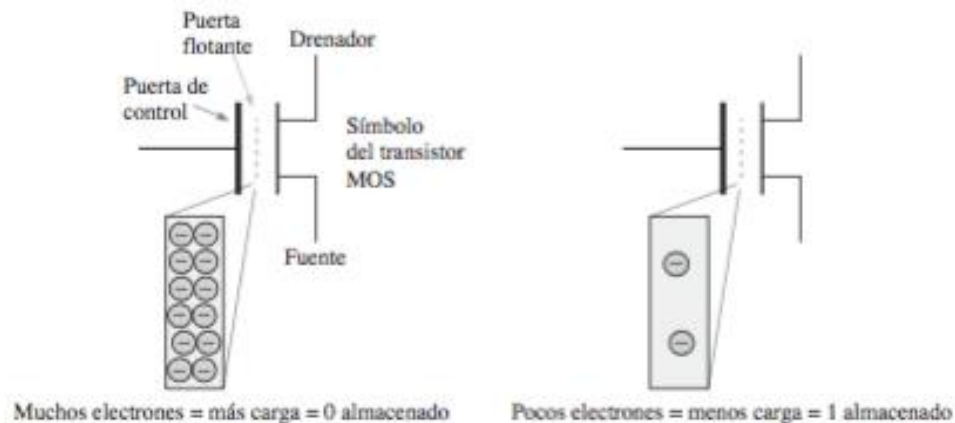
Celdas de memoria

- ▶ Cada celda de almacenamiento está compuesta por un transistor MOS de puerta flotante
- ▶ Hay dos puertas aisladas por una capa de óxido
 - ▶ Puerta de control
 - ▶ Puerta flotante
- ▶ Los electrones fluyen libremente entre ambas puertas
- ▶ La puerta flotante está eléctricamente aislada atrapando los electrones



Celdas de memoria

- El bit de datos se almacena como una carga o ausencia de carga en la puerta flotante, dependiendo de si se desea almacenar un 0 o un 1

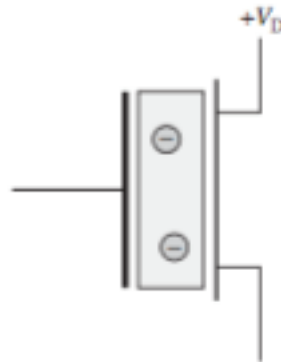
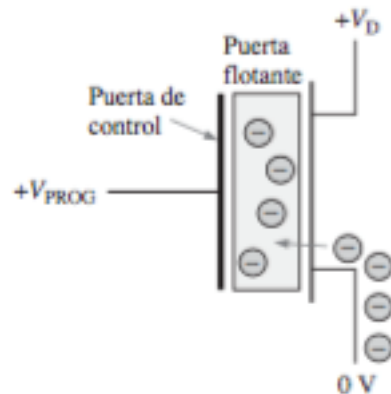


Fundamentos de Sistemas Digitales
Thomas L. Floyd

Operaciones básicas de una celda de memoria Flash

- ▶ Programación
 - ▶ Inicialmente todas las celdas están en el estado 1, porque la carga está eliminada
- ▶ Operación de lectura
- ▶ Operación de borrado

Programación de una celda de memoria Flash

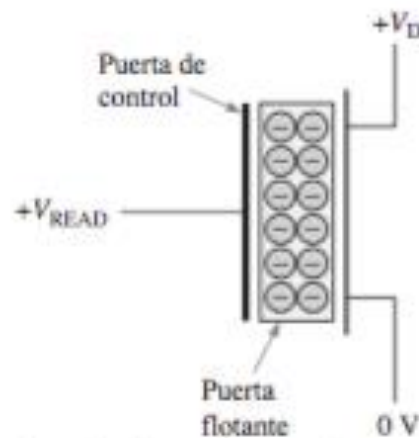


Fundamentos de Sistemas Digitales
Thomas L. Floyd

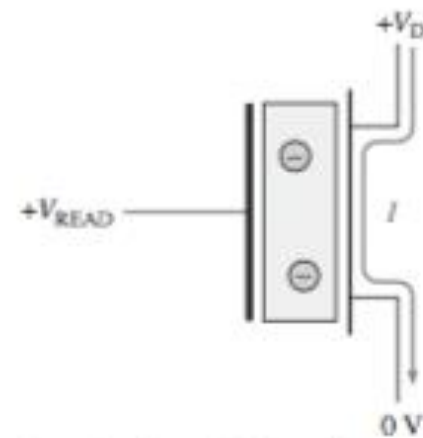
- ▶ Para almacenar un 0, se aplica a la puerta de control una tensión suficientemente positiva con respecto a la fuente, para añadir carga a la puerta flotante durante la programación (atrae los electrones)
- ▶ En el proceso de escritura se añaden electrones a aquellas puertas que deban almacenar un 0 y no se añade a las que deben almacenar un 1.
- ▶ Solo se escriben “0”
- ▶ Para almacenar un 1, no se añade ninguna carga, dejándose la celda en el estado de borrado

Lectura de una celda de memoria Flash

- Se aplica una tensión positiva a la puerta de control



Cuando se lee un 0, el transistor permanece desactivado, porque la carga de la puerta flotante impide a la tensión de lectura exceder el umbral de activación.

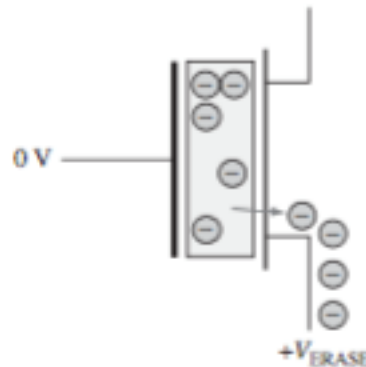


Cuando se lee un 1, el transistor se activa, porque la ausencia de carga en la puerta flotante permite que la tensión de lectura exceda el umbral de activación.

Fundamentos de Sistemas Digitales
Thomas L. Floyd

Borrado

- ▶ Durante el borrado se elimina la carga de todas las celdas de memoria. Se aplica un voltaje en sentido contrario para eliminar los electrones



Para borrar una célula, se aplica a la fuente una tensión suficientemente positiva con respecto a la puerta de control, con el fin de extraer la carga de la puerta flotante durante la operación de borrado.

Fundamentos de Sistemas Digitales
Thomas L. Floyd

Tipos de memorias Flash NAND

- ▶ Flash de celdas de un nivel (SLC)
 - ▶ Almacenan 1 bit por celda
 - ▶ 50000 - 100000 escrituras por celda
 - ▶ Usado fundamentalmente en aplicaciones militares e industriales
- ▶ Flash de celdas de múltiples niveles (MLC)
 - ▶ Almacenan varios bits por celda, en función del número de electrones almacenados en la celda
 - ▶ Ofrecen más capacidad pero menos duración (se desgastan más)
 - ▶ < 10000 escrituras por celda
 - ▶ Usado en electrónica de consumo
 - ▶ Menor coste
 - ▶ Mitad de prestaciones que las SLC

Nivelación del desgaste

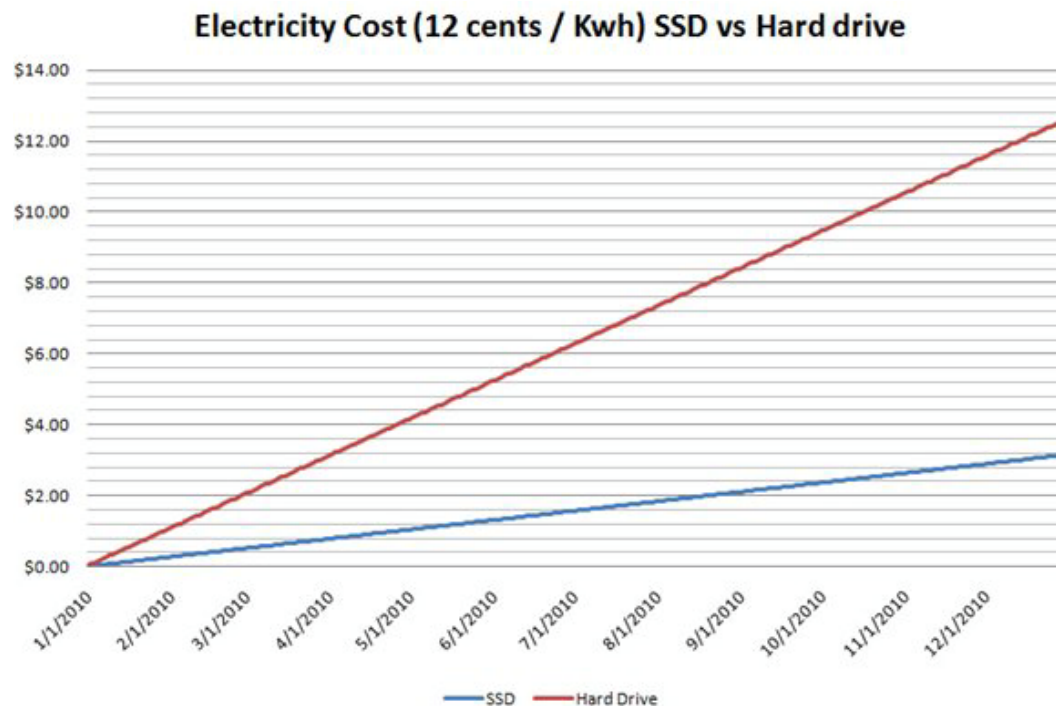
- ▶ Una memoria flash NAND solo puede escribir un determinado número de veces en cada bloque (o celda)
- ▶ Cuando se supera el límite, la celda se desgasta (su capa de óxido) y ya no almacena correctamente los electrones
- ▶ Nivelación del desgaste: proceso que usa el controlador de una unidad SSD para maximizar la duración de la memoria Flash
- ▶ Esta técnica nivela el desgaste en todos los bloques distribuyendo la escritura de datos por todos los bloques
 - ▶ Cuando se va a modificar un bloque se escribe en uno nuevo

Estructura de una Flash NAND

- ▶ Las flash NAND se dividen en bloques de 128 KB que se subdividen en páginas de 2KB
- ▶ El borrado se hace de un bloque completo
- ▶ La programación y lectura de una página

Comparativa SSD vs HDD

	SDD	HDD
Tiempo de acceso	0.1 ms	5-8 ms
Operaciones de E/S por segundo	6000 io/s	400 io/s
Consumo	2-5 vatios	6-15 vatios



Contenidos

1. Introducción

2. Buses

- ▶ Estructura y funcionamiento
- ▶ Jerarquía de buses

3. Periféricos

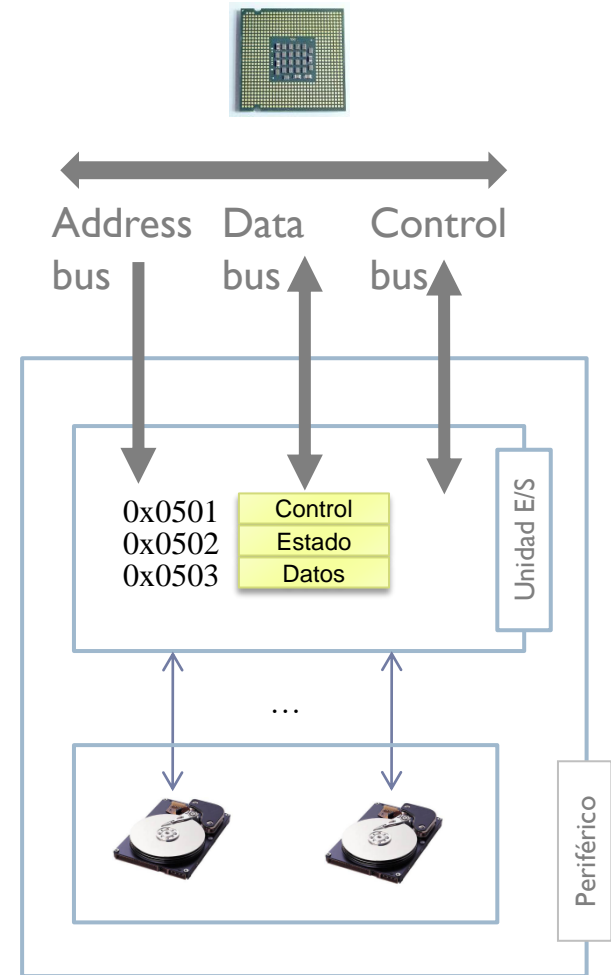
- ▶ Concepto y tipos de periféricos
- ▶ Estructura general de un periférico
- ▶ Módulos de E/S

