

Arquitectura de Computadores



TEMA 2 ILP, Panificación dinámica, Predicción de saltos, Especulación

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Curso 2015-2016

Contenidos

- ❑ Introducción: ILP
- ❑ Técnicas SW: Compilador
- ❑ Planificación dinámica. Algoritmo de Tomasulo.
- ❑ Tratamiento de dependencias de control: Predicción de saltos
 - ❑ Tratamiento de saltos
 - ❑ Técnicas de predicción: Estáticas y dinámicas
- ❑ Especulación
- ❑ Bibliografía
 - o Capítulo 3 [HePa12]
 - o Capítulos 4, 5 y 8 de [SiFK97]

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción

- ❑ **OBJETIVO:** Ejecutar el mayor numero de instrucciones por ciclo
- ❑ **Obtener el máximo numero de instrucciones independientes**

$$CPI = CPI \text{ ideal} + \text{Penaliz. Media por Instr. (paradas "pipe")}$$

¿Que técnicas conocemos?

Conflictos de recursos - Riesgos estructurales → Replicación/segmentación
Dependencias de datos → Cortocircuitos
Dependencias de control (Un salto cada 4-7 instrucciones) → Saltos retardados

Mecanismos para explotar ILP

Basados en HW en tiempo de ejecución (dinámicos). Ej Pentium, AMD, IBM
Toda la información disponible en ejecución

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción

□ Paralelismo a nivel de instrucción ILP

- Es la técnica consistente en explotar paralelismo entre instrucciones próximas en la secuencia
- El bloque básico es muy pequeño
 - Un bloque básico (BB) es una secuencia de código sin saltos. Un solo punto de entrada y salida
 - Solo de 4 a 7 instrucciones
 - Fuertes dependencias entre ellas
- El camino es explotar ILP entre varios BB
- El caso más simple: paralelismo a nivel de bucle

```
for ( i =1; i<=1000; i++)
```

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción

□ Técnicas para explotar ILP

	Técnica	Reduce
Dinámicas	Planificación Dinámica	Paradas por riesgos de datos
	Predicción dinámica de saltos	Paradas por riesgos de control
	Lanzamiento múltiple	CPI Ideal
	Varias instrucciones por ciclo	
	Especulación	Riesgos de datos y control
	Dynamic memory disambiguation	Paradas por riesgos de datos en memoria
Estáticas	Desenrollado de bucles	Paradas por riesgos de control
	Planificación por el compilador	Paradas por riesgos de datos
	Software pipelining	CPI Ideal y Paradas por riesgos de datos
	Predicción estática y Especulación	CPI Ideal, paradas por riesgos

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Dependencias

- ❑ Determinar las dependencias es crítico para obtener el máximo paralelismo

¿Cuáles hay? , ¿A qué recursos afectan?

Las dependencias son propias de los programas

o La presencia de una dependencia indica la posibilidad de aparición de un riesgo, pero la aparición de éste y la posible parada depende de las características del "pipe"

o La dependencias

- Indican la posibilidad de un riesgo
- Determinan el orden de cálculo de los resultados
- Imponen un límite al paralelismo que es posible obtener

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Dependencias

□ Tipos de Dependencias

- Dependencias de datos
 - Dependencia verdadera (LDE)
 - Dependencias de nombre
 - Antidependencia (EDL)
 - Dependencia de salida (EDE)
- Dependencias de control

□ Dependencia verdadera (LDE)

- o La instrucción j depende de i
 - i produce un resultado que usa j
 - j depende de k y k depende de i

Cartagena99

i:

LD

F0.0(R1)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Dependencias

□ Dependencias de nombre (Reutilización de los registros)

o Dos instrucciones i y j donde i precede a j presentan dependencias de nombre en las siguientes situaciones:

o Antidependencia WAR (EDL)

▪ La instrucción j escribe (Reg o memoria) antes de que i lea.

```
ADDD  F4,F0,F2
LD    F0,-8(R1)
```

o Dependencia de salida WAW (EDE)

▪ Las instrucciones i y j escriben el mismo reg. o memoria

```
ADDD  F4,F0,F2
SUBD  F4,F3,F2
```

□ ILP y Dependencias de datos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Dependencias

□ Dependencias de control

o Cada instrucción depende de un conjunto de saltos y en general esta dependencia debe preservarse para preservar el orden del programa

```
if P1 (
    S1;
);
if P2 (
    S2;
)
```

S1 depende de P1 ; S2 depende de P2

Las dependencias de control pueden violarse. Se pueden ejecutar instrucciones no debidas **si esto no afecta** al resultado correcto del programa

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Dependencias

□ Dependencias de control y Excepciones

- o Comportamiento de excepciones se debe preservar. Cualquier cambio en el orden de ejecución no debe cambiar cómo las excepciones son atendidas en la ejecución.

DADDU R2,R3,R4

BEQZ R2,L1

LW R1,0(R2)

L1: --- ---

- o LW no se puede mover antes de BEQZ (posible fallo de pagina)

□ Dependencias de control y flujo de datos

- o Se debe mantener el flujo de datos entre instrucciones productoras y consumidoras de datos.

DADDU R1,R2,R3

BEQZ R4,L1

DSUBU R1,R5,R6

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Dependencias

□ Dependencias de datos

Fáciles de determinar para registros

Difíciles para direcciones de memoria

¿Son el mismo dato 100(R4) y 20(R6)?

En dos iteraciones diferentes 20(R6) y 20(R6) ¿son el mismo dato?

Debe conocer dependencias entre load y store para permitir su reordenación

Más registros para evitar dependencias de nombre

□ Dependencias de control

En general:

- Una instrucción dependiente de un salto no puede moverse antes del salto
- Una instrucción no dependiente de un salto no puede moverse después del salto

Efecto de las dependencias de control sobre el orden de las excepciones

y el flujo de datos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

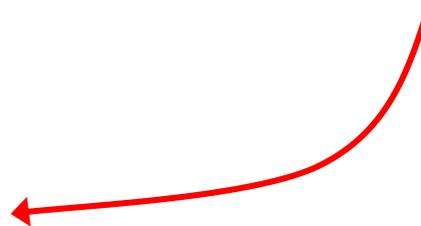
Técnicas SW para explotar ILP

□ Un programa: Bucle simple

```
for ( i =1; i <= 1000; i++)
    x (i) = x (i) + s ;
```

✓ Código maquina DLX

```
Loop  LD    F0,0(R1)
      ADDD  F4,F0,F2
      SD    O(R1),F4
      SUBI  R1,R1,#8
      BNEZ  R1,Loop
```



Instrucción que produce resultado	Instrucción que usa el resultado	Latencia de uso
FP ALU	FP ALU	3
FP ALU	STORE FP	2

Datos de la etapa de ejecución

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Técnicas SW para explotar ILP

□ Un programa: Bucle simple

```
for ( i =1; i <= 1000; i++)  
  x (i) = x (i) + s ;
```

✓ Ejecución en el procesador

Loop	LD	F0,0(R1)	Ciclo 1
	Espera		2
	ADDD	F4,F0,F2	3
	Espera		4
	Espera		5
	SD	0(R1),F4	6
	SUBI	R1,R1,#8	7
	Espera		8
	BNEZ	R1,Loop	9
	Espera		10

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Técnicas SW para explotar ILP

□ Planificación de instrucciones

Loop	LD	F0,0(R1)	Ciclo1	Reordenamiento para ocultar latencias 6 ciclos ~ 1 instrucción por ciclo 2 ciclos de overhead por el salto
	SUBI	R1,R1,#8	2	
	ADDD	F4,F0,F2	3	
	Espera		4	
	BNEZ	R1,Loop	5	
	SD	#8(R1),F4	6	

□ Desenrollado 4 veces para más paralelismo (elimina saltos)

Loop	LD	F0,0(R1)	Expone más paralelismo y elimina saltos
	ADDD	F4,F0,F2	
	SD	0(R1),F4	
	LD	F6,-8(R1)	
	ADDD	F8,F6,F2	Se elimina 3 saltos y 3 decrementos
	SD	-8(R1),F8	
	LD	F10,-16(R1)	
	ADDD	F12,F10,F2	Permanecen dependencias y paradas
	SD	-16(R1), F12	

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

BNEZ R1,LOOP

Técnicas SW para explotar ILP

□ Desenrollado + Planificación

```
Loop    LD      F0,0(R1)
        LD      F6,-8(R1)
        LD      F10,-16(R1)
        LD      F14,-24(R1)
        ADDD   F4,F0,F2
        ADDD   F8,F6,F2
        ADDD   F12,F10,F2
        ADDD   F16,F14,F2
        SD     0(R1),F4
        SD     -8(R1),F8
        SUBI   R1,R1,#32
        SD     16(R1),F12; 16-32= -16
        BNEZ   R1,Loop
        SD     8(R1),F16; 8-32 = -24
```

- ✓ Mover SD después de SUBI: ojo al valor de R1
- ✓ 3.5 ciclos por iteración
- ✓ Más registros (Imprescindible !!)

Cartagena99

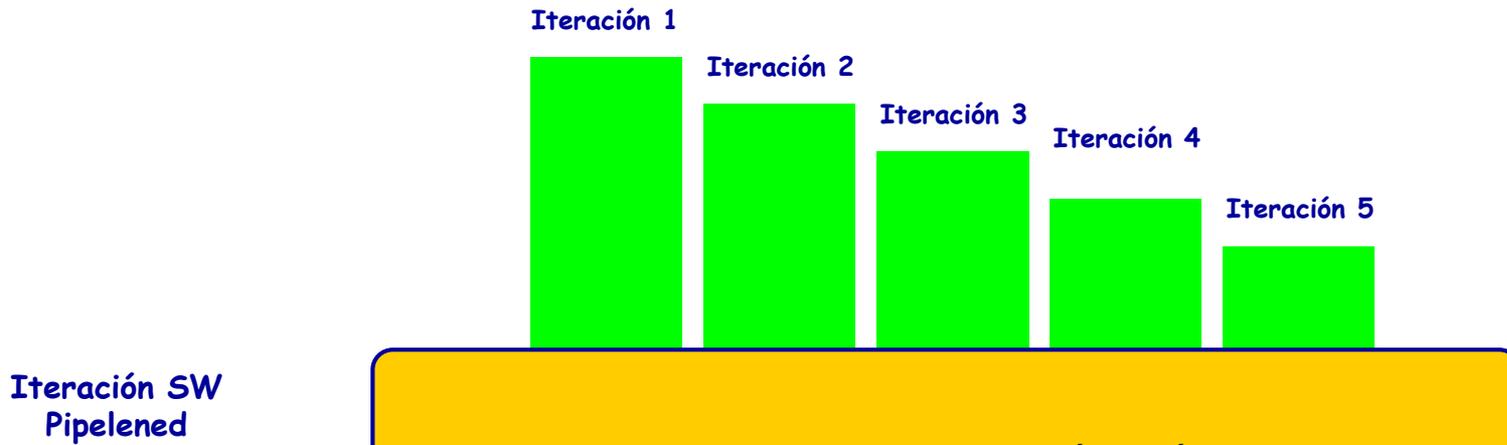
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

❑ Software "pipelining"

- **Idea:**

Si las diferentes iteraciones de un bucle son independientes, tomemos instrucciones de diferentes iteraciones para aumentar el ILP
Reorganiza los bucles de manera que cada instrucción pertenece a una iteración diferente



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Técnicas SW para explotar ILP

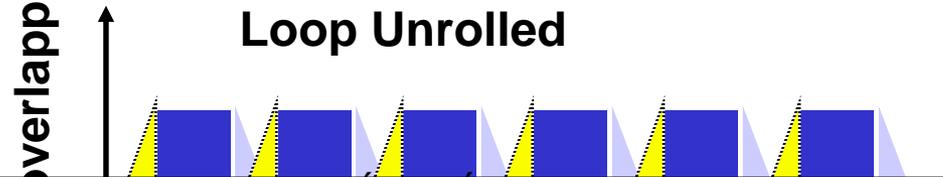
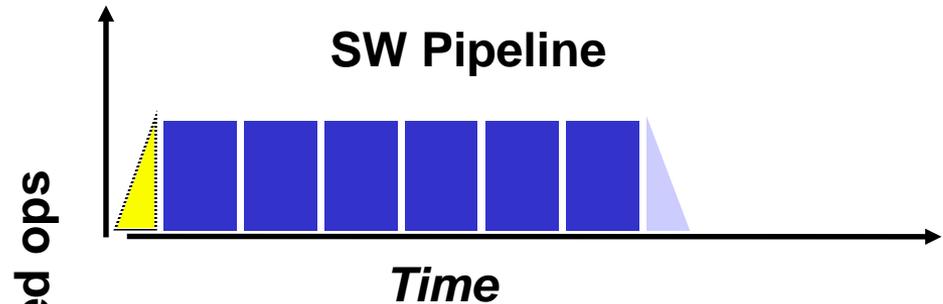
Software "pipelining"

Antes: Unrolled 3 veces

1	LD	F0,0(R1)
2	ADDD	F4,F0,F2
3	SD	0(R1),F4
4	LD	F6,-8(R1)
5	ADDD	F8,F6,F2
6	SD	-8(R1),F8
7	LD	F10,-16(R1)
8	ADDD	F12,F10,F2
9	SD	-16(R1),F12
10	SUBI	R1,R1,#24
11	BNEZ	R1,LOOP

Después: Software Pipelined

1	SD	0(R1),F4 ; Stores M[i]
2	ADDD	F4,F0,F2 ; Adds to M[i-1]
3	LD	F0,-16(R1); Loads M[i-2]
4	SUBI	R1,R1,#8
5	BNEZ	R1,LOOP



- ✓ Loop unrolling simbólico
 - Maximiza la distancia resultado-uso

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Técnicas SW para explotar ILP

Ejecución SW pipelined (suposición R1=1000)

$F0 \leftarrow M(1000)$ $F4 \leftarrow F0 + F2 ; M(1000)+F2$ $F0 \leftarrow M(992)$	}	Cabecera	$LD \quad F0, 0(R1)$ $ADDD \quad F4, F0, F2$ $LD \quad F0, -8(R1)$

$M(1000) \leftarrow F4 ; M(1000)+F2$ $F4 \leftarrow F0 + F2 ; M(992)+F2$ $F0 \leftarrow M(984)$ $R1 \leftarrow 992$	}	Iteración 1	$SD \quad 0(R1), F4 ; \text{Stores } M[i]$ $ADDD \quad F4, F0, F2 ; \text{Adds to } M[i-1]$ $LD \quad F0, -16(R1); \text{Loads } M[i-2]$

$M(992) \leftarrow F4 ; M(992)+F2$ $F4 \leftarrow F0 + F2 ; M(984)+F2$ $F0 \leftarrow M(976)$ $R1 \leftarrow 984$	}	Iteración 2	$SD \quad 0(R1), F4$ $ADDD \quad F4, F0, F2$ $LD \quad F0, -16(R1)$

\dots \dots $F0 \leftarrow M(0) ; \text{Ahora } R1=16$ $R1 \leftarrow 8$	}	Iteración n	<ul style="list-style-type: none"> • • •

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

□ Comparación

▪ Loop Unrolling

- Bloque grande para planificar
- Reduce el numero de saltos
- Incrementa el tamaño del código
- Tiene que incluir iteraciones extra
- Presión sobre el uso de registros

▪ Software Pipelining

- No hay dependencias en el cuerpo del bucle
- No reduce el numero de saltos
- Necesita inicio y finalización especial

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de dependencias de datos en ejecución

□ Planificación dinámica : Procesador.

Modifica la secuencia de instrucciones resolviendo las dependencias en tiempo de ejecución. Disponibilidad de más unidades funcionales. Código valido para diferentes implementaciones

□ Problema : Lanzamiento de instrucciones en orden.

DIVD	F0,F2,F4	S1	S2 depende de S1
ADDD	F10,F0,F8	S2	
SUBD	F12,F8,F14	S3	S3 es independiente de la demás

La etapa ID bloquea la ejecución en S2 hasta que se resuelve la dependencia (F0 disponible) y SUBD no puede ejecutarse.

□ Solución : Dividir la etapa ID en dos etapas diferenciadas.

Issue: Decodifica y chequea riesgos estructurales.

Lectura de operandos: Chequea disponibilidad de operandos. Debe implementarse para permitir el flujo de instrucciones.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica : Tomasulo

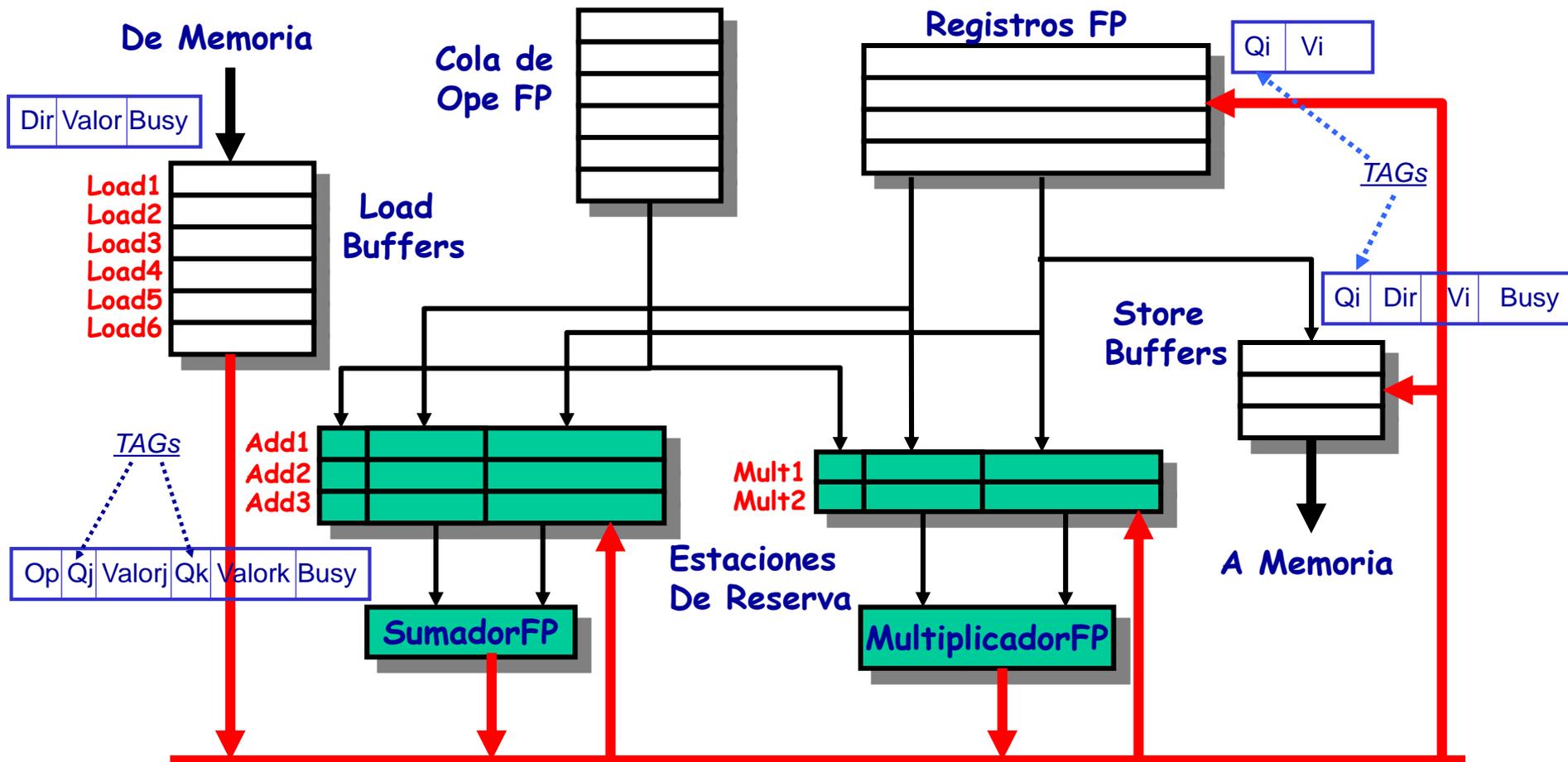
- ❑ (IBM 360/91, año 1967)
- ❑ Elimina dinámicamente los riesgos EDE y EDL mediante el renombrado de registros
- ❑ Motivación:
 - Arquitectura 360, 4 registros FP(Pocos registros, muchas dependencias)
 - Arquitectura RM
 - UF segmentadas Add(3), Mul(2), Load (6), Stores (3)
- ❑ Solo consideraremos las operaciones de PF en la explicación
- ❑ Casi todos los procesadores desarrollados en los últimos años usan mecanismos basados en este algoritmo
 - Alpha 21264, HP 8000, MIPS 10000, Pentium III-4-Core, PowerPC 604, ...

