

Grupo ARCOS

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

Tema 4 (III) El procesador

Estructura de Computadores
Grado en Ingeniería Informática

Contenido

1. Elementos de un computador
2. Organización del procesador
3. La unidad de control
4. Ejecución de instrucciones
5. Diseño de la unidad de control
6. **Modos de ejecución**
7. Interrupciones
8. Arranque de un computador
9. Prestaciones y paralelismo

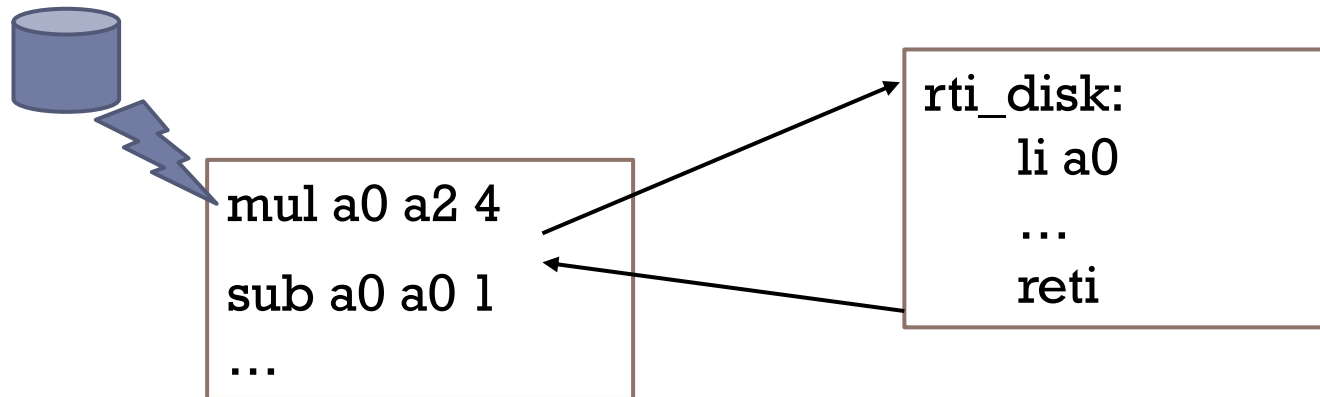
Modos de ejecución

- ▶ Se indica con un bit situado en el **registro de estado (U)**
- ▶ Al menos 2 modos:
 - ▶ **Modo usuario**
 - ▶ El procesador no puede **ejecutar instrucciones privilegiadas** (ejemplo: instrucciones de E/S, de habilitación de interrupciones, ...)
 - ▶ Si un proceso de usuario ejecuta una instrucción privilegiada se produce una interrupción
 - ▶ **Modo núcleo**
 - ▶ Reservado al sistema operativo
 - ▶ El procesador puede ejecutar todo el repertorio de instrucciones

Contenido

1. Elementos de un computador
2. Organización del procesador
3. La unidad de control
4. Ejecución de instrucciones
5. Diseño de la unidad de control
6. Modos de ejecución
7. **Interrupciones**
8. Arranque de un computador
9. Prestaciones y paralelismo

Idea de interrupción



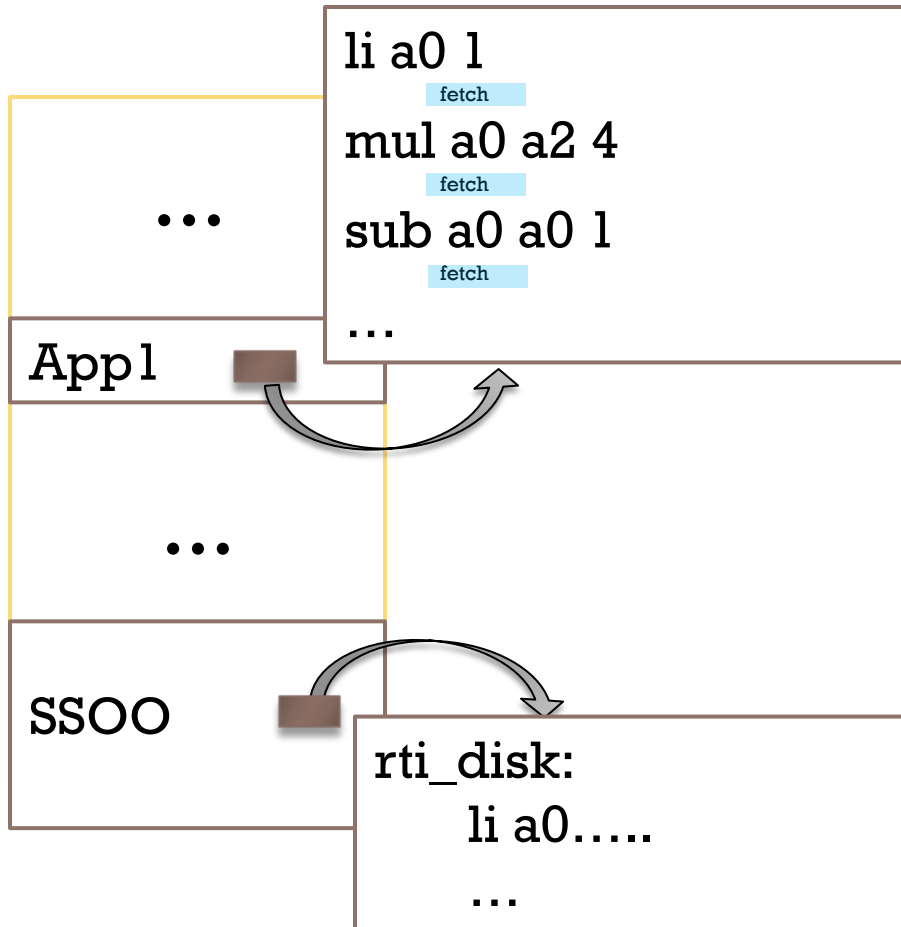
- ▶ Señal que llega a la U.C. y que rompe la secuencia normal de ejecución:
 - ▶ Se pausa la ejecución del programa actual y se transfiere la ejecución a otro programa que atiende la interrupción llamado ISR_{en} / RTI_{es}
 - ▶ Al terminar el ISR la ejecución del programa se reanuda.
- ▶ Ejemplo de causas:
 - ▶ Cuando un periférico solicita la atención del procesador,
 - ▶ Cuando ocurre un error en la ejecución de la instrucción,
 - ▶ Etc.

Clasificación de las interrupciones

- Asíncronas
 - ▶ Excepciones hardware **asíncronas**
 - ▶ **Errores** en el hardware **no relacionados** con la **instrucción en curso**: impresora sin papel, etc.
 - ▶ Interrupciones externas
 - ▶ Cuando un periférico precisa de atención por parte de la CPU: periféricos, interrupción del reloj, etc.
- Síncronas
 - ▶ Excepciones hardware **síncronas**
 - ▶ Cuando un **error** ocurre **en la ejecución** de la **instrucción en curso**: División por cero, acceso a una posición de memoria ilegal, etc.
 - ▶ Llamadas al sistema
 - ▶ Instrucciones máquina especiales que generan una interrupción para activar al sistema operativo (petición de servicio del sistema operativo)

Excepciones hardware asíncronas e Interrupciones externas

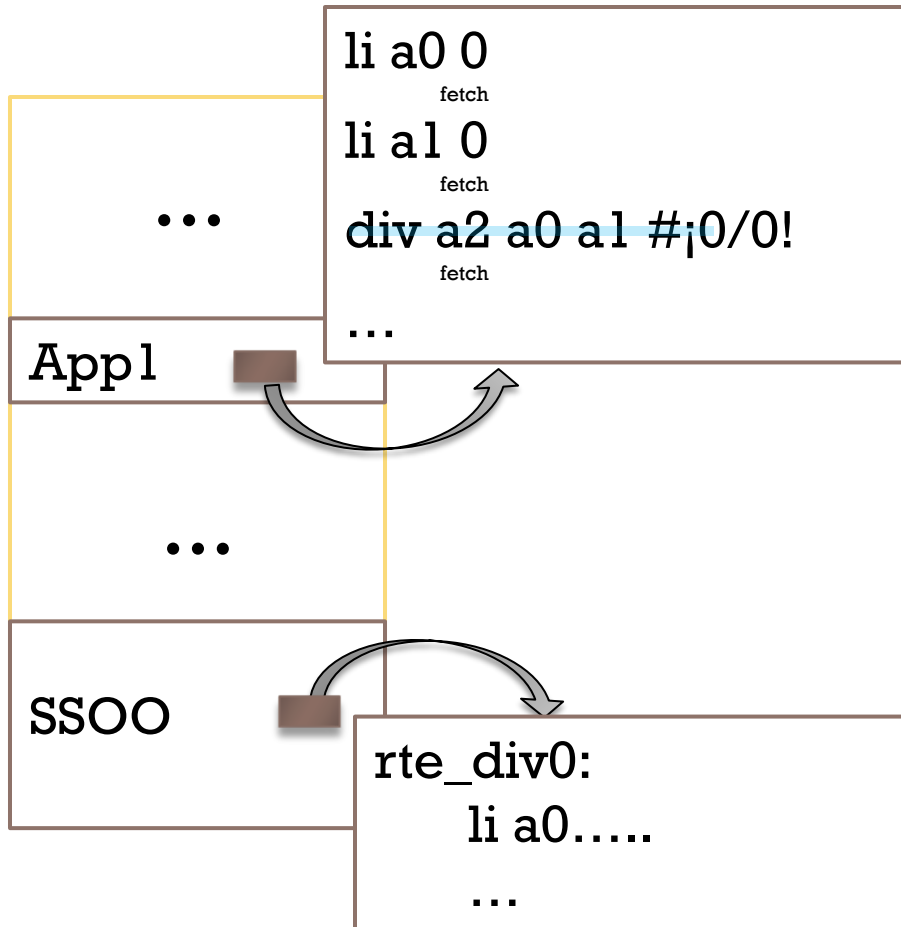
WepSIM: int., syscall, excepción...



- ▶ Originan una ruptura de secuencia no programada
 - ▶ **Antes del ciclo de fetch de instrucción siguiente, ver si hay interrupción pendiente (CRI), y si la hay...**
 - ▶ ...Bifurcación a subrutina del S.O. que la trata (RTI)
 - ▶ Posteriormente, restituye el estado y devuelve el control al programa interrumpido.
- **Causa asíncrona a la ejecución del programa en curso**
 - ▶ Atención a periférico
 - ▶ Etc.

Excepciones hardware síncronas

WepSIM: int., syscall, excepción...



- ▶ Originan una ruptura de secuencia no programada
 - ▶ **Dentro del microprograma de la instrucción en curso...**
 - ▶ ...Bifurcación a subrutina del S.O. que la trata (RTI)
- ▶ Posteriormente, restituye el estado y devuelve el control al programa interrumpido **o finaliza su ejecución**
- **Causa síncrona a la ejecución del programa en curso**
 - ▶ División entre cero
 - ▶ Etc.

Ciclo de reconocimiento de la interrupción (CRI)

WepSIM: int., syscall, excepción...

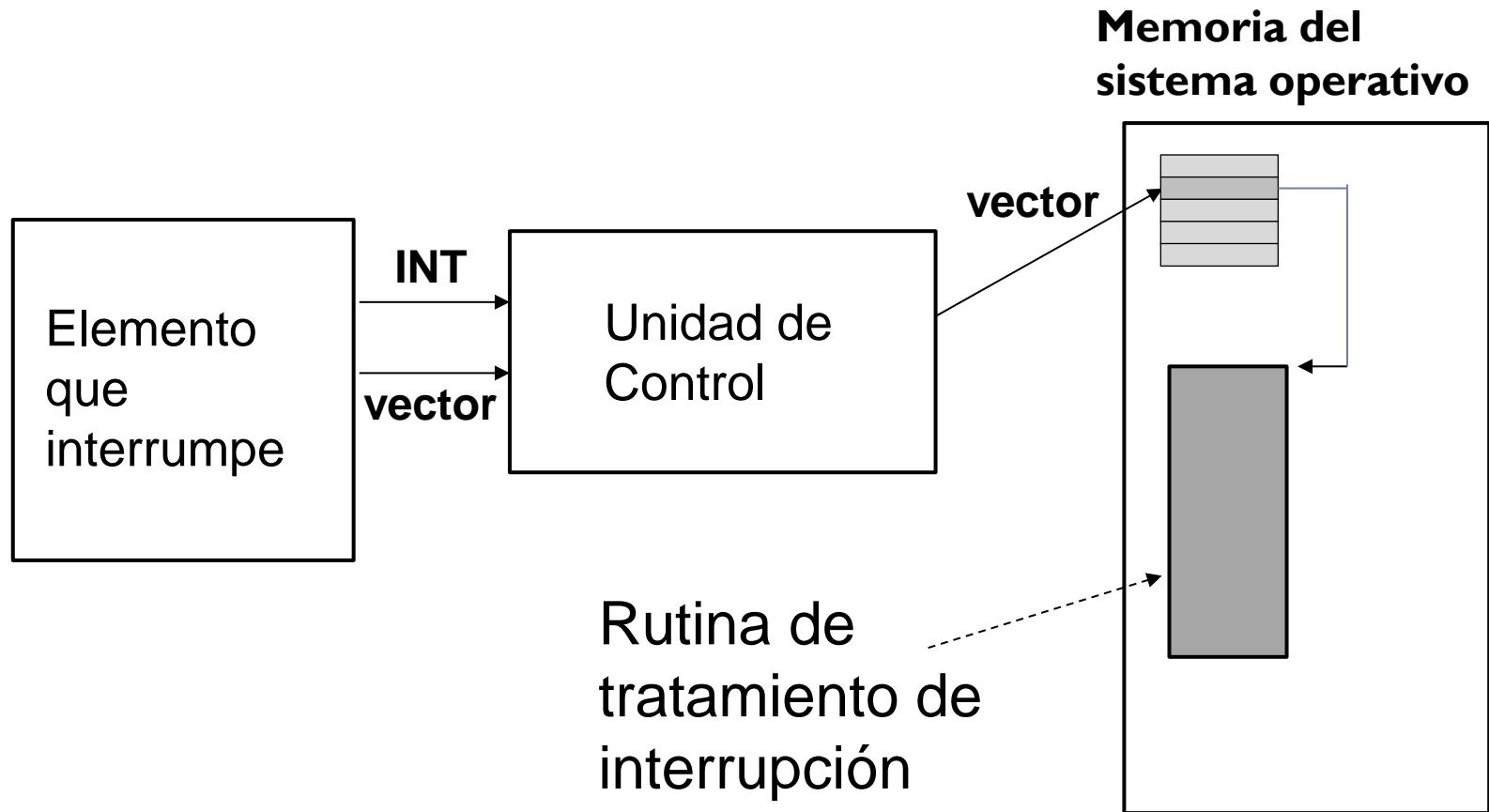
- ▶ Forma parte del microcódigo antes del ciclo de fetch
 - ▶ Trata especialmente las interrupciones asíncronas
- ▶ Estructura general del CRI:
 1. Comprueba se hay activada una señal de interrupción.
 2. Si está activada:
 1. Salva PC y RE (el contador de programa y el registro de estado)
 - Equivalent to “push PC, push RE”
 2. Pasa de modo usuario a modo núcleo
 - Equivalent to “SR.U = 0”
 3. Obtiene la dirección de la rutina de tratamiento de la interrupción
 - Equivalent to “isr_addr = Vector_interrupts[id_interrupt]”
 4. Almacena en el contador de programa la dirección obtenida (de esta forma la siguiente instrucción será la de la rutina de tratamiento)
 - Equivalent to “PC = isr_addr”

Rutina de tratamiento de la interrupción (RTI)

WepSIM: int., syscall, excepción...

- ▶ Forma parte del código del sistema operativo
 - ▶ Hay una RTI por cada interrupción que pueda darse
- ▶ Estructura general de las RTI:
 1. Salva el resto de registros del procesador (que precise)
 2. Atiende la interrupción
 3. Restaura los registros del procesador guardados en (I)
 4. Ejecuta una instrucción máquina especial: RETI
 1. Restaura el RE (registro de estado) del programa interrumpido (fijando de nuevo el modo del procesador a modo usuario)
 2. Restaura el PC (contador de programa) de forma que la siguiente instrucción es la del programa interrumpido.
 3. Pasa de modo núcleo a modo usuario (“SR.U = I”)

Interrupciones vectorizadas



Interrupciones vectorizadas

- ▶ Se usa una tabla de direcciones de memoria de las rutinas de tratamiento asociadas a cada interrupción:
 - ▶ El elemento que interrumpe suministra el **vector de interrupción**
 - ▶ Este **vector de interrupción** es un índice en una tabla que contiene la dirección de la rutina de tratamiento asociada a la interrupción.
- ▶ Cada sistema operativo rellena esta tabla con las direcciones de las rutinas de tratamiento (son dependientes de cada sistema operativo) durante el proceso de arranque.