4. Caso de estudio: disco duro y discos de estado sólido

5. Interacción E/S: técnicas de E/S

Módulo de E/S: características

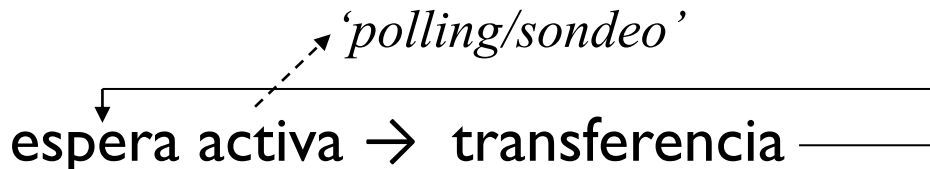
- ▶ **Unidad de transferencia**
 - ▶ Bloque
 - ▶ Caracter
- ▶ **Direccionamiento**
 - ▶ Mapeado a memoria
 - ▶ Mapeado a puerto
- ▶ **Técnicas de Entrada/Salida**
 - ▶ E/S programada
 - ▶ Por interrupciones
 - ▶ Por DMA



Características (3/3)

Técnicas de E/S: Interacción CPU-Controlador

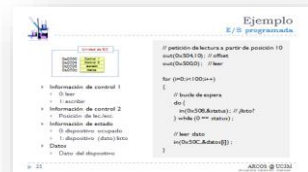
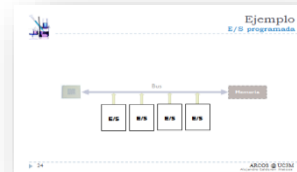
- ▶ Unidad transferencia
 - ▶ Bloque
 - ▶ Caracter
- ▶ Direccionamiento
 - ▶ Mapeado memoria
 - ▶ Mapeado a puerto
- ▶ Técnicas de E/S
 - ▶ Programada
 - ▶ Interrupciones
 - ▶ DMA

- ▶ **E/S programada**
 - ▶ CPU hace la E/S: espera activa → transferencia
- ▶ **E/S por interrupciones**
 - ▶ CPU no espera, solo transfiere datos
- ▶ **E/S por DMA (acceso directo a memoria)**
 - ▶ CPU ni espera ni transfiere, se notifica al final

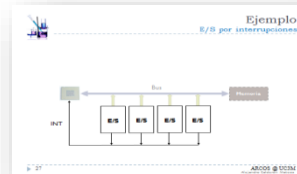
Características (3/3)

Técnicas de E/S: Interacción CPU-Controlador

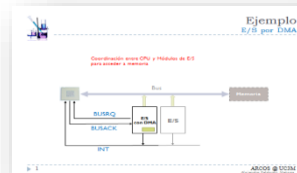
▶ E/S programada



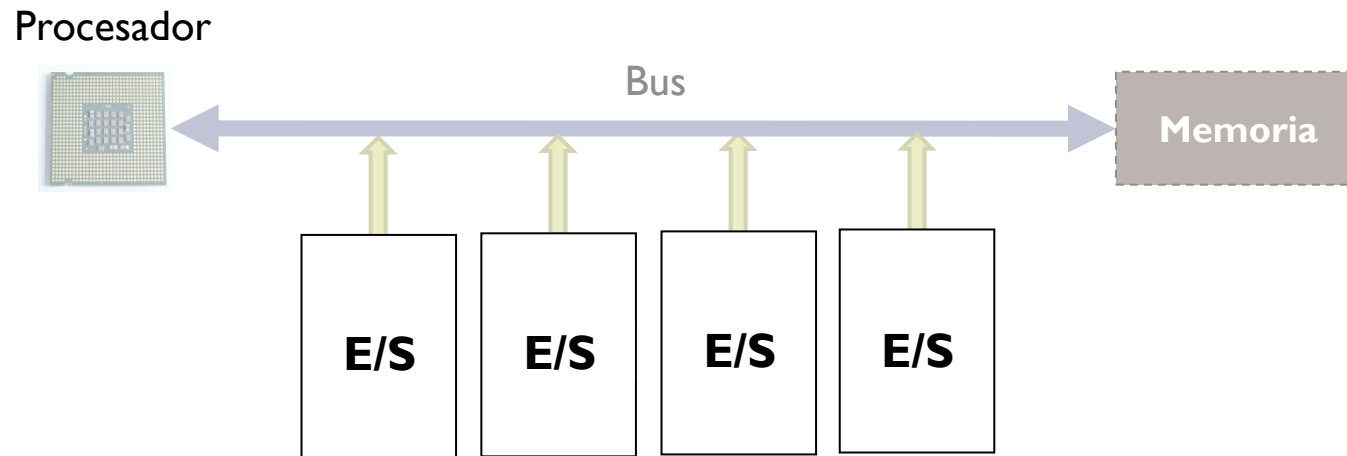
▶ E/S por interrupciones



▶ E/S por DMA



E/S programada

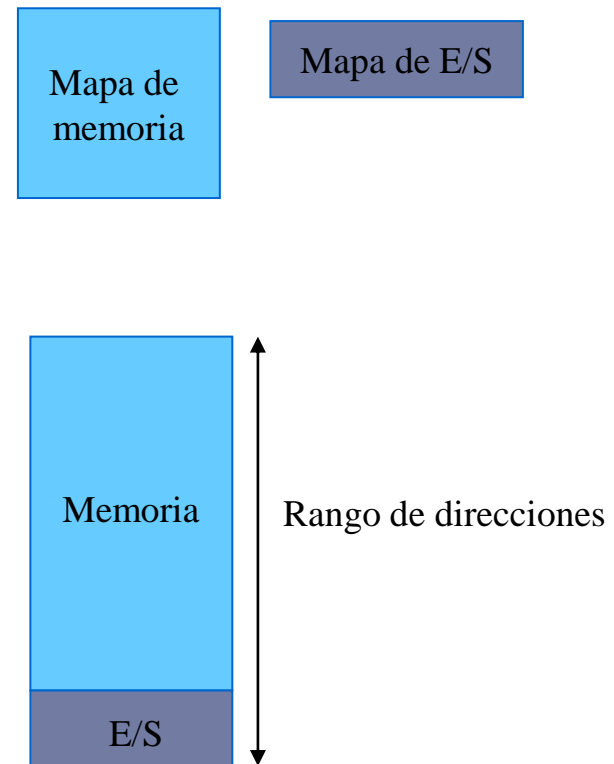


E/S programada

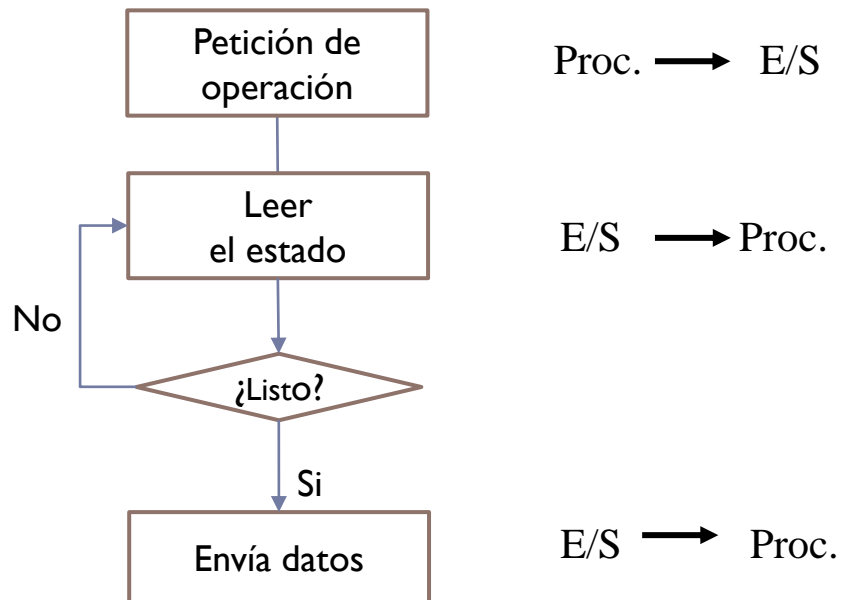
- ▶ Toda la transferencia entre el procesador (o memoria) y la unidad de E/S se realiza bajo el control del procesador mediante la ejecución de **instrucciones máquina de E/S**
- ▶ Instrucciones de E/S:
 - ▶ Instrucciones máquina especiales (similares a LW y SW)
 - ▶ Son instrucciones privilegiadas
- ▶ Ejemplo de hipotética instrucción de E/S
 - ▶ **IN Reg, dirección**
 - ▶ Carga en el registro del procesador Reg el dato que se encuentra en el registro del módulo de E/S cuya dirección es dirección
 - ▶ **OUT Reg, dirección**
 - ▶ Realiza la escritura en el módulo de E/S

Mapa de E/S

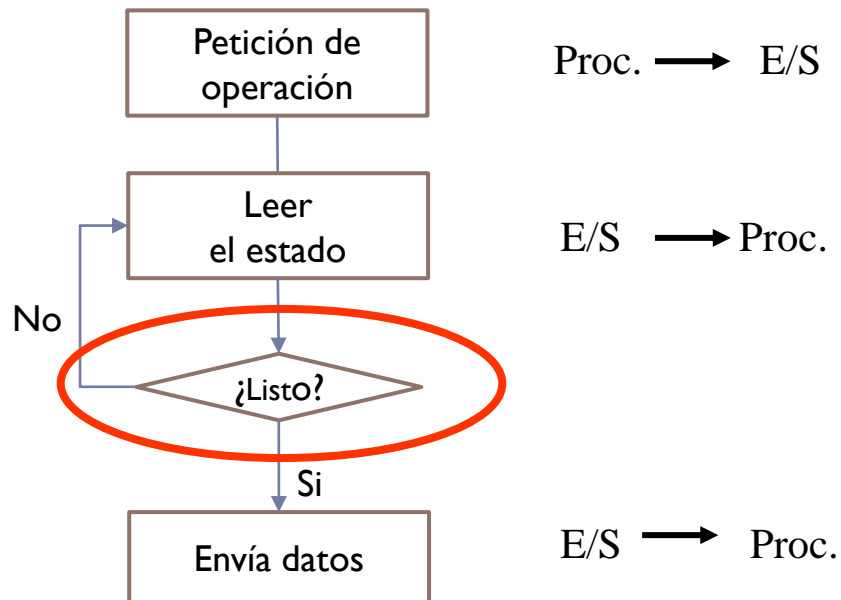
- ▶ Conjunto de todas las direcciones de E/S
 - ▶ Con p bits, 2^p direcciones posibles
- ▶ Tipos:
 - ▶ **Mapa de E/S separado**
 - ▶ Incluye instrucciones especiales de E/S (IN, OUT)
 - ▶ Ejemplo: procesadores Intel
 - ▶ **Mapa común**
 - ▶ El acceso a los módulos de E/S se realiza con las mismas instrucciones que se utilizan para acceder a memoria (LOAD, STORE)
 - ▶ Ejemplo: RISC-V