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica : Tomasulo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Planificación Dinámica : Tomasulo

□ Componentes de las ER

- Op: Operación a realizar
- Valorj, Valork: Valores de los operandos fuente (si están calculados)
- Qj, Qk: N° de la ER que está produciendo los operandos fuente. Notar: $Qj, Qk=0 \Rightarrow$ operando calculado.
- Busy: Indica ER ocupada

□ Store Buffers

- Vi: Valor que debe ser almacenado en memoria (si está calculado).
- Dir: Dirección de almacenamiento
- Qi: N° de la ER que está produciendo el resultado. Si $Qi=0 \Rightarrow$ valor calculado

□ Registros FP

- Vi: Valor almacenado en el registro (puede estar obsoleto)
- Qi: N° de la ER que está produciendo el valor a almacenar en el registro. Si $Qi=0 \Rightarrow$ no hay ninguna ER que vaya a almacenar un nuevo valor en el reg (el valor del registro no está obsoleto)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica : Tomasulo

□ Tres estados para una instrucción en el algoritmo

1. Issue

Toma la instrucción (COD F_i, F_j, F_k) de la cola de instrucciones. Envía la instrucción a la ER correspondiente si hay entradas disponibles. Envía los operandos si están disponibles o UF que los generará. En load/store: envía la instrucción si hay buffer libre.

(Copiar "Tag+Valor" de registros fuente sobre campos "Tag+Valor" de ER)

Marca registro destino (tag) con ID de la ER que ejecutará la instrucción

2. Ejecución

Monitoriza CDB para disponibilidad de operandos. Cuando los operandos están listos manda ejecutar.

3. Escritura de resultados

Vía CDB en registros y estaciones de reserva (ER) y marca ER como libre.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica : Tomasulo

□ Ejemplo: Ejecución de la secuencia:

(S1): COD1 F2, ---, ---

(S2): COD2 F4, ---, ---

(S3): **ADDD F0, F2, F4**

Suposiciones: S1 y S2 ya lanzadas a ejecución, S3 se va a lanzar

Estado inicial de registros:

	TAG	VALOR
F0	??	??
F2	Y	??
F4	Z	??

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica : Tomasulo

□ Ejemplo: Ejecución de la secuencia:

(S1): COD1 F2, ---, ---

(S2): COD2 F4, ---, ---

(S3): **ADDD F0, F2, F4**

Paso 1: Lanzamiento de **ADDD** a la ER X (X es una ER libre de la UF de Suma/Resta de Punto Flotante)

Estación de reserva

	Busy	OP	TAGj	Valorj	TAGk	Valork
X	yes	+	Y	??	Z	??

Estado de registros

	TAG	VALOR
F0	X	??
F2	Y	??
F4	Z	??

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica : Tomasulo

□ Ejemplo: Ejecución de la secuencia:

(S1): COD1 F2, ---, ---

(S2): COD2 F4, ---, ---

(S3): **ADDD F0, F2, F4**

Paso 2: Esperar a que se generen los operandos

a) Escritura del resultado de S1 sobre el CDB: (Y, 22.57)

Estación de reserva

Busy	OP	TAGj	Valorj	TAGk	Valork	
X	yes	+	0	22.57	Z	??

Estado de registros

	TAG	VALOR
F0	X	??
F2	0	22.57
F4	Z	??

b) Escritura del resultado de S2 sobre el CDB: (Z, 3.2)

Estado de registros

	TAG	VALOR
F4	0	3.2

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica : Tomasulo

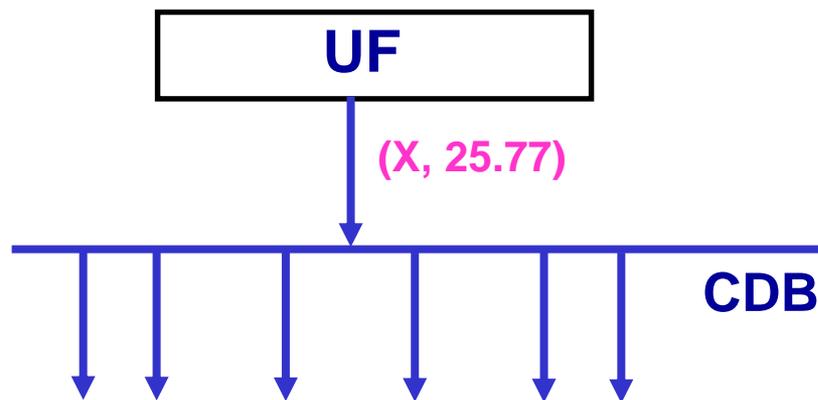
□ Ejemplo: Ejecución de la secuencia:

(S1): COD1 F2, ---, ---

(S2): COD2 F4, ---, ---

(S3): ADDDF0, F2, F4

Paso 3: Ejecutar operación y escribir resultado sobre el CDB



Estado de registros

	TAG	VALOR
F0	0	25.77
F2	0	22.57
F4	0	3.2

Δ todas las FD Store Buffers y

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ejemplo

LD 2 ciclos, ADDD y SUBD 2 ciclos, MULT 10 ciclos, DIVD 40 ciclos
 Memoria segmentada: **acepta comenzar 1 acceso/ciclo**

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2			
LD	F2	45+	R3			
MULT	F0	F2	F4			
SUBD	F8	F6	F2			
DIVD	F10	F0	F6			
ADDD	F6	F8	F2			

	Ocupada	Dirección
Load1		
Load2		
Load3		

Estado de ER

Operación

Qj y Qk: ER produciendo operandos

Vj y Vk: valores de los operandos

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1						
	Mul2						



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

❑ Ciclo 1

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1		
LD	F2	45+	R3			
MULT	F0	F2	F4			
SUBD	F8	F6	F2			
DIVD	F10	F0	F6			
ADDD	F6	F8	F2			

	Ocupada	Dirección
Load1	SI	34+R2
Load2	NO	
Load3	NO	

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	NO					
	Add2	NO					
	Add3	NO					
	Mul1	NO					
	Mul2	NO					

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

❑ Ciclo 2

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1		
LD	F2	45+	R3	2		
MULT	F0	F2	F4			
SUBD	F8	F6	F2			
DIVD	F10	F0	F6			
ADDD	F6	F8	F2			

	Ocupada	Dirección
Load1	SI	34+R2
Load2	SI	45+R3
Load3	NO	

No hay bloqueo

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	NO					
	Add2	NO					
	Add3	NO					
	Mul1	NO					
	Mul2	NO					

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 3

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1	2-3	
LD	F2	45+	R3	2		
MULT	F0	F2	F4	3		
SUBD	F8	F6	F2			
DIVD	F10	F0	F6			
ADDD	F6	F8	F2			

	Ocupada	Dirección
Load1	SI	34+R2
Load2	SI	45+R3
Load3	NO	

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	NO					
	Add2	NO					
	Add3	NO					
	Mul1	SI	Mult		R(F4)	Load2	
	Mul2	NO					

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 4

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1	2-3	4
LD	F2	45+	R3	2	3-4	
MULT	F0	F2	F4	3		
SUBD	F8	F6	F2	4		
DIVD	F10	F0	F6			
ADDD	F6	F8	F2			

	Ocupada	Dirección
Load1	NO	
Load2	SI	45+R3
Load3	NO	

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	SI	Subd	M(34+R2)			Load2
	Add2	NO					
	Add3	NO					
	Mul1	SI	Mult		R(F4)	Load2	
	Mul2	NO					

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 6

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1	2-3	4
LD	F2	45+	R3	2	3-4	5
MULT	F0	F2	F4	3		
SUBD	F8	F6	F2	4		
DIVD	F10	F0	F6	5		
ADDD	F6	F8	F2	6		

	Ocupada	Dirección
Load1	NO	
Load2	NO	
Load3	NO	

Ningún bloqueo

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
2	Add1	SI	Subd	M(34+R2)	M(45+R3)		
	Add2	SI	Addd		M(45+R3)	Add1	
	Add3	NO					
10	Mul1	SI	Mult	M(45+R3)	R(F4)		
	Mul2	SI	Divd		M(34+R2)	Mult1	

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

No reasignado

Cartagena99

Planificación Dinámica:TOMASULO

❑ Ciclo 8

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1	2-3	4
LD	F2	45+	R3	2	3-4	5
MULT	F0	F2	F4	3		
SUBD	F8	F6	F2	4	6-7	8
DIVD	F10	F0	F6	5		
ADDD	F6	F8	F2	6		

	Ocupada	Dirección
Load1	NO	
Load2	NO	
Load3	NO	

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	NO					
2	Add2	SI	Add	M()-M()	M(45+R3)		
	Add3	NO					
7	Mul1	SI	Mult	M(45+R3)	R(F4)		
	Mul2	SI	Divd		M(34+R2)	Mult1	

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 13

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1	2-3	4
LD	F2	45+	R3	2	3-4	5
MULT	F0	F2	F4	3		
SUBD	F8	F6	F2	4	6-7	8
DIVD	F10	F0	F6	5		
ADDD	F6	F8	F2	6	9-10	11

	Ocupada	Dirección
Load1	NO	
Load2	NO	
Load3	NO	

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	NO					
	Add2	NO					
	Add3	NO					
3	Mul1	SI	Mult	M(45+R3)	R(F4)		
	Mul2	SI	Divd		M(34+R2)	Mult1	

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 16

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F6	34+	R2	1	2-3	4
LD	F2	45+	R3	2	3-4	5
MULT	F0	F2	F4	3	6-15	16
SUBD	F8	F6	F2	4	6-7	8
DIVD	F10	F0	F6	5		
ADDD	F6	F8	F2	6	9-10	11

	Ocupada	Dirección
Load1	NO	
Load2	NO	
Load3	NO	

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	NO					
	Add2	NO					
	Add3	NO					
	Mul1	NO					
40	Mul2	SI	Divd	M*F4	M(34+R2)		

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica:TOMASULO

❑ Ciclo 57

Finalización en desorden Excepciones

Instuc		J	K	Issue	Ejecución.	escritura
LD	F6	34+	R2	1	2-3	4
LD	F2	45+	R3	2	3-4	5
MULT	F0	F2	F4	3	6-15	16
SUBD	F8	F6	F2	4	6-7	8
DIVD	F10	F0	F6	5	17-56	57
ADDD	F6	F8	F2	6	9-10	11

	Ocupada	Dirección
Load1	NO	
Load2	NO	
Load3	NO	

Estado de ER

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1	NO					
	Add2	NO					
	Add3	NO					
	Mul1	NO					
	Mul2	NO					

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

□ Renombrado dinámico en un unrolling

Loop: LD	F0,0(R1)
MULTD	F4,F0,F2
SD	0(R1),F4
SUBI	R1,R1,#8
BNEZ	R1,Loop

Operación: vector F0 * escalar F2

Suposiciones:

Predicción: el salto se toma

MULT tarda 4 ciclos

Memoria: no segmentada, T acceso 1 ciclo

En 1ª iteración: Load 8 ciclos (fallo). En 2ª iteración: 1 ciclo

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Bucle

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1			
MULT	F4	F0	F2			
SD	F4	0	R1			
LD	F0	0	R1			
MULT	F4	F0	F2			
SD	F4	0	R1			

	Ocupada	Dirección	
Load1	NO		
load2	NO		
load3	NO		Qi
store1	NO		
store2	NO		
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1						
	Mul2						

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 1

Instuc		J	K	Issue	ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1		
MULT	F4	F0	F2			
SD	F4	0	R1			
LD	F0	0	R1			
MULT	F4	F0	F2			
SD	F4	0	R1			

	Ocupada	Dirección	
Load1	SI	80	
load2	NO		
load3	NO		<u>Qi</u>
store1	NO		
store2	NO		
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1						
	Mul2						

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica: TOMASULO

□ Ciclo 2

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1		
MULT	F4	F0	F2	2		
SD	F4	0	R1			
LD	F0	0	R1			
MULT	F4	F0	F2			
SD	F4	0	R1			

	Ocupada	Dirección	
Load1	SI	80	
load2	NO		
load3	NO		Qi
store1	NO		
store2	NO		
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1	SI	MULT		R(F2)	Load1	
	Mul2						



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 3

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1		
MULT	F4	F0	F2	2		
SD	F4	0	R1	3		
LD	F0	0	R1			
MULT	F4	F0	F2			
SD	F4	0	R1			

	Ocupada	Dirección	
Load1	SI	80	
load2	NO		
load3	NO		Qi
store1	SI	80	Mult1
store2	NO		
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1	SI	MULT		R(F2)	Load1	
	Mul2						

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

❑ Ciclo 6: se lanza LD de 2ª iteración

Cierre del bucle

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1		
MULT	F4	F0	F2	2		
SD	F4	0	R1	3		
LD	F0	0	R1	6		
MULT	F4	F0	F2			
SD	F4	0	R1			

	Ocupada	Dirección	
Load1	SI	80	
load2	SI	72	
load3	NO		Qi
store1	SI	80	Mult1
store2	NO		
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1	SI	MULT		R(F2)	Load1	
	Mul2						

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Recordatorio

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 7

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1		
MULT	F4	F0	F2	2		
SD	F4	0	R1	3		
LD	F0	0	R1	6		
MULT	F4	F0	F2	7		
SD	F4	0	R1			

	Ocupada	Dirección	
Load1	SI	80	
load2	SI	72	
load3	NO		Qi
store1	SI	80	Mult1
store2	NO		
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1	SI	MULT		R(F2)	Load1	
	Mul2	SI	MULT		R(F2)	Load2	

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Recordado

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 10: Finaliza 1er LD

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1	2-9	10
MULT	F4	F0	F2	2		
SD	F4	0	R1	3		
LD	F0	0	R1	6	7-10	
MULT	F4	F0	F2	7		
SD	F4	0	R1	8		

	Ocupada	Dirección	
Load1	NO		
load2	SI	72	
load3	NO		Qi
store1	SI	80	Mult1
store2	SI	72	Mult2
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
4	Mul1	SI	MULT	M(80)	R(F2)		
	Mul2	SI	MULT		R(F2)	Load2	

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 11: Finaliza 2° LD

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1	2-9	10
MULT	F4	F0	F2	2		
SD	F4	0	R1	3		
LD	F0	0	R1	6	7-10	11
MULT	F4	F0	F2	7		
SD	F4	0	R1	8		

	Ocupada	Dirección	
Load1	NO		
load2	NO		
load3	SI	64	Qi
store1	SI	80	Mult1
store2	SI	72	Mult2
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
3	Mul1	SI	MULT	M(80)	R(F2)		
4	Mul2	SI	MULT	M(72)	R(F2)		

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica:TOMASULO

❑ Ciclo 15: Finaliza 1er MULT

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1	2-9	10
MULT	F4	F0	F2	2	11-14	15
SD	F4	0	R1	3		
LD	F0	0	R1	6	7-10	11
MULT	F4	F0	F2	7	12-15	
SD	F4	0	R1	8		

	Ocupada	Dirección	
Load1	NO		
load2	NO		
load3	SI	64	Qi
store1	SI	80	M()*F2
store2	SI	72	Mult2
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1						
	Mul2	SI	MULT	M(72)	R(F2)		

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 16: Finaliza 2° MULT, se ejecuta 1er ST

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1	2- 9	10
MULT	F4	F0	F2	2	11-14	15
SD	F4	0	R1	3	16 ←	--
LD	F0	0	R1	6	7-10	11
MULT	F4	F0	F2	7	12-15	16
SD	F4	0	R1	8		

	Ocupada	Dirección	
Load1	NO		
load2	NO		
load3	SI	64	Qi
store1	NO		
store2	SI	72	M()*F2
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1						
	Mul2						

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

□ Ciclo 17: se ejecuta 2º store

Instuc		J	K	Issue	Ejecución	escritura
LD	F0	0	R1	1	2-9	10
MULT	F4	F0	F2	2	11-14	15
SD	F4	0	R1	3	16	--
LD	F0	0	R1	6	7-10	11
MULT	F4	F0	F2	7	12-15	16
SD	F4	0	R1	8	17	--

	Ocupada	Dirección	
Load1	NO		
load2	NO		
load3	SI	64	Qi
store1	NO		
store2	NO		
store3	NO		

Estado de ER

Loop LD F0,0(R1)
 MULTD F4,F0,F2
 SD 0(R1),F4
 SUBI R1,R1,#8
 BNEZ R1,Loop

Tiempo	FU	Ocupada	Operación	S1 Vj	S2 Vk	ER.P:J Qj	ER.P:K Qk
	Add1						
	Add2						
	Add3						
	Mul1						
	Mul2						

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Planificación Dinámica: TOMASULO (detalle de las fases)

□ Nomenclatura:

o Instrucción aritmética: $D \leftarrow OP(S1, S2)$

- Instrucción aritmética que realiza la operación OP sobre el contenido de los registros S1 y S2, y deposita el resultado en el registro D

o Instrucción Load: $D \leftarrow Mem[Dirección]$

- Carga en el registro D el contenido de la posición de memoria "Dirección"

o Instrucción Store: $Mem[Dirección] \leftarrow S$

- Almacena el contenido del registro S en la posición de memoria "Dirección"

o Estación de reserva x: $ER(x)(Busy, OP, Qj, Vj, Qk, Vk)$

o Registro x: $Reg(x)(Qi, Vi)$

o Load Buffer x: $LB(x)(Busy, Dir)$

o Store Buffer x: $SB(x)(Busy, Dir, Qi, Vi)$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Planificación Dinámica: TOMASULO (detalle de las fases)

