



## Arquitectura de Computadores I

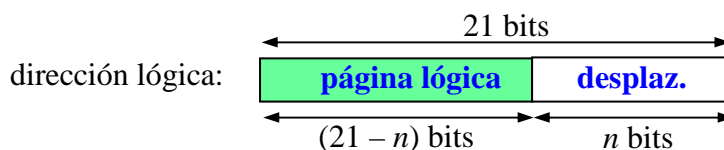
### Sistema de memoria 4 (Solución): Deducción de las características del sistema de memoria

En un sistema de memoria, la memoria virtual es de 2 MB y la memoria principal, que está formada por 8 módulos, es de 512 bytes. La unidad de direccionamiento es el byte y las palabras son de 2 bytes.

- a) La dirección lógica 3246 está en la página lógica 1 y, tras el proceso de traducción, sabemos que se corresponde con la dirección física 5294, que está en la página física 2. ¿Cuál es el tamaño de la página en este sistema de memoria? ¿Cuántas páginas lógicas puede tener un programa? ¿Cuántas páginas físicas existen en memoria principal?
- b) Sabemos que la dirección física 5122 está en el módulo 1 de memoria principal. ¿Cuál es la organización de la memoria principal: módulos consecutivos o módulos entrelazados? Razona tu respuesta e indica la división en bits de la dirección física.

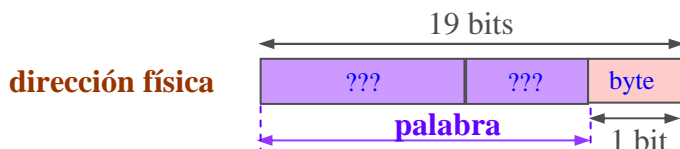
### Solución

Dado que la **memoria virtual** es de 2 MB, sabemos que la dirección lógica debe ser de 21 bits ( $2 \text{ MB} = 2 \times 2^{20} = 2^{21}$ ), pero no sabemos nada más, no tenemos información acerca del tamaño de la página lógica ni del número de páginas lógicas, con lo que no podemos decir de momento el número de bits que se dedican a cada campo. Por ello, supondremos  $n$  bits para indicar el desplazamiento y  $(21 - n)$  bits para indicar el número de página lógica y tendremos que encontrar una forma para calcular ese valor  $n$ . En cualquier caso, una vez calculado el valor de  $n$ , podremos decir que el tamaño de la página será  $2^n$  bytes y que un programa podrá tener un máximo de  $2^{(21 - n)}$  páginas lógicas.



En lo que respecta a la **memoria principal**, sabemos que ésta es de 512 bytes, con lo que la dirección física será de 19 bits ( $512 \text{ kB} = 2^9 \times 2^{10} = 2^{19}$ ). Dado que el direccionamiento se realiza a nivel de byte, sabemos que los bits de menos peso indicarán el byte dentro de la palabra. En este

caso, dado que las palabras son de 2 bytes, será un único bit quien indique el byte dentro de la palabra. La dirección física tendrá además otros 18 bits. Por otra parte, sabemos que la memoria principal está formada por 8 módulos, por lo que un campo de la dirección física deberá indicar el número de módulos en 3 bits ( $8 = 2^3$ ), y el resto deberá indicar la dirección interna a nivel de palabra dentro del módulo utilizando  $(18 - 3) = 15$  bits. De momento no sabemos la organización de estos módulos, no sabemos si se trata de módulos consecutivos o módulos entrelazados. Por ello, no podemos fijar la división en bits de la dirección física, salvo el campo que indica el byte dentro de la palabra:



Veamos a continuación paso a paso cómo conseguimos la información que nos falta a partir de los datos proporcionados por el enunciado.

- (a) Se nos indica que la dirección lógica 3246 se corresponde con una dirección que está en la página lógica 1, pero no nos dan ninguna referencia acerca del desplