

# **Ingeniería de los Computadores**

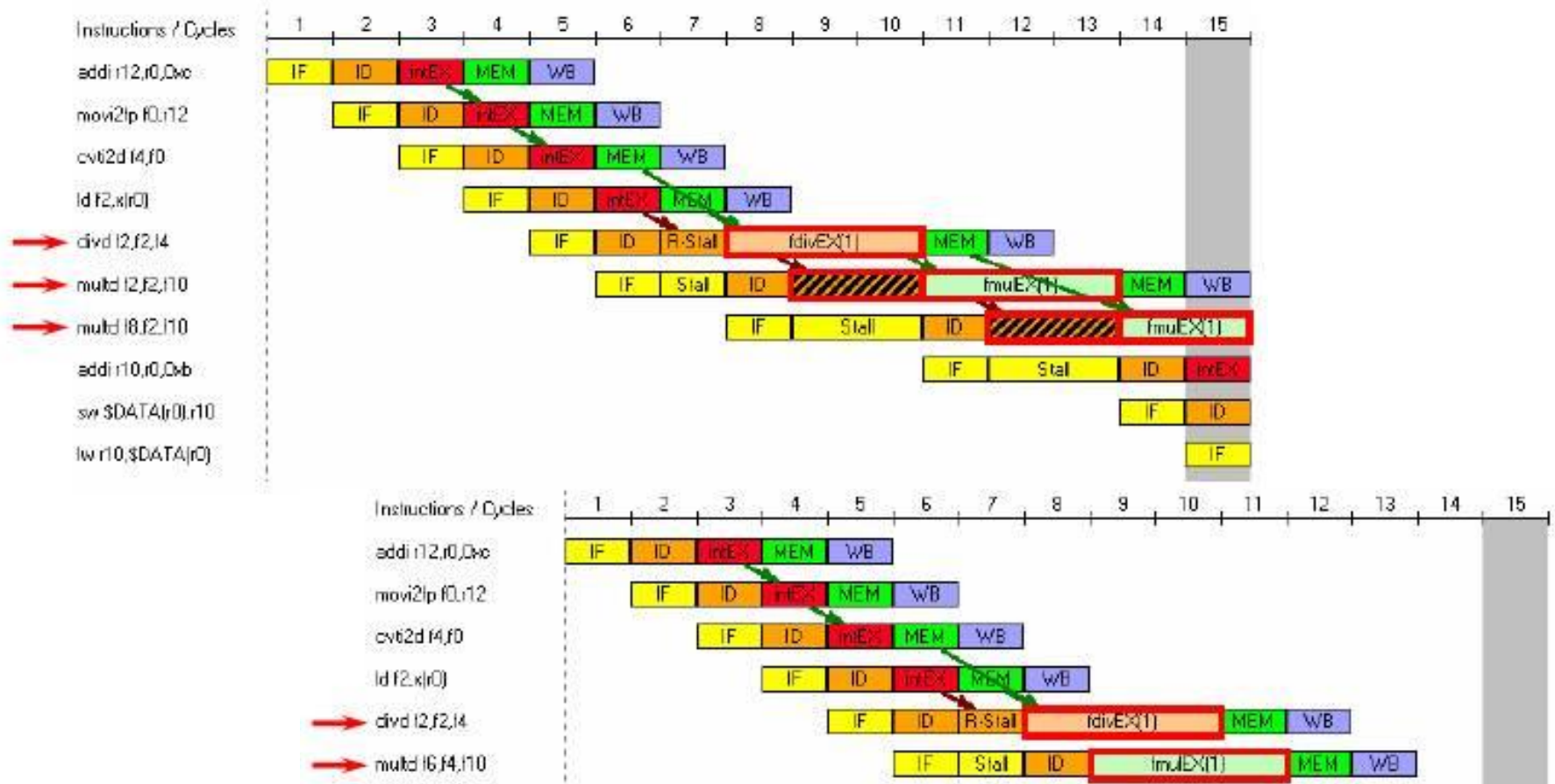
Sesión 2. Superescalares: motivación  
y cauce

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

### Motivación

- Dependencias estructurales provocan pérdidas de ciclos
  - Ejemplo de una unidad FP vs. Varias unidades FP

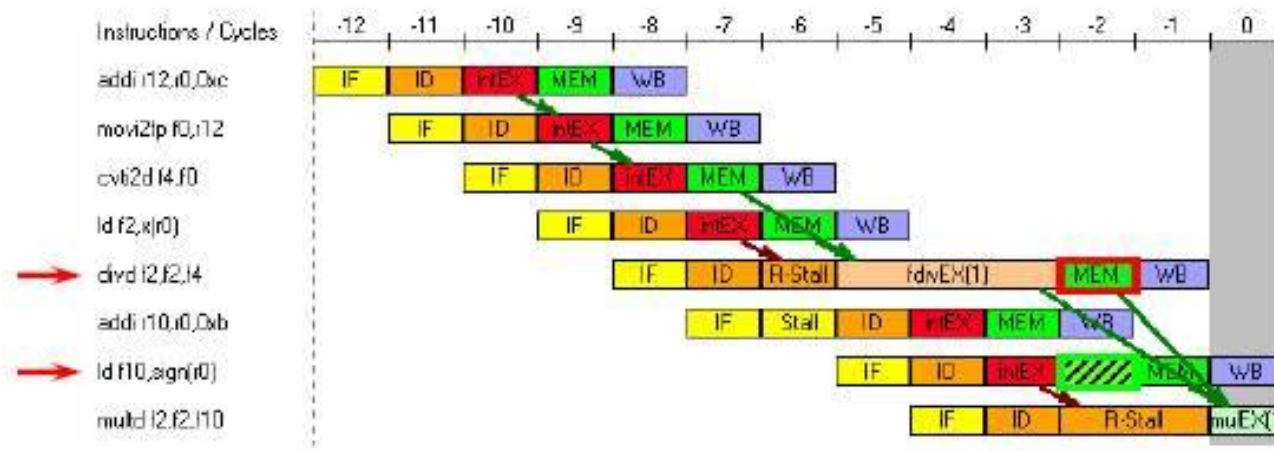


# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

### Motivación

- Varias unidades funcionales permiten la **ejecución fuera de orden**
  - Validar riesgos WAR y WAW



- Se obtienen mejores prestaciones si se pueden procesar varias instrucciones en la misma etapa → **procesamiento superescalar**

# Ingeniería de los Computadores

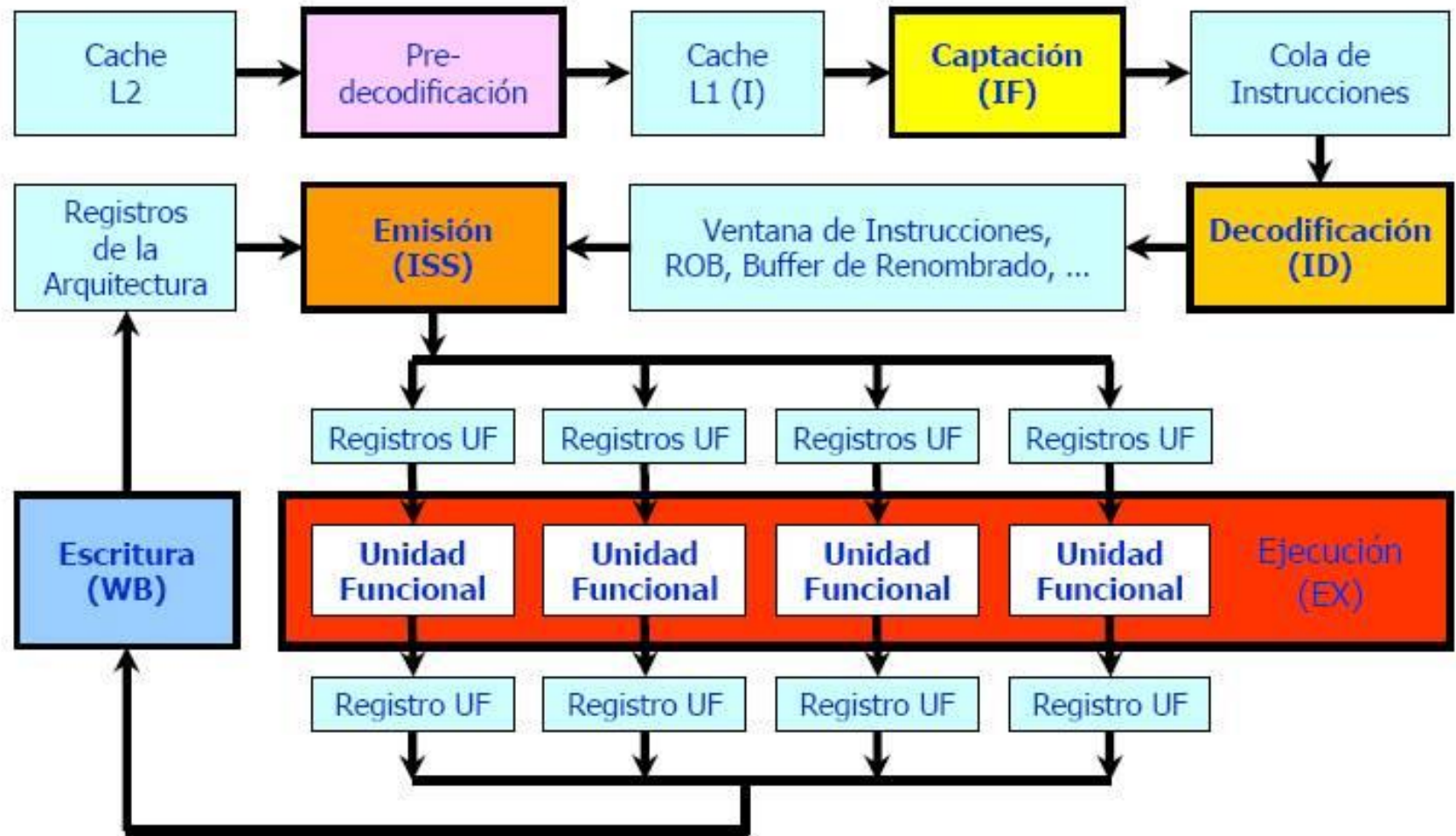
## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

- Etapas
  - Captación de instrucciones (IF)
  - Decodificación de instrucciones (ID)
  - Emisión de instrucciones (ISS)
  - Ejecución de instrucciones (EX) – Instrucción finalizada o “finish”
  - Escritura (WB) – Instrucción completada o “complete”
- Características del procesamiento superescalar
  - Diferentes tipos de órdenes: orden de captación, orden de emisión, orden de finalización
  - Capacidad para identificar ILP existente y organizar el uso de las distintas etapas para optimizar recursos

