

Estructura de Computadores

Problemas Tema 1: Análisis del Rendimiento

1. Queremos analizar el rendimiento de un computador de 100 MHz. que tiene instrucciones simples, normales y complejas, cada una con un CPI distinto según se muestra en la tabla siguiente. Para ello, se utiliza un programa compilado en dos compiladores distintos que generan códigos objeto con diferente número y tipo de instrucciones (ver tabla). ¿Qué versión compilada del programa produce un mayor rendimiento atendiendo a los MIPS? ¿Y atendiendo al tiempo de CPU?

Clase de instrucción	CPI	Millones de instrucciones para el compilador 1	Millones de instrucciones para el compilador 2
Simple	1	5	10
Regular	2	1	1
Compleja	3	1	1

2. Un computador ejecuta un programa en 100 segundos, siendo las operaciones de multiplicación responsables del 80% de ese tiempo. ¿Cuánto habría que mejorar la velocidad de la multiplicación si se desea que el programa se ejecute 5 veces más rápido?
3. Considerar dos computadores, P1 y P2, con idéntico repertorio de instrucciones (A, B, C, D). P1 funciona a 50 MHz y con CPIs de 1, 2, 3 y 4 para A, B, C y D, respectivamente. P2, por el contrario, funciona a 75 MHz pero con CPIs respectivos de 3, 5, 5 y 7. Si ejecutamos en ambos un mismo programa compuesto por igual número de instrucciones de cada tipo, ¿cuál de ellos mostrará un mayor rendimiento en MIPS?
4. Un programa que dedica la mitad de su tiempo a cálculos en punto flotante se ejecuta sobre un computador en 10 segundos. Si cambiamos su unidad de punto flotante, FPU, por otra 5 veces más rápida, ¿qué ganancia en velocidad experimentará el programa?
5. Sea un código en ensamblador del MIPS con un único bucle que se repite 5 veces. El bucle está compuesto por 20 instrucciones de las que 7 son de suma. El tiempo de ejecución del algoritmo en el procesador GoFast es de 150msg. Supongamos que a dicho procesador se le cambia la ALU, de tal manera que el tiempo empleado en las sumas se reduce en un 20 %. Utiliza la ley de Amdahl para determinar cuál será el nuevo tiempo de ejecución del programa.
6. Queremos reducir el tiempo de ejecución de un programa en un computador incorporándole una memoria caché para almacenar instrucciones. Cuando el procesador encuentra una instrucción en la caché, ésta se ejecuta 10 veces más rápido

que cuando debe acceder a memoria principal. Indicar el porcentaje mínimo de tiempo de programa que debería corresponder a instrucciones que se encuentran en caché, para conseguir ejecutar el programa en menos de la mitad de tiempo.

7. A partir de una misma arquitectura base, se ha realizado la implementación de dos procesadores multiciclo que denominaremos a partir de ahora MelonPI y SandiPO. Cada procesador tiene su propio conjunto de instrucciones, y además SandiPO usa una tecnología más actual, lo que hace que su frecuencia de funcionamiento sea 2 veces la de MelonPI. Para comparar el rendimiento de ambas máquinas, se ha tomado como benchmark un programa en Python que produce en ambos procesadores el mismo número de instrucciones pero un tiempo de ejecución diferente: 8.6 milisegundos en MelonPI y 4.1 milisegundos en SandiPO. Calcular la relación entre el CPI de ambas arquitecturas para el benchmark considerado.

Un grupo de estudiantes aventajados de la UMA cree que las prestaciones de SandiPO pueden dar mucho más de sí de lo que esos números indican, y deciden reimplementar su instrucción MOV, consiguiendo reducir de 5 a 3 el número de ciclos de CPU necesarios para su ejecución. A continuación, ejecutan el benchmark de nuevo, consumiendo este tan sólo 3.8 milisegundos. ¿Se puede conocer el porcentaje del tiempo de ejecución que se ha dedicado a la ejecución de la instrucción MOV? ¿Y el porcentaje de instrucciones MOV que tiene el benchmark utilizado durante la evaluación?

8. Se desea mejorar el rendimiento de un PC. Para ello tenemos dos opciones:
 - Ampliar la memoria RAM, con lo que se consigue un factor de mejora de 1.75 en el 80% del tiempo de ejecución de los programas.
 - Introducir un disco duro mayor, con lo que se reduce a una tercera parte el 60% del tiempo de ejecución de los programas.