□ Fase Issue

Tipo de instrucción	Esperar hasta que ...	Hacer ...
Aritmética: $D \leftarrow OP(S1, S2)$	La estación de reserva $ER(x)$ está libre y es capaz de ejecutar OP	$ER(x).Busy \leftarrow Yes$ $ER(x).OP \leftarrow OP$ $ER(x).Q_j \leftarrow Reg(S1).Q_i$ $ER(x).V_j \leftarrow Reg(S1).V_i$ $ER(x).Q_k \leftarrow Reg(S2).Q_i$ $ER(x).V_k \leftarrow Reg(S2).V_i$ $Reg(D).Q_i \leftarrow x$
Load: $D \leftarrow Mem[Dirección]$	El Load Buffer $LB(x)$ está libre	$LB(x).Busy \leftarrow Yes$ $LB(x).Dir \leftarrow Dirección$ $Reg(D).Q_i \leftarrow x$
Store:	El Store Buffer $SB(x)$ está	$SB(x).Busy \leftarrow Yes$

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Planificación Dinámica: TOMASULO (detalle de las fases)

□ Fase Ejecución

Tipo de instrucción	Esperar hasta que ...	Hacer ...
Aritmética: $D \leftarrow OP(S1, S2)$	$(ER(x).Q_j = 0) Y (ER(x).Q_k = 0)$	Ejecutar cálculo OP sobre la UF usando operandos V_j y V_k Generar RESULTADO
Load: $D \leftarrow Mem[\text{Dirección}]$	(La dirección efectiva está disponible) Y (LB(x).Dir no tiene dependencias respecto de Stores lanzados antes) (Uso de cola de Load / Store: explicación posterior)	RESULTADO $\leftarrow Mem[LB(x).Dir]$
Store: $Mem[\text{Dirección}] \leftarrow S$	(La dirección efectiva está disponible) Y (SB(x).Dir no tiene	$Mem[SB(x).Dir] \leftarrow SB(x).V_i$ $SB(x).Busy \leftarrow No$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Planificación Dinámica: TOMASULO (detalle de las fases)

□ Fase Write

Tipo de instrucción	Esperar hasta que ...	Hacer ...
Aritmética: $D \leftarrow OP(S1, S2)$	(Ejecución completa en ER(x)) Y (CDB disponible)	<u>Escribir sobre CDB: (x, RESULT)</u> $\forall z (Si \text{ Reg}(z).Q_i = x) \Rightarrow (\text{Reg}(z).Q_i = 0) \text{ Y } (\text{Reg}(z).V_i = \text{RESULT})$ $\forall z (Si \text{ ER}(z).Q_j = x) \Rightarrow (\text{ER}(z).Q_j = 0) \text{ Y } (\text{ER}(z).V_j = \text{RESULT})$ $\forall z (Si \text{ ER}(z).Q_k = x) \Rightarrow (\text{ER}(z).Q_k = 0) \text{ Y } (\text{ER}(z).V_k = \text{RESULT})$ $\forall z (Si \text{ SB}(z).Q_i = x) \Rightarrow (\text{SB}(z).Q_i = 0) \text{ Y } (\text{SB}(z).V_i = \text{RESULT})$ ER(x).Busy = No
Load: $D \leftarrow \text{Mem}[\text{Dirección}]$	(Acceso a memoria completo en LB(x)) Y (CDB disponible)	<u>Escribir sobre CDB: (x, RESULT)</u> $\forall z (Si \text{ Reg}(z).Q_i = x) \Rightarrow (\text{Reg}(z).Q_i = 0) \text{ Y } (\text{Reg}(z).V_i = \text{RESULT})$ $\forall z (Si \text{ ER}(z).Q_j = x) \Rightarrow (\text{ER}(z).Q_j = 0) \text{ Y } (\text{ER}(z).V_j = \text{RESULT})$ $\forall z (Si \text{ ER}(z).Q_k = x) \Rightarrow (\text{ER}(z).Q_k = 0) \text{ Y } (\text{ER}(z).V_k = \text{RESULT})$ $\forall z (Si \text{ SB}(z).Q_i = x) \Rightarrow (\text{SB}(z).Q_i = 0) \text{ Y } (\text{SB}(z).V_i = \text{RESULT})$ LB(x).Busy = No



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Planificación Dinámica:TOMASULO

Resumen de ventajas e inconvenientes

- Elimina el cuello de botella de los registros
- Evita EDL y EDE
- Permite el unrolling en HW
- No esta limitado a bloques básicos *si existe predicción de saltos*
- Complejidad
- Muchos cargas de registros asociativas por ciclo
- CDB limita el rendimiento

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Reduciendo la penalización de los saltos

Tipos de saltos: Estadísticas

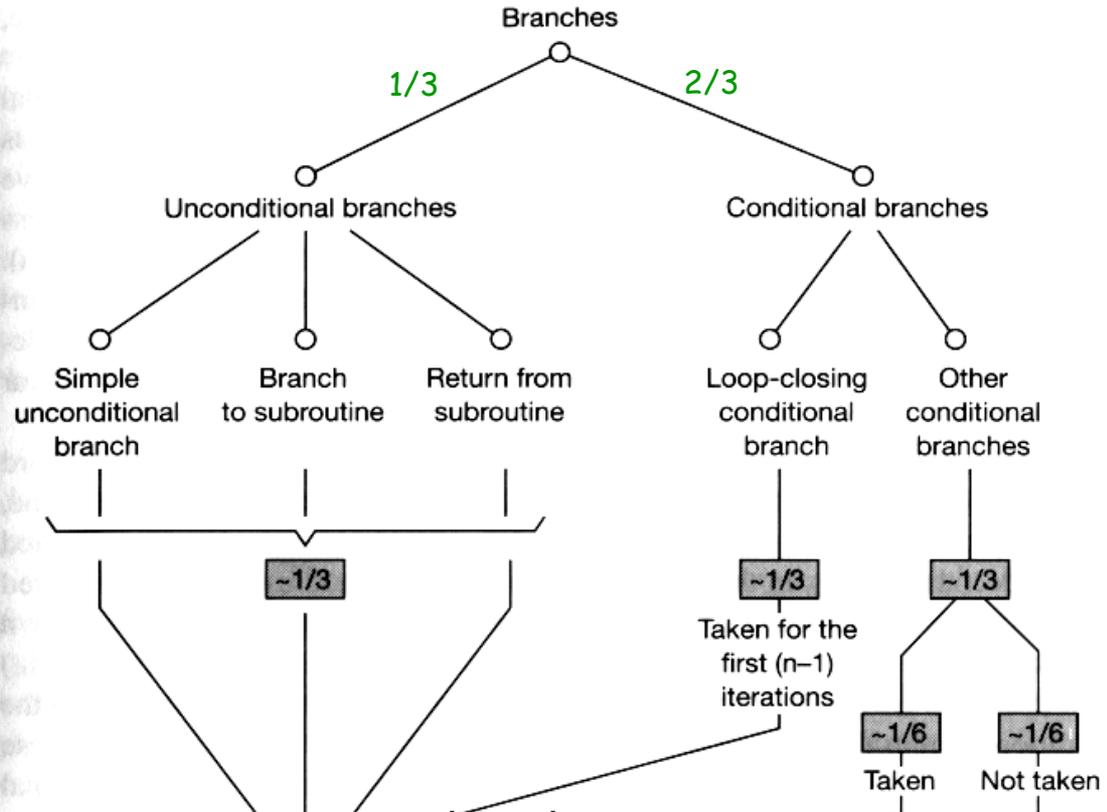
[Grohoski, G. (1990) IBM J. Res. Develop.; otros estudios dan resultados similares]

En promedio

- Instrucciones de salto
1 de cada 5 instrucc.
- Saltos condicionales
2 de cada 3 saltos
- Saltos incondicionales
1 de cada 3 saltos
- Saltos tomados
5 de cada 6 saltos
- Saltos condicionales tomados
3 de cada 4 saltos condic.
- Saltos incondicionales tomados
Todos

Conclusión (en promedio)

- 1 de cada 6 instrucciones es un salto tomado
- 1 de cada 8 instrucciones



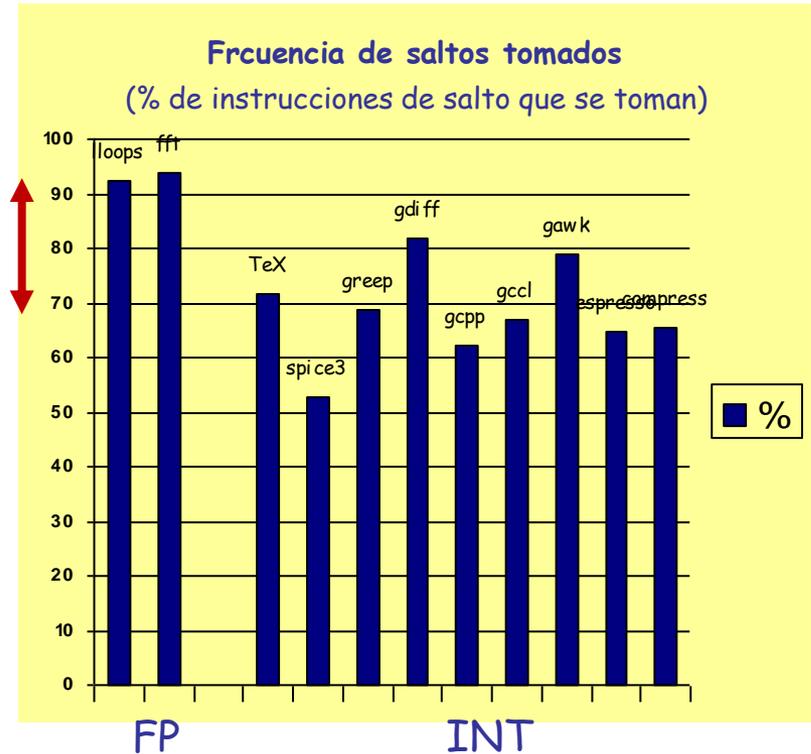
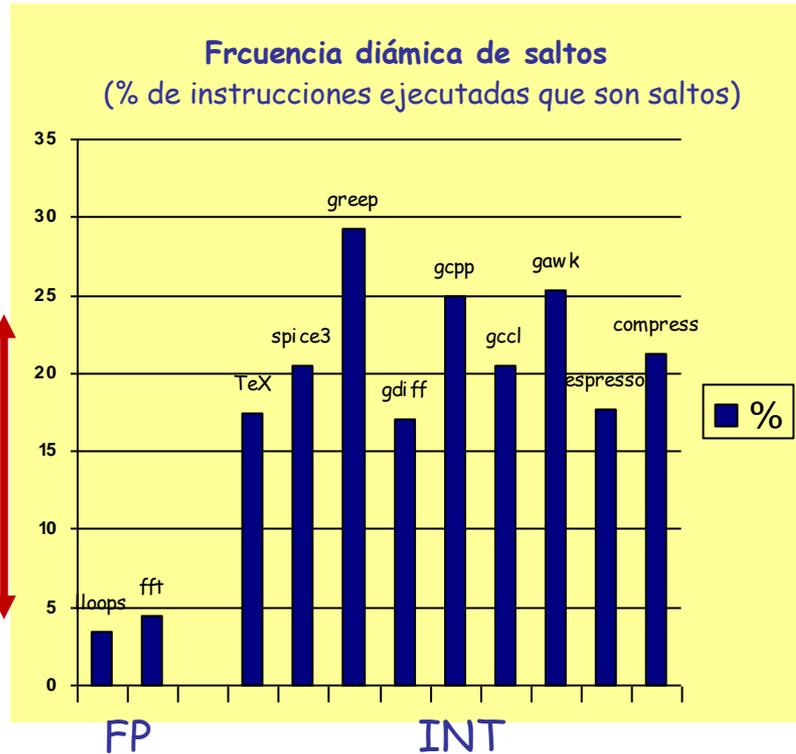
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Reduciendo la penalización de los saltos

Tipos de saltos: Estadísticas



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Reduciendo la penalización de los saltos

□ Predicción

Idea Básica

Cuando se detecta una instrucción de salto condicional sin resolver

- Se supone o predice el camino del salto: *tomado o no tomado (Taken - Untaken)*
- Si el salto se predice como tomado se predice la dirección destino del salto
- La ejecución continúa de forma *especulativa* a lo largo del camino supuesto

Cuando se resuelve la condición

- Si la predicción fue correcta
 - ⇒ La ejecución se confirma y continúa normalmente
- Si la predicción fue incorrecta (fallo de predicción o "*misprediction*")
 - ⇒ Se descartan todas las instrucciones ejecutadas especulativamente
 - ⇒ Se reanuda la ejecución a lo largo del camino correcto

Problemas a resolver en instrucciones de salto

The logo for Cartagena99, featuring the text 'Cartagena99' in a stylized green font with a blue and orange gradient background.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

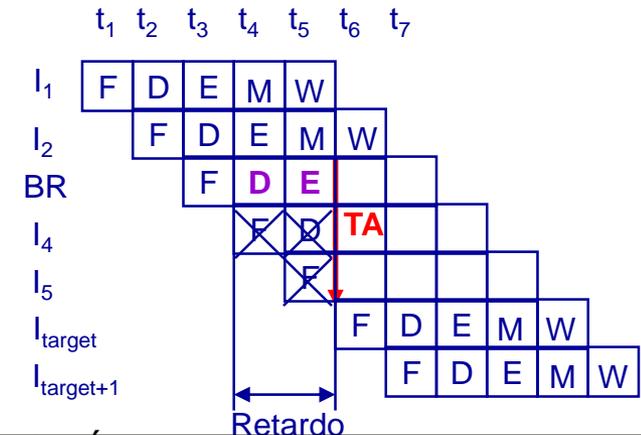
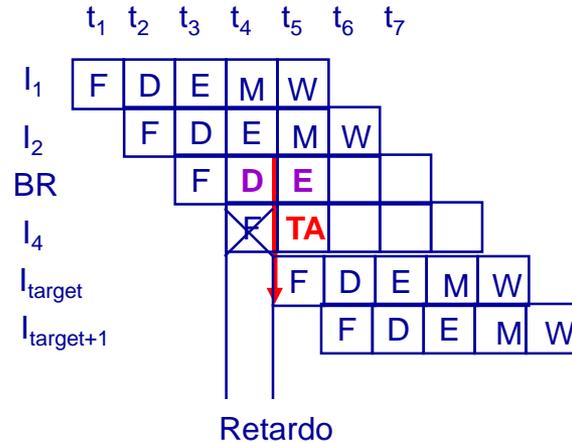
□ Consideraciones generales

1) Predecir el camino que tomará el salto

Suposición: Salto predicho en D y resuelto en E

Ej.1. Comportamiento: T, Predicción: CORRECTA

Ej.2. Comportamiento: T, Predicción INCORRECTA



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

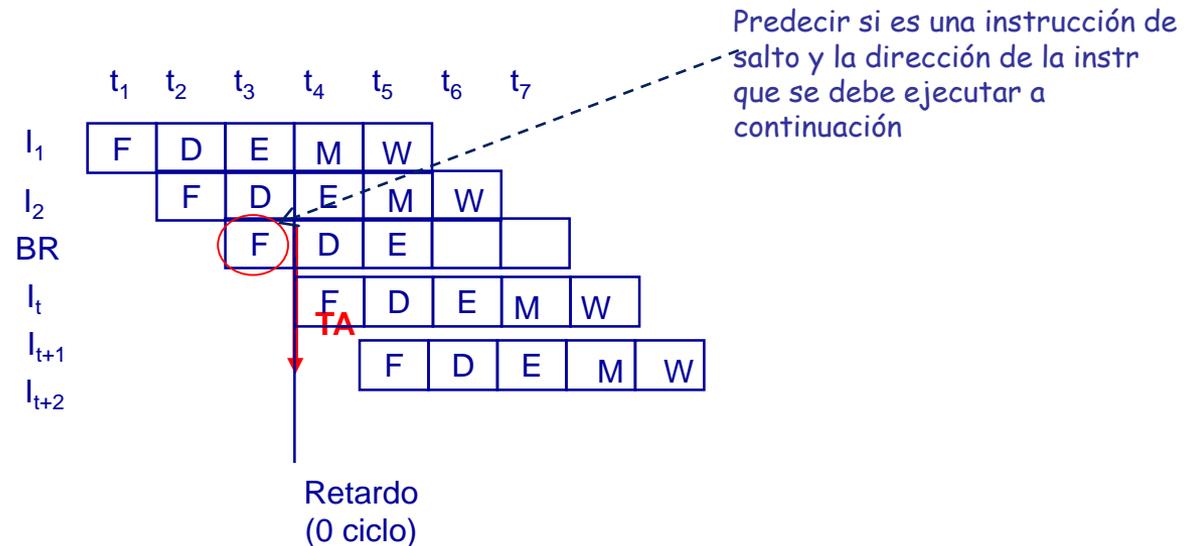
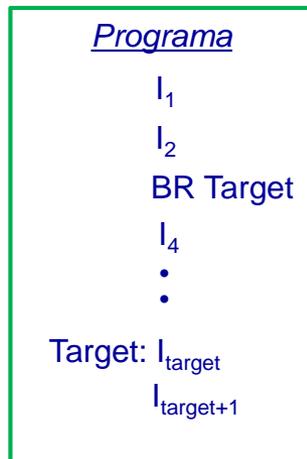
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Consideraciones generales

2) Predecir la dirección de la instrucción destino del salto con un retardo mínimo (para saltos tomados)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Acceso rápido a la dirección destino del salto I

Branch Target Address Cache (BTAC)

- Cache que almacena la dirección destino de los últimos saltos tomados
- Cuando se accede a una instrucción
 - Se accede simultáneamente a la BTAC utilizando la dirección de la instrucción
 - Si la dirección de la instrucción está en la BTAC, entonces es un salto. Si el salto se predice como tomado la dirección destino del salto se lee de la BTAC

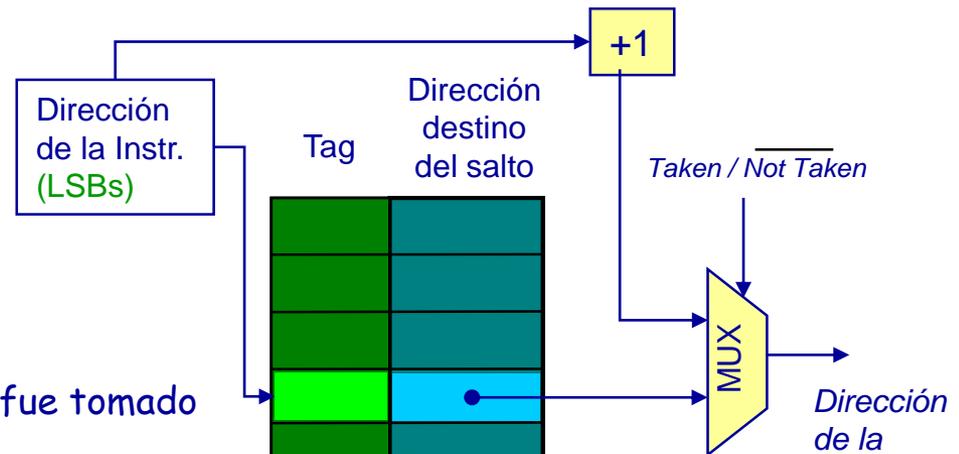
Actualización de la BTAC

La BTAC se actualiza cuando se ejecuta la instrucción de salto y se conoce:

