Estructura de Computadores

Parcial 2 **7 Junio - 2017**

Nombre: **Grupo:**

1 ***(3 puntos)*** Un sistema basado en procesador MIPS R2000 posee una cache L1 dual configurada como sigue:

- **Cache de Instrucciones**: 1 KB, correspondencia directa, tamaño de bloque de 16 Bytes.
- **Cache de Datos**: 1 KB, correspondencia asociativa por conjuntos de 2 vías, tamaño de bloque de 8 bytes. Emplea ubicación en escritura (*write-allocate*) con actualización posterior (*write-back*) y usa LRU para los reemplazos.

a) *(0.5 puntos)* Indique el número de bits de los campos de la dirección de memoria para ambas caches

Cache de Instrucciones	
Etiqueta	22
Línea	6
Desplazamiento	4

Cache de Datos	
Etiqueta	23
Conjunto	6
Desplazamiento	3

b) *(0.5 puntos)* Calcule el tamaño de la memoria de control requerido por cada una de las caches

	Cache de Instrucciones	Cache de Datos
Número de entradas en la memoria de control	64	128
Número de bits de cada entrada (indique el nombre de los campos)	1 (Valid) + 22 (Tag) = 23 bits	1 (Valid) + 23 (Tag) + 1 (Dirty) + 1 (LRU) = 26 bits
Tamaño total de la memoria de control (en bits)	64 × 23 = 1472 bits	128 × 26 = 3328 bits

c) El siguiente programa obtiene la luminancia de una imagen en color a partir de su representación RGB. En una imagen RGB, cada pixel está representado por 3 valores correspondientes a los niveles de rojo, verde y azul. El programa trabaja sobre una imagen de 256 pixels, cuyas componentes Rojo, Verde y Azul se almacenan en vectores consecutivos de enteros sin signo (tamaño byte). Tratando de imitar la percepción del ojo humano, el programa calcula la luminancia de cada pixel como la media ponderada de sus componentes RGB. En particular, para el pixel *i*: *Lum[i] = (3×Rojo[i] + 4×Verde[i] + Azul[i]) / 8*

```
                .data 0x10000000
Rojo:           .byte 0x45, 0x68, ... 0x2D      # Vector de 256 valores para el Rojo
Verde:          .byte 0x13, 0x22, ... 0xA0      # Vector de 256 valores para el Verde
Azul:           .byte 0x6A, 0x6C, ... 0x09      # Vector de 256 valores para el Azul
Lum:            .space 256                      # Espacio para el vector Luminancia

                .text 0x00400000
__start:        ori $s0,$zero,0x100         # Num. de pixels a procesar (256 en decimal)
                lui $t0,0x1000              # Puntero al vector Rojo
        loop:   lbu $t1,0($t0)              # Carga $t1 con Rojo [i]
                lbu $t2,0x100($t0)          # Carga $t2 con Verde [i]
                lbu $t3,0x200($t0)          # Carga $t3 con Azul [i]
                sll $t4,$t2,2               # $t4 = 4*Verde
                add $t4,$t4,$t1
                add $t4,$t4,$t1
                add $t4,$t4,$t1             # $t4 = 4*Verde + 3*Rojo
                add $t4,$t4,$t3             # $t4 = 4*Verde + 3*Rojo + Azul
                sra $t4,$t4,3               # $t4 = (4*Verde + 3*Rojo + Azul) / 8
                sb $t4,0x300($t0)           # Almacena Lum[i]
                addi $t0,$t0,1              # Incrementa puntero
                addi $s0,$s0,-1             # Decrementa contador
                bne $s0, $zero,loop         # Sigue iterando mientras contador > 0
                .end
```

c.1) *(0.5 puntos)* Obtenga, para la **cache de instrucciones**:

