



Universidad de Murcia  
Facultad de Informática

---

TÍTULO DE GRADO EN  
INGENIERÍA INFORMÁTICA

# **Ampliación de Estructura de Computadores**

Tema 1: Análisis de Prestaciones en Arquitectura

Boletín de ejercicios

CURSO 2024 / 2025

---

Departamento de Ingeniería y Tecnología de Computadores

Área de Arquitectura y Tecnología de Computadores



## Ejercicios Básicos

1. Tenemos la siguiente distribución de instrucciones:

Tipo	Porcentaje	Ciclos
ALU	33 %	2
Load	21 %	3
Store	12 %	3
Branch	24 %	3
FP	10 %	12

Sabemos que podemos reducir el número de ciclos de las operaciones de FP a la mitad, pero ello nos provocará un incremento del ciclo de reloj del 25 %. Además ahora las cargas consumirán un ciclo más.

- ¿Cuál de las dos máquinas es más rápida? ¿En qué factor?.
  - Si conseguimos no afectar a las cargas con la modificación, ¿varía el resultado obtenido? ¿Ahora qué máquina es la más rápida? ¿En qué factor?.
2. Al compilar un programa con un compilador estándar y ejecutarlo en nuestra máquina, el programa ejecuta un 43 % de instrucciones de ALU (1 ciclo de reloj), 21 % de cargas (2 ciclos), 12 % de almacenamientos (2 ciclos) y 24 % de saltos condicionales (2 ciclos). Hemos conseguido un compilador más avanzado que es capaz de descartar el 50 % de las instrucciones de la ALU aunque no puede reducir el número de cargas, almacenamientos ni saltos. Suponiendo que nuestra máquina tiene una duración del ciclo de reloj de 20 ns (50 MHz), ¿cuál es el rendimiento en MIPS del código optimizado frente al código original? Razona si el código con más MIPS es el que menor tiempo de ejecución obtendría.
3. Supongamos que se puede mejorar la velocidad de la CPU de nuestra máquina en un factor de cinco (sin afectar al rendimiento de la E/S) por cinco veces el coste. Supongamos también que la CPU se utiliza el 50 % del tiempo, y que el tiempo restante la CPU está esperando las operaciones de E/S. ¿Cuánto se mejora el rendimiento total? Si la CPU supone un tercio del coste total de la máquina, ¿cuánto se incrementa el coste total? Por tanto, ¿la mejora de rendimiento de la CPU en un factor de cinco es una buena inversión desde un punto de vista coste/rendimiento?
4. Estamos barajando dos posibles mejoras:
- Una mejor optimización por parte del compilador.
  - Utilizar saltos diferidos con cancelación para acelerar los saltos.

La primera mejora (a) reduce en un factor de 4 el tiempo del 80 % del código. La segunda mejora (b) reduce en un factor de 2 el tiempo del 30 % del código. Con los porcentajes anteriores se puede observar que hay un porcentaje del tiempo afectado por las dos mejoras. Sabemos que este porcentaje de tiempo corresponde al 20 %. Puesto que el compilador al optimizar elimina saltos innecesarios, al aplicar la primera optimización, desaparecen saltos que no pueden aprovecharse de la segunda y por tanto la mejora conjunta produce tan solo una reducción del tiempo de ejecución en un factor de 6.

Se pide aplicar la ley de Amdahl para determinar la aceleración real resultante. Téngase en cuenta que la fórmula de la ley de Amdahl que considera sólo una mejora no puede ser aplicada directamente y que habría que adaptarla para que considere varias mejoras.

5. Supongamos un procesador que tiene los siguientes tipos de instrucciones: sumas, multiplicaciones, operaciones de memoria y saltos. Realizamos una serie de mejoras en el diseño de las ALUs que incrementan, de forma independiente, el rendimiento de cada uno de estos 4 tipos de instrucciones. Dado un determinado programa de prueba, la tabla siguiente muestra el número de instrucciones que pertenecen a cada tipo, el número de ciclos medios que tarda cada tipo de instrucción y el speedup para cada tipo de instrucción debido a las mejoras realizadas (nótese que cada mejora solo afecta a un tipo de instrucción). Se pide calcular, para cada uno de los cuatro tipos de instrucciones, el efecto que su mejora particular tendrá en el rendimiento global del procesador (utilizando para ello la ley de Amdahl) y ordenar cada tipo de instrucción de mayor a menor impacto.