- Si el salto fue tomado o no
- La dirección destino del salto

Si el salto fue tomado

Si el salto no fue tomado



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

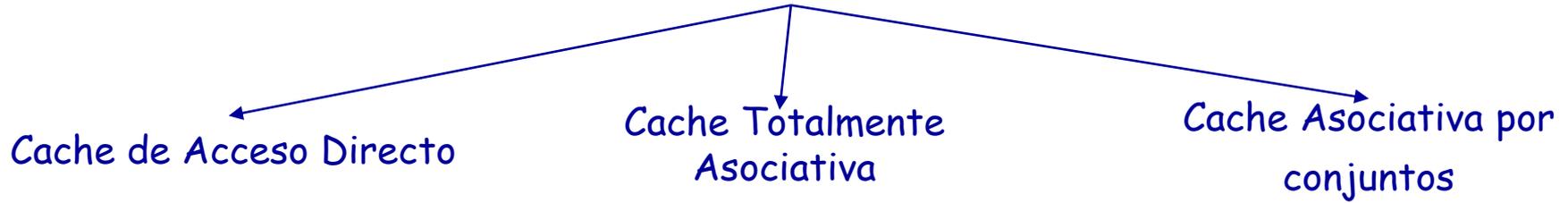
BTAC

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Acceso a la dirección destino del salto II

Alternativas de diseño de la BTAC



Ventaja: Menor coste
Desventaja: "Aliasing"
(destrucción de información si dos saltos compiten por la misma entrada)

Ventaja: menos *Aliasing*
Desventaja: Mayor coste HW

Solución intermedia

EJEMPLOS: Pentium (256) , Pentium II (512), Pentium 4 (4K) , AMD 64 (2K)

Variación Branch Target Instruction Cache

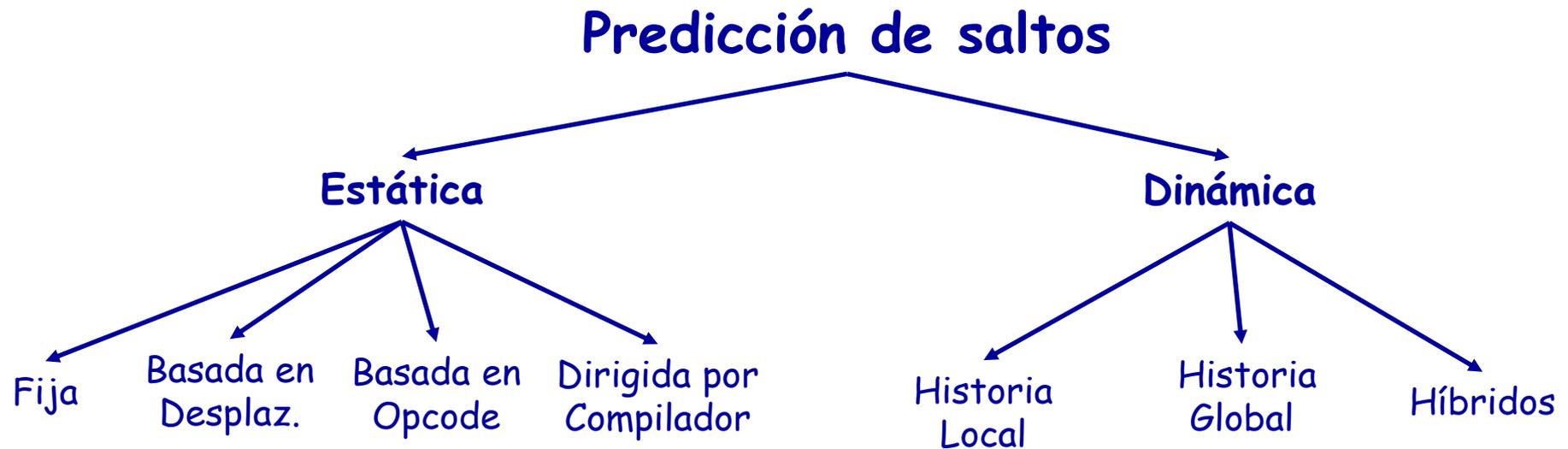
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Clasificación de técnicas de predicción de saltos



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predicción estática

Predicción Fija

ALWAYS TAKEN

- Predecir todos los saltos como *tomados*
- Mayor número de aciertos de predicción (3 de cada 4 saltos cond. son tomados)
- Mayor coste hardware (necesita almacenar la dirección destino del salto)

ALWAYS NOT TAKEN

- Predecir todos los saltos como *no tomados*
- Menor número de aciertos de predicción (sólo 1 de cada 4 saltos cond. es no tomado)
- Menor coste hardware

Predicción basada en la DIRECCIÓN del salto

Saltos hacia atrás : TOMADOS

La mayoría de saltos hacia atrás corresponden a bucles

Saltos hacia delante: NO TOMADOS

La mayoría de saltos hacia delante corresponden a IF-THEN-ELSE

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predicción estática

Predicción basada en el OPCODE de la instrucción de salto

Fundamento: La probabilidad de que un salto sea tomado depende del tipo de salto

El salto es tomado para ciertos códigos de operación y no tomado para otros

Predicción dirigida por el COMPILADOR

Basada en el tipo de CONSTRUCCIÓN

El compilador predice si el salto será tomado o no dependiendo del tipo de construcción de control

Basada en PROFILING

El compilador predice en función del comportamiento de esa instrucción en ejecuciones previas del programa

Especificado por el PROGRAMADOR

El programador indica al compilador si el salto debe ser tomado o no (mediante directivas específicas)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predictores Dinámicos

Idea básica

La predicción se realiza observando el comportamiento de las instrucciones de salto en las últimas ejecuciones (Historia)

Necesario almacenar la historia de las ultimas ejecución del salto

*Predictores de
1 bit de historia*

*Predictores de
2 bits de historia (bimodal)*

*Predictores de
3 bits de historia*

EJEMPLOS

- Gmicro 100 (1991)
- Alpha 21064 (1992)
- R8000 (1994)

EJEMPLOS

- MC68060 (1993)
- Pentium (1994)
- Alpha 21064A (1994)
- Alpha 21164 (1995)
- PA 8500 (1999)
- UltraSparc (1995)
- PowerPC 604 (1995)
- PowerPC 620 (1996)
- R10000 (1996)

EJEMPLOS

- PA 8000 (1996)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos

Predicador de un BIT

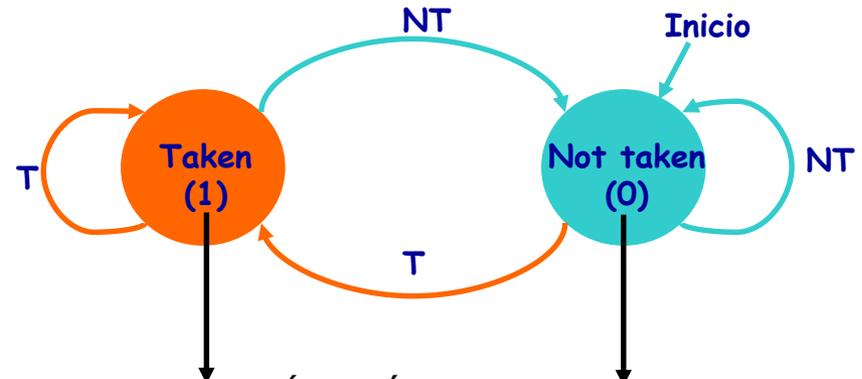
- Utilizan un bit de predicción por cada instrucción de salto
- El bit de predicción refleja el comportamiento de la última ejecución de la instrucción de salto
⇒ *Indica si en la anterior ejecución el salto fue tomado o no*

Predicción

- El salto se predice como *Taken* si en la última ejecución fue tomado
- El salto se predice como *Not Taken* si en la última ejecución no fue tomado

FUNCIONAMIENTO

- *Máquina de dos estados:*
 - Not taken (0)
 - Taken (1)
- *Registro de historia*
 - Contador saturado de 1 bit
- *Predicción*
 - Valor del registro de historia



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos

Predictor de dos bits (BIMODAL)

- Utilizan dos bits de predicción por cada instrucción de salto
- Estos bits reflejan el comportamiento de las últimas ejecuciones de ese salto

Predicción

- Un salto que se toma repetidamente se predice como *Taken*
- Un salto que no se toma repetidamente se predice como *Not taken*
- Si un salto toma una dirección inusual una sola vez, el predictor mantiene la predicción usual

Funcionamiento

Máquina de cuatro estados:

- Strongly not taken (00)
- Weakly not taken (01)
- Weakly taken (10)
- Strongly taken (11)

• Registro de historia

- Contador saturado de 2 bits

• Predicción

- bit más significativo del registro de historia



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Not taken

Not taken

Taken

Taken

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos

Implementación de los bits de predicción

1) Branch Target Buffer (BTB)

Añade los bits de predicción a las entradas de la BTAC. La BTAC con bits de predicción se denomina BTB

EJEMPLOS

• MC 68060	256 x 2 bit
• Pentium	256 x 2 bit
• R8000	1K x 1 bit
• PA11	1K x 2 bit

2) Tabla de historia de saltos (BHT)

Utiliza una tabla especial, distinta de la BTAC para almacenar los bits de predicción

EJEMPLOS

• Gmicro 100	256 x 1 bit
• PowerPC 604	512 x 2 bit
• R10000	512 x 2 bit
• PowerPC 620	2K x 2 bit

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos: Implementación

2) Tabla de historia de saltos (BHT): bits desacoplados

Existen dos tablas distintas:

- La BTAC, que almacena la dirección destino de los últimos saltos tomados
- La BHT, que almacena los bits de predicción de todas las instrucciones de salto condicional

Ventaja

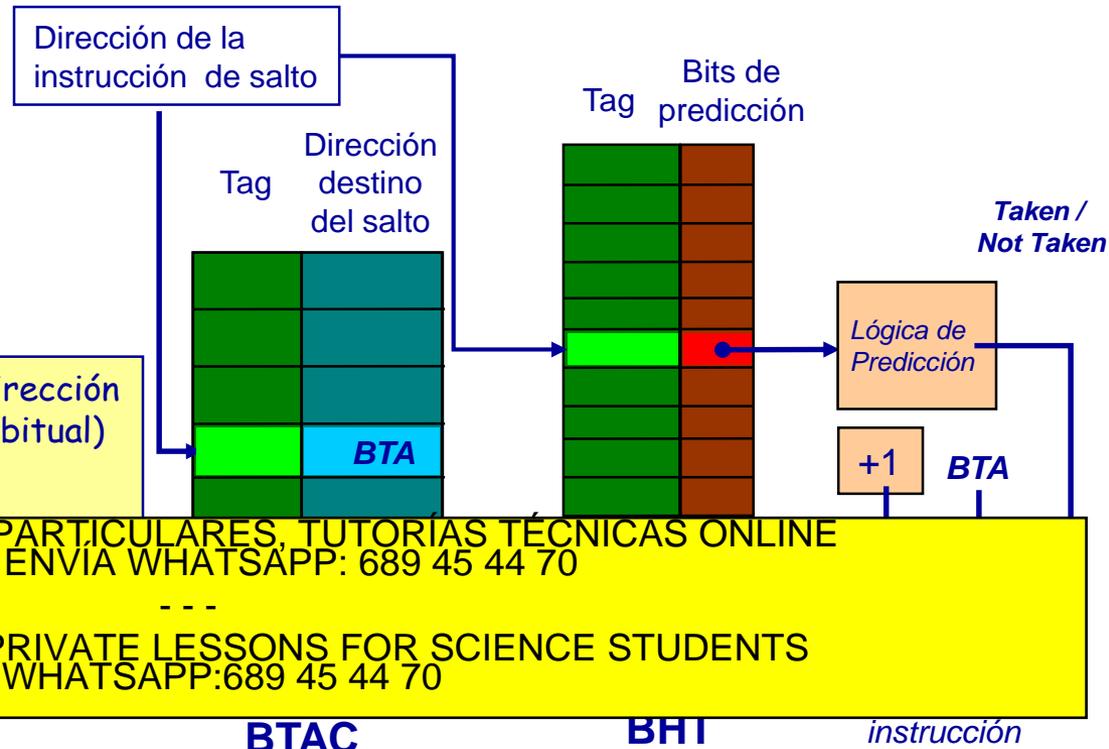
Puede predecir instruc. que no están en la BTAC (más entradas en BHT que en BTAC)

Desventaja

Aumenta el hardware necesario
⇒ 2 tablas asociativas

Acceso a la BHT

- Usando los bits menos significativos de la dirección
 - Sin TAGs ⇒ Menor coste (opción + habitual)
 - Compartición de entradas
⇒ Se degrada el rendimiento



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

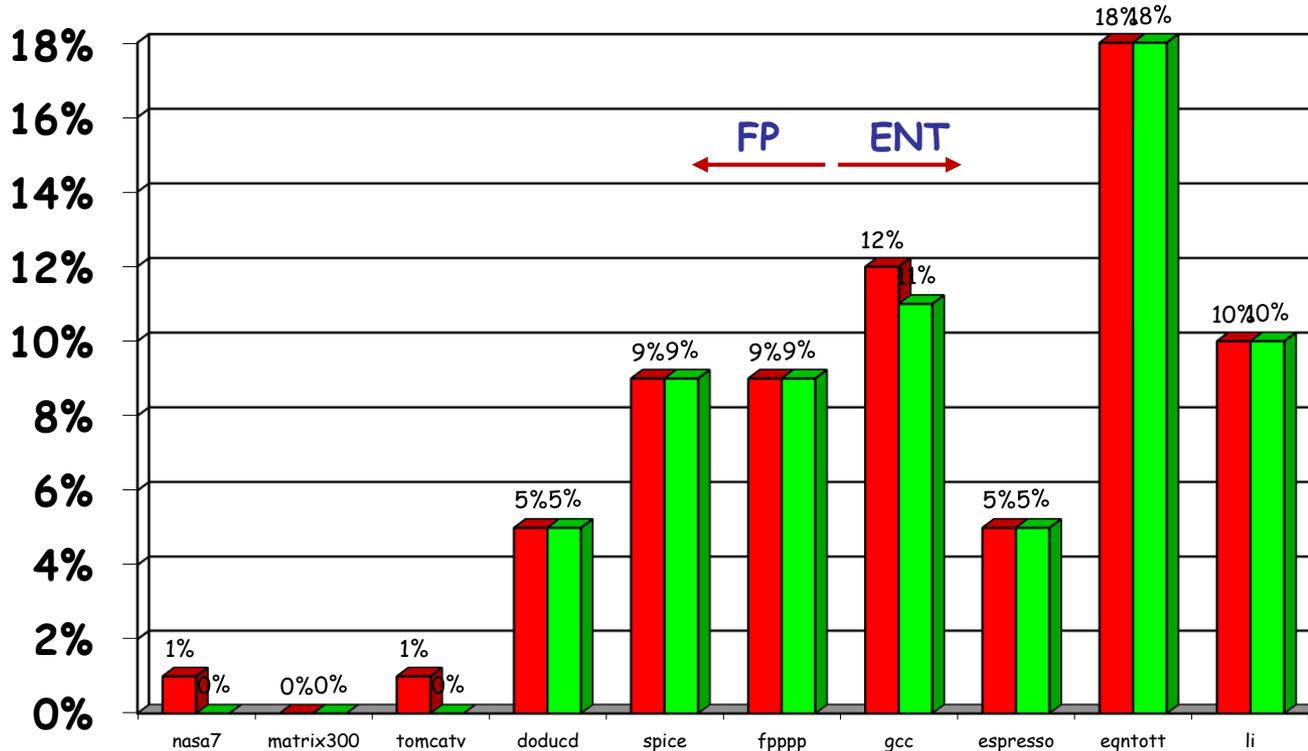
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos

Comportamiento: % de saltos mal predichos



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos

Otras formas de gestionar la historia

1. Muchas instrucciones de salto ejecutan patrones repetitivos



Si conocemos el comportamiento del salto en las 3 últimas ejecuciones podemos predecir como se comportará en la siguiente ejecución

⇒ Predicción basada en **historia LOCAL**

<u>Historia</u>	<u>Predicción</u>
111	0 (NT)
011	1 (T)
101	1 (T)
110	1 (T)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predictores Dinámicos

2. Muchas instrucciones de salto dependen del comportamiento de otros saltos recientes (historia global)

Observación: Los saltos están relacionados; el comportamiento de los últimos saltos afecta a la predicción actual. **Idea:** Almacenar el comportamiento de los últimos n saltos y usarlo en la selección de la predicción.

Ejemplo:

b1: if (d = 0) then
 d = 1
b2: if (d = 1) then



L1:

L2:

(Sup: d está almacenado en R1)

```
BNEZ R1, L1 ; salto b1 (Salto si d ≠ 0)
ADDI R1, R0, #1 ; Como d=0, hacer d=1
SUBI R3, R1, #1 ; R3=d(R1)-1
BNEZ R3, L2 ; salto b2 (Salto si d≠1)
.....
```

R3=0 ⇒ d=1
R3≠0 ⇒ d≠1

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predictores Dinámicos

Ejemplo (continua)

Relación entre los dos saltos

	BNEZ	R1, L1 ; <u>salto b1</u> (Salto si $d \neq 0$)
	ADDI	R1, R0, #1 ; Como $d=0$, hacer $d=1$
L1:	SUBI	R3, R1, #1 ; $R3=d(R1)-1$
	BNEZ	R3, L2 ; <u>salto b2</u> (Salto si $d \neq 1$)
	
L2:		

Caso 1: $d=0,1,2,\dots$

Valor de d	$d \neq 0?$	salto b1	d antes de b2	$d \neq 1?$	salto b2
0	no	NT	1	no	NT
1	si	T	1	no	NT

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

--- -- -- -- -- tema, entonces DE Tampoco, con relación entre saltos

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos

Ejemplo (continua)

Comportamiento del predictor de un bit. (estado inicial "not taken" NT)

```

L1:   BNEZ  R1, L1 ; salto b1 (Salto si d ≠ 0)
      ADDI  R1, R0, #1 ; Como d=0, hacer d=1
      SUBI  R3, R1, #1 ; R3=d(R1)-1
      BNEZ  R3, L2 ; salto b2 (Salto si d≠ 1)
      .....
L2:
    
```

Caso 2: d=2,0,2,0,...

Valor de d	Predicción de b1	b1	Nueva predicción de b1	Predicción de b2	b2	Nueva predicción de b2
2	NT	T	T	NT	T	T
0	T	NT	NT	T	NT	NT

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Muchos fallos de predicción



Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores Dinámicos

▪ Solución

- Predictor de dos niveles (1, 1):

Para cada salto existen 2^1 predictores de 1 bit. El comportamiento último salto (1) determina el predictor que se usa.