Número de bloques de código	**Primer número de bloque**	**Último número de bloque**	**Total de FALLOS de código**
4	0x40000	0x40003	4
Total de ACCESOS a código (Indique el cálculo)	2 (before loop) + 256×13 (loop) = 3330		
Tasa de aciertos (Con cuatro dígitos decimales. Indique el cálculo)	H = 3330 – 4 / 3330 = 0,9988		

c.2) *(0.5 puntos)* Indique los número de bloque del primer y último bloque correspondientes a los cuatro vectores, así como los conjuntos en los que se almacenan en la **cache de datos (en hex)**

	Primer bloque	**Último bloque**	**Primer conjunto**	**Último conjunto**
Rojo	0x 200 0000	0x 200 001F	0x0	0x1F
Verde	0x 200 0020	0x 200 003F	0x20	0x3F
Azul	0x 200 0040	0x 200 005F	0x0	0x1F
Lum	0x 200 0060	0x 200 007F	0x20	0x3F

c.3) *(0.5 puntos)* Calcule, para la **cache de datos**:

Total de ACCESOS a datos	256 iterations × 4 accesses/iteration = 1024 accesses
Total de FALLOS de datos	Since all vectors fit inthe cache with no conflicts, only compulsory misses will occur, 1 per block accessed: 32 blocks × 4 vectors = 128 misses
Tasa de aciertos	H = (1024 accesses - 128 misses) / 1024 accesses = 0.875

c.4) *(0.5 puntos)* ¿Cuál sería el número de fallos de la cache de datos si se adaptase el programa para trabajar con imágenes de 512 pixels, usando vectores R, V y A de 512 elementos? Justifique la respuesta.

With 512-byte vectors, all data acesses will be misses, hence we'd have 512×4 = 2048 accesses = 2048 misses. This is because the four vectors would map to exactly the same sets. With only two lines per set and accessing 4 vectors, the third access of each iteration (Blue) would replace the first (Red) and the fourth (Lum) would replace the second (Green).

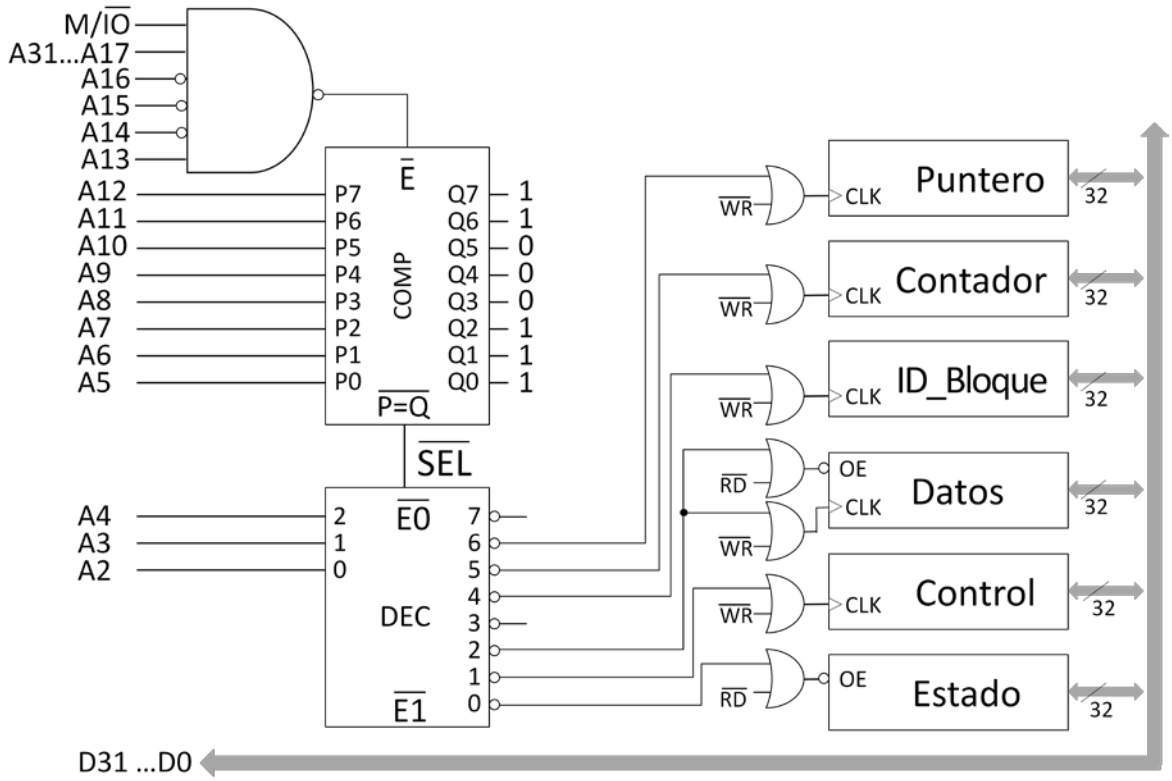
2 ***(2,5 puntos)*** La figura muestra la interfaz de un disco magnético. Esta interfaz se conecta a una CPU MIPS R2000 modificada, de manera que incluye espacios de direccionamiento separados para memoria y E/S. El acceso al espacio de E/S se realiza por medio de las instrucciones `InputW/InputH/InputB` y `OutputW/OutputH/OutputB`, con sintaxis similar a las `load/store`. El disco soporta únicamente transferencia por DMA. Los registros Estado y Control poseen los siguientes bits significativos:

Registro **CONTROL**:

- **A** (bit 7), a 1 ordena al interfaz el inicio de una operación de lectura/escritura sobre el disco magnético
- **IE** (bit 3) a 1 habilita la interrupción INT0*. Si IE=1, la interrupción se emitirá cada vez que R sea igual a 1
- **R/W** (bit 1), indica al interfaz si se trata operación de lectura (R/W= 0) o de escritura (R/W=1) sobre el disco magnético
- **CL** (bit 0), a 1 hace R=0

Registro **ESTADO**:

- **R** (bit 0) se activa a 1 cuando la transferencia del bloque a/desde memoria ha concluido



***Nota**: Todos los registros son de tamaño 32 bits*

a) *(0,5 puntos)* Calcule la dirección base (DB) del interfaz y el espacio de direccionamiento (Memoria o E/S) en el que se halla ubicado.

DB= 0xFFFE38E0

Espacio de direccionamiento: Memoria (selección con M/IO*= 1)

b) *(0,5 puntos)* Calcule la dirección (DB+X) de cada uno de los registros del interfaz

Registro	Dirección
ESTADO	DB
CONTROL	DB+4
DATOS	DB+8

Registro	Dirección
ID_BLOCK	DB+16
CONTADOR	DB+20
PUNTERO	DB+24

c) *(1 punto)* En el driver del disco magnético controlado a través del interfaz del esquema anterior se define la siguiente función:

Función	Índice	Argumentos
Write_Disk	$v0= 400	$a0: Puntero a buffer de memoria $a1: Número de ciclos de transferencia $a3: Identificador del bloque

La sincronización con el dispositivo se realiza por **INTERRUPCIÓN** al nivel de bloque. La función `Write_Disk` deberá configurar adecuadamente el **DMA** y habilitar la interrupción int0* en el interfaz. Suponiendo que el identificador del bloque que se desea escribir en el disco es 0xCC005555, se pide:

Nota: *Debe tenerse en cuenta que se está en un contexto en el que **múltiples procesos** pueden estar ejecutándose concurrentemente*

c.1) *(0,5 puntos)* Genere el código que realiza la invocación de la función `Write_Disk`

```
        .data 0x20000000
Buffer: .space 512     # 512 bytes

        .text 0x00400000

        la $a0,Buffer
        li $a1,128
        li $a3,0xCC005555
        li $v0,400
        syscall
```

c.2) *(0,5 puntos)* Genere el código que implementa la función `Write_Disk`

```
Write_Disk:

        la $t0,0xFFFE38E0
        sw $a0,24($t0)
        sw $a1,20($t0)
        sw $a3,16($t0)
        li $t1,0x8A
        sw $t1,4(t0)
        jal suspende_proceso




                j retexc
```

d) *(0,5 puntos)* Describa brevemente las acciones que debería realizar la rutina de servicio de INT0* al término de la transferencia por ADM.

