# Trabajo Práctico Número 3

Arquitectura de Computadoras 01/04/2026

---

**Instrucciones**

- Los ejercicios propuestos en el presente trabajo práctico pueden ser resueltos en forma individual o grupal.
- El planteo de la solución debe realizarse basándose en lo aprendido en las clases teóricas.
- Puede utilizar las clases de consulta para consultar ejercicios de enunciado y verificar la validez de la solución obtenida.
- Posteriormente, se tomará una evaluación con ejercicios similares a los de este práctico, la cual deberá ser resuelta en forma individual. La fecha de evaluación se encuentra en el sitio web de la materia.

---

**Conceptos Involucrados**

- Perfil de una tarea. Diagrama de precedencia.
- Pipelining (o segmentación en etapas). Pipelining ideal vs. Pipelining real.
- Métricas de pipelining: latencia de una tarea, rendimiento, productividad, aceleración. Estado de régimen.
- Problemas de pipelining: etapas de duración variable y distintas tareas.
- Interleaving de memoria.

---

**Problemas propuestos**

1) Responda las siguientes preguntas, justificando en todos los casos su respuesta.
   a) Si en un pipeline ideal la aceleración es igual a la cantidad de etapas, entonces ¿podría asegurarse que siempre es mejor tener más etapas?
   b) En cualquier pipeline, ¿el tiempo serie siempre es igual a la latencia?
   c) ¿El diagrama de precedencia es utilizado para indicar las etapas por las que debe atravesar una determinada tarea?
   d) ¿Cómo es posible que en un pipeline con etapas de duración variable no se produzcan pérdidas de información debido a que ciertas etapas terminan antes que otras?
   e) ¿Usar interleaving en los accesos a memoria DRAM produce una mejora en la latencia de los accesos a la misma?

2) *[Recomendado]* Dibujar el diagrama de perfil de las tareas que se describen a continuación. En cada caso indique cuánto es el máximo grado de paralelismo de la tarea, y cuál es el menor tiempo de realización posible.
   a) En la cocina de un salón de fiestas se deben hacer 100 platos de pollo relleno con papas al horno y salsa de champiñones. La realización de cada plato implica las siguientes tareas:

| Tareas | Tiempo |
|---|---|
| Preparar el pollo | 2 minutos |
| Preparar las papas | 3 minutos |
| Hornear las papas con el pollo | 5 minutos |
| Preparar la salsa | 4 minutos |
| Preparar el plato completo | 1 minuto |

   b) Cada nuevo año, la cátedra de Arquitectura de Computadoras debe confeccionar los trabajos prácticos del cuatrimestre, para lo que se necesitan los siguientes pasos. Al elaborar su solución, tenga en cuenta que muchas veces las soluciones de un ejercicio pueden modificar el enunciado del mismo.

| Tareas | Tiempo |
|---|---|
| Preparar el enunciado del TP | 4 horas |
| Hacer las soluciones del TP | 4 horas |
| Preparar la guía del TP | 2 horas |
| Preparar la evaluación del TP | 3 horas |
| Hacer las soluciones de la evaluación | 1 hora |
| Preparar el dictado del TP | 1 hora |
| Corregir la evaluación del TP | 4 horas |
| Subir todo al sitio web | 1 hora |

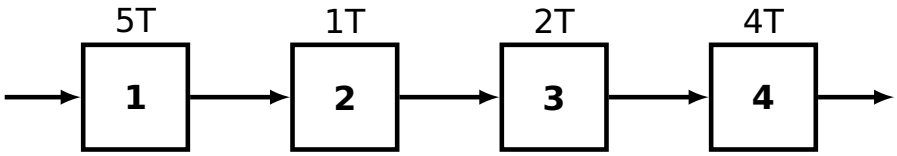
3) *[Recomendado]* Dado el siguiente bloque de código:

```
add x2, x5, x4
add x4, x2, x5
sw  x5, 100(x2)
add x3, x2, x4
lw  x3, 100(x4)
```

   a) Identifique las dependencias de datos y realice el diagrama.

