

Ejercicios temas 8 y 9

1. ¿Cuál es el tiempo medio de lectura o escritura de un sector de 512 Bytes en un disco típico que gira a 7200 rpm?

El tiempo medio de posicionado anunciado por el fabricante para este disco es de 6,8 ms, la velocidad de transferencia de 19 MB/s y la sobrecarga debida al controlador es de 2 ms.

Suponga que el disco está desocupado de forma que no hay tiempo de espera alguno.

SOLUCIÓN:

T_{opavg} : Tiempo medio de una operación (lect. o escr.)

T_{savg} : Tiempo medio de búsqueda o posicionado

T_{rotavg} : Latencia rotacional media

T_{tx} : Tiempo de transferencia: superf. disco → controladora

T_{contr} : Tiempo adicional de controladora

$$\begin{aligned} T_{opavg} &= T_{savg} + T_{rotavg} + T_{tx} + T_{contr} = 6,8 \text{ ms} + \frac{0,5}{7200/60 \text{ rps}} + \frac{512 \text{ Bytes}}{19 \text{ MB/s}} + 2 \text{ ms} = \\ &= 6,8 \text{ ms} + 4 \text{ ms} + 26,95 \mu\text{s} + 2 \text{ ms} = \boxed{12.83 \text{ ms}} \end{aligned}$$

2. Se dispone de una unidad de disco duro de brazo móvil con las siguientes características:

- 8 superficies, 120 pistas por superficie y 80 sectores por pista.
- Sectores de 512 Bytes de información neta.
- Velocidad de rotación de 1500 rpm.
- El tiempo necesario para desplazar la cabeza entre dos pistas contiguas es de 0,25 ms, con un tiempo de estabilización de la cabeza de 3 ms.

Calcule:

- a) La densidad de grabación lineal para las pistas de un cilindro cuyo radio es de 3 cm.

SOLUCIÓN:

La longitud de la pista cuyo radio es de 3 cm es $2 \times \pi \times 3 \text{ cm}$.

En esa pista, como en todas las del disco, tenemos 80 sectores (densidad angular constante).

La densidad lineal suele expresarse en bits/cm.

$$Densid_{lineal} = \frac{80 \text{ sect} \times 512 \text{ Bytes/sect} \times 8 \text{ bits/Byte}}{2 \times \pi \times 3 \text{ cm}} = \frac{327680 \text{ bits}}{6\pi \text{ cm}} \simeq \boxed{17384 \text{ bits/cm}}$$

- b) La velocidad de transferencia.

SOLUCIÓN:

$$veloc_{tx} = \frac{1500 \text{ rpm}}{60 \text{ s/m}} \text{ pista/s} \times 80 \text{ sect/pista} \times 512 \text{ Bytes/sector}$$

c) El tiempo medio de acceso de este disco (indicando todos los tiempos implicados).

SOLUCIÓN:

2 soluciones diferentes válidas:

$$1) T_{access_{avg}} = T_{s_{avg}} + T_{rot_{avg}}$$

$$T_{s_{avg}} = 60 \text{ pistas} \times 0,25 \text{ ms} + 3 \text{ ms} = 18 \text{ ms}$$

$$T_{rot_{avg}} = \frac{0,5}{\frac{1500 \text{ rpm}}{60 \text{ s/m}}} = 2 \text{ ms}$$

$$2) \left. \begin{array}{l} T_{access_{min}} = T_{s_{min}} + T_{rot_{min}} \\ T_{access_{max}} = T_{s_{max}} + T_{rot_{max}} \end{array} \right\} T_{access_{avg}} = \frac{T_{access_{min}} + T_{access_{max}}}{2}$$

$$T_{s_{min}} = 0$$

$$T_{rot_{min}} = 0$$

$$T_{s_{max}} = 119 \text{ pistas} \times 0,25 \text{ ms} + 3 \text{ ms} = 32,75 \text{ ms}$$

$$T_{rot_{max}} = \frac{1}{\frac{1500 \text{ rpm}}{60 \text{ s/m}}} = 4 \text{ ms}$$

3. Un disco utiliza para sus operaciones 16 bits para especificar el número de cilindro, 5 bits para la pista y 10 bits para el sector, siendo los sectores de 512 Bytes.

a) ¿Cuál es la capacidad máxima del disco?

