
TEMA 6

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

PROBLEMA 6.1 Un servidor dedicado a la reserva de billetes de una compañía de ferrocarriles tiene un tiempo medio de respuesta de 15 milisegundos por petición. Si por término medio hay 345 peticiones activas en este sistema, ¿cuál es su productividad? Expresa el resultado en peticiones por segundo.

SOLUCIÓN: La productividad del sistema es de 23000 peticiones por segundo.

■

PROBLEMA 6.2 Un servidor de correo electrónico es capaz de enviar 300 correos por segundo. Si cada correo tarda en procesarse 2 milisegundos, ¿cuál es la utilización media de este servidor?

SOLUCIÓN: La utilización es 0,6.

■

PROBLEMA 6.3 El servidor web de una compañía comercial ha servido 120 peticiones durante el último minuto. Si el número medio de peticiones activas ha sido de 5, calcule el tiempo medio de respuesta experimentado por una petición al servidor web.

SOLUCIÓN: El tiempo medio de respuesta es de 2,5 segundos.

■

PROBLEMA 6.4 El computador de una empresa conservera se utiliza de manera interactiva por los 45 empleados que tiene en plantilla. Si el tiempo medio de reflexión es de 17 segundos y su productividad de 2,5 peticiones por segundo, ¿cuál es el tiempo medio de respuesta de cada interacción?

SOLUCIÓN: El tiempo medio de respuesta de cada interacción es de 1 segundo.

■

PROBLEMA 6.5 Durante una sesión de medida de media hora un monitor software ha extraído las siguientes variables operacionales básicas de un servidor web:

| Variable | Valor |
|-----------------|----------------|
| A (arrivals) | 364 peticiones |
| C (completions) | 359 peticiones |
| B (busy time) | 23 minutos |

A partir de la información anterior calcule las siguientes variables operacionales deducidas del servidor web: tasa de llegada, productividad, utilización y tiempo medio de servicio. No olvide expresar las unidades de cada variable.

SOLUCIÓN: $\lambda = 12,13$ peticiones/minuto, $X = 11,97$ peticiones/minuto, $U = 0,77$ y $S = 3,84$ segundos/petición. ■

PROBLEMA 6.6 El sistema informático dedicado a la atención al cliente de una empresa de comestibles se puede modelar mediante una red de colas abierta con un procesador y dos unidades de disco. El comportamiento de cada petición se asemeja al modelo de servidor central. Se sabe que los tiempos de respuesta (expresados en milisegundos) y las razones de visita de estas estaciones son los siguientes:

| Estación | V_i | R_i |
|------------|-------|-------|
| Procesador | 7 | 4,3 |
| Disco 1 | 2 | 1,5 |
| Disco 2 | 4 | 2,3 |

Determine el tiempo medio de respuesta de una petición a este sistema informático. Si el número medio de peticiones activas en el sistema es 80, ¿cuál es la tasa de llegadas que soporta?

SOLUCIÓN: El tiempo de respuesta del sistema es 42,3 ms y la tasa de llegadas es 1,89 peticiones/ms. ■

PROBLEMA 6.7 El subsistema de disco de un servidor dedicado a comercio electrónico se ha monitorizado durante 120 segundos. El monitor ha permitido saber que, de este tiempo, el subsistema ha estado activo durante 78 segundos; además, se han producido 84 peticiones de acceso, de las cuales se han servido 82. En base a esta información determine:

1. Error cometido al suponer que se cumple la hipótesis del flujo equilibrado de trabajos, la productividad del subsistema de disco y la utilización del subsistema de disco.

Por otro lado, se sabe que cada interacción con el servidor provoca un número medio de 5 visitas al subsistema de disco y que el número medio de peticiones activas en el servidor es de 13. A partir de estos datos calcule:

2. La productividad del servidor y el tiempo medio de respuesta de una interacción con el servidor.

SOLUCIÓN:

1. Respecto del subsistema de disco: el error es del 2,4 %, la productividad es 0,68 peticiones/segundo y la utilización 0,65.
2. Respecto del servidor: la productividad es 0,136 peticiones/segundo y el tiempo medio de respuesta 95,58 segundos.

