



**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II  
TRABAJO PRÁCTICO N° 4  
PRADO, MATIAS SANTIAGO**

- 1)  $TMaquina_x = 5 [s]$      $TMaquina_y = 25 [s]$  → ambas ejecutando el mismo programa

$$Rendimiento_x = \frac{1}{TMaquina_x}$$

$$Rendimiento_x = \frac{1}{5 \left[ \frac{s}{programa} \right]} = 0,2 \left[ \frac{programa}{s} \right]$$

$$Rendimiento_y = \frac{1}{TMaquina_y}$$

$$Rendimiento_y = \frac{1}{25 \left[ \frac{s}{programa} \right]} = 0,04 \left[ \frac{programa}{s} \right]$$

$$\frac{Rendimiento_x}{Rendimiento_y} = \frac{0,2}{0,04} = 5$$

Por lo tanto la maquina X es 5 veces mas rápida que la maquina Y.

- 2)  $TMaquina_x = 25 [s]$      $TMaquina_y = 15 [s]$

$$\frac{Rendimiento_x}{Rendimiento_y} = \frac{TMaquina_y}{TMaquina_x} = \frac{15}{25} = 0,6$$

Por lo tanto la maquina X es 0,6 tan rápida como lo es Y.

- 3)  $TMaquina_x = 35 [s]$      $TMaquina_y = 21 [s]$

$$\frac{Rendimiento_y}{Rendimiento_x} = \frac{TMaquina_x}{TMaquina_y} = \frac{35}{21} \cong 1,67$$

Por lo tanto la maquina Y es 1,67 veces mas rápida que la maquina X.

¿Qué cantidad de instrucciones por segundo (MIPS) ejecuta cada computadora?

*instrucciones = 522 (en millones)*

$$MIPS X = \frac{instrucciones}{Tmaquina_x * 10^6} = \frac{522}{35 * 10^6} = 0,0000149 \left[ \frac{Mi}{s} \right]$$

$$MIPS Y = \frac{instrucciones}{Tmaquina_y * 10^6} = \frac{522}{21 * 10^6} = 0,0000248 \left[ \frac{Mi}{s} \right]$$



**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II**  
**TRABAJO PRÁCTICO N° 4**  
PRADO, MATIAS SANTIAGO

¿Qué problema tiene esta métrica si es el caso que las dos computadoras tienen ISAs diferentes?

MIPS especifica una tasa de ejecución de instrucciones, pero no tiene información sobre la complejidad de esas instrucciones. Esto significa que no puede ser utilizada cuando comparando dos ISA distintas

4)

	Ciclo de Reloj	Ciclos por Instrucción (CPI) para el programa
Arquitectura 1	1	2
Arquitectura 2	4	1.2

Cada programa cuenta con la misma cantidad de instrucciones, supongamos N.

$$CPU_{time1} = \frac{N * CPI_1}{frecuencia\ del\ reloj_1} = \frac{N * 2}{1} = 2N$$

$$CPU_{time2} = \frac{N * CPI_2}{frecuencia\ del\ reloj_2} = \frac{N * 1,2}{4} = 0,3N$$

Por lo tanto la maquina mas rápida es la maquina 2, pues tiene un menor tiempo de CPU time.

$$Total\ rendimiento = \frac{2N}{0,3N} \cong 6,67$$

Por lo tanto la maquina 2 es 6,67 veces mas rápida que la maquina 1

5)

	CPI para el tipo de instrucción
Tipo 1	1
Tipo 2	2
Tipo 3	3

Los programas seleccionados poseen las siguientes características:

Programa	Total de instrucciones por tipo		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Programa 1	20	10	20
Programa 2	40	10	10



