



Tema 4. Segmentación

Arquitectura de los Computadores

Tema 4. Segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Objetivos:

- Mostrar al alumno conceptos relativos a segmentación.
- Proporcionar una clasificación de las arquitecturas segmentadas.
- Proponer varios niveles de aplicación de la segmentación.
- Profundizar en la segmentación del repertorio de instrucciones, utilizando la arquitectura MIPS como caso de estudio y manteniendo la continuidad con respecto a temas anteriores.
- Estudiar los cauces aritméticos
- Introducir las técnicas de optimización de unidades segmentadas
- Introducir conceptos de superescalares

Tema 4. Segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- **1. Introducción**
- **2. Segmentación del repertorio de instrucciones**
- **3. Cauces aritméticos**
- **4. Optimización de unidades segmentadas**
- **5. Superescalares**

4.1 Introducción

Tema 4. Segmentación

Arquitectura de los Computadores

Segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

❖ 4.1. INTRODUCCIÓN

- ❖ Concepto de segmentación
- ❖ Clasificación de las arquitecturas segmentadas Niveles de aplicación.
- ❖ Análisis de prestaciones

Concepto de segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- La segmentación es una de las claves que permite **aumentar el rendimiento** en los computadores.
- Analogía con una cadena de montaje industrial
 - La ejecución de un tarea se divide en etapas, cada elemento de la cadena se especializa en realizar una operación concreta.
- Explota el **paralelismo temporal**
 - Opera de forma serie para una pieza determinada
 - Ejecución de varias tareas simultáneas en diferentes etapas

Concepto. Secuencial

Introducción

Segmentación
del repertorio

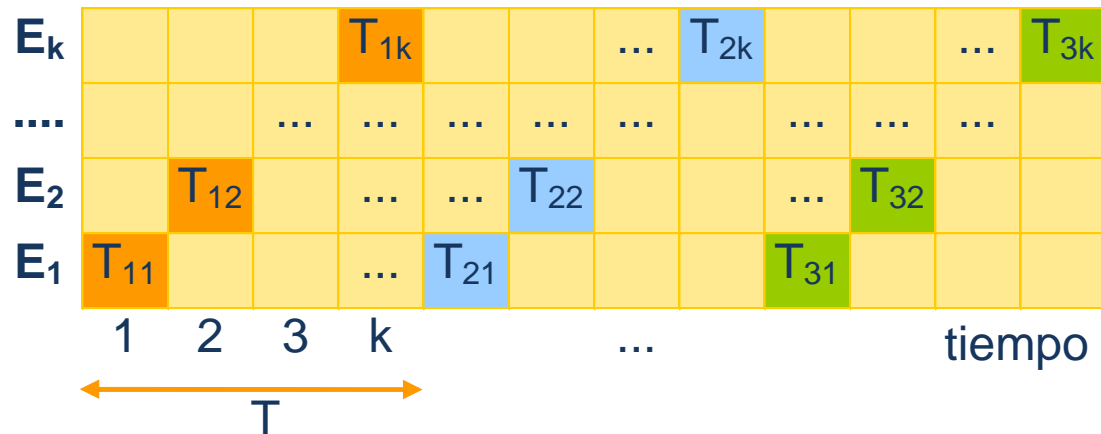
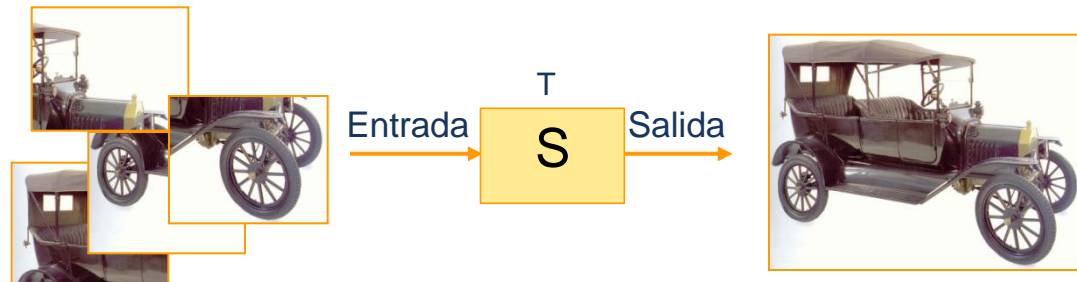
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- Una tarea puede realizarse cuando todos los **recursos** que necesita estén **disponibles**



- Equipo de trabajo, **trabajadores especializados** que descansan hasta que vuelvan a entrar los materiales
- Sólo un trabajador** (un recurso)

Concepto. Secuencial

- Una tarea puede realizarse cuando todos los **recursos** que necesita estén **disponibles**



E_k				T_{1k}			...	T_{2k}			...	T_{3k}
....			
E_2		T_{12}		T_{22}			...	T_{32}		
E_1	T_{11}			...	T_{21}				T_{31}			
	1	2	3	k			...					
	tiempo											
	\longleftrightarrow T											

Segmentación



Concepto. Secuencial

Introducción

Segmentación
del repertorio

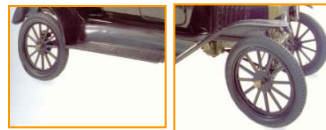
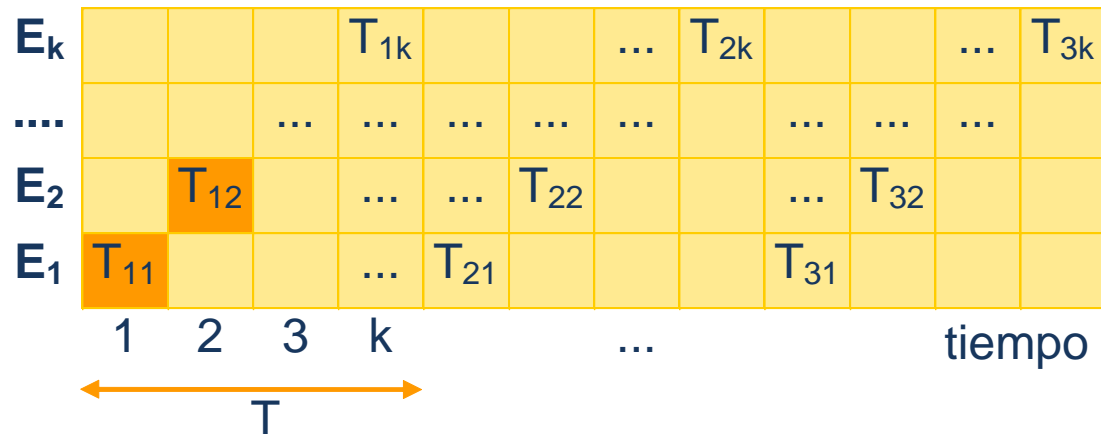
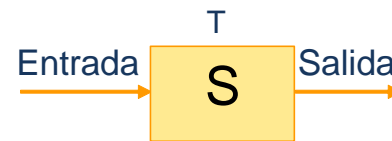
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

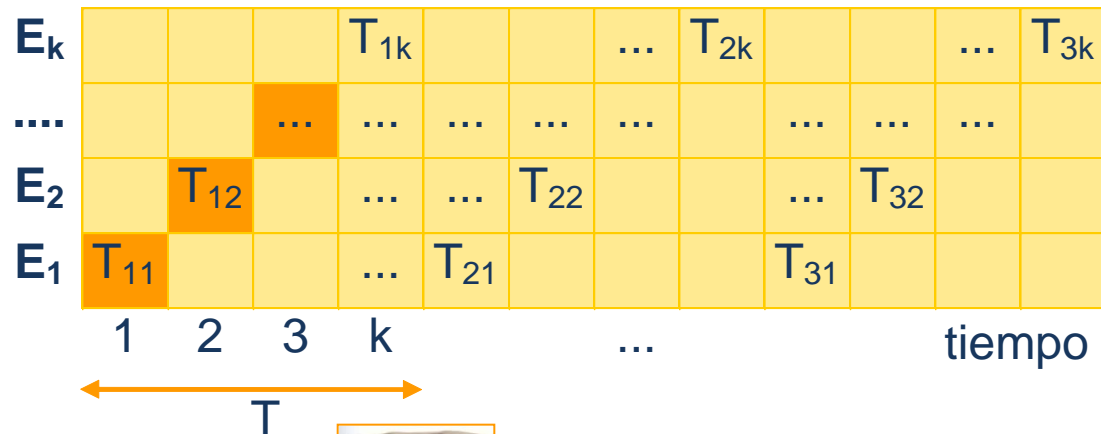
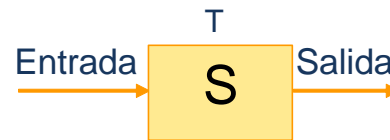
Segmentación

- Una tarea puede realizarse cuando todos los **recursos** que necesita estén **disponibles**



Concepto. Secuencial

- Una tarea puede realizarse cuando todos los **recursos** que necesita estén **disponibles**



Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

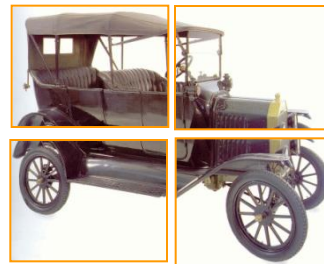
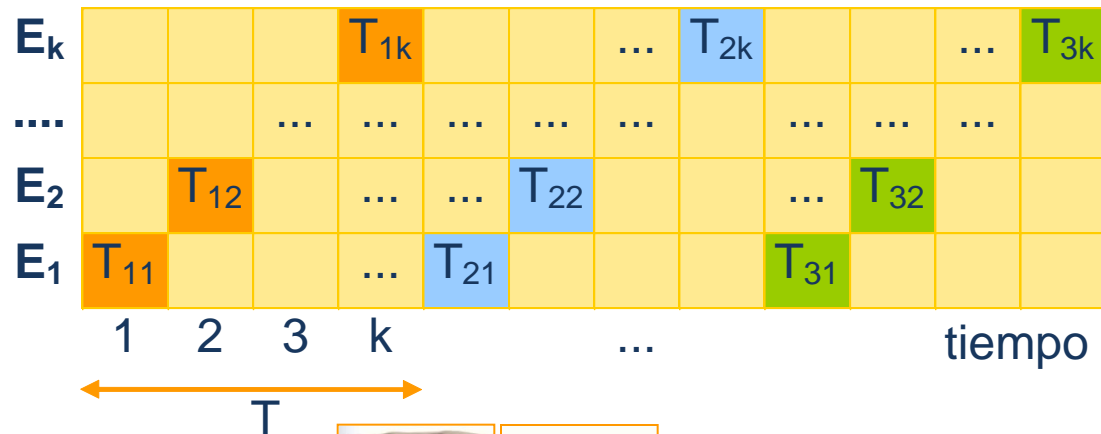
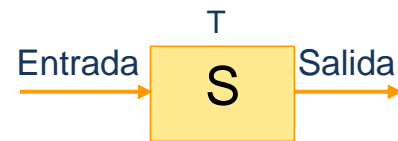
Optimización

Superescalares

Segmentación

Concepto. Secuencial

- Una tarea puede realizarse cuando todos los **recursos** que necesita estén **disponibles**



Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Concepto. Con segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

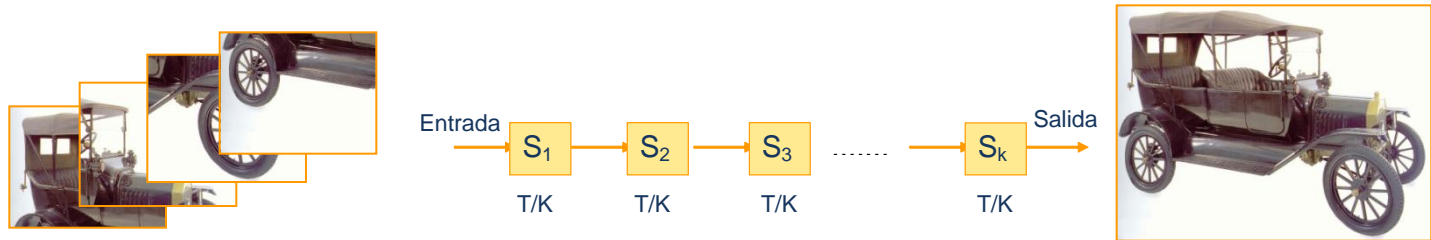
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- El comienzo de una tarea en una etapa sólo requiere la finalización de la tarea anterior en esa etapa



E_k				T_{1k}	T_{2k}	T_{3k}	T_{4k}				T_{nk}
....		
E_2		T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}				T_{n2}		
E_1	T_{11}	T_{21}	T_{31}	T_{41}					T_{n1}		
	1	2	3	4			...	n			tiempo

- Cada trabajador pasa al siguiente trabajador de la cadena el estado actual del trabajo mientras puede comenzar a trabajar en el siguiente vehículo

Concepto. Con segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

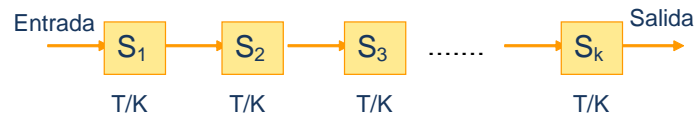
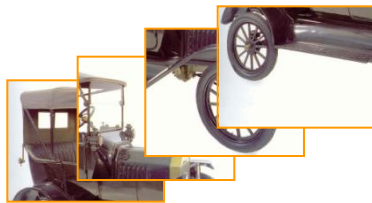
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- El comienzo de una tarea en una etapa sólo requiere la finalización de la tarea anterior en esa etapa



E_k				T_{1k}	T_{2k}	T_{3k}	T_{4k}				T_{nk}
....		
E_2		T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}				T_{n2}		
E_1	T_{11}	T_{21}	T_{31}	T_{41}				T_{n1}			
	1	2	3	4			...	n			
											tiempo ciclos



Concepto. Con segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

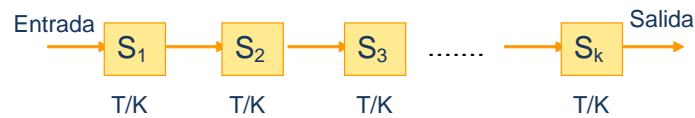
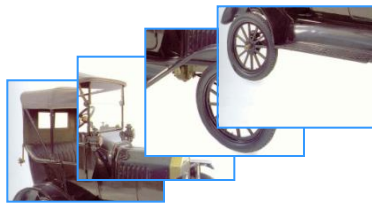
Caudales
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- El comienzo de una tarea en una etapa sólo requiere la finalización de la tarea anterior en esa etapa



E_k				T_{1k}	T_{2k}	T_{3k}	T_{4k}				T_{nk}
....		
E_2		T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}				T_{n2}		
E_1	T_{11}	T_{21}	T_{31}	T_{41}				T_{n1}			
	1	2	3	4			...	n			
											tiempo ciclos



Concepto. Con segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

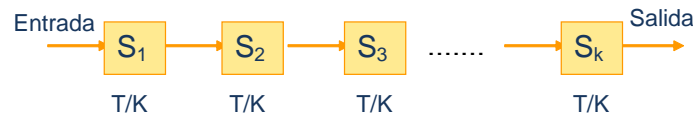
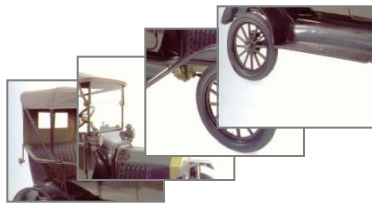
Caudales
aritméticos

Optimización

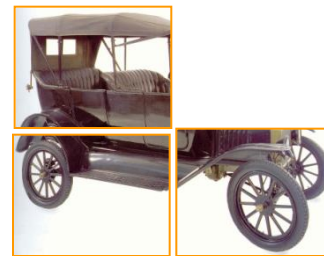
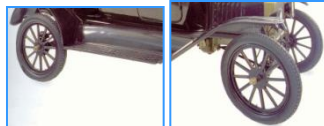
Superescalares

Segmentación

- El comienzo de una tarea en una etapa sólo requiere la finalización de la tarea anterior en esa etapa



E_k				T_{1k}	T_{2k}	T_{3k}	T_{4k}				T_{nk}
....		
E_2		T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}				T_{n2}		
E_1	T_{11}	T_{21}	T_{31}	T_{41}				T_{n1}			
	1	2	3	4			...	n			
											tiempo ciclos



Concepto. Con segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

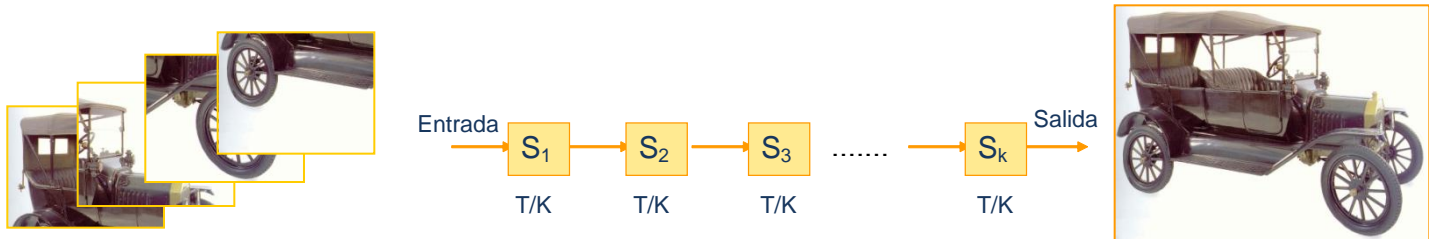
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