PROBLEMA 6.8 El sitio web de una empresa dedicada a productos de deporte recibe una media de 450 visitas por minuto. De todas estas visitas únicamente el 20% hace un pedido de material en firme. Cada uno de estos pedidos se procesa en el servidor mediante un script escrito en PHP y provoca, por término medio, una demanda de procesador de 0,6 segundos.

1. Calcule la utilización media del procesador debida al procesamiento de pedidos.
2. ¿Cuál sería la nueva utilización del procesador si un nuevo diseño del programa PHP permite mejorar su tiempo de ejecución 2,5 veces?

SOLUCIÓN: La utilización del procesador es 0,9. Con la mejora introducida la nueva utilización es de 0,36. ■

PROBLEMA 6.9 Un servidor web recibe, por término medio, 4 peticiones por segundo. El comportamiento de las peticiones se asemeja al modelo del servidor central. Los tiempos de servicio y de respuesta (expresados en segundos), así como las razones de visita a los dispositivos de este sistema se indican en la siguiente tabla:

| Dispositivo | V_i | S_i | R_i |
|----------------|-------|-------|--------|
| Procesador (1) | 8 | 0,01 | 0,0147 |
| Disco (2) | 4 | 0,04 | 0,1111 |
| Disco (3) | 3 | 0,03 | 0,0469 |

A partir de la información anterior determine:

1. La demanda de servicio de cada dispositivo (D_i).
2. El tiempo de respuesta del servidor web (R_0).
3. El número medio de peticiones en el servidor web (N_0).
4. La productividad de cada dispositivo (X_i).
5. La utilización de cada dispositivo (U_i).

SOLUCIÓN:

1. $D_1 = 0,08$, $D_2 = 0,16$, $D_3 = 0,09$ (expresados en segundos).
2. $R_0 = 0,7027$ segundos.
3. $N_0 = 2,8108$ peticiones.
4. $X_1 = 32$, $X_2 = 16$, $X_3 = 12$ (expresados en peticiones/s).
5. $U_1 = 0,32$, $U_2 = 0,64$, $U_3 = 0,36$. ■

PROBLEMA 6.10 Se sabe que la productividad máxima de un sistema informático es de 25 peticiones por segundo. Un monitor software instalado en el mismo ha permitido conocer que la demanda de servicio del procesador es de 0,02 segundos; sin embargo, un problema de compatibilidad binaria ha impedido medir la demanda de servicio del disco, el cual parece estar dando problemas de congestión. ¿Podría indicar cuánto vale esta demanda?

SOLUCIÓN: La demanda de servicio del disco es 0,04 segundos/petición por ser éste el cuello de botella. ■

PROBLEMA 6.11 Consideremos un sistema informático interactivo 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 (s) |
|----------------|-----------------|------------------------|
| Procesador (1) | 7 | 0,1 |
| Disco (2) | 3 | 0,025 |
| Disco (3) | 1 | 0,050 |
| Disco (4) | 2 | 0,035 |

Los trabajos que sirve el sistema siguen el modelo de comportamiento del servidor central. El número de usuarios conectados es de 10 y su tiempo medio de reflexión de 6 segundos.

1. Calcúlense las demandas de servicio de cada dispositivo.
2. Si la productividad del sistema informático es de 1,1970 trabajos por segundo, ¿cuál es el número medio de trabajos que están en reflexión?
3. ¿Cuántos trabajos activos hay en el sistema?
4. ¿Cuál es el tiempo de respuesta del sistema informático?
5. Calcúlense, para cada dispositivo del sistema, la productividad y la utilización.