Interrupciones en un PC

► Windows



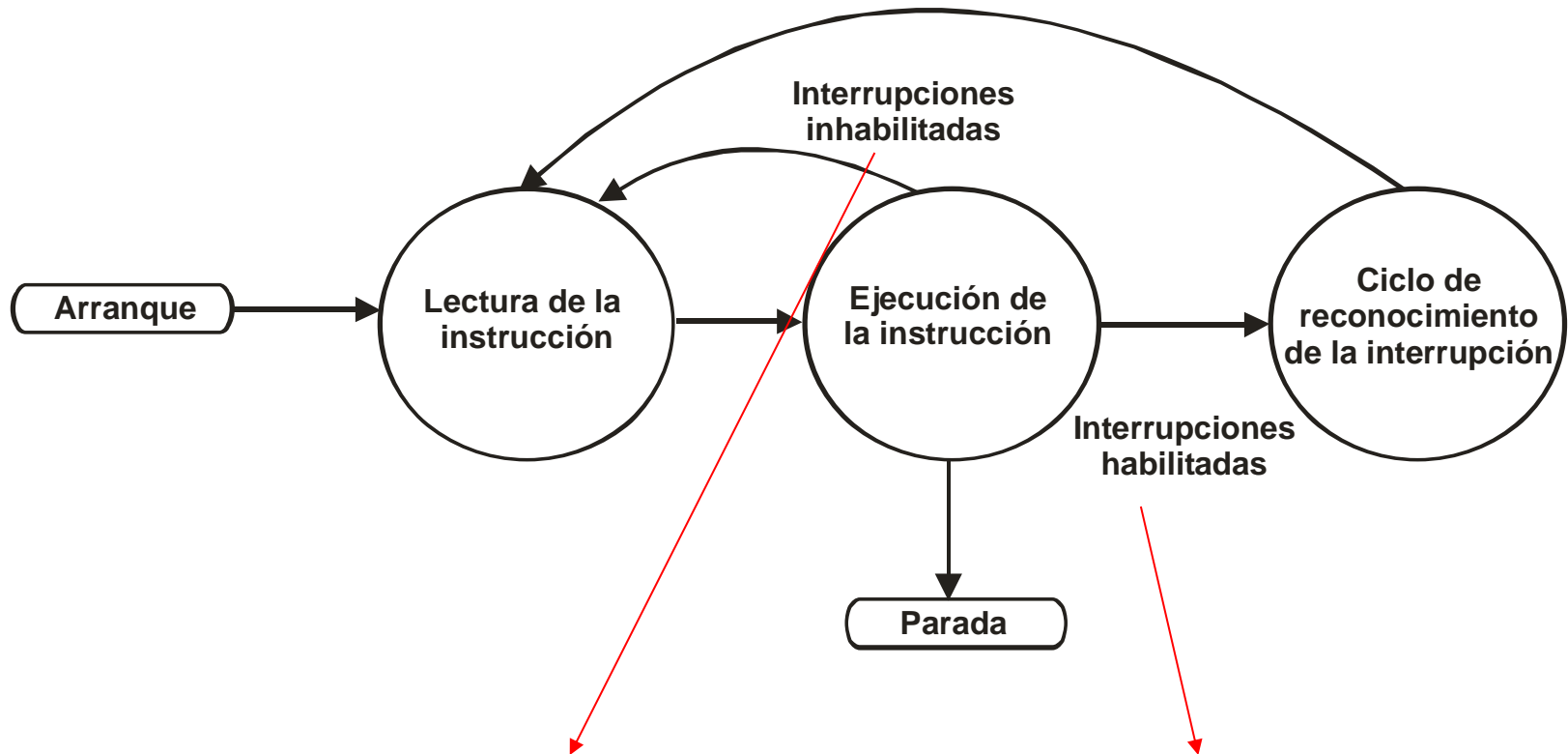
The screenshot shows the 'Información del sistema' window in Windows. The left sidebar has 'IRQs' selected under 'Recursos de hardware'. The main pane displays a table of system resources and their status.

Recurso	Dispositivo	Estado
IRQ 0	Cronómetro del sistema	OK
IRQ 1	Teclado PS/2 estándar	OK
IRQ 8	Sistema CMOS/reloj en tiempo real	OK
IRQ 11	Controladora de SMBus de la familia Intel(R) ICH10 - 3A30	OK
IRQ 12	Mouse PS/2 de Microsoft	OK
IRQ 13	Procesador de datos numéricos	OK
IRQ 16	Controladora estándar PCI IDE de doble canal	OK
IRQ 16	Controladora de host universal USB de la familia Intel(R) ICH10 - 3A37	OK
IRQ 17	Puerto raíz PCI Express 1 de la familia Intel(R) ICH10 - 3A40	OK
IRQ 17	Puerto raíz PCI Express 5 de la familia Intel(R) ICH10 - 3A48	OK
IRQ 18	Controladora de host universal USB de la familia Intel(R) ICH10 - 3A36	OK

► Linux

```
cloud9@lab.inf:~$ cat /proc/interrupts
CPU0
 0:   33   IO-APIC  2-edge    timer
 1:  171   IO-APIC  1-edge    i8042
 6:    3   IO-APIC  6-edge    floppy
 8:    1   IO-APIC  8-edge    rtc0
 9:    0   IO-APIC  9-fastioi  acpi
11:   36   IO-APIC 11-fastioi  virtio3, uhci_hcd:usb1
12:   15   IO-APIC 12-edge    i8042
14:    0   IO-APIC 14-edge    ata_piix
15: 289039 IO-APIC 15-edge    ata_piix
...
NMI:        0   Non-maskable interrupts
LOC: 5397142   Local timer interrupts
SPU:        0   Spurious interrupts
PMI:        0   Performance monitoring interrupts
IWI:        0   IRQ work interrupts
...
```

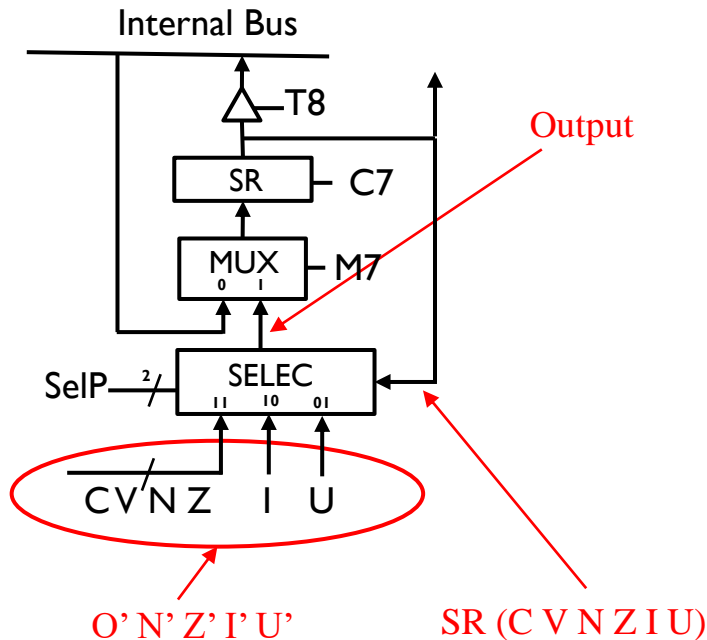
Activación de interrupción en el registro de estado