**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II**

**TRABAJO PRÁCTICO N° 4**

PRADO, MATIAS SANTIAGO

a)

$$\text{Instrucciones}_{\text{programa1}} = 50$$

$$\text{Instrucciones}_{\text{programa2}} = 60$$

Por lo tanto el programa que mas instrucciones ejecuta es el programa 2

b)

$$\text{Total de ciclos}_{\text{programa}} = \sum (CPI_{\text{tipoi}} * \text{Cantidad Instrucciones}_{\text{tipoi}}) \quad i = 1, \dots, 3$$

$$\text{Total de ciclos}_{\text{programa1}} = (1 * 20) + (2 * 10) + (3 * 20) = 100 \text{ ciclos}$$

$$\text{Total de ciclos}_{\text{programa2}} = (1 * 40) + (2 * 10) + (3 * 10) = 90 \text{ ciclos}$$

c)

$$CPI_{\text{programa1}} = \frac{\text{Total de ciclos}}{\text{instrucciones}} = \frac{100}{50} = 2$$

$$CPI_{\text{programa2}} = \frac{\text{Total de ciclos}}{\text{instrucciones}} = \frac{90}{60} = 1,5$$

d)

$$\text{frecuencia} = 1,2 \text{ GHz}$$

$$CPU_{\text{TIME 1}} = \frac{\text{Intrucciones} * CPI}{\text{frecuencia}} = \frac{50 * 2}{1,2 * 10^9} = 83 \text{ ns}$$

$$CPU_{\text{TIME 2}} = \frac{\text{Intrucciones} * CPI}{\text{frecuencia}} = \frac{60 * 1,5}{1,2 * 10^9} = 75 \text{ ns}$$

por lo tanto el programa mas optimo es el programa 2



ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II

TRABAJO PRÁCTICO N° 4

PRADO, MATIAS SANTIAGO

6)

CPI para el tipo de instrucción	
Tipo 1	1
Tipo 2	2
Tipo 3	3
Tipo 4	4

Se nos pide que evaluemos dos compiladores diferentes con vista a adquirir uno de ellos para nuestro departamento de desarrollo. Compilando un mismo programa en cada compilador se obtienen los siguientes valores (en miles de millones para cada tipo de instrucción), tal y como se refleja en la tabla siguiente:

Compilador	Número de instrucciones de cada tipo (en miles de millones)			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Compilador 1	5	1	2	2
Compilador 2	10	1	1	4

a)  $Total\ instrucciones\ 1 = 10 * 10^9$

$Total\ instrucciones\ 2 = 16 * 10^9$

$Ciclos\ 1 = (5 * 1) + (1 * 2) + (2 * 3) + (2 * 4) = 21 * 10^9\ ciclos$

$Ciclos\ 2 = (10 * 1) + (1 * 2) + (1 * 3) + (4 * 4) = 31 * 10^9\ ciclos$

$$CPI\ 1 = \frac{Ciclos\ 1}{Total\ instrucciones\ 1} = \frac{21 * 10^9}{10 * 10^9} = 2,1$$

$$CPI\ 2 = \frac{Ciclos\ 2}{Total\ instrucciones\ 2} = \frac{31 * 10^9}{16 * 10^9} = 1,9375$$

$frecuencia = 1,2\ GHz$

$$CPU_{time1} = \frac{total\ instrucciones\ 1 * CPI1}{frecuencia} = \frac{10 * 2,1}{1,2} = 17,5\ s$$

$$CPU_{time2} = \frac{total\ instrucciones\ 2 * CPI2}{frecuencia} = \frac{16 * 1,9375}{1,2} = 25,84\ s$$

por lo tanto, el compilador 1 es el compilador mas rápido en cuanto tiempo de ejecución