SOLUCIÓN:

1. $D_1 = 0,7$, $D_2 = 0,075$, $D_3 = 0,05$, $D_4 = 0,07$ (expresados en segundos/trabajo).
2. Hay 7,182 usuarios en reflexión.
3. En el sistema hay 2,818 trabajos activos.
4. El tiempo medio de respuesta es 2,35 segundos.
5. Productividades: $X_1 = 8,379$, $X_2 = 3,591$, $X_3 = 1,197$, $X_4 = 2,394$ (expresados en trabajos/s).
Utilizaciones: $U_1 = 0,8379$, $U_2 = 0,09$, $U_3 = 0,06$, $U_4 = 0,08$.

■

PROBLEMA 6.12 Los parámetros del modelo de un sistema informático transaccional (red abierta) son los siguientes (los tiempos se expresan en milisegundos):

| Dispositivo | Si | Vi |
|----------------|-----|----|
| Procesador (1) | 0,4 | 9 |
| Disco (2) | 0,5 | 8 |

La tasa de llegadas al sistema es de 0,15 transacciones por milisegundo.

1. Identifique el cuello de botella del sistema.
2. ¿Cuál es la utilización del cuello de botella?
3. Calcule la productividad máxima del sistema.
4. Determine el tiempo mínimo de respuesta de una transacción.

SOLUCIÓN: El cuello de botella del sistema es el disco y su utilización es 0,6. La productividad máxima del sistema es 0,25 transacciones/ms y el tiempo mínimo de respuesta de una transacción es 7,6 ms. ■

PROBLEMA 6.13 Considere la siguiente parametrización del modelo de un sistema informático interactivo con 25 usuarios y un tiempo medio de reflexión de 6 segundos (los tiempos de la tabla se expresan en segundos):

| Dispositivo | S_i | V_i |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,5 | 4 |
| Cinta (2) | 0,75 | 3 |

1. Identifique el cuello de botella.
2. Determine el tiempo mínimo de respuesta del sistema.
3. ¿Cuál es el punto teórico de saturación?
4. Indique las ecuaciones de las asíntotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad.
5. Si la productividad del sistema es 0,44 trabajos/segundo, calcule el tiempo medio de respuesta del sistema.

SOLUCIÓN:

1. El cuello de botella es la cinta.
2. El tiempo mínimo de respuesta es 4,25 segundos.
3. El punto teórico de saturación es $N_T^* = 4,55$ trabajos.
4. Las asíntotas son $R_0^{\min} = \max\{4,25, 2,25 \times N_T - 6\}$ y $X_0^{\max} = \min\{N_T/10,25, 0,44\}$.
5. El tiempo medio de respuesta del sistema es 50,81 s.

■

PROBLEMA 6.14 Considere la siguiente información referida al modelo de un sistema informático donde los tiempos se expresan en milisegundos:

| Dispositivo | S_i | V_i |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,5 | 29 |
| Disco (2) | 0,3 | 13 |
| Disco (3) | 2,4 | 15 |

El sistema recibe una media de 18 peticiones por segundo durante el mediodía, que corresponde al segmento de horario con mayor actividad. Calcule:

1. El tiempo mínimo de respuesta de una petición.
2. El tiempo medio de respuesta de cada estación.
3. El tiempo medio de respuesta del sistema.
4. La mejora obtenida en el tiempo medio de respuesta del sistema si se substituye el disco más lento por uno idéntico al rápido.

SOLUCIÓN:

1. El tiempo mínimo de respuesta es 54,4 ms.
2. $R_1 = 0,68$, $R_2 = 0,32$, $R_3 = 6,82$ (expresado en ms).
3. El tiempo medio de respuesta del sistema es $R_0 = 126,1$ ms.
4. El tiempo medio de respuesta mejora 4,39 veces.

■

PROBLEMA 6.15 El equipo de informáticos de una gran empresa tiene dos alternativas para implementar el subsistema de discos de la base de datos a la que se accede a través de una página web: un único disco con tiempo de servicio de 0,03 segundos, o tres discos idénticos con tiempo de servicio de 0,09 segundos. Cada petición recibida en el servidor web provoca 36 visitas al subsistema de discos. Determine y justifique numéricamente qué opción de las dos anteriores conseguirá mayor productividad. Nota: suponga que el sistema de discos es el dispositivo cuello de botella y que, en el segundo caso, las visitas se reparten equitativamente entre los tres discos.