A igualdad de precio, ¿cuál de las dos mejoras aconsejarías?

9. Considérese que para determinada arquitectura de un repertorio de instrucciones se realizan diversas implementaciones. La primera obedece a una organización multiciclo que opera a una frecuencia de 1.8 GHz., obteniéndose para determinado programa de prueba un CPI de 3 y un tiempo de ejecución de 150 ms. La segunda reduce el ciclo de reloj hasta los 0.3 ns, lo que lleva al programa de prueba a ejecutarse en 100 ms. Con estas premisas, contestar a las siguientes preguntas:

- a) Calcular el CPI del programa de prueba en la segunda implementación.
- b) Marcar la sentencia correcta de entre las cuatro siguientes:
 - I. La segunda implementación es más rápida que la primera y por lo tanto, obligatoriamente, su CPI debe ser menor.
 - II. La segunda realización es más rápida que la primera y por lo tanto su CPI debe ser mayor.
 - III. La primera realización es la de mayor rendimiento.
 - IV. Las afirmaciones anteriores son falsas.

Estructura de Computadores

10. La propaganda de una empresa informática nos indica que su procesador PTT es capaz de conseguir 48.5 SPECSpeed 2017 Floating Point.

- ¿Qué nos quiere indicar el fabricante con ese parámetro?
- ¿Es ese parámetro más indicativo del rendimiento del procesador que si nos suministraran medidas acerca de los MIPS? ¿y de los MFLOPS? Justifica las respuestas.
- Supongamos que conocemos que este nuevo PTT es 1.25 veces más rápido que el procesador KK-II para un determinado conjunto de programas de prueba. Dicha ganancia se debe en un 45% a un programa de “Simulación de Turbulencias”, que tarda 20 segundos al ser ejecutado sobre PTT. ¿Cuánto tardaría este programa en ejecutarse sobre el procesador KK-II?

11. *MeEscapé*, una empresa dedicada al software de Internet, usa para sus operaciones matemáticas unas rutinas compradas a otra compañía. Estas funciones suponen el 10% del tiempo de ejecución del código, y son el doble de rápidas de las que inicialmente usaban. Por una política de ahorro, se decide cambiar a las funciones que ofrece una nueva empresa que, aunque son algo más lentas, también son más baratas. Esta decisión se debe a que se ha observado que, haciendo un cambio en la estructura de los programas, se consigue que, aunque las nuevas llamadas aceleren un 25% menos que las que iban el doble de rápidas, el código, de forma global, se sigue comportando de igual modo a como lo hacía antes en cuanto a velocidad de ejecución.

- ¿Cuál ha sido ese cambio? ¿En qué se basa ese comportamiento, en principio extraño, del programa? Justifíquese la respuesta.
- Cuantificar el cambio necesario en el programa, como mínimo, para que se puedan usar las nuevas funciones.

12. Sea el siguiente código MIPS, que a partir de ahora referenciaremos como “mi_prog”:

```
loop:  lw $1, 2800h($2)
      sub $4, $1, $0
      jal rotar
      sw $7, 7800h($2)
      sw $1, C800h($2)
      subi $2, $2, 4
      bne $2, $0, loop

rotar: add $10, $4, $4
      muli $7, $10, 2
      jr $31
```

Suponiendo un MIPS no segmentado multiciclo donde todas las instrucciones tardan 5 ciclos, determinar la aceleración que experimentará “mi_prog” cuando se mejora la unidad de multiplicación de tal forma que la instrucción “muli” gaste 3 ciclos en lugar de 5. Utilizar la ley de Amdahl. Calcular el CPI de “mi_prog” después de la optimización.