**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II**  
**TRABAJO PRÁCTICO N° 4**  
PRADO, MATIAS SANTIAGO

b) Ejecutable más rápido tomando como medida los MIPS

$$\text{tiempo ejecucion 1} = \frac{\text{ciclos 1}}{\text{frecuencia}} = \frac{21}{1,2} = 17,5 \text{ [s]}$$

$$\text{MIPS 1} = \frac{\text{total instrucciones 1}}{\text{tiempo ejecucion 1} * 10^6} = \frac{10 * 10^9}{17,5 * 10^6} = 571,43 \left[ \frac{\text{Mi}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{tiempo ejecucion 2} = \frac{\text{ciclos 2}}{\text{frecuencia}} = \frac{31}{1,2} = 25,84 \text{ [s]}$$

$$\text{MIPS 2} = \frac{\text{total instrucciones 2}}{\text{tiempo ejecucion 2} * 10^6} = \frac{16 * 10^9}{25,84 * 10^6} = 619,2 \left[ \frac{\text{Mi}}{\text{s}} \right]$$

por lo tanto el compilador 2 es mas rápido en términos de MIPS

c) ¿Qué conclusiones puede sacar de los cálculos a y b?

Puedo concluir que el compilador 1 es más rápido respecto al compilador 2, pero este ultimo realiza mas instrucciones por segundo que el compilador 1. Sin embargo, esto es una trampa de los MIPS puesto que no hay que pensar que por tener mayor MIPS es mejor, el compilador 1 lo hace en menos tiempo por lo que es el más adecuado.

7) Se desea mejorar el rendimiento de una computadora introduciendo una tarjeta aceleradora de vídeo que realice las operaciones en la mitad de tiempo.

a) Calcular la ganancia en velocidad del sistema para la ejecución de un programa si el 87% del mismo se dedica a operaciones gráficas.

b) Si el programa tarda 32 segundos en ejecutarse sin la mejora, ¿cuánto tardará con la mejora?

---

$$\text{a)} \quad \text{ganancia velocidad} = \frac{1}{(1 - \text{fraccion de aceleracion}) + \frac{\text{fraccion de aceleracion}}{\text{factor de aceleracion}}} = \frac{1}{(1 - 0,87) + \frac{0,87}{2}} = 1,77$$

b)

$$T_{old} = 32 \text{ [s]}$$



ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II  
TRABAJO PRÁCTICO N° 4

PRADO, MATIAS SANTIAGO

$$T_{new} = \frac{T_{old}}{\text{ganancia velocidad}} = \frac{32 [s]}{1,77} = 18,08 [s]$$

8. Sea una arquitectura cuyo repertorio de instrucciones está formado por cinco tipos de instrucciones cuyas medidas de CPI se muestran en la siguiente tabla:

CPI para el tipo de instrucción	
Tipo 1	2
Tipo 2	3
Tipo 3	1
Tipo 4	6
Tipo 5	3

Se desean evaluar tres traductores de COBOL 400 a RPG-II con vistas a adquirir uno de ellos para la empresa en la que trabajamos. Para ello, se ha desarrollado un programa en COBOL 400 que ha sido traducido por cada uno de los tres traductores a RPG-II, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla siguiente:

Traductor	Número de instrucciones de cada tipo (en miles de millones)				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Traductor 1	6	3	2	2	3
Traductor 2	8	2	1	3	1
Traductor 3	6	3	1	1	9

Si la frecuencia de reloj de los computadores que tenemos en nuestro departamento es de 1,2 GHz, se pide:

- Ejecutable más rápido en cuanto a tiempo de ejecución.
- Ejecutable más rápido tomando como medida los MIPS.
- ¿Cuál traductor elegiría, y por qué?

a)

$$\text{Total instrucciones 1} = 16 * 10^9$$

$$\text{Total instrucciones 2} = 15 * 10^9$$

$$\text{Total instrucciones 3} = 20 * 10^9$$

$$\text{Ciclos 1} = (6 * 2) + (3 * 3) + (2 * 1) + (2 * 6) + (3 * 3) = 44 * 10^9 \text{ ciclos}$$

$$\text{Ciclos 2} = (8 * 2) + (2 * 3) + (1 * 1) + (3 * 6) + (1 * 3) = 44 * 10^9 \text{ ciclos}$$

$$\text{Ciclos 3} = (6 * 2) + (3 * 3) + (1 * 1) + (1 * 6) + (9 * 3) = 55 * 10^9 \text{ ciclos}$$



