

Curso 2021-2022

Cuaderno de Problemas

Evaluación y modelado del rendimiento de
los sistemas informáticos

Prof. Dr. Carlos Juiz García

Problema 1.1. Dos sistemas, A y B, ejecutan el programa SEARCH, pero en el sistema A tiene un tiempo de ejecución de 3 segundos, mientras que en el B son 4 segundos. Si el sistema A cuesta 3.000 € y el sistema B 2.500 € ¿Cuál de los dos sistemas presenta una mejor relación de prestaciones y coste para el programa SEARCH?

$$t_A = 3 \text{ s} \quad \text{coste}_A = 3000 \text{ €} \rightarrow \text{indice} = \frac{3}{3000 \text{ €}} = 0'001$$
$$t_B = 4 \text{ s} \quad \text{coste}_B = 2500 \text{ €} \rightarrow \text{indice} = \frac{4}{2500 \text{ €}} = 0'0016$$

$$\frac{0'0016}{0'001} = 1'6 \Rightarrow \text{El sistema A es un } 60\% \text{ mejor que el sistema B}$$

Problema 1.2. Los sistemas del problema 1.1, A y B, cuando ejecutan SEARCH, el sistema A consume una energía de 1000 Ws y el sistema B consume 850 Ws ¿Cuál de los dos sistemas presenta una mejor relación de energía y rendimiento?

$$T_A = 1000 \text{ Ws} // t_A = 3s \rightarrow EDP_A = 1000 \cdot 3 = 3000 \text{ Ws}^2$$

$$T_B = 850 \text{ Ws} // t_B = 4s \rightarrow EDP_B = 850 \cdot 4 = 3400 \text{ Ws}^2$$

$$\frac{3400}{3000} = 1.13 \Rightarrow \text{El sistema A es un } 13\% \text{ mejor que el sistema B.}$$

Problema 1.3. Dos sistemas, A y B, ejecutan el programa KICK, pero el sistema A tiene un tiempo de ejecución de 4 segundos, mientras que en el B son 5 segundos. Si el sistema A consume una energía de 1200 Ws y el sistema B consume 950 Ws, se solicitan las siguientes métricas:

- Calcular el EDP de ambos sistemas.
- Calcular la aceleración de un sistema sobre el otro.
- Calcular el incremento de energía consumida de un sistema sobre el otro.
- ¿Cómo se podría establecer un índice coherente que relacionase la aceleración y el incremento de energía consumida, donde uno de los sistemas es el patrón de comparación?

$$t_A = 4s \quad T_A = 1200 \text{ Ws}$$

$$t_B = 5s \quad T_B = 950 \text{ Ws}$$

$$\textcircled{1} \quad \begin{aligned} \text{EDP}_A &= 4800 \text{ Ws}^2 \\ \text{EDP}_B &= 4750 \text{ Ws}^2 \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \quad A = \frac{5s}{4s} = 1.25$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{1200}{950} = 1.26 \Rightarrow \text{el sistema A consume un } 26\% \text{ más que el B.}$$

$$\textcircled{4} \quad \frac{\frac{t_B}{T_A}}{\frac{T_B}{t_A}} = \frac{t_B \cdot T_A}{t_A \cdot T_B} = \frac{\text{EDP}_A}{\text{EDP}_B} = \frac{4800}{4750} = 1.01$$

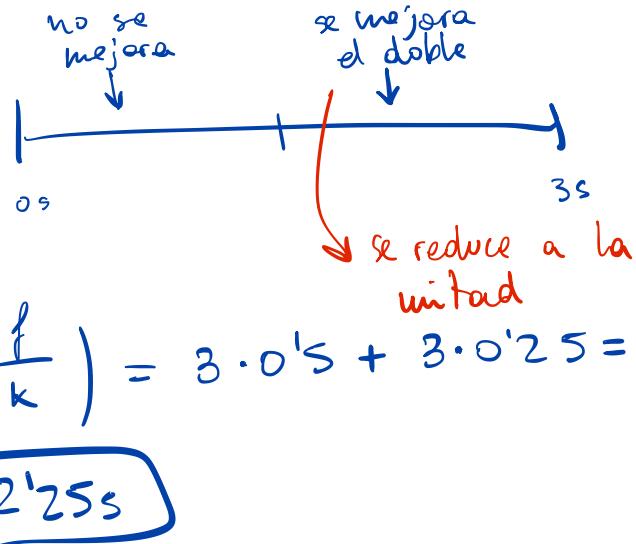
Por tanto el sistema A sería 1% mejor que el B.

Problema 1.4. La utilización del procesador Xeon en un servidor es del 85%. Se pide calcular la mejora de rendimiento que se conseguiría, si éste se sustituye por otro modelo nuevo el doble de rápido.

$$A = \frac{1}{(1 - 0.85) + \left(\frac{0.75}{2}\right)} = 1.73$$

Problema 1.5. Se quiere mejorar el rendimiento del servidor *RELATIVITY* mediante el cambio de su unidad de disco. Esta unidad de disco mejora la velocidad el doble en los accesos de E/S. Sabiendo que las aplicaciones que se ejecutan en ese servidor usan el disco un 50%, si las aplicaciones que se ejecutan en *RELATIVITY* tardan con el disco antiguo 3 segundos ¿cuánto tiempo tardarán con la unidad de disco nueva?

$$f = 0.5 \quad k = 2$$



Problema 1.6. En el centro de datos (datacenter) de la Universidad Central del Colorado (UCeCo) se quiere cambiar el sistema de discos RAID por uno 10 veces más rápido con las mismas características funcionales que el actual. ¿Cuánto debería usarse el nuevo sistema para que las aplicaciones típicas de la UCeCo, que se ejecutan en el centro de datos y usan el sistema de discos, aceleren el triple? ¿Y para que el sistema acelere 8 veces?