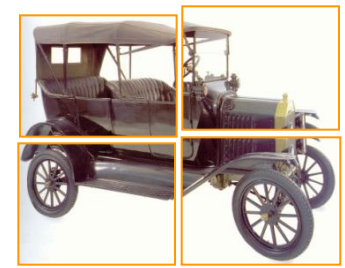
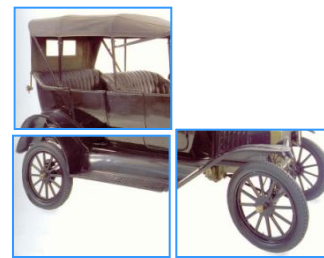
Segmentación

- El comienzo de una tarea en una etapa sólo requiere la finalización de la tarea anterior en esa etapa



E_k				T_{1k}	T_{2k}	T_{3k}	T_{4k}				T_{nk}
....		
E_2		T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}				T_{n2}		
E_1	T_{11}	T_{21}	T_{31}	T_{41}					T_{n1}		
	1	2	3	4				...	n		

tiempo
ciclos



Concepto. Con segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

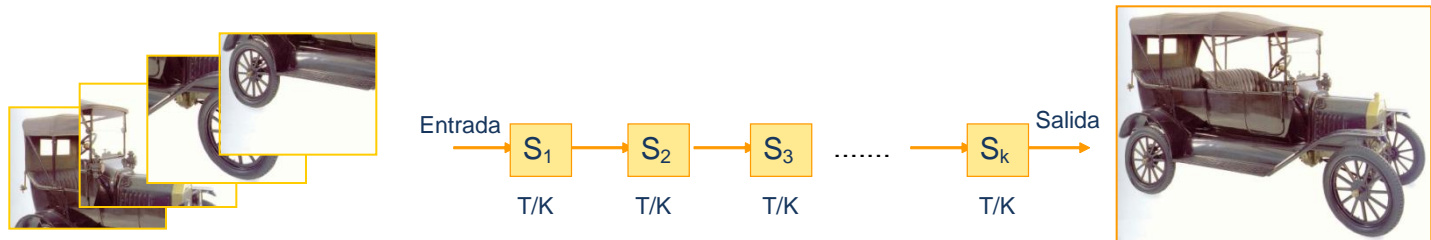
Cauces
aritméticos

Optimización

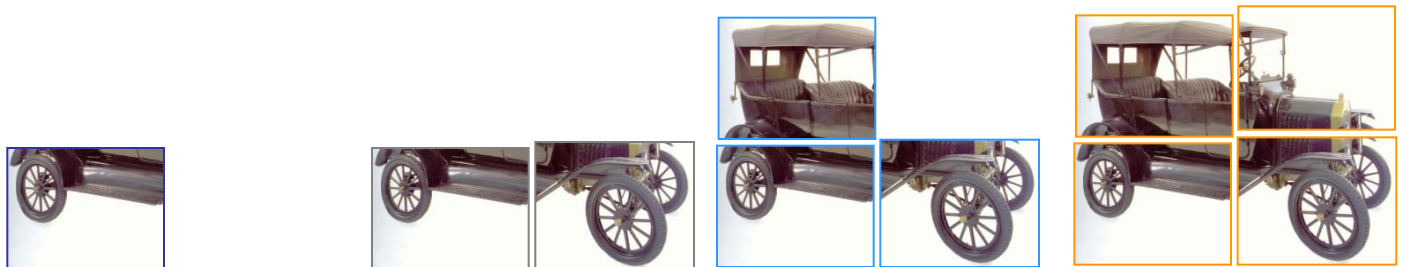
Superescalares

Segmentación

- El comienzo de una tarea en una etapa sólo requiere la finalización de la tarea anterior en esa etapa



E_k				T_{1k}	T_{2k}	T_{3k}	T_{4k}				T_{nk}
....		
E_2		T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}				T_{n2}		
E_1	T_{11}	T_{21}	T_{31}	T_{41}					T_{n1}		
	1	2	3	4			...	n			tiempo



Concepto. Con segmentación

Introducción

Segmentación
del repertorio

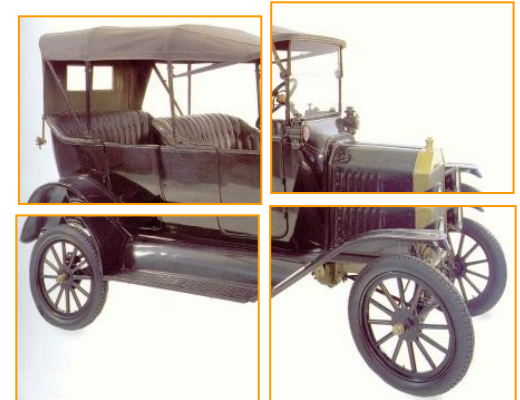
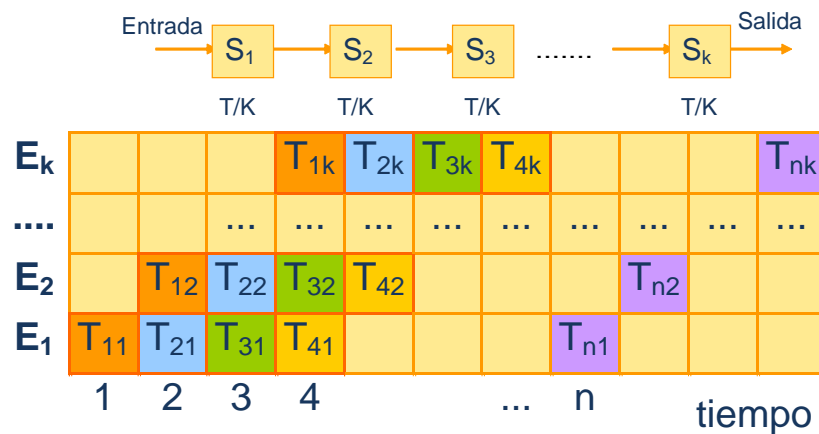
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- Factor determinante: descomposición tarea a realizar en etapas
 - Distribución uniforme del tiempo** (caso ideal)
 - Etapa más lenta actúa como cuello de botella
 - Ajustar el ritmo de trabajo a la etapa más lenta
- Es necesario contemplar:
 - Para que cada trabajador pueda pasar el trabajo necesita tiempo para preparar y distribuir la parte del vehículo que lleva fabricada
 - También tener en cuenta que la nueva organización necesaria para controlar el proceso puede ser muy compleja



Clasificación procesadores segmentados

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

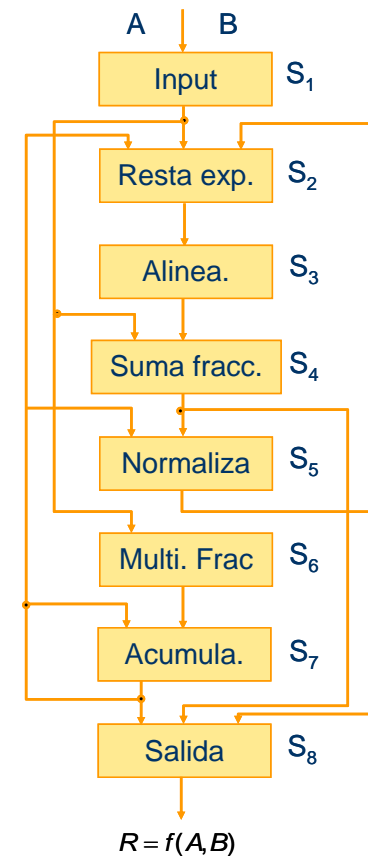
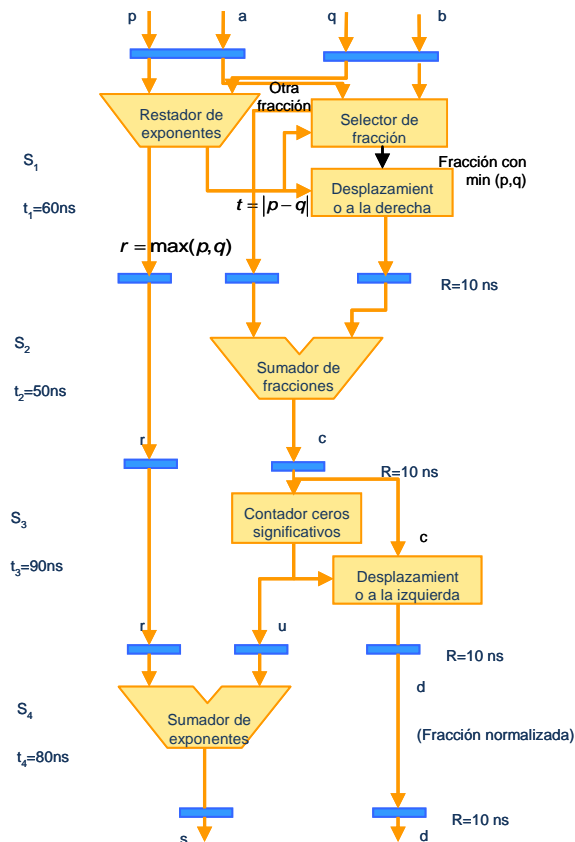
Superescalares

Segmentación

Por tipo de cauce:

● **Unifunción:** ejecutan un único proceso (ejemplo: sumador).

● **Multifunción:** pueden ejecutar varios procesos (ejemplo: TI-ASC)



Clasificación procesadores segmentados

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

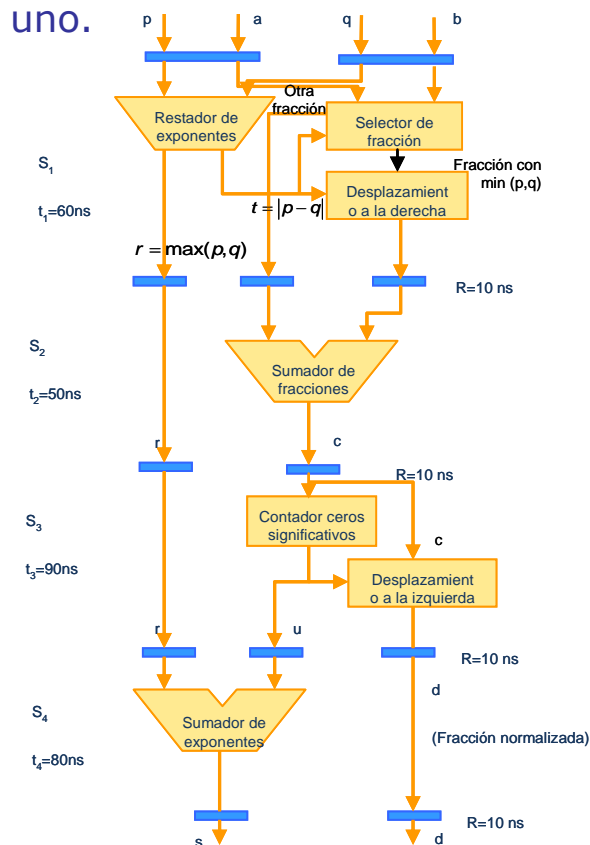
Optimización

Superescalares

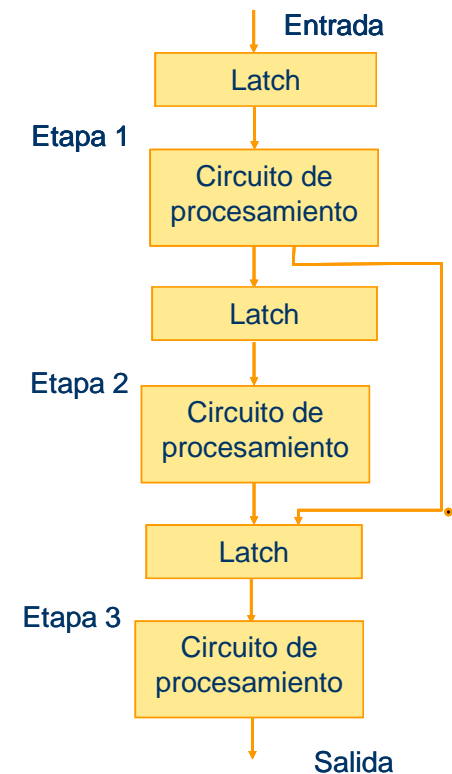
Segmentación

Por tipo de cauce:

● **Estáticos:** en un instante determinado sólo pueden ejecutar uno.



● **Dinámicos:** pueden ejecutar simultáneamente varios procesos.



Clasificación procesadores segmentados

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

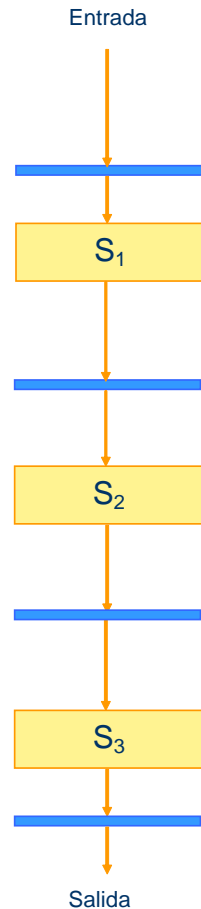
Optimización

Superescalares

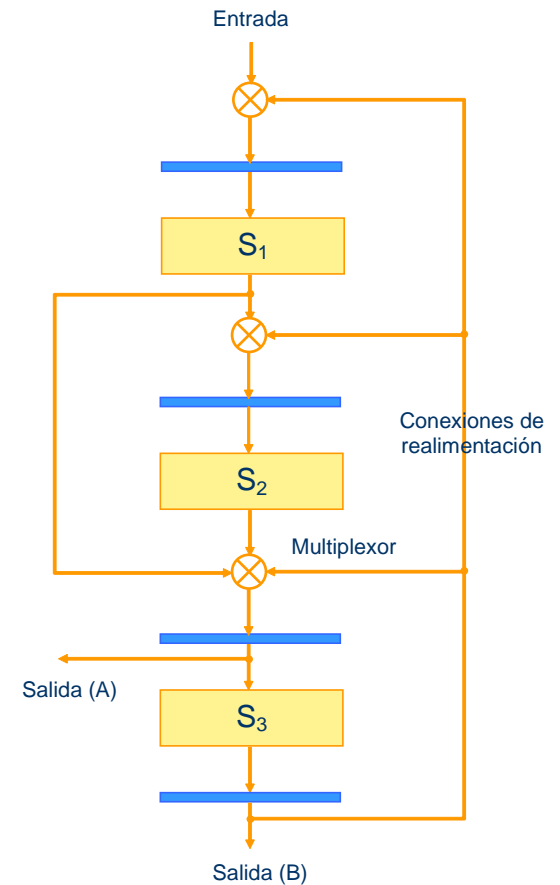
Segmentación

Por tipo de cauce:

● **Lineal:** a cada etapa sólo le puede seguir otra etapa concreta.



● **No lineal:** se pueden establecer recorridos complejos de las etapas.



Clasificación procesadores segmentados

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

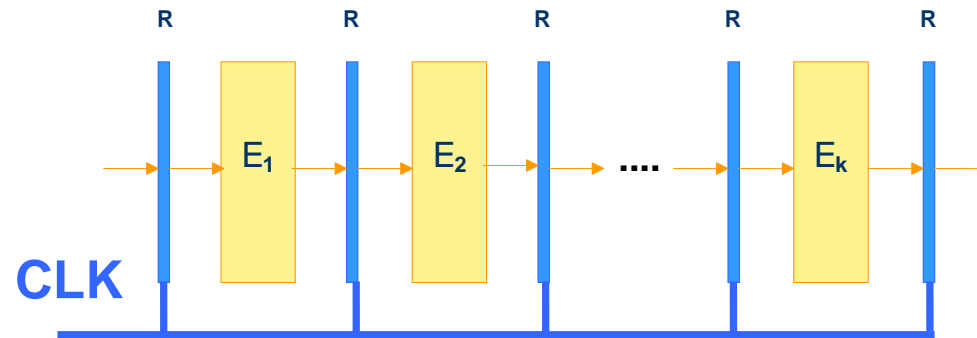
Optimización

Superescalares

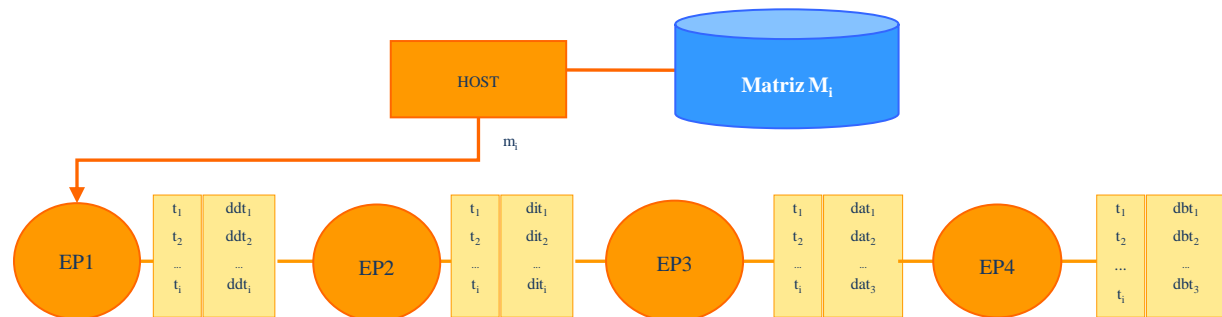
Segmentación

Por tipo de cauce:

● **Síncrono:** Una señal de reloj.