Cancelar e inhibir la interrupción y activar proceso

3 **(3 puntos)** Se dispone de un modelo básico de máquina tragaperras que se halla controlada por un MIPS R2000. La máquina posee tres rodillos. Cada rodillo consiste en un generador de números aleatorios comprendidos en el rango [0..7].

La máquina funciona únicamente en modo automático. **Cada vez que se baja la palanca y se ha hecho una apuesta, los 3 rodillos empiezan a girar**, mostrando números de forma aleatoria. Los rodillos se van deteniendo de forma automática al cabo de un cierto tiempo.

El sistema de premios es el siguiente: si el valor numérico mostrado por los tres rodillos coincide, el premio triplica la apuesta; si la coincidencia se limita a solo dos rodillos, el premio duplica la apuesta; si no hay ninguna coincidencia, no hay premio.

La máquina está constituida por tres módulos de interfaz: los **RODILLOS DIGITALES**, el **MONEDERO** y el **VISUALIZADOR**, definidos como sigue:

RODILLOS DIGITALES (Dir. Base 0xFF001000)

- Registro de **ESTADO / CONTROL** (lectura y escritura, 8 bits, DB+0)
  - Bit 0 – **P**: Se pone a 1 para ordenar el pago del premio, si lo hay.
  - Bit 3 – **R**: (Ready – solo lectura) La interfaz lo pone a 1 **una vez los tres rodillos dejan de girar** tras un cierto periodo de tiempo; R se pone a 0 al leer cualquiera de los registros de DIGITO
- Registro de **DÍGITO 1** (Sólo lectura, 8 bits, DB+1): Valor numérico generado y visualizado por el Rodillo 1
- Registro de **DÍGITO 2** (Sólo lectura, 8 bits, DB+2): Valor numérico generado y visualizado por el Rodillo 2
- Registro de **DÍGITO 3** (Sólo lectura, 8 bits, DB+3): Valor numérico generado y visualizado por el Rodillo 3

MONEDERO (Dir. Base 0xFF002000)

- Registro de **CONTROL** (Lectura y escritura, 8 bits, DB+0)
  - Bit 0 - **A**: Se pone 1 para activar la detección de monedas. 0: Para detener la detección (las monedas son devueltas directamente).
  - Bit 1 – **D**: Se pone a 1 para devolver la moneda introducida (si moneda NO válida).
  - Bit 6 – **E**: Se pone a 1 para habilitar la interrupción en la interfaz y a 0 para inhibirla.
  - Bit 7 – **C**: Bit de cancelación: Si se escribe un 1 entonces la interfaz pone el bit R a 0.
- Registro de **ESTADO** (Sólo lectura, 8 bits, DB + 1)
  - Bit 7 – **R**: (Ready) La interfaz lo pone a 1 cada vez que una moneda es introducida por la ranura. Si E=1, entonces se activa la interrupción INT4* del MIPS.
  - Bits 1,0: **RES-** Resultado de la detección:
    00: Moneda NO válida (a devolver)
    01: Moneda de 50 céntimos
    10: Moneda de 1 €
    11: Moneda de 2 €

VISUALIZADOR (Dir. Base 0xFF003000) Este dispositivo usa E/S Directa

- Registro de **DATOS** (Sólo escritura, 32 bits, DB+0): Valor a visualizar, en céntimos de euro. Éste visualiza primero el importe de la apuesta y posteriormente el importe del premio obtenido.

El software del sistema está constituido, entre otros, por dos procesos: (1) Proceso Usuario y (2) Proceso Sistema, cuya estructura y variables que definen se muestran más abajo. Una interrupción de Reloj se encarga de la conmutación entre los mismos.