Tipo	Cantidad	CPI	Factor de mejora individual
Suma	10 millones	2 ciclos	2,0
Multiplicación	30 millones	20 ciclos	1,3
Memoria	35 millones	10 ciclos	3,0
Saltos	15 millones	4 ciclos	4,0

6. Tenemos dos alternativas de diseño para una instrucción de salto condicional:

- CPU A: Una instrucción de comparación activa un flag y es seguida de un salto que examina dicho flag.
- CPU B: Se incluye la comparación en la instrucción de salto.

En ambas CPUs la instrucción de salto condicional emplea 2 ciclos de reloj, y las demás instrucciones 1. Ignoramos cualquier factor ajeno al problema, como la jerarquía de memoria. En la CPU A el 20 % de las instrucciones ejecutadas son saltos condicionales; como cada salto necesita una comparación, otro 20 % de las instrucciones son comparaciones. Debido a que la CPU A no incluye la comparación en el salto, su frecuencia es un 25 % más alta que la de la CPU B.

- a) ¿Qué CPU es la más rápida?
- b) Después de ver el resultado anterior, un diseñador consideró que volviendo a trabajar en la organización, se podría reducir la diferencia en las frecuencias para que fuera solo del 10 % (en lugar del 25 %). ¿Qué CPU es más rápida ahora?

## Ejercicios Adicionales

7. Al decidir la compra de un ordenador, se está dudando entre tres máquinas cuya única diferencia está en la frecuencia de reloj del procesador. En concreto, las tres alternativas funcionan a 700, 800 y 1000 MHz, teniendo un precio de 4000, 4300 y 5500 euros respectivamente. Tras ejecutar la aplicación habitualmente utilizada, se han obtenido tiempos de 10 y 9 segundos para las máquinas con procesadores a 700 y 800 MHz respectivamente. ¿Cuál es la mejor inversión desde el punto de vista coste/rendimiento?
8. El benchmark Whetstone contiene 195 578 operaciones básicas de punto flotante en cada iteración, divididas como se muestra en la siguiente tabla:

Operación	Apariciones
Suma	82 014
Resta	8 229
Multiplicación	73 220
División	21 399
Conversión de entero a punto flotante	6 006
Comparación	4 710
<b>Total</b>	<b>195 578</b>

El benchmark se ejecutó en una Sun 3/75 usando el compilador de Fortran F77 con optimizaciones. La Sun 3/75 se basa en un Motorola 68020 ejecutándose a 16.67 MHz, que incluye un coprocesador matemático para las operaciones en punto flotante. El compilador de Sun permite que las operaciones en punto flotante se calculen con el coprocesador o usando rutinas software, dependiendo de las opciones de compilación. Una única iteración del benchmark Whetstone tarda 1.08 segundos usando el coprocesador y 13.6 segundos usando las rutinas software. Suponer que el CPI usando el coprocesador es de 10 y usando las rutinas software es de 6.

- a) ¿Cuál es la frecuencia MIPS para ambos casos?.
- b) ¿Cuál es el número total de instrucciones ejecutadas en ambos casos?.
- c) En media, ¿cuántas operaciones enteras se hacen para realizar una operación en punto flotante?.
- d) ¿Cuál es la frecuencia en MFLOPS para la Sun 3/75 con el coprocesador ejecutando el benchmark Whetstone?.
9. Un estudio sobre la utilización de construcciones de los lenguajes de alto nivel nos sugiere que las llamadas a los procedimientos son una de las operaciones más caras. Suponga que ha inventado un esquema que reduce las operaciones de carga y almacenamiento normalmente asociadas con las llamadas y vueltas de procedimientos. Lo primero que hace es ejecutar algunos experimentos con y sin esta optimización. Sus experimentos utilizan el mismo compilador optimizador en ambas versiones del computador.

Los experimentos realizados revelan lo siguiente:

- La duración del ciclo de reloj de la versión no optimizada es un 5 % más rápido.
- El 30 % de las instrucciones de la versión no optimizada son operaciones de carga o almacenamiento.

- La versión optimizada ejecuta 1/3 menos de operaciones de carga y almacenamiento que la versión no optimizada. Para las demás instrucciones, el recuento de ejecución dinámica es inalterable.
- Todas las instrucciones (incluyendo las de carga y almacenamiento) emplean un ciclo de reloj.