SOLUCIÓN: Si en los dos casos el sistema de discos es el cuello de botella, la productividad máxima del sistema viene determinada por la inversa de la demanda de servicio de este dispositivo. En el primer caso la demanda del disco es $36 \times 0,03 = 1,08$ segundos; en el segundo, la demanda de cualquiera de los tres discos es $12 \times 0,09 = 1,08$ segundos. Por tanto, las dos opciones ofrecen la misma productividad máxima. ■

PROBLEMA 6.16 Considere que en el supuesto del problema anterior el procesador del servidor web tiene un tiempo de servicio de 0,01 segundos y una razón de visita de 37. Si el servidor web recibe una media de 0,5 peticiones por segundo determine, para cada configuración del sistema de discos, la siguiente información sobre las prestaciones del servidor web:

1. Cuello de botella.
2. Productividad máxima.
3. Tiempo mínimo de respuesta.
4. Tiempo medio de respuesta.

Atendiendo al tiempo medio de respuesta, ¿cuál es la mejor opción? ¿Qué mejora se consigue?

SOLUCIÓN:

1. En el primer caso el cuello de botella es el disco. La productividad máxima es 0,926 peticiones por segundo. El tiempo mínimo de respuesta es 1,45 s, y su valor medio es 2,8 s.
2. En el segundo caso los tres discos actúan como cuellos de botella. La productividad máxima tiene el mismo valor que el caso anterior.
3. El tiempo mínimo de respuesta es 3,61 s,
4. y su valor medio es 7,5 s.

Atendiendo al tiempo de respuesta es preferible disponer de un único disco tres veces más rápido que tres discos lentos; la mejora conseguida en este índice es 2,7. ■

PROBLEMA 6.17 Un sistema interactivo con 30 usuarios y un tiempo medio de reflexión de 12 segundos se modela mediante los siguientes parámetros (los tiempos se expresan en segundos):

| Dispositivo | S_i | V_i |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,01 | 11 |
| Disco (2) | 0,05 | 3 |
| Disco (3) | 0,08 | 7 |

Determine:

1. El cuello de botella del sistema.
2. La productividad máxima y el punto teórico de saturación.
3. Las asíntotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad.
4. Número medio de trabajos en reflexión.
5. Calcule la mejora obtenida en el tiempo medio de respuesta si se equilibran las demandas de servicio de los dos discos.

SOLUCIÓN:

1. El cuello de botella es el segundo disco (dispositivo número 3).
2. La productividad máxima es 1,79 peticiones/s y $N_T^* = 22,89$ usuarios.
3. Las asíntotas son $R_0^{\min} = \max\{0,82, 0,56 \times NT - 12\}$ y $X_0^{\max} = \min\{NT/12,82, 1,79\}$.
4. 20.98 trabajos.
5. Para equilibrar las demandas de servicio de los discos hacemos $V_2 = 6,1$ y $V_3 = 3,9$. La mejora en el tiempo medio de respuesta es 2,9.

■

PROBLEMA 6.18 Las asíntotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad de un sistema informático interactivo son:

$$R_0^{\min} = \max\{0.49, 0.22 \times N_T - 5\}$$

$$X_0^{\max} = \min\left\{\frac{N_T}{5.49}, 4.55\right\}$$

Considere que el tiempo se expresa en segundos. A partir de la información anterior indique:

1. Tiempo de reflexión.
2. Tiempo mínimo de respuesta.
3. Punto teórico de saturación.
4. ¿Cuál es el tiempo medio de respuesta que se podría esperar con 100 usuarios? Justifique la respuesta.
5. Si hubiera 18 usuarios en el sistema, ¿sería posible obtener un tiempo de respuesta de 0,35 segundos? ¿Por qué?

SOLUCIÓN:

1. El tiempo de reflexión es $Z = 5$ segundos.
2. El tiempo mínimo de respuesta es 0,49 segundos.
3. El punto teórico de saturación es $N_T^* = 24,95$ usuarios.
4. El tiempo medio de respuesta esperable es de poco más de 17 segundos.
5. No, porque la asíntota optimista para este número de usuarios está situada en los 0,49 segundos.