13. Un algoritmo ejecutado en el nuevo procesador MangoPi tarda 35 seg. A ese procesador se le incluye una FPU, lo que hace que el algoritmo tarde ahora 10 segundos menos. También se sabe que el código empleaba el 40% de su tiempo de ejecución en operaciones en punto flotante. Si estas operaciones tardan ahora en ejecutarse 2 ciclos menos que antes, ¿es posible calcular el número de ciclos empleado en ese tipo de operaciones antes de la inclusión de la FPU?
14. Al procesador Gamma se le ha sustituido su ALU por una más eficiente, y esto hace que se reduzca en un 50% el tiempo de ejecución de un determinado programa de prueba compuesto por 500 instrucciones. Sabemos también que en dicho benchmark la ALU se usa en 3 de cada 5 instrucciones, y que todas las instrucciones tienen la misma latencia en el procesador que no incluía esta ALU mejorada.
 - a) Cuantificar la mejora que debe hacerse en la ALU para producir el anterior resultado. Para ello, indicar el porcentaje de mejora de la ALU.
 - b) ¿Cambiará el resultado si en el procesador original unas instrucciones tardaran más que otras en ejecutarse? Justifica la respuesta.
 - c) Si sabemos que el tiempo de ejecución antes de la mejora es de 260 nanosegundos, ¿cuál es el rendimiento en MIPS del procesador mejorado? (en caso de que falte algún parámetro, dejadlo indicado).
15. El programa SPMV tarda en ejecutarse 3 milisegundos en un determinado procesador. Dicho programa está compuesto por dos bucles: el cuerpo del primer bucle contiene 100 instrucciones y el del segundo, 200. Sabemos que el primer bucle se ejecuta 4 veces, mientras que el segundo se ejecuta 3. En dicho computador se mejora la unidad en punto flotante, con lo que dichas operaciones tardan 6 veces menos (hay un 60% de instrucciones en punto flotante). Si el CPI de SPMV tras la mejora es 1.5, calculad, a partir de la ley de Amdahl, la frecuencia de trabajo del procesador.
16. Consideremos un benchmark formado por 6 programas P1, P2, P3, P4, P5 y P6. El tiempo de ejecución de los mismos en el procesador de referencia es 10 ms., 17 ms., 20 ms., 23 ms., 21 ms. y 14 ms. El nuevo procesador que se está evaluando emplea los siguientes tiempos para los mismos programas: 8 ms., 10 ms., 10 ms., 13 ms., 16 ms. y 9 ms.
 - a) Calcular el SPEC ratio e interpretar dicho resultado. Detallar la expresión matemática utilizada para el cálculo (no vale resultado directo).
 - b) Sabiendo que el programa P3 se compone de 895 millones de instrucciones y que con el nuevo procesador se obtiene un CPI de 1.7, calcular la frecuencia de reloj (en Mhz) del nuevo procesador.

Relación del Tema 1: Análisis del Rendimiento.

$$\textcircled{1} f = 100 \text{ MHz} = 100 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 10^8 \text{ Hz}.$$

$$\text{CPI}_1 = \frac{(5 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 1) 10^6}{7 \cdot 10^6} = \frac{10}{7}.$$

$$\text{CPI}_2 = \frac{(10 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 1) 10^6}{12 \cdot 10^6} = \frac{15}{12}$$

$$\text{MIPS} = \frac{f}{\text{CPI} \cdot 10^6} \Rightarrow \text{MIPS}_1 = \frac{f}{\text{CPI}_1 \cdot 10^6} = 70.$$

$\text{MIPS}_2 = \frac{f}{\text{CPI}_2 \cdot 10^6} = 80 \Rightarrow$ El segundo compilador proporciona mayor rendimiento en MIPS.

$$\text{MIPS}_1 = \frac{\text{IC}_1}{T_{\text{cpu}_1} \cdot 10^6} \Rightarrow T_{\text{cpu}_1} = \frac{\text{IC}_1}{\text{MIPS}_1 \cdot 10^6} = \frac{7 \cdot 10^6}{70 \cdot 10^6} =$$

$= 0'1 \text{ s}.$

$$T_{\text{cpu}_2} = \frac{\text{IC}_2}{\text{MIPS}_2 \cdot 10^6} = \frac{12 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6} = 0'15 \text{ s}$$

\Rightarrow El primero proporciona mayor rendimiento con respecto a tiempo.

$$\textcircled{2} 5 = 5 = \frac{1}{\frac{f_e}{f_s} + (1 - f_e)} = \frac{1}{\frac{0'8}{f_s} + 0'2}, \text{ pues}$$

f_s es la incógnita, $f_e = \frac{80}{100}.$

$$5 = \frac{1}{\frac{0'8}{f_s} + 0'2} \Leftrightarrow \frac{0'8}{f_s} = 0, \text{ luego sería}$$

necesaria una mejora infinita, lo que es

imposible.

$$\textcircled{3} f_{p1} = 50 \text{ MHz} = 5 \cdot 10^7 \text{ Hz.}$$

$$f_{p2} = 75 \text{ MHz} = 7.5 \cdot 10^7 \text{ Hz.}$$

Como todas las instrucciones se ejecutan el mismo número de veces, el CPI será la media aritmética:

$$\text{CPI}_1 = \frac{1+2+3+4}{4} = \frac{5}{2}.$$

$$\text{CPI}_2 = \frac{3+5+5+7}{4} = 5.$$

$$\text{MIPS}_1 = \frac{f_{p1}}{\text{CPI}_1 \cdot 10^6} = 20$$

$$\text{MIPS}_2 = \frac{f_{p2}}{\text{CPI}_2 \cdot 10^6} = 15$$

} $\text{MIPS}_1 > \text{MIPS}_2$,
el primero muestra
mayor rendimiento.

$$\textcircled{4} f_e = 0.5, T_{\text{cpu}} = 10.5, S_e = 5.$$

$$S = \frac{1}{\frac{f_e}{S_e} + (1-f_e)} = \frac{1}{\frac{0.5}{5} + 0.5} = \frac{10}{6} = \frac{5}{3}.$$

$$S = \frac{T_{\text{cpu}}}{T_{\text{cpu nuevo}}} \Rightarrow T_{\text{cpu nuevo}} = \frac{10}{\frac{5}{3}} = \frac{30}{5} = 6.5.$$

El programa sufrirá una aceleración de 1.5 , o lo que es lo mismo, tardará 4 segundos menos en ejecutarse.

Estructura de Computadores

⑤ Tenemos 100 instrucciones, de las cuales 35 son sumas $\Rightarrow Fe = 0.35$.

$$T_{cpu} = 150 \cdot 10^{-3} = 0.155.$$

$$S_e = \frac{T_{antiguo}}{T_{nuevo}} = \frac{T_{antiguo}}{T_{antiguo} \cdot 0.8} = \frac{1}{0.8} = \frac{5}{4} = 1.25.$$

$$S = \frac{1}{\frac{Fe}{S_e} + (1 - Fe)} = \frac{1}{\frac{0.35}{1.25} + 0.65} = \frac{100}{93}$$

$$S = \frac{T_{cpu}}{T_{cpu, nuevo}} \Rightarrow T_{cpu, nuevo} = \frac{0.15}{100} \cdot 93 = 0.13955 = 139.55 \text{ ms}.$$

⑥ Buscamos el porcentaje para ejecutar el programa en la mitad de tiempo, y ese será el buscado:

Incógnita: Fe . $S_e = 10$

$$S = 2 = \frac{1}{\frac{Fe}{S_e} + (1 - Fe)} = \frac{1}{\frac{Fe}{10} + (1 - Fe)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{Fe}{10} + 1 - Fe \Rightarrow 5 = Fe + 10 - 10Fe$$

$$\Rightarrow 9Fe = 5 \Rightarrow Fe = \frac{5}{9} = 0.55 \Rightarrow \text{Al menos, buscamos un } 55.5\%.$$

$$\textcircled{7} f_s = 2f_M \cdot T_{CPU_M} = 8'6 \cdot 10^{-3} s$$

$$T_{CPU_S} = 4'1 \cdot 10^{-3} s$$

$$\frac{T_{CPU_S}}{T_{CPU_M}} = \frac{I_c \cdot CPI_S \cdot f_M}{I_c \cdot CPI_M \cdot f_S} = \frac{CPI_S}{2CPI_M} = \frac{41}{86}$$

$$\Rightarrow \frac{CPI_S}{CPI_M} = \frac{41}{43}$$

$$f_s = \frac{4'1 \cdot 10^{-3}}{3'8 \cdot 10^{-3}} = \frac{41}{38} = \frac{1}{\frac{f_c}{f_s} + (1-f_c)}$$

$$\Rightarrow \frac{38}{41} = \frac{3f_c}{5} + 1 - f_c \Rightarrow 190 = 123f_c + 205 - 205f_c$$

$$\Rightarrow 82f_c = 15 \Rightarrow f_c = \frac{15}{82} = 0'182926$$

$\Rightarrow 18'29\%$ es el porcentaje del tiempo de ejecución dedicado a la instrucción MOV.