## Cause



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

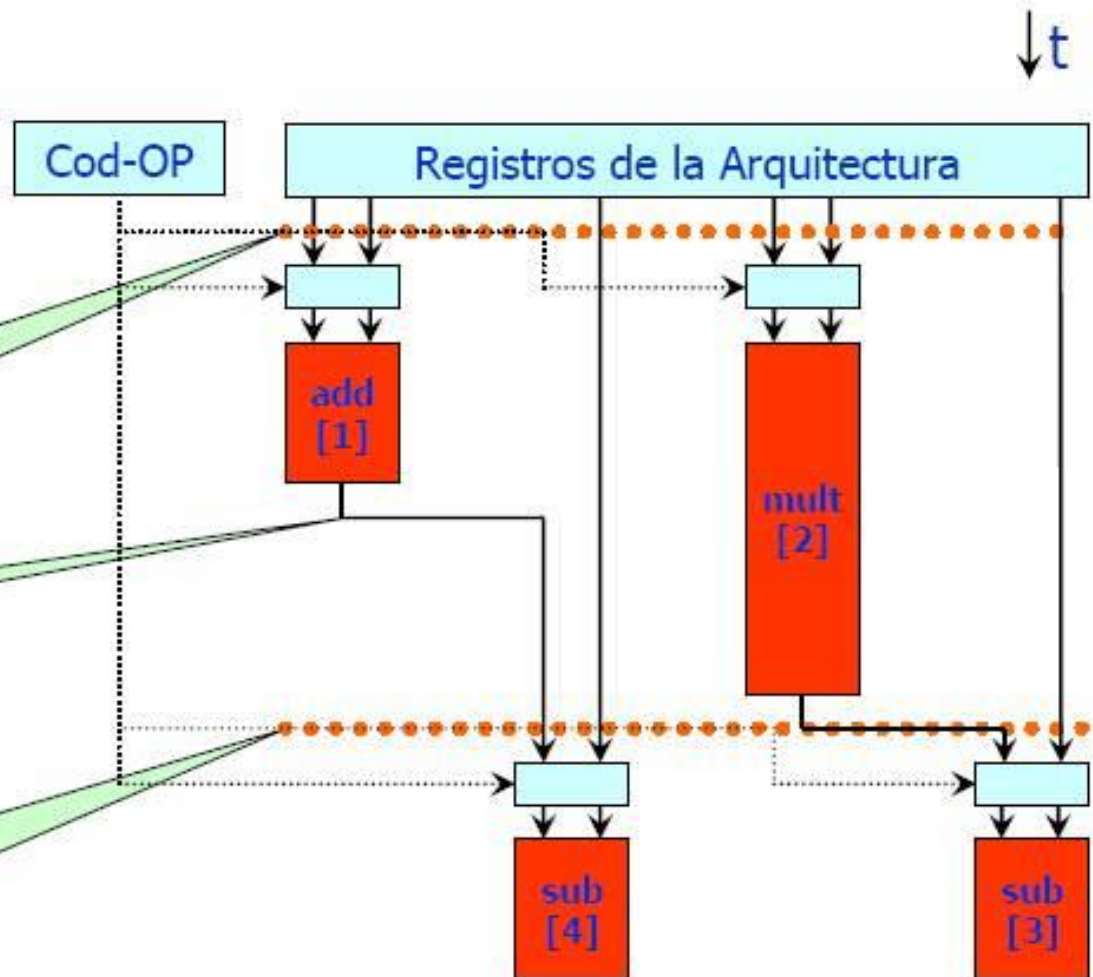
- Emisión ordenada

<i>i</i>	Instr. <i>i</i>	Latencia
[1]	add r4,r1,r2	(2)
[2]	mult r5,r1,r5	(5)
[3]	sub r6,r5,r2	(2)
[4]	sub r5,r4,r3	(2)

Emisión de [1] y [2] (tienen sus operandos)

Aunque [4] tiene sus operandos debe esperar

Emisión de [3] (tiene sus operandos al terminar [2]) y [4]





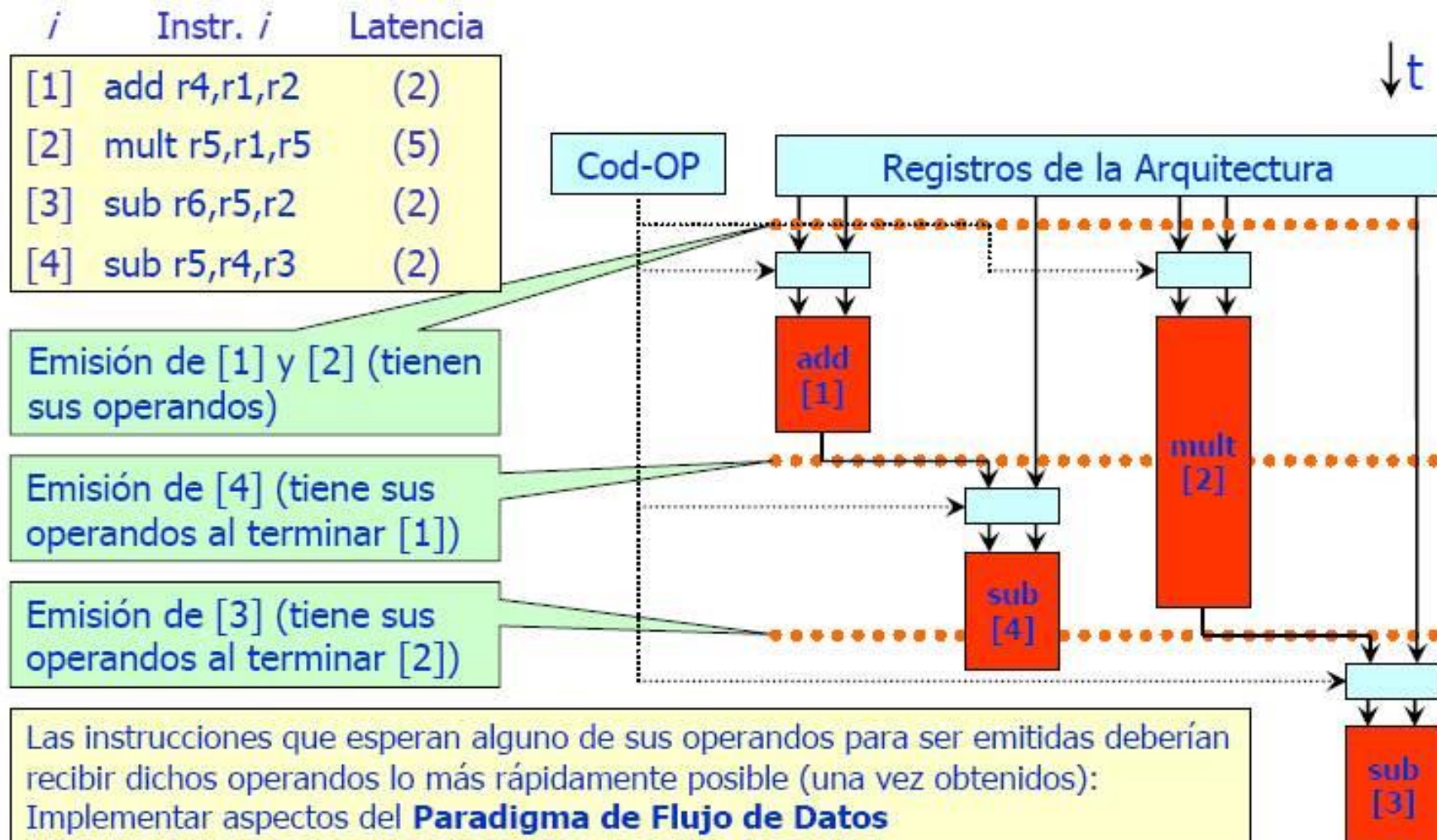
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

- Emisión desordenada



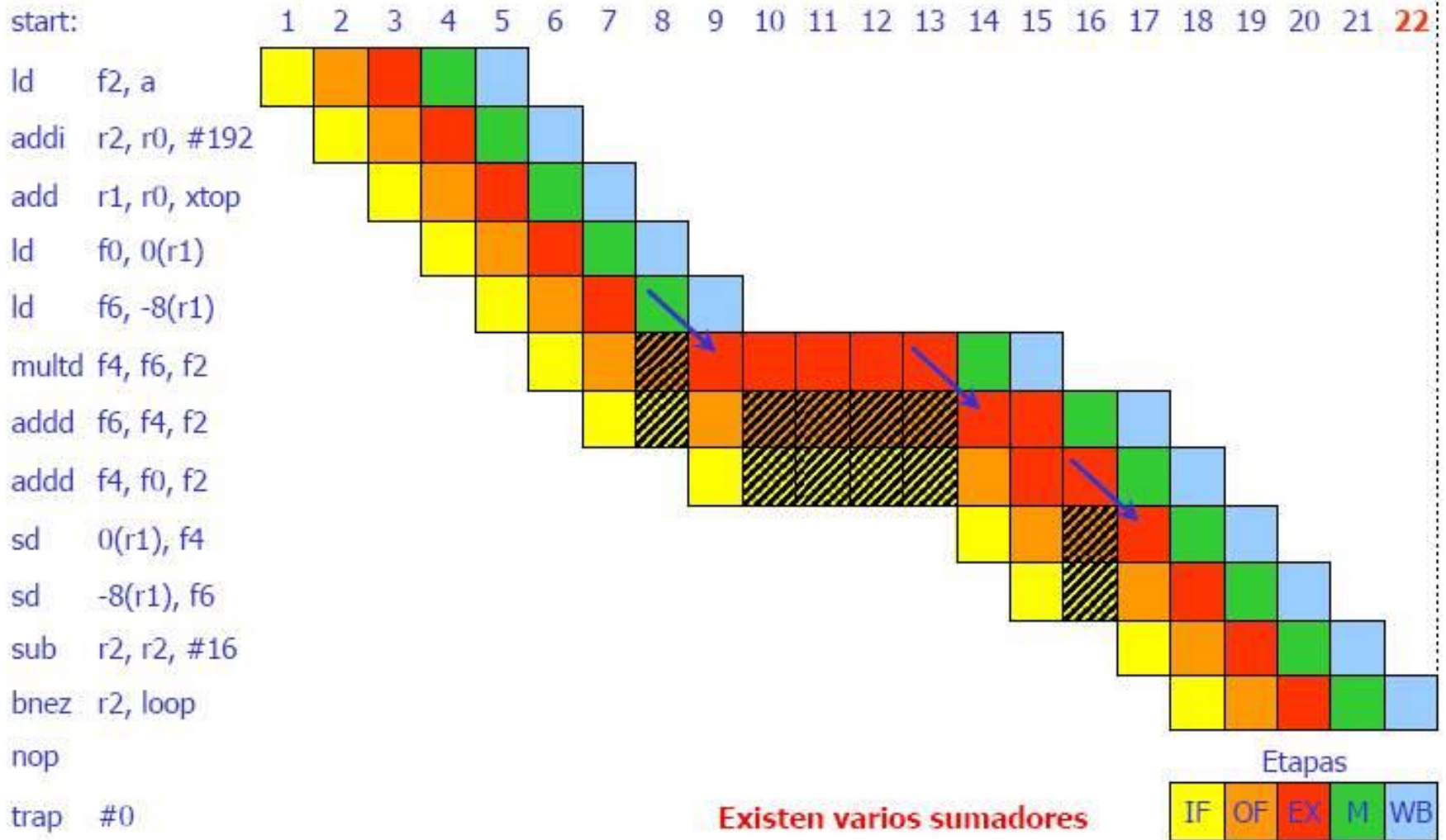
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

- Procesamiento segmentado





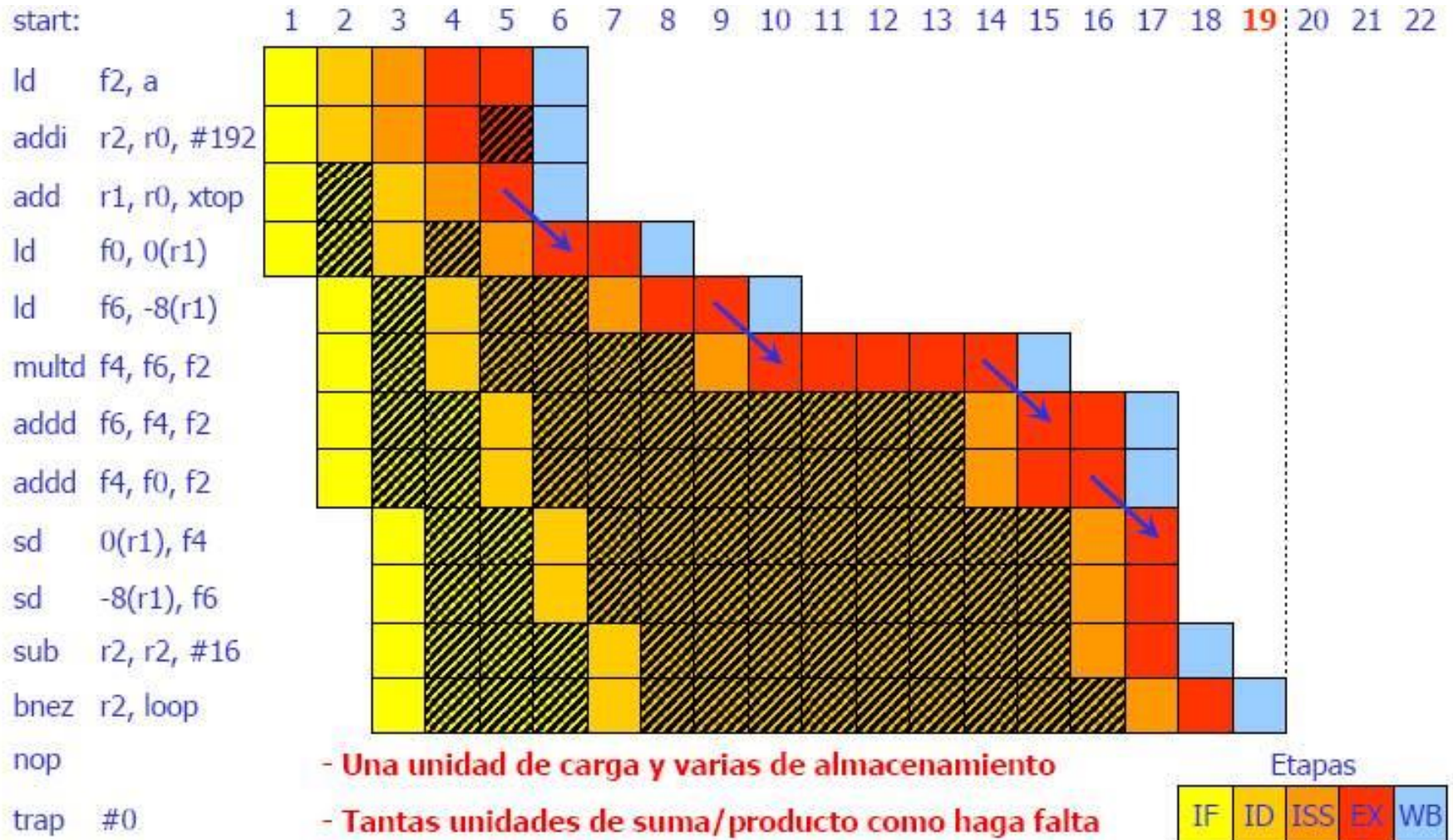
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

- Superescalar: emisión ordenada/finalización ordenada



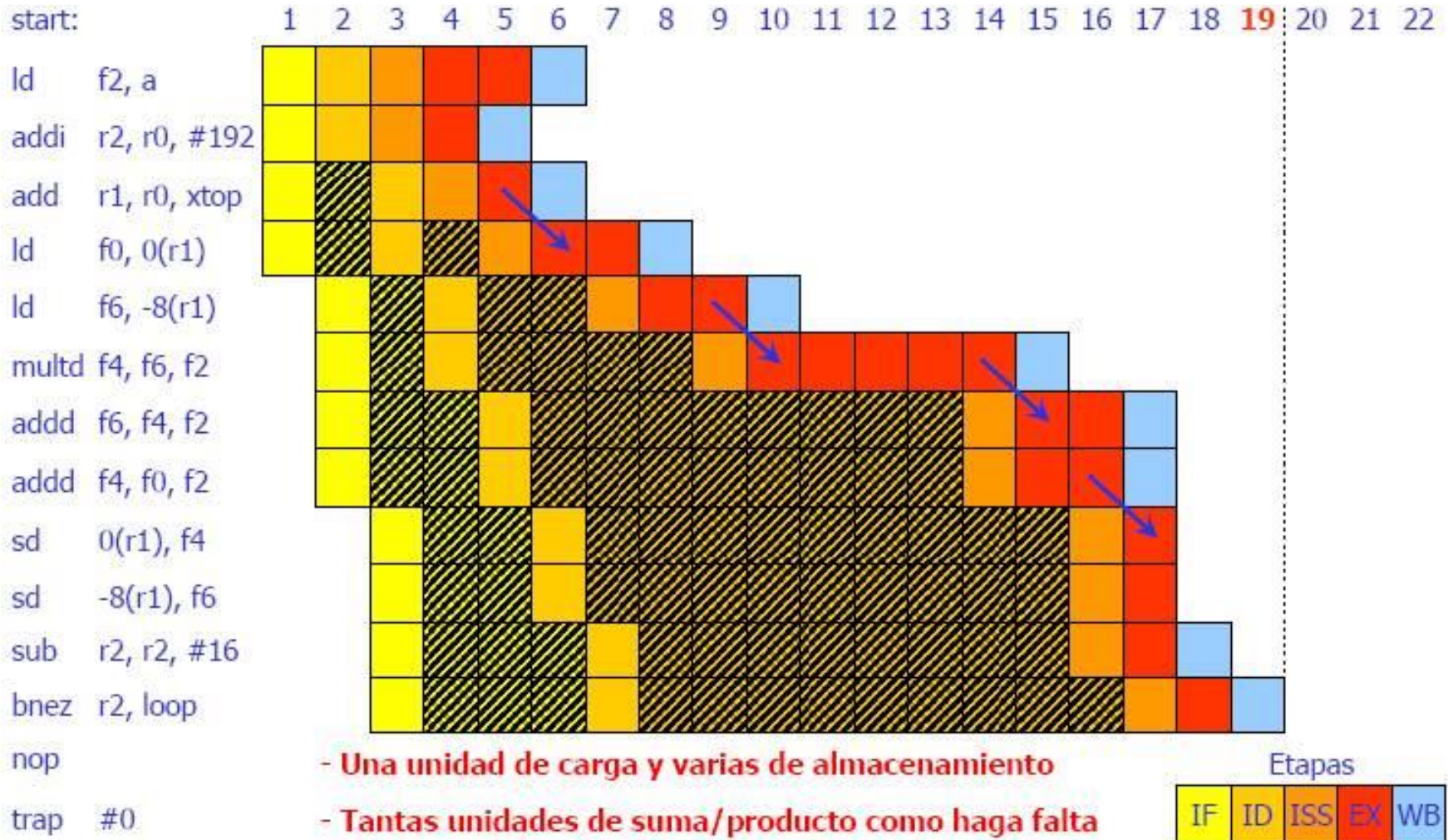
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

- Superescalar: emisión ordenada/finalización desordenada





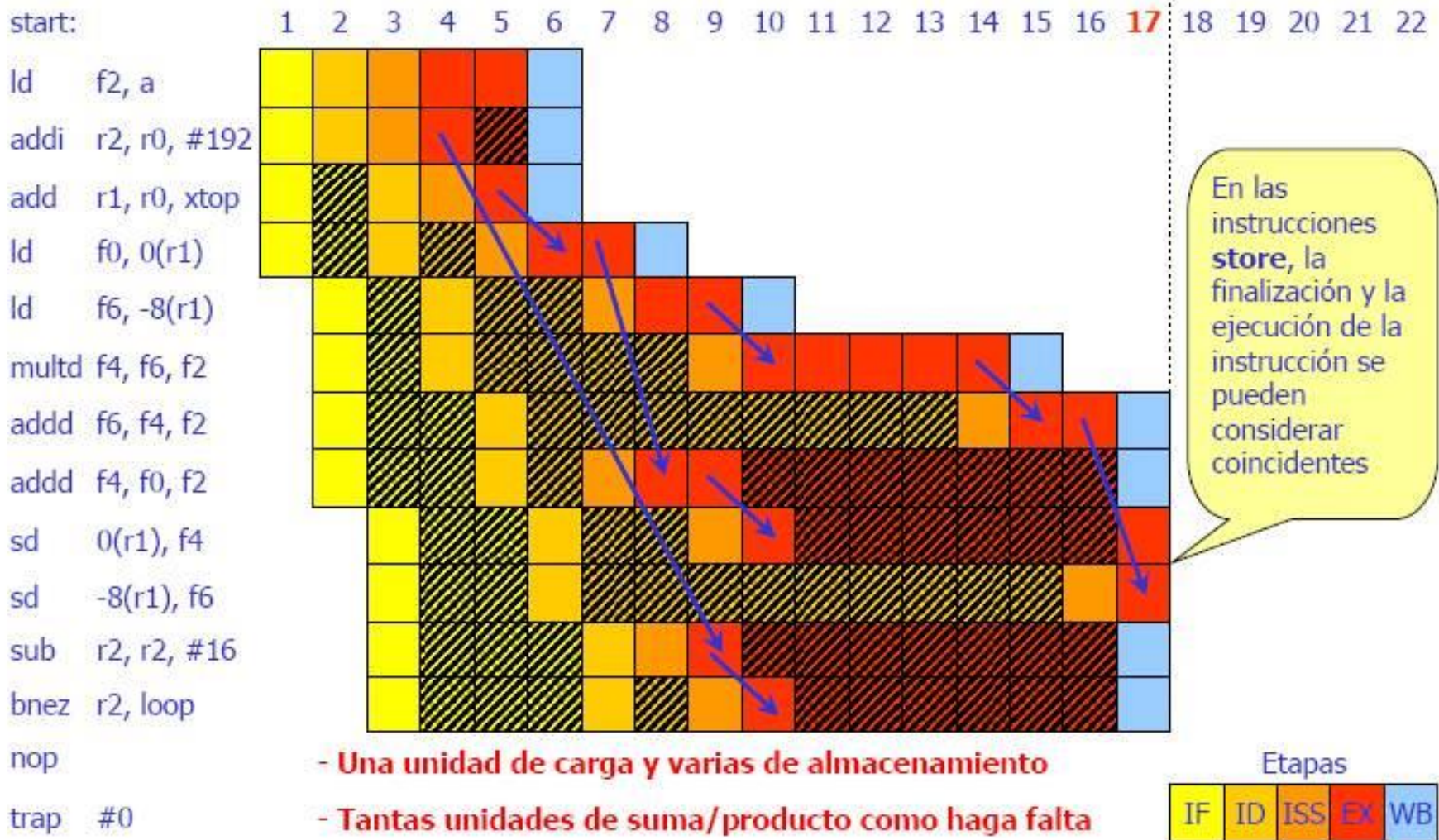
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

- Superescalar: emisión desordenada/finalización ordenada



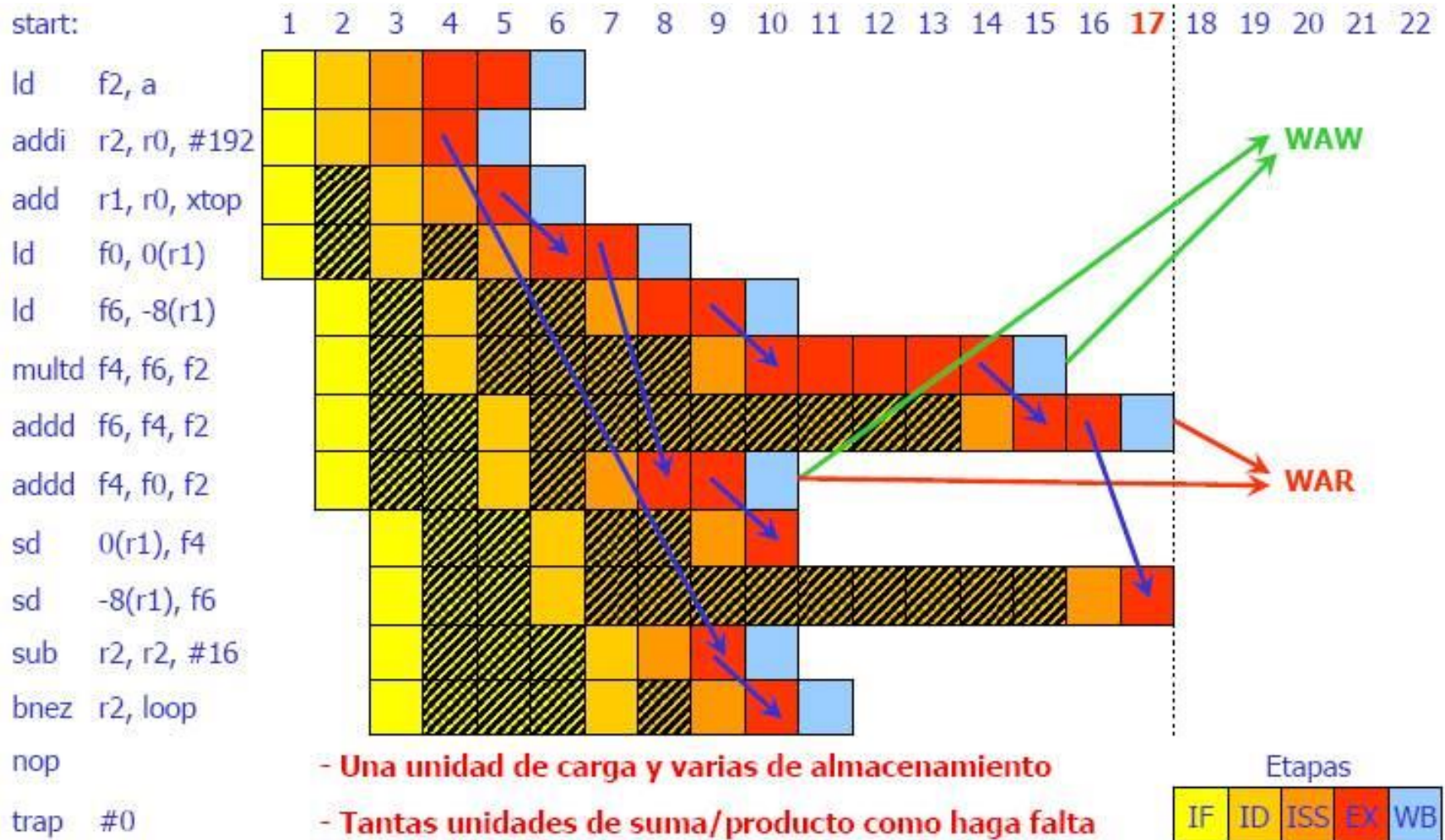
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

- Superescalar: emisión desordenada/finalización desordenada





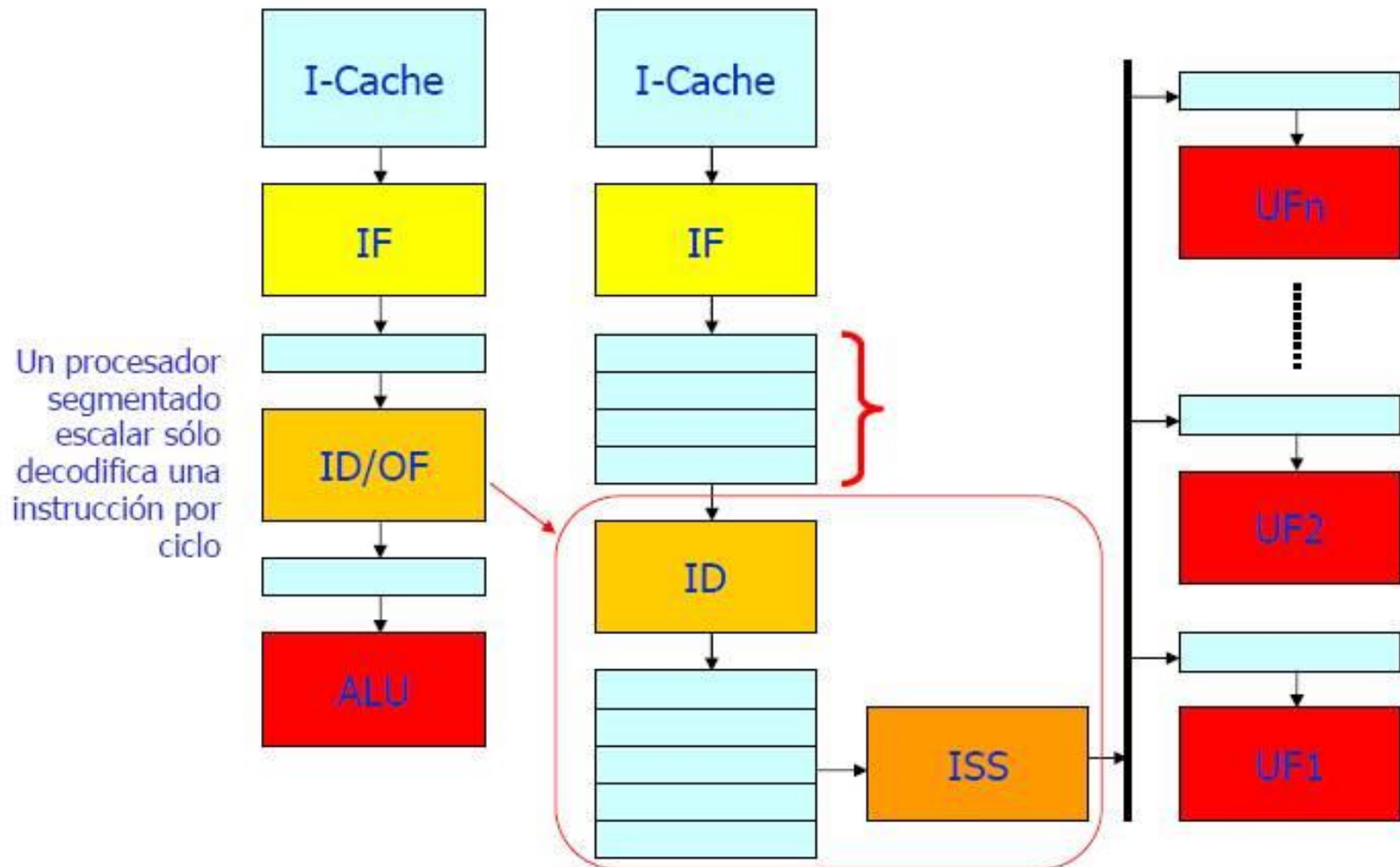
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación



En un procesador superescalar se han de decodificar varias instrucciones por ciclo (y comprobar las dependencias con las instrucciones que se están ejecutando)