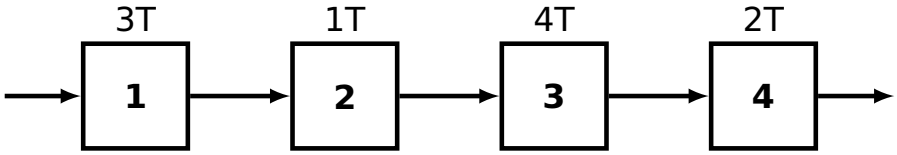
4) *[Recomendado]* Un sistema de memoria recibe pedidos a las siguientes direcciones: 100, 101, 104, 102, 103, 105, 106, 107, 100, 102, 101, 103, 104. Teniendo en cuenta que los pedidos llegan a razón de uno por ciclo y nunca se produce pérdida de pedidos, calcular el tiempo que tarda en atender toda la secuencia de pedidos, el tiempo promedio en atender un pedido, el rendimiento y el factor de aceleración para los siguientes casos:
   a) Un módulo de memoria de 3T de tiempo de respuesta que atiende todos los pedidos.
   b) Dos módulos de memoria entrelazados de 3T de tiempo de respuesta, donde un módulo de memoria sirve los pedidos a direcciones pares y el otro a direcciones impares.
   c) Cuatro módulos de memoria entrelazados de 3T de tiempo de respuesta, con un esquema de funcionamiento similar al caso anterior pero dividiendo las direcciones en cuatro grupos.

5) Para el pipeline de la figura siguiente, el cual posee etapas de distinta duración:




   a) Calcule latencia, productividad, aceleración y rendimiento en estado de régimen.
   b) Repita el apartado a, pero esta vez considerando que la etapa 1 dura 3T.
   c) Repita el apartado a, pero esta vez considerando que la etapa 4 dura 1T.
   d) Proponga una mejora para aumentar el rendimiento de la versión original al 100 % en estado de régimen. Calcule los nuevos valores de aceleración y productividad.

6) *[Recomendado]* Para el pipeline de la figura siguiente, el cual posee etapas de distinta duración:




   a) Determine cuál es el tiempo serie de la tarea y cuál es el tiempo que demora la tarea en cada etapa cuando se ejecuta el pipeline (tiempo de pipe).
   b) Calcule latencia, productividad, aceleración y rendimiento en estado de régimen.
   c) Si cada etapa consiste en una caja negra que puede comprarse individualmente, pero no dividirse, y Ud. puede comprar solamente una etapa adicional, ¿cuál compraría? ¿Cuánto mejoraría la aceleración?
   d) Si comprar una etapa nueva incrementa el costo total en un 35 %, y es posible comprar cualquier cantidad de etapas, ¿cuántas etapas, y cuáles, conviene comprar como mínimo

para que el beneficio adicional sea mayor que el costo adicional? ¿Cuál sería la nueva aceleración?

7) *[Profundización]* Considere un pipeline de 6 etapas de igual duración (T), al que se lo alimenta con un número muy grande de tareas, por lo que pueden despreciarse los tiempos de llenado y de vaciado. Las tareas se clasifican en cuatro tipos diferentes, según la función que llevan a cabo y las etapas que utilizan. Una estadística muestra que la distribución de tareas es la siguiente:

| Tipo de Tarea | Etapas que usa | % |
|---|---|---|
| A | 1, 3 y 5 | 10 % |
| B | 1, 2, 3, 4, 5 y 6 | 40 % |
| C | 2, 4 y 6 | 20 % |
| D | 1, 2, 4, 5 y 6 | 30 % |

Se pide que:
a) Calcule la latencia de cada una de las tareas.
b) Calcule la productividad del pipeline.
c) Calcule el rendimiento de cada una de las etapas.
d) Calcule el rendimiento total del pipeline.
e) Calcule el factor de aceleración.

8) *[Recomendado]* Se desea diseñar un circuito que multiplique dos matrices, una de 3x4 elementos y la otra de 4x5 elementos. Para ello iremos desarrollando los siguientes pasos:

- Primero, intentaremos hacer un circuito que calcule el producto escalar de dos vectores de cuatro elementos. Recuerde que el producto escalar de dos vectores A y B de cuatro elementos se calcula como $a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3 + a_4b_4$.
- Para este primer circuito, se disponen solamente de ALUs. Estas ALUs realizan una suma en 2T y una multiplicación en 4T.
- Una vez diseñado este circuito, el producto de las dos matrices se reduce a repetir varias veces el cálculo del producto escalar. Es por ello que se piensa en segmentar el circuito anterior agregándole buffers intermedios.

a) Si se desea implementar el primer circuito (el del producto escalar) con el objetivo de minimizar la latencia, ¿cuántas ALUs se necesitarán? (sugerencia: emplee el máximo paralelismo posible). Indique de cuánto sería la latencia en este caso.
b) Dibuje el perfil de trabajo de esta tarea.
c) Dibuje un esquema del circuito segmentado que realice el producto de los dos vectores.
d) Calcule la latencia, la productividad y el rendimiento del circuito del punto anterior.
e) ¿Cuánto tiempo tarda este circuito en calcular el producto de las dos matrices?
f) Proponga una alternativa de diseño que le permita duplicar la productividad. Indique cuántas ALUs adicionales requiere esta alternativa.

9) *[Recomendado]* Ud. desea diseñar y fabricar un dispositivo que haga competencia al nuevo iPad para ello decide listar las tareas que debe realizar, que son:

| Tareas | Duración (hs) |
|---|---|
| Diseño de Hardware | 64 |
| Diseño de Software | 48 |
| Montaje del Hardware | 16 |
| Programación del Software de bajo nivel | 80 |
| Programación del Software de alto nivel | 96 |
| Optimización | 24 |
| Testing del Hardware | 16 |
| Testing del Software | 16 |
| Testing General | 8 |
| Documentación | 20 |
| Manual de uso | 24 |
| **Total** | **418** |

Sabiendo que debe mantener las siguientes consideraciones a la hora de trabajar:

- Luego de terminar el diseño del hardware, hay un tiempo muerto de 48 hs hasta que pueda empezar el montaje, debido al tiempo de fabricación de las placas.
- Antes de empezar con la programación del software, el hardware debe estar debidamente probado.
- El tiempo de documentación se divide en 40 % para el hardware, 40 % software y 20 % adicional.
- El proceso de optimización puede empezar antes del testing general, pero después del testing de hardware y software.
- No puede empezar el manual de usuario hasta no tener todo testeado.
- Todos los procesos de testing están automatizados y no requieren de atención constante.

a) Realice una lista con el orden de pasos a seguir en el desarrollo y un diagrama de dependencias para las tareas indicadas. Si lo considera necesario puede subdividir o agregar algunas tareas. Finalmente, calcule cuánto tiempo le lleva completar todo el proceso.
b) Suponga que consigue un completo kit de desarrollo para el hardware, que le permite empezar con la programación del software de bajo y alto nivel sin la necesidad de tener hardware completo y testeado. Realice el nuevo diagrama de dependencias y calcule cuánto tiempo le lleva completar todo el proceso.
c) Suponga además que ahora consigue convencer a su novia/o que lo ayude con la documentación del proyecto, y que un compañero de clases lo ayuda con todo lo relacionado al software (suponga que pueden trabajar perfectamente en paralelo). Realice el nuevo diagrama de dependencias y calcule cuánto tiempo le lleva completar todo el proceso. La ayuda de su novia/o, ¿le ayuda a ahorrar tiempo?

10) *[Recomendado]* Considere una máquina con una única ALU que realiza las operaciones de suma, resta, multiplicación y división, y se desea resolver la siguiente ecuación:

$$C = \left( \frac{A}{A+B} * \frac{B}{B+A} \right) - [(A+B) * A]$$

a) Escriba la secuencia de pasos necesarios para la resolución de la ecuación. Las variables pueden reutilizarse, pero solamente podrá utilizar una variable auxiliar.
b) Dibuje el diagrama de precedencia para la ecuación planteada.
c) ¿Cuántas ALU debería colocar como mínimo en paralelo para obtener el menor tiempo de ejecución posible? ¿Cuánto sería la aceleración para ese caso?

11) *[Profundización]* Considere el siguiente segmento de programa en pseudocódigo. Para el mismo suponga que cada operación demora 1T, excepto las cargas desde memoria que demoran 2T.

```
(1) R1 ← R2 + R3
(2) R5 ← R4 - R5
(3) R4 ← M(R7)
```

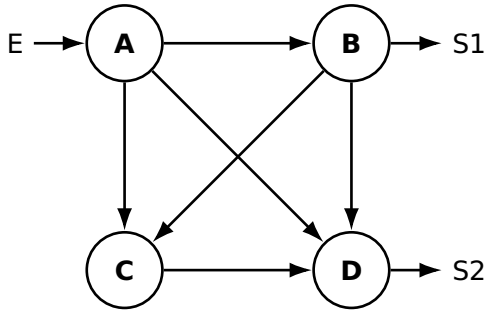
```
(4) R4 ← R4 * R4
(5) M(R7) ← R4
(6) R9 ← M(R10)
(7) R11 ← M(R12)
(8) R11 ← R11 + R12
(9) R11 ← R11 * R11
(10) M(R12) ← R11
```

a) Dibuje el diagrama de precedencias e indique el máximo nivel de paralelismo posible.
b) ¿Cuántos ciclos T tomará ejecutarlo en orden en un procesador que puede ejecutar hasta 4 instrucciones en paralelo?
c) Suponiendo que el procesador es capaz de ejecutar las operaciones en cualquier orden (sin alterar el resultado de las mismas), ¿cuántos ciclos T tomará su ejecución?
d) ¿Es posible mejorar el tiempo de ejecución aumentando el paralelismo?