$$CPI_{S_{antiguo}} = CPI_{Mov_a} x + CPI_{resto} (1-x)$$

$$CPI_{S_{nuevo}} = CPI_{Mov_n} x + CPI_{resto} (1-x)$$

$$\Rightarrow CPI_{S_{antiguo}} = 5x + CPI_{resto} (1-x)$$

$$CPI_{S_{nuevo}} = 3x + CPI_{resto} (1-x)$$

$$CPI_{S_{antiguo}} = \frac{41CPI_M}{43}$$

$$CPI_{S_{nuevo}} = \frac{T_{CPU_{nuevo}} \cdot 2CPI_M}{T_{CPU_M}} = \frac{38CPI_M}{43}$$

$$\frac{CPI_{\text{nuevo}}}{CPI_{\text{antiguo}}} = \frac{\frac{38CPI_M}{43}}{\frac{41CPI_M}{43}} = \frac{38}{41} = \frac{5x + CPI_{\text{resto}}(1-x)}{3x + CPI_{\text{resto}}(1-x)}$$

$$\Rightarrow 114x + 38CPI_{\text{resto}}(1-x) = 205x + 41CPI_{\text{resto}}(1-x)$$

$$\Rightarrow 91x + 3CPI_{\text{resto}}(1-x) = 0$$

$$\Rightarrow 91x + 3CPI_{\text{resto}} - 3xCPI_{\text{resto}} = 0.$$

$$\Rightarrow x(91 - 3CPI_{\text{resto}}) = -3CPI_{\text{resto}}$$

$$\Rightarrow x = \frac{-3CPI_{\text{resto}}}{91 - 3CPI_{\text{resto}}}$$

Por lo tanto, falta conocer un dato más para hallar este otro, luego el porcentaje de instrucciones MOV es desconocido.

⑧ • Primera opción:

$$S = \frac{1}{\frac{Fe}{f_e} + (1-Fe)} = \frac{1}{\frac{0.8}{1.75} + 0.2} = 1.5217.$$

• Segunda opción:

$$S = \frac{1}{\frac{0.6}{3} + 0.4} = 1.6, \text{ luego es mejor la}$$

segunda opción.

⑨ a) $f_1 = 1.8 \cdot 10^9 \text{ Hz}$, $CPI_1 = 3$, $T_{cpu_1} = 0.15 \text{ s}$.

$T_{cpu_2} = 0.1 \text{ s}$, $f_2 = \frac{1}{0.3 \cdot 10^{-9}} = 3.33 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

$$T_{cpu_1} = \frac{IC \cdot CPI_1}{f_1} \Rightarrow IC = \frac{T_{cpu_1} \cdot f_1}{CPI_1} =$$

$$= \frac{0.15 \cdot 1.8 \cdot 10^9}{3} = 9 \cdot 10^7.$$

$$CPI_2 = \frac{T_{cpu_2} \cdot f_2}{IC} = \frac{T_{cpu_2}}{IC \cdot T_{cpu_2}} = \frac{0.1}{9 \cdot 10^7 \cdot 0.3 \cdot 10^{-9}} =$$

$$= 3.703.$$

b) La I. es falsa, porque en este caso ha aumentado la frecuencia.

La II es falsa también, depende de más factores como la frecuencia.

La III es falsa porque $T_{cpu_2} < T_{cpu_1}$.

⑩ • Que el resultado de testear su procesador con ese benchmark es de 48.5, por lo que puede ser comparado con cualquier otro procesador solo con testear el mismo benchmark.

• Si, porque con el benchmark se han tenido en cuenta programas más parecidos a la tarea real de un procesador.

$$\bullet S = 1'25 = \frac{T_{cpu\text{ un-II}}}{T_{cpuPTT}} = \frac{1}{\frac{0'45}{S_e} + 0'55}$$

$$\Rightarrow \frac{4}{5} = \frac{0'45}{S_e} + 0'55 \Rightarrow \frac{4}{5} S_e = 0'45 + 0'55 S_e$$

$$\Rightarrow S_e = \frac{9}{5} = 1'8.$$

$$S_e = \frac{T_{prog.\text{ un-II}}}{T_{prog.\text{ PTT}}} \Rightarrow T_{prog.\text{ un-II}} = 1'8 \cdot 20 = 36s.$$

$$(11) F_1 = 0'1, S_{e1} = 2, S_{e2} = 2 \cdot 0'75 = 1'5.$$

$$S = \frac{1}{\frac{0'1}{2} + 0'9} = \frac{20}{19}. \text{ Ahora buscamos } F_{e2} :$$

$$S = \frac{1}{\frac{F_{e2}}{S_{e2}} + (1 - F_{e2})} \Rightarrow \frac{19}{20} = \frac{F_{e2}}{1'5} + (1 - F_{e2})$$

$$\Rightarrow \frac{19}{20} = \frac{2}{3} F_{e2} - F_{e2} + 1 \Rightarrow F_{e2} = 0'15.$$