● **Asíncrono:** Cada etapa funciona de forma autónoma.



● Protocolo comunicación entre etapas (semáforos, paso de mensajes).

Clasificación procesadores segmentados

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

■ **Por niveles de aplicación:**

■ Segmentación aritmética

- Ejecutan una o varias operaciones de la ALU
- Pueden ser lineales (sumas) o no lineales (división). En este caso suelen ser cíclicos (bucles).
- Los procesadores actuales incluyen varias ALUs segmentadas y cada una se puede ocupar de varias operaciones.

■ Segmentación de instrucciones

- Suelen ser cauces lineales
- Algunas de sus fases pueden a su vez sub-segmentarse (uso de una ALU segmentada para la fase de ejecución)

■ Segmentación de procesadores

Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- Se descompone cada operación aritmética en distintas etapas y se realiza un diseño encauzado de la ALU
- Técnica empleada por la mayoría de los computadores.
 - Unidad de punto flotante de tres etapas del clásico del MC68040.
 - La unidad de punto flotante del IBM 360/Model 91 con dos cauces. Un sumador de 2 etapas y un multiplicador de 6.
 - El cauce multifunción de 8 etapas del TI ASC.
 - Operaciones vectoriales del Cray-1 desde 1 a 14 etapas dependiendo del tipo de operación
 - Supercomputadores NEC SX2, Fujitsu VP400, Hitachi S820, Cray Y-MP
 - Procesadores NEC SX6 utilizado en los 640 nodos del Earh Simulator
 - Unidades punto flotante, MMX y SSE de microprocesadores de Intel y AMD

Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

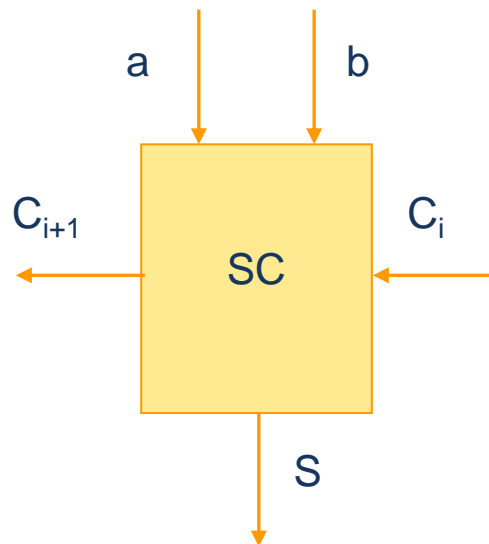
Optimización

Superescalares

Segmentación

- Sumador de tres bits con propagación de acarreo
 - Compararemos el caso secuencial frente al segmentado

Sumador completo



Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

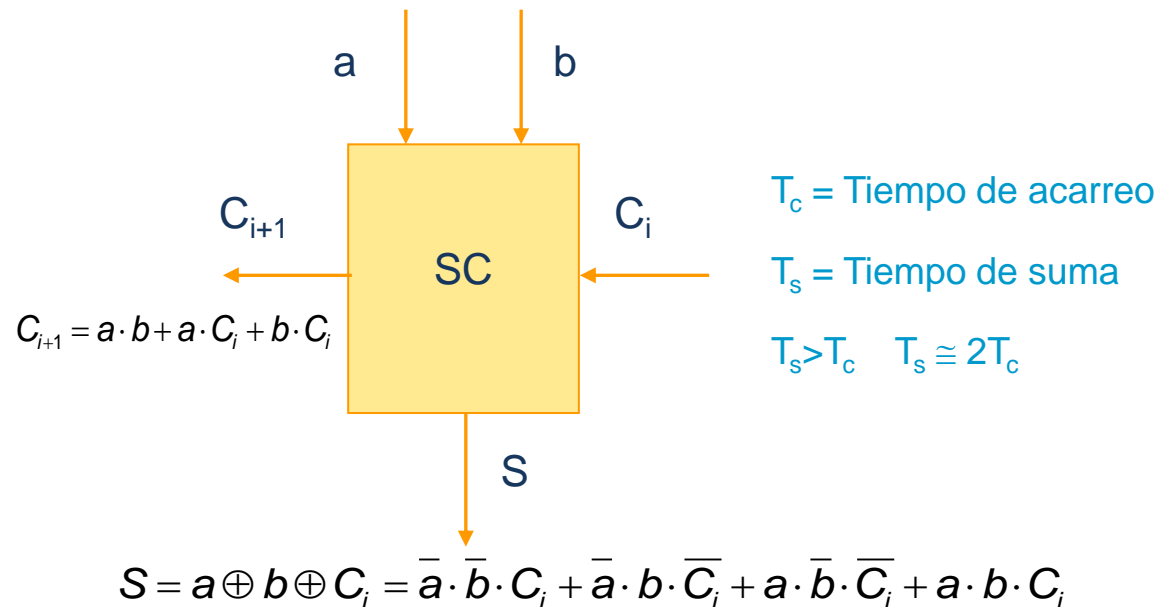
Optimización

Superescalares

Segmentación

- Sumador de tres bits con propagación de acarreo
 - Compararemos el caso secuencial frente al segmentado

Sumador completo



Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

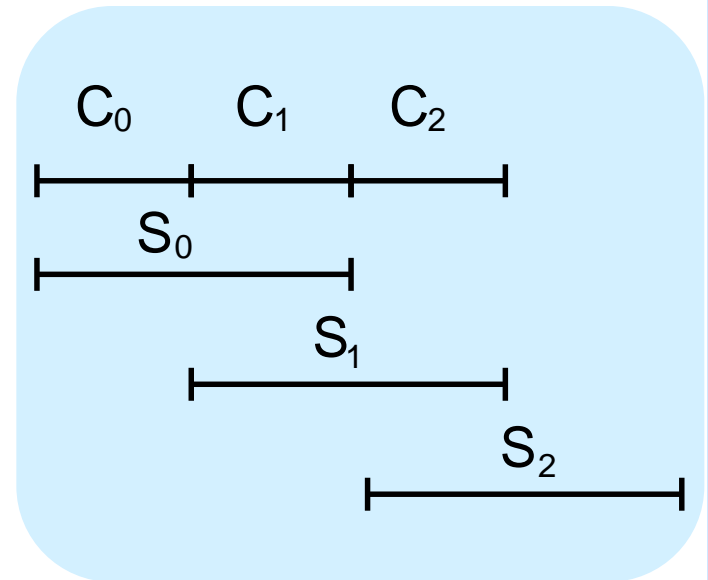
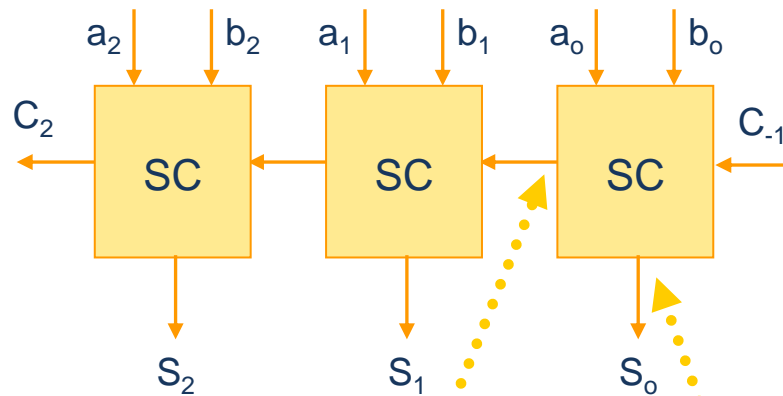
Optimización

Superscalares

Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso secuencial



1º El
acarreo

2º La
suma

Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

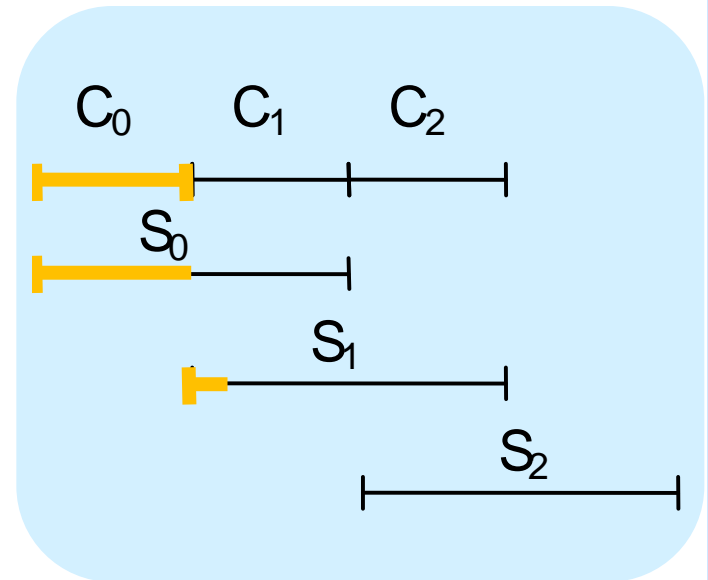
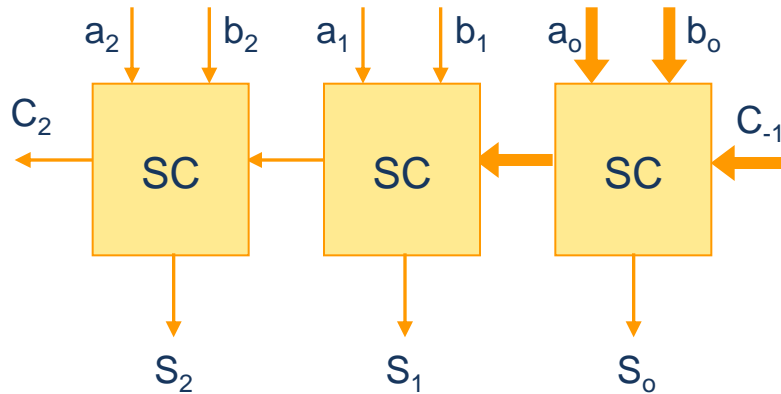
Optimización

Superescalares

Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso secuencial



Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

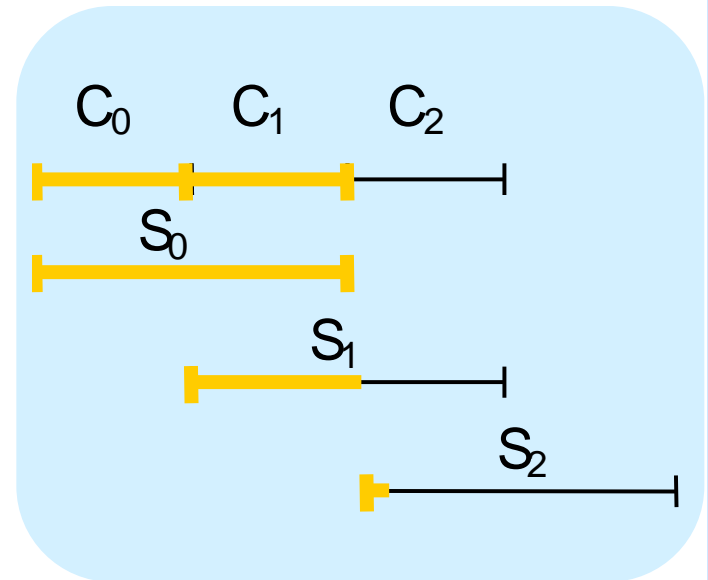
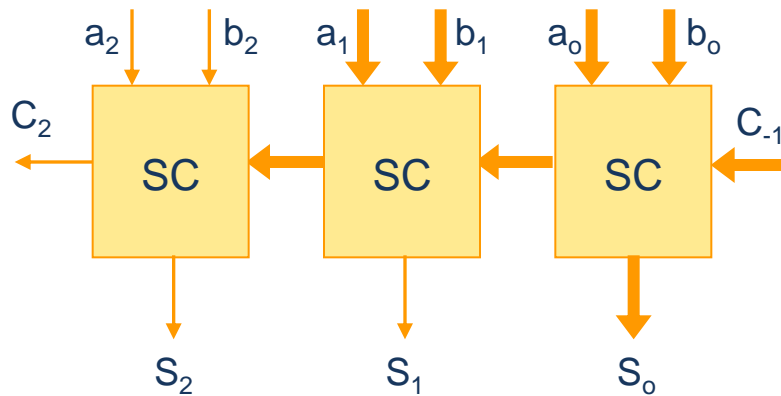
Optimización

Superescalares

Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso secuencial



Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

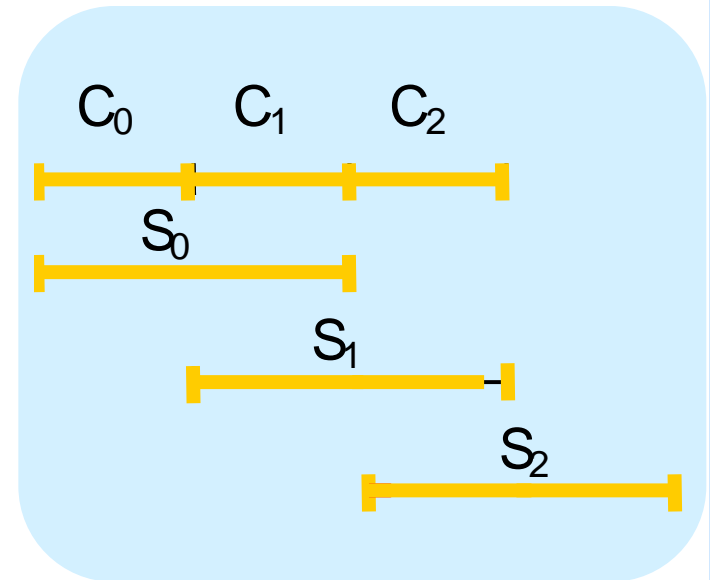
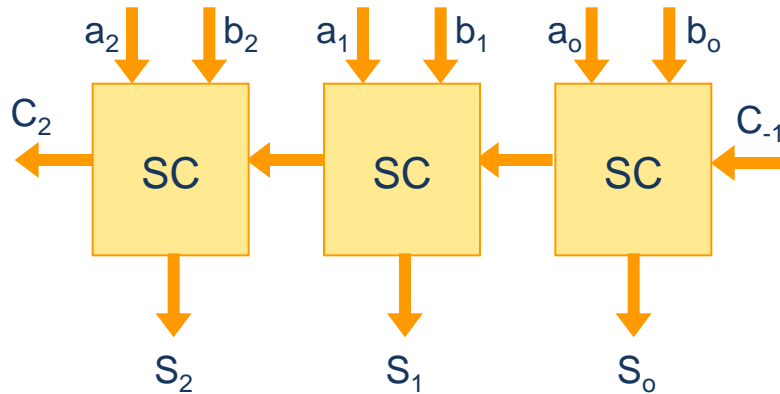
Optimización

Superescalares

Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso secuencial



$$T_{\text{suma}} = 2 T_c + T_s$$

Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

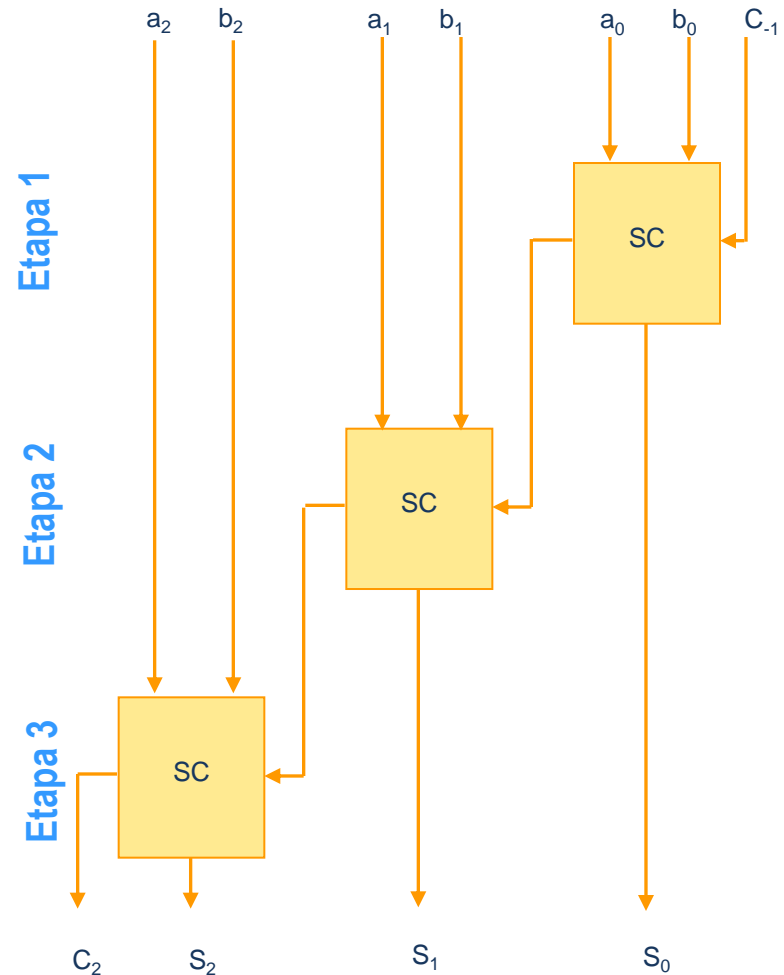
Superescalares

Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso segmentado

- Bloque constructivo SC 1 bit
- Dividir en etapas cada una de las sumas parciales de los bits de los números



Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

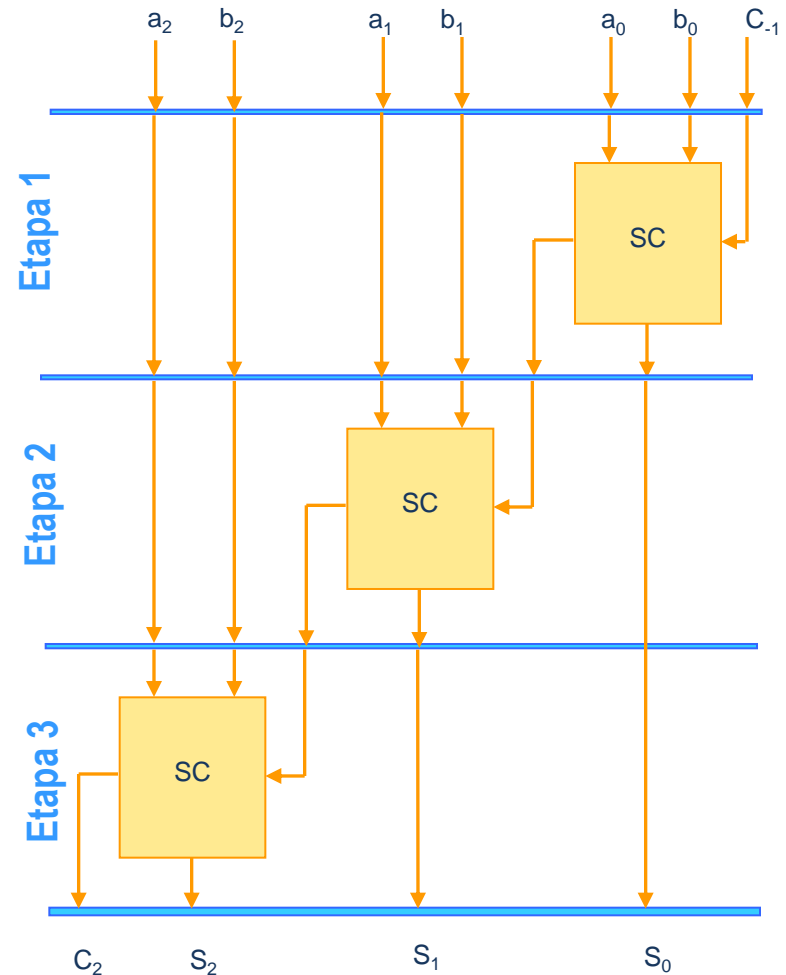
Superescalares

Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso segmentado

- Bloque constructivo SC 1 bit
- Dividir en etapas cada una de las sumas parciales de los bits de los números
- Introducir registros intermedios entre cada una de las etapas para pasar datos (secuencial)



Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

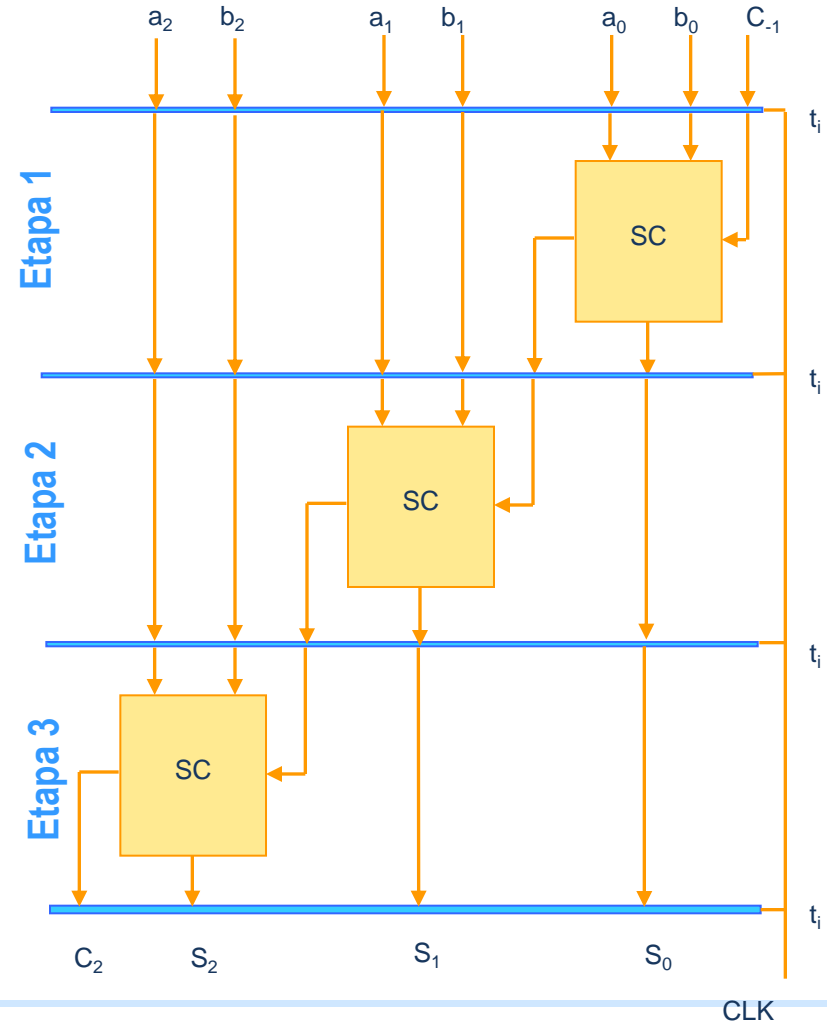
Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso segmentado

- Bloque constructivo SC 1 bit
- Dividir en etapas cada una de las sumas parciales de los bits de los números
- Introducir registros intermedios entre cada una de las etapas para pasar datos (secuencial)
- (Ritmo) Duración del ciclo de reloj clk: tiempo de la etapa más lenta, T_s

$$T_{\text{suma}} = 3 (T_s + t_i)$$

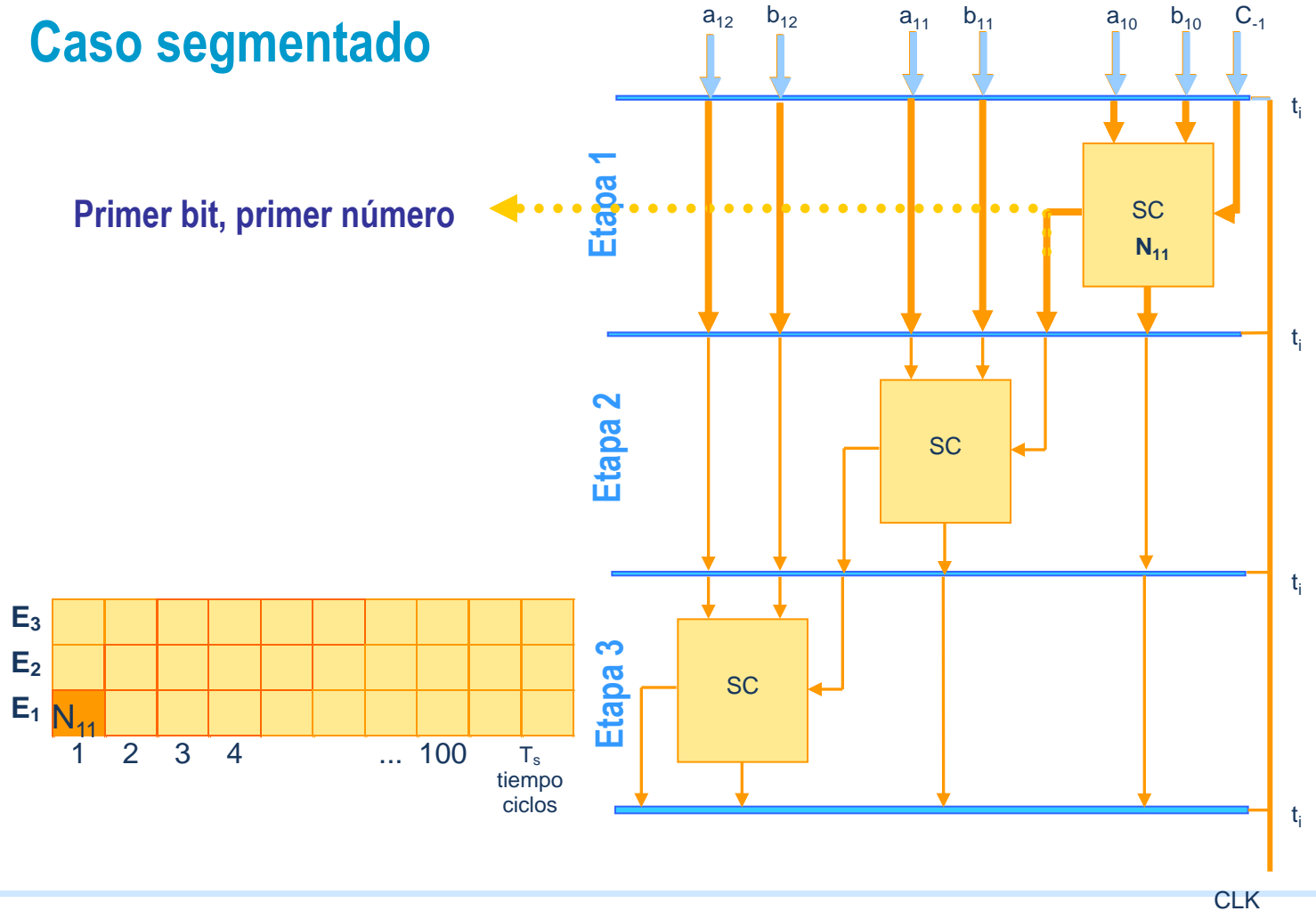


Segmentación aritmética

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso segmentado

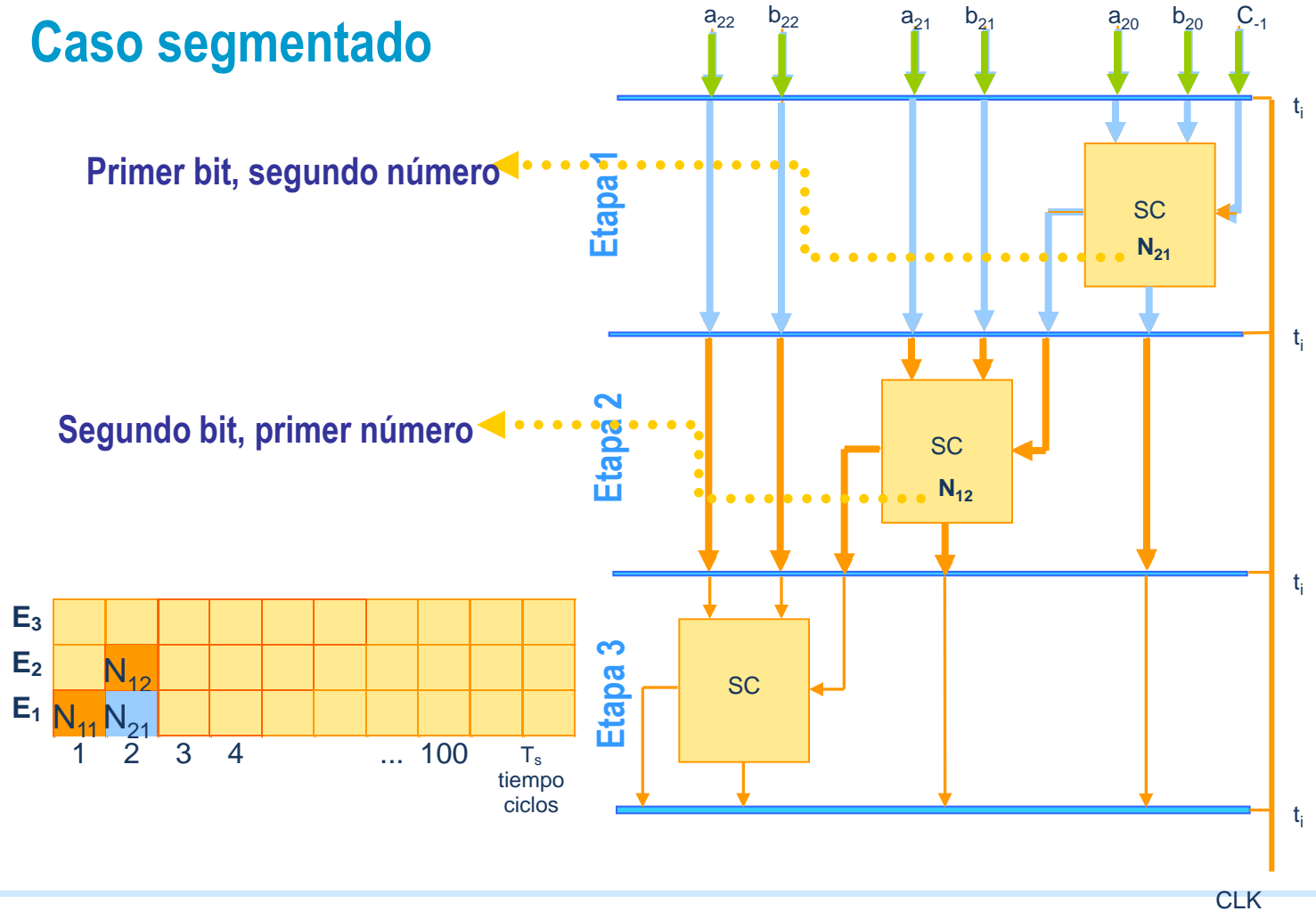
Primer bit, primer número



Segmentación aritmética

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso segmentado



Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

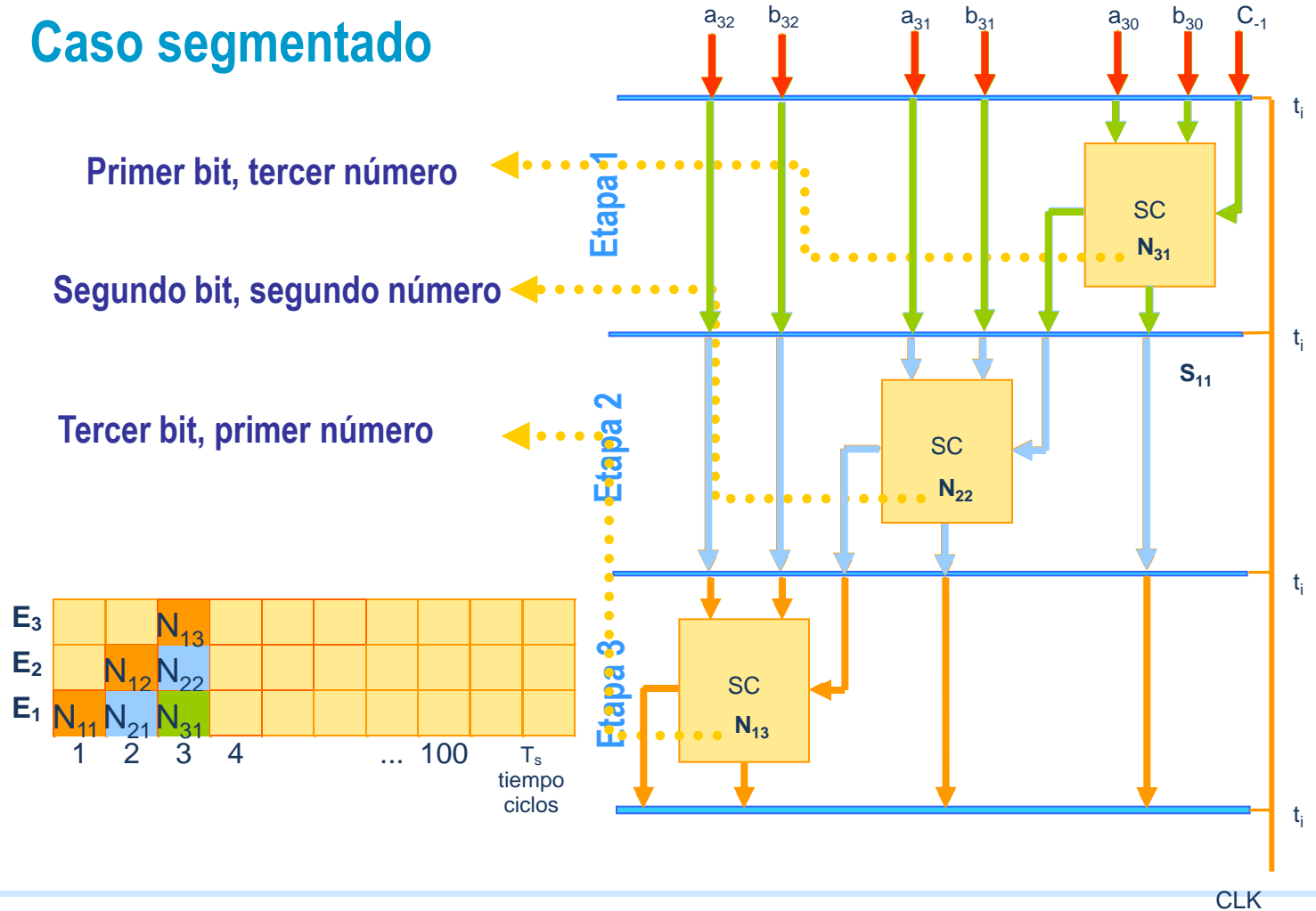
Optimización

Superescalares

Segmentación

Sumador de tres bits con propagación de acarreo

Caso segmentado



Segmentación aritmética

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- Sumador de tres bits con propagación de acarreo
- El coste temporal de una suma aislada es incluso mayor.
- Tiempo secuencial para 100 números:

$$T_{\text{Secuencial}} = 100(2T_c + T_s) = 200T_s$$

$$\text{Si } T_c \approx \frac{1}{2}T_s$$

- Tiempo segmentado para 100 números:

$$T_{\text{segmentado}} = 3T_s + 99T_s = 102T_s$$

- Aceleración de aproximadamente 1,96 para 100 números

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- ❖ La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- ❖ Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

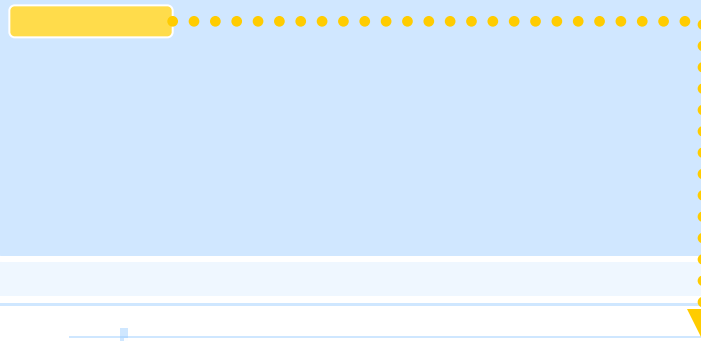
Superescalares

Segmentación

- La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Hitos

1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990



IBM 709 (1958): primer computador segmentado. Computador de tubos de vacío y memorias de núcleo de ferrita

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

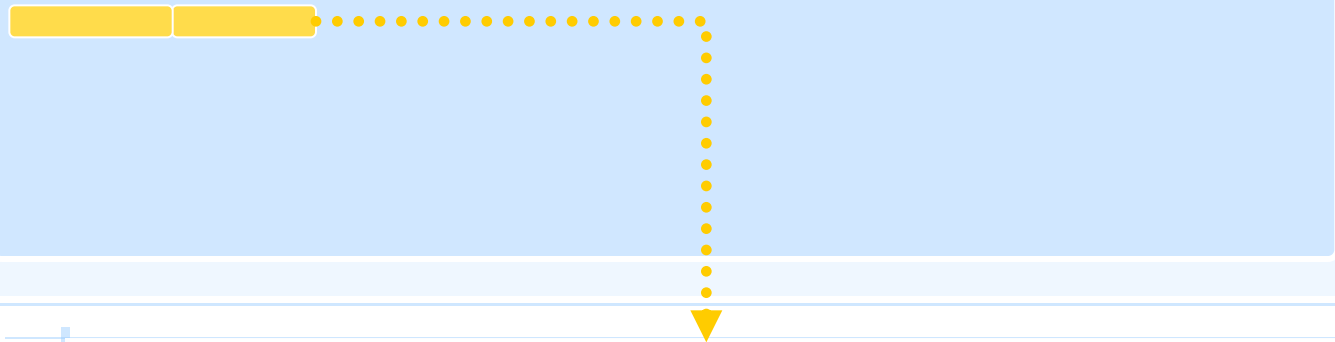
Superescalares

Segmentación

- La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Hitos

1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990



IBM 7030 Stretch (1962): aparece por **primera vez el término segmentación**. Primer procesador de propósito general segmentado.

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

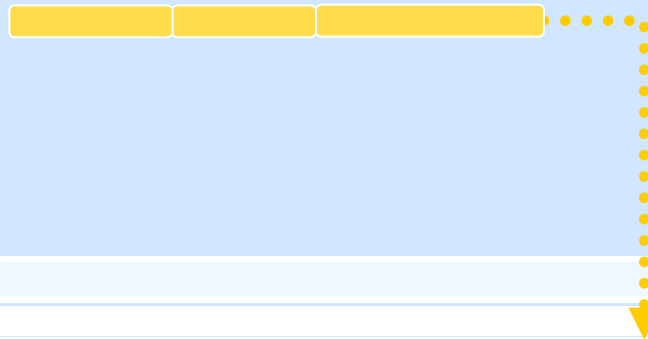
Superescalares

Segmentación

- La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Hitos

1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990



Finiales 60: la **segmentación** pasa a un **nivel secundario** dado el énfasis que se realiza en las máquinas orientadas a simplificar el software (VAX).

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

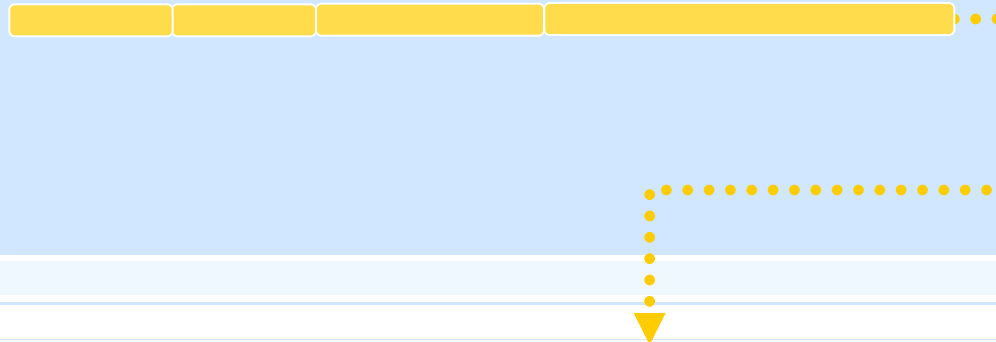
Superescalares

Segmentación

- La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Hitos

1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990



Años 80: las **arquitecturas RISC** retoman la segmentación. Las características favorecen el diseño del cauce. Se diseñaron para ser procesadores segmentados

- MIPS R2000 de 5 etapas

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

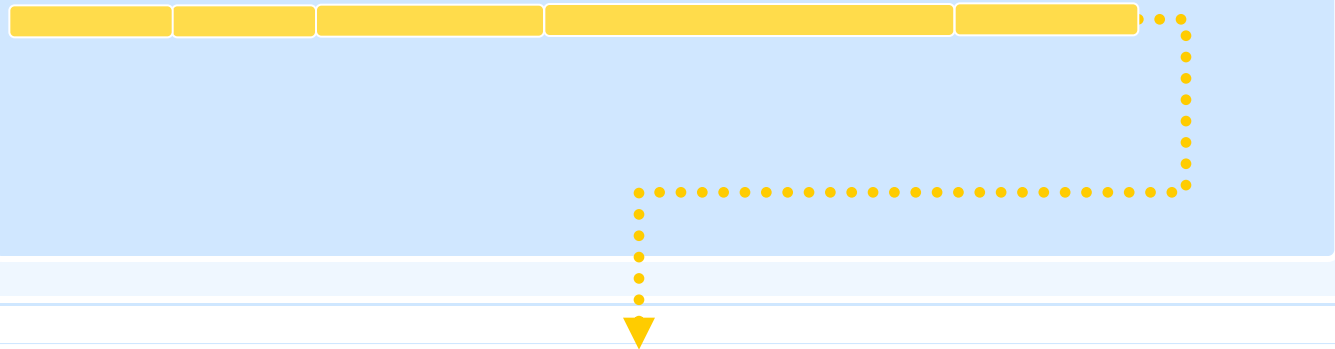
Superescalares

Segmentación

- La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Hitos

1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990



Mediados de los 80: los **microprocesadores** incorporan **segmentación** de cauce internamente de **forma generalizada**

- Intel 80286 con 4 etapas
- Intel 80386 de 6 etapas
- Intel 80486 de 5 etapas

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- ❖ La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- ❖ Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Mediados de los 80: Se introducen **más recursos** para trabajar de forma paralela

- MIPS R4000: uno de los primeros en incorporar un cauce profundo, supersegmentado de 8 etapas
- Alpha 21064: similar al MIPS R4000 para tratar enteros y una mayor segmentación para punto flotante
- Procesadores más modernos
 - MIPS R10000/120000
 - Sun Ultra Sparc III
 - PowerPC 603, G3 y G4
 - Alpha 21264.

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- ❖ La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- ❖ Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Mediados de los 80: PCs traducen instrucciones **CISC a microoperaciones RISC** superescalares

- Pentium PRO, Pentium II, III y 4 de Intel
- K5, K6, K7, Athlon de AMD

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- La instrucción a ejecutar se descompone en fases y se encauzan
- Esta técnica o su fundamento, se emplea en la mayoría de los procesadores para aumentar el rendimiento de la CPU

Hitos



Los 90: **reutilización** de la técnica en microprocesadores **embebidos**.

- MIPS R4300 (1997). Fabricado por NEC. Gran cantidad de aplicaciones.
 - **Nintendo 64**.
 - Utiliza las 5 etapas MIPS.
- ARM de Advanced Risc Machines y SH de Hitachi. Rediseño de la arquitectura RISC para proporcionar un cociente prestaciones/potencia
 - **PDA's, TDTs** y dispositivos similares.

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

⚙️ Procesador MIPS

- ⚙️ **MIPS64** procesador **diseñado** expresamente para **trabajar de forma segmentada**.
- ⚙️ Su **simplicidad** hace más fácil demostrar los principios
 - ⚙️ Sencilla arquitectura de **carga almacenamiento**.
 - ⚙️ Sencillo repertorio de **instrucciones fácilmente decodificables**
 - ⚙️ Diseño de segmentación **eficiente**
 - ⚙️ Tres tipos de instrucciones: ALU, carga/almacenamiento, saltos

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- **Paso IF.** Búsqueda de instrucción
- **Paso ID.** Decodificación de instrucción y búsqueda de registros
 - Formato permite leer los registros ya que siempre están ubicados en las mismas posiciones
 - Instrucción de salto: calcular la dirección y hacer la comprobación de los registros (dependerá de la implementación)
- **Paso EX.** Ejecución y cálculo de direcciones efectivas
 - Los operandos en memoria sólo en las operaciones de carga y almacenamiento por lo que en esta fase se puede calcular la dirección de memoria.
- **Paso MEM.** Acceso a memoria
 - Instrucción de carga se accede a memoria para la lectura del dato.
 - Instrucción almacenamiento se guarda el valor del registro en memoria.
- **Paso WB.** Postescritura, escritura del resultado en un registro

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
argumentos

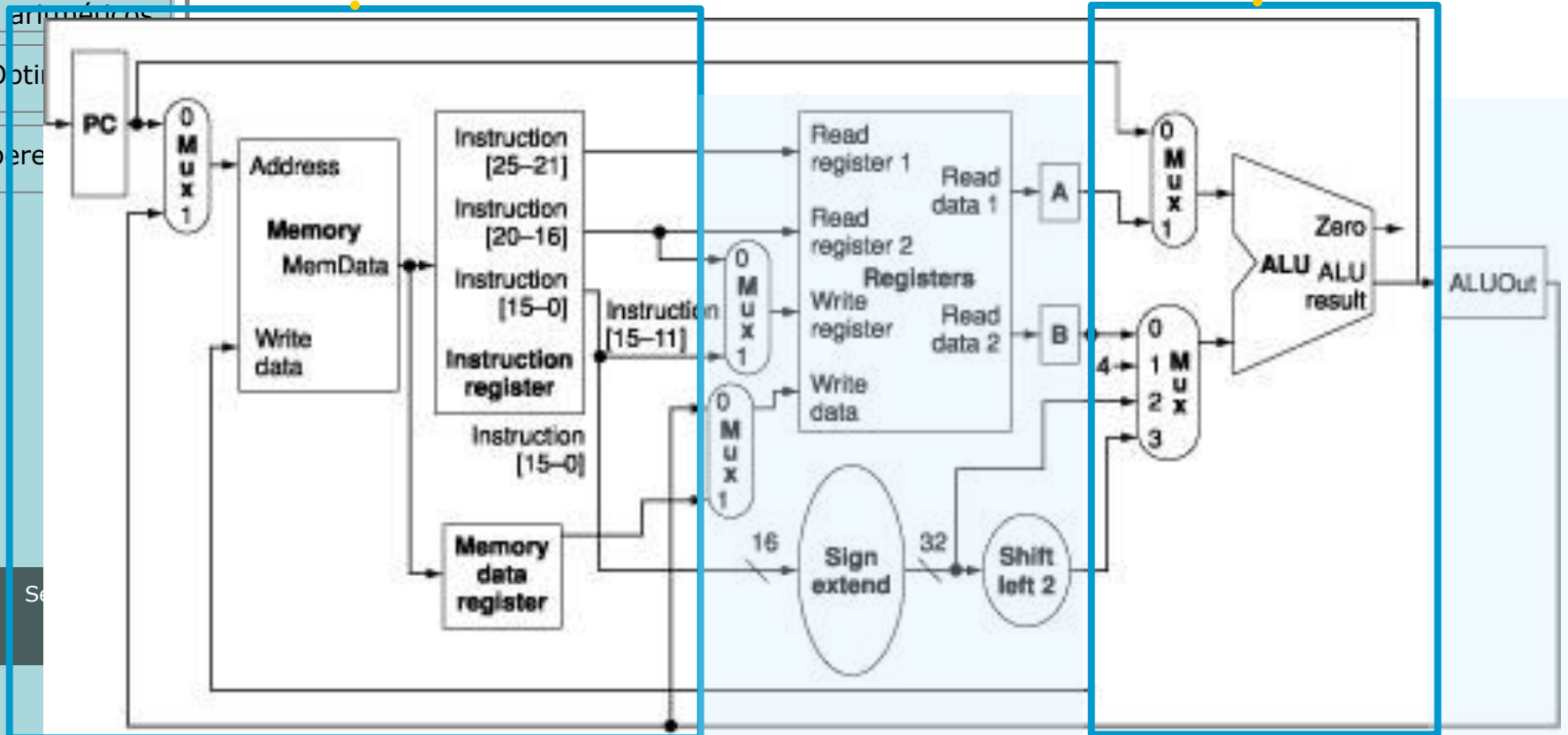
Optimización

Supervisión

IF: Búsqueda de instrucción

$IR \leftarrow M[PC]; PC \leftarrow PC + 4$

Implementación multiciclo



Segmentación de instrucciones

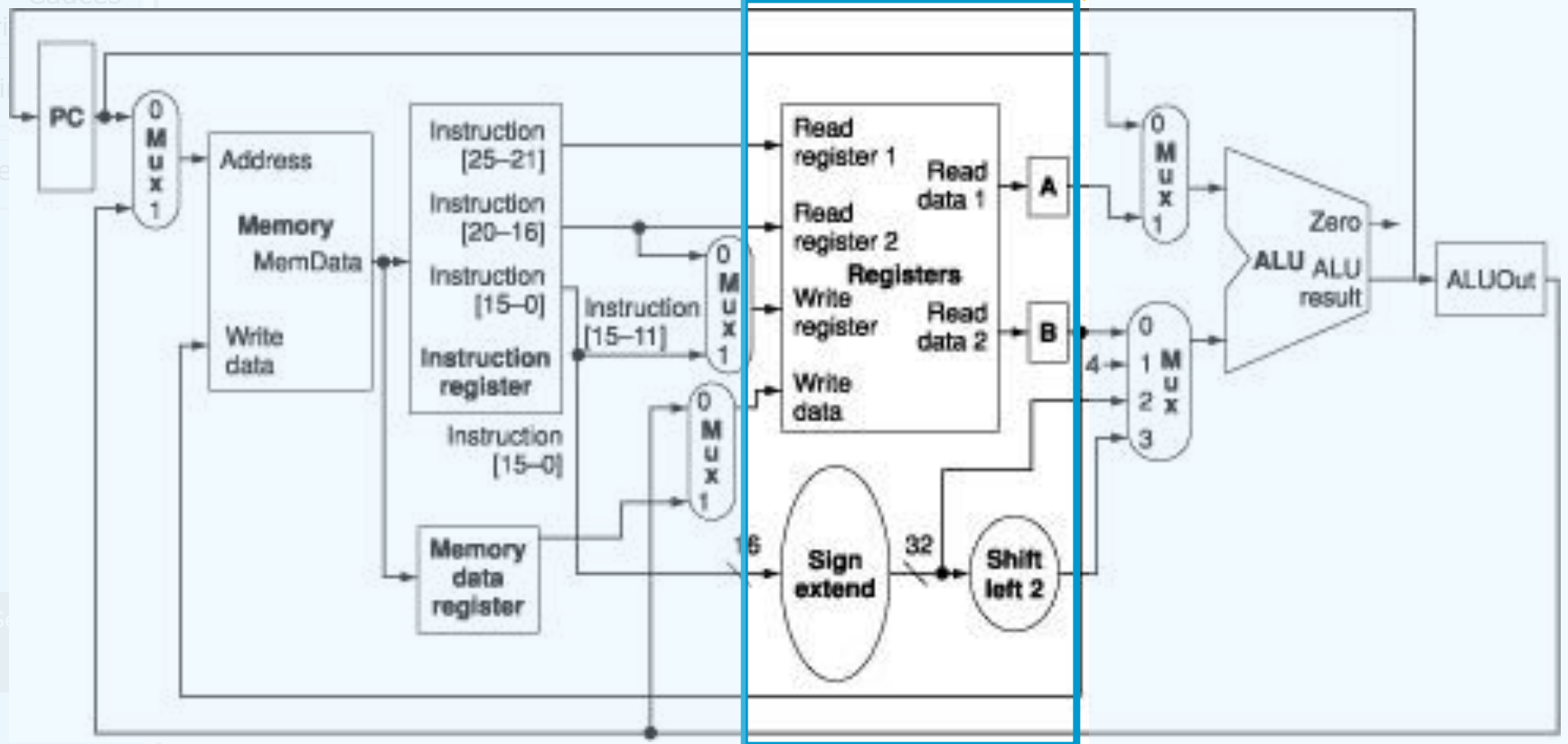
Introducción

Segmentación
del repertorio

Implementación multiciclo

ID: Decodificación de instrucción y búsqueda de registros

$A \leftarrow Rs1; B \leftarrow Rs2;$



Segmentación de instrucciones

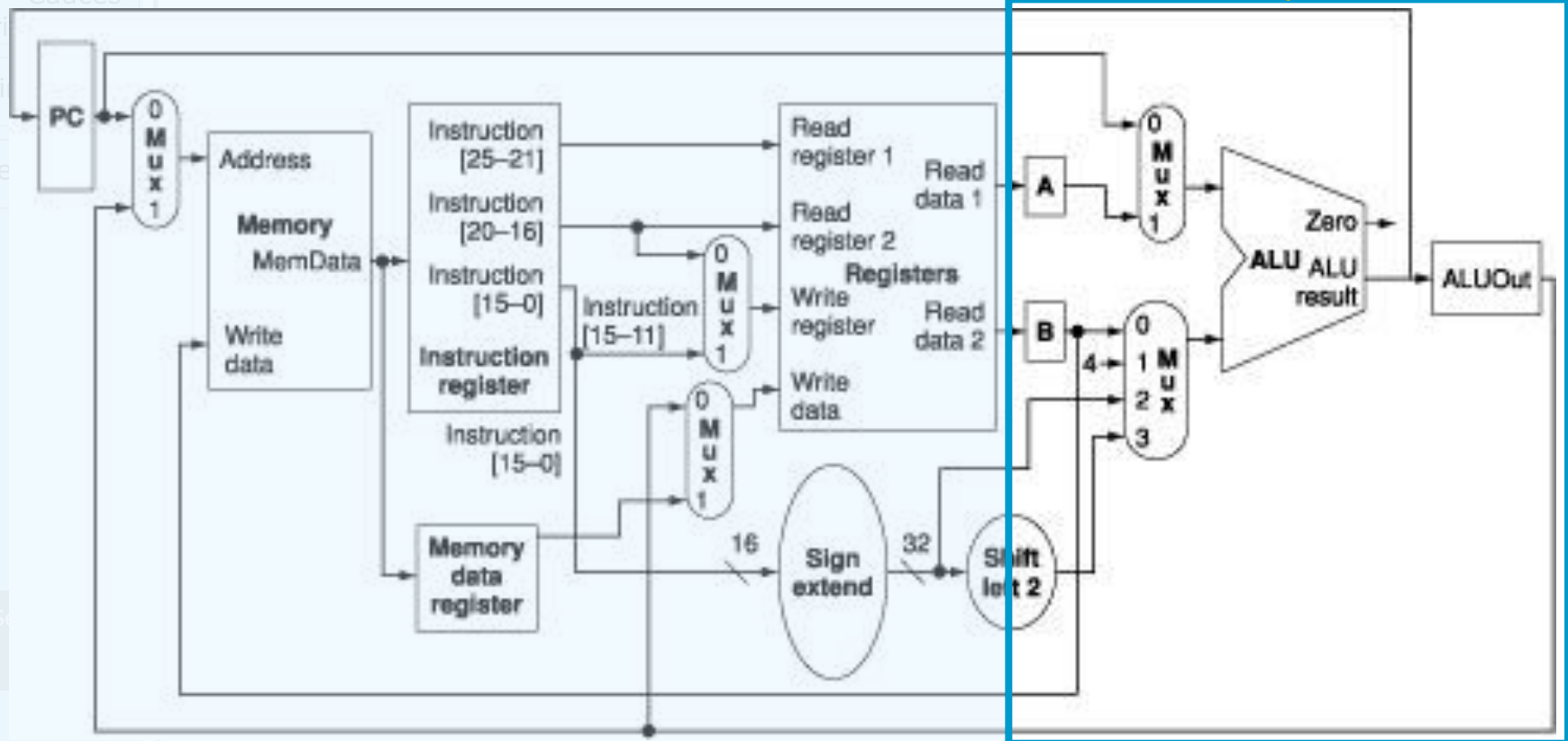
Introducción

Segmentación
del repertorio

Implementación multiciclo

EX: Cálculo de direcciones efectivas

$ALUOut \leftarrow A + (IR16)16\#\#IR16..31;$



Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces

an

Opti

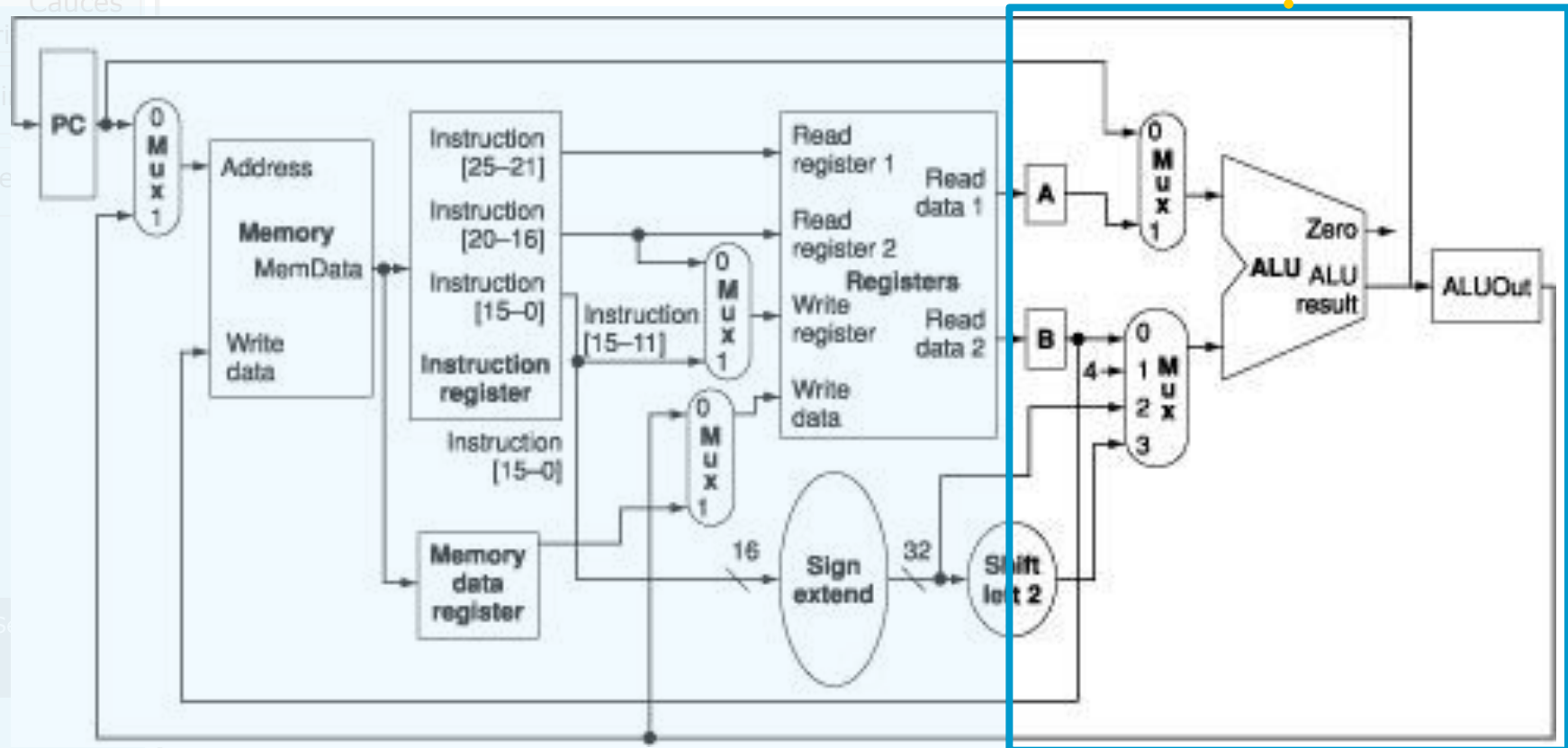
Supere

Se

Implementación multiciclo

EX: Ejecución

$ALUOutput \leftarrow A \text{ op } (B \text{ or } (IR16)16\#\#IR16..3)$



Segmentación de instrucciones

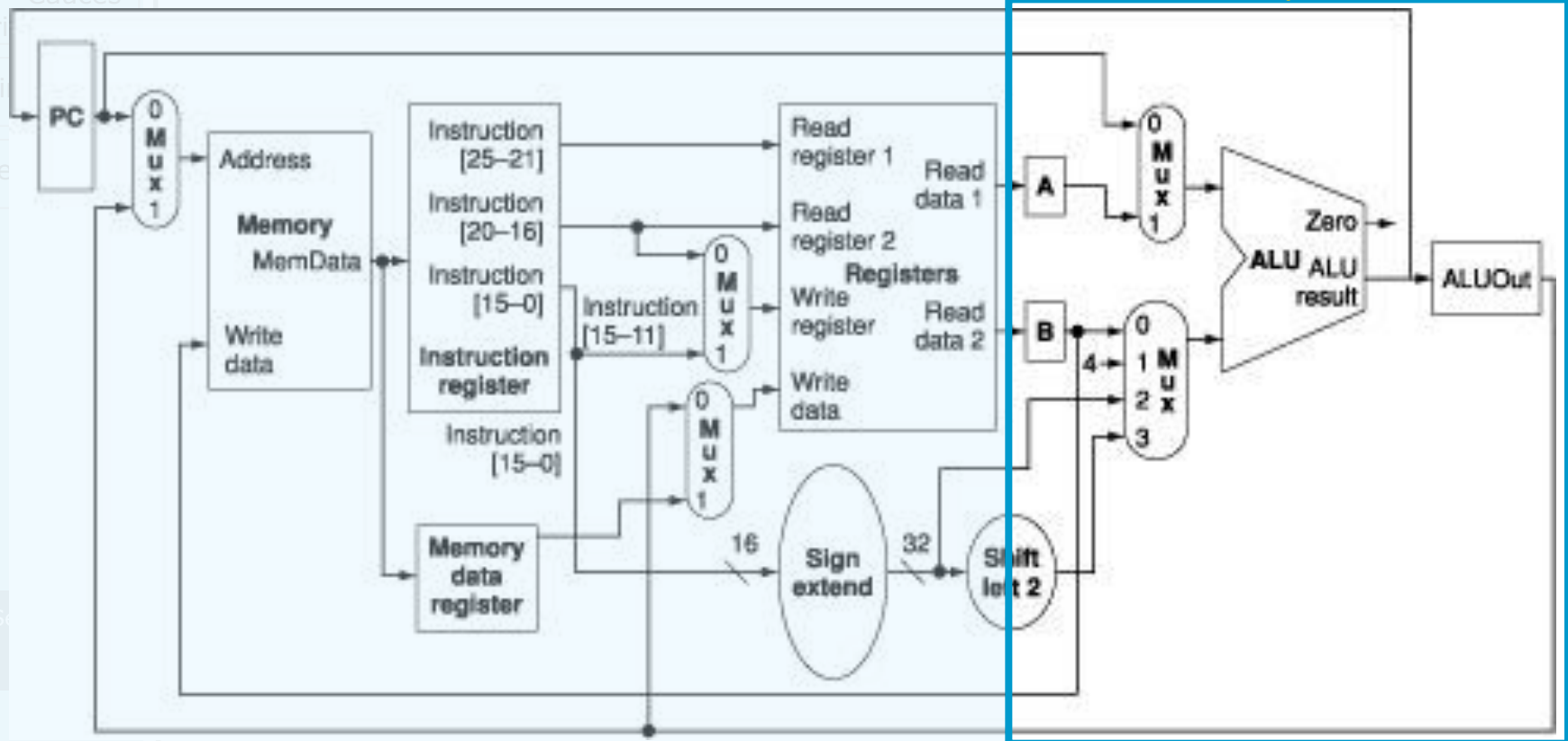
Introducción

Segmentación
del repertorio

Implementación multiciclo

EX: Salto/Bifurcación

$$\text{ALUOutput} \leftarrow \text{PC} + (\text{IR16})16\#\# \text{IR16..31}$$



Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces

an

Opti

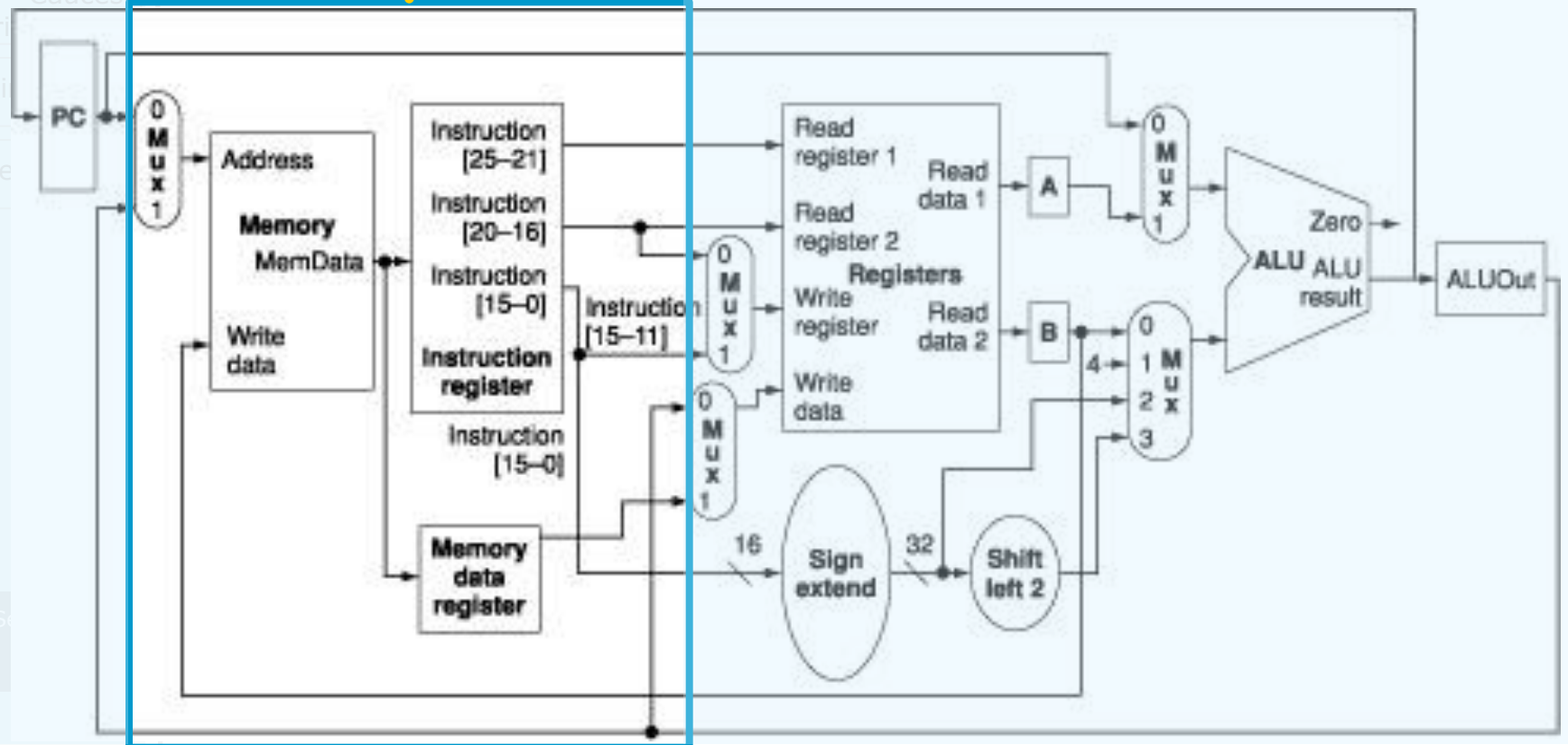
Supere

Implementación multiciclo

MEM: Referencia memoria

$MDR \leftarrow M[ALUOut]$

$M[ALUOut] \leftarrow B$



Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces

an

Opti

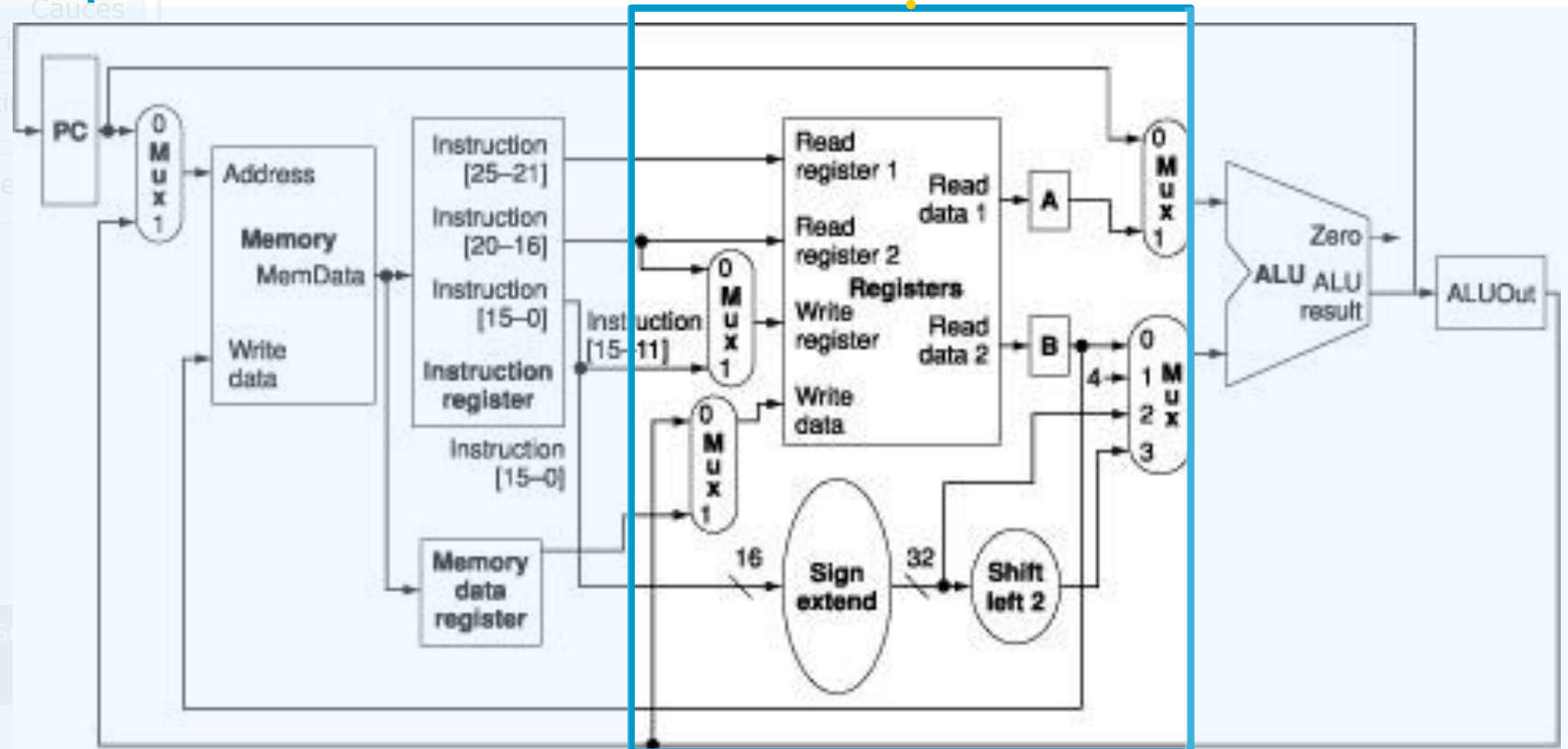
Supere

Se

Implementación multiciclo

WB: Postescritura

$Rd \leftarrow \text{ALUOut o MDR}$



Segmentación de instrucciones

- La segmentación consiste en solapar la ejecución de las instrucciones

Implementación multiciclo

Ciclo reloj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inst i	IF								
Inst i+1									
Inst i+2									
Inst i+3									
Inst i+4									

En el primer ciclo se carga una instrucción

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Segmentación de instrucciones

- La segmentación consiste en solapar la ejecución de las instrucciones

Implementación multiciclo

Ciclo reloj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inst i	IF	ID							
Inst i+1		IF							
Inst i+2									
Inst i+3									
Inst i+4									

En el segundo ciclo se carga una nueva y se decodifica la anterior

Segmentación de instrucciones

- La segmentación consiste en solapar la ejecución de las instrucciones

Implementación multiciclo

Ciclo reloj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inst i	IF	ID	EX						
Inst i+1		IF	ID						
Inst i+2			IF						
Inst i+3									
Inst i+4									

En el tercer ciclo se carga una nueva, se decodifica la anterior y se ejecuta la primera

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Segmentación de instrucciones

- La segmentación consiste en solapar la ejecución de las instrucciones

Implementación multiciclo

Ciclo reloj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inst i	IF	ID	EX	MEM					
Inst i+1		IF	ID	EX					
Inst i+2			IF	ID					
Inst i+3				IF					
Inst i+4									

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Segmentación de instrucciones

- La segmentación consiste en solapar la ejecución de las instrucciones

Implementación multiciclo

Ciclo reloj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inst i	IF	ID	EX	MEM	WB				
Inst i+1		IF	ID	EX	MEM				
Inst i+2			IF	ID	EX				
Inst i+3				IF	ID				
Inst i+4					IF				

Cuando se llena el cauce se ejecuta una instrucción cada ciclo