$$k=10$$

$$A_1 = 3$$

$$A_2 = ?$$

$$\textcircled{1} \quad A_1 = \frac{1}{1-p + \frac{p}{k}} \quad | \quad 3 = \frac{1}{1-p + \frac{p}{10}} \quad |$$

$$| \quad | \quad 3\left(1-p + \frac{p}{10}\right) = 1 \quad | \quad 3 - 3p + \frac{3p}{10} = 1 \quad |$$

$$| \quad | \quad 2 = 3p - \frac{3p}{10} \quad | \quad 2 = \left(3 - \frac{3}{10}\right)p \quad |$$

$$| \quad | \quad p = \frac{2}{3 - \frac{3}{10}} = \boxed{0'74}$$

$$\textcircled{2} \quad A_2 = \frac{1}{1-p + \frac{p}{k}} \quad | \quad \boxed{p = 0'97}$$

Problema 1.7. El servidor HAL con 48 procesadores ejecuta programas con una media de paralelismo del 80%. ¿Cuál es la aceleración calculada con la ley de Gustafson? Si el paralelismo baja al 60% ¿cuál es la aceleración ahora? Si quisieramos calcular la aceleración con la ley de Amdahl ¿qué valor resultaría? ¿Cuál es el límite de la aceleración con la ley de Amdahl?

$$\textcircled{1} \quad A_g = 1 - p + p \cdot k = 1 - 0'8 + (0'8 \cdot 48) = 38'6$$

$$\textcircled{2} \quad A_g = 1 - p + p \cdot k = 1 - 0'6 + (0'6 \cdot 48) = 29'2$$

$$\textcircled{1} \quad A = \frac{1}{1 - 0'8 + \frac{0'8}{48}} = \frac{1}{0'2 + 0'0167} = 4'6$$

$$\textcircled{2} \quad A = \frac{1}{1 - 0'6 + \frac{0'6}{48}} = \frac{1}{0'4 + 0'0125} = 2'42$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{1-p} = \frac{1}{0'2} = 5$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{1-p} = \frac{1}{0'4} = 2'5$$

Problema 1.8. El gestor de la base de datos MyOracle de la empresa hotelera ENJOY recibe transacciones provenientes de su sistema de reservas interno. Cada transacción tiene un tiempo de respuesta de 1,3 segundos. Al monitorizar el uso que los programas de reserva hacen de la base de datos se ha concluido que el 60% del tiempo de respuesta de cada transacción es debido al acceso a E/S, mientras que el resto es debido al procesamiento y la memoria. El proveedor tecnológico DiskisOK le ofrece dos opciones de substitución de la E/S, una es doble de rápida pero cuesta 14.000 € y la otra es el triple de rápida pero cuesta 23.000 €. Se pide:

- Calcular el tiempo de ambas opciones.
- Calcular las mejoras de rendimiento sobre el sistema de E/S actual de ambas opciones.
- Calcular la relación de coste y rendimiento de las nuevas opciones de E/S.
- Si el sistema de E/S original costó 10.000 €, pero una vez amortizado hasta hoy valdría 8.000 €. ¿Cuánto es el incremento real de la sustitución y su efecto en el rendimiento/coste?
- Como a ENJOY le parecen ambos sistemas de DiskisOK muy caros, sólo quiere cambiar unos discos del sistema de E/S de la marca IOWorld que valen 1000€ y mantener el sistema actual a costa de mejorar solo un 5 % la aceleración ¿Cuál la nueva relación de rendimiento y coste de esta rebaja?

a) $T_{m_1} = T_o \cdot \left(1 - p + \frac{P}{K}\right) = 1'3 \cdot \left(0'4 + \frac{0'4}{2}\right) = \underline{\underline{0'91s}}$

↓ (nun) quer
nueve con
→ 60%.
0'78s
E/S
CPU
nuev
1'3 s

 $T_{m_2} = T_o \cdot \left(1 - p + \frac{P}{K}\right) = 1'3 \cdot \left(0'4 + \frac{0'4}{3}\right) = \underline{\underline{0'785}}$

b) $A_1 = \frac{1'3}{0'91} = 1'42 \quad A_2 = \frac{1'3}{0'78} = 1'66$

① $\frac{0'91}{14000} = 6'15 \cdot 10^{-5}$ ② $\frac{0'78}{23000} = 3'4 \cdot 10^{-5}$

Indice >
1
1
Coste - Rendimiento

Problema 1.9. El 80% de las tareas de un programa se pueden parallelizar en distintos procesadores. Si el programa se ejecuta en 5 segundos, se pide calcular:

- La aceleración que experimenta el tiempo de ejecución del programa en un multiprocesador de 32 procesadores aplicando la ley de Amdahl y la ley de Gustafson.
- El tiempo que tardaría en ejecutarse con ese paralelismo con ambas leyes.

$$t = 5s$$



a) $k = 32$

$$A = \frac{1}{1 - 0.8 + \frac{0.8}{32}} = \frac{1}{0.2 + 0.025} = \boxed{4\bar{4}}$$

$$A_G = 1 - p + p \cdot k = 0.2 + 0.8 \cdot 32 = \boxed{25\bar{8}}$$

b)

$$\textcircled{1} \quad 4\bar{4} = \frac{t_0}{t_m} \parallel t_m = \frac{5}{4\bar{4}} = \boxed{1'126s}$$

$$\textcircled{2} \quad 25\bar{8} = \frac{\Sigma}{t_m} \parallel t_m = \frac{\Sigma}{25\bar{8}} = \boxed{0'194s}$$

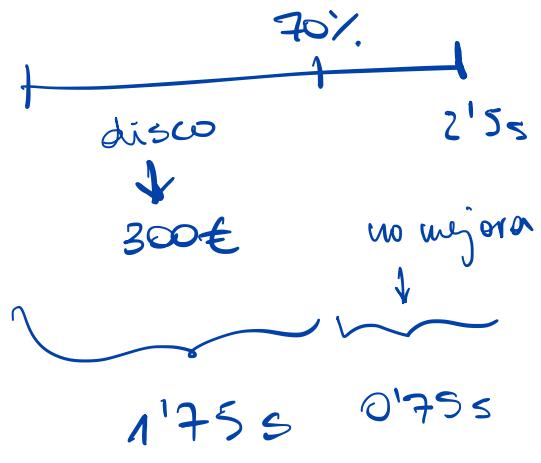
Problema 1.10. El tiempo de respuesta de una transacción web es de 2,5 segundos y el 70% de ese tiempo se usa para acceder al disco local del servidor web. Si el coste del disco es 300 €, ¿cuánto debe mejorar la velocidad del disco para que el tiempo de respuesta de una transacción sea la mitad? Si el precio del disco nuevo es de 600€ ¿se podría decir que compensa adquirirlo considerando el rendimiento esperado y el coste?

