

# Estructuras de interconexión

## Boletín de ejercicios

### 1. Conexiones

**PROBLEMA 1** Calcule el ancho de banda de las conexiones siguientes:

1. Una conexión serie que trabaja a una frecuencia de reloj de 1 GHz y transmite un bit en cada ciclo. La conexión codifica cada byte en 12 bits para detectar y corregir errores.
2. Una conexión paralela de 16 bits que trabaja a una frecuencia de reloj de 100 MHz, de forma que en cada ciclo de reloj transmite dos palabras (una en el flanco ascendente y otra en el flanco descendente).
3. Una conexión paralela de 16 bits que trabaja a una frecuencia de reloj de 500 MHz, de forma que en cada dos ciclos de reloj transmite una palabra (un ciclo para transmisión y otro ciclo para confirmación).

**SOLUCIÓN:**

1. El ancho de banda de la conexión será de

$$\text{Ancho de banda} = 1 \cdot 10^9 \text{ ciclos/segundo} \times \frac{1 \text{ bit/ciclo}}{12 \text{ bits/byte}} = 83,3 \text{ MBps}$$

2. Ancho de banda de la conexión paralela será

$$\text{Ancho de banda} = 100 \cdot 10^6 \text{ ciclos/segundo} \times \frac{16 + 16 \text{ bits/ciclo}}{8 \text{ bits/byte}} = 400 \text{ MBps}$$

3. El ancho de banda de la conexión será de

$$\text{Ancho de banda} = 500 \cdot 10^6 \text{ ciclos/segundo} \times \frac{16/2 \text{ bits/ciclo}}{8 \text{ bits/byte}} = 500 \text{ MBps}$$

■

**PROBLEMA 2** Se ha medido que cierto procesador MIPS R2000 trabaja en las siguientes condiciones:

- Frecuencia de reloj = 1 GHz
- Memoria principal organizada en bloques de 16 Bytes
- Memoria cache de un nivel, separada en instrucciones (32 KB) y datos (32 KB)
- Tasa de aciertos de la memoria cache de instrucciones = 0.95
- Tasa de aciertos de la memoria cache de datos = 0.90
- CPI = 1.25 ciclos
- El 30 % de las instrucciones que ejecuta el procesador acceden a la memoria de datos (es decir, son del tipo *load/store*)

Ha de calcular el consumo del ancho de banda de la conexión con la memoria que hace el procesador. Calcule:

1. El número de accesos a la memoria cache de instrucciones por segundo

2. El número de fallos por segundo en la memoria cache de instrucciones
3. El número de accesos a la memoria cache de datos por segundo
4. El número de fallos por segundo en la memoria cache de datos
5. El número de bloques de memoria intercambiados entre el procesador y la memoria en un segundo
6. El ancho de banda de la conexión consumido por el procesador

**SOLUCIÓN:**

1. El número de accesos a la memoria cache de instrucciones que hace en un segundo es el número de instrucciones ejecutadas por segundo:

$$\frac{1 \cdot 10^9 \text{ ciclos/segundo}}{1,25 \text{ ciclos/instrucción}} = 800 \cdot 10^6 \text{ instrucciones/segundo}$$

2. Fallos por segundo (instrucciones)

$$800 \cdot 10^6 \text{ accesos/segundo} \times 0,05 \text{ fallos/acceso} = 40 \cdot 10^6 \text{ fallos/segundo}$$

3. El número de accesos a la memoria cache de datos por segundo

$$800 \cdot 10^6 \text{ instrucciones/segundo} \times 0,3 \text{ accesos/instrucción} = 240 \cdot 10^6 \text{ accesos/segundo}$$

4. Fallos por segundo (datos)

$$240 \cdot 10^6 \text{ accesos/segundo} \times 0,10 \text{ fallos/acceso} = 24 \cdot 10^6 \text{ fallos/segundo}$$

5. El número de bloques de memoria intercambiados entre el procesador y la memoria es el número total de fallos de la memoria cache

$$40 \cdot 10^6 + 24 \cdot 10^6 = 64 \cdot 10^6 \text{ bloques/segundo}$$

6. El ancho de banda de la conexión consumido por el procesador será

$$64 \cdot 10^6 \text{ bloques/segundo} \times 16 \text{ bytes/bloque} = 1024 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo} = 1024 \text{ MBps}$$

■

---

**PROBLEMA 3** Una cámara de vídeo suministra imágenes no comprimidas con una frecuencia de 24 imágenes por segundo. Cada imagen consta de  $1024 \times 768$  píxeles, donde cada píxel se codifica utilizando 24 bits. A esta cámara debe añadirse una conexión a un computador.

1. ¿Cuál es el ancho de banda de la conexión (en Mbps) mínima para transmitir las imágenes?
2. ¿Cuál o cuáles de las siguientes conexiones de entrada/salida estándar son adecuadas?
  - Conexión *USB* versión 1.1, con un ancho de banda de 12 Mbps
  - Conexión *USB* versión 2.0, con un ancho de banda de 480 Mbps
  - Conexión *Firewire* (IEEE 1394) con un ancho de banda de 400 Mbps
  - Conexión *Firewire* con un ancho de banda de 800 Mbps

**SOLUCIÓN:**

1. Cálculo del ancho de banda de la imagen de vídeo: Se trata de transmitir imágenes de 1024 píxels de ancho por 768 píxels d'altura. Para especificar un píxel hacen falta 24 bits; en consecuencia, cada imagen supone un volumen de  $1024 \times 768 \times 24 = 18874368$  bits. Como hay que transmitir 24 imágenes por segundo, el mínimo ancho de banda será  $B = 18874368 \times 24 = 452984832 = 453$  Mbps
2. Sólo sirven las conexiones *USB 2.0* y *Firewire* de 800 Mbps

■

**PROBLEMA 4** Un bus paralelo funciona a una frecuencia de reloj de 100 MHz y transfiere 32 bits de datos en cada ciclo. Se pide:

1. Indique el ancho de banda del bus.
2. Se pretende reproducir una película mediante un proyector conectado a ese mismo bus. La película tiene un formato de imagen de  $1280 \times 1024$  píxeles y cada píxel se representa con un número de 32 bits. La reproducción se ha de hacer a 25 imágenes por segundo. Calcule el ancho de banda requerido por la película y determine si el bus es adecuado para transmitirla.

**SOLUCIÓN:**

1. El ancho de banda  $B_D$  disponible en este bus paralelo se calcula así:

$$B_D = 100 \cdot 10^6 \text{ ciclos/s} \cdot \frac{32 \text{ bits/ciclo}}{8 \text{ bits/byte}} = 400 \cdot 10^6 \text{ Bps} = 400 \text{ MBps}$$

2. El ancho de banda  $B_R$  requerido para la reproducción de la película es:

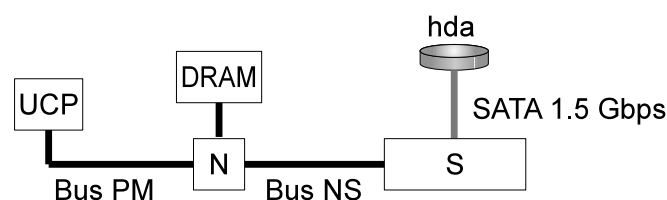
$$B_R = 25 \text{ imágenes/segundo} \cdot (1280 \times 1024) \text{ píxeles/imagen} \cdot 4 \text{ bytes/píxel} = 131,072 \text{ MB/s}$$

Por lo tanto el bus es adecuado, ya que ofrece un ancho de banda superior a  $B_R$ .

■

## 2. Transferencias en el computador

**PROBLEMA 5** Cierta programa de análisis estadístico ha de leer datos para hacer cálculos con ellos. Se ha visto que cada segundo lee 10 MB de datos del disco duro *hda* y los procesa. El programa se ejecuta en un computador con la estructura que muestra la figura 1. Los anchos de banda máximos de los componentes significativos del equipo son:



**Figura 1:** Estructura del computador del problema 5

- Memoria DRAM: 1000 MBps
- Bus NS: 500 MBps
- Bus SATA 1.5 Gbps: 150 MBps
- Disco *hda*: 80 MBps

1. Calcule el tiempo necesario para leer un archivo de 1 GB de datos y el porcentaje de ancho de banda consumido por la transferencia en todos los componentes implicados.
2. Si cambiamos el procesador por otro tan rápido que hace el tiempo de cálculo despreciable, el programa leerá a la máxima velocidad posible. Cuál será el tiempo de transferencia y el consumo de ancho de banda?

### SOLUCIÓN:

1. Tiempo necesario para leer el archivo:

$$\text{Tiempo de transferencia} = \frac{10^9 \text{ bytes}}{10 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} = 100 \text{ segundos}$$

Los dispositivos implicados en la transferencia forman una cadena que comprende su origen (el disco), el final (la memoria principal) y las conexiones que forman el camino (los buses NS y SATA). Cada dispositivo soporta un ancho de banda máximo. Como es habitual en la jerarquía del computador moderno, cuanto más cerca del procesador y de la memoria, los dispositivos son más rápidos:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{hdb} & & \text{Bus SATA} & & \text{Bus NS} & & \text{DRAM} \\ 80 \text{ MBps} & \Rightarrow & 150 \text{ MBps} & \Rightarrow & 500 \text{ MBps} & \Rightarrow & 1000 \text{ MBps} \end{array}$$

La transferencia consume 10 MBps de ancho de banda en todos los dispositivos implicados; el consumo relativo baja conforme nos acercamos a la memoria:

Disc <i>hda</i> :	Bus SATA:	BUS NS:	DRAM:
$\frac{10}{80} = 12,5 \%$	$\frac{10}{150} = 6,7 \%$	$\frac{10}{500} = 2 \%$	$\frac{10}{1000} = 1 \%$

2. Con tiempo de cálculo despreciable, la velocidad de transferencia viene limitada por el elemento más lento de la cadena, el disco *hda*. Por lo tanto, el tiempo necesario será:

$$\text{Tiempo mínimo de transferencia} = \frac{10^9 \text{ bytes}}{80 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} = 12,5 \text{ segundos}$$

A 80 MBps, el consumo de ancho de banda crece para aprovechar el 100 % del disco

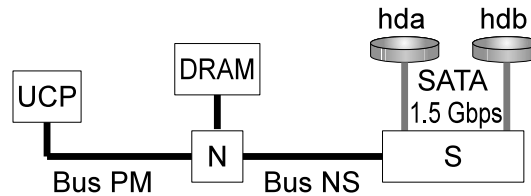
Disco <i>hda</i> :	Bus SATA:	BUS NS:	DRAM:
$\frac{80}{80} = 100 \%$	$\frac{80}{150} = 53,3 \%$	$\frac{80}{500} = 16 \%$	$\frac{80}{1000} = 8 \%$

■

**PROBLEMA 6** Queremos comprimir un archivo *apuntes.txt* de  $200 \cdot 10^6$  bytes, guardando el resultado en el archivo *cursopasado.zip*, con un programa de compresión que reduce su volumen a 40 MB, (el 20 % del original). El computador tiene la estructura que muestra la figura 2.

Los anchos de banda máximos significativos son:

- Disco *hda*: 100 MBps
- Disco *hdb*: 60 MBps
- Bus NS: 500 MBps
- Buses SATA: 150 MBps



**Figura 2:** Estructura del computador de los problemas 6 y 7

- Memoria DRAM: 1 GBps
- Bus PM : 1 GBps

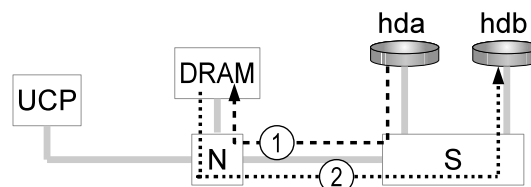
Suponga que el tiempo de cálculo es despreciable y que el tiempo de ejecución del compresor se dedica sólo a las transferencias entre los discos y la memoria principal. Desprecie también las latencias de posicionamiento y de giro de los discos duros. Si no se dice lo contrario, considere que mientras se ejecuta el compresor no hay ninguna otra transferencia en el computador y que el tráfico entre el procesador y la memoria es despreciable.