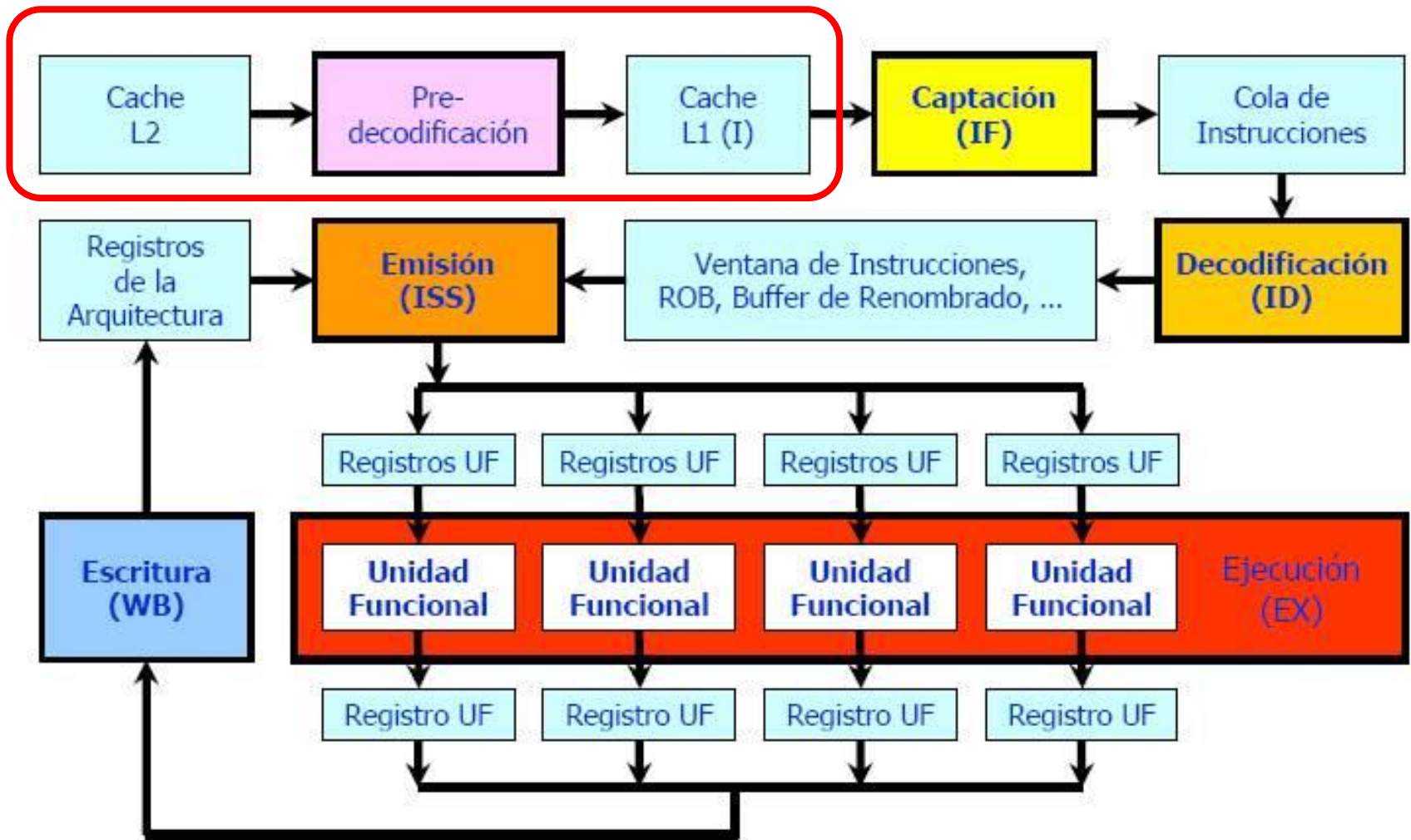
# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

- Bits de predecodificación pueden indicar:
  - Si es una instrucción de salto o no (se puede empezar su procesamiento antes)
  - El tipo de unidad funcional que va a utilizar (se puede emitir más rápidamente si hay cauces para enteros o coma flotante...)
  - Si hace referencia a memoria o no

# Ingeniería de los Computadores

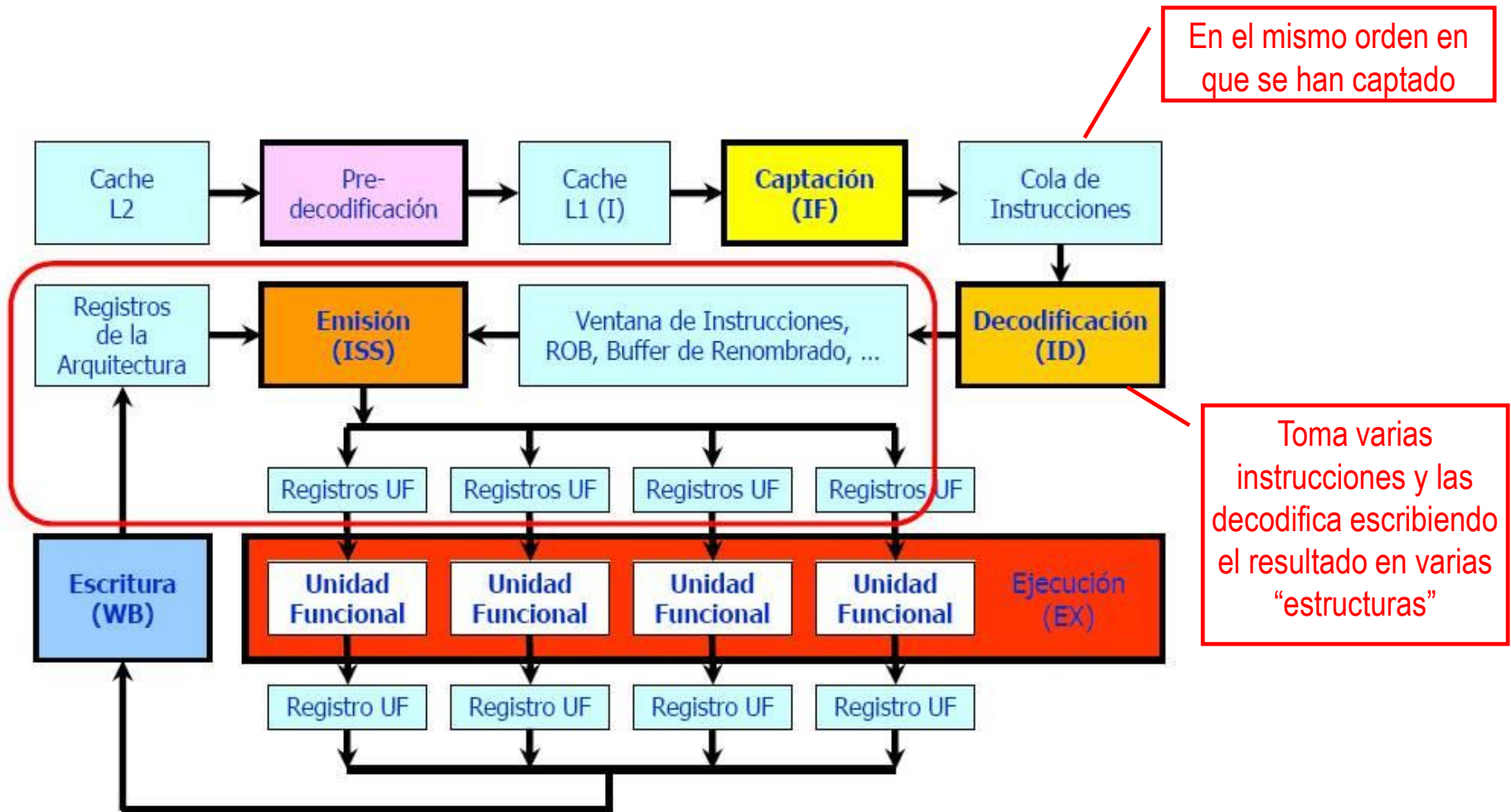
## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Ventana de instrucciones:
  - La ventana de instrucciones almacena las instrucciones pendientes (todas, si la ventana es centralizada o las de un tipo determinado, si es distribuida)
  - Las instrucciones se cargan en la ventana una vez decodificadas y se utiliza un bit para indicar si un operando está disponible (se almacena el valor o se indica el registro desde donde se lee) o no (se almacena la unidad funcional desde donde llegará el operando)
  - Una instrucción puede ser emitida cuando tiene todos sus operandos disponibles y la unidad funcional donde se procesará. Hay diversas posibilidades para el caso en el que varias instrucciones estén disponibles (características de los buses, etc.)

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

### Ejemplo de Ventana de Instrucciones

#	opcode	address	rb_entry	operand1	ok1	typ1	operand2	ok2	typ2	pred
2	MULTD	loop + 0x4	2	1	0	FPD	0	0	FPD	—
1	LD	loop	1	0	0	INT	0	1	IMM	—

Dato no válido  
(indica desde dónde se recibirá el dato)

Lugar donde se  
almacenará el resultado

Dato válido  
(igual a 0)



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

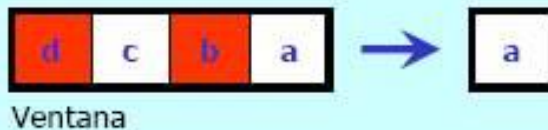
- **Orden:** Emisión Ordenada o Desordenada
- **Alineamiento:** Emisión Alineada o No alineada

Ejemplos:

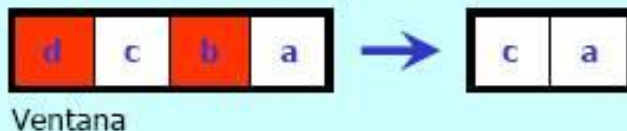
**Alineada:** SuperSparc (92), PowerPC (93, 95, 96), PA8000 (96), Alpha (92, 94, 95), R10000 (96)

**No Alineada:** MC88110 (93), PA7100LC (93), R8000 (94), UltraSparc (95)

### Emisión Ordenada

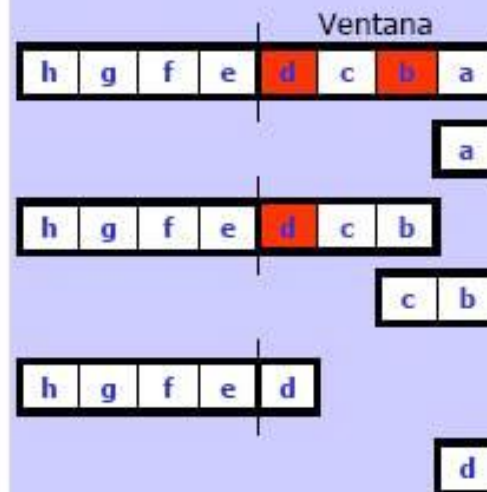


### Emisión Desordenada



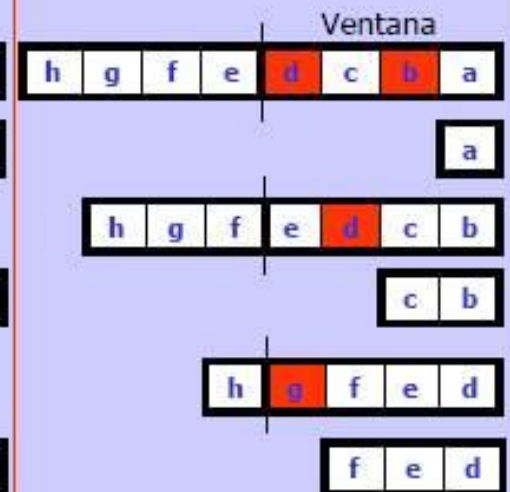
Instrucción no preparada para la emisión

### Emisión Alineada



Ordenada

### Emisión No alineada



Ordenada

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -
mult r5 [r1] 1 - [r5] 1 -
add r4 [r1] 1 - [r2] 1 -

Ventana de Registros

add/sub: 2  
mult: 1

[1] add r4,r1,r2 (2)  
[2] mult r5,r1,r5 (5)  
[3] sub r6,r5,r2 (2)  
[4] sub r5,r4,r3 (2)

↓ Se han emitido [1] y [2]