Proceso Usuario

```
            .data
mi_premio:  .word 0


            .text
            inicializar #syscall
            …..
            get_premio #syscall
            sw $v0,mi_premio
```

Proceso Sistema

```
                        .kdata
importe_apuesta:  .word 0
importe_premio:   .word 0

                  .ktext
inicio:
(gestión de RODILLOS DIGITALES por consulta de estado)
                  j inicio
```

Se pide:

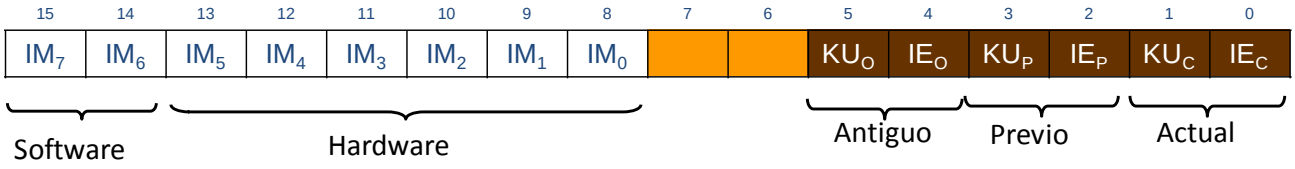
a) *(1 punto)* Programe las siguientes funciones del sistema:

Función	Índice	Argumentos	Resultado
inicializar	$v0 = 500	-----	Activa MONEDERO y habilita su interrupción. Habilita INT4 en el procesador. Inicializa a cero el visualizador y las variables del sistema. Se asume que las interrupciones están globalmente habilitadas en el procesador (IE_c=1)
get_premio	$v0=600		Retorna en $v0 el valor de la variable `importe_premio`

```
inicializar:  la $a0,0xFF00200
              li $t1,0x41
              sb $t1,0($t0)
              la $t0,0xFF003000
              sw $zero,0($t0)
              sw $zero,importe_apuesta
              sw $zero,importe_premio
              mfc0 $t1,$12
              ori $t1,$t1,0x1000
              mtc0 $t1,$12
              j retexc
```

```
get_premio:   lw $v0,importe_premio

              j retexc
```

La figura adjunta muestra el contenido del Registro de Estado ($12) del MIPS



IM_i para la interrupción i 0: enmascarada 1: desenmascarada

KU = modo kernel (0)/user (1)
IE = Habilitación de interrupciones
0: deshabilitadas
1: habilitadas

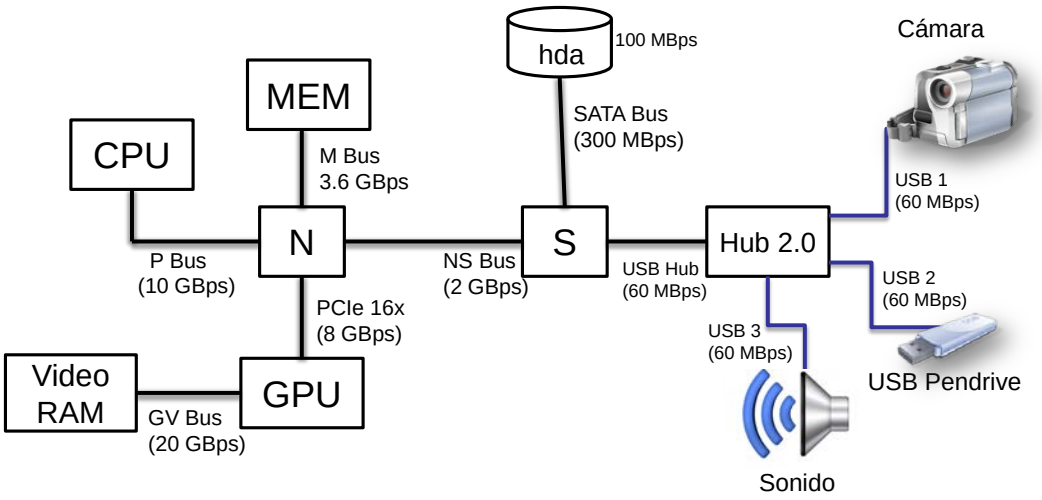
b) *(1 punto)* Programe el código constitutivo del proceso Auxiliar que gestiona, con sincronización por **CONSULTA DE ESTADO**, el módulo interfaz de RODILLOS DIGITALES. Una vez se detengan los rodillos, deberá comprobar la coincidencia de los dígitos – tres o dos iguales – y calcular el importe del premio a partir del valor de `importe_apuesta`; actualizar la variable `importe_premio;` mostrar el premio en VISUALIZADOR; ordenar el pago del premio (si lo hay). Este proceso se repite de forma ininterrumpida.

```
inicio:     la $t0,0xFF001000
bucle:      lb $t1,0($t0)          # bucle de consulta de estado
            andi $t1,$t1,0x08
            beqz $t1, bucle        # espera a que se detengan los rodillos

            lw $t4,importe_apuesta # carga importe_apuesta
            lb $t1,1($t0)          # carga el valor de los  tres Dígitos
            lb $t2,2($t0)
            lb $t3,3($t0)
            li $t5,0               # inicializa $t5=0 como registro intermedio para calcular el premio

            beq $t1,$t2, dos_tres  # si Dígito 1 = Dígito 2 entonces pueden coincidir DOS ó TRES
            beq $t1,$t3, dos       # si Dígito 1 = Dígito 3 entonces coinciden solo DOS
            beq $t2,$t3, dos       # si Dígito 2 = Dígito 3 entonces coinciden solo DOS
            j premio
dos_tres:   beq $t1,$t3, tres      # si Dígito 1 = Dígito 3 entonces coinciden TRES
dos:        add $t5,$t4,$t4        # actualiza el premio ($t5) con el doble de la apuesta
            j premio
tres:       add $t5,$t4,$t4
            add $t5,$t5,$t4        # actualiza el premio ($t5)  con el triple de la apuesta

premio:     sw $t5, importe_premio # actualiza la variable importe_premio con el premio calculado (0, x2, x3)
            beqz $t5,visualizar
            li $t1,0x01
            sb $t1,0($t0)          # si $t5<>0 entonces ordena el pago del premio
visualizar: la $t1,0xFF003000
            sw $t5,0($t1)          # visualiza importe del premio
            j inicio
```

c) *(1 punto)* Programe el código de la rutina de servicio de interrupción del MONEDERO (deberá detectar la moneda introducida, expulsarla si no es válida o, de lo contrario, añadirla a la variable `importe_apuesta`).

```
Int4:           la $t0,0xFF002000
                lb $t4,0($t0)              # carga $t4 con registro de CONTROL
                lw $t2,importe_apuesta     # inicializa $t2 con importe_apuesta (en céntimos)
                lb $t1,1($t0)              # lectura del registro de ESTADO
                andi $t1,$t1,0x03          # extrae bits RES mediante máscara
                beqz $t1,devolver          # si RES=0 entonces devolver moneda
                li $t3,0x02
                beq $t1,$t3,100_centimos   # si RES=2 entonces moneda de 1€ (100 céntimos)
                li $t3,0x03
                beq $t1,$t3,200_centimos   # si RES=3 entonces moneda de 2€ (200 céntimos)
50_centimos:    addi $t2,$t2,50            # RES=1, moneda de 50 céntimos; incrementa apuesta
                j salir
100_centimos: addi $t2,$t2,100             # RES=2, moneda de 1€; incrementa apuesta
                j salir
200_centimos: addi $t2,$t2,200             # RES=3, moneda de 2€; incrementa apuesta
                j salir
    devolver:   ori $t4,$t4,0x02           # ordena devolución moneda NO_Válida (D=1) mediante máscara
        salir:  ori $t4,$t4,0x80           # cancela interrupción (C=1) mediante máscara
                sb $t4,$t4,0($0)           # actualiza registro de CONTROL
                sw $t2,importe_apuesta     # actualiza variable importe_apuesta
                j retexc
```