**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II  
TRABAJO PRÁCTICO N° 4  
PRADO, MATIAS SANTIAGO**

$$CPI\ 1 = \frac{Ciclos\ 1}{Total\ instrucciones\ 1} = \frac{44 * 10^9}{16 * 10^9} = 2,75$$

$$CPI\ 2 = \frac{Ciclos\ 2}{Total\ instrucciones\ 2} = \frac{44 * 10^9}{15 * 10^9} = 2,93$$

$$CPI\ 2 = \frac{Ciclos\ 2}{Total\ instrucciones\ 2} = \frac{55 * 10^9}{20 * 10^9} = 2,75$$

$$frecuencia = 1,2\ GHz$$

$$CPU_{time1} = \frac{total\ instrucciones\ 1 * CPI1}{frecuencia} = \frac{16 * 2,75}{1,2} = 36,67\ s$$

$$CPU_{time2} = \frac{total\ instrucciones\ 2 * CPI2}{frecuencia} = \frac{15 * 2,93}{1,2} = 36,625s$$

$$CPU_{time3} = \frac{total\ instrucciones\ 3 * CPI3}{frecuencia} = \frac{20 * 2,75}{1,2} = 45,83\ s$$

Por lo tanto el mas rápido en termino de tiempo de ejecución es el Traductor 2 muy ligeramente

b)

$$MIPS\ 1 = \frac{total\ instrucciones\ 1}{tiempo\ ejecucion\ 1 * 10^6} = \frac{16 * 10^9}{36,67 * 10^6} = 436,32 \left[ \frac{Mi}{s} \right]$$

$$MIPS\ 2 = \frac{total\ instrucciones\ 2}{tiempo\ ejecucion\ 2 * 10^6} = \frac{15 * 10^9}{36,625 * 10^6} = 409,57 \left[ \frac{Mi}{s} \right]$$

$$MIPS\ 3 = \frac{total\ instrucciones\ 3}{tiempo\ ejecucion\ 3 * 10^6} = \frac{20 * 10^9}{45,83 * 10^6} = 436,4 \left[ \frac{Mi}{s} \right]$$

Por lo tanto el mas rápido en termino de MIPS es el Traductor 3





**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II  
TRABAJO PRÁCTICO N° 4  
PRADO, MATIAS SANTIAGO**

c)

Elegiría el Traductor 1 o el Traductor 2, puesto que su tiempo de ejecución es ligeramente distintos, si tuviéramos que elegir estrictamente 1 elegiríamos el 2. Además vemos que el traductor 3 tiene un MIPS mayor que el resto, sin embargo, como vimos esto es engañoso y es una trampa de los MIPS

9)

Se desea mejorar el repertorio de instrucciones de un computador, y para ello se barajan las alternativas siguientes, todas ellas del mismo coste:

- Mejorar las instrucciones de suma
- Mejorar las instrucciones de salto condicional
- Mejorar las instrucciones de carga-almacenamiento
- Mejorar el resto de las instrucciones

En la tabla siguiente se recoge el porcentaje de veces que se emplean las instrucciones una vez pasadas las SPECint2000 y el factor de mejora que se puede introducir para cada una de ellas.

Tipo de instrucción	Porcentaje de empleo	Factor de mejora
Instrucciones de suma	30%	10
Instrucciones de salto condicional	55%	2
Instrucciones de carga-almacenamiento	12%	8
Resto de instrucciones	3%	10

a)

$$ganancia\ velocidad_{suma} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,30) + \frac{0,30}{10}} = 1,37$$

$$ganancia\ velocidad_{salto} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,55) + \frac{0,55}{2}} = 1,38$$

$$ganancia\ velocidad_{carga-almace} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,12) + \frac{0,12}{8}} = 1,12$$

$$ganancia\ velocidad_{resto\ instr} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,03) + \frac{0,03}{10}} = 1,03$$

por lo tanto la mejora elegida será la de salto condicional con una ganancia de 1,38