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -

↓ Ha terminado [1]

Ha terminado [2]: pueden emitirse [3] y [4]

sub r5 [r4] 1 - [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -



sub r5 [r4] 1 - [r3] 1 -
sub r6 [r5] 1 - [r2] 1 -

[4] puede emitirse pero debe esperar a la [3]

Instrucc.	ISS	EXE
add	(1)	(2)-(3)
mult	(1)	(2)-(6)
sub	(7)	(8)-(9)
sub	(7)	(8)-(9)

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -
mult r5 [r1] 1 - [r5] 1 -
add r4 [r1] 1 - [r2] 1 -

Ventana de Registros

add/sub: 2  
mult: 1

[1] add r4,r1,r2 (2)  
[2] mult r5,r1,r5 (5)  
[3] sub r6,r5,r2 (2)  
[4] sub r5,r4,r3 (2)

↓ Se han emitido [1] y [2]

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -

↓ Ha terminado [1]

Ha terminado [2]: pueden emitirse [3] y [4]

sub r5 [r4] 1 - [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -



sub r5 [r4] 1 - [r3] 1 -
sub r6 [r5] 1 - [r2] 1 -

[4] puede emitirse pero debe esperar a la [3]

Instrucc.	ISS	EXE
add	(1)	(2)-(3)
mult	(1)	(2)-(6)
sub	(7)	(8)-(9)
sub	(7)	(8)-(9)



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -
mult r5 [r1] 1 - [r5] 1 -
add r4 [r1] 1 - [r2] 1 -

Ventana de  
Registros

add/sub: 2  
mult: 1

[1] add r4,r1,r2 (2)  
[2] mult r5,r1,r5 (5)  
[3] sub r6,r5,r2 (2)  
[4] sub r5,r4,r3 (2)

↓ Se han emitido [1] y [2]

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -

**No afecta  
al tiempo**

Instrucc.	ISS	EXE
add	(1)	(2)-(3)
mult	(1)	(2)-(6)
sub	(7)	(8)-(9)
sub	(4)	(5)-(6)

↓ Ha terminado [1]

Se ha emitido [4] y ha terminado [2]: puede emitirse [3]

sub r5 [r4] 1 - [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -



sub r6 [r5] 1 - [r2] 1 -

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -
mult r5 [r1] 1 - [r5] 1 -
add r4 [r1] 1 - [r2] 1 -

Ventana de Registros

add/sub: 1  
mult: 1

[1] add r4,r1,r2 (2)  
[2] mult r5,r1,r5 (5)  
[3] sub r6,r5,r2 (2)  
[4] sub r5,r4,r3 (2)

↓ Se han emitido [1] y [2]

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -

↓ Ha terminado [1]

sub r5 [r4] 1 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -



Ha terminado [2] y se ha emitido [3].  
Cuando la unidad quede libre se emitirá [4]

sub r5 [r4] 1 - [r3] 1 -

Instrucc.	ISS	EXE
add	(1)	(2)-(3)
mult	(1)	(2)-(6)
sub	(7)	(8)-(9)
sub	(10)	(11)-(12)



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -
mult r5 [r1] 1 - [r5] 1 -
add r4 [r1] 1 - [r2] 1 -

Ventana de Registros

add/sub: 1  
mult: 1

[1] add r4,r1,r2 (2)  
[2] mult r5,r1,r5 (5)  
[3] sub r6,r5,r2 (2)  
[4] sub r5,r4,r3 (2)

↓ Se han emitido [1] y [2]

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -

**Se ganan  
3 ciclos**

Instrucc.	ISS	EXE
add	(1)	(2)-(3)
mult	(1)	(2)-(6)
sub	(7)	(8)-(9)
sub	(4)	(5)-(6)

↓ Ha terminado [1]

Se ha emitido [4] y ha terminado [2]: puede emitirse [3]

sub r5 [r4] 1 - [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -



sub r6 [r5] 1 - [r2] 1 -

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva

sub r5 r4 0 add [r3] 1 -
sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -
mult r5 [r1] 1 - [r5] 1 -
add r4 [r1] 1 - [r2] 1 -

Cola de Instrucciones

add/sub: 1  
mult: 1

[1] add r4,r1,r2 (2)  
[2] mult r5,r1,r5 (5)  
[3] sub r6,r5,r2 (2)  
[4] sub r5,r4,r3 (2)



sub r5 r4 0 add [r3] 1 -

Cola de Instrucciones

ID/ISS

sub r6 r5 0 mult [r2] 1 -  
add r4 [r1] 1 - [r2] 1 -

Estaciones de Reserva  
(con capacidad para dos instrucciones)

mult r5 [r1] 1 - [r5] 1 -

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

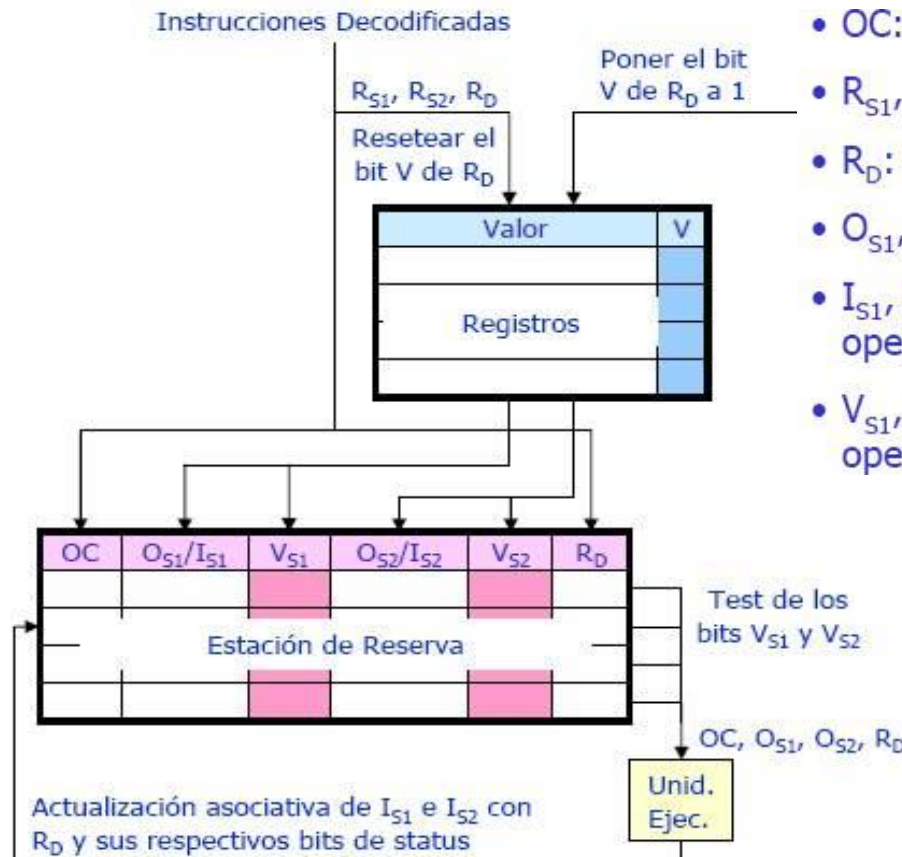
Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva



- OC: Código de operación
- $R_{S1}, R_{S2}$ : Registros fuente
- $R_D$ : Registro de destino
- $O_{S1}, O_{S2}$ : Operandos fuente
- $I_{S1}, I_{S2}$ : Identificadores de los operandos fuente
- $V_{S1}, V_{S2}$ : Bits válidos de los operandos fuente

# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva. Ejemplo de uso (1)

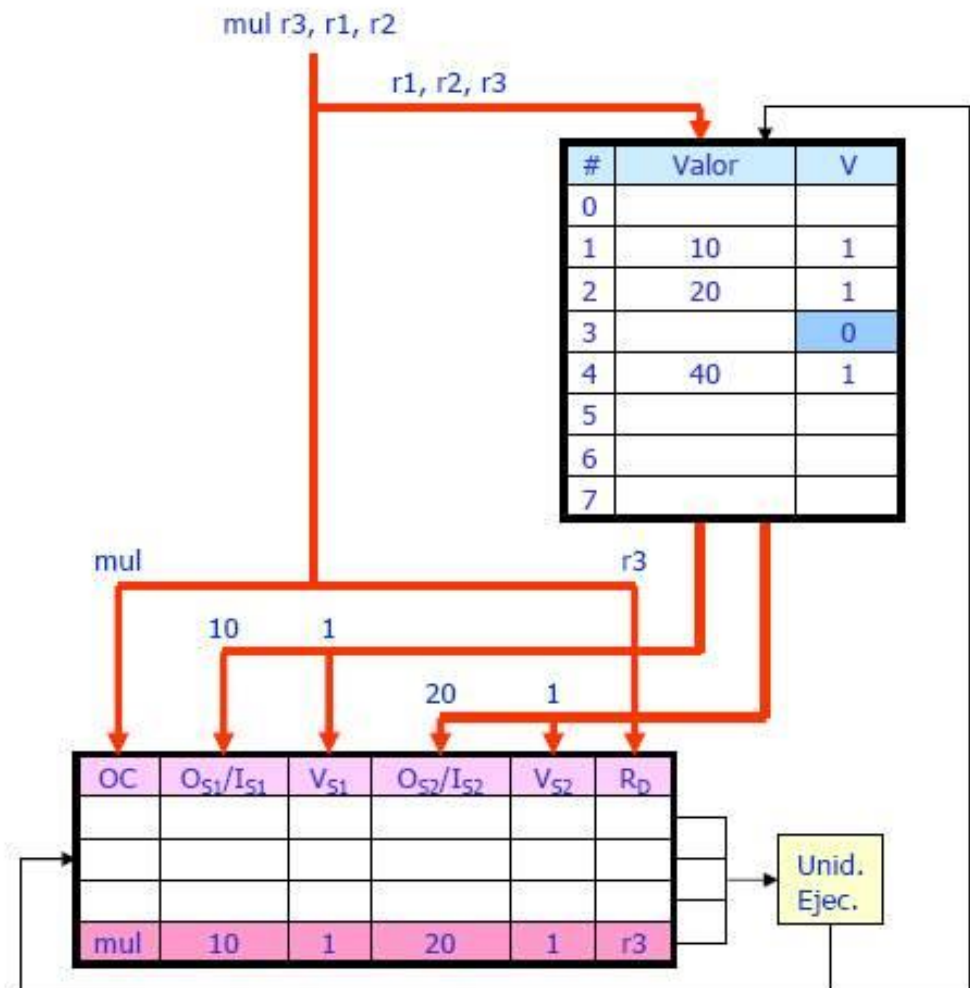
Ciclo i: mul r3, r1, r2

Ciclo i+1: add r5, r2, r3

add r6, r3, r4

Ciclo i:

- Se emite la instrucción de multiplicación, ya decodificada, a la estación de reserva
- Se anula el valor de r3 en el banco de registros
- Se copian los valores de r1 y r2 (disponibles) en la estación de reserva





# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

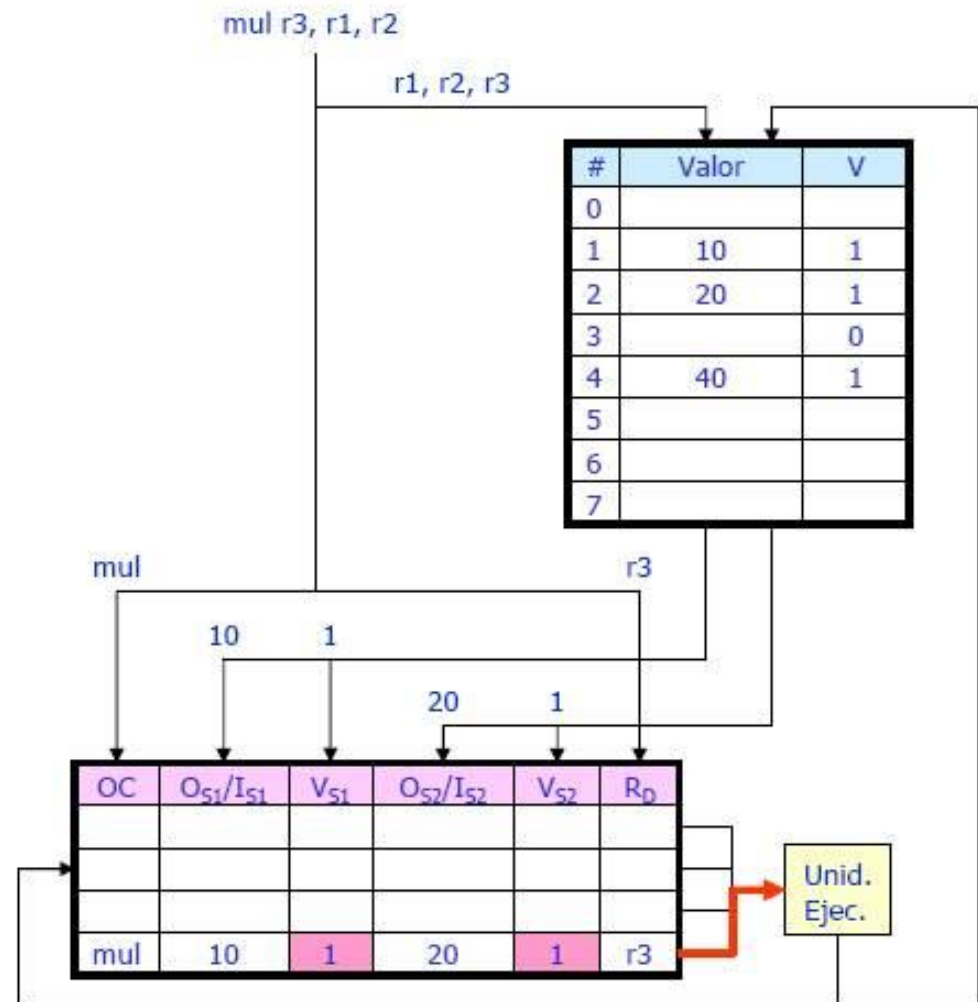
Emisión

- Estaciones de reserva. Ejemplo de uso (2)

Ciclo i: mul r3, r1, r2  
Ciclo i+1: add r5, r2, r3  
add r6, r3, r4

Ciclo i + 1:

- La operación de multiplicación tiene sus operadores preparados ( $V_{S1} = 1$  y  $V_{S2} = 1$ )
- Así que puede enviarse a la unidad de ejecución





# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva. Ejemplo de uso (3)

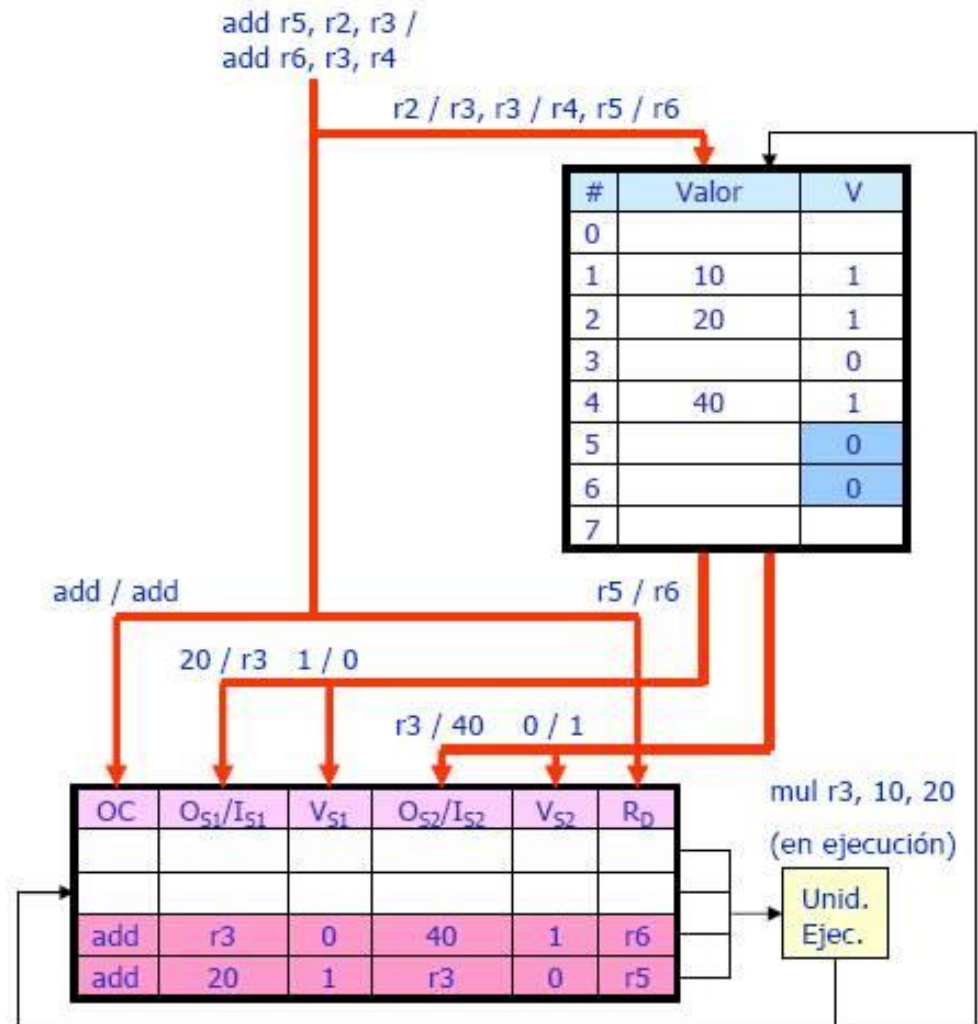
Ciclo i: mul r3, r1, r2

Ciclo i+1: add r5, r2, r3

add r6, r3, r4

Ciclo i + 1 (*cont.*):

- Se emiten las dos instrucciones de suma a la estación de reserva
- Se anulan los valores de r5 y r6 en el banco de registros
- Se copian los valores de los operandos disponibles y los identificadores de los operandos no preparados



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva. Ejemplo de uso (4)

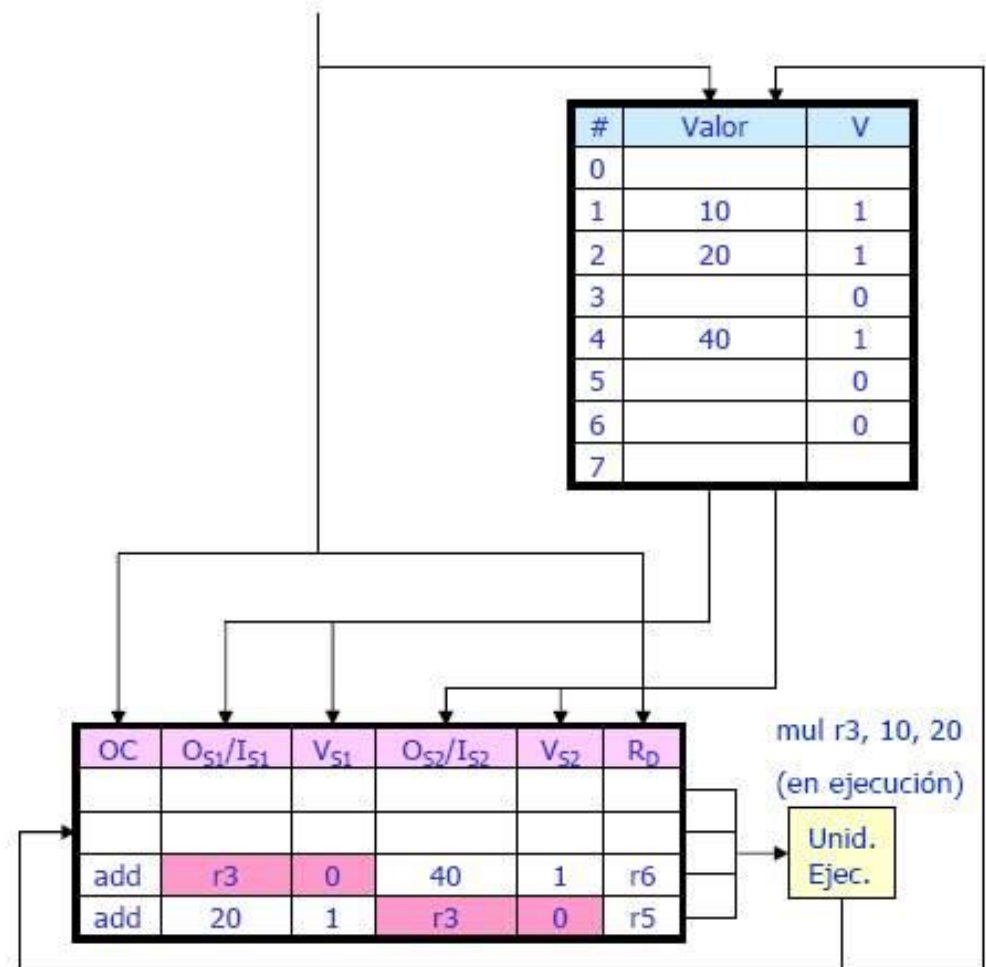
Ciclo i: mul r3, r1, r2

Ciclo i+1: add r5, r2, r3

add r6, r3, r4

Ciclos i + 2 .. i + 5:

- La multiplicación sigue ejecutándose
- No se puede ejecutar ninguna suma hasta que esté disponible el resultado de la multiplicación (r3)



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva. Ejemplo de uso (5)