$$t_1 = 2'5s$$

a)

$$\frac{2'5}{2} = 0'75 + T_p //$$

$$// T_p = \frac{2'5}{2} + 0'75 = 0'5s \rightarrow \text{tiempo paralelizable}$$



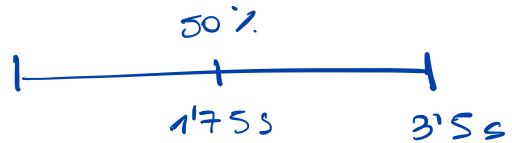
$$\frac{1'75}{0'5} = 3's \rightarrow \text{por tanto el disco debería mejorar } 2'5 \text{ veces o un } 250\%.$$

b)

$$\left. \begin{array}{l} O: \frac{2'5}{300} = 8'3 \cdot 10^{-3} \\ M: \frac{0'5+0'75}{600} = 2'08 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} \frac{8'3}{2'08} = \boxed{3199}$$

El sistema original es 4 veces más rentable, por tanto, no compensa el cambio.

Problema 1.11. Se quiere mejorar el rendimiento del servidor RELATIVITY2 mediante el cambio de su unidad de disco. Esta unidad de disco mejora la velocidad en los accesos de E/S el triple. Calcula el tiempo que se mejora sabiendo que las aplicaciones que se ejecutan en ese servidor tras la mejora, ahora usan el disco un 50% del tiempo. Si las aplicaciones que se ejecutan en RELATIVITY2 tardaban con el disco antiguo 3,5 segundos, ¿cuánto tiempo tardarán con la unidad de disco nueva? ¿Cuál es la aceleración global del servidor RELATIVITY2?



a) $t_m = t_o \cdot \left((1-p) + \frac{p}{k} \right) // t_m = 3'5 \cdot \left((1-0'5) + \frac{0'5}{3} \right) //$

// $t_m = 3'5 \cdot (0'5 + 0'1\bar{6}) // \boxed{t_m = 2'33s}$

b) Amdahl: $A = \frac{1}{(1-0'5) + \frac{0'5}{3}} = \underline{\underline{1'5}}$

Gustafson: $0'5 + 0'5 \cdot 3 = \cancel{2}$

Problema 2.1. Considérese un sistema informático en el que la activación de un monitor software implica la ejecución de un total de 150.000 instrucciones máquina. Si el procesador del sistema tiene una velocidad de ejecución de 750 MIPS (million of instructions per second), se pide:

1. Calcular el valor que ha de tener el periodo de muestreo si se quiere una sobrecarga (overhead) del 5%.
2. Calcular el número de muestras que se tomarán en un periodo de medida de dos horas.

① Overhead = $\frac{\text{tiempo ejecución}}{\text{periodo muestreo}}$ $\Rightarrow 5\% = \frac{2 \cdot 10^{-4} \text{s}}{P} // 0'05 = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{P} //$

$$// P = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0'05} = \boxed{4 \cdot 10^{-3} \text{s}}$$

$$150.000 \cancel{\text{ips}} \cdot \frac{1 \text{s}}{750 \cancel{\text{Mips}}} = \underline{\underline{2 \cdot 10^{-4} \text{s}}}$$

② $\frac{2 \text{ h}}{4 \cdot 10^{-3} \text{s}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \boxed{1.800.000 \text{ muestras}}$

Problema 2.2. Un sistema informático que trabaja en el sistema operativo Linux tiene instalado el monitor de actividad sar (system activity reporter). Este monitor se activa cada 20 minutos y tarda 450 milisegundos en ejecutarse por cada activación. En cada una de las activaciones se recoge información del sistema, se construye un registro de datos con esta información, y se añade al fichero histórico saDD del día DD correspondiente. Se pide:

1. Calcular la sobrecarga (overhead) que genera este programa sobre el sistema informático.
2. Determinar el tamaño del directorio /var/log/sa a lo largo de dos semanas si el registro de datos generado por cada activación ocupa 3KB.
3. Si el volumen máximo del directorio /var/log/sa es de 150 MB, ¿cuántos ficheros históricos saDD se pueden almacenar?
4. En dos años, ¿se desbordaría el tamaño del directorio? ¿Cuánta capacidad nos faltaría?

(1)

$$\text{Overhead} = \frac{0'45\text{s}}{1200\text{s}} \cdot 100 = 0'0375\%$$

$$450\text{ms} \cdot \frac{1 \cdot 10^3}{1\text{ms}} = 0'45\text{s}$$

$$20\text{min} \cdot \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 1200\text{s}$$

(2)

$$2\text{ semanas} \cdot \frac{7\text{días}}{1\text{semana}} \cdot \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \cdot \frac{60\text{min}}{1\text{h}} \cdot \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 1.209.600\text{s}$$

$$\frac{t_T}{t_g} = \frac{1.209.600\text{s}}{1200\text{s}} = 1008 \text{ veces} \cdot 3\text{KB} = 3024\text{KB}$$

$$\cdot 3\text{KB} = 216\text{KB}$$

(3)

$$1\text{día} \cdot \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \cdot \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 86400\text{s} \Rightarrow \frac{86400\text{s}}{1200\text{s}} = 72 \text{ veces}$$

↑
↓
1 fichero

$$150\text{MB} \cdot \frac{1024\text{KB}}{1\text{MB}} \cdot \frac{1008 \text{ veces}}{3024\text{KB}} \cdot \frac{1 \text{ fichero}}{72 \text{ veces}} = 711'7 \text{ ficheros} \approx 712 \text{ ficheros}$$

(4)

$$2\text{años} \cdot \frac{365\text{días}}{1\text{año}} = 730\text{días} \cdot 216\text{KB} = 157.680\text{KB}$$

$$157.680\text{KB} \cdot \frac{1\text{MB}}{1024\text{KB}} = 153'98\text{ MB} > 150\text{ MB} \Rightarrow \text{SE DESBORDA}$$