Calcule el mínimo tiempo que cuesta hacer la operación en los casos siguientes:

1. El archivo *apuntes.txt* está en el disco *hda* y *cursopasado.zip* en el disco *hdb*.
2. Los dos archivos están en el disco *hda*.
3. Los dos archivos están en el disco *hda* pero, además, durante la ejecución del compresor el tráfico entre la UCP y la memoria principal es de 920 MBps y la UCP tiene prioridad sobre los periféricos al acceder a la DRAM

### SOLUCIÓN:

1. La operación comprende dos transferencias: (1) leer *apuntes.txt* en *hda* y (2) escribir *cursopasado.zip* en *hdb*. (Vea la figura 3)



**Figura 3:** Transferencias entre *hda* y *hdb* (problema 6, apartado 1)

La transferencia (1) implica los elementos siguientes:

$$\begin{array}{ccccccc} hda & & \text{Bus SATA} & & \text{Bus NS} & & \text{DRAM} \\ 100 \text{ MBps} & \Rightarrow & 150 \text{ MBps} & \Rightarrow & 500 \text{ MBps} & \Rightarrow & 1000 \text{ MBps} \end{array}$$

donde el elemento más lento es el disco *hda*. Así que el ancho de banda de la cadena de transferencias necesarias para leer *apuntes.txt* será de 100 MBps. Por lo tanto, el mínimo tiempo en el que puede hacerse la transferencia (1) será

$$\text{Tiempo mínimo (1)} = \frac{200 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{100 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} = 2 \text{ segundos}$$

La transferencia (2), por su parte, implica

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DRAM} & & \text{Bus NS} & & \text{Bus SATA} & & hdb \\ 1000 \text{ MBps} & \Rightarrow & 500 \text{ MBps} & \Rightarrow & 150 \text{ MBps} & \Rightarrow & 60 \text{ MBps} \end{array}$$

Ahora, el elemento más lento es *hdb* y el ancho de banda de la cadena de transferencias necesarias para escribir *cursopasado.txt* será de 60 MBps. Como el archivo *cursopasado.txt* contiene  $40 \cdot 10^6$  bytes, el tiempo mínimo para la escritura será:

$$\text{Tiempo mínimo (2)} = \frac{40 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{60 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} = 0,67 \text{ segundos}$$

Si consideramos que el proceso se hace **en serie** (primero se hace la transferencia (1) y después la transferencia (2)), el tiempo mínimo total será de 2,67 segundos. El consumo de ancho de banda de los dispositivos en cada transferencia será:

Transferencia (1)					
DRAM:	Bus NS:	SATA (a):	Disc <i>hda</i> :	SATA (b):	Disc <i>hdb</i> :
$\frac{100}{1000} = 10\%$	$\frac{100}{500} = 20\%$	$\frac{100}{150} = 6,7\%$	$\frac{100}{100} = 100\%$	$\frac{0}{150} = 0\%$	$\frac{0}{60} = 0\%$

Transferencia (2)					
DRAM:	Bus NS:	SATA (a):	Disc <i>hda</i> :	SATA (b):	Disc <i>hdb</i> :
$\frac{60}{1000} = 6\%$	$\frac{60}{500} = 12\%$	$\frac{0}{150} = 0\%$	$\frac{0}{100} = 0\%$	$\frac{60}{150} = 40\%$	$\frac{60}{60} = 100\%$

Podemos también considerar que las dos transferencias son **concurrentes**. Hay que suponer que el compresor abre al principio los dos archivos (*apuntes.txt* para lectura y *cursopasado.zip* para escritura) y comienza a leer, procesar y escribir desde el principio. Lea escrituras dependen de las lecturas, así que si ambas transferencias comienzan y acaban al mismo tiempo, la velocidad de escritura será ahora:

$$\text{Velocidad transferencia (2)} = \frac{40 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{2 \text{ segundos}} = 20 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}$$

Sólo habrá que comprobar que la concurrencia es posible. Podemos hacerlo de dos maneras:

- Podemos ver cuál es el ancho de banda disponible para la transferencia (2) después de descontar el consumo que hace la transferencia (1) en la parte común del camino (DRAM y bus NS).

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DRAM} & & \text{Bus NS} & & \text{Bus SATA} & & \text{hdb} \\ 900\text{MBps} & \Rightarrow & 400 \text{ MBps} & \Rightarrow & 150 \text{ MBps} & \Rightarrow & 60 \text{ MBps} \end{array}$$

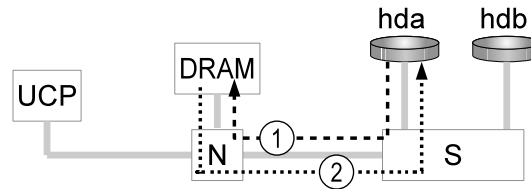
Con esta disponibilidad, es posible hacer la transferencia (2) mientras la transferencia (1) está en progreso.