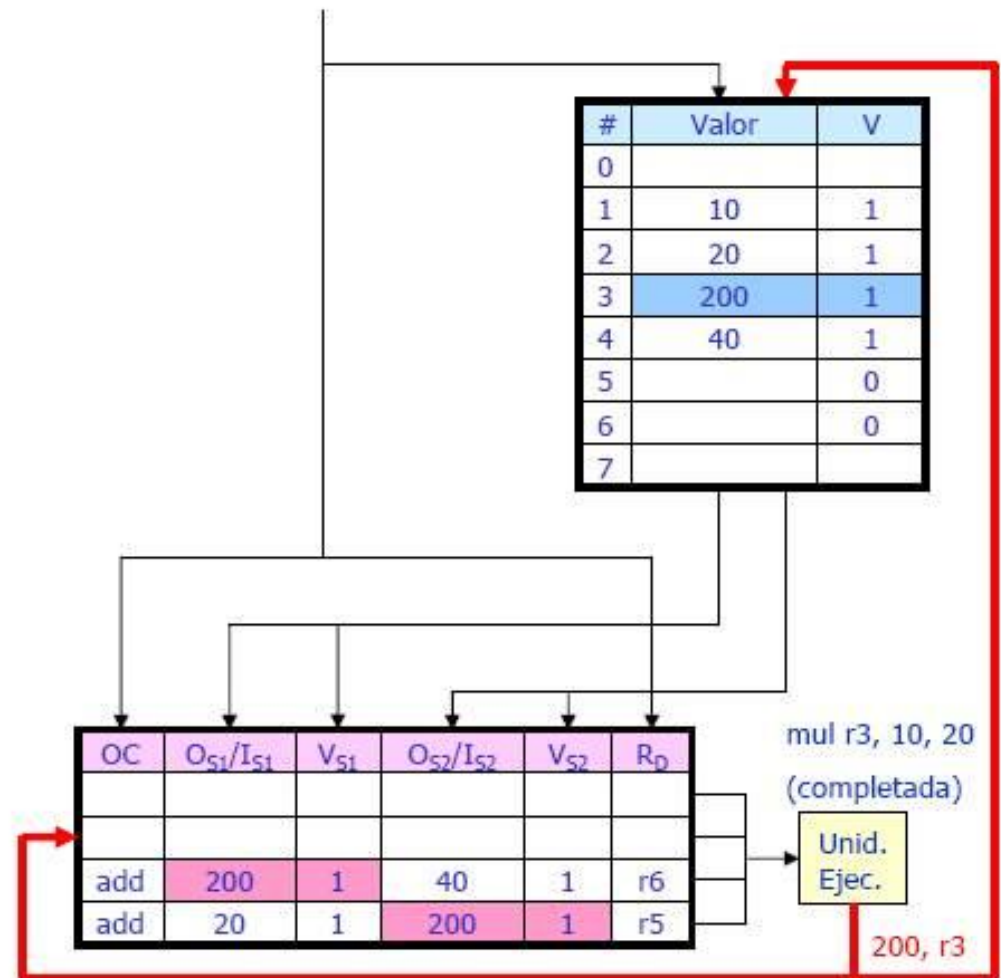
Ciclo i: mul r3, r1, r2

Ciclo i+1: add r5, r2, r3

add r6, r3, r4

Ciclo i + 6:

- Se escribe el resultado de la multiplicación en el banco de registros y en las entradas de la estación de reserva
- Se actualizan los bits de disponibilidad de r3 en el banco de registros y en la estación de reserva



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva. Ejemplo de uso (6)

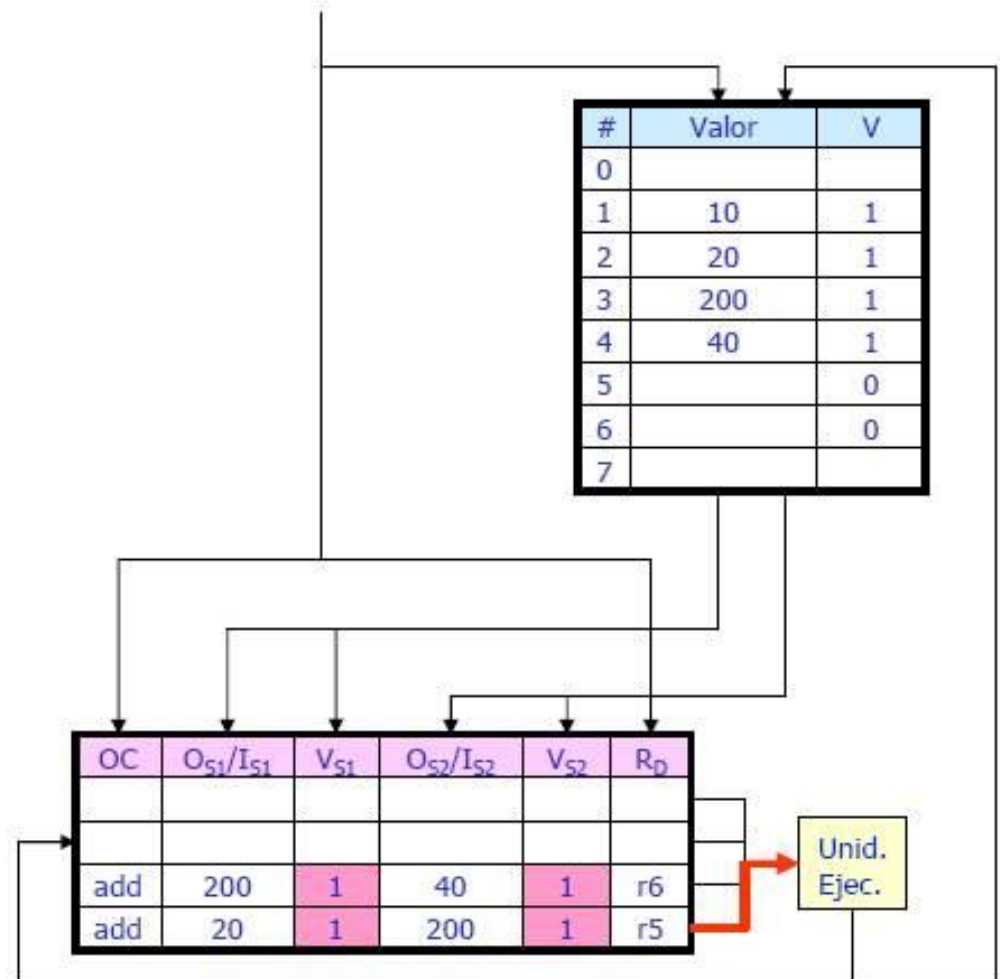
Ciclo i: mul r3, r1, r2

Ciclo i+1: add r5, r2, r3

add r6, r3, r4

Ciclo i + 6 (*cont.*):

- Las sumas tienen sus operadores preparados ( $VS1 = 1$  y  $VS2 = 1$ )
- Así que pueden enviarse a la unidad de ejecución





# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Estaciones de reserva. Ejemplo de uso (7)

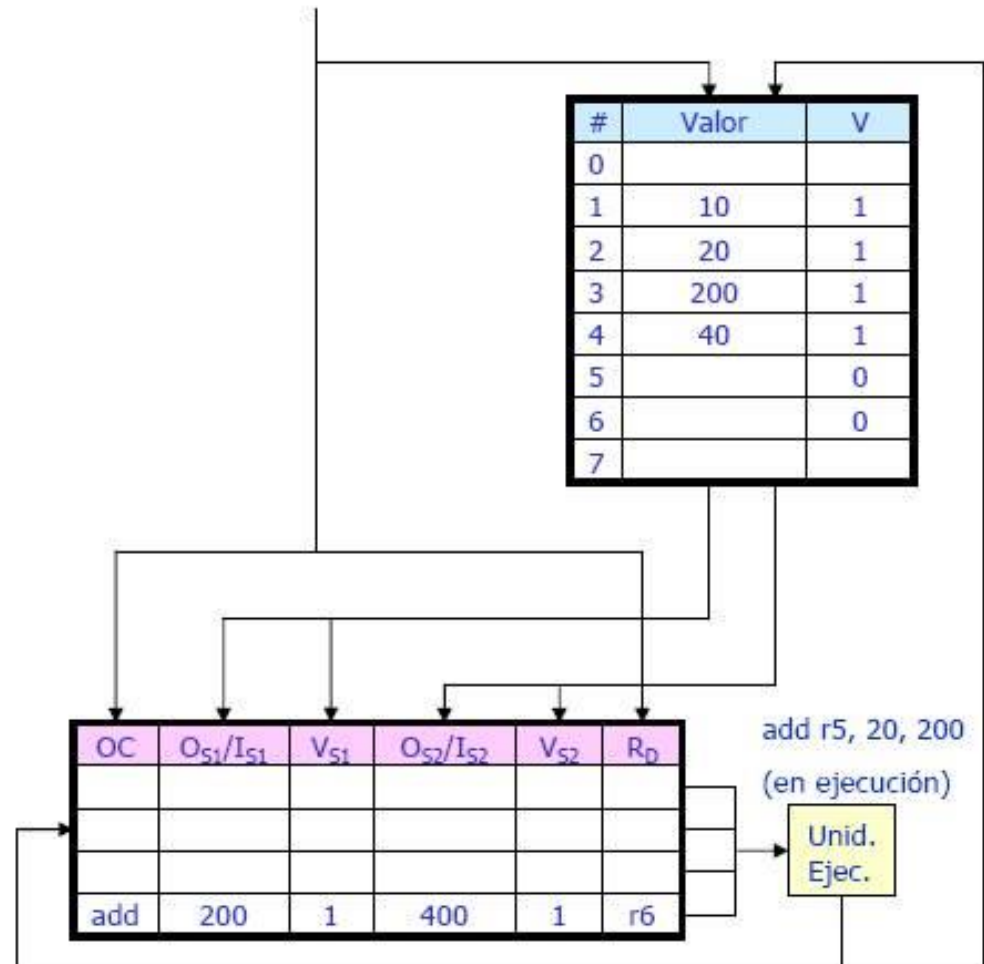
Ciclo i: mul r3, r1, r2

Ciclo i+1: add r5, r2, r3

add r6, r3, r4

Ciclo i + 6 (*cont.*):

- Como sólo hay una unidad de ejecución, se envía la instrucción más antigua de la estación de reserva, la primera suma



# Ingeniería de los Computadores

## Sesión 2. Superescalares

Motivación

Cauce

Decodificación

Emisión

- Ejercicio
  - Emisión ordenada/desordenada
  - Recursos: 1 lw/sw, 1 add/sub, 1 mult/div
  - Recursos: 1 lw/sw, 2 add/sub, 2 mult/div
  - Latencia: lw/sw (5 ciclos), add/sub (2 ciclos), mult/div (5 ciclos)

```
Lw r1,0(r2)
Add r2,r1,r3
Mult r3,r1,r2
Sub r4,r1,r2
Add r4,r1,r2
Div r4,r5,r6
```