¿Qué es más rápido? Justifica cuantitativamente la decisión

10. En un computador se ejecuta cierta aplicación que consume un D% de su tiempo realizando accesos al disco, un F% de su tiempo ejecutando instrucciones de coma flotante, y el resto del tiempo ejecutando instrucciones enteras. La máquina dispone de un coprocesador para cálculos en coma flotante que ofrece un CPI=5 ciclos. Con el objeto de mejorar las prestaciones del sistema se han evaluado dos proyectos de modificación:

- Sustituir el disco por otro el doble de rápido. Las prestaciones globales mejoran en un 17.6%.
- Sustituir el disco por otro un 25 % más rápido y el coprocesador por otro que ofrece un CPI de 2.5 ciclos. La aceleración global obtenida es de 1.351.

Calcula los porcentajes del tiempo de ejecución D y F que la aplicación consume accediendo al disco y al coprocesador, respectivamente.

11. El tiempo de ejecución de un programa que estamos probando no es tan bajo como deseamos, así que añadimos otro procesador, obteniendo una mejora en un factor de 10 para la parte afectada por esta mejora. Se observa que tras aplicar la mejora, el 70 % del tiempo de ejecución se está utilizando el nuevo procesador, ¿qué porcentaje del tiempo de ejecución original se ha beneficiado de esta mejora? ¿Qué aceleración se ha conseguido?
12. La ley de Amdahl se basa en la suposición de que cuando se mejora una parte del sistema, esto no tiene repercusiones negativas sobre la parte no mejorada. Sin embargo, en la vida real esto sí puede ocurrir. La ley de Amdahl se puede modificar para que tenga en cuenta esto último.

Consideremos un sistema con dos componentes A y B que pueden mejorarse. Hay una interdependencia entre ellos, de forma que una mejora en uno afecta al otro. Existen tres posibles mejoras:

- *Opción 1:* Una fracción  $f_a$  del tiempo de ejecución puede acelerarse 10 veces, pero debido a la dependencia de A sobre B, otra fracción  $2f_a$  tardará 5 veces más.
- *Opción 2:* Una fracción  $f_b$  del tiempo de ejecución puede acelerarse 20 veces, pero la dependencia fuerza a que otra fracción  $0,5f_b$  tarde 2 veces más.
- *Opción 3:* Una fracción  $f_a$  del tiempo puede hacerse 5 veces más rápida, pero la dependencia hace que otra fracción  $f_a$  tarde 1.8 veces más.

a) Obtén la expresión de la ley de Amdahl en función de  $f_a$  y  $f_b$  para cada una de las tres opciones anteriores.

b) ¿Qué opción preferirías y por qué? Razónalo adecuadamente.

13. Tenemos una aplicación de cálculo científico de la que se conoce que contiene 3.000 operaciones básicas de punto flotante. Al ejecutar dicha aplicación sobre un computador con hardware para la ejecución de las operaciones de punto flotante y con una frecuencia de reloj de 100 MHz se obtiene que el tiempo de ejecución es de 1 milisegundo y el CPI 10. Calcular:

a) Frecuencia MIPS y MFLOPS de la máquina.

b) Número de instrucciones enteras que contiene la aplicación.

- c) Sabemos que cada operación básica de punto flotante podría ser traducida por un compilador, en media, por 9 operaciones enteras y que al ejecutar la aplicación recompilada sobre un procesador que no incluyera el hardware para punto flotante el CPI sería de 4. Calcular la frecuencia de reloj a la que debería funcionar el procesador sin el hardware para punto flotante para mantener el tiempo de ejecución de 1 milisegundo.
14. Supongamos que disponemos de tres versiones de una misma máquina que únicamente se diferencian en la implementación del procesador que incorporan, más concretamente en la parte del hardware encargada de procesar las instrucciones de punto flotante. Se ha ejecutado un benchmark científico sobre las tres máquinas. La primera de ellas tiene un rendimiento de 5 MFLOPS y ha completado la ejecución en 20 segundos. Para la segunda, el hardware para punto flotante ofrece un rendimiento de 15 MFLOPS y se ha ejecutado la aplicación en 10 segundos. Finalmente, la tercera máquina cuenta con un rendimiento de 25 MFLOPS. Se pide:
- a) Fracción del tiempo en la primera máquina durante la que se emplea el hardware de punto flotante.
  - b) Tiempo de ejecución de la aplicación sobre la tercera máquina.
  - c) ¿Cuál es tiempo mínimo de ejecución que se podría obtener mediante la optimización del hardware de punto flotante de la máquina?