Problema 3.1. El rendimiento de un sistema informático bajo la ejecución del benchmark Linpack varía de acuerdo a las diferentes configuraciones del mismo. Para tres tamaños de carga (40000, 60000 y 80000 ecuaciones diferenciales), la generación de resultados del benchmark se distribuye de acuerdo con los siguientes GFLOPS:

Carga	Porcentaje de Carga	GFLOPS
40000	25%	2
60000	25%	4,5
80000	50%	6

Calcúlese el valor medio de los GFLOPS obtenidos por el benchmark.

$$x_h = \frac{1}{\frac{0'25}{2} + \frac{0'25}{4'5} + \frac{0'5}{6}} = \frac{72}{19} \approx 3'7895 \text{ GFLOPS}$$

Problema 3.2. Un estudio llevado a cabo mediante un monitor de ejecución de programas ha permitido cuantificar el tiempo medio de ejecución de las instrucciones que emplea un benchmark. Este benchmark se ha ejecutado en dos procesadores de la familia Intel, i5 y i7, con el mismo juego de instrucciones y se ha obtenido el siguiente resultado:

Tipo de instrucción	Frecuencia de uso	Tiempo en i5	Tiempo en i7
Memoria	10%	6,5 ns	6,1 ns
Comparación	35%	1,4 ns	0,7 ns
Salto	5%	8,6 ns	7,9 ns
Otras	50%	2,7 ns	1,9 ns

Se pide:

1. Calcular el tiempo medio de ejecución de una instrucción en cada procesador y utilizarlos para cuantificar la mejora conseguida por el procesador más rápido.
2. Determinar el nuevo tiempo medio de ejecución de una instrucción en el procesador Intel i5 si un nuevo diseño consigue que todas las instrucciones se ejecuten un 15% más rápidamente.

①

$$i5: X_a = 6'5 \cdot 0'1 + 1'4 \cdot 0'35 + 8'6 \cdot 0'05 + 2'7 \cdot 0'5 = \frac{73}{25} = 2'92 \text{ ns}$$

$$i7: X_a = 6'1 \cdot 0'1 + 0'7 \cdot 0'35 + 7'9 \cdot 0'05 + 1'9 \cdot 0'5 = \frac{11}{5} = 2'2 \text{ ns}$$

$$A = \frac{2'92 \text{ ns}}{2'2 \text{ ns}} = \frac{73}{55} = 1'327$$

Por tanto el i7 es 1'327 veces mejor.

②

$$i5: X_a = 6'5 \cdot 0'15 + 1'4 \cdot 0'15 + 8'6 \cdot 0'15 + 2'7 \cdot 0'15 = \frac{72}{25} = 2'88 \text{ ns}$$



Problema 3.3. Considérese un programa de cálculo numérico que se ejecuta en 83 segundos y hace las operaciones de coma flotante que se indican a continuación, así como las operaciones normalizadas equivalentes.

Operación	Cantidad	Operaciones normalizadas
ADD	$78 \cdot 10^9$	1
SQRT	$29 \cdot 10^9$	3
COS	$13 \cdot 10^9$	8
EXP	$42 \cdot 10^9$	12

$$162 \cdot 10^9$$

¿Cuál es el rendimiento conseguido por el sistema con este programa de cálculo atendiendo a los GFLOPS? ¿Y si se mide en GFLOPS normalizados?

(1)

$$\text{GFLOPs} = \frac{162 \cdot 10^9}{83 \cdot 10^9} = 1'95 \text{ GFLOPS}$$

(2)

$$\text{GFLOPs normalizadas} = \frac{78 + 29 \cdot 3 + 13 \cdot 8 + 42 \cdot 12}{83} = 9'31 \text{ GFLOPS}$$



Problema 3.4. Un servidor dispone de un procesador con un reloj que trabaja a 3,2 GHz. Este procesador estructura su juego de instrucciones en tres categorías: simples, normales y complejas. El número medio de ciclos por instrucción (CPI) para cada categoría se indica en la siguiente tabla.

Tipo	CPI	Versión 1	Versión 2
Simple	1	$9 \cdot 10^6$ instrucciones	$11 \cdot 10^6$ instrucciones
Normal	3	$1,5 \cdot 10^6$ instrucciones	$2,5 \cdot 10^6$ instrucciones
Compleja	5	$2 \cdot 10^6$ instrucciones	$1,5 \cdot 10^6$ instrucciones

$$12'5 \cdot 10^6 \text{ ius} \quad 15 \cdot 10^6 \text{ ius}$$

El servidor anterior se está utilizando para comparar el rendimiento de dos versiones de un compilador, V1 y V2. El número de instrucciones de cada categoría ejecutadas por un programa de prueba compilado con ambas versiones se indica también en la tabla anterior. Se pide calcular, para las dos versiones del compilador, el CPI medio y los MIPS conseguidos por el programa.

①

$$\overline{\text{CPI}}_1 = 1 \cdot 0'72 + 3 \cdot 0'12 + 5 \cdot 0'16 = 1'88$$

$$\overline{\text{CPI}}_2 = 1 \cdot 0'733 + 3 \cdot 0'166 + 5 \cdot 0'10 = 1'73$$

②

$$\text{MIPS}_1 = \frac{3'2 \cdot 10^9}{1'88 \cdot 10^6} = 1702'13$$

$$\text{MIPS}_2 = \frac{3'2 \cdot 10^9}{1'73 \cdot 10^6} = 1849'71$$

Problema 3.5. Un programa ejecuta un total de $186 \cdot 10^8$ instrucciones. De ellas, el 75% se ejecutan en 3 ciclos de reloj, mientras que el resto lo hace en 5 ciclos de reloj. Tras haber medido el tiempo de ejecución de dicho programa a través del monitor time se ha obtenido la siguiente información:

real 0m57s
user 0m23s
sys 0m1.2s

Se pide calcular el número medio de ciclos por instrucción (CPI) obtenidos por el programa, la frecuencia del procesador y los MIPS.