- Otra manera es ver si el consumo de las dos transferencias no supera el máximo en la parte común:

Transferencias (1) y (2)					
DRAM:	Bus NS:	SATA (a):	Disco <i>hda</i> :	SATA (b):	Disco <i>hdb</i> :
$\frac{120}{1000} = 12\%$	$\frac{120}{500} = 24\%$	$\frac{100}{150} = 66,7\%$	$\frac{100}{100} = 100\%$	$\frac{20}{150} = 13,3\%$	$\frac{20}{60} = 33,3\%$

Por tanto, es posible hacer las transferencias concurrentes y reducir el tiempo mínimo para la operación completa a 2 segundos.

En general, cuando hay ancho de banda disponible, el mejor caso es aquel en el que las dos transferencias se hacen a la vez. La concurrencia incrementa el consumo de ancho de banda de la DRAM y del bus NS y reduce el tiempo de transferencia.



**Figura 4:** Transferencias dentro del disco *hda* (problema 6, apartado 2)

2. Si los dos archivos están en *hda*, (vea la figura 4) las transferencias de lectura (1) y de escritura (2) ocuparán los mismos dispositivos. Operando **en serie**, la velocidad de lectura no varía respecto del apartado 1; pero la escritura se hace a 100 MBps:

$$\text{DRAM } 1000\text{MBps} \Rightarrow \text{Bus NS } 500 \text{ MBps} \Rightarrow \text{Bus SATA } 150 \text{ MBps} \Rightarrow \text{hda } 100 \text{ MBps}$$

El tiempo total será ahora:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo mínimo (serie)} &= \text{Tiempo mínimo (1)} + \text{Tiempo mínimo (2)} \\ &= \frac{200 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{100 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} + \frac{40 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{100 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} \\ &= 2 + 0,4 = 2,4 \text{ segundos} \end{aligned}$$

Probemos ahora a operar **en concurrencia** igual que hicimos en el apartado 1. Si descontamos el consumo que hace la transferencia (1) en todos los elementos del camino, el ancho de banda restante en el disco *hda* es 0. Esto pasa porque el elemento que limita la velocidad es común a las dos transferencias. Habrá que reducir el ancho de banda de las lecturas para operar en paralelo de forma óptima. Pero ¿cuanto?

Olvidándonos de momento del resto de elementos de la cadena, el tiempo mínimo para leer *apuntes.txt* y escribir *curso pasado.zip* en el disco es:

$$\text{Tiempo mínimo (disco)} = \frac{\text{Volumen total de datos}}{\text{Ancho de banda del disco}} = \frac{200 \cdot 10^6 + 40 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{100 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} = 2,4 \text{ segundos}$$

Este cálculo es independiente del orden de las operaciones de lectura y escritura (es decir, que da igual en serie que concurrentes). Por tanto, el tiempo de transferencia operando en serie es el menor posible.

**Cuando un dispositivo compartido limita la velocidad de transferencia, las concurrencia no mejora el ancho de banda total.**

Si las transferencias se hacen concurrentes, podremos estudiar el reparto del ancho de banda disponible entre las dos transferencias. Como las dos transferencias duran el mismo tiempo, si son regulares en el tiempo, la velocidad de cada una de ellas será:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad (lectura)} &= \frac{200 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{2,4 \text{ segundos}} = 83,3 \text{ MBps} \\ \text{Velocidad (escritura)} &= \frac{40 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{2,4 \text{ segundos}} = 16,7 \text{ MBps} \end{aligned}$$

Por tanto, cuando dos o más transferencias concurrentes entran en conflicto por el uso de un dispositivo común que las limita, el reparto del ancho de banda será proporcional a la demanda de cada una. La ocupación de los dispositivos será:

Transferencias (1) y (2)			
DRAM:	Bus NS:	SATA (a):	Disc <i>hda</i> :
$\frac{100}{1000} = 10\%$	$\frac{100}{500} = 20\%$	$\frac{100}{150} = 66,7\%$	$\frac{100}{100} = 100\%$