Se indica con un bit situado en el **registro de estado (I)**

Activación de interrupción en el registro de estado

Operación de SELEC:



if (SelP1 = 1 AND SelP0 == 1)
Output = $C'V'N'Z'I'U$

if (SelP1 == 1 AND SelP0 == 0)
Output = $C'V'N'Z'I'U$

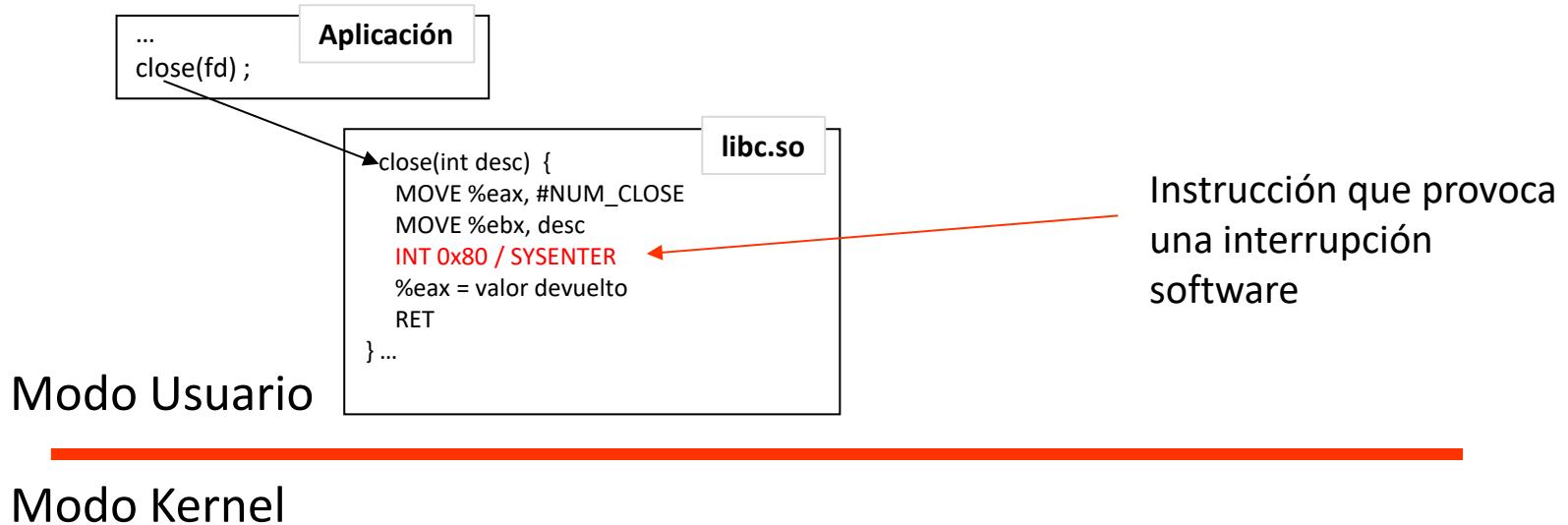
if (SelP1 == 0 AND SelP0 == 1)
Output = $C'V'N'Z'I'U'$

Llamadas al sistema y sistemas operativos

- ▶ El mecanismo de llamadas al sistema es el que permite que los programas de usuario puedan solicitar los servicios que ofrece el sistema operativo
 - ▶ Cargar programas en memoria para su ejecución
 - ▶ Acceso a los dispositivos periféricos
 - ▶ Etc.
- ▶ Similar a las llamadas al sistema que ofrece el simulador CREATOR
 - ▶ Hay ejemplos en WepSIM que muestran cómo internamente se puede implementar las llamadas al sistema

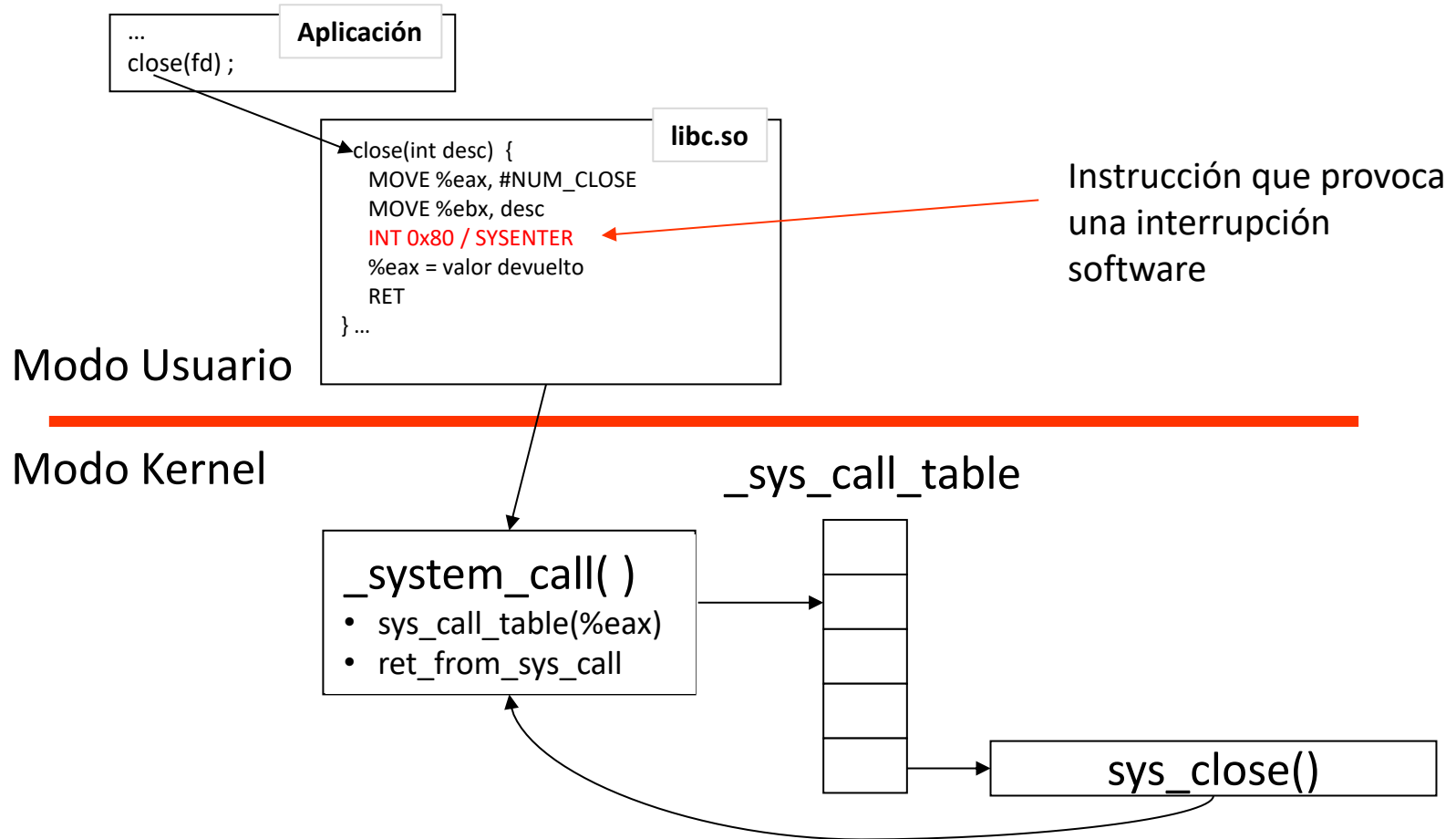
Interrupciones software

Llamadas al sistema (ejemplo: Linux)