SOLUCIÓN:

El disco tiene:

- 2^{16} cilindros, es decir, 2^{16} pistas por superficie
- 2^5 pistas en cada cilindro, es decir, 2^5 superficies
- 2^{10} sectores por pista

Por tanto:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad} &= 2^{16} \text{ pista/superf} \times 2^5 \text{ superf} \times 2^{10} \text{ sector/pista} \times 512 \text{ Bytes/sector} = \\ &= 2^{40} \text{ Bytes} = \boxed{1 \text{ TB}} \end{aligned}$$

b) ¿Cuál es la densidad de grabación lineal para las pistas de un cilindro con radio de 2 cm?

SOLUCIÓN:

La longitud de la pista cuyo radio es de 2 cm es $2 \times \pi \times 2 \text{ cm}$.

$$Densid_{lineal} = \frac{1024 \text{ sect} \times 512 \text{ Bytes/sect} \times 8 \text{ bits/Byte}}{2 \times \pi \times 2 \text{ cm}} = \frac{4194304 \text{ bits}}{4\pi \text{ cm}} \simeq \boxed{333780 \text{ bits/cm}}$$

4. Un disco tiene una velocidad de rotación de 7200 rpm. En dicho disco el tiempo de búsqueda oscila entre 1 y 20 ms. Determine el mejor y el peor tiempo para la lectura de un sector, asumiendo una densidad angular constante de 604 sectores por pista.

SOLUCIÓN:

De los distintos tiempos involucrados, el de transferencia del sector no variará entre el peor y el mejor caso. Los otros sí:

$$T_{1sector_{min}} = T_{s_{min}} + T_{rot_{min}} + T_{tx} = 1 \text{ ms} + 0 + \frac{1 \text{ sector}}{7200/60 \text{ pistas/s} \times 604 \text{ sectores/pista}} =$$

$$= 1 \text{ ms} + 13,8 \mu\text{s} = \boxed{1.0138 \text{ ms}}$$

$$T_{1sector_{max}} = T_{s_{min}} + T_{rot_{min}} + T_{tx} = 20 \text{ ms} + \frac{1}{7200/60} + \frac{1 \text{ sector}}{7200/60 \text{ pista/s} \times 604 \text{ sect/pista}}$$

$$= 20 \text{ ms} + 8 \text{ ms} + 13,8 \mu\text{s} = \boxed{28.0138 \text{ ms}}$$

5. Disponemos de un disco de 7200 rpm con 100 sectores de 512 Bytes por pista. ¿Cuál es la velocidad máxima de transferencia del disco?

SOLUCIÓN:

$$\frac{7200 \text{ rpm}}{60 \text{ s/m}} \text{ pistas/s} \times 100 \text{ sectores/pista} \times 512 \text{ Bytes/sector} = \boxed{6.14 \text{ MB/s}}$$

6. Se dispone de una unidad de disco duro con 8 superficies, con un radio útil de 2 cm por superficie para almacenar información. El radio de la pista más interna es de 1 cm, siendo la mínima densidad lineal de grabación en el disco de 5000 bits por cm y la máxima de 15.000 bits por cm. La densidad angular de grabación es constante, como es habitual en los discos magnéticos.

Si el brazo es móvil y permite una separación entre pistas (incluyendo el grosor de las mismas) de 0,005 cm:

- a) ¿Cuál es la capacidad total del disco en bytes?

SOLUCIÓN:

La máxima densidad lineal de almacenamiento se encuentra en la pista más interna (misma cantidad de información en menos longitud de pista), por lo que utilizamos esa información para saber el total de información que almacena una pista:

$$Densid_{lineal_{max}} = 15000 \text{ bits/cm} = \frac{Info_{pista} \text{ Bytes} \times 8 \text{ bits/Byte}}{2 \times \pi \times 1 \text{ cm}}$$

$$Info_{pista} = \frac{15000 \text{ bits/cm} \times 2\pi \text{ cm}}{8 \text{ bits/Byte}} = 11781 \text{ Bytes}$$

$$N^{\circ} \text{pistas}_{superficie} = \frac{2 \text{ cm}}{0,005 \text{ cm/pista}} = 400 \text{ pistas}$$

$$Info_{disco} = 11781 \text{ Bytes/pista} \times 400 \text{ pistas/superf} \times 8 \text{ superf} = 37699200 \text{ Bytes} \simeq \boxed{36 \text{ MB}}$$

- b) Suponiendo que la capacidad calculada en el apartado anterior sea «bruta», y que los sectores del disco almacenen 357 Bytes de información bruta, de los cuales 101 Bytes son información de control, ¿cuántos sectores hay por pista y cuál es la capacidad neta del disco?

SOLUCIÓN:

$$N^{\circ} \text{sectores}_{\text{pista}} = \frac{11781 \text{ Bytes}_{\text{brutos}}/\text{pista}}{357 \text{ Bytes}_{\text{brutos}}/\text{sect}} = 33 \text{ sect}/\text{pista}$$

$$\begin{aligned} \text{Info}_{\text{disco}} &= 33 \text{ sect}/\text{pista} \times 256 \text{ Bytes}_{\text{netos}}/\text{sect} \times 400 \text{ pistas}/\text{superf} \times 8 \text{ superf} = \\ &= 27033600 \text{ Bytes} \simeq \boxed{25 \text{ MB}} \end{aligned}$$

7. Disponemos de 8 discos de 300 GB en una configuración de RAID 0. ¿Cuántos discos necesitaríamos para mantener en el sistema la misma información neta para cada una de estas configuraciones RAID: RAID 1, RAID 3, RAID 4, RAID 5 y RAID 6?

Indica la cantidad de información redundante o de control (en GBytes) que tenemos en cada configuración.

SOLUCIÓN:

Conf.	Nº discos	Info neta	Info red.
RAID 0	8	2400 GB	0 Bytes
RAID 1	16	2400 GB	2400 GB
RAID 3	9	2400 GB	300 GB
RAID 4	9	2400 GB	300 GB
RAID 5	9	2400 GB	300 GB
RAID 6	10	2400 GB	600 GB

8. Se dispone de un disco con las siguientes características: 24 caras, 27723 pistas por cara y 528 sectores por pista. Cada sector almacena 512 Bytes de información, y el disco gira a 10000rpm. El tiempo de búsqueda medio del disco es de 5,13 ms.

La información está organizada en el disco por cilindros, de forma que la información contigua a una pista se encuentra en la pista siguiente del mismo cilindro. Dentro de cada pista la información se organiza de forma continua entre sectores adyacentes.

La controladora del disco introduce un retardo fijo de 0,3 ms en cada operación.

Calcule:

- a) La latencia y el ancho de banda si el patrón medio de accesos al disco corresponde a lecturas arbitrarias de bloques (*clusters*) de 4 KB contiguos.

SOLUCIÓN:

En una pista de ese disco caben $528 \text{ sectores} \times 512 \text{ Bytes}/\text{sector} = 270336 \text{ Bytes} = 264 \text{ MB}$, por lo que podemos considerar que un acceso medio a un bloque de 4 KB no implica un cambio de pista:

$$\begin{aligned} T_{\text{lect}_{4\text{KB}}} &= T_{s_{\text{avg}}} + T_{\text{rot}_{\text{avg}}} + T_{\text{tx}} + T_{\text{contr}} = \\ &= 5,13 \text{ ms} + \frac{0,5}{10000/60 \text{ rps}} + \frac{4 \text{ KB}}{10000/60 \text{ pistas}/\text{s} \times 528 \text{ sect}/\text{pista} \times 512 \text{ Bytes}/\text{sector}} = \\ &= 5,13 \text{ ms} + 3 \text{ ms} + 90,9 \mu\text{s} = \boxed{8.22 \text{ ms}} \end{aligned}$$

- b) La latencia y el ancho de banda si el patrón medio de accesos al disco corresponde a lecturas arbitrarias de bloques (*clusters*) de 1 MB contiguos.