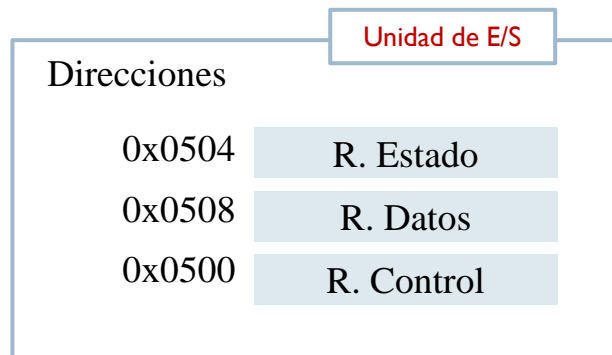
Interacción mediante E/S programada



Interacción mediante E/S programada

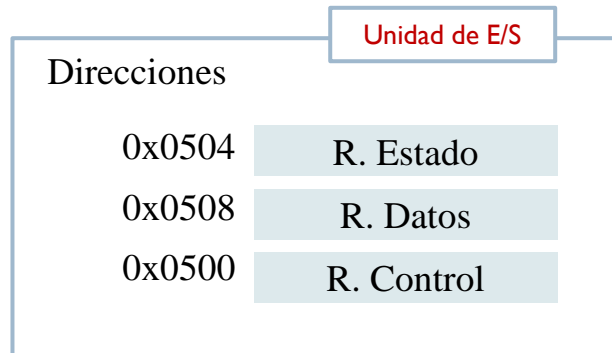


Ejemplo



- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw del RISC-V

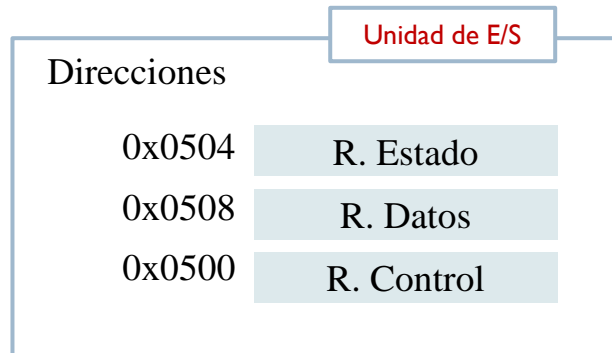
Ejemplo



- ▶ ¿Instrucciones para escribir un I en el registro 0x0508 (de datos)?

- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw del RISC-V

Ejemplo

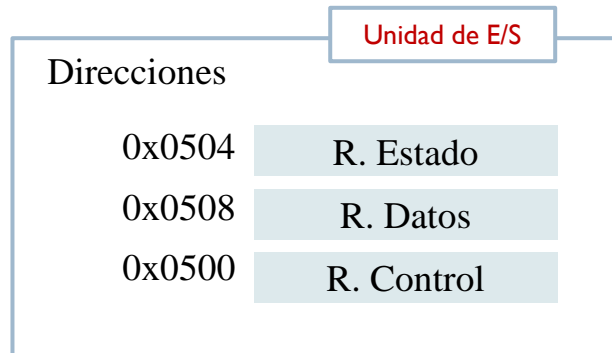


- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw del RISC-V

- ▶ ¿Instrucciones para escribir un 1 en el registro 0x0508 (de datos)?

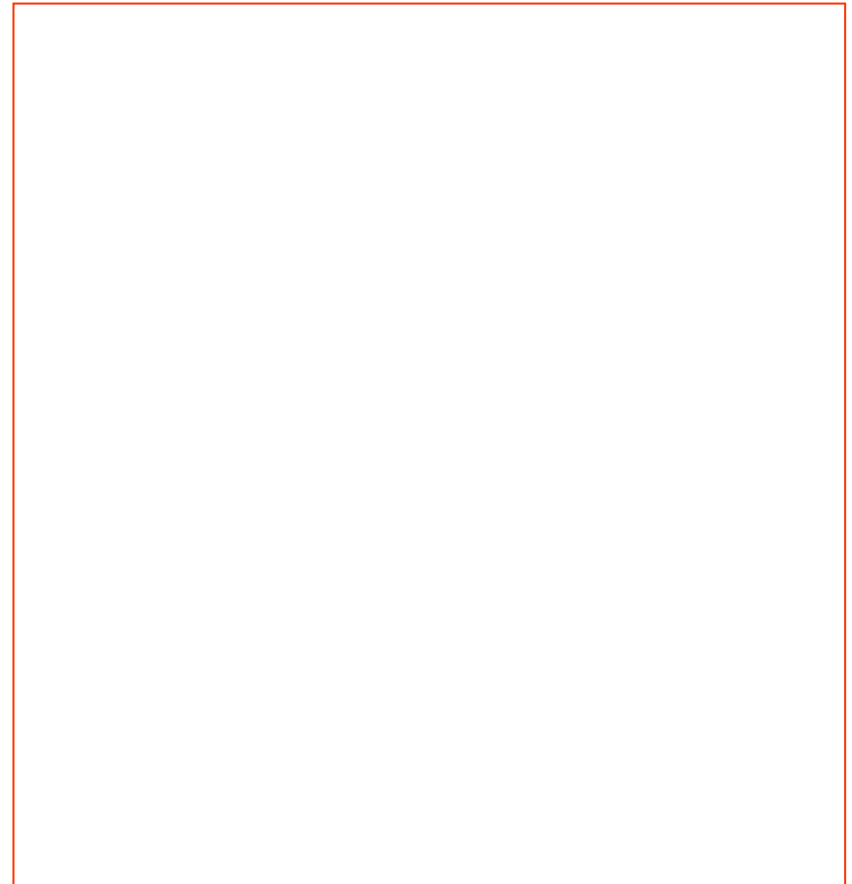
```
li t0, 1
la t1, 0x0508
sw t0, 0(t1)
```

Ejemplo

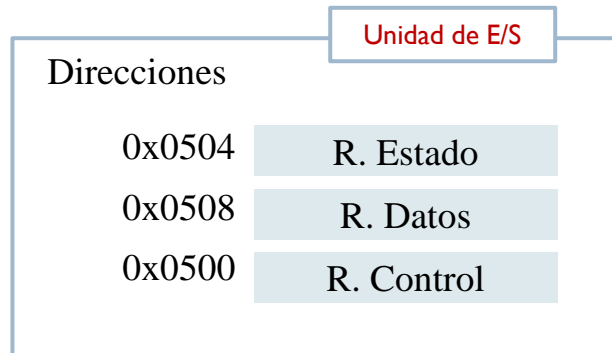


- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw del RISC-V

- ▶ ¿Operaciones para leer un dato?



Ejemplo



- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw del RISC-V

▶ ¿Operaciones para leer un dato?

1. Enviar la orden

```
li t0, 0
la t1, 0x500
sw t0, 0(t1)
```

2. Leer el estado

```
bucle: la t1, 0x0504
      lw t0, 0(t1)
```

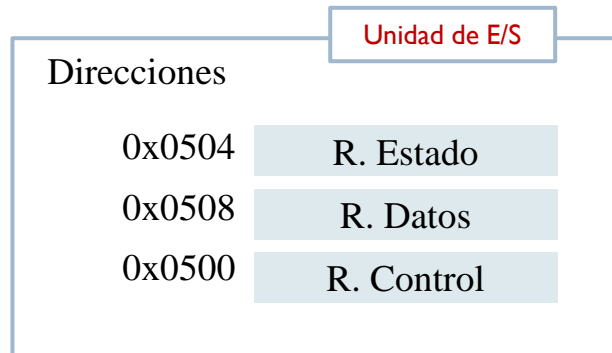
3. Comprobar el estado

```
beq t0, x0, bucle
```

4. Leer el dato

```
la t1, 0x0508
lw t0, 0(t1)
```

Ejemplo



- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw del RISC-V

▶ ¿Operaciones para escribir un dato?

1. Enviar el dato

```
li t0, 123
la t1, 0x0508
sw t0, 0(t1)
```

2. Enviar la orden

```
li t0, 1
la t1, 0x500
sw t0, 0(t1)
```

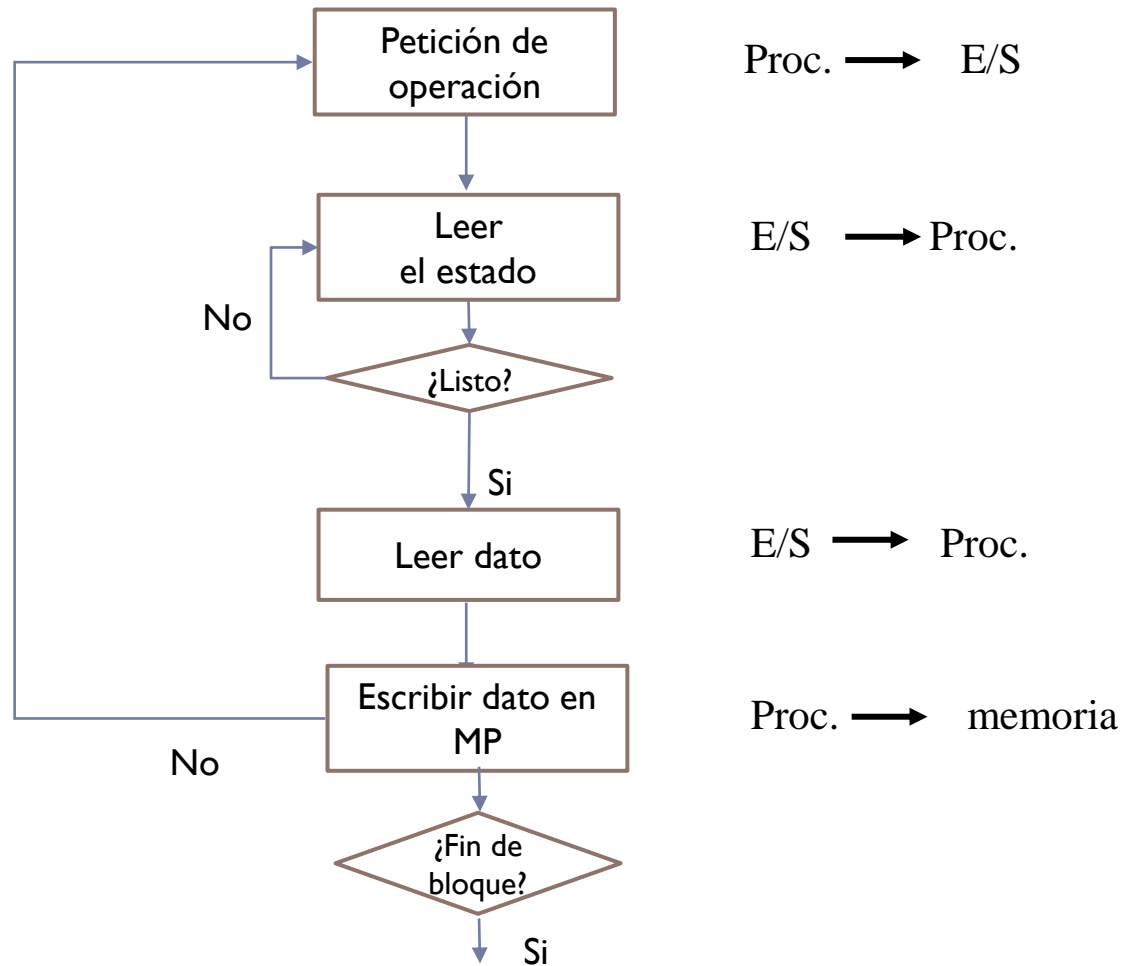
3. leer estado

```
bucle: la t0, 0x0504
lw t0, 0(t0)
```

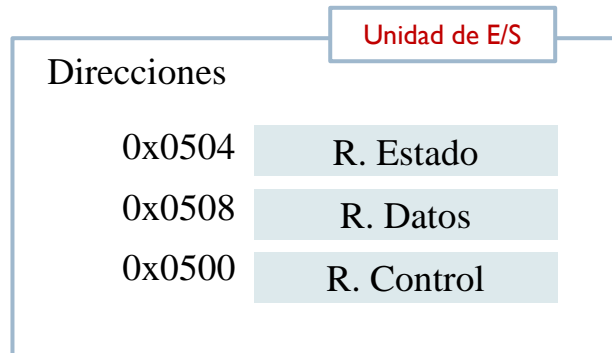
4. comprobar estado

```
beq t0, x0, bucle
```

Lectura de un bloque de datos



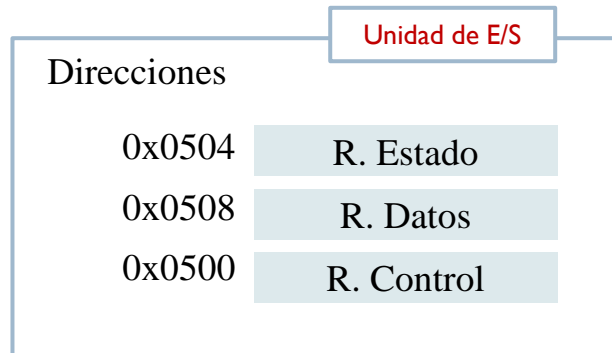
Ejercicio



- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw

Codifique un programa en ensamblador que lee 100 datos usando la unidad de E/S descrita, y los almacena en la dirección de memoria principal dada por la etiqueta 'datos'.

Ejercicio (solución)

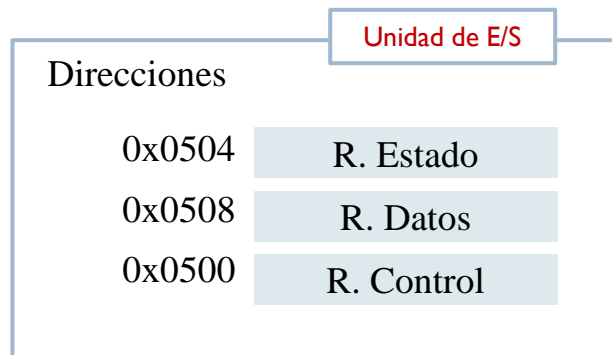


- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw

```
.data
    datos: .zero 400

.text
main:    li    t3 0
         li    t4 400
bucle1: la    t0 0x500
         sw    x0 0(t0)
         mv    t0 x0
bucle2: la    t1 0x504
         lw    t1 0(t1)
         beq   t1 x0 bucle2
         la    t2 0x508
         lw    t2 0(t2)
         sw    t2 datos(t3)
         addi  t3 t3 4
         bne   t3 t4 bucle1
```

Ejercicio (solución)



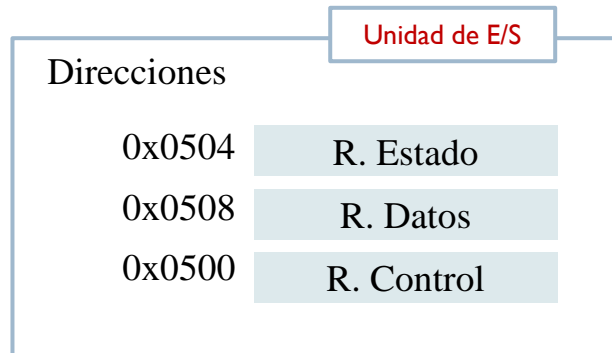
- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw

```
.data
    datos: .zero 400

.text
main:    li    t3 0
         li    t4 400
bucle1:  la    t0 0x500
         sw    x0 0(t0)
         mv    t0 x0
bucle2:  la    t1 0x504
         lw    t1 0(t1)
         beq   t1 x0 bucle2
         la    t2 0x508
         lw    t2 0(t2)
         sw    t2 datos(t3)
         addi  t3 t3 4
         bne   t3 t4 bucle1
```

} Bucle de sincronización

Ejercicio (solución)



- ▶ Información de control
 - ▶ 0: leer
 - ▶ 1: escribir
- ▶ Información de estado
 - ▶ 0: dispositivo ocupado
 - ▶ 1: dispositivo (dato) listo
- ▶ Mapa de E/S común
 - ▶ Instrucciones lw y sw

```
.data
    datos: .zero 400

.text
main:    li    t3 0
         li    t4 400
bucle1:  la    t0 0x500
         sw    x0 0(t0)
         mv    t0 x0
bucle2:  la    t1 0x504
         lw    t1 0(t1)
         beq   t1 x0 bucle2
         la    t2 0x508
         lw    t2 0(t2)
         sw    t2 datos(t3)
         addi  t3 t3 4
         bne   t3 t4 bucle1
```

Bucle de sincronización

Bucle de transferencia

Ejercicio

- ▶ Sea un computador con la capacidad de ejecutar 200 millones de instrucciones por segundo (200 MIPS)
- ▶ Se conecta el módulo de E/S anteriormente descrito siendo el tiempo medio de espera de lectura de 5 ms
- ▶ Calcule cuantas instrucciones se ejecutan en el bucle de sincronización y en el bucle de transferencia para el programa mostrado

```
.data
    datos: .zero 400

.text
main:   li    t3 0
        li    t4 400
bucle1: la    t0 0x500
        sw    x0 0(t0)
        mv    t0 x0
bucle2: la    t1 0x504
        lw    t1 0(t1)
        beq   t1 x0 bucle2
        la    t2 0x508
        lw    t2 0(t2)
        sw    t2 datos(t3)
        addi  t3 t3 4
        bne   t3 t4 bucle1
```

Bucle de sincronización

Bucle de transferencia

Ejercicio (solución)

- ▶ Bucle de sincronización:
 - ▶ En media dura 5 ms
 - ▶ Se ejecuta 200 MIPS en media
 - ▶ $I_{bs} = 200 * 10^6 * 5 * 10^{-3} = 10^6$
- ▶ Bucle de transferencia:
 - ▶ $I = (I_{bs} + 6 * 100 + 10^6) * I_{bs}$
- ▶ Como puede comprobarse, en el bucle se ejecuta 1.000.601 instrucciones, de las cuales 1.000.000 corresponden al bucle de espera (el 99,9%)
 - ▶ Es un desperdicio de ciclos del procesador
 - ▶ El procesador no realiza trabajo útil

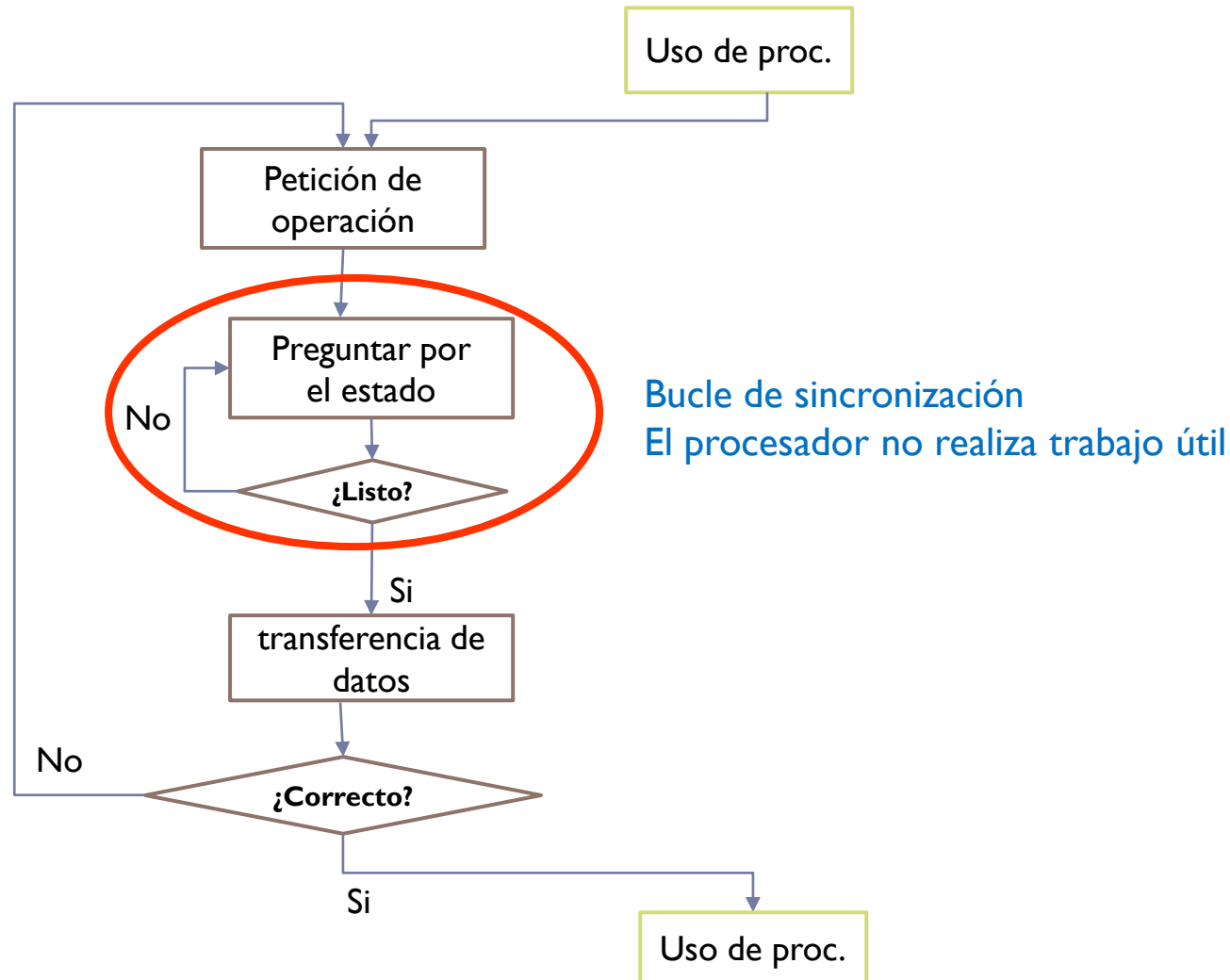
```
.data
    datos: .zero 400

.text
main:    li    t3 0
         li    t4 400
bucle1:  la    t0 0x500
         sw    x0 0(t0)
         mv    t0 x0
bucle2:  la    t1 0x504
         lw    t1 0(t1)
         beq   t1 x0 bucle2
         la    t2 0x508
         lw    t2 0(t2)
         sw    t2 datos(t3)
         addi  t3 t3 4
         bne   t3 t4 bucle1
```