- Predictor de dos niveles (m, n)

Para cada salto existen 2^m predictores de n bits. El comportamiento de los últimos m saltos determinan el predictor que se usa

Significado de los bit de predicción en un predictor (1,1)

Bits de predicción	Predicción si el último salto no tomado: usar P0	Predicción si el último salto tomado: usar P1
NT/NT	NT	NT
NT/T	NT	T
T/NT	T	NT

Dos predictores de un bit (P0/P1)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predictores Dinámicos

Ejemplo (continua)

Comportamiento del predictor de dos niveles (1,1). (estado inicial "not taken" NT)

```

L1:  BNEZ  R1, L1 ; salto b1 (Salto si d ≠ 0)
      ADDI  R1, R0, #1 ; Como d=0, hacer d=1
      SUBI  R3, R1, #1 ; R3=d(R1)-1
      BNEZ  R3, L2 ; salto b2 (Salto si d≠ 1)
L2:  .....
    
```

Caso 2: d=2,0,2,0,...

Sólo se predice mal la 1ª iteración (d=2)

d = ?	Predicción de b1	b1	Nueva predicción de b1	Predicción de b2	b2	Nueva predicción de b2
2	NT/NT	T	T/NT	NT/NT	T	NT/T
0	T/NT	NT	T/NT	NT/T	NT	NT/T
?	T/NT	T	T/NT	NT/T	T	NT/T

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

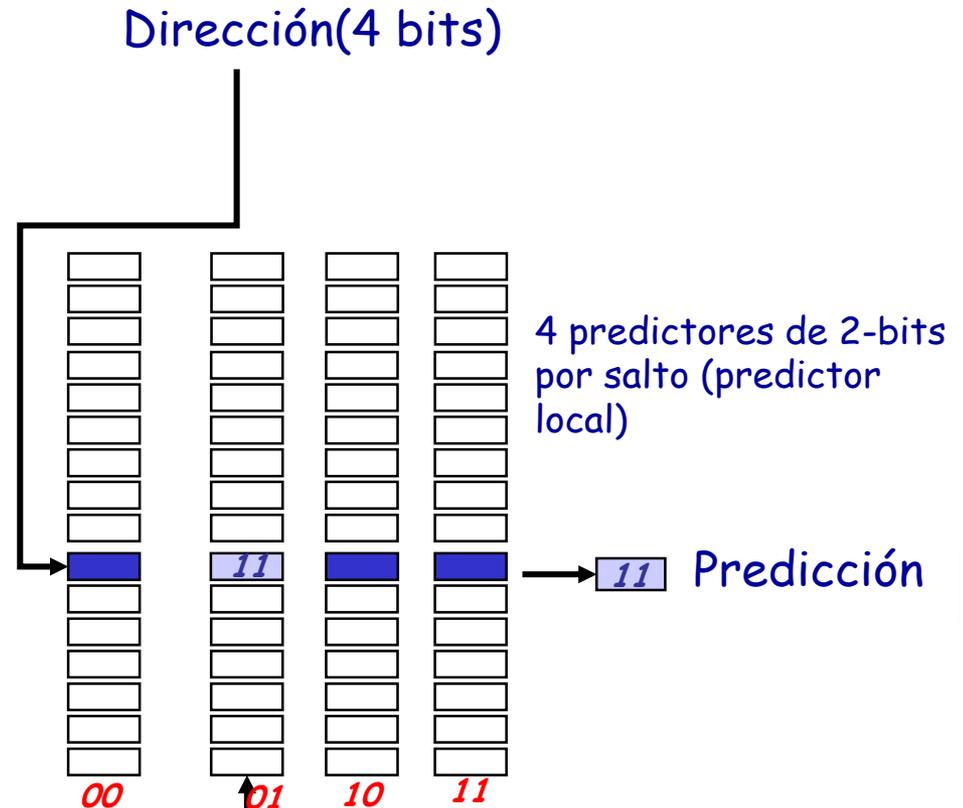
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predictores Dinámicos

Implementación para
Predictor de dos niveles (2,2)
con 16 entradas



Cartagena99

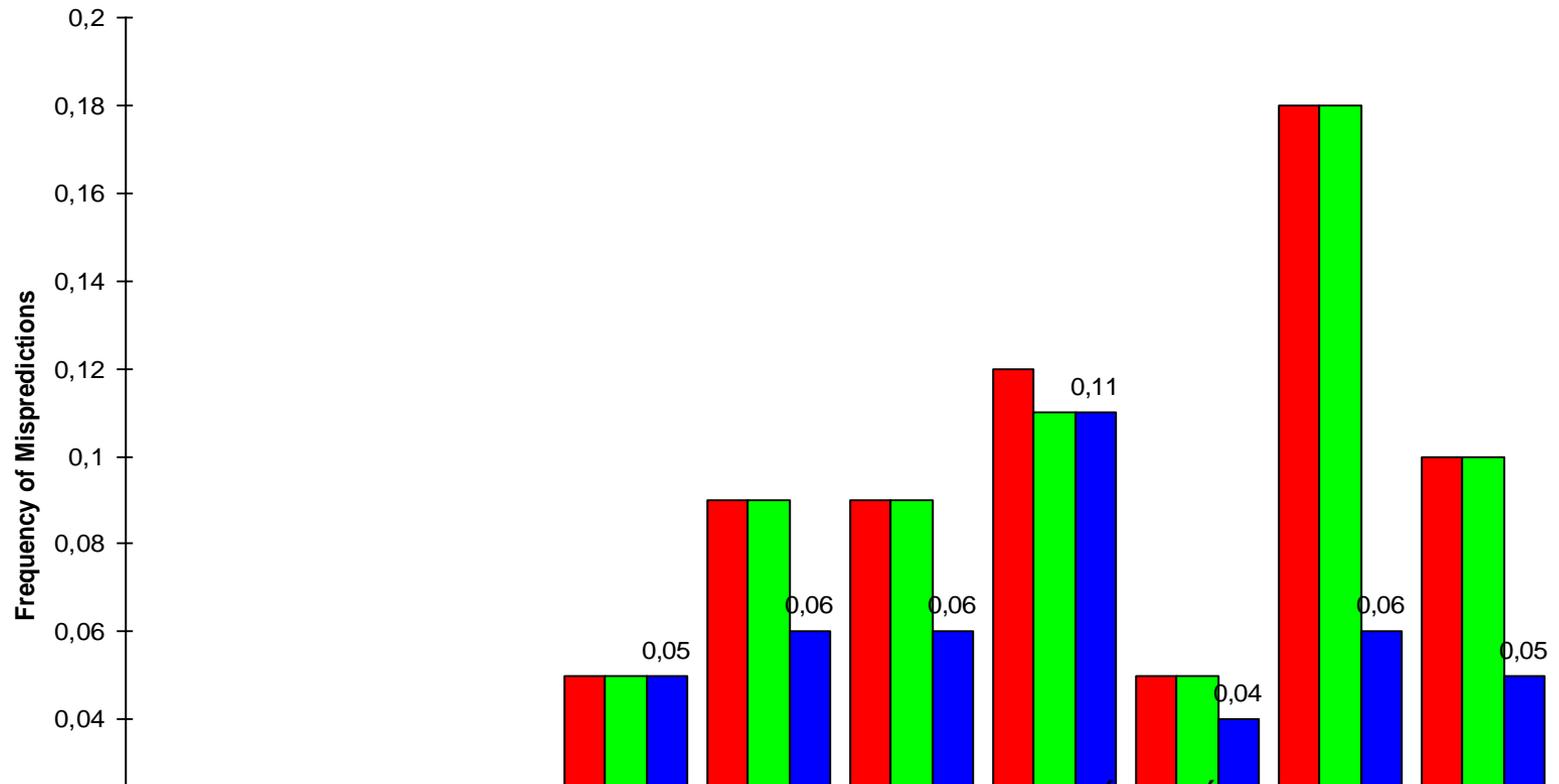
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predictores Dinámicos

Comportamiento



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

■ 4,000 entries. 2-bits per entry ■ Unlimited entries. 2-bits/entry ■ 1,024 entries (2,2)

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Predictores híbridos

Idea básica

- Cada uno de los predictores estudiados tiene sus ventajas y sus inconvenientes
- Combinando el uso de distintos predictores y aplicando uno o otro según convenga, se pueden obtener predicciones mucho más correctas

Predictor híbrido

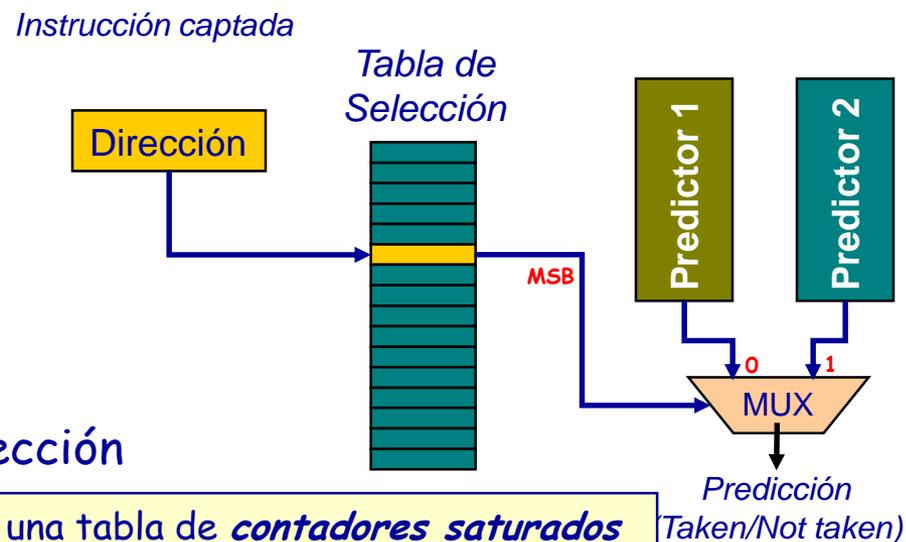
Mezcla varios predictores y añade un mecanismo de selección del predictor

Mecanismo de selección

Elige, en cada caso, el predictor que haya dado mejores resultados hasta el momento

Implementación del mecanismo de selección

Para combinar dos predictores, P1 y P2, se utiliza una tabla de **contadores saturados de dos bits** indexada por la dirección de la instrucción de salto



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Acierto Acierto Con no varía

P1

P2

Ejemplo: Alpha 21264

- ❑ Predictor competitivo (Tournament Predictor)
- ❑ Predictor Local: Predicción de un salto en función del comportamiento previo de ese mismo salto
 - o Considera las 10 últimas ejecuciones del salto
- ❑ Predictor global: Predicción de un salto en función del comportamiento de los últimos 12 saltos ejecutados
- ❑ Juez: Decide cuál de las dos predicciones se aplica
 - o Selecciona el predictor que esté manifestando el mejor comportamiento
- ❑ Actualización: al resolver cada salto
 - o Se actualizan los predictores en función de su acierto o fallo
 - o Si los dos predictores hicieron una predicción distinta, se actualiza el juez para que favorezca al que acertó
- ❑ Gran importancia para la ejecución especulativa en 21264 (hasta 80 instrucciones en la ventana)

Cartagena99

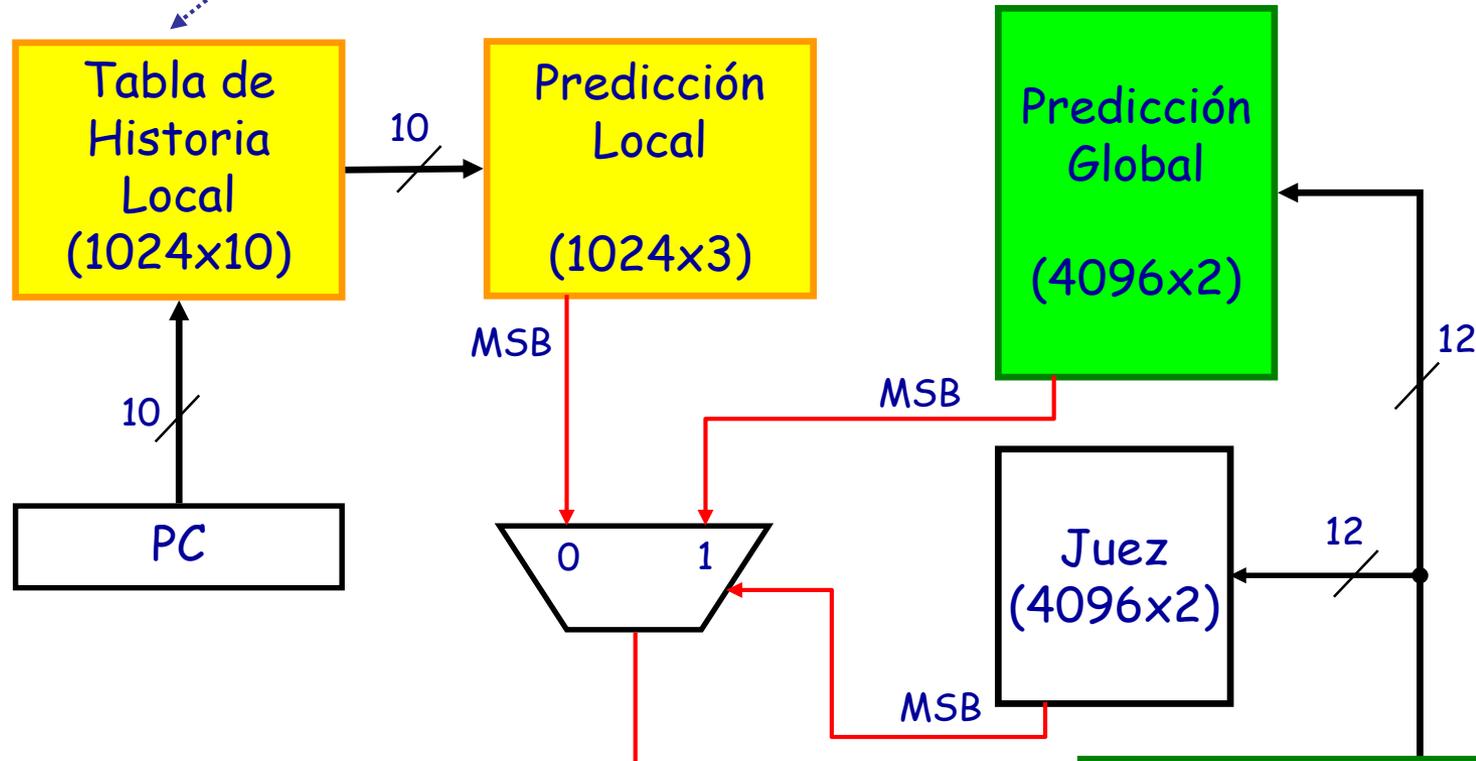
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tournament predictor del Alpha 21264

Comportamiento de las 10 últimas ejecuciones de 1024 saltos

(IEEE Micro, Marzo 1999)



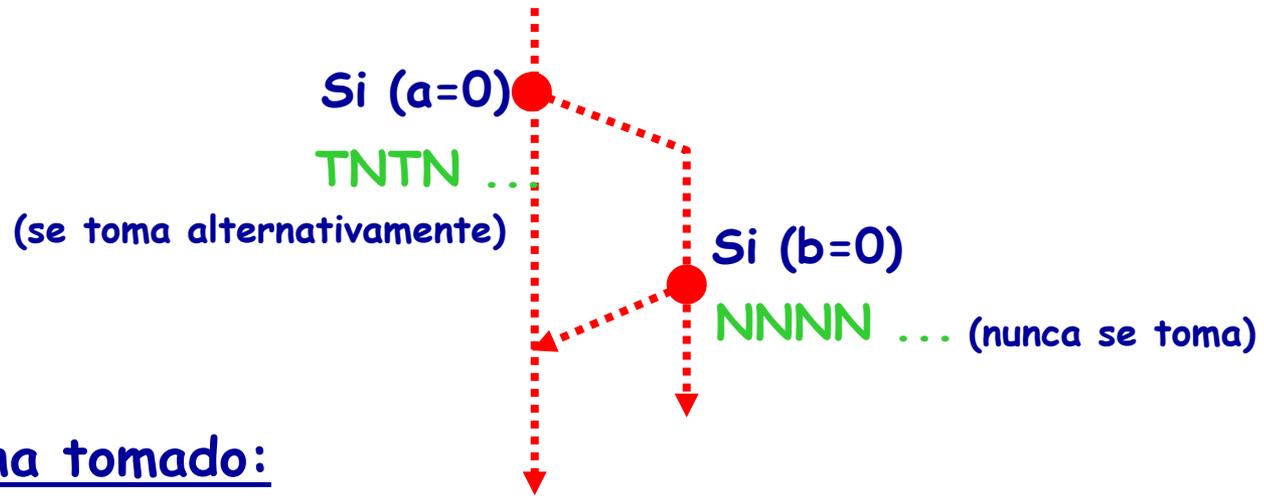
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

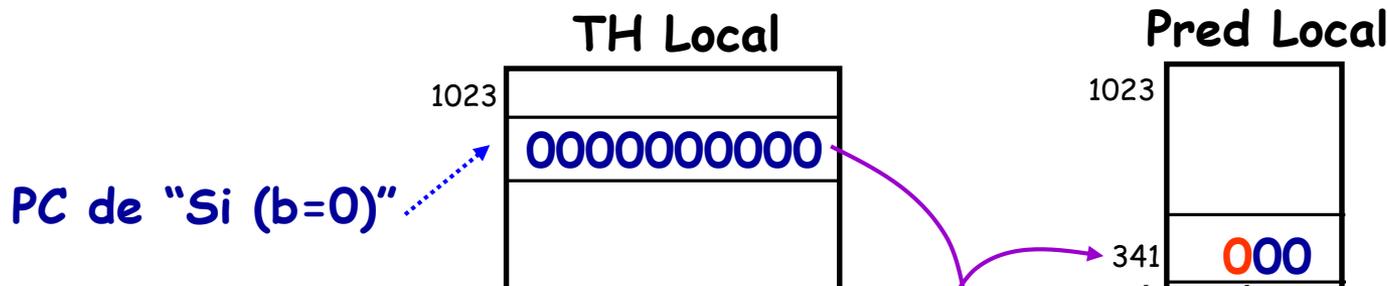
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Ejemplos de funcionamiento (1)

Programa con dos saltos que tiene el comportamiento descrito



"Si(a=0)" se ha tomado:



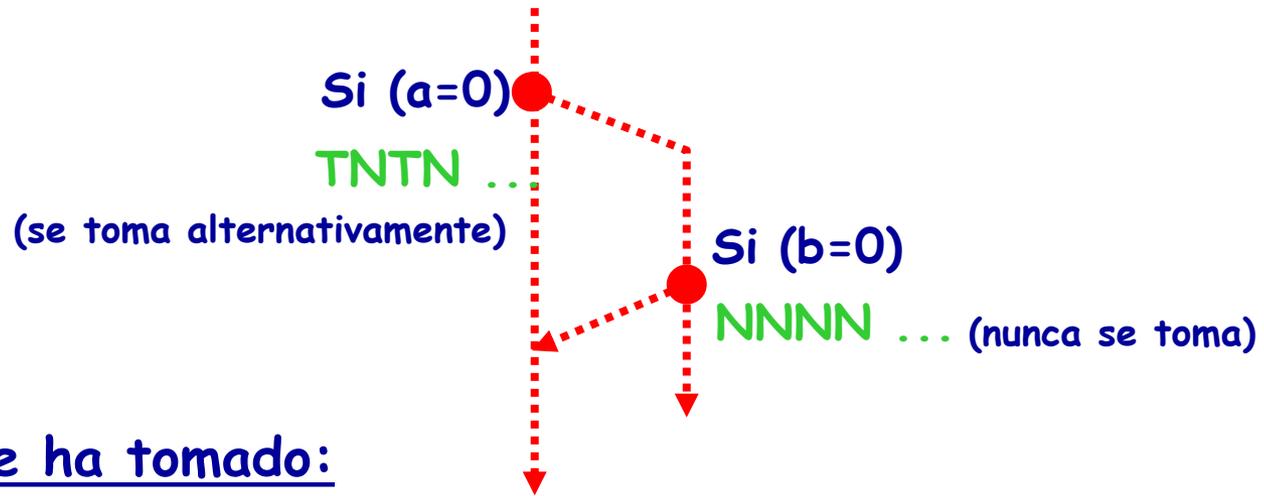
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

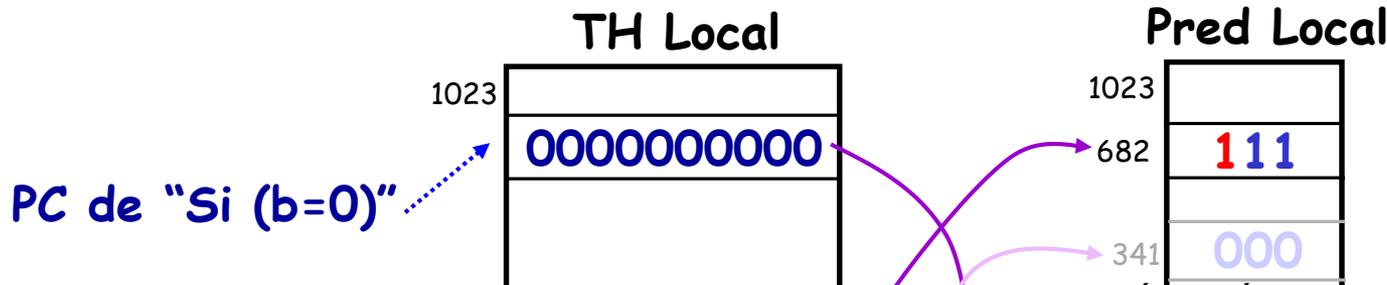
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Ejemplos de funcionamiento (2)

Programa con dos saltos que tiene el comportamiento descrito



"Si(a=0)" no se ha tomado:



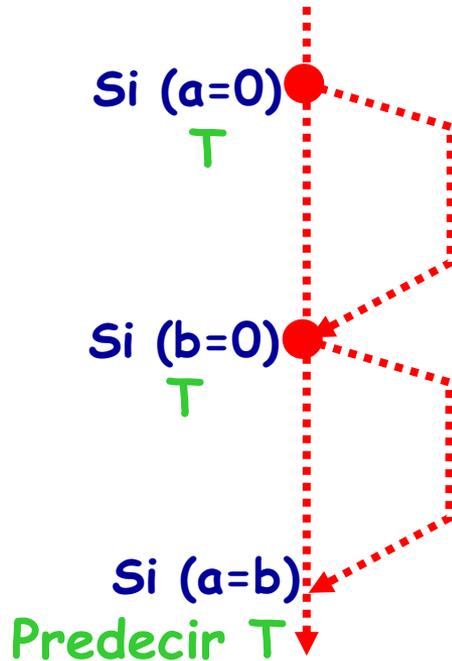
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

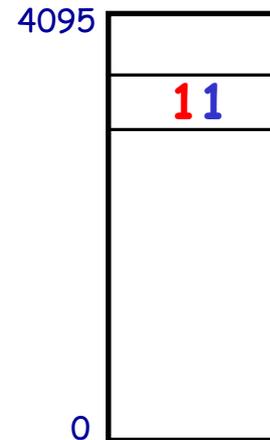
Cartagena99

Ejemplos de funcionamiento (3)

Programa con tres saltos que tiene el comportamiento descrito



Pred Global



Comportamiento últimos 12 saltos



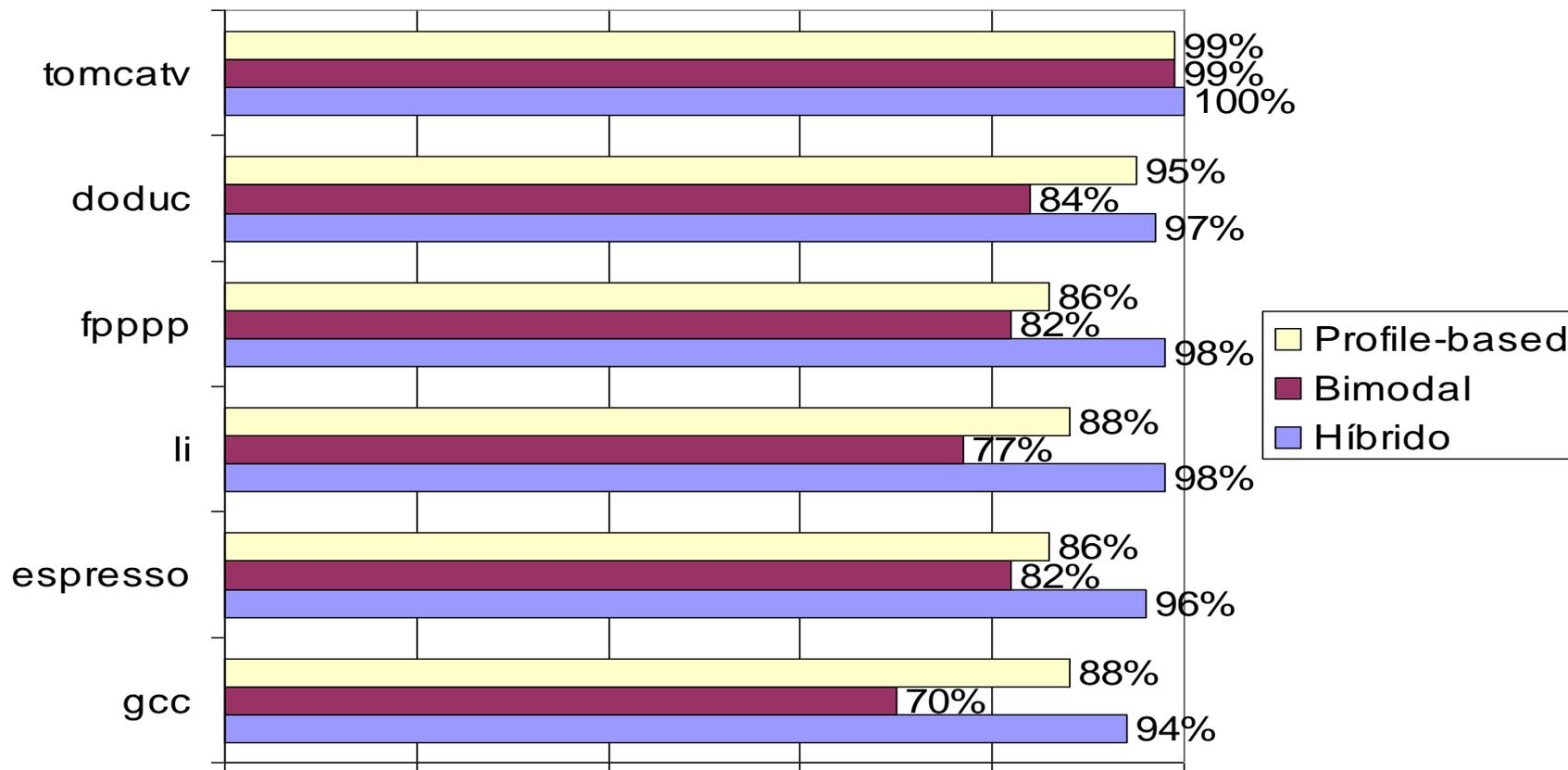
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

☐ Predictores: Comportamiento



Cartagena99

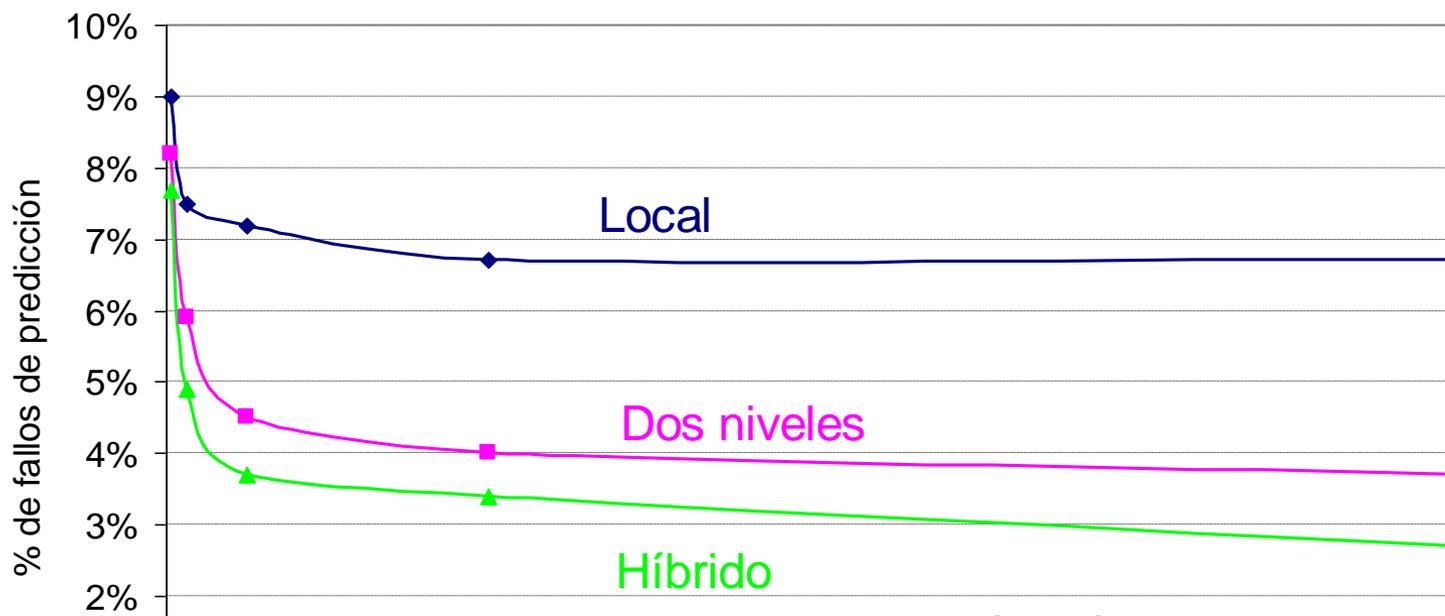
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predictores: Comportamiento

- La ventaja del predictor híbrido es su capacidad de seleccionar el predictor correcto para un determinado salto
- Muy importante para programas enteros
 - Un predictor híbrido selecciona el global casi 40% de las veces para SPEC integer y menos del 15% de las veces para SPEC FP



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

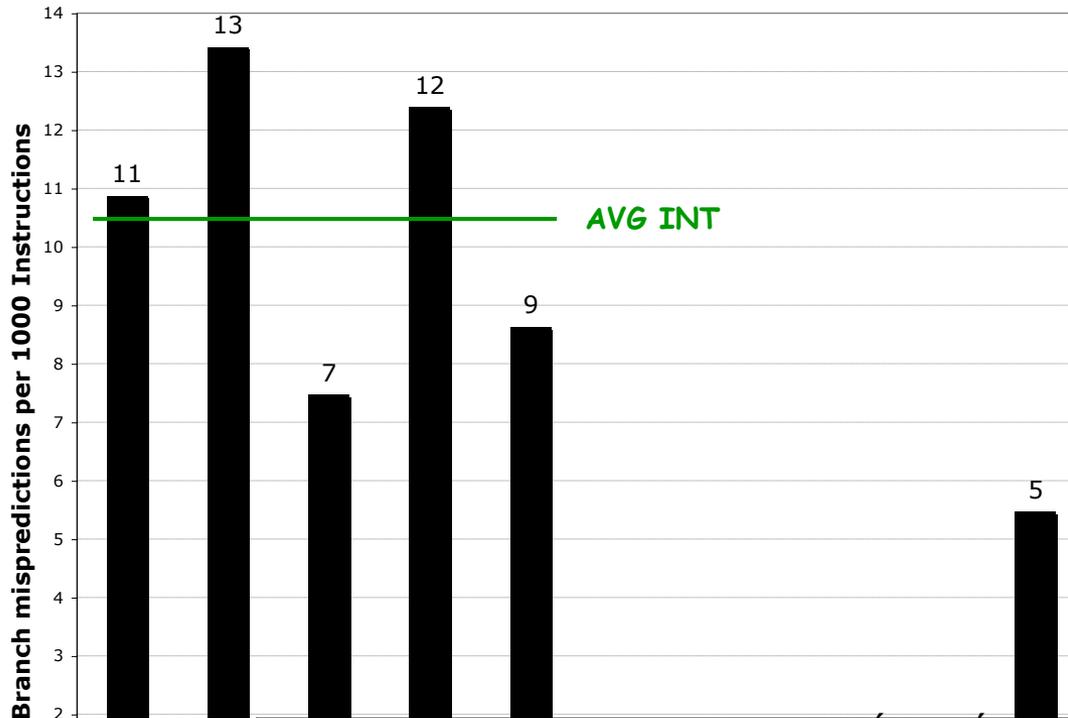
Tamaño del Predictor (Kbits)

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Pentium 4 : tasa de fallos de predicción (por 1000 instrucciones, no por salto)

≈6% de tasa de fallos SPECint (19% instrucciones INT son saltos, 186 de 1000)

≈2% de tasa de fallos SPECfp (5% instrucciones FP son saltos, 48 de 1000)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

SPECint2000

SPECfp2000

Tratamiento de Saltos: Predicción

□ Predicción de los retornos

- La precisión de los predictores con los retornos es muy baja: La dirección de retorno es diferente en función de la llamada
- Solución : Pila de direcciones de retorno(8 a 16 entradas)

EJEMPLOS

- UltraSparc I, II 4 entradas
- Pentium Pro 16 entradas
- R10000 1 entrada



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Recuperación de fallos de predicción (misprediction)

Tareas básicas

- 1) Descartar los resultados de las instrucciones ejecutadas especulativamente
- 2) Reanudar la ejecución por el camino correcto con un retardo mínimo

1) Descarte de los resultados

- Los resultados de estas instrucciones especulativas se almacenan en **registros temporales** (registros de renombramiento o *Buffer* de reordenamiento)
- Estas instrucciones no modifican los contenidos de los registros de la arquitectura ni de la memoria

Si la ejecución fue correcta

Si la ejecución fue incorrecta

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Tratamiento de Saltos: Predicción

❑ Recuperación de fallos de predicción (misprediction)

2) Reanudación de la ejecución por el camino correcto

El procesador debe guardar, al menos, la dirección de comienzo del camino alternativo

Si la predicción fue "*Not taken*"

El procesador debe calcular y almacenar la dirección destino del salto

Si la predicción fue "*Taken*"

El procesador debe almacenar la dirección de la instrucción siguiente al salto

Ejemplos: PowerPC 601 - 603 - 605

Reducción de los retardos en la recuperación de fallos

El procesador puede guardar, no solo la dirección del camino alternativo, sino prebuscar y almacenar algunas instrucciones de este camino

Si la predicción fue "*Taken*"

• El procesador almacena la dirección del camino secuencial

Si la predicción fue "*Not taken*"

• El procesador calcula y almacena la dirección destino del salto

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

5 buffer NX500 (2 pendientes)

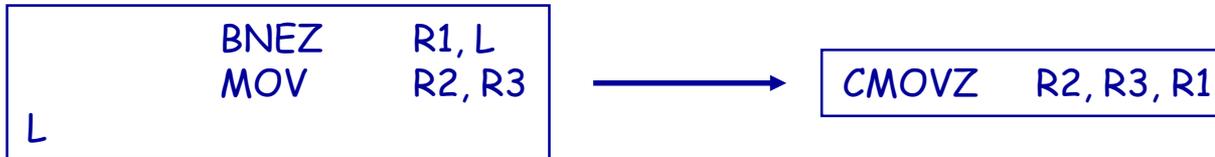
Tratamiento de Saltos: Otras alternativas

□ Ejecución condicional de instrucciones

Idea básica

- Eliminar, parcialmente, los saltos condicionales mediante *instrucciones de ejecución condicional*
- Una instrucción de ejecución condicional está formada por:
 - Una condición
 - Una operación
- Ejecución condicional
 - Si la condición es **cierta** \Rightarrow La instrucción se ejecuta
 - Si la condición es **falsa** \Rightarrow La instrucción se comporta como NOP

Ejemplo



Ventaja: Buena solución para implementar alternativas simples de control.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

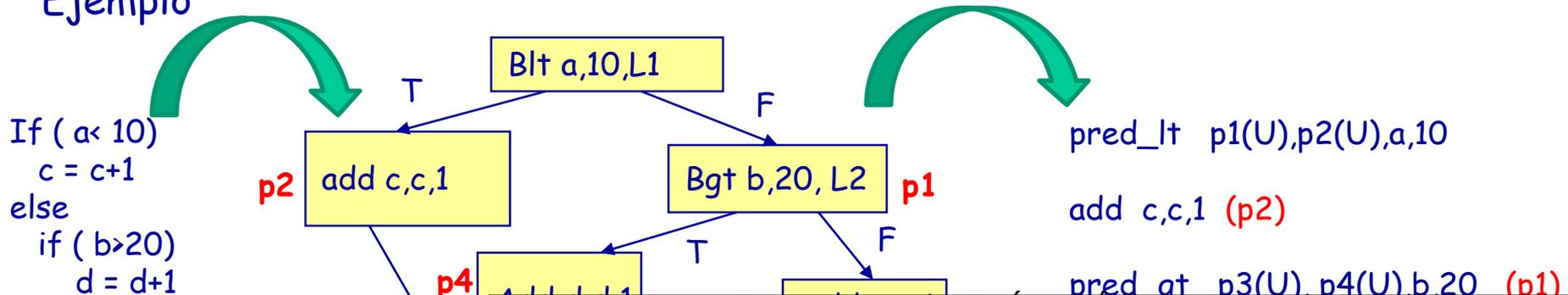
Tratamiento de Saltos: Otras alternativas

□ Ejecución con predicados

Idea básica

- Transformar todas las *instrucciones en condicionales*
- Una instrucción de ejecución condicional está formada por:
 - Una parte de condición, denominada *predicado* o *guarda*
 - Una parte de operación
- Ejecución predicada:
 - Si la condición es *cierta* \Rightarrow La instrucción se ejecuta
 - Si la condición es *falsa* \Rightarrow La instrucción se comporta como NOP

Ejemplo



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Resumen

- ✓ Predictor bimodal bueno para Loop (programas FP)
- ✓ Predictores de dos niveles buenos para IF then else
- ✓ Predicción de la dirección destino importante
- ✓ Ejecución condicional y predicada reduce el numero de saltos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Especulación

- La predicción de saltos introduce ESPECULACION
 - Dos tipos de instrucciones en el procesador
 - Las independientes
 - Las que dependen de una predicción de salto. Su finalización depende del acierto o fallo en la predicción.