■

PROBLEMA 6.19 Considere el sistema informático por lotes ($Z = 0$) con 15 trabajos modelado con los siguientes parámetros (los tiempos se expresan en segundos):

| Dispositivo | S_i | V_i |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,016 | 5 |
| Disco (2) | 0,02 | 4 |

Justifique numéricamente qué opción de las dos que se indican representa la mejor elección para mejorar el rendimiento del sistema: substituir el procesador por uno dos veces más rápido o substituir el disco por otro con un tiempo medio de servicio de 0,01 milisegundos.

SOLUCIÓN: Ambas opciones sobre el sistema ofrecen el mismo grado de mejora en el tiempo medio de respuesta del sistema. Se trata de un sistema equilibrado (todos los dispositivos tienen la misma demanda de servicio). ■

PROBLEMA 6.20 Considere un servidor web que recibe una media de 0,3 peticiones por segundo y es modelado con los siguientes parámetros (los tiempos de la tabla se expresan en segundos):

| Dispositivo | S_i | V_i |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,2 | 15 |
| Disco (2) | 0,07 | 6 |
| Disco (3) | 0,02 | 8 |

Después de apurar su copa de vino, una informática avezada en temas de modelado y evaluación de rendimiento hace estas confesiones a sus compañeros de cena respecto del modelo anterior:

1. Si se substituye el procesador por uno dos veces y media más rápido, el tiempo medio de respuesta del servidor web mejora más del 1100 %.
2. Si se equilibra la demanda de servicio de los dos discos, entonces el tiempo medio de respuesta del servidor web mejora un 0,6 %.

¿Ha afectado la ingesta de alcohol la mente despierta de nuestra protagonista? Justifique numéricamente la respuesta.

SOLUCIÓN: Las dos predicciones son correctas. En el primer caso la mejora obtenida es 12,14 y en el segundo es 1,006. ■

PROBLEMA 6.21 Los usuarios de un sitio web de un afamado grupo de música se han quejado formalmente al administrador (*webmaster*) debido a los altos tiempos de respuesta que experimentan; incluso, afirman, a veces el servidor se muestra incapaz de responder a las peticiones y no tienen más remedio que cerrar el navegador. El administrador aduce en su defensa que, tras analizar los datos ofrecidos por su monitor de actividad preferido, la demanda de servicio del cuello de botella es solo de 4 segundos. Por tanto, afirma, el sistema puede admitir hasta 20 peticiones por minuto, valor suficiente para atender a todos los usuarios del sitio; el problema, añade, está en la configuración de los navegadores de los usuarios. ¿Tiene base científica la afirmación del administrador? Justifique la respuesta.

SOLUCIÓN: El administrador no tiene razón porque la productividad máxima que soporta el sitio web es de 15 peticiones por minuto. ■

PROBLEMA 6.22 El informático responsable de la instalación de una empresa dedicada a la venta de billetes de avión de bajo coste ha modelado el servidor web que atiende a los clientes utilizando técnicas del análisis operacional. Este modelo comprende el procesador y dos discos; los parámetros relevantes del mismo se muestran a continuación:

| Dispositivo | Tiempo de servicio (s) | Razón de visita |
|----------------|------------------------|-----------------|
| Procesador (1) | 0,01 | 9 |
| Disco (2) | 0,02 | 4 |
| Disco (3) | 0,02 | 4 |

En las horas de máxima actividad el sitio web ha llegado a recibir una media de 11 peticiones por segundo. Responda a las siguientes cuestiones justificando numéricamente la respuesta.