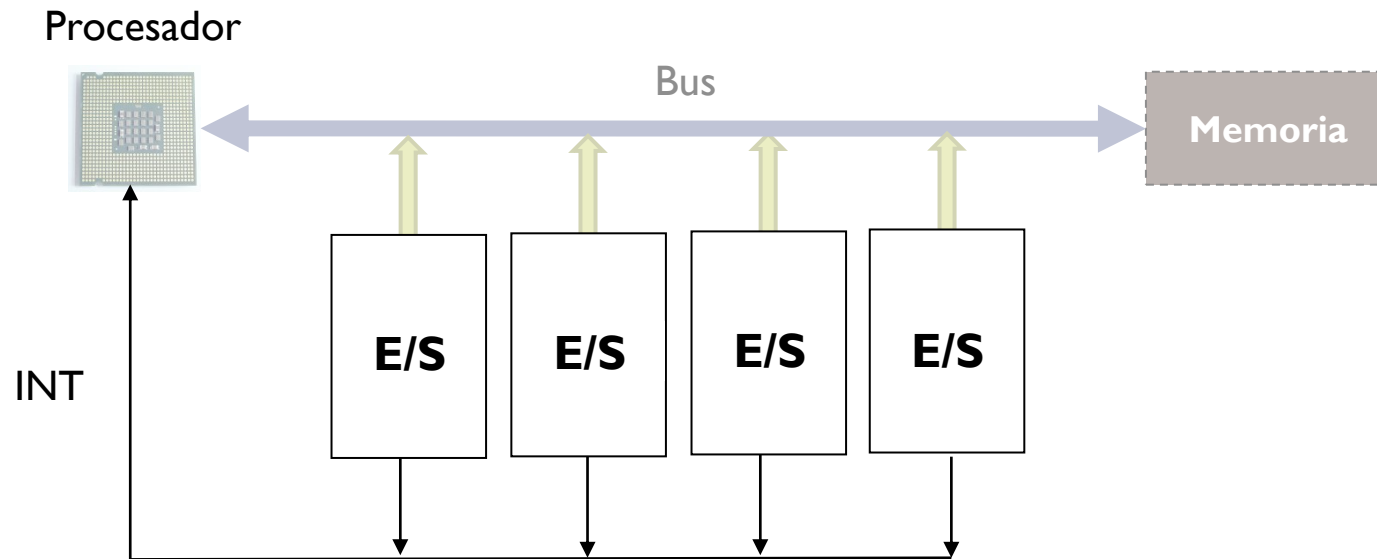
Bucle de sincronización

Bucle de transferencia

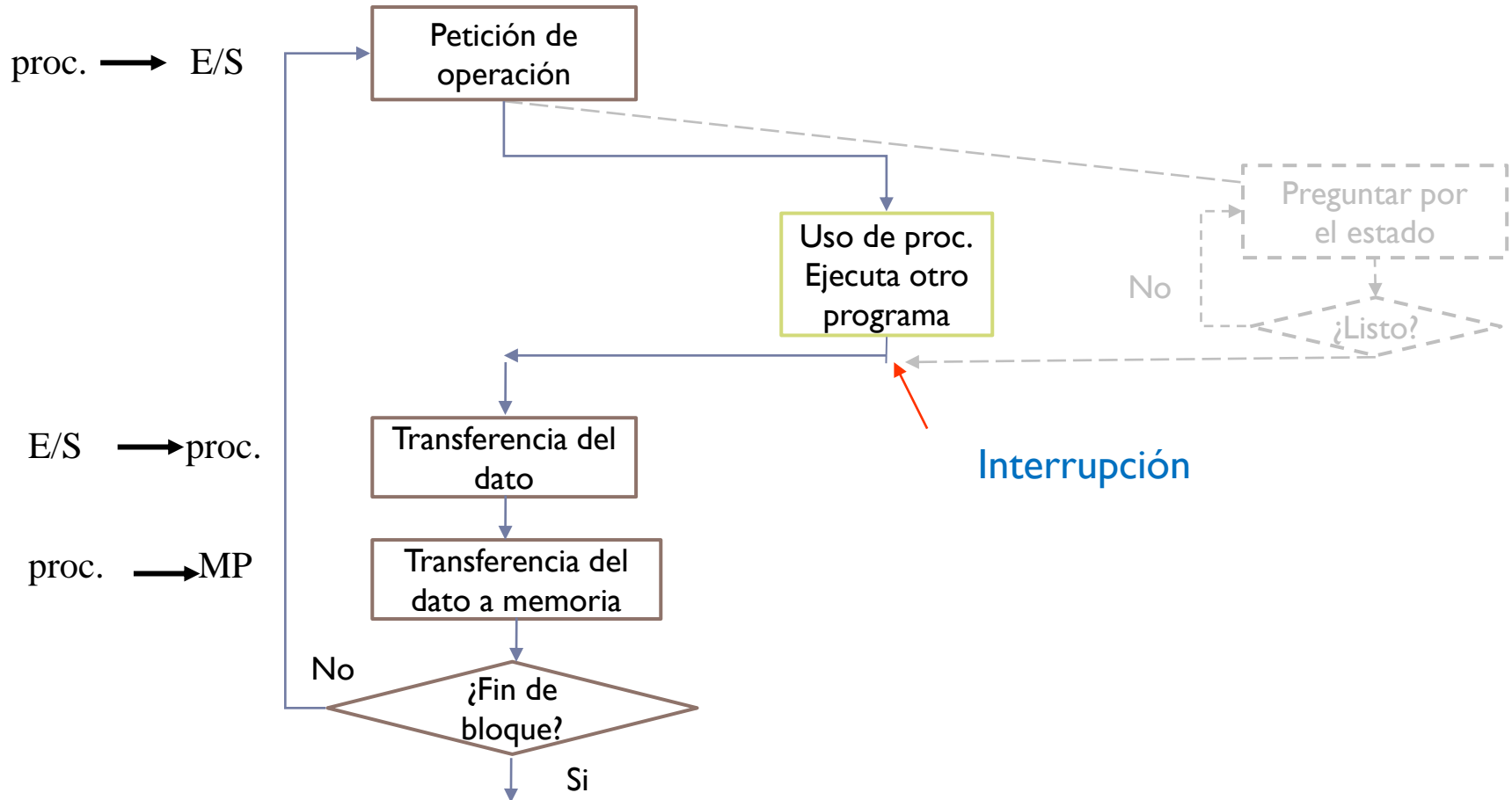
Problema de la E/S programada



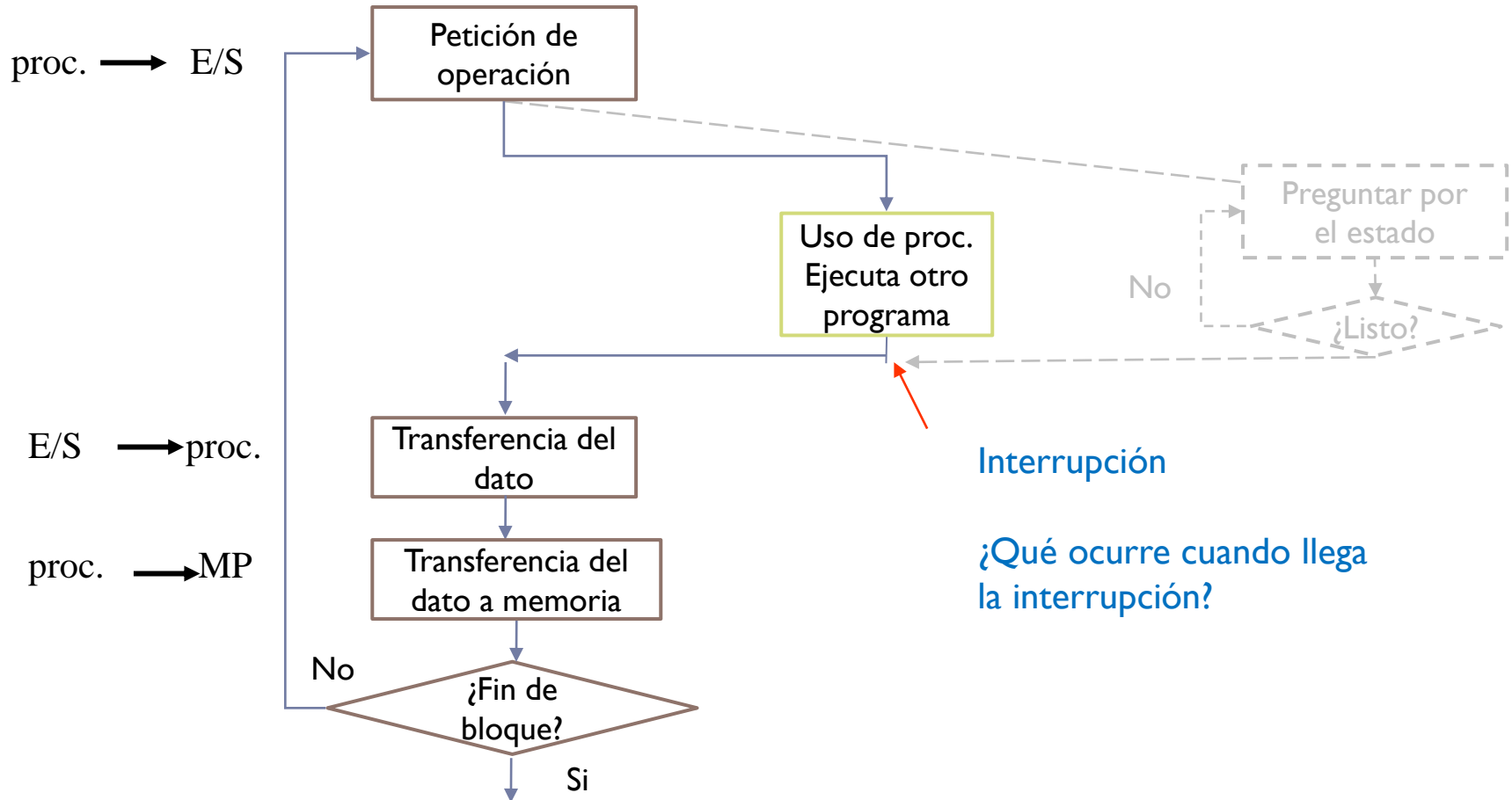
E/S mediante interrupciones



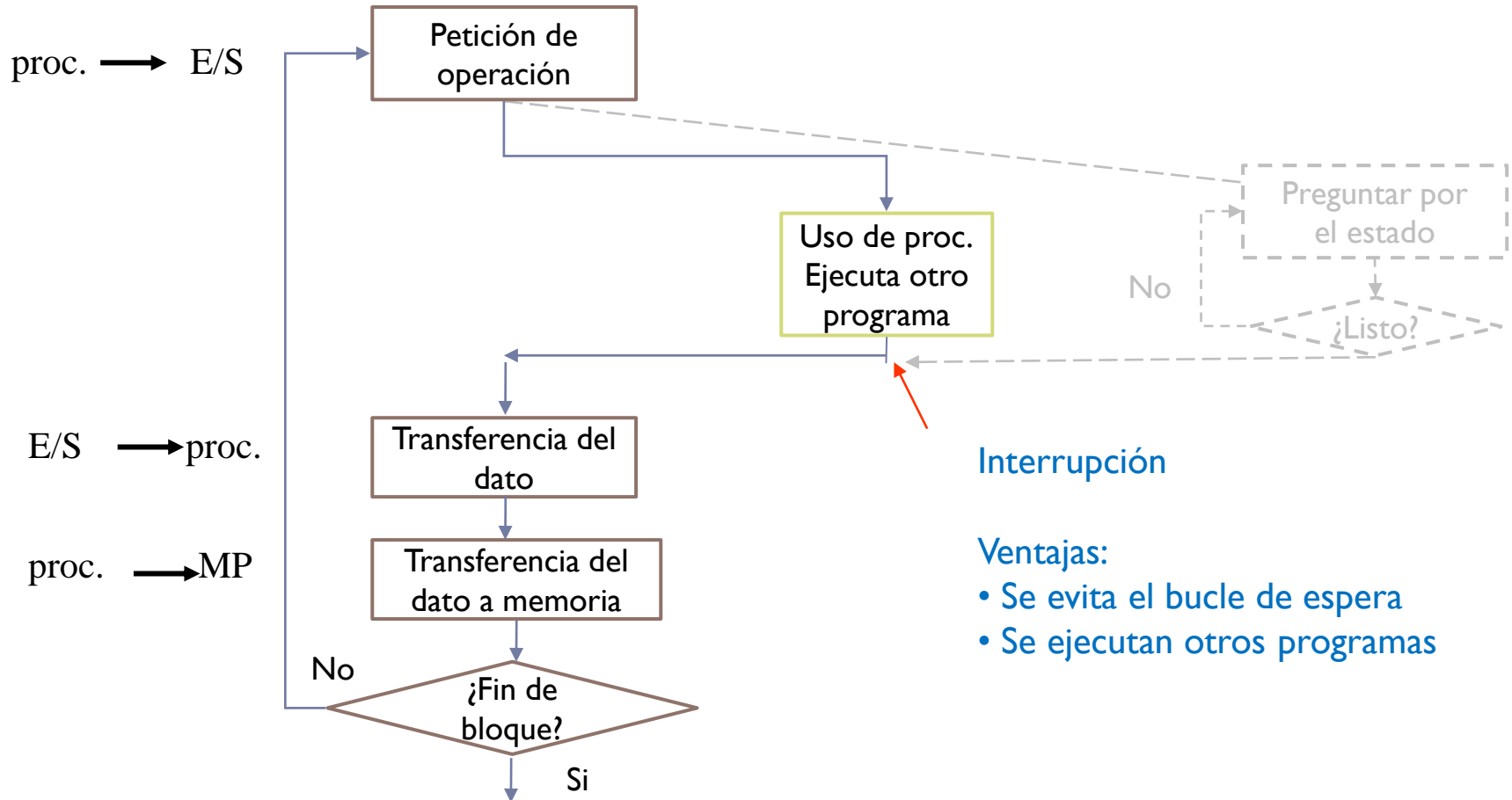
E/S mediante interrupciones



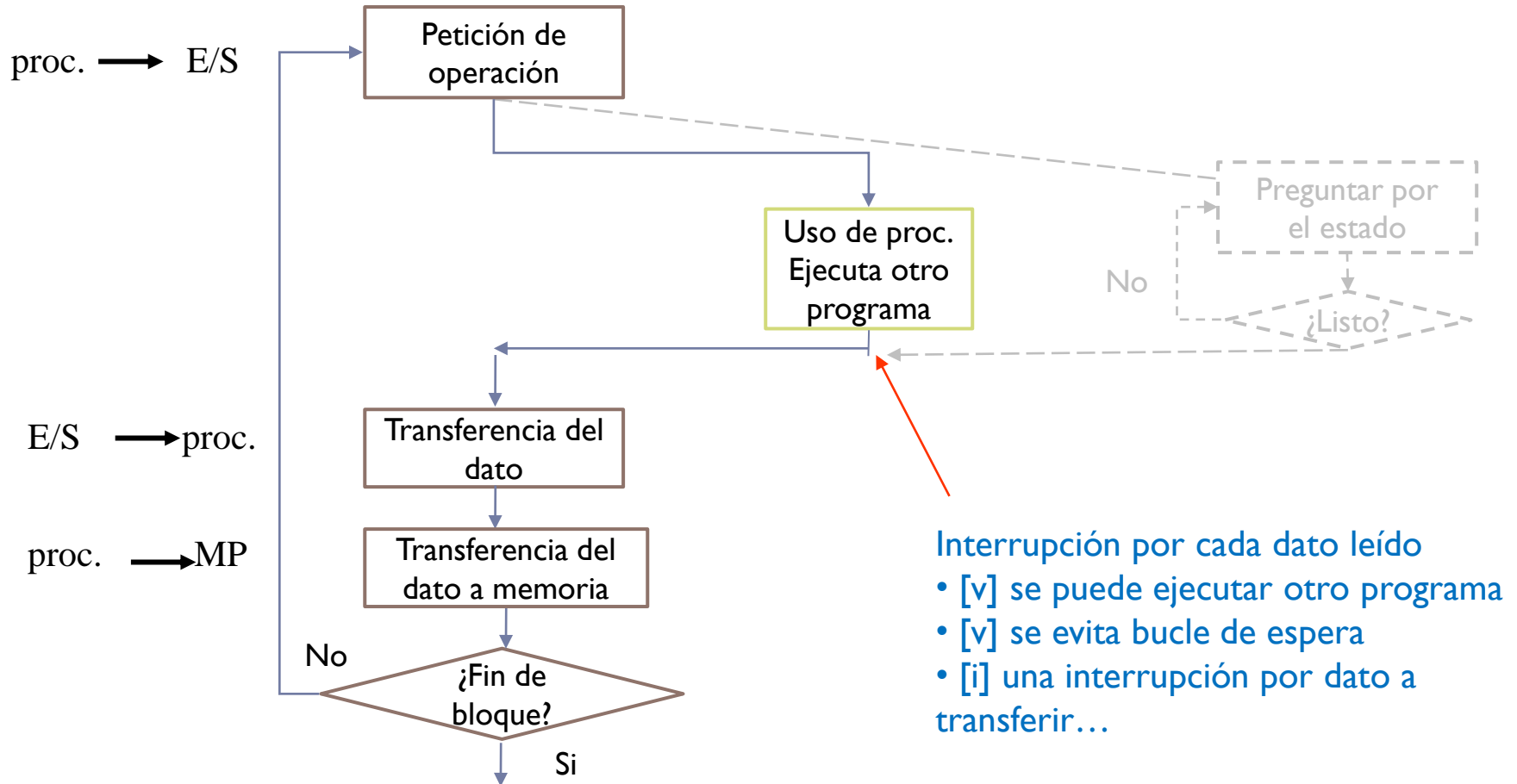
E/S mediante interrupciones



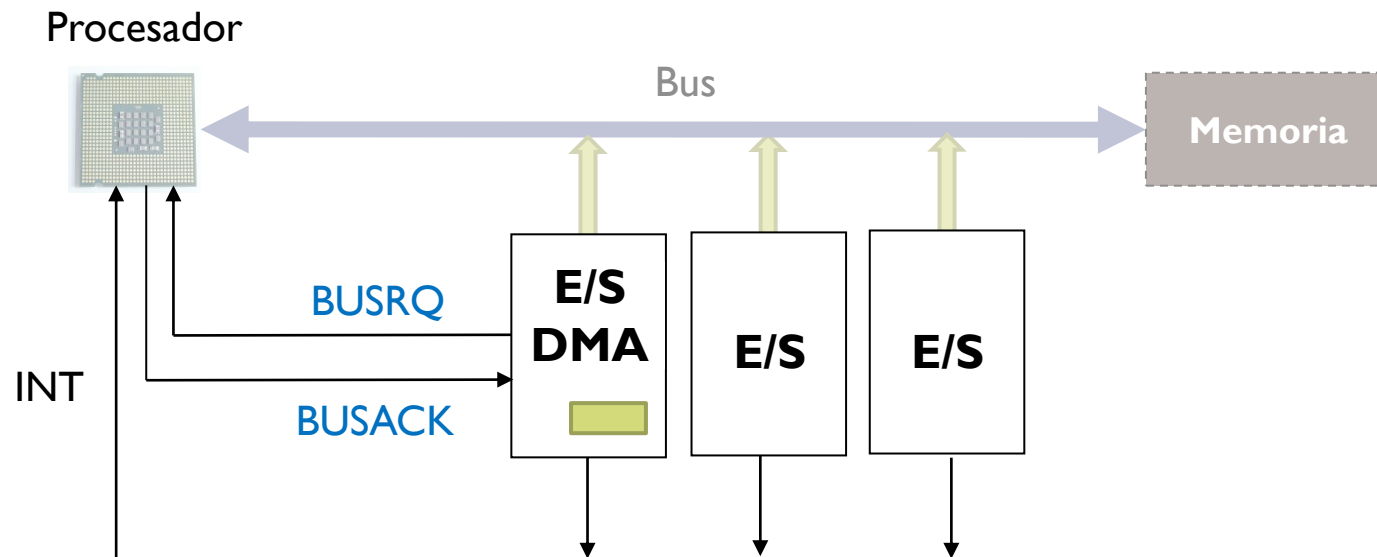
E/S mediante interrupciones



Interacción mediante interrupciones

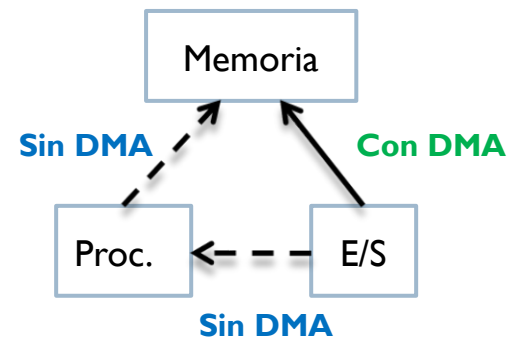


E/S por DMA



E/S mediante DMA

- ▶ DMA (*Direct Memory Access*): Acceso directo a memoria
- ▶ El procesador no realiza la transferencia entre la unidad de E/S y la memoria
 - ▶ Con interrupciones se evita el bucle de espera pero la transferencia la lleva a cabo el procesador
 - ▶ Para un bloque de N bytes, se generan N interrupciones
- ▶ Con DMA toda la transferencia la realiza la unidad de E/S
 - ▶ Solo **una** interrupción al final