¿Cómo podemos implementar esta distinción con un modelo de ejecución con finalización Fuera de orden?

Modificando el Algoritmo de Tomasulo para **forzar** finalización en orden

ALGORITMO DE TOMASULO CON ESPECULACION

- La etapa WB no almacena resultados en registros
 - Los resultados se guardan temporalmente en un buffer (ROB)
- Se añade una etapa de finalización (commit): se escriben resultados en reg o memoria

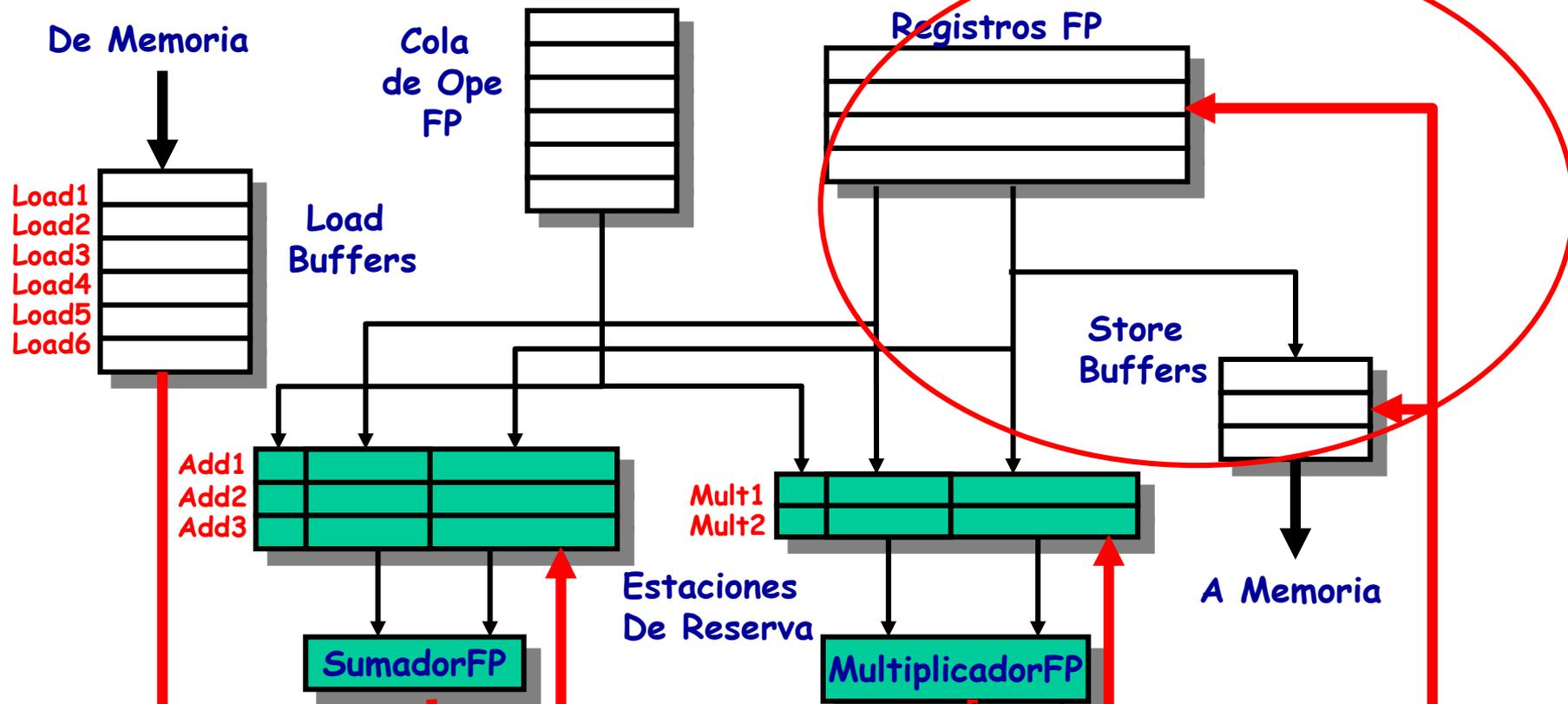
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Especulación

Algoritmo de TOMASULO



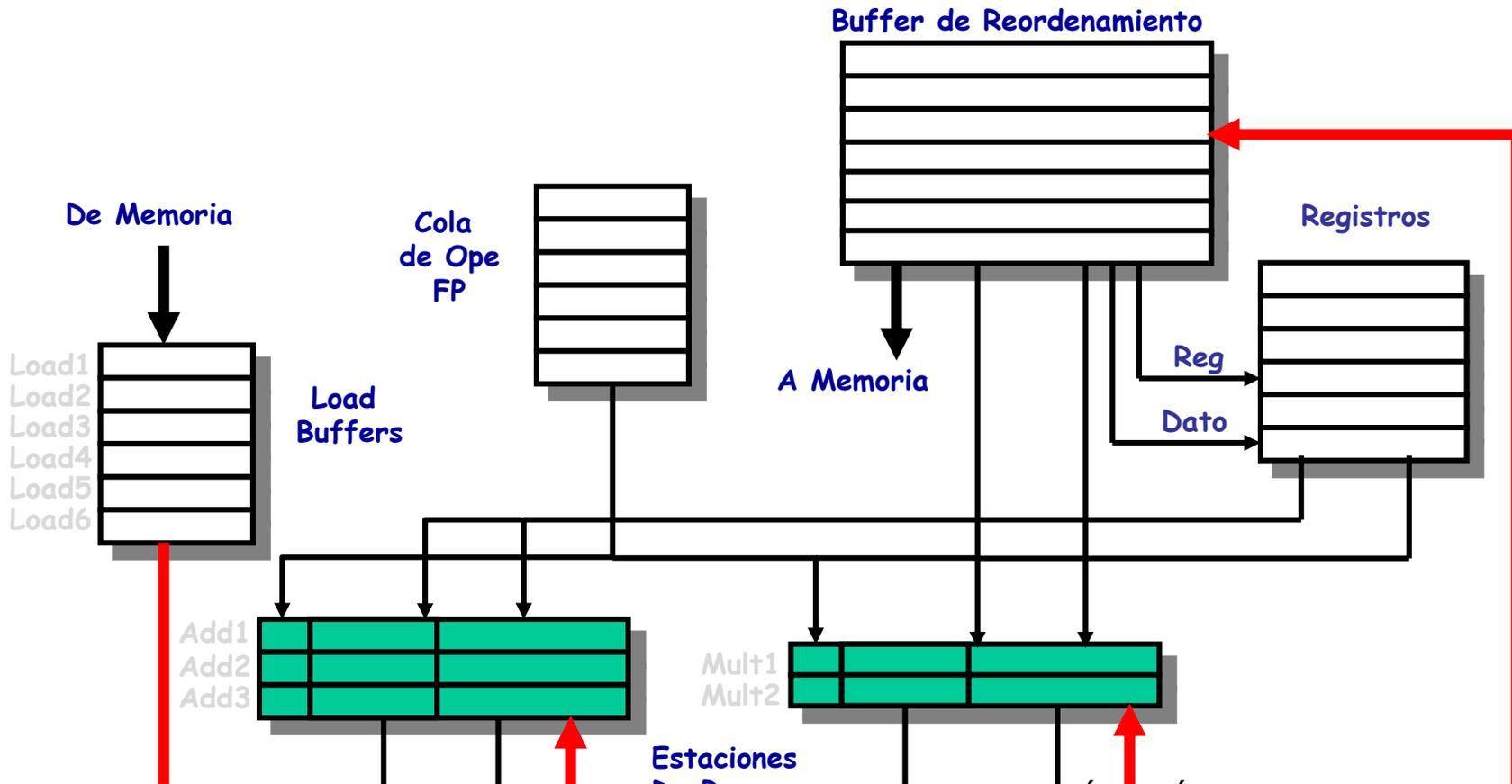
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Especulación

Algoritmo de TOMASULO con especulación



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Common Data Bus (CDB)

Especulación

□ El Buffer de Reordenamiento (ROB)

- o Almacena resultados de instrucciones cuya ejecución ha finalizado, pero...
 - están a la espera de actualizar registros o memoria (finalización en orden)
 - son dependientes de un salto (ejecución especulativa)
- o Permite el paso de operandos entre instrucciones especuladas con dependencia LDE.

□ Los operandos de una instrucción pueden llegar hasta la ER desde:

- o CDB (la instrucción que genera el operando todavía no ha realizado la fase de escritura)
- o ROB (la instrucción que genera el operando se ha ejecutado, pero no ha actualizado el banco de registros)
- o Registros (la instrucción que genera el operando ha

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Especulación

- Estructura del ROB: cada entrada contiene 4 campos
 - o Tipo de instrucción
 - Salto (sin reg destino), Store (destino en memoria), Aritmética/Load (con destino en registro)
 - o Destino
 - Número de registro (Aritmética/Load)
 - Dirección de memoria (Store)
 - o Valor
 - Resultado de la ejecución de la instrucción. Guarda el valor hasta que se actualiza registro destino o memoria.
 - En Store: Mientras el valor no está disponible, guarda el nº de la entrada del ROB donde está la instrucción que lo producirá.

o Listo

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Especulación: fases

□ Algoritmo de TOMASULO con especulación

• Los 4 estados del algoritmo de Tomasulo especulativo

✓ **Issue:** Toma la instrucción de la cola

Es necesario: ER con entrada libre y Buffer de Reordenamiento (ROB) con entrada libre.

Toma operandos de registros o de resultados almacenados en ROB por instrucciones previas.

Marca R. Destino con n° de entrada del ROB asignada

Marca ER asignada con n° de entrada del ROB asignada

✓ **Ejecución:** Opera sobre los operandos

Espera hasta que los operandos estén disponibles. Chequea CDB.

✓ **Escribe resultados:** Finaliza ejecución

Escribe a través de CDB en todas las ER de Fus y entradas del ROB que estén a la espera del resultado. Libera ER. No escribe en registros, ni memoria.

Envía por CDB resultado + n° de entrada del ROB a la que se dirige

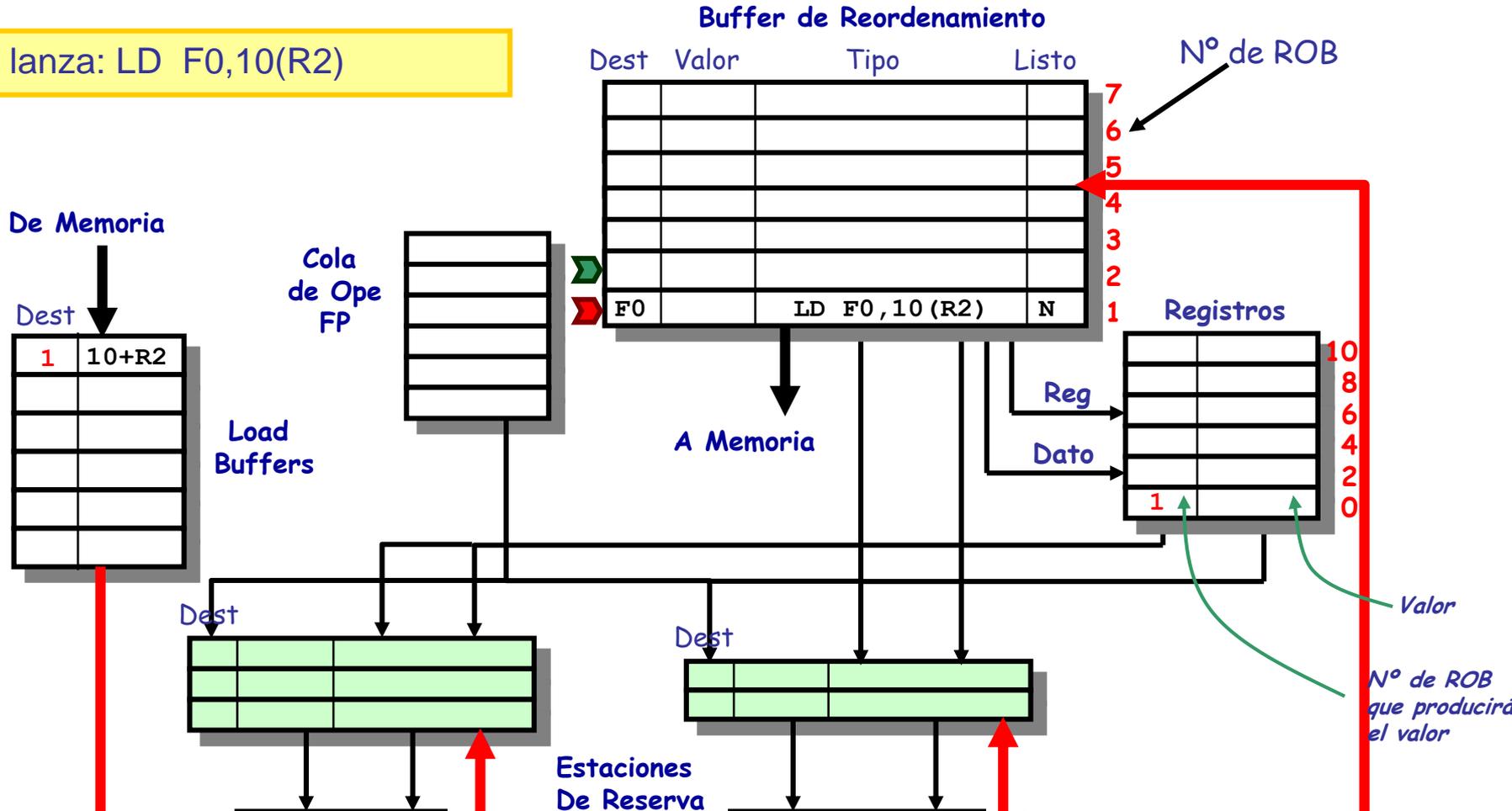
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Especulación: Ejemplo

Se lanza: LD F0,10(R2)



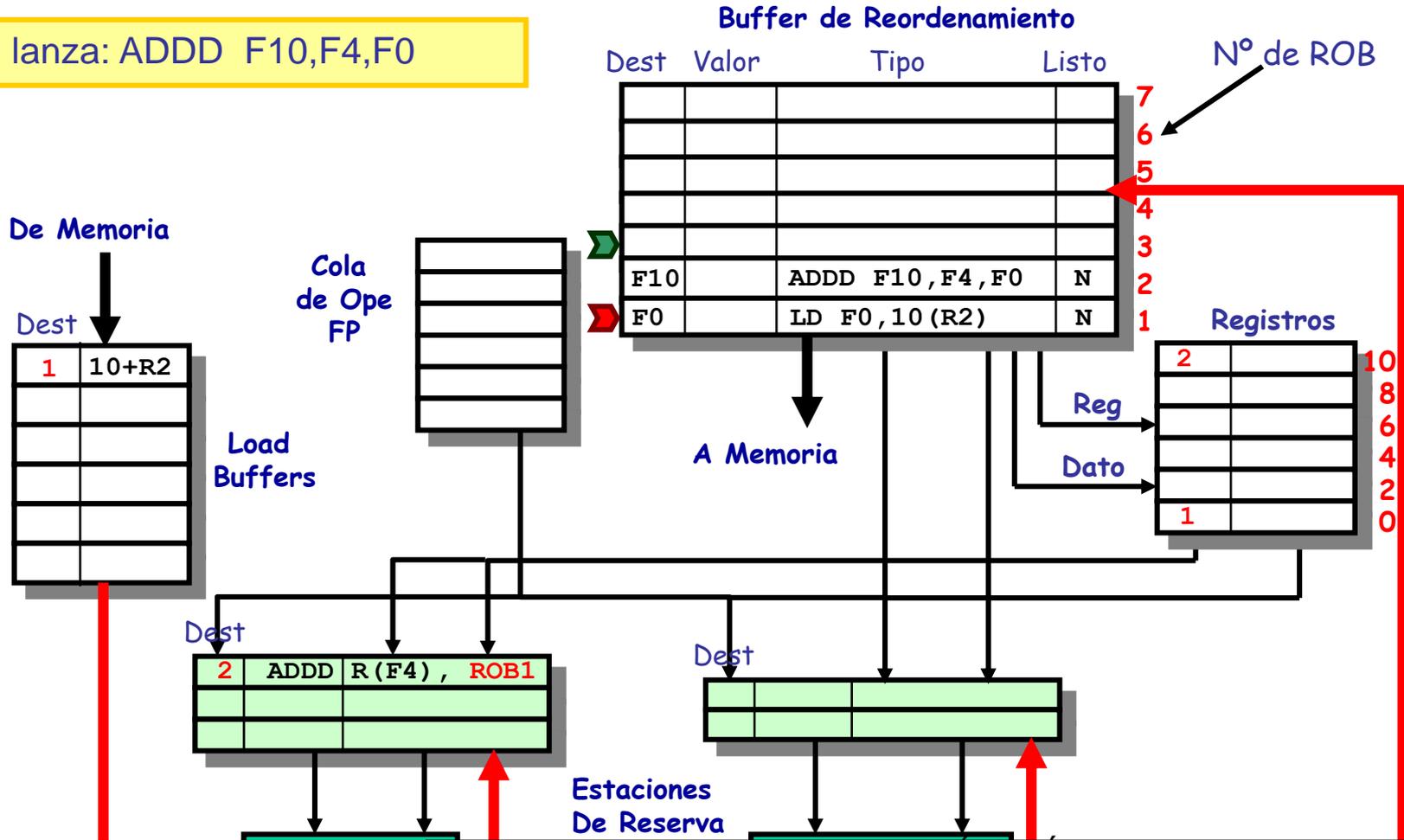
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Especulación: Ejemplo