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Segmentación de instrucciones

- La segmentación consiste en solapar la ejecución de las instrucciones

Implementación multiciclo

Ciclo reloj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inst i	IF	ID	EX	MEM	WB				
Inst i+1		IF	ID	EX	MEM	WB			
Inst i+2			IF	ID	EX	MEM	MEM		
Inst i+3				IF	ID	EX	MEM	WB	
Inst i+4					IF	ID	EX	MEM	WB

- Cada paso constituye una etapa de la segmentación.
- Cada ciclo, cinco instrucciones en ejecución
- La segmentación incrementa la **productividad** sin reducir el tiempo de ejecución de una instrucción individual.
- Los programas se ejecutan más rápido

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación



Ejemplo:

Considerar una máquina no segmentada con 5 pasos de ejecución cuyas duraciones son 50ns, 50ns, 60ns, 50ns, 50ns.

Suponer que debido al tiempo de preparación y sesgo de reloj, segmentar la máquina añade 5 ns de gasto a cada etapa de ejecución.

¿Cuánta velocidad se ganará con la segmentación en la frecuencia de ejecución de las instrucciones?

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

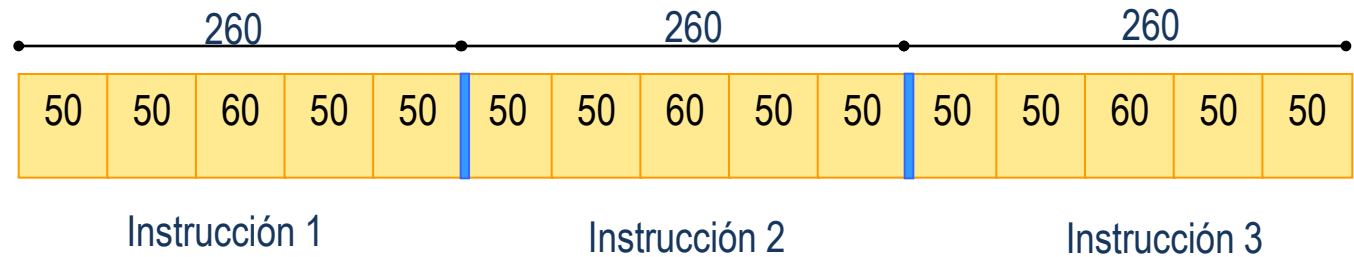
Cauces
aritméticos

Optimización

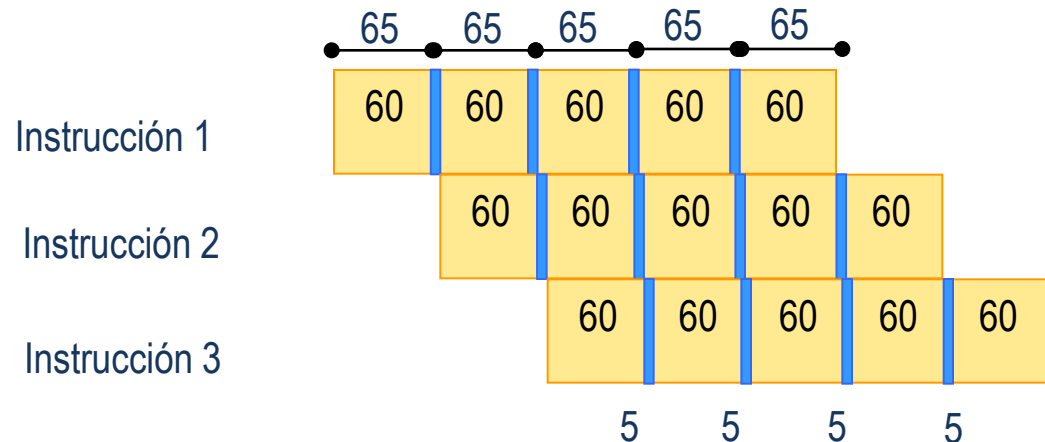
Superscalares

Segmentación

Ejecución secuencial



Ejecución segmentada



$$Aceleración = \frac{\text{Tiempo medio}_{\text{sin segmentación}}}{\text{Tiempo medio}_{\text{con segmentación}}} = \frac{260}{65} = 4$$

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

⚙️ Riesgos de segmentación

- ⚙️ Riesgos estructurales. Surgen de conflictos de los recursos cuando el hardware no puede soportar todas las combinaciones de instrucciones en ejecución (p.ej. acceso a memoria, banco registros, etc).
- ⚙️ Riesgos por dependencias de datos. Surgen cuando una instrucción depende de los resultados de una instrucción anterior.
- ⚙️ Riesgos de control. Surgen de la segmentación de los saltos y otras instrucciones que cambian el PC.

Segmentación de instrucciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

⚙️ Riesgos de segmentación

- ⚙️ Impiden que se ejecute la siguiente instrucción
- ⚙️ Pueden hacer necesario detener el cauce
- ⚙️ Cuando una instrucción se detiene las instrucciones posteriores a esta también lo hacen
- ⚙️ Detención disminuye la ganancia con respecto a la ideal

Segmentación de procesadores

Introducción

Segmentación
del repertorio

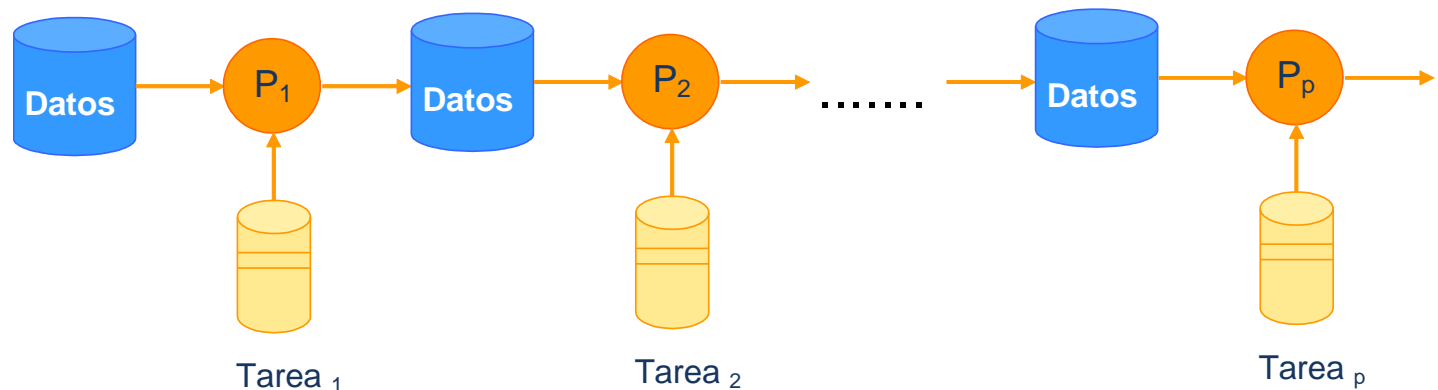
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- Las etapas del cauce están formadas por distintos procesadores que realizan, distintas operaciones sobre el flujo de datos
- Propio de la computación sistólica y utilizada en la implementación de algoritmos de alto coste.



Segmentación de procesadores

Introducción

Segmentación
del repertorio

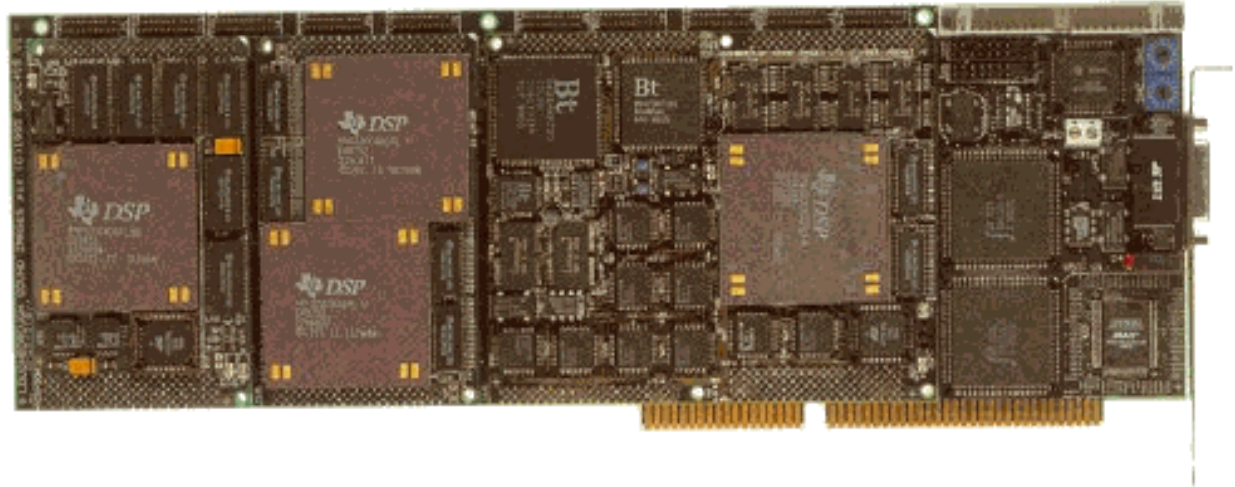
Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- ◆ Ejemplo: Implementación de filtros de morfología matemática sobre DSPs (Digital Signal Processor). (Plataforma con 4 DSPs)



- ◆ La morfología matemática proporciona una herramienta para extraer componentes de la imagen tales como contornos, esqueletos y formas convexas.

Análisis de prestaciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

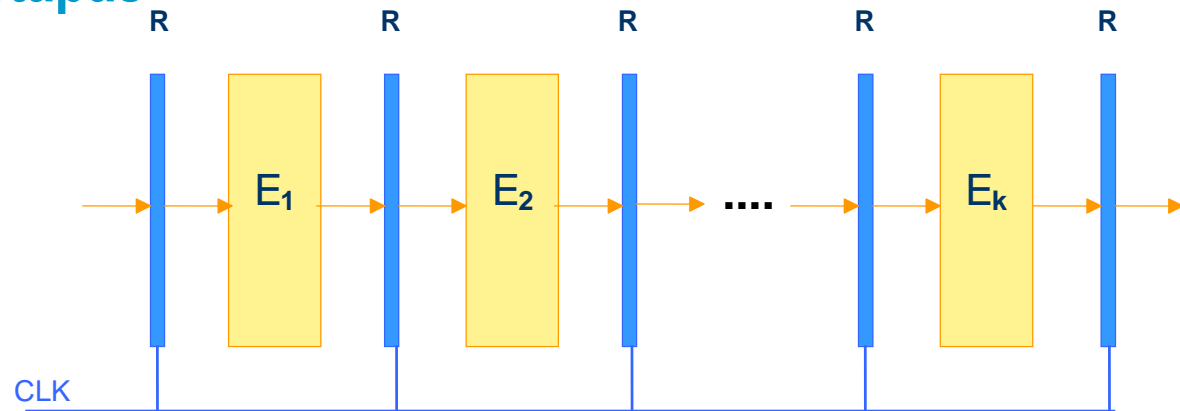
Optimización

Superescales

Segmentación

Unidad segmentada lineal síncrona

K etapas



R = Registros de almacenamiento intermedio

E_i = Circuitos combinacionales para operaciones

CLK = Señal de reloj que controla el flujo de datos.

t_i = Retardo temporal de cada etapa E_i

t_r = Es el retardo de cada registro R.