SOLUCIÓN:

Un bloque de 1 MB no cabe en una pista, así que habrá que cambiar de pista obligatoriamente en la lectura de uno de estos bloques. No obstante, al estar la información en el disco organizada por cilindros, la pista con la información contigua a una pista dada es la siguiente pista del cilindro, no la siguiente en la misma superficie.

Como el bloque de 1 MB cabe en un cilindro ($24 \text{ pistas/cilindro} \times 528 \text{ sectores/pista} \times 512 \text{ Bytes/sector} \simeq 6,2 \text{ MB}$), un acceso medio no requerirá cambiar de cilindro, y por tanto mover las cabezas del disco. Por tanto:

$$T_{lect_{4KB}} = T_{s_{avg}} + T_{rot_{avg}} + T_{tx} + T_{contr} =$$

$$= 5,13 \text{ ms} + \frac{0,5}{10000/60 \text{ rps}} + \frac{1 \text{ MB}}{10000/60 \text{ pistas/s} \times 528 \text{ sect/pista} \times 512 \text{ Bytes/sector}} =$$

$$5,13 \text{ ms} + 3 \text{ ms} + 23,27 \text{ ms} = \boxed{31.4 \text{ ms}}$$

- c) La latencia y el ancho de banda para cada uno de los dos casos anteriores (tamaños de bloque de 4 KB y de 1 MB) si se utilizan cuatro discos como el propuesto, configurados en RAID 0 de forma que cada operación de E/S podría utilizar los cuatro discos de forma concurrente, accediendo a ellos al mismo tiempo (los 4 discos estarían perfectamente sincronizados: cabezas siempre sobre el mismo cilindro en cada uno de los discos y comenzando a rotar en el mismo sector físico).

¿Cómo se ha visto afectado el rendimiento? ¿Hemos aumentado la fiabilidad del sistema?

SOLUCIÓN:

En el escenario planteado, tanto para los bloques de 4 KB como para los de 1 MB, la información va a estar cíclicamente repartida entre los cuatro discos, con lo que, al estar los discos sincronizados el tiempo de transferencia del bloque se va a dividir por cuatro. Los otros tiempos involucrados, tiempo de posicionado y latencia rotacional media y retardo de la controladora, se solapan.

$$T_{lect_{4KBRAID}} = T_{s_{avg}} + T_{rot_{avg}} + T_{tx} + T_{contr} = 5,13 \text{ ms} + 3 \text{ ms} + \frac{90,9}{4} \mu\text{s} = \boxed{8.15 \text{ ms}}$$

$$T_{lect_{1MBRAID}} = T_{s_{avg}} + T_{rot_{avg}} + T_{tx} + T_{contr} = 5,13 \text{ ms} + 3 \text{ ms} + \frac{23,27}{4} \mu\text{s} = \boxed{13.95 \text{ ms}}$$

Como vemos, el rendimiento apenas se ve afectado en el caso de las lecturas de 4 KB, ya que el tiempo de transferencia es casi despreciable en este caso respecto al posicionado y la latencia rotacional. En las lecturas de bloques de 1 MB, el rendimiento si se ve claramente mejorado, aunque no se logra una aleceración de 4, claro.

En ambos casos la fiabilidad del sistema ha empeorado, ya que la probabilidad de avería en los discos es ahora 4 veces mayor y no hay información redundante que permita recuperar información en caso de errores en los discos.

9. Un disco duro IBM Deskstar 34GXP (modelo DPTA-373420, 7200 rpm) tiene una velocidad de transferencia media anunciada por el fabricante de entre 171 Mb/s y 284 Mb/s, dependiendo de la pista del disco que estemos leyendo: el disco no tiene densidad angular

constante, sino que utiliza *ZBR – Zoned Bit Recording–*, agrupando las pistas en conjuntos o zonas para aprovechar mejor la mayor longitud de las pistas más exteriores. Así, todas las pistas de una zona tienen el mismo número de sectores por pistas, diferente al de las pistas de otras zonas. Concretamente, este disco tiene 12 zonas diferentes, con 272 sectores en las pistas de la zona más interna y 452 sectores en las de la más externa.