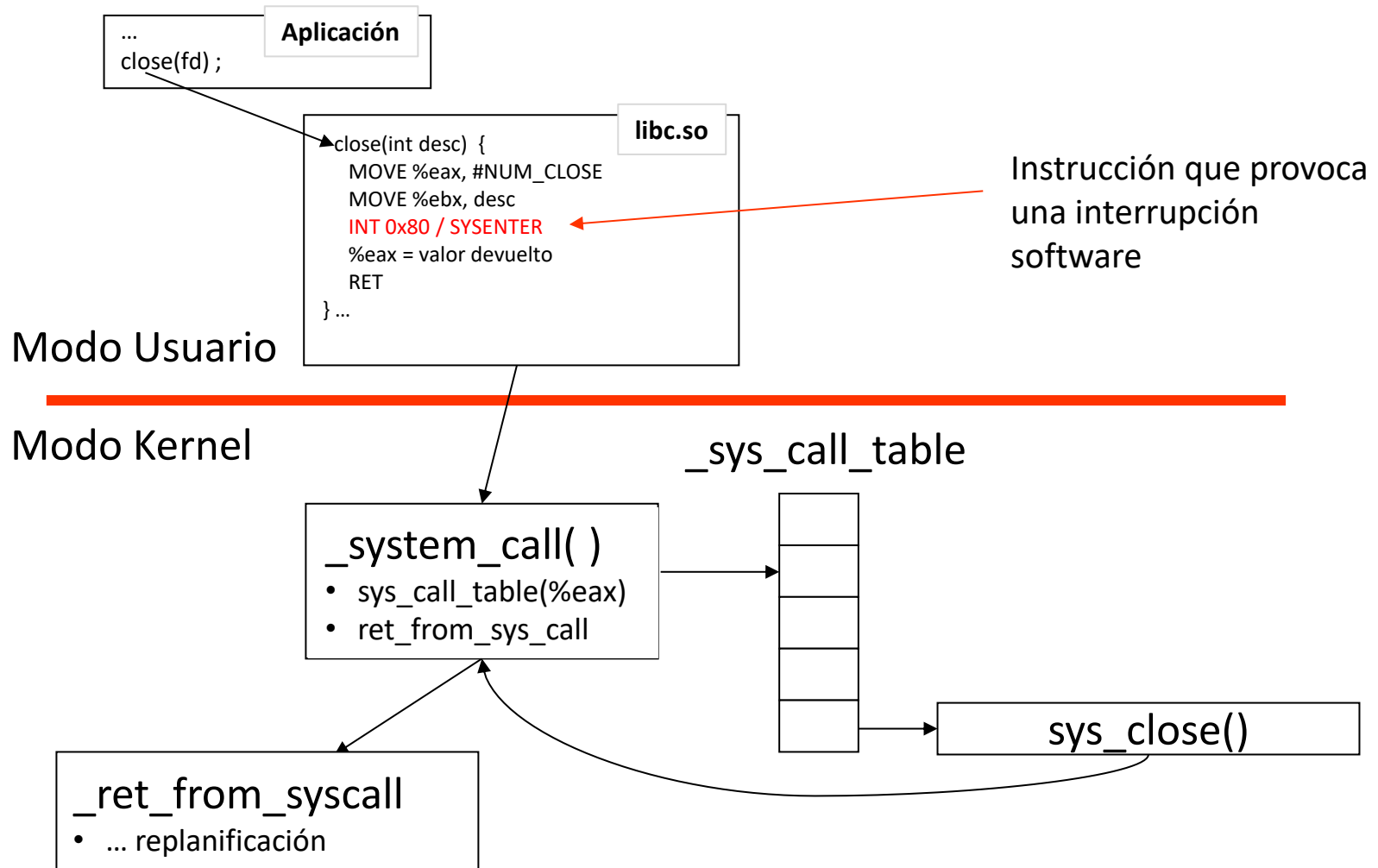
Interrupciones software

Llamadas al sistema (ejemplo: Linux)



Interrupciones software

Llamadas al sistema (ejemplo: Linux)



Interrupciones del reloj y sistemas operativos

WepSIM: int. de reloj

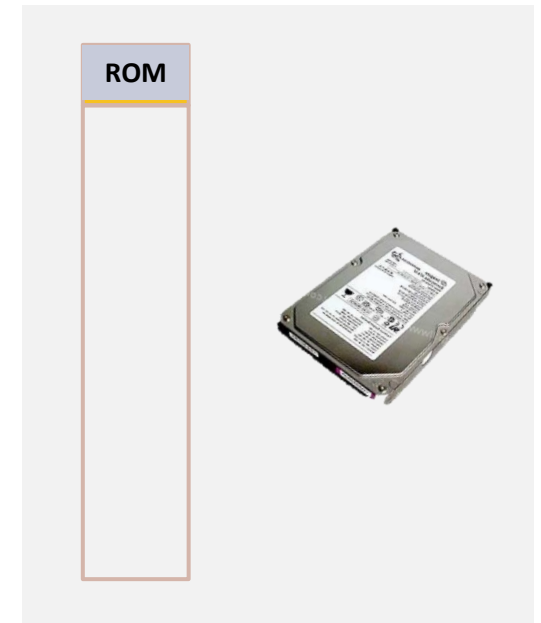
- ▶ La señal que gobierna la ejecución de las instrucciones máquina se divide mediante un divisor de frecuencia para generar una interrupción externa cada cierto intervalo de tiempo (pocos milisegundos)
- ▶ Estas **interrupciones de reloj** o tics son interrupciones periódicas que permite que el sistema operativo entre a ejecutar de forma periódica evitando que un programa de usuario monopolice la CPU
 - ▶ Permite alternar la ejecución de diversos programas en un sistema dado la apariencia de ejecución simultánea
 - ▶ Cada vez que llega una interrupción de reloj se suspende al programa y se salta al sistema operativo que ejecuta el **planificador** para decidir el **siguiente** programa a ejecutar

Contenido

1. Elementos de un computador
2. Organización del procesador
3. La unidad de control
4. Ejecución de instrucciones
5. Diseño de la unidad de control
6. Modos de ejecución
7. Interrupciones
8. Arranque de un computador
9. Prestaciones y paralelismo

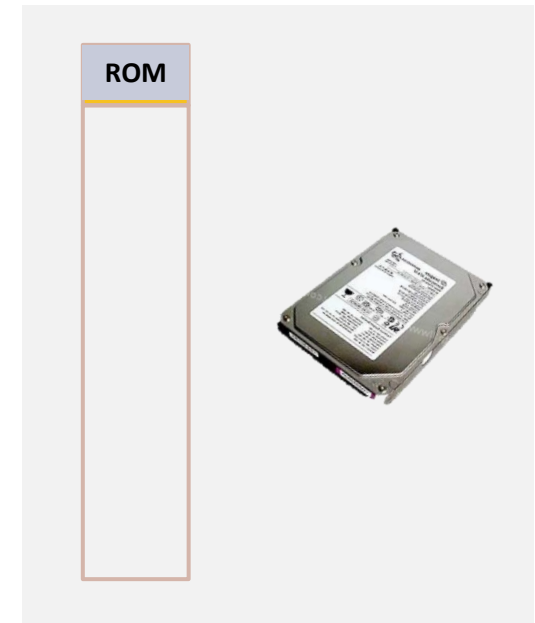
Arranque del computador

- ▶ El *Reset* carga en los registros sus valores predefinidos
 - ▶ $PC \leftarrow$ dirección de arranque del programa iniciador (en memoria ROM)



Arranque del computador

- ▶ El Reset carga en los registros sus valores predefinidos
 - ▶ PC ← dirección de arranque del programa iniciador (en memoria ROM)
- ▶ Se ejecuta el programa iniciador
 - ▶ Test del sistema (POST)



```
Award Modular BIOS v6.00PG, An Energy Star Ally
Copyright (C) 1984-2007, Award Software, Inc.

Intel X38 BIOS for X38-DQ6 F4

Main Processor : Intel(R) Core(TM)2 Extreme CPU X9650 @ 4.00GHz(333x12)
<CPUID:0676 Patch ID:0000>
Memory Testing : 2096064K OK

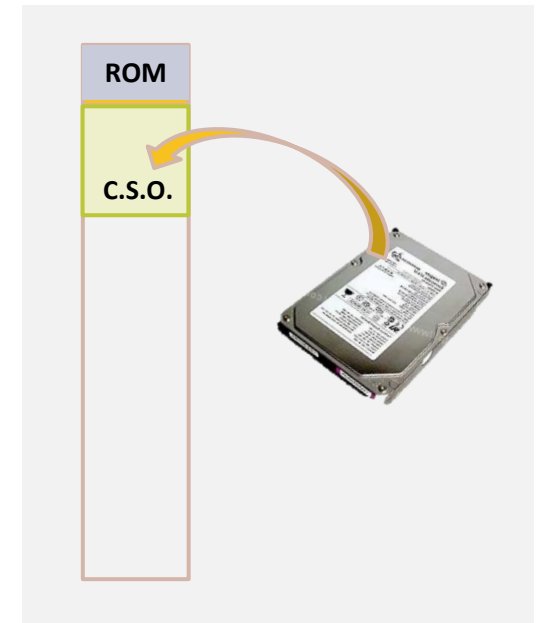
Memory Runs at Dual Channel Interleaved
IDE Channel 0 Slave : WDC WD3200AAJS-00RYA0 12.01B01
IDE Channel 1 Slave : WDC WD3200AAJS-00RYA0 12.01B01

Detecting IDE drives ...
IDE Channel 4 Master : None
IDE Channel 4 Slave : None
IDE Channel 5 Master : None
IDE Channel 5 Slave : None

<DEL>:BIOS Setup <F9>:XpressRecoveryZ <F12>:Boot Menu <End>:Quit
09/19/2007-X38-ICH9-6A79060QC-00
```

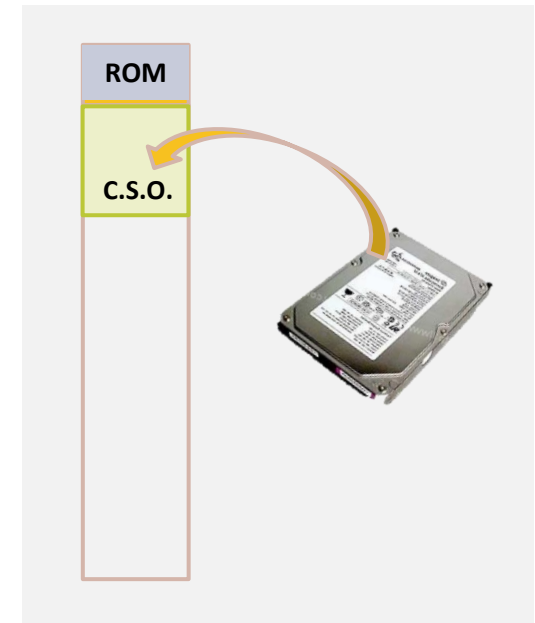
Arranque del computador

- ▶ El *Reset* carga en los registros sus valores predefinidos
 - ▶ PC ← dirección de arranque del **programa iniciador** (en memoria ROM)
- ▶ Se ejecuta el **programa iniciador**
 - ▶ Test del sistema (POST)
 - ▶ Carga en memoria el **cargador del sistema operativo (MBR)**



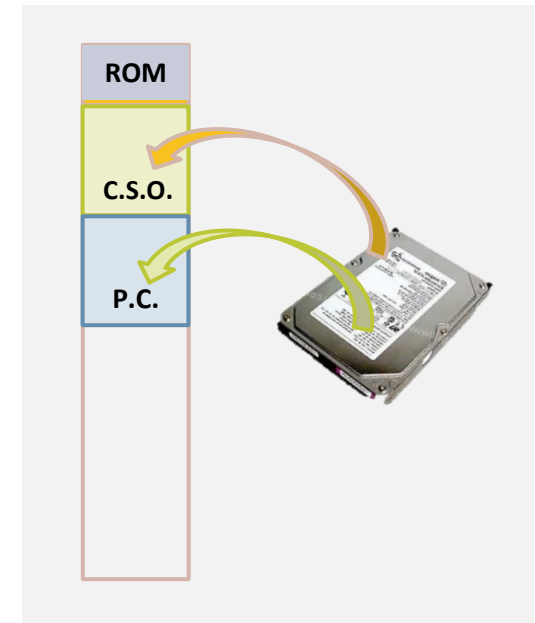
Arranque del computador

- ▶ El *Reset* carga en los registros sus valores predefinidos
 - ▶ PC ← dirección de arranque del **programa iniciador** (en memoria ROM)
- ▶ Se ejecuta el **programa iniciador**
 - ▶ Test del sistema (POST)
 - ▶ Carga en memoria el **cargador del sistema operativo (MBR)**
- ▶ Se ejecuta el **cargador del sistema operativo**
 - ▶ Establece opciones de arranque



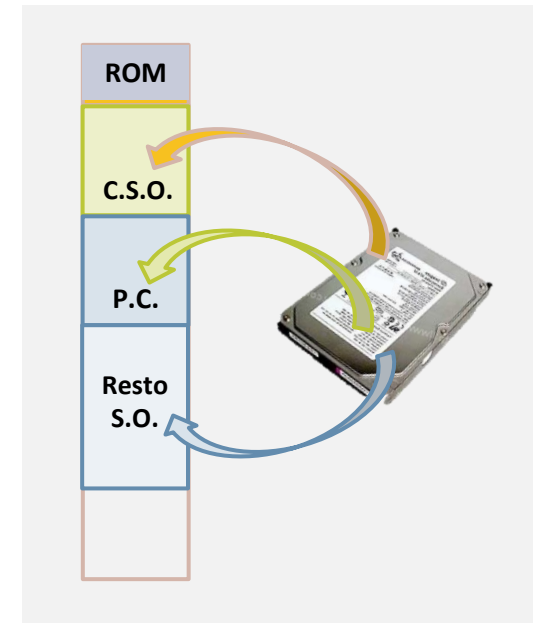
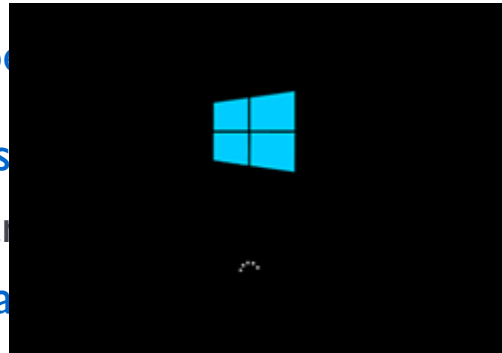
Arranque del computador

- ▶ El *Reset* carga en los registros sus valores predefinidos
 - ▶ PC ← dirección de arranque del **programa iniciador** (en memoria ROM)
- ▶ Se ejecuta el **programa iniciador**
 - ▶ Test del sistema (POST)
 - ▶ Carga en memoria el **cargador del sistema operativo (MBR)**
- ▶ Se ejecuta el **cargador del sistema operativo**
 - ▶ Establece opciones de arranque
 - ▶ Carga el **programa de carga**



Arranque del computador

- ▶ El **Reset** carga en los registros sus valores predefinidos
 - ▶ PC ← dirección de arranque del **programa iniciador** (en memoria ROM)
- ▶ Se ejecuta el **programa iniciador**
 - ▶ Test del sistema (POST)
 - ▶ Carga en memoria el **cargador del sistema operativo**
- ▶ Se ejecuta el **cargador del sistema operativo**
 - ▶ Establece opciones de arranque
 - ▶ Carga el **programa de carga**
- ▶ Se ejecuta el **programa de carga**
 - ▶ Establece estado inicial para el S.O.
 - ▶ Carga el sistema operativo y lo ejecuta

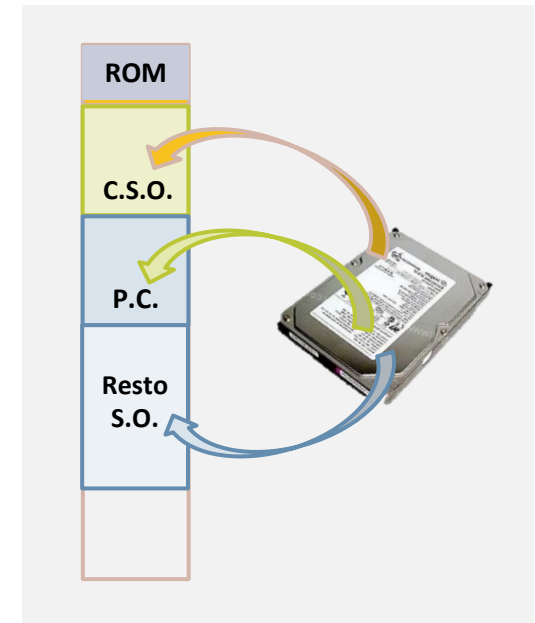


```
Configuring ISA PNP
Setting system time from the hardware clock (localtime).
Using /etc/random-seed to initialize /dev/urandom.
Initializing basic system settings ...
Updating shared libraries
Setting hostname: engpc23.murdoch.edu.au
INIT: Entering runlevel: 4
rc.M ==> Going multiuser...
Starting system logger ... [ OK ]
Initialising advanced hardware
Setting up modules ... [ OK ]
Initialising network
Setting up localhost ... [ OK ]
Setting up inet1 ... [ OK ]
Setting up route ... [ OK ]
Setting up fancy console and GUI
Loading fc-cache ... [ OK ]
rc.v1init ==> Going to runlevel 4
Starting services of runlevel 4
Starting dnsmasq ... [ OK ]
==> rc.X Going to multiuser GUI mode ...
XFree86 Display Manager
Framebuffer /dev/fb0 is 307200 bytes.
Grabbing 640x480 ...
```

Arranque del computador

resumen

- ▶ El *Reset* carga en los registros sus valores predefinidos
 - ▶ PC ← dirección de arranque del **programa iniciador** (en memoria ROM)
- ▶ Se ejecuta el **programa iniciador**
 - ▶ Test del sistema (POST)
 - ▶ Carga en memoria el **cargador del sistema operativo (MBR)**
- ▶ Se ejecuta el **cargador del sistema operativo**
 - ▶ Establece opciones de arranque
 - ▶ Carga el **programa de carga**
- ▶ Se ejecuta el **programa de carga**
 - ▶ Establece estado inicial para el S.O.
 - ▶ Carga el sistema operativo y lo ejecuta



Contenido

1. Elementos de un computador
2. Organización del procesador
3. La unidad de control
4. Ejecución de instrucciones
5. Diseño de la unidad de control
6. Modos de ejecución
7. Interrupciones
8. Arranque de un computador
9. Prestaciones y paralelismo

Tiempo de ejecución de un programa

Iron law of processor performance

$$\text{Tiempo}_{\text{ejecución}} = \text{NI} \times \text{CPI} \times t_{\text{ciclo_CPU}} + \text{NI} \times \text{AMI} \times t_{\text{ciclo_mem}}$$

- ▶ **NI** es el número de instrucciones máquina del programa
- ▶ **CPI** es el número medio de ciclos de reloj necesario para ejecutar una instrucción
- ▶ **$t_{\text{ciclo_CPI}}$** es el tiempo que dura el ciclo de reloj del procesador
- ▶ **AMI** es el número medio de accesos a memoria por instrucción
- ▶ **$t_{\text{ciclo_mem}}$** es el tiempo de un acceso a memoria

Factores que afecta al tiempo de ejecución

	NI	CPI	$t_{\text{ciclo_CPI}}$	AMI	$t_{\text{ciclo_mem}}$
Programa	✓			✓	
Compilador	✓	✓		✓	
Juego de instrucciones (ISA)	✓	✓	✓	✓	
Organización		✓	✓		✓
Tecnología			✓		✓

Paralelismo a nivel de instrucción

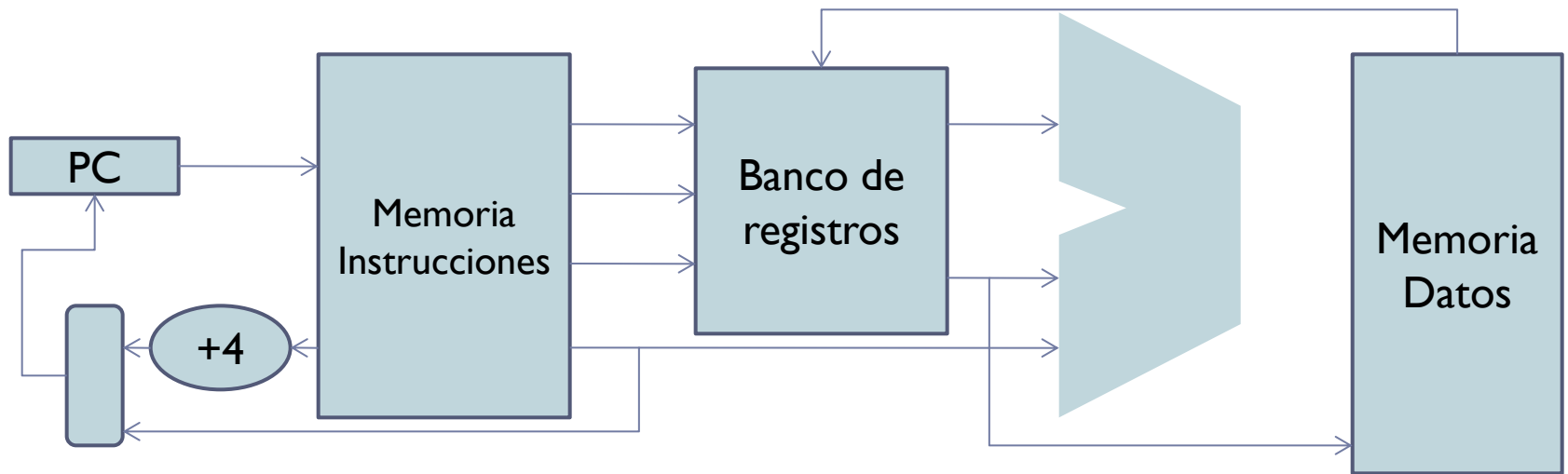
- ▶ Procesamiento concurrente de varias instrucciones
- ▶ Combinación de elementos que trabajan en paralelo:
 - ▶ **Procesadores segmentados**: utilizan técnicas de pipeline para procesar varias instrucciones simultáneamente
 - ▶ **Procesadores superescalares**: procesador segmentado que puede ejecutar varias instrucciones en paralelo cada una de ellas en una unidad segmentada diferente
 - ▶ **Procesadores multicore**: procesador que combina dos o más procesadores independientes en un solo empaquetado

Segmentación de instrucciones



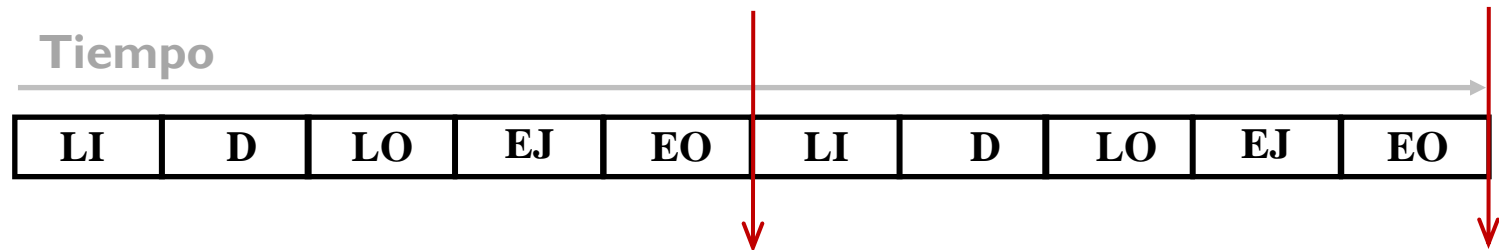
- ▶ **Etapas de ejecución de una instrucción:**
 - ▶ **LI**: Lectura de la instrucción e incremento del PC
 - ▶ **D**: Decodificación
 - ▶ **LO**: Lectura de Operandos
 - ▶ **Ej**: Ejecución de la instrucción
 - ▶ **EO**: Escritura de Operandos

Modelo de procesador basado en camino de datos (sin bus interno)



Segmentación de instrucciones

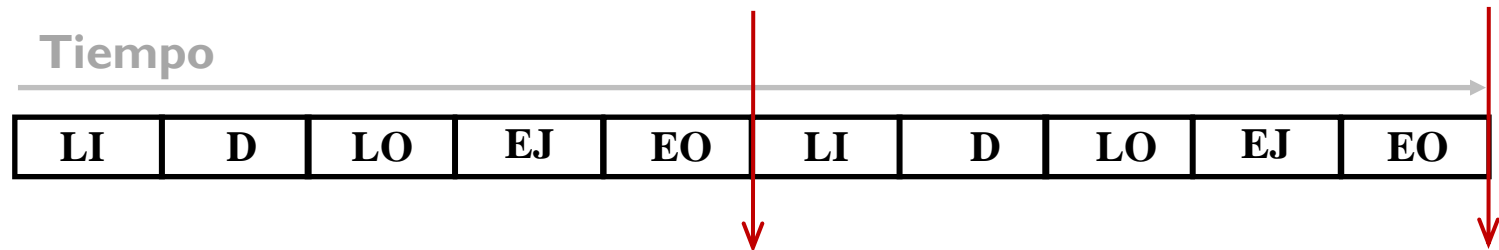
sin pipeline



- ▶ Etapas de ejecución de una instrucción:
 - ▶ **LI**: Lectura de la instrucción e incremento del PC
 - ▶ **D**: Decodificación
 - ▶ **LO**: Lectura de Operandos
 - ▶ **EJ**: Ejecución de la instrucción
 - ▶ **EO**: Escritura de Operandos