Transferencia de un bloque mediante DMA

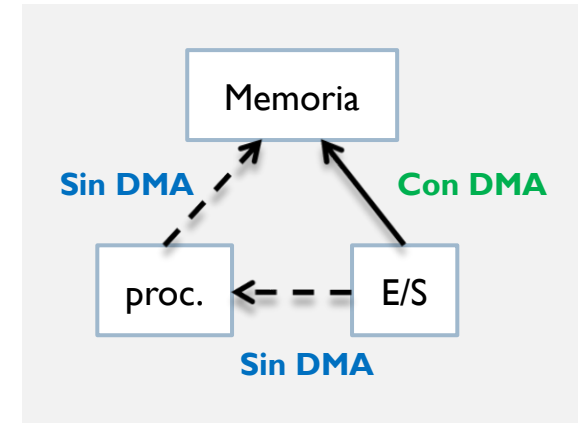
Proc. → E/S

Petición de
operación

Uso de proc.
Ejecuta otro
programa

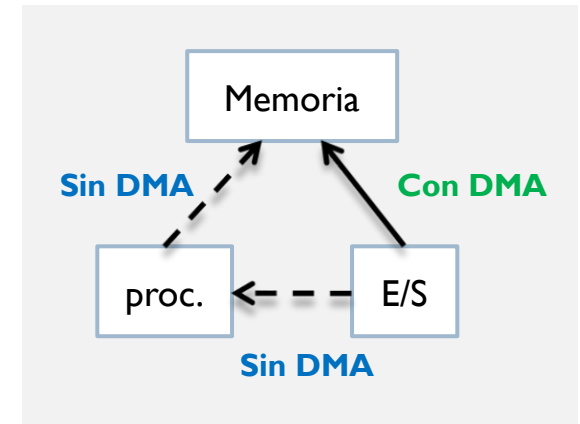
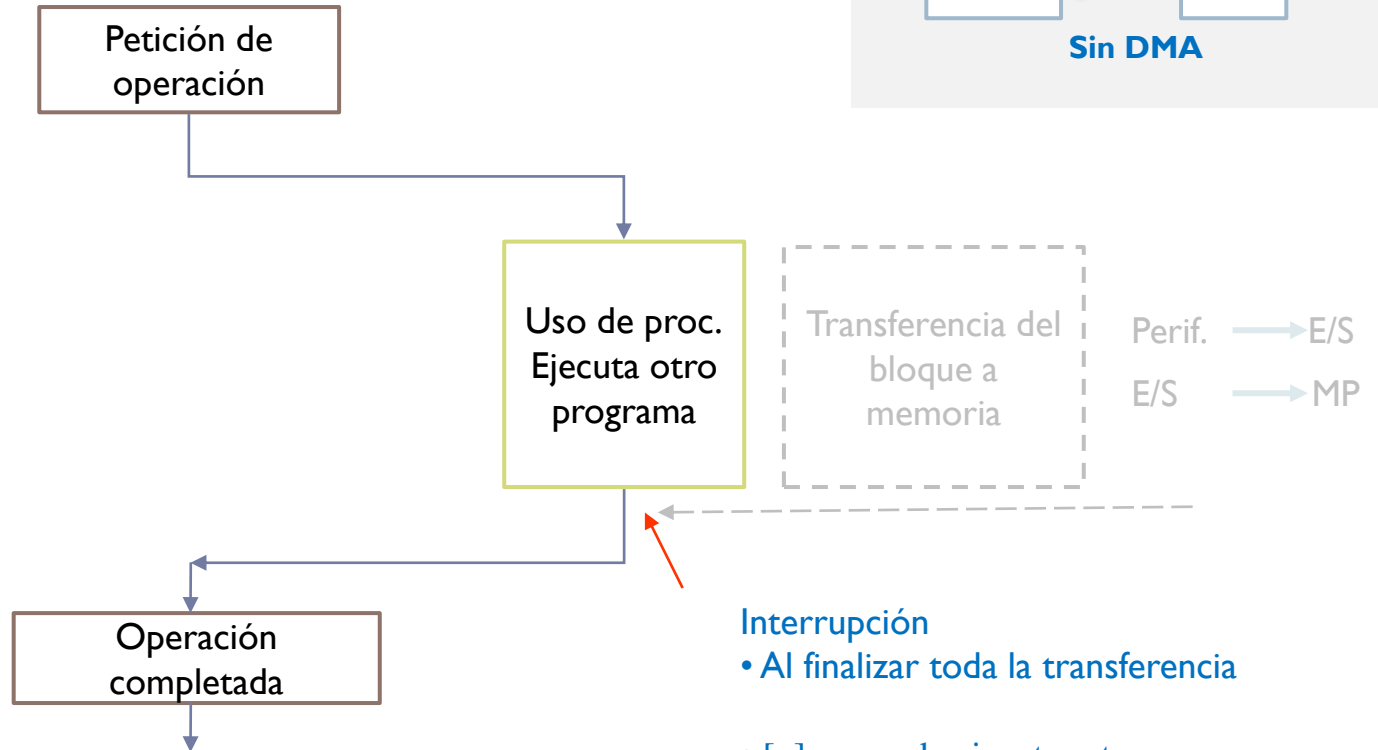
Transferencia del
bloque a
memoria

Perif. → E/S
E/S → MP



Transferencia de un bloque mediante DMA

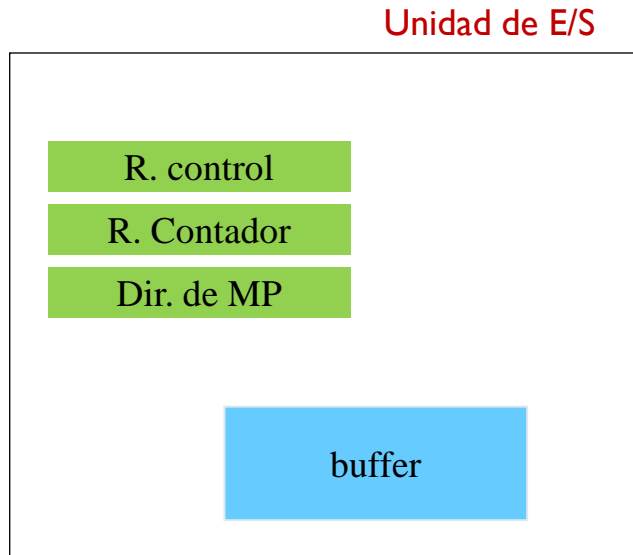
Proc. → E/S



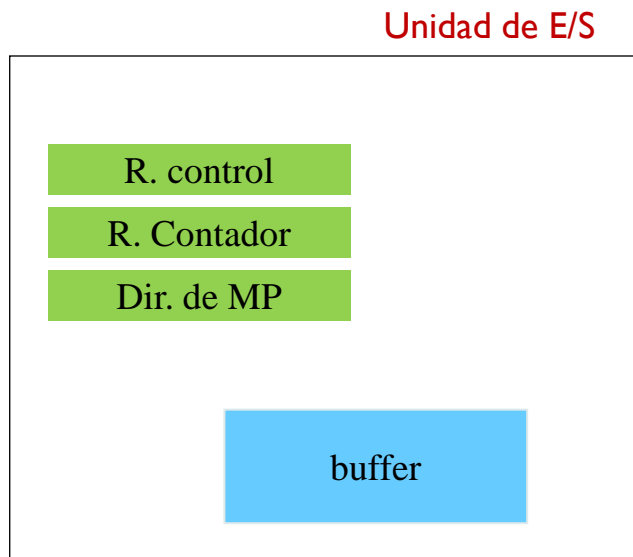
Interrupción

- Al finalizar toda la transferencia
- [v] se puede ejecutar otro programa
- [v] una única interrupción

Estructura simplificada de un módulo de E/S para DMA



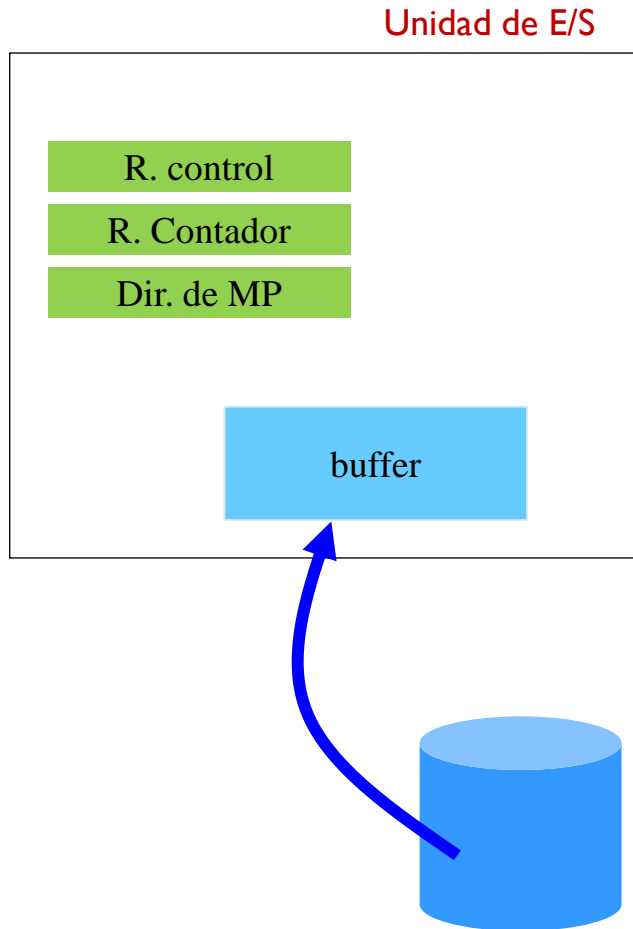
Transferencia con DMA



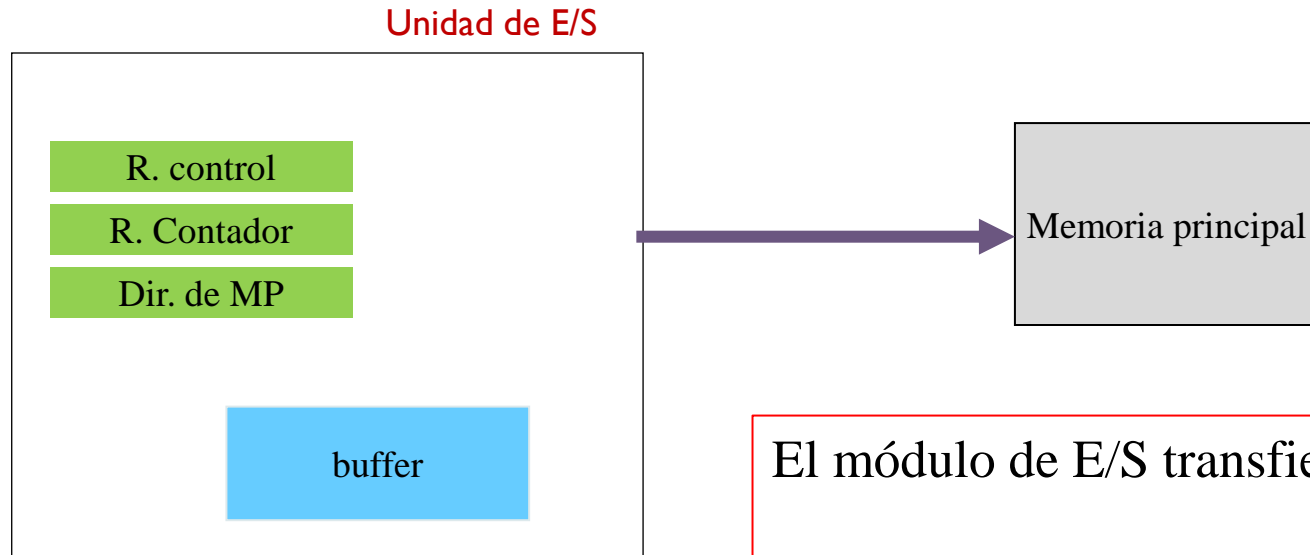
- ▶ El procesador escribe en los registros (con instrucciones de E/S)
 - ▶ La operación (**R. control**)
 - ▶ Lectura, escritura
 - ▶ El número de bytes a transferir (**R. contador**)
 - ▶ La **dirección de memoria principal** donde
 - ▶ Se almacenan los datos (escritura al periférico)
 - ▶ Almacenar los datos (lectura del periférico)

Transferencia con DMA

- ▶ La unidad de E/S transfiere todo el bloque de datos del periférico al buffer interno de la unidad de E/S (para lectura)