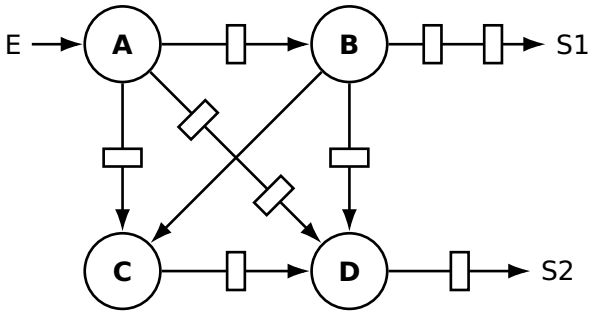
---

**Ejercicio a Desarrollar en Clase Práctica (Problema 3 del Primer Parcial de 2015)**

12) Considere el siguiente sistema combinacional. Los círculos A a D representan circuitos combinacionales y las flechas representan conexiones entre circuitos. Todos los círculos tienen el mismo retardo de propagación $T_{pd}$. Una tarea termina cuando el resultado está en S1 y S2.




a) Calcule la latencia del circuito.
b) Si se propone emplear la siguiente estructura de pipeline para mejorar la productividad del sistema, ¿por qué se ponen dos registros en S1?




c) En el circuito propuesto en el apartado anterior ¿cuántas tareas de cálculo pueden estar realizándose en este sistema al mismo tiempo?.
d) Considerando despreciable el tiempo de los registros intermedios, ¿cuál sería el tiempo mínimo de reloj para el nuevo sistema propuesto, su latencia y productividad?
e) Rediseñe la estructura del pipeline propuesto para obtener máxima productividad.
f) Para el caso anterior, siempre despreciando el tiempo de los registros intermedios, ¿cuál sería el tiempo mínimo de reloj, la latencia y la productividad?

**Soluciones propuestas**

1)
   a) No.
   b) No.
   c) No.
   d) Usando buffers intermedios.
   e) No

2)
   a) El máximo grado de paralelismo es 3, y el menor tiempo son 9 minutos.
   b) El máximo grado de paralelismo es 3, y el menor tiempo son 17 horas.

3)
   a) Son cinco dependencias.

4)
   a) $T_{Total}$ = 39 T; $T_{Promedio}$ = 3 T; Rendimiento = 100 %; Aceleración = 1
   b) $T_{Total}$ = 25 T; $T_{Promedio}$ = 1.92 T; Rendimiento = 78 %; Aceleración = 1,56
   c) $T_{Total}$ = 16 T; $T_{Promedio}$ = 1,23 T; Rendimiento = 60.9 %; Aceleración = 2,43

5)
   a) Latencia = 20 T; Productividad = 1 / 5 T; Aceleración = 2,4; Rendimiento = 60 %
   b) Latencia = 16 T; Productividad = 1 / 4 T; Aceleración = 2,5; Rendimiento = 62.5 %
   c) Latencia = 20 T; Productividad = 1 / 5 T; Aceleración = 1.8; Rendimiento = 45 %
   d) Agregar cuatro etapas 1, una etapa 3 y tres etapas 4. Productividad = 1 / 1T; Aceleración = 12

6)
   a) $T_{Serie}$ = 10 T; $T_{Pipe}$ = 4 T.
   b) Latencia = 16 T; Productividad = $\frac{1}{4T}$; Aceleración = 2.5; Rendimiento = 62.5 %
   c) Una etapa 3.
   d) Compraría 2 etapas, para obtener una aceleración igual a 5.

7)
   a) 6T.
   b) 1/T.
   c) 1: 80 %; 2: 90 %; 3: 50 %; 4: 90 %; 5: 80 %; 6: 90 %
   d) 80 %.
   e) 4,8.

8)
   a) Serán necesarias 7 ALUs. Latencia total = 8 T
   b) ...
   c) El circuito segmentado utiliza tres etapas separadas por dos registros.
   d) Latencia = 12 T; Productividad = 1 / 4 T; Rendimiento = 66,66
   e) Tiempo Total = 68 T
   f) Agregar cuatro ALU para etapa adicional de multiplicación.

9)
   a) El listado contiene aproximadamente 14 tareas, y completar todas lleva 392 hs.
   b) En este caso, completar todas las tareas lleva 360 hs.
   c) En este caso, completar todas las tareas lleva 272 hs, y la novia/o no es de gran ayuda.

10)
   a) Son necesarios 6 pasos.
   b) ...
   c) Se podría resolver en 4 pasos, con 2 ALU.

11)
   a) 5.
   b) 9T.
   c) 6T.

d) No es posible.