No obstante, y como suele ser habitual, el fabricante ha distorsionado a su favor todo lo posible los datos anunciados para el disco, utilizando para calcular esas velocidades de transferencia media no la información neta que un usuario puede almacenar en el disco (512 bytes en cada sector), sino la información bruta, que incluye la información de control necesaria para el funcionamiento del disco.

Desenmascara las mentiras del fabricante demostrando que la máxima velocidad de transferencia a la que podemos leer o escribir datos (información neta) en ese disco está bastante por debajo de esas cifras ofrecidas.

SOLUCIÓN:

La máxima velocidad de transferencia del disco se alcanzará en las pistas de la zona más exterior, pues tienen más datos que el resto y rotan a la misma velocidad angular (7200 rpm). Podemos calcular cuál es la máxima velocidad teórica real que puede alcanzar el disco en cuanto a transferencia de datos netos para una pista de esa zona así:

$$Vel_{transf} = \frac{7200 \text{ rpm}}{60 \text{ s/m}} \text{ pistas/s} \times 452 \text{ sect/pista} \times 512 \text{ bytes/sector} \times 8 \text{ bits/byte} = 222,17 \text{ Mbits/s}$$

Como vemos, bastante por debajo del pico anunciado por el fabricante, que infla la cifra al incluir en el cálculo la información de control.

Obviamente, la velocidad máxima para las pistas de la zona más interna, que tienen menos sectores, es bastante inferior:

$$Vel_{transf} = \frac{7200 \text{ rpm}}{60 \text{ s/m}} \text{ pistas/s} \times 272 \text{ sect/pista} \times 512 \text{ bytes/sector} \times 8 \text{ bits/byte} = 133,69 \text{ Mbits/s}$$

10. Considérese un sistema en el que la carga de trabajo consiste en operaciones de E/S sobre un dispositivo de almacenamiento basado en discos magnéticos. El tamaño medio que se transfiere en estas operaciones es de bloques contiguos de 500 KB, y 250 K instrucciones son ejecutadas de media por el procesador en cada operación. El sistema lo componen:

- Un procesador que ejecuta 350 MIPS.
- Un sistema de memoria conectado a través de un bus que proporciona un ancho de banda de 500 MB/s.
- Controladoras Ultra2 Wide SCSI con 80 MB/s de ancho de banda que permiten hasta 16 dispositivos conectados cada una.
- Unidades de disco de 7200 rpm con una velocidad media de transferencia de 100 MB/s y un tiempo medio de búsqueda de 8 ms.

Suponiendo que siempre va a haber un disco inactivo sobre el que poder realizar una operación (ignorar posibles conflictos):

a) ¿Cuál es la máxima velocidad de E/S que puede alcanzar el sistema?

SOLUCIÓN:

Los dos subsistemas que nos dan como fijos son procesador y memoria. El más lento de los dos para el tipo de operación planteado supondrá el cuello de botella y por lo tanto la velocidad máxima del sistema para esas operaciones.

Comparamos, pues, los anchos de banda de procesador y memoria para estas operaciones de E/S:

- PROC:

$$\frac{350 \text{ Minstruc/s}}{250 \text{ kintruc/opES}} = 1,4 \text{ kopES/s}$$

$$1,4 \text{ kopES/s} \times 500 \text{ kbyte/opES} = 700 \text{ MB/s}$$

- MEM:

$$500 \text{ MB/s}$$

$$\boxed{500 \text{ MB/s}} < 700 \text{ MB/s} \Rightarrow \text{cuello de botella}$$

Alternativamente, podríamos haber calculado opES/s en memoria:

$$\frac{500 \text{ Mbyte/s}}{500 \text{ kbyte/opES}} = 1 \text{ kopES/s}$$

$$\boxed{1 \text{ kopES/s}} < 1,4 \text{ kopES/s}$$

b) ¿Cuántos discos y cuántas controladoras son necesarios para mantener esa velocidad máxima?