Análisis de prestaciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

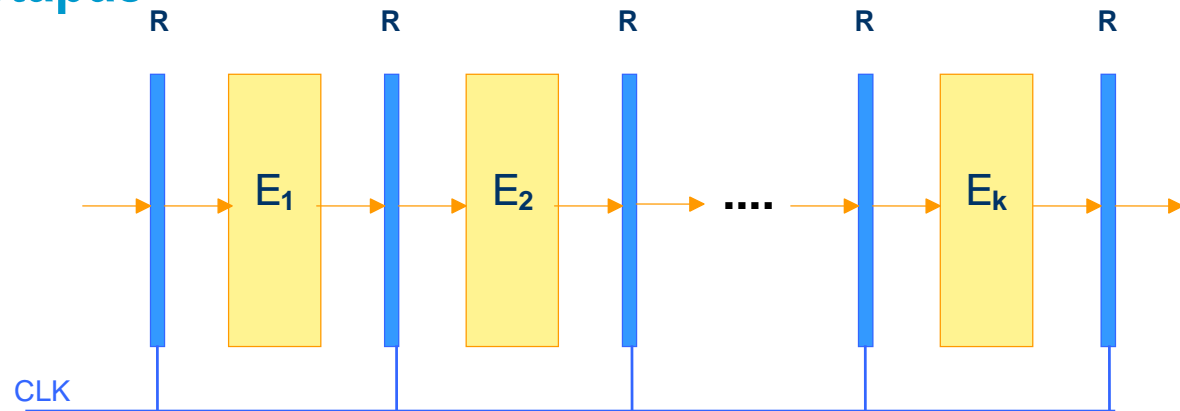
Optimización

Superescalares

Segmentación

Unidad segmentada lineal síncrona

K etapas



Periodo de reloj del cauce

$$CLK = \max \{t_i\}_{i=1}^k + t_r$$

- Sesgo de reloj (retardo del pulso). El instante de comienzo de las etapas debe incluir el retardo del pulso de reloj

$$CLK \geq \max \{t_i\}_{i=1}^k + t_r + s$$

Análisis de prestaciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

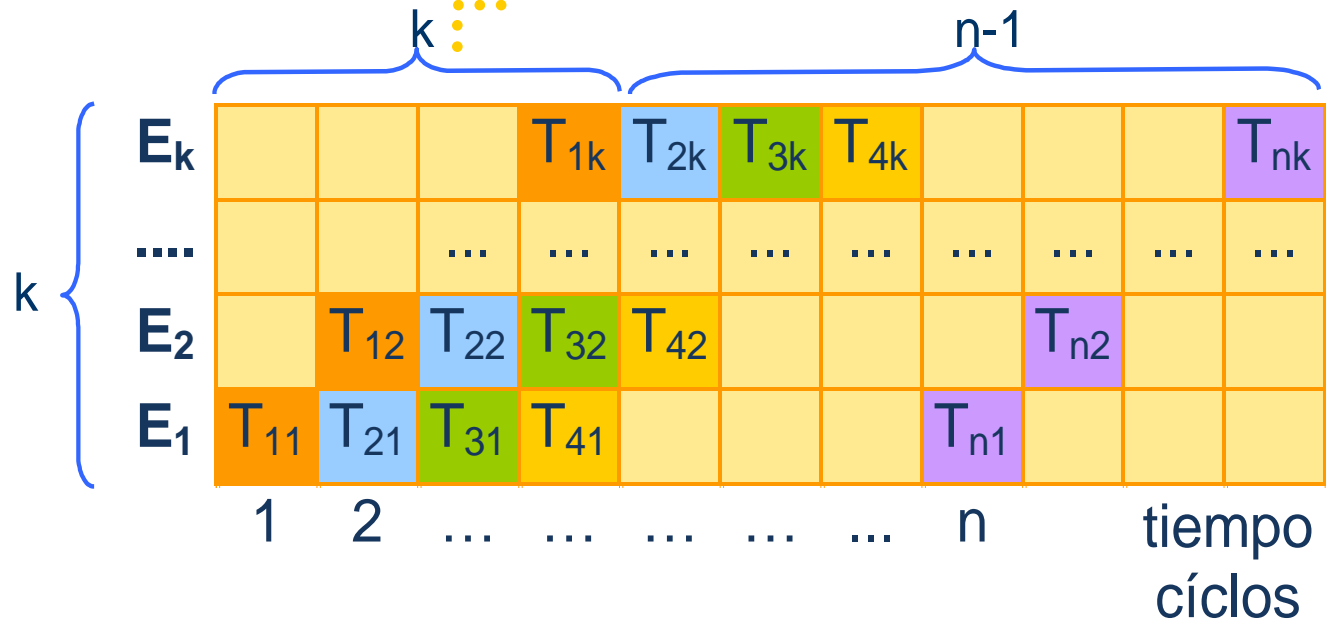
Superescalares

Segmentación

Unidad segmentada lineal síncrona

Tiempo para procesar n tareas

$$T_{SEG} = k \cdot CLK$$



Análisis de prestaciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

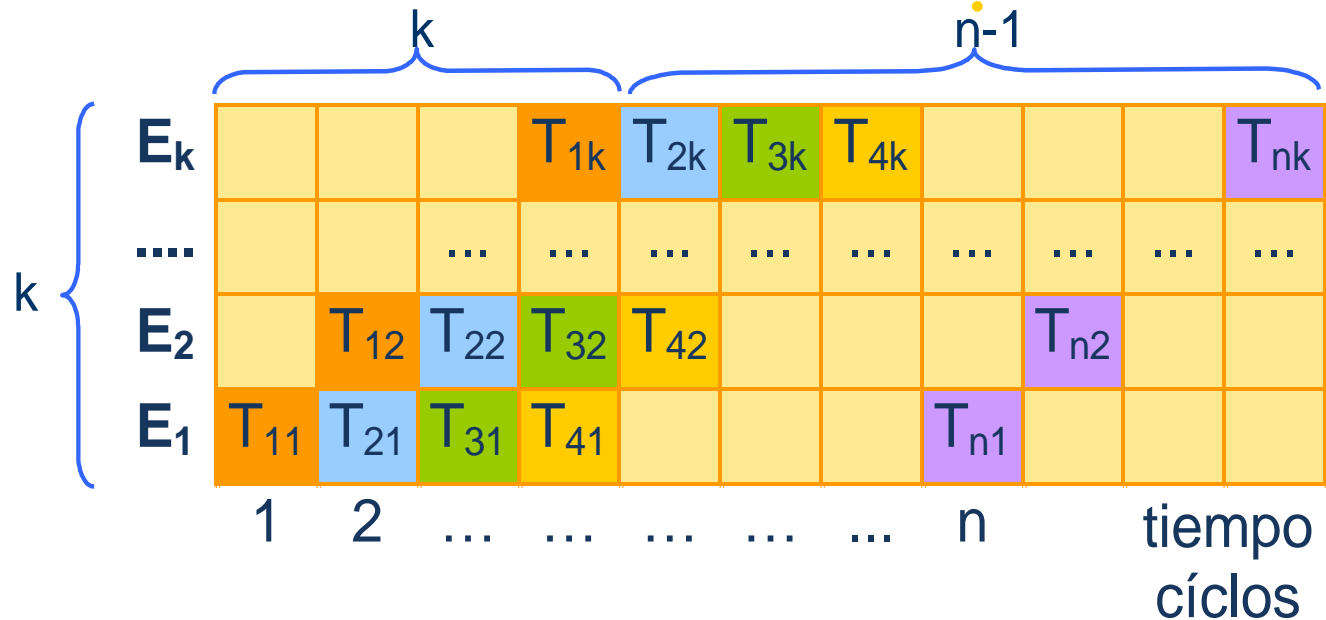
Superescalares

Segmentación

Unidad segmentada lineal síncrona

Tiempo para procesar n tareas

$$T_{SEG} = k \cdot CLK + (n-1) \cdot CLK$$



Análisis de prestaciones

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

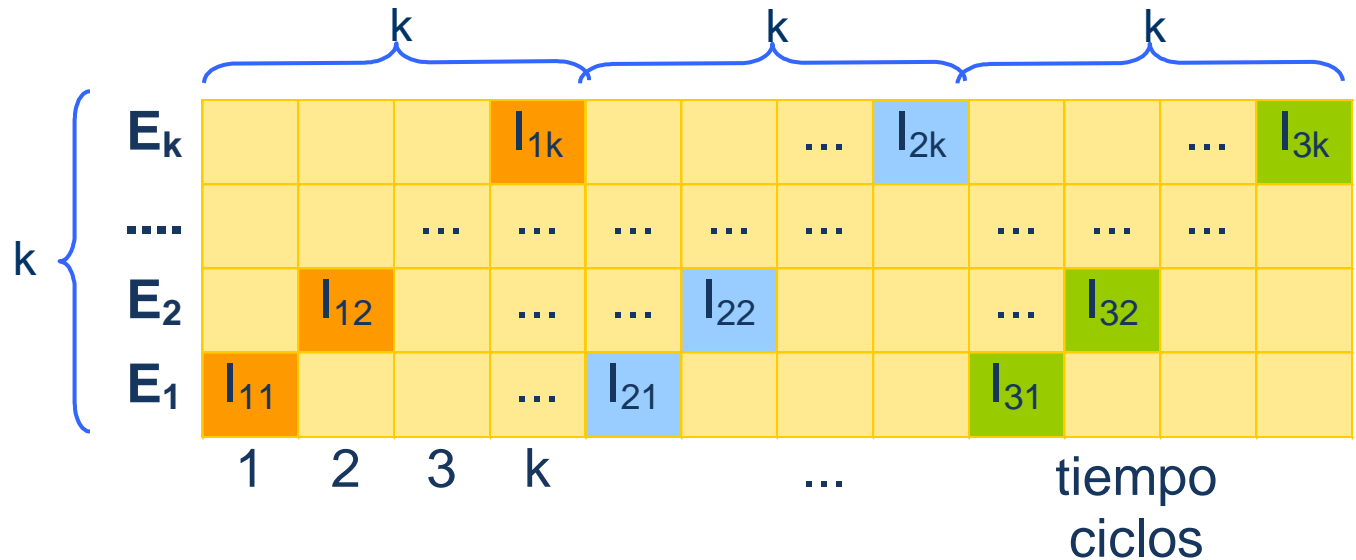
Superescalares

Segmentación

Unidad segmentada lineal síncrona

Tiempo equivalente para un proceso no encauzado

$$T_{SEC} = K \cdot CLK \cdot n$$



Ganancia de velocidad

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superscalares

Segmentación

- Incremento de velocidad de un cauce de k etapas respecto del proceso secuencial

$$G_k = \frac{T_{SEC}}{T_{SEG}} = \frac{n \cdot k \cdot CLK}{(k + n - 1)CLK} = \frac{n \cdot k}{k + n - 1}$$

- Cuando $n \rightarrow \infty$

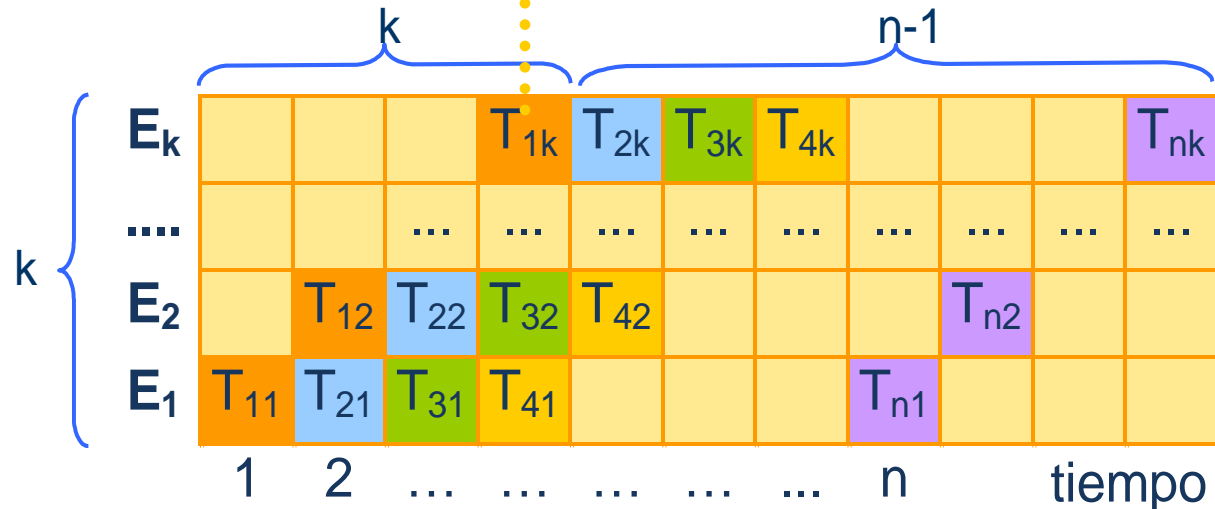
$$\lim_{n \rightarrow \infty} G_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot k}{k + n - 1} = k$$

- En la práctica diversos condicionantes hacen que $G_k < k$
 - Imposibilidad de la descomposición óptima de la tarea en k subtareas.
 - Dependencias entre datos e instrucciones.
 - Bifurcaciones en el programa.

Eficiencia

- Nos ofrece idea del grado de utilización de los recursos
- Relación entre el número de tramos temporales ocupados y el número total de tramos en dicho periodo de tiempo T

$$T_{ocupado} = k \cdot n \cdot clk$$



Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

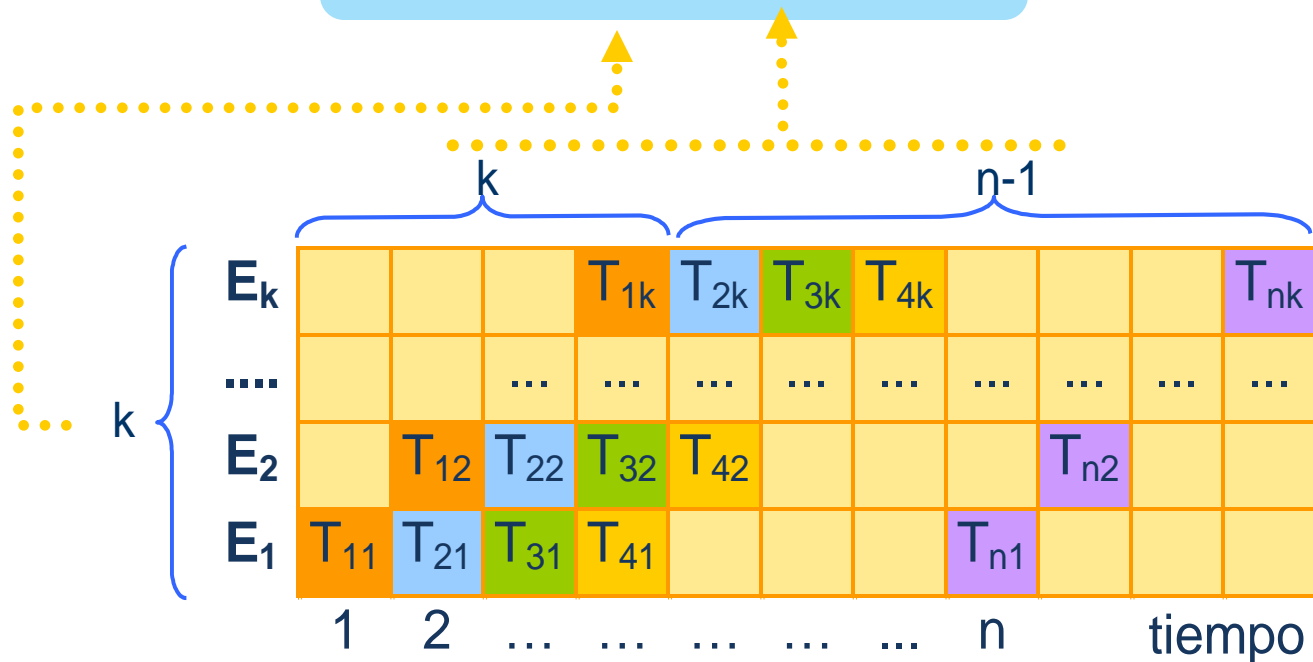
Superescalares

Segmentación

Eficiencia

- Nos ofrece idea del grado de utilización de los recursos
- Relación entre el número de tramos temporales ocupados y el número total de tramos en dicho periodo de tiempo T

$$T_{total} = k \cdot (k + n - 1) \cdot clk$$



Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

Eficiencia

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescales

Segmentación

- Nos ofrece idea del grado de utilización de los recursos
- Relación entre el número de tramos temporales ocupados y el número total de tramos en dicho periodo de tiempo T

$$E_k = \frac{k \cdot n \cdot CLK}{k(k+n-1)CLK} = \frac{n}{k+n-1} = \frac{G_k}{k}$$

- Cuando $n \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{k+n-1} = 1$$

- En la práctica problemas hacen que $E_k \ll 1$

Productividad

Introducción

Segmentación
del repertorio

Cauces
aritméticos

Optimización

Superescalares

Segmentación

- Número de datos o instrucciones que puede procesar por unidad de tiempo

$$P_k = \frac{n}{(k + n - 1)CLK} = \frac{E_k}{CLK}$$

- Cuando $n \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{(k + n - 1)CLK} = \frac{1}{CLK}$$

- La cota máxima coincide con la frecuencia de funcionamiento y corresponde a la aparición de un resultado cada periodo de reloj