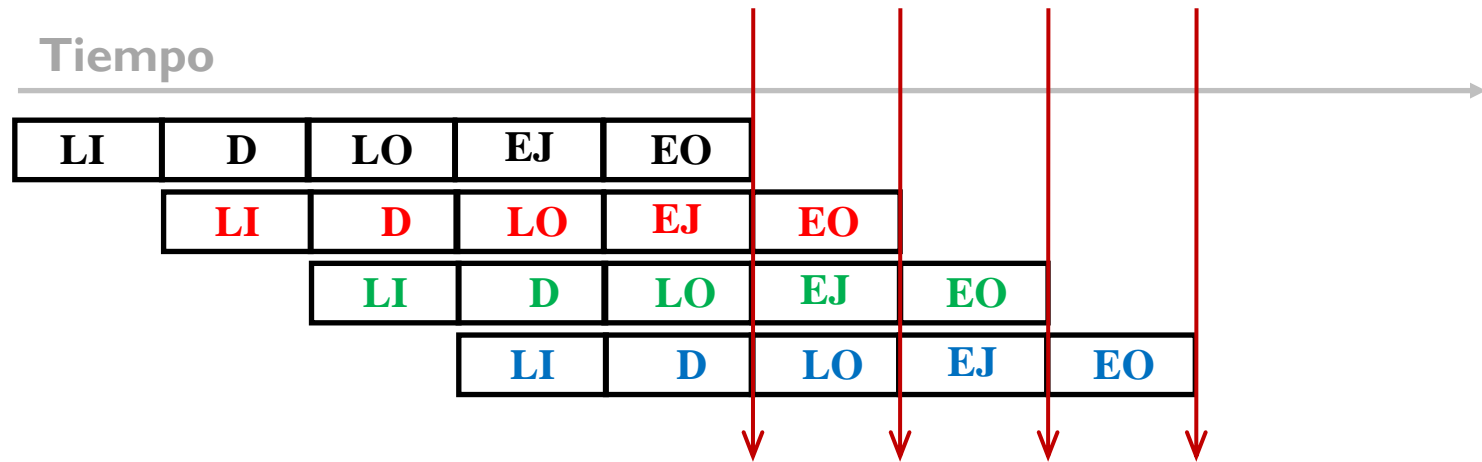
Segmentación de instrucciones

sin pipeline



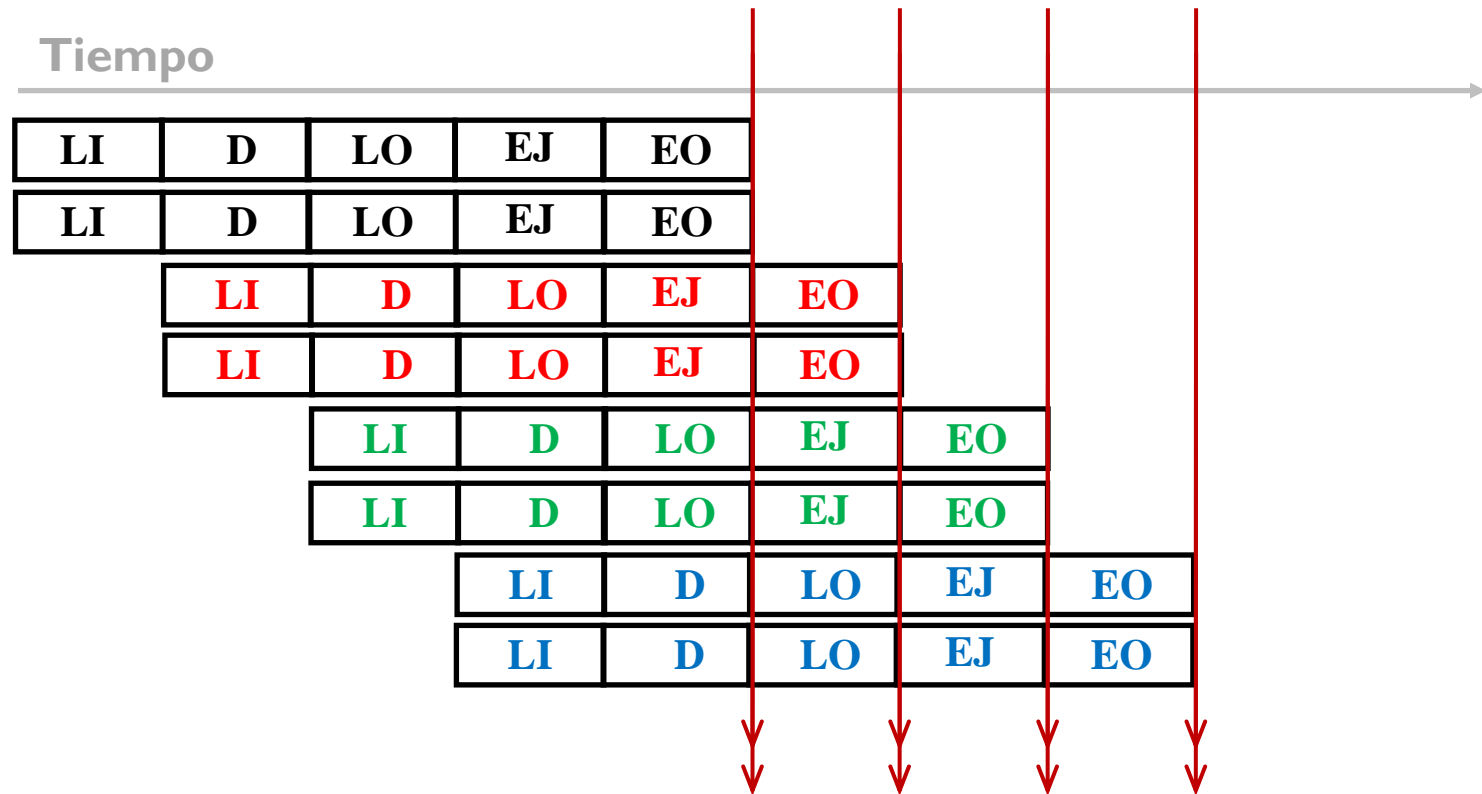
- ▶ Si cada fase dura N ciclos de reloj, entonces
 - ▶ Una instrucción se ejecuta en $5 \cdot N$ ciclos de reloj
 - ▶ Se ejecuta $1/5$ de instrucción cada N ciclos de reloj

Segmentación de instrucciones con pipeline



- ▶ Si cada fase dura N ciclos de reloj, entonces
 - ▶ Una instrucción se ejecuta en $5 \cdot N$ ciclos de reloj
 - ▶ Cada N ciclos de reloj termina 1 de instrucción

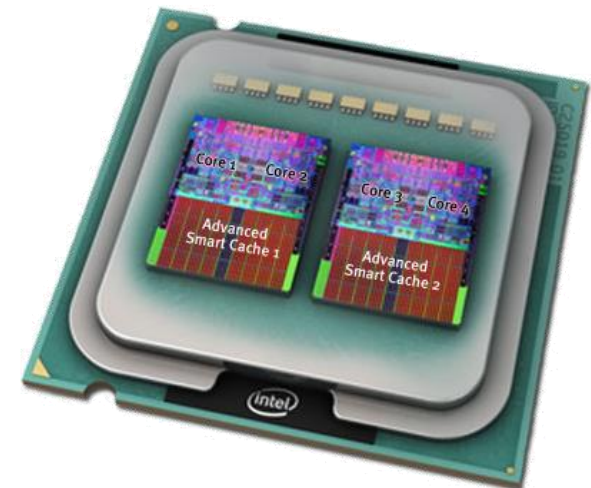
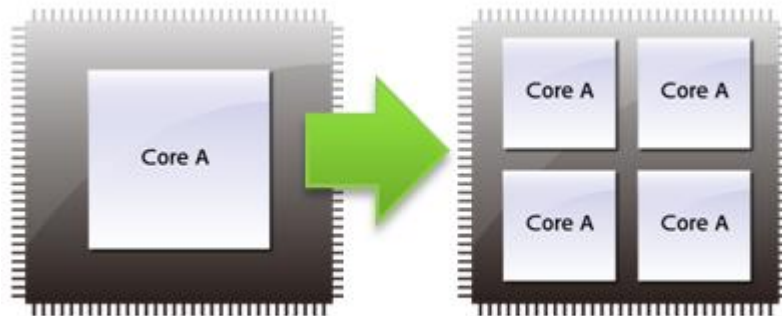
Superescalar



- Pipeline con varias unidades funcionales en paralelo

Multicore

- Múltiples procesadores en el mismo encapsulado



Grupo ARCOS

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

Tema 4 (III) El procesador

Estructura de Computadores
Grado en Ingeniería Informática