• Ese comportamiento se debe a que, aunque las operaciones aceleren menor el programa, se ha hecho que estas operaciones afecten a un tiempo mayor de ejecución que antes.

• Como mínimo, las nuevas operaciones deben afectar al 15% del T_{cpu} .

(12) Cabe destacar que nuestro programa siempre hará el mismo número de veces cada instrucción. Como son 10, trabajaremos sobre este número.

$$\text{Mejora de multi} \Rightarrow f_e = \frac{5}{3}, f_c = 0'1.$$

$$S = \frac{1}{\frac{0'1}{\frac{5}{3}} + 0'9} = \frac{25}{24} = 1'041\bar{6}.$$

$$\text{CPI}_{\text{mi-prog}} = 5 \cdot 0'9 + 3 \cdot 0'1 = \frac{24}{5} = 4'8.$$

(13) Sea x el número de ciclos empleado anteriormente.

$$\text{Entonces, } f_e = \frac{x}{x-2}, f_c = 0'4.$$

$$S = \frac{35}{25} = 1'4 = \frac{1}{\frac{0'4(x-2)}{x} + 0'6}$$

$$\Rightarrow \frac{5}{7} = \frac{0'4(x-2)}{x} + 0'6 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5x = 2'8(x-2) + 4'2x \Rightarrow 5x = 2'8x - 5'6 + 4'2x \Rightarrow x = 2'8.$$

$$(14) \quad S = 2, \quad IC = 500, \quad Fe = \frac{3}{5} = 0'6.$$

$$2 = \frac{1}{\frac{0'6}{Se} + 0'4} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{0'6}{Se} + 0'4$$

$\Rightarrow Se = 6$, luego se debe mejorar en un 500% (tener en cuenta que mejorar 100% da un $Se = 2$).

b) Si, porque si aumentamos el tiempo de las instrucciones que no son de la ALU, el Fe de la ALU disminuiría.

$$2 = \frac{T_{cpu_v}}{T_{pun}} \Rightarrow T_{pun} = \frac{260 \cdot 10^{-9}}{2} = 130 \cdot 10^{-9} \text{ s.}$$

$$MIPS = \frac{IC}{T_{pun} \cdot 10^6} = \frac{500}{130 \cdot 10^{-3}} = \frac{50000}{13} =$$

$$= 3846'15.$$

$$(15) \quad T_{cpu} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ s.} \quad IC = 4 \cdot 100 + 3 \cdot 200 = 1000.$$

$$Se = 6, \quad Fe = 0'6.$$

$$S = \frac{1}{\frac{Fe}{Se} + (1 - Fe)} = \frac{1}{\frac{0'6}{6} + 0'4} = 2.$$

$$\Rightarrow T_{pun} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2} = 1'5 \cdot 10^{-3} \text{ s.}$$

$$T_{pun} = \frac{CPI_n \cdot IC}{f} \Rightarrow f = \frac{1'5 \cdot 1000}{1'5 \cdot 10^{-3}} = 10^6 \text{ Hz} =$$

$$= 1 \text{ MHz.}$$

(16)

$$a) \text{ SPEC Ratio} = \sqrt[6]{\frac{10 \cdot 17 \cdot 20 \cdot 23 \cdot 21 \cdot 14}{8 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 13 \cdot 16 \cdot 9}} = 1'57$$

$$b) T_{P3} = 0'015. \text{ CPI} = 1'7. \text{ IC} = 895 \cdot 10^6.$$

$$T_{P3} = \frac{\text{CPI} \cdot \text{IC}}{f} \Rightarrow f = \frac{1'7 \cdot 895 \cdot 10^6}{0'01} =$$

$$= 1'5215 \cdot 10^5 \text{ MHz}.$$

Estructura de Computadores