Se lanza: ADDD F10,F4,F0



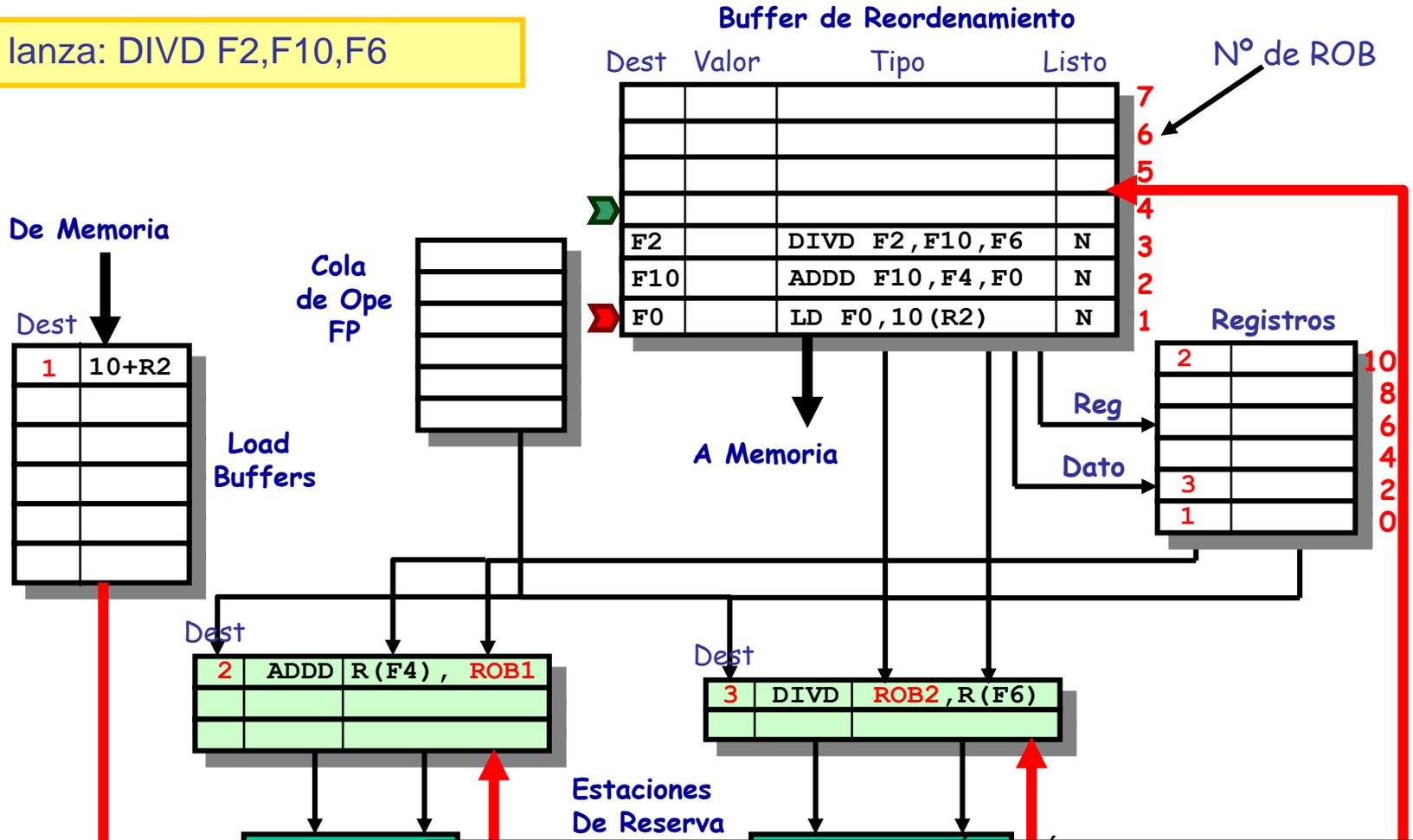
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Especulación: Ejemplo

Se lanza: DIVD F2,F10,F6



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Especulación: Ejemplo

Se lanza: BNE F2, ---
LD F4, 0(R3)
ADDD F0, F4, F6

Buffer de Reordenamiento

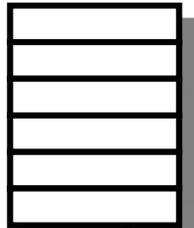
Dest	Valor	Tipo	Listo	Nº de ROB
				7
F0		ADDD F0, F4, F6	N	6
F4		LD F4, 0(R3)	N	5
---		BNE F2, ---	N	4
F2		DIVD F2, F10, F6	N	3
F10		ADDD F10, F4, F0	N	2
F0		LD F0, 10(R2)	N	1

De Memoria

Dest	Valor
1	10+R2
5	0+R3

Load Buffers

Cola de Ope FP



A Memoria

Registros

2		
5		
3		
6		

Dest	Valor	Tipo	Operación
2	R(F4)	ADDD	ROB1
6	ROB5	ADDD	R(F6)

Dest	Valor	Tipo	Operación
3	ROB2	DIVD	R(F6)

Estaciones De Reserva

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Especulación: Ejemplo

Se lanza: ST 0(R3), F4
(sup R3=10)

Buffer de Reordenamiento

Dest	Valor	Tipo	Listo
10	ROB5	ST 0 (R3) , F4	N
F0		ADDD F0 , F4 , F6	N
F4		LD F4 , 0 (R3)	N
---		BNE F2 , ---	N
F2		DIVD F2 , F10 , F6	N
F10		ADDD F10 , F4 , F0	N
F0		LD F0 , 10 (R2)	N

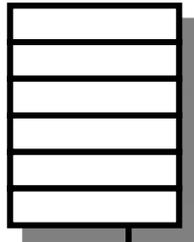
Nº de ROB

De Memoria

Dest	
1	10+R2
5	0+R3

Load Buffers

Cola de Ope FP



A Memoria

Registros

2	
5	
3	
6	

Dest

2	ADDD	R (F4) ,	ROB1
6	ADDD	ROB5 ,	R (F6)

Dest

3	DIVD	ROB2 ,	R (F6)

Estaciones De Reserva

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

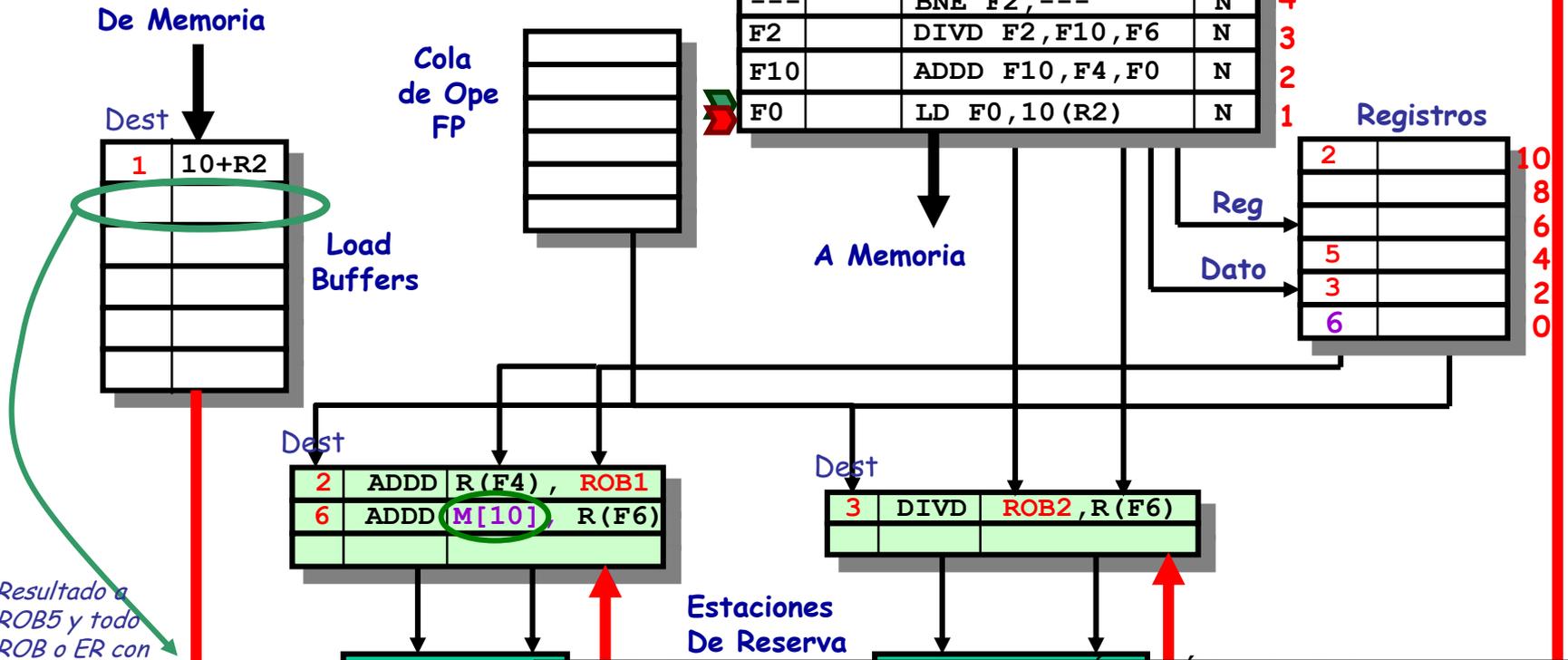
Cartagena99

Especulación: Ejemplo

Se ejecuta: LD F4,0(R3)

Buffer de Reordenamiento

Dest	Valor	Tipo	Listo	Nº de ROB
10	M[10]	ST 0(R3), F4	Y	7
F0		ADDD F0, F4, F6	N	6
F4	M[10]	LD F4, 0(R3)	Y	5
---		BNE F2, ---	N	4
F2		DIVD F2, F10, F6	N	3
F10		ADDD F10, F4, F0	N	2
F0		LD F0, 10(R2)	N	1



Resultado a ROB5 y todo ROB o ER con

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Especulación: Ejemplo

Se ejecuta: ADDD F0,F4,F6

Buffer de Reordenamiento

Dest	Valor	Tipo	Listo
10	M[10]	ST 0 (R3) , F4	Y
F0	F4+F6	ADDD F0, F4, F6	Y
F4	M[10]	LD F4, 0 (R3)	Y
---		BNE F2, ---	N
F2		DIVD F2, F10, F6	N
F10		ADDD F10, F4, F0	N
F0		LD F0, 10 (R2)	N

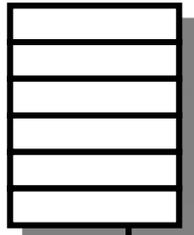
Nº de ROB

De Memoria

Dest	Valor
1	10+R2

Load Buffers

Cola de Ope FP



A Memoria

Registros

2	
5	
3	
6	

Dest	Valor	Tipo	Listo
2	ADDD	R (F4) , ROB1	

Dest	Valor	Tipo	Listo
3	DIVD	ROB2 , R (F6)	

Estaciones De Reserva

Resultado a ROB6 y todo ROB o ER con

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Especulación: Ejemplo

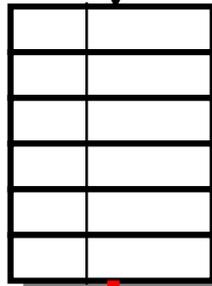
Se ejecuta: LD F0,10(R2)
sup R2=10

Buffer de Reordenamiento

Dest	Valor	Tipo	Listo	Nº de ROB
10	M[10]	ST 0 (R3) , F4	Y	7
F0	F4+F6	ADDD F0, F4, F6	Y	6
F4	M[10]	LD F4, 0 (R3)	Y	5
---		BNE F2, ---	N	4
F2		DIVD F2, F10, F6	N	3
F10		ADDD F10, F4, F0	N	2
F0	M[20]	LD F0, 10 (R2)	Y	1

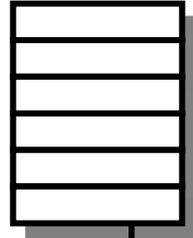
De Memoria

Dest



Load Buffers

Cola de Ope FP

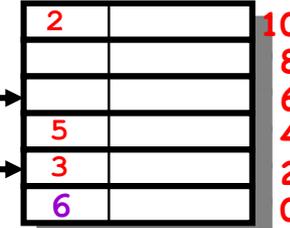


A Memoria

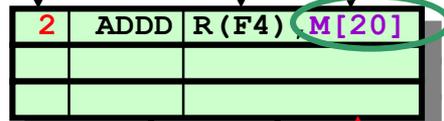
Reg

Dato

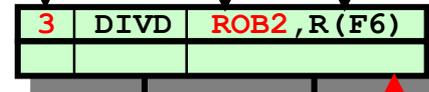
Registros



Dest



Dest



Estaciones De Reserva

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

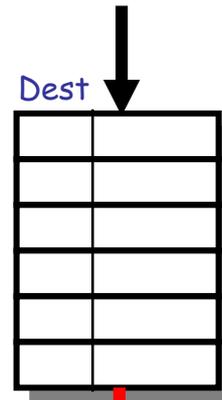
Especulación: Ejemplo

Se ejecuta: ADDD F10,F4,F0

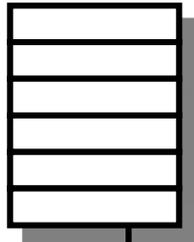
Buffer de Reordenamiento

Dest	Valor	Tipo	Listo	Nº de ROB
10	M[10]	ST 0 (R3) , F4	Y	7
F0	F4+F6	ADDD F0, F4, F6	Y	6
F4	M[10]	LD F4, 0 (R3)	Y	5
---		BNE F2, ---	N	4
F2		DIVD F2, F10, F6	N	3
F10	*	ADDD F10, F4, F0	Y	2
F0	M[20]	LD F0, 10 (R2)	Y	1

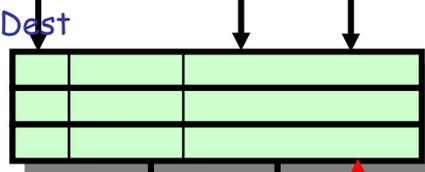
De Memoria



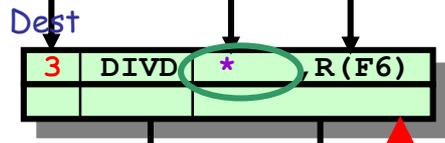
Cola de Ope FP



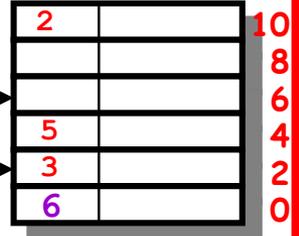
Load Buffers



A Memoria



Registros



Estaciones De Reserva

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

* = R(F4)+M[20]

Cartagena99

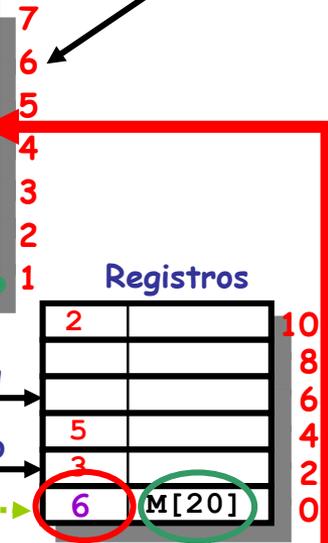
Especulación: Ejemplo

Finaliza (Commit): LD F0,10(R2)

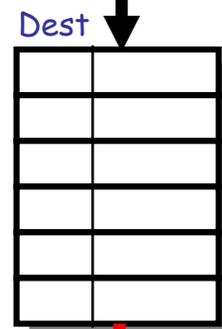
Buffer de Reordenamiento

Dest	Valor	Tipo	Listo
10	M[10]	ST 0 (R3), F4	Y
F0	F4+F6	ADDD F0, F4, F6	Y
F4	M[10]	LD F4, 0 (R3)	Y
---		BNE F2, ---	N
F2		DIVD F2, F10, F6	N
F10	*	ADDD F10, F4, F0	Y

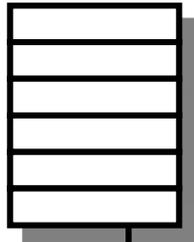
Nº de ROB



De Memoria

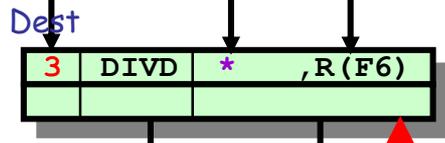
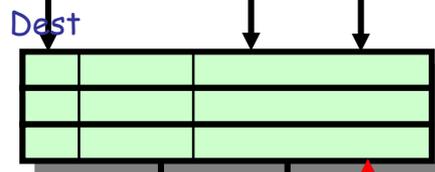


Cola de Ope FP



Load Buffers

A Memoria



Estaciones De Reserva

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

* = R(F4)+M[20]

Cartagena99

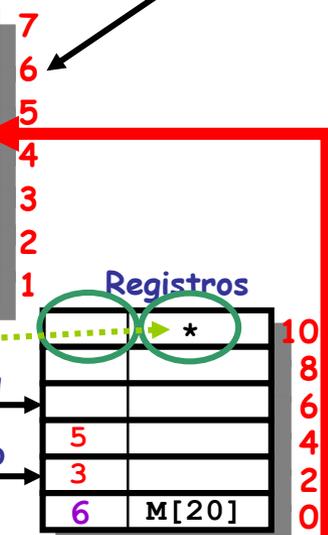
Especulación: Ejemplo

Finaliza (Commit):
ADDD F10,F4,F0

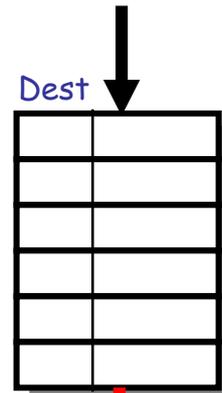
Buffer de Reordenamiento

Dest	Valor	Tipo	Listo
10	M[10]	ST 0 (R3) , F4	Y
F0	F4+F6	ADDD F0, F4, F6	Y
F4	M[10]	LD F4, 0 (R3)	Y
---		BNE F2, ---	N
F2		DIVD F2, F10, F6	N

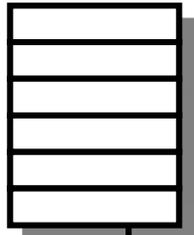
Nº de ROB



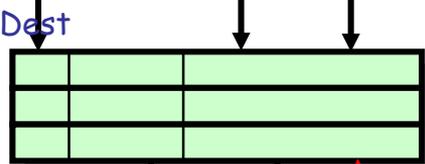
De Memoria



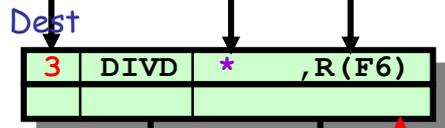
Cola de Ope FP



Load Buffers



A Memoria



Estaciones De Reserva

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

* = R(F4)+M[20]

Cartagena99

Especulación: Riesgos a través de memoria

- Riesgos EDE y EDL: no pueden aparecer dado que la actualización de memoria se hace en orden.
 - o Esperar hasta que la instrucción ST se halle en la cabecera de ROB => Todos los LD y ST anteriores se han completado.

- Riesgos LDE: Podrían producirse si un LD accede a la posición de memoria A, habiendo en el ROB un ST previo que almacena el resultado en A. Se evitan mediante el siguiente mecanismo:
 - o Un LD no ejecuta el acceso a memoria si hay un ST previo en el ROB con la misma dirección de memoria.
 - o Tampoco se ejecuta el LD si está pendiente el cálculo de la dirección efectiva de algún ST del ROB

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Especulación: Saltos e interrupciones

- ❑ El ROB permite recuperarse de saltos mal predichos e implementar un modelo de excepciones precisas
- ❑ Si una instrucción de salto bien predicha llega a cabecera de ROB =>
 - o Eliminarla de ROB
- ❑ Si una instrucción de salto mal predicha llega a cabecera de ROB =>
 - o Borrar contenido del ROB
 - o Borrar marcas (campo "Nº de ROB)" de todos los registros.
 - o Buscar instrucción correcta.
- ❑ Si una instrucción genera una interrupción =>
 - o Registrar la petición en el ROB
 - o Si la instrucción llega a la cabecera del ROB (no especulada),

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70