$$75\% \rightarrow 3 \text{ ciclos} \rightarrow 1'395 \cdot 10^{10} \text{ ins}$$

$$25\% \rightarrow 5 \text{ ciclos} \rightarrow 4'65 \cdot 10^9 \text{ ins}$$

$$\text{CPI} = 3 \cdot 0'75 + 5 \cdot 0'25 = 3'5$$

$$\text{MIPS} = \frac{186 \cdot 10^8}{23 + 1'2 \cdot 10^6} = 768'6$$

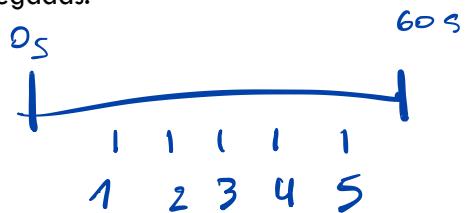
Problema 3.6. En la siguiente tabla se muestran los tiempos de ejecución (en segundos) de seis configuraciones diferentes del benchmark Linpack en tres sistemas distintos, A, B y C. Se pide comparar el rendimiento de estos tres sistemas utilizando la media aritmética y la media geométrica de los tiempos de ejecución. ¿El orden de rendimiento obtenido con las dos medias coincide? ¿Los valores normalizados de la medias (con ambas medias) del tiempo de ejecución a cada una de las tres máquinas guarda la proporcionalidad con el valor suma de tiempos de ejecución?

Programa	Sistema A	Sistema B	Sistema C
Linpack 1	128	534	512,1
Linpack 2	68,7	56	26
Linpack 3	352	478	698
Linpack 4	82,4	96	91
Linpack 5	893,1	3654	4789
Linpack 6	178,5	167	324

- a) El orden de rendimiento entre las medias sí coincide.
- b) No, no guarda proporcionalidad

Problema 4.1. El disco duro de un portátil se ha monitorizado durante 1 minuto. Durante este tiempo han llegado 30 accesos peticiones y han finalizado 28. Gracias a un monitor se sabe que el disco ha estado inactivo durante 20 segundos y se han podido medir el tiempo de respuesta de 5 accesos (ver tabla adjunta). Con esos datos de monitorización se solicita calcular:

- La exactitud con que se cumple la hipótesis del flujo equilibrado de trabajos.
- La frecuencia de acceso al disco y el tiempo medio entre llegadas.
- La productividad media del disco.
- El tiempo de respuesta medio del disco.
- La utilización media del disco.
- El tiempo medio de servicio del disco.
- El tiempo de espera de un acceso al disco.



Acceso	Tiempo de Respuesta (en milisegundos)
1	1290 1'29s
2	3045 3'045s
3	4014 4'014s
4	5220 5'22s
5	2352 2'352s

$$\begin{cases} A_i = 30 \\ C_i = 28 \end{cases}$$

$$a) \left(1 - \frac{30-28}{28} \right) \cdot 100 = \boxed{92'85\%}$$

$$b) \lambda_i = \frac{A_i}{T} = \frac{30}{60} = \boxed{0'5 \text{ trabajos/s}} \Rightarrow \underline{\underline{1 \text{ trabajo/2s}}}$$

$$c) X_i = \frac{28}{60} = \boxed{0'46 \text{ trabajos/s}}$$

$$d) \bar{R}_i = \frac{1'29 + 3'045 + 4'014 + 5'22 + 2'352}{5} = \boxed{3'184s}$$

$$e) S_i = 60 - 20 = 40s$$

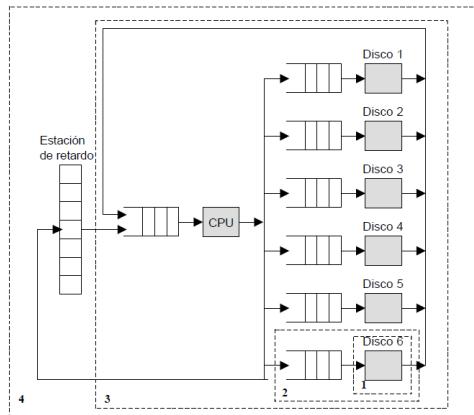
$$f) S_i = \frac{B_i}{C_i} = \frac{40}{28} = \boxed{1'43s}$$

$$V_i = \frac{B_i}{T} = \frac{40}{60} = \boxed{0'6}$$

$$g) W_i = R_i - S_i = 3'184 - 1'43 = \boxed{1'754s}$$

Problema 4.2. En una intranet de 1.000 usuarios (ver figura), la productividad del sistema es de 5 trabajos/s. Se ha monitorizado el uso de la intranet y el número medio de usuarios trabajando simultáneamente es apenas 350. Si cada trabajo realiza 2 accesos al disco 6, en promedio, se solicita calcular:

- La productividad del disco.
- El tiempo de reflexión de los usuarios
- El tiempo de respuesta del sistema



$$X_0 = 5 \text{ trabajos/s} \Rightarrow 10 \text{ accesos}$$

$$Z = 1000 \text{ usuarios}$$

a) Flujo Forzado

$$X_6 = X_0 \cdot V_i = 5 \cdot 2 = 10 \text{ trabajos/s}$$

$$X_6 = \frac{C_i}{T}$$

b) $N = X \cdot Z // 650 = 5 \cdot 2 // z = \frac{650}{5} //$

// $z = 130 \text{ s}$

c) $R_0 = \left(\frac{N}{X} \right) - z = \left(\frac{1000}{5} \right) - 130 = 70 \text{ s}$

Problema 4.3. Los usuarios envían transacciones a un servidor con un procesador y dos discos, uno de tecnología electromecánica (HDD) y otro sólido (SSD). Cada transacción consume 5 milisegundos de CPU, realiza 50 accesos al disco HDD y 300 al SSD, todos ellos lecturas de 1.024 bytes. De las especificaciones de los discos duros, el HDD tiene un tiempo de posicionamiento de 5 milisegundos, de latencia de 2 milisegundos y el ratio de transferencia son 80 MB/s, mientras que el SSD tiene un ratio de transferencia de 250 MB/s. Se pide calcular (todos los tiempos en milisegundos):