1. Desde el punto de vista del reparto de la carga entre los componentes del servidor web, ¿estamos ante un sistema equilibrado?
2. Indique si el sistema está sometido a alta o baja carga.
3. ¿Cuál es el tiempo mínimo de respuesta de este servidor web?
4. ¿Podríamos aumentar la productividad máxima (capacidad) del sistema si sustituimos ambos discos por versiones más rápidas?
5. Determine el tiempo medio de respuesta del sistema.
6. ¿Cambiaría la localización del cuello de botella si la tasa de llegadas bajara hasta las 5 peticiones por segundo?
7. Dibuje una gráfica en la que se represente la evolución del tiempo medio de respuesta del sistema en función de la tasa de llegada de trabajos. Indique los puntos más representativos de la curva.

SOLUCIÓN:

1. El sistema está cerca del equilibrio porque las demandas son parecidas: $D_1 = 0,09$ y $D_2 = D_3 = 0,08$ segundos/petición.
2. La carga del sistema es elevada porque el cuello de botella está cerca de la saturación.
3. El tiempo mínimo de respuesta es 0,25 segundos.
4. No porque el cuello de botella es el procesador.
5. El tiempo medio de respuesta es 10,3 segundos.
6. No porque la disminución de la carga afecta a todo el sistema, no solamente al cuello de botella.

PROBLEMA 6.23 El sistema informático de una empresa, al que se conectan unos 32 usuarios de media, parece que tiene problemas para soportar la carga actual. El administrador ha calculado los siguientes límites optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad:

$$R_0^{min} = \max\{1.6, \quad 1.1 \times N_T - 4\}$$

$$X_0^{max} = \min\left\{\frac{N_T}{5.6}, \quad 0.91\right\}$$

1. El sistema, ¿está realmente soportando una carga elevada?
2. Haga una estimación del tiempo medio de respuesta del sistema en las condiciones actuales

SOLUCIÓN:

1. La carga es elevada porque el punto teórico de saturación está situado en los 6 usuarios y en el sistema hay 32 usuarios conectados.
2. El tiempo medio de respuesta del sistema estará situado ligeramente por encima de los 31,2 segundos (parte derecha de la asíntota).

PROBLEMA 6.24 El proceso de modelado de un sistema informático mediante técnicas de análisis operacional ha dado los siguientes parámetros:

| Dispositivo | Tiempo de servicio (s) | Razón de visita |
|----------------|------------------------|-----------------|
| Procesador (1) | 0,15 | 6 |
| Disco (2) | 0,05 | 5 |

El sistema recibe una media de 1,05 peticiones por segundo. Responda a las siguientes cuestiones justificando numéricamente la respuesta.

1. Indique si el sistema está sometido a alta o baja carga.
2. Si se sabe que la productividad del procesador es de 6,3 trabajos por segundo, ¿cuál es el número medio de trabajos en esta estación?
3. Calcule el tiempo medio de respuesta del sistema.
4. ¿Tendría algún efecto sobre las prestaciones sustituir el procesador por una versión más rápida?
5. Determine cuál sería el cuello de botella del sistema si el procesador y el disco se sustituyen, respectivamente, por versiones 5 y 2 veces más rápidas.

SOLUCIÓN:

1. La carga es alta porque la tasa de llegadas está cerca de su valor máximo de 1,11 peticiones por segundo.
2. En el procesador hay una media de 17,18 trabajos.
3. El tiempo medio de respuesta es de 16,7 segundos.
4. Sí porque el procesador es el cuello de botella del sistema.
5. En este caso el cuello de botella seguirá siendo el procesador.

■

PROBLEMA 6.25 Un sistema interactivo con 3 usuarios y un tiempo medio de reflexión de 5 segundos se modela mediante los siguientes parámetros (los tiempos se expresan en segundos):

| Dispositivo | S_i | V_i |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,01 | 15 |
| Disco (2) | 0,04 | 8 |
| Disco (3) | 0,08 | 6 |

Determine:

1. Las utilizaciones de cada dispositivo.
2. El tiempo medio de respuesta y la productividad del sistema (usando el algoritmo iterativo para redes cerradas).

SOLUCIÓN:

1. $U_1=0.074$, $U_2=0.158$, $U_3=0.237$.
2. $R_0=1.077$ segundos, $X_0=0.49$ trabajos/s.

■