SOLUCIÓN:

Calculamos la latencia de una opES en uno de esos discos:

$$Lat_{opES} = T_{seek\ avg} + T_{rot\ avg} + T_{tx} = 8 \text{ ms} + \frac{0,5}{7200/60 \text{ s}} + \frac{500 \text{ kbyte}}{100 \text{ Mbyte/s}} = 17,16 \text{ ms}$$

Por lo que el ancho de banda de uno de estos discos para estas operaciones de E/S es:

$$\frac{500 \text{ kbyte}}{17,16 \text{ ms}} = 29,14 \text{ Mbyte/s}$$

Así que, para mantener la máxima velocidad de E/S del sistema necesitamos:

$$\left\lceil \frac{500 \text{ MB/s}}{29,14 \text{ Mbyte/s}} \right\rceil = \lceil 17,16 \rceil = \boxed{18 \text{ discos}}$$

Aunque se pueden conectar en teoría hasta 16 dispositivos por controladora, para el ancho de banda que manejamos cada controladora solamente puede con:

$$\left\lfloor \frac{80 \text{ MB/s}}{29,14 \text{ Mbyte/s}} \right\rfloor = \lfloor 2,75 \rfloor = 2 \text{ discos/controladora}$$

Así que necesitamos un total de:

$$\frac{18 \text{ discos}}{2 \text{ discos/contr}} = \boxed{9 \text{ controladoras}}$$

11. Supongamos que tenemos un sistema con las siguientes características:

- Un tándem bus-memoria que soporta operaciones de un número arbitrario de palabras de 32 bits. El bus es de 32 bits y tiene una frecuencia de 500 MHz. Las direcciones de memoria son también de 32 bits.
- El tiempo de acceso a memoria para las cuatro primeras palabras de un bloque es de 50 ns. Para bloques mayores, cada grupo adicional de cuatro palabras se obtiene en 10 ns.
- Las transferencias por el bus y los accesos a memoria pueden solaparse. Se supone que el bus está disponible antes de cada acceso.
- Las lecturas y las escrituras en memoria consumen la misma cantidad de tiempo.

El sistema incorpora, además, una memoria caché con política de *post-escritura*, de la que se han obtenido las siguientes medidas de rendimiento:

- Cuando se produce un fallo caché, el 40 % de las veces es necesario realizar la operación de post-escritura en memoria principal, mientras que en el resto de las ocasiones solo la lectura es necesaria.
- Una tasa de fallos caché de 0,05 fallos por instruc. para un tamaño de línea de 4 palabras.
- Una tasa de fallos caché de 0,03 fallos por instruc. para un tamaño de línea de 16 palabras.

Suponiendo que el procesador se queda esperando durante la duración completa de un fallo caché (incluyendo el tiempo de post-escritura, si es necesario), ¿cuántos ciclos por instrucción se gastan en la gestión de los fallos caché para los dos tamaños de línea considerados (4 y 16 palabras)?

Se aconseja comenzar calculando la penalización media (en ciclos) que tiene un fallo caché para cada una de los dos configuraciones.

SOLUCIÓN:

Como nos sugiere el enunciado, comenzamos pensando cómo calcular la penalización media que produce un fallo caché.

Un fallo caché supone siempre una operación de lectura en memoria principal: es decir, el 100 % de los fallos caché producen la lectura de una línea.

Además de esta lectura, en la caché de post-escritura de este ejercicio el 40 % de las veces que hay un fallo se va a producir además la escritura de la línea reemplazada. Por tanto:

$$Penal_{cachemiss_{avg}} = T_{read_{line}} + 0,4 \times T_{write_{line}}$$

Como el enunciado nos dice que lecturas y escrituras consumen la misma cantidad de tiempo, $T_{read_{line}} = T_{write_{line}}$, por lo que:

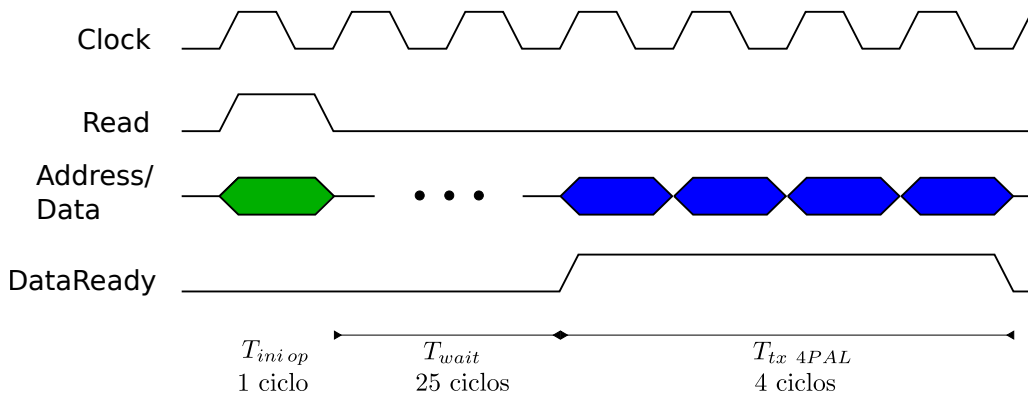
$$Penal_{cachemiss_{avg}} = 1,4 \times T_{read_{line}}$$

Obtenemos ahora la latencia para una operación de lectura en el bus para los dos tamaños de línea que se nos piden (4 y 16 palabras de 32 bits):

$$T_{clock} = 1/500 \text{ MHz} = 2 \text{ ns}$$

$$T_{wait} = 50 \text{ ns} = 25 \text{ ciclos}$$

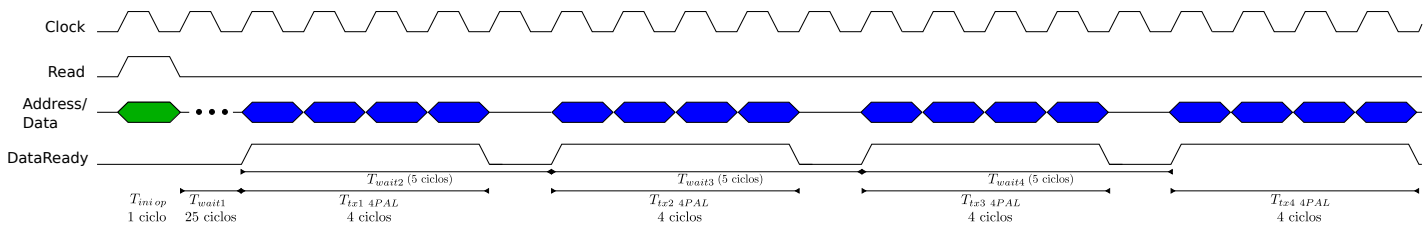
Lectura de 4 palabras:



$$T_{read_{4pal}} = T_{ini\ op} + T_{wait} + T_{tx\ 4pal} = 1 + 25 + 4 = 30 \text{ ciclos}$$

Lectura de 16 palabras:

$$T_{wait2} = T_{wait3} = T_{wait4} = 10 \text{ ns} = 5 \text{ ciclos}$$



$$T_{read_{16pal}} = T_{ini\ op} + T_{wait1} + 3 \times T_{wait2} + T_{tx4\ 4pal} = 1 + 25 + 3 \times 5 + 4 = 45 \text{ ciclos}$$

Por tanto, las penalizaciones por fallo para las dos configuraciones de caché quedan:

$$Penal_{cachemiss_{avg}\ 4pal/lin} = 1,4 \times T_{read_{line4pal}} = 1,4 \times 30 = \boxed{42 \text{ ciclos}}$$

$$Penal_{cachemiss_{avg}\ 16pal/lin} = 1,4 \times T_{read_{line16pal}} = 1,4 \times 45 = \boxed{63 \text{ ciclos}}$$

Ahora ya podemos obtener los ciclos por instrucción que se gastan en la gestión de fallos caché en ambas configuraciones:

Caché de 4 pal/línea:

$$0,05 \text{ fallos/instr} \times 42 \text{ ciclos}_{penal}/\text{fallo} = 2,1 \text{ ciclos}$$

Caché de 16 pal/línea:

$$0,03 \text{ fallos/instr} \times 63 \text{ ciclos}_{penal}/\text{fallo} = 1,89 \text{ ciclos}$$