- Las demanda de CPU por parte de los usuarios. $\rightarrow 5 \text{ ms}$
- El tiempo de servicio medio de la CPU.
- El tiempo medio de servicio de los dos discos.
- La demanda de servicio de los discos.
- Si la información en el disco HDD estuviera en pistas consecutivas en vez de aleatorias, ¿cómo se podría comparar la diferencia de demanda de servicio?

$$b) \quad S_i = \frac{B_i}{C_i} = \frac{5 \text{ ms}}{351 \text{ accesos}} = 0'014 \text{ s}$$

$$c) \quad \text{HDD: } S_i = \frac{B_i}{C_i} =$$

$$1024 \text{ bytes} \cdot \frac{1s}{80 \cdot 10^6 \text{ bytes}} \cdot \frac{1000 \text{ ms}}{1s} = 0'0128 \text{ ms}$$

$$\text{HDD: } 50 \cdot 5 + 50 \cdot 2 + 0'0128 =$$

$$\text{SSD: } S_i = \frac{B_i}{C_i} =$$

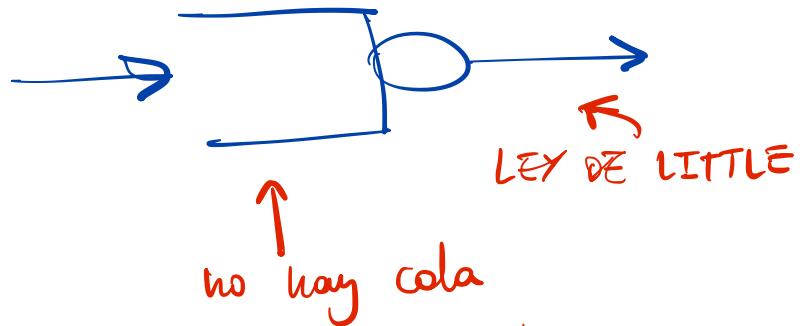
$$1024 \text{ bytes} \cdot \frac{1s}{250 \cdot 104856 \text{ bytes}} \cdot \frac{1000 \text{ ms}}{1s} = 0'004 \text{ ms}$$

Problema 4.4. Un tramo de red transmite 10.000 paquetes por segundo. Cada paquete tiene un tiempo de transmisión medio de 0,02 milisegundos. Si el protocolo de red señala que a partir del 60% de utilización del ancho de banda empiezan las retransmisiones de paquetes por saturación, ¿cuán lejos está el tramo de red de esa situación?

$$X = 10.000 \text{ trabajos/s}$$

$$U = 0'6 = 60\%$$

$$t_{tr} = 0'02ms$$



$$U = 10.000 \cdot 0'00002 = 0'2 = 20\%$$

R: Esta a 40% lejos de llegar al 60% de utilización.

por tanto solo nos interesa el tiempo de servicio.

Problema 4.5. Las transacciones a una base de datos realizan 5 operaciones de E/S en el disco de su servidor. Cada una de esas operaciones de E/S tarda una media de 4 ms. El servidor ha realizado un millón de transacciones a la base de datos en las últimas 12 horas. Si debido a la tecnología del disco del servidor, a partir de una utilización del 80% empieza a ralentizarse, ¿cuán lejos está el disco de llegar a ese límite? ¿Cuánto servicio demanda cada transacción al disco?

$$t = 4 \text{ ms}$$

$$\textcircled{1} \quad 1 \text{ M trans} \xrightarrow{x s} 5 \text{ M op } \text{E/S}$$

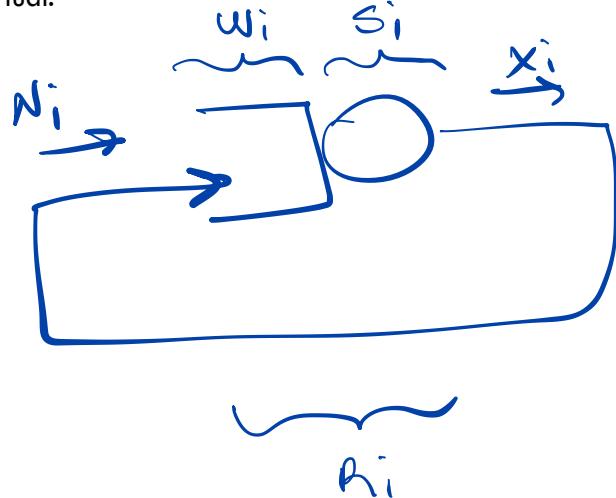
$$5 \cdot 10^6 \text{ op} \cdot \frac{80}{10^6} = \boxed{4 \cdot 10^6 \text{ op}}$$

$$\textcircled{2} \quad X = \frac{5 \cdot 10^6 \text{ op}}{12 \text{ h}} = \frac{5 \cdot 10^6 \text{ op}}{12 \text{ h} \cdot 60 \cdot 60} = \underline{\underline{115'74 \text{ op/s}}}$$

Ley UTILIZACIÓN

$$U = X \cdot S \quad // \quad S = \frac{U}{X} = \frac{0'8}{115'74} = \boxed{0'007 \text{ s}}$$

Problema 4.6. Una máquina virtual realiza 24000 ejecuciones de una rutina proveniente de sus usuarios en **una hora**. Si el **número medio de usuarios activos** en esa máquina virtual, realizando esa rutina, son 12. Calcule el **tiempo de respuesta medio** experimentado por cada usuario en esa máquina virtual.



$$24\,000 \text{ trabajos/h} \cdot \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \cdot \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = 6\frac{1}{6} \text{ trabajos/s}$$

LEY DE LITTLE

$$N = \bar{x} \cdot R \quad || \quad R = \frac{N}{\bar{x}} \quad || \quad R = \frac{12}{6\frac{1}{6}} = \boxed{1\frac{1}{8}\text{s}}$$

Problema 4.7. Consideremos un sistema informático con un procesador y tres unidades de disco. Los tiempos de servicio y razones de visita de estos dispositivos se muestran en la siguiente tabla:

Dispositivo	Razón de visita	Tiempo de servicio (en s)
Procesador	9	0,001
Disco 1	3	0,025
Disco 2	4	0,030
Disco 3	1	0,010

Los trabajos que sirve el sistema siguen el modelo de comportamiento del servidor central. El número de usuarios conectados es de 100 y su tiempo medio de reflexión de 5 segundos.