4 ***(1 punto)*** El computador del esquema reproduce una secuencia mientras la cámara la captura. Ésta genera audio/vídeo en formato MPEG codificado a 32 Mbps y lo transfiere por DMA desde la cámara a la memoria (MEM). Al mismo tiempo, la CPU envía la secuencia comprimida desde memoria a la GPU. A continuación, la GPU descomprime la secuencia y envía, por DMA, las imágenes a la RAM de Vídeo y el audio al equipo de sonido.



a) *(0.5 puntos)* Suponiendo que el vídeo descomprimido fue adquirido a 920×1080×24 bits y 30 escenas/segundo, mientras que el audio es Surround 5.1 y ha sido muestreado a 48 KHz con 16 bit por muestra, calcule el ancho de banda (en MBps) requerido para:

Transferir el video comprimido desde la cámara a la memoria (MEM):

32 Mbps / 8bits = 4 MBps

Escribir las imágenes de vídeo desde la GPU a la RAM de vídeo:

1920×1080× (24/8Bytes) × 30fps = 186.624 MBps

Enviar el audio desde la GPU al equipo de sonido:

6 channels × 48000 samples per second × 16/8 bytes per sample = 0.576 MBps

b) *(0.5 puntos)* Mientras el computador reproduce la escena, se transfiere un archivo de 100 MB (10^8 bytes) desde el disco duro al pendrive USB. La reproducción de audio/vídeo tiene prioridad sobre dicha transferencia. El archivo se lee del disco duro a la memoria (MEM) y desde ésta al pendrive mediante DMA. Lecturas y escrituras son concurrentes. Calcule el tiempo que cuesta transferir el archivo y el porcentaje de utilización del bus NS.

Tiempo de transferencia del archivo: The limiting path is the USB Hub, which supports traffic of compressed video (4 Mbps) and audio (0.576 MBps). The available bandwdth is thus 60 – 4 – 0.576 = 55.424 MBps. The transfer will therefore take: 10^2 MB / 55.424 MBps =1.804 s

Porcentaje de utilización del bus NS:

4 + 0.576 + 2×55.424) / 2000 = 114,424 / 2000 = 5.77%

5 ***(0.5 puntos)*** Calcule el tiempo de transferencia de un archivo de 512 KB (K=10^3) desde un disco duro con los parámetros mostrados más abajo. El archivo se halla almacenado de forma óptima en la Zona 0, esto es, usa sectores consecutivos en cada pista y pistas consecutivas dentro de un cilindro.

Tamaño del sector: 512 bytes
Velocidad de giro: 4000 RPM
Tiempo medio de posicionamiento: 6 ms
Tiempo de salto pista-a-pista: 1 ms
Densidad lineal: 6000 tpi
Número de caras: 6
Radio interno: 0.5"
Radio externo: 1.75"

Formato: ZCAV, 2 zonas		
Zona	Límites	Sectores/pista
0	0.5" - 0.625"	500
1	0.625" - 1.75"	290

The file takes 512 KB / 512 B/sector = 1000 sectors.
Hence the file takes just two tracks and there is no cylinder change because there are 6 sides.

The time to transfer one sector from zone 0 is the time of 1 rotation / 500 sectors
At 4000 RPM, the time of one rotation is 60 seconds/minute / 4000 rotations/minute = 15 ms
Hence 15 ms / 500 sectors = 30 μs per sector

The transfer time for 1000 consecutive sectors is thus 1000×30 μs = 30 ms

The total time to transfer the file will also include the average seek time (6 ms) plus the rotational latency (time of half turn, or 7.5 ms). All together:

Time = 6 ms + 7.5 ms + 30 ms = 43.5 ms