**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II**

**TRABAJO PRÁCTICO N° 4**

PRADO, MATIAS SANTIAGO

b)

$$T_{old} = 37,02 [s] * 0,55 = 20,46$$

$$T_{new} = \frac{T_{old}}{\text{Ganancia velocidad salto}} = \frac{20,46}{1,38} = 14,83[s]$$

$$T = T_{old} - T_{new} = 20,46 - 14,83 = 5,63[s] \rightarrow T = 37,02 - 5,63 = 31,39[s]$$

por lo tanto con la mejora elegida el tiempo total de ejecución del programa ahora tardará 26,83 [s]

10)

Se desea mejorar el rendimiento de un computador introduciendo un coprocesador matemático que realice las operaciones en la mitad de tiempo.

a) Calcular la ganancia en velocidad del sistema para la ejecución de un programa si el 96% del mismo se dedica a operaciones aritméticas.

b) Si el programa tarda 15 segundos en ejecutarse sin la mejora. ¿Cuánto tardará con la mejora?

a)

$$\text{ganancia velocidad} = \frac{1}{(1 - \text{fraccion de aceleracion}) + \frac{\text{fraccion de aceleracion}}{\text{factor de aceleracion}}} = \frac{1}{(1 - 0,96) + \frac{0,96}{2}} = 1,92$$

b)

$$T_{old} = 15 [s] * 0,96 = 14,4[s]$$

$$T_{new} = \frac{T_{old}}{\text{Ganancia velocidad}} = \frac{14,4}{1,92} = 7,5[s]$$

$$T = T_{old} - T_{new} = 14,4 - 7,5 = 6,9[s] \rightarrow T = 15 - 6,9 = 8,1[s]$$

Por lo tanto con la mejora tardará 8,1 [s]



ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II  
TRABAJO PRÁCTICO N° 4  
PRADO, MATIAS SANTIAGO

11)

Se desea mejorar el repertorio de instrucciones de un computador, y para ello se barajan las alternativas siguientes, todas ellas del mismo coste:

- Mejorar las instrucciones de suma
- Mejorar las instrucciones de salto condicional
- Mejorar las instrucciones de carga-almacenamiento
- Mejorar el resto de las instrucciones

En la tabla siguiente se recoge el porcentaje de veces que se emplean las instrucciones una vez pasadas las SPECint2000 y el factor de mejora que se puede introducir para cada una de ellas:

Tipo de instrucción	Porcentaje de empleo	Factor de mejora
Instrucciones de suma	30%	5
Instrucciones de salto condicional	34%	4
Instrucciones de carga-almacenamiento	32%	2
Resto de instrucciones	4%	7

Se pide:

- Indicar cuáles dos mejoras anteriores son la que recomendaría.
- Si un programa tardaba antes de la mejora 28,3 s. en ejecutarse calcule cuánto tardará con las dos mejoras que hemos elegido en el apartado anterior.

$$ganancia\ velocidad_{suma} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,30) + \frac{0,30}{5}} = 1,31$$

$$ganancia\ velocidad_{salto} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,34) + \frac{0,34}{4}} = 1,34$$

$$ganancia\ velocidad_{carga-almace} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,32) + \frac{0,32}{2}} = 1,19$$

$$ganancia\ velocidad_{resto\ instr} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}} = \frac{1}{(1 - 0,04) + \frac{0,04}{7}} = 1,04$$



**ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II  
TRABAJO PRÁCTICO N° 4  
PRADO, MATIAS SANTIAGO**

Por lo tanto recomiendo las dos primeras mejoras, para las instrucciones de suma y para las de salto condicional, por lo que la ganancia general quedará:

$$ganancia\ velocidad_{general} = \frac{1}{(1 - fraccion\ de\ aceleracion) + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion} + \frac{fraccion\ de\ aceleracion}{factor\ de\ aceleracion}}$$

$$ganancia\ velocidad_{general} = \frac{1}{(1 - 0,64) + \frac{0,34}{4} + \frac{0,30}{5}} = 1,98$$

$$T_{old} = 28,3[s]$$

$$T_{new} = \frac{T_{old}}{ganancia\ velocidad\ general} = \frac{28,3}{1,98} = 14,29[s]$$



ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II

TRABAJO PRÁCTICO N° 4

PRADO, MATIAS SANTIAGO

12. Supongamos que en sistema X se corre Programa 1, Compilador 2 y Traductor 3 con tiempos de ejecución según calcularon en los problemas anteriores. Supongamos también, que sistema Y corre Programa 1 con el rendimiento relativo de problema 1, Compilador 2 con el rendimiento relativo de problema 2, y Traductor 3 con el rendimiento relativo de problema 3. Finalmente, supongamos que sistema Z tiene los tiempos de ejecución según la siguiente tabla.

Sistema Z	Tiempo de Ejecución
Programa 1	1
Compilador 2	100
Traductor 3	200

Se pide:

- Calcule el promedio aritmético del tiempo de ejecución de cada sistema. ¿Cuál sistema concluye que es mejor?
- Si durante un día normal, Programa 1 se corre un 85% del tiempo, Compilador 2 se corre un 10% del tiempo y Traductor 3 un 5% del tiempo. Calcule el promedio aritmético **ponderado** del tiempo de ejecución de cada sistema. ¿Cuál sistema concluye que es mejor?
- Calcule el promedio geométrico de sistemas X e Y, usando sistema Z como el sistema de referencia. ¿Cuál sistema concluye que es mejor?

a)

$$\text{promedio aritmetico X} = \frac{(83 * 10^{-9} + 25,84 + 45,83)}{3} = 23,89 [s]$$

$$\text{promedio aritmetico Y} = \frac{(25 + 15 + 21)}{3} = 20,33 [s]$$

$$\text{promedio aritmetico Z} = \frac{(1 + 100 + 200)}{3} = 100,33 [s]$$

**Conclusión (a):** Usando el promedio aritmético, el **Sistema Y** es el mejor (20.33 s).

b)

$$\text{promedio ponderado X} = (83 * 10^{-9} * 0,85 + 25,84 * 0,10 + 45,83 * 0,05) = 4,875 [s]$$

$$\text{promedio ponderado Y} = (25 * 0,85 + 15 * 0,10 + 21 * 0,05) = 23,8[s]$$

$$\text{promedio ponderado Z} = (1 * 0,85 + 100 * 0,10 + 200 * 0,05) = 20,85[s]$$

**Conclusión (b):** Usando el promedio ponderado, el **Sistema X** es el mejor (4.87 s). Esto se debe a que es abrumadoramente más rápido en el "Programa 1", que representa el 85% de la carga de trabajo.



ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS II  
TRABAJO PRÁCTICO N° 4  
PRADO, MATIAS SANTIAGO

c)

$$\text{normalizacion 1, A, Z} = \frac{1}{83 * 10^{-9}} = 12048192,77[s]$$

$$\text{normalizacion 2, A, Z} = \frac{100}{25,84} = 3,87[s]$$

$$\text{normalizacion 3, A, Z} = \frac{200}{45,83} = 4,36[s]$$

$$\text{promedio geometrico X, Z} = \sqrt[3]{12048192,77 * 3,87 * 4,36} = 588[s]$$

$$\text{normalizacion 1, A, Z} = \frac{1}{25} = 0,04[s]$$

$$\text{normalizacion 2, A, Z} = \frac{100}{15} = 6,67[s]$$

$$\text{normalizacion 3, A, Z} = \frac{200}{21} = 9,52[s]$$

$$\text{promedio geometrico Y, Z} = \sqrt[3]{0,04 * 6,67 * 9,52} = [s]$$

**Conclusión (c):** Usando la media geométrica de los ratios, el **Sistema X** es el mejor (587.4 vs 1.36), lo que indica que es, en conjunto, unas 587 veces más rápido que el sistema de referencia Z.