1. Calcúlense las demandas de servicio de cada dispositivo.
2. Si la productividad del sistema informático es de 2 trabajos por segundo, ¿cuál es el número medio de trabajos que están en reflexión?
3. ¿Cuál es el tiempo de respuesta del sistema informático?
4. ¿Cuántos trabajos activos hay en el sistema?
5. Calcúlense, para cada dispositivo del sistema, la productividad y la utilización.

①

$$D_{CPU} = V_i \times S_i = 9 \cdot 0,001 = 0,009 \text{ s}$$

$$D_{D1} = 3 \cdot 0,025 = 0,075 \text{ s}$$

$$D_{D2} = 4 \cdot 0,03 = 0,12 \text{ s}$$

$$D_{D3} = 1 \cdot 0,01 = 0,01 \text{ s}$$

②

$$X_0 = 2 \text{ trabajos/s}$$

LEX DE LITTLE

$$N_2 = X_0 \cdot Z = 2 \cdot 5 = 10 \text{ usuarios}$$

s> reflexión 2 trabajos/s
N=100

③

\hookrightarrow : Por tanto, 10 trabajos están en cola.

$$R_b = \frac{N}{X_0} - Z \quad || \quad R_b = \frac{100}{2} - 5 = 45 \text{ s}$$

④ Hay 90 trabajos activos.

⑤

$X_{CPU} =$	$U_{CPU} =$
$X_1 =$	$U_1 =$
$X_2 =$	$U_2 =$
$X_3 =$	$U_3 =$

Problema 4.8. El tiempo de respuesta percibido por un usuario accediendo a internet con su navegador es de 1,5 segundos. Si el tiempo de respuesta percibido se basa en el tiempo de respuesta de las transacciones atendidas por la caché local (100 ms) y del tiempo de respuesta de las transacciones servidas por los sitios web externos (2 s), ¿cuál es la tasa de acierto (hit ratio) de la caché local? Si esa tasa de acierto aumentara un 50%, ¿cuánto aceleraría el tiempo de respuesta percibido por el usuario?

Problema 5.1. Un servidor web, compuesto por un procesador y dos discos, atiende transacciones provenientes de internet que usan los dispositivos según la siguiente tabla:

Dispositivo	Visitas	Tiempo de servicio (ms)
CPU	13	0,1
Disco A	6	0,2
Disco B	6	0,3

Se pide determinar:

- a) El dispositivo más rápido
- b) El cuello de botella del servidor
- c) Las asintotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad del servidor
- d) Las utilizaciones de los tres dispositivos si recibe 200 transacciones por segundo (tps)
- e) Si se sustituye el dispositivo más lento por otro el doble de rápido, ¿cómo cambian los límites asintóticos del tiempo de respuesta y la productividad? ¿Se alcanzarán la productividad de 1000 tps?

a) La CPU

b) Disco B

$$c) R_{opt} = D_T = D_{CPU} + D_A + D_B = 1'3 + 1'2 + 1'8 = \boxed{4'3 \text{ ms}}$$

d) $X = 200 \text{ trans/s}$

$$U_{CPU} = X \cdot D_{CPU} = 200 \cdot 1'3 \cdot 10^{-3} = 0'26 = \boxed{26\%}$$

$$U_A = X \cdot D_A = 200 \cdot 1'2 \cdot 10^{-3} = 0'24 = \boxed{24\%}$$

$$U_B = X \cdot D_B = 200 \cdot 1'8 \cdot 10^{-3} = 0'36 = \boxed{36\%}$$

$$e) D_B = 6 \cdot \frac{0'3}{2} \cdot 10^{-3} = 0'0009s$$

$$X_{max} = \frac{1}{D_{CPU}} = 769'23 \text{ tps}$$

$$R_{opt} = D_T = 1'3 + 1'2 + 0'9 = \boxed{3'4 \text{ ms}}$$

Problema 5.2. Un servidor de una intranet, compuesto por un procesador y dos discos, atiende los trabajos de usuario que usan los dispositivos según la siguiente tabla:

Dispositivo	Demandas de servicio (ms)
CPU	1
Disco A	12
Disco B	5

Se pide determinar:

- a) Las asintotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad del servidor si el tiempo de reflexión de los usuarios es de 2 segundos.
- b) ¿Cuál es el punto teórico de saturación?
- c) ¿Cuál sería el máximo número de trabajos para un tiempo de respuesta de 15 segundos?

$$a) R_{opt} = N D_b - Z = N \cdot 0'012 - 2$$

$$\boxed{R_{opt} = \{ 0'018, 0'012N - 2 \}}$$

$$\boxed{X_{opt} = \frac{N}{D+Z} = \frac{N}{0'018 + 2} = \frac{N}{2'018}}$$

$$\boxed{X_{opt} = \left\{ \frac{N}{2'018}, \frac{1}{0'012} \right\}}$$

$$b) N^* = \left\lceil \frac{D+Z}{D_b} \right\rceil = \left\lceil \frac{0'018 + 2}{0'012} \right\rceil = \left\lceil 168 \frac{1}{167} \right\rceil = \boxed{169 \text{ usuarios}}$$

$$c) R = 0'012N - 2 // \frac{R+2}{0'012} = N // N = \frac{17}{0'012} //$$

$$// N = 1416 \frac{1}{6} \Rightarrow \boxed{N = 1417 \text{ trabajos}}$$

Problema 5.3. Consideremos un modelo de sistema informático interactivo con un procesador y un disco. El sistema tiene 5 usuarios con un tiempo de reflexión de 8 segundos. El procesador tiene un tiempo de servicio de 0,03 segundos y el disco de 0,1 segundos. Las razones de visita del procesador y del disco son 8 y 7, respectivamente. Aplíquese el algoritmo de resolución para redes cerradas para estimar el tiempo medio de respuesta del sistema informático.