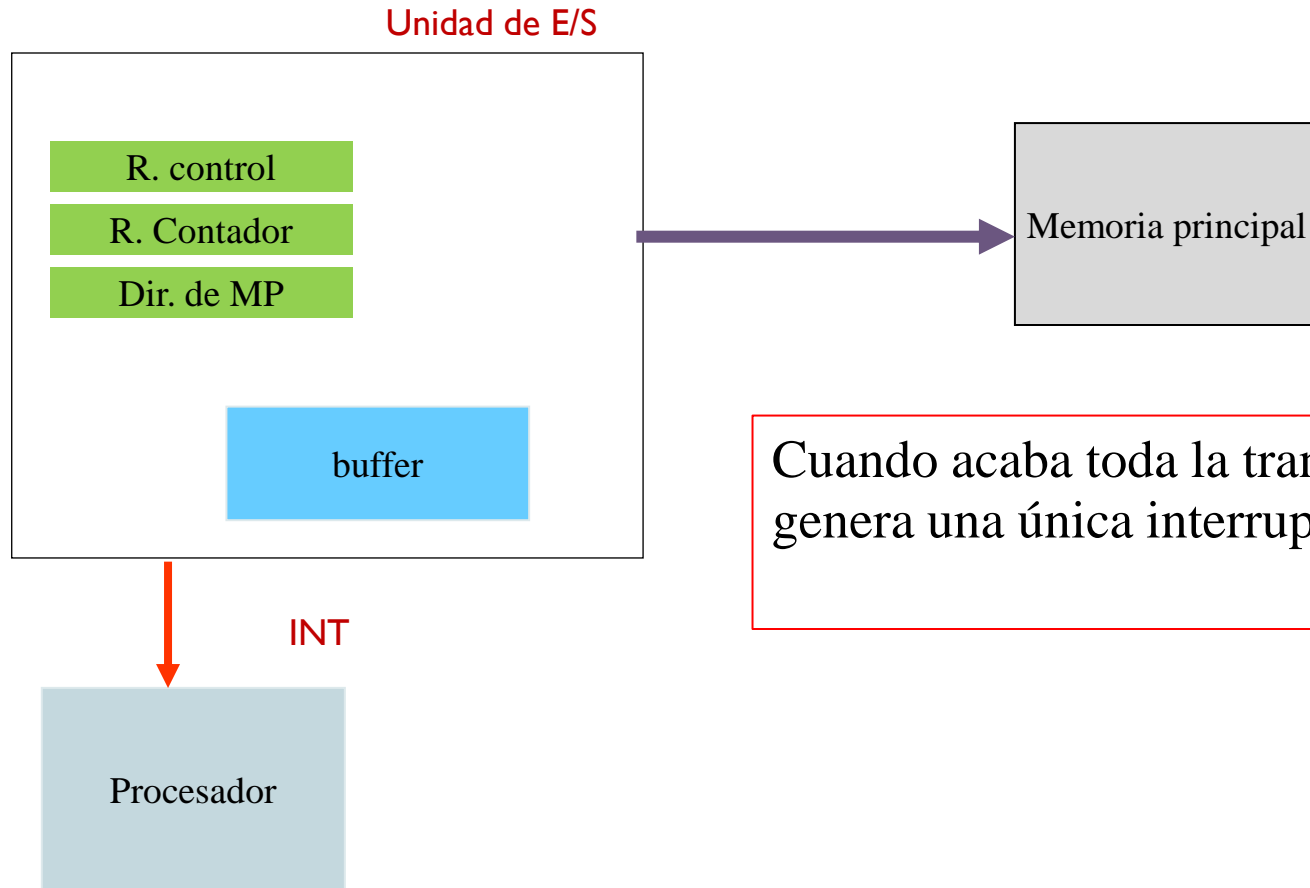
Transferencia con DMA



El módulo de E/S transfiere el bloque

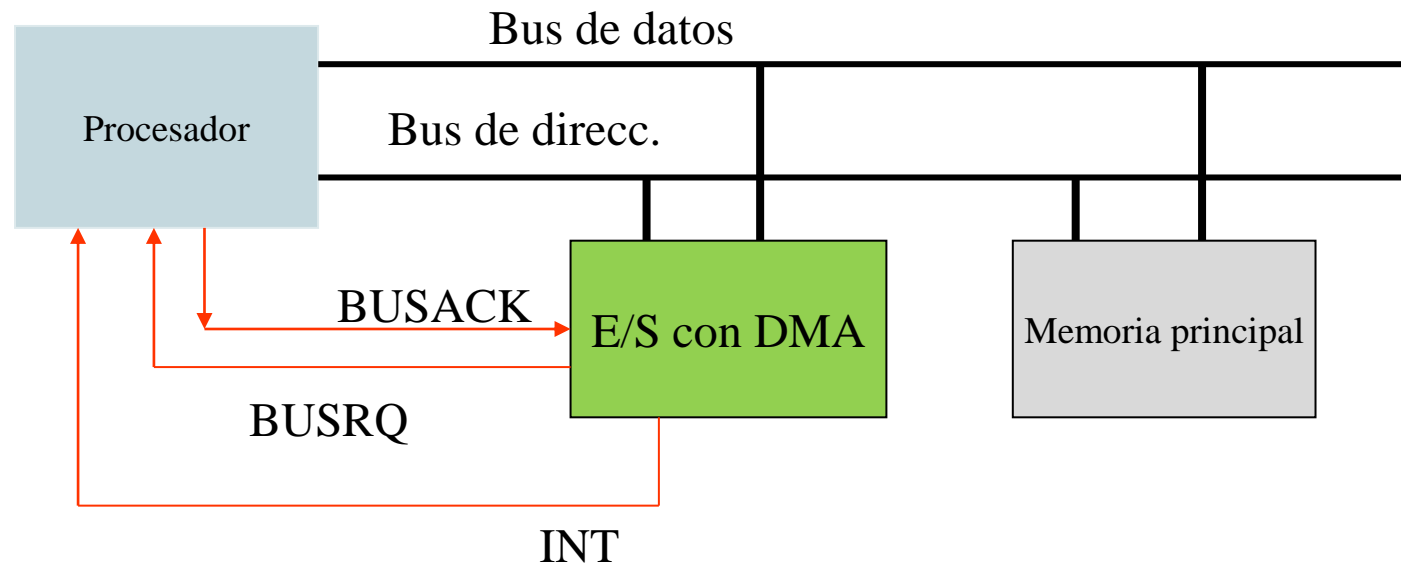
```
while (contador > 0)
{
    Byte (palabra) -> MP[Dir de MP]
    Dir de MP ++;
    contador --;
}
```

Transferencia con DMA



Cuando acaba toda la transferencia se genera una única interrupción

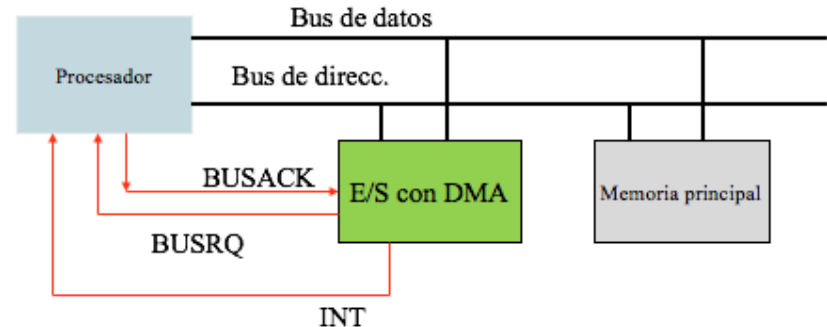
Acceso del módulo de E/S a MP



- Hay que coordinar el acceso a memoria entre el procesador y el módulo de E/S

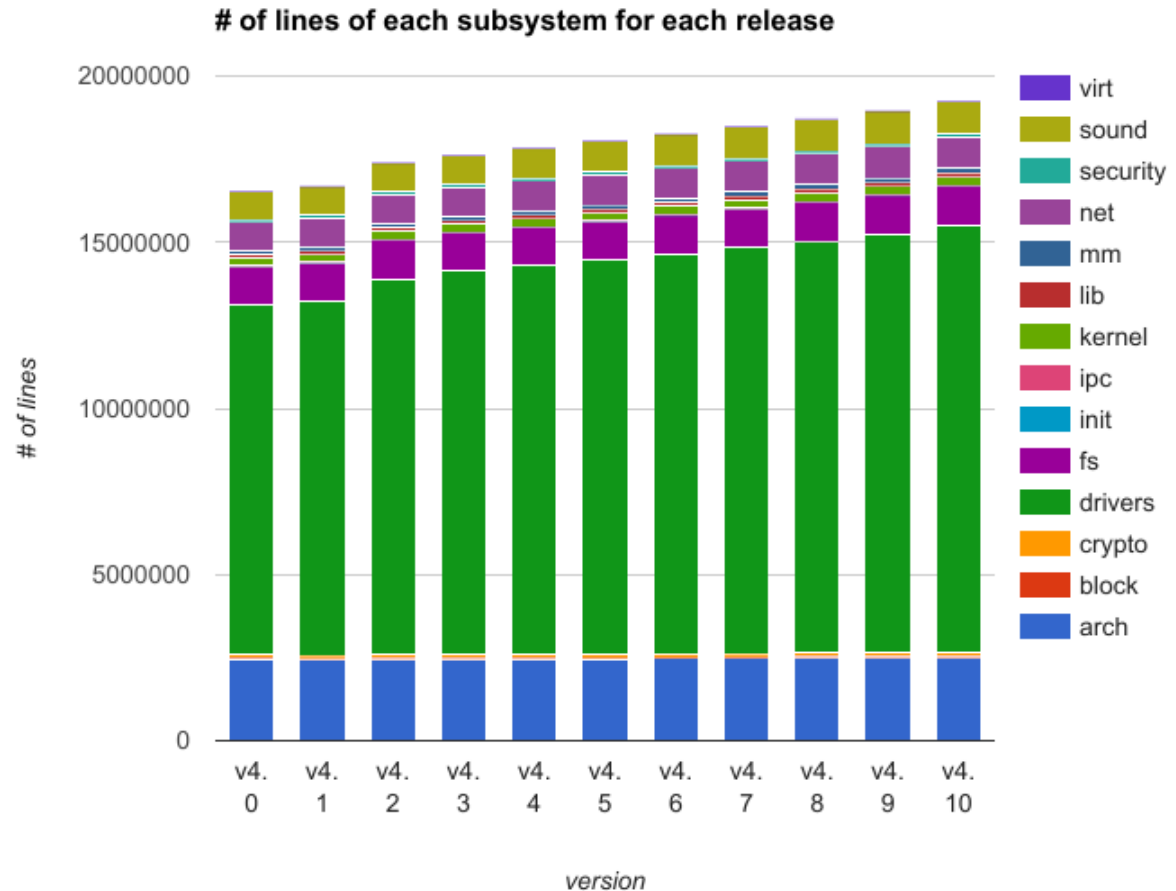
Acceso del módulo de E/S a MP

Robo de ciclo



- ▶ Cuando la unidad de E/S está lista para transferir un dato:
 - ▶ Activa la señal **BUSRQ** para solicitar el acceso a los buses
 - ▶ Al final de cada fase de una instrucción el procesador comprueba la señal **BUSRQ**. Si está activa libera los buses y activa **BUSACK**
 - ▶ La unidad de E/S accede a MP y a continuación desactiva **BUSRQ**
 - ▶ El procesador continúa
 - ▶ La interrupción se genera al final

Curiosidad: Importancia de los controladores de Kernel de Linux



- El 70% del código de Linux son los controladores de dispositivo (o drivers)

Grupo ARCOS

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

Tema 6: E/S y dispositivos periféricos

Estructura de Computadores

Grado en Ingeniería Informática
Grado en Matemática aplicada y Computación
Doble Grado en Ingeniería Informática y Administración de Empresas