3. Si la UCP ocupa 920 MBps del ancho de banda de la memoria principal, sólo hay disponibles  $1000 - 920 = 80$  MBps para las transferencias. Estamos en el caso del apartado 2, pero la DRAM es el elemento que limita el tráfico con el disco. Así que

$$\begin{aligned}\text{Tiempo mínimo (disco)} &= \frac{\text{Volumen total de datos}}{\text{Ancho de banda restante de la DRAM}} \\ &= \frac{200 \cdot 10^6 + 40 \cdot 10^6 \text{ bytes}}{80 \cdot 10^6 \text{ bytes/segundo}} = 3 \text{ segundos}\end{aligned}$$

Si las lecturas y las escrituras son concurrentes, la transferencia (1) se hará a 66,7 MBps y la transferencia (2) a 13,3 MBps. Contando con el tráfico del procesador, las ocupaciones serán las siguientes:

DRAM:	Bus NS:	SATA (a):	Disc <i>hda</i> :
$\frac{1000}{1000} = 100\%$	$\frac{80}{500} = 16\%$	$\frac{80}{150} = 55,3\%$	$\frac{80}{100} = 80\%$

■

**PROBLEMA 7** Trabajando con el equipo del problema 6 (vea la figura 2) queremos descomprimir el archivo *cursopasado.zip* de 40 MB per recuperar el archivo *apuntes.txt* de  $200 \cdot 10^6$  bytes con el programa de descompresión correspondiente.

De nuevo, suponga que el tiempo de cálculo es despreciable y que el tiempo de ejecución del descompresor se dedica sólo a las transferencias entre los discos y la memoria principal. Las condiciones de ejecución (velocidad máxima de los dispositivos, latencias de los discos) son las mismas.

Calcule el mínimo tiempo que cuesta hacer la operación en los casos siguientes:

1. El archivo *cursopasado.zip* está en el disco *hdb* y *apuntes.txt* en *hda*
2. Los dos archivos están en el disco *hda*.
3. Los dos archivos están en el disco *hda* pero, además, durante la ejecución del descompresor el tráfico entre la UCP y la memoria principal es de 920 MBps y la UCP tiene prioridad sobre los periféricos al acceder a la DRAM

■

**PROBLEMA 8** El archivo *song.wav*, que reside en el disco *hda* del sistema de la figura 5, contiene 3 minutos exactos de audio en estéreo (2 canales), con codificación PCM de 44.100 Hz y cuantizado a 16 bits por muestra.

Se dispone de un programa que codifica archivos wav al formato mp3. El programa es capaz de codificar archivos a razón de 15 MBps (incluyendo lectura de la entrada desde memoria, compresión y escritura del resultado en memoria) y obtiene una tasa de compresión de 10:1, es decir, obtiene un mp3 de un décimo del tamaño del correspondiente archivo wav.

1. Calcule el tamaño del archivo *song.wav*. Expréselo en MB ( $10^6$  Bytes) sin despreciar ningún decimal.
2. Calcule el tiempo mínimo que costará codificar el archivo *song.wav* al archivo *song.mp3* sobre el disco externo *pendrive*. El proceso se hará completamente en serie, es decir, primero se lee *song.wav*, después se comprime en memoria y finalmente se escribe el resultado como *song.mp3* en el disco externo. Los buses y dispositivos involucrados tienen los siguientes anchos de banda máximos:

- Bus PM (Procesador-Memoria): 1 GBps
- Bus PCI: 533 MBps
- Bus ATA: 150 MBps



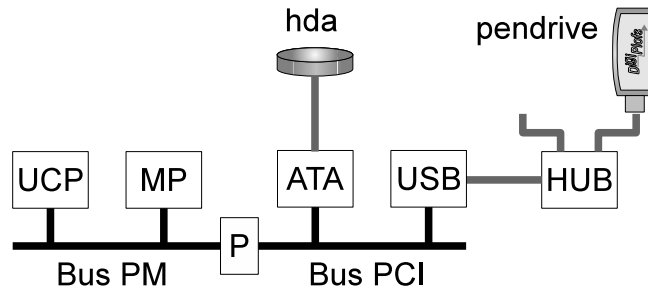


Figura 5: Sistema de referencia del problema 8

- Bus USB: 60 MBps
- Disco *hda*: 100 MBps
- Disco externo *pendrive*: 30 MBps

### SOLUCIÓN:

1. El tamaño  $T$  del archivo *song.wav* se obtiene multiplicando la frecuencia de muestreo por el número de bytes que ocupa cada muestra, por el número de canales y por la duración del audio:

$$T = 44100 \text{ Hz} \times 2 \text{ Bytes/muestra} \times 2 \text{ canales} \times 180 \text{ segundos} = 31752000 \text{ Bytes} = 31,752 \text{ MB}$$

2. La lectura de *song.wav* se hace a la mínima velocidad de los dispositivos implicados. Estos son: el propio disco *hda* (100 MBps), el bus ATA (150 MBps) y el bus PM (1 GBps). Por tanto, a 100 MBps. La codificación a mp3 se hace a 10 MBps. La escritura del archivo resultante se hace con el ancho de banda del propio disco *pendrive*, ya que es el más lento de entre el bus PM, el PCI y el USB.

Como el tamaño del archivo *song.wav* es de 31,752 MB, el tamaño del archivo mp3 resultante será de 3,1752 MB, ya que la codificación a mp3 reduce el archivo en una proporción 10:1 como indica el enunciado. Analizando cada parte del proceso por separado tenemos:

**Lectura de *song.wav*:** Son 31,752 MB, que se leen a 100 MBps, luego:

$$\frac{31,752 \text{ MB}}{100 \text{ MBps}} = 0,31752 \text{ segundos}$$

**Codificación a mp3:** Ahora los 31,752 MB se leen a 15 MBps, así que

$$\frac{31,752 \text{ MB}}{15 \text{ MBps}} = 2,1168 \text{ segundos}$$

**Escritura de *song.mp3*:** Hay que escribir 3,1752 MB a 30 MBps:

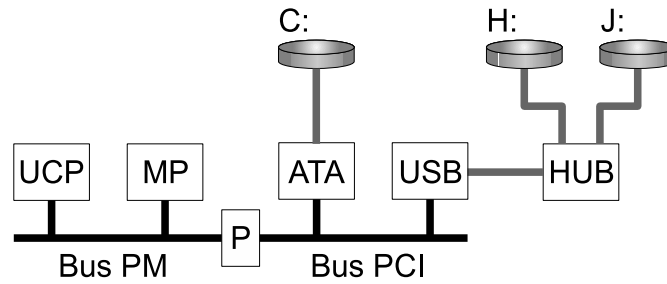
$$\frac{3,1752 \text{ MB}}{30 \text{ MBps}} = 0,10584 \text{ segundos}$$

Por lo que el proceso tardará en total un mínimo de  $0,31752 + 2,1168 + 0,10584 = 2,54016$  segundos.

■

**PROBLEMA 9** En la figura 6 tienes el esquema de buses de cierto computador. Los anchos de banda más relevantes son:

- **Bus PM** - Bus procesador-memoria de 10 GBps
- **MP** - Memoria principal: 3200 MBps



**Figura 6:** Buses del computador. El elemento *P* es el puente entre los buses del sistema

- **Bus PCI** - Bus de expansión de 266 MBps
- **ATA** - Controlador de disco ATA paralelo de 66 MBps
- **C:** - Unidad de disco duro de 100 MBps
- **USB** - Adaptador USB-2 de 480 Mbps
- **HUB** - Concentrador USB-2 de 480 Mbps
- **H:** y **J:** - Unidades de disco duro portátil de 10 GB de capacidad y 50 MBps de ancho de banda.

Considera que los accesos de la UCP (que incluye la memoria cache) a la memoria principal ocupan de forma sostenida 2000 MBps del ancho de banda de la memoria. Calcula:

1. Cuál es el ancho de banda disponible para las transferencias entre el disco *C:* y la memoria principal?
2. Cuál es el mínimo tiempo teórico para transferir un archivo de 1 GB de la unidad *C:* a la unidad *J:*?
3. Cuál es el mínimo tiempo teórico para transferir un archivo de 1 GB de la unidad *H:* a la unidad *J:*?

■