$$N = 5 \text{ trabajos}$$

$$w_i = 8$$

$$s_{CPU} = 0'03 \text{ s}$$

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

$$v_{CPU} = 8$$

$$v_D = 7$$

$$D_{CPU} = 0'03 \cdot 8 = 0'24$$

$$D_D = 0'1 \cdot 7 = 0'7$$

$$R_{opt} = \lfloor 0'94 \rfloor$$

$$D_b \cdot N - 2 =$$

abierto
↓

Problema 5.4 Consideremos un sistema informático conectado a internet compuesto por un procesador y dos discos idénticos. El tiempo medio entre llegadas de clientes es de 0,1 segundos, los cuales se comportan de acuerdo con el modelo del servidor central. Los tiempos de servicio, expresados en milisegundos, y las razones de visita de cada dispositivo se indican en la siguiente tabla:

Dispositivo	Visitas	Tiempo de servicio (ms)
CPU	15	1
Disco A	4	5
Disco B	10	5

17,7%
23,5%
58,8%

Se solicita calcular:

- c. La frecuencia de llegada de trabajos al sistema. $\lambda_0 = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ s}$
- b. Las demandas de servicio de los dispositivos.
- c. El dispositivo cuello de botella. **El disco B**
- d. Las probabilidades de encaminamiento a los discos.
- e. El tiempo mínimo de respuesta del sistema informático.
- f. La productividad de los dispositivos del sistema.
- g. El valor máximo de la frecuencia de llegadas que soporta el sistema.
- h. El tiempo de respuesta de cada dispositivo.
- i. El tiempo de respuesta del sistema informático.
- j. El número de trabajos que hay en el sistema.

b) $D_{CPU} = 15 \cdot 1 = 15 \text{ ms} = 0,015 \text{ s}$

$D_A = 4 \cdot 5 = 20 \text{ ms} = 0,02 \text{ s}$

$D_B = 10 \cdot 5 = 50 \text{ ms} = 0,05 \text{ s}$

$$V_{CPU} = \frac{11 \text{ ms}}{10 \cdot 0,015} = 0,15$$

$$V_A = 0,2$$

$$V_B = 0,5$$

f) $X_{CPU} = \frac{0,15}{15} = 100 \text{ trab/s}$

$X_A = \frac{0,2}{4} = 40 \text{ trab/s}$

$X_B = \frac{0,15}{10} = 150 \text{ trab/s}$

d) $p_A = 4/15$

g) $X_{opt} = \frac{1}{D_B} = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ trabajos/s}$

$p_B = 10/15$

e) $R_i = \sum_{i=1}^k D_i = 0,015 + 0,02 + 0,05 = 0,085 \text{ s}$

i) $R = \sum_{i=1}^k V_i \cdot R_i = (15 \cdot 0,18) + (4 \cdot 0,25) + (10 \cdot 0,1) = 142,7 \text{ ms}$

h) $R_{CPU} = \frac{s_i}{1 - V_i} = \frac{1}{1 - 0,15} = 1,18 \text{ ms}$

$R_A = \frac{5}{1 - 0,2} = 6,25 \text{ ms}$

j) $N = \lambda \cdot R = 10 \cdot 0,1427 = 1,42 \text{ trabajos}$

$R_B = \frac{5}{1 - 0,15} = 10 \text{ ms}$

Problema 6.1 Un servidor de almacenamiento en la nube se monitorizó durante un periodo de treinta minutos. Durante ese periodo, el tiempo de la CPU y el número de lecturas al disco de cada una de las 10000 transacciones se almacenaron. Estas 10000 transacciones se agruparon en las diez clases que se recogen en la siguiente tabla de valores medios.

Clase	Tcpu (ns)	Lecturas disco
1	5	56
2	4	75
3	4,5	60
4	3,9	62
5	5,5	15
6	5	12
7	5	20
8	1,5	18
9	2	23
10	1	25

Se pide hacer una valoración razonada de si es aconsejable realizar una técnica de agrupamiento.

Problema 6.2 Se han recogido datos de un conjunto de datos relacionados con actividades de discos en estado sólido y memorias caché. En la tabla siguiente se indica el tiempo de respuesta (R) y el tiempo de servicio (S) medios para cada muestra recogida de entre más del millón de datos almacenados. Se desea agrupar las clases indicadas aplicando la técnica MST con distancias euclídeas, así como dibujar el dendograma que se produzca.

Clase	Tamaño caché (GB)	R (ms)	S (ms)
1	0,5	19,3	21,9
2	1	14,4	19
3	2	12,5	15
4	3	8,6	7,6
5	4	6	5,2
6	8	4	3,6
7	16	2	2,7

Problema 7.1 La dirección de sistemas recibe un informe de rendimiento del comercio electrónico, en el que se resalta el momento con mayor demanda cada semana. Para anticipar posibles problemas de colapso, se solicita cuál será el ratio estimado pico de la semana próxima, sabiendo el número de transacciones por segundo pico de anteriores semanas, ordenadas de mayor a menor antigüedad, tal como figura en la siguiente tabla.

Semana	Transacciones por segundo (pico semanal)	f_t	f_{t+1}
1	700		700
2	645	700	672'5
3	549	672'5	610'75
4	743	610'75	676'87
5	348	676'87	512'43
6	456	512'43	484'21
7	478	484'21	481'1
8	506	481'1	493'55
9	678	493'55	585'77
10	673	585'77	629'38

Calcúlese la previsión de la semana siguiente (11) con medias móviles, con suavizado exponencial de $\alpha = 50\%$ y con regresión lineal.

① MEDIAS MÓVILES → ¡sería válido, pero más pesimista
Cogeremos los últimos 3 valores para tener una predicción más certada (ya que estamos hablando de semanas).

$$f_{t+1} = \frac{506 + 678 + 673}{3} = \boxed{619 \text{ tps}}$$

② SUAVIZADO EXPONENCIAL

$$f_{t+1} = f_t + \alpha (y_{t+1} - f_t)$$

semana 11 = $\boxed{629'38 \text{ tps}}$

③ REGRESIÓN LINEAL

$$y = a + bx$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2} = \frac{-255233'6}{-2640} = 96'68$$

$$\begin{aligned} n &= 10 \\ \bar{y} &= 577'6 \\ \bar{x} &= 5'5 \end{aligned}$$

ESTÁ MAL

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = 5'5 - (9'94 \cdot 10^{-4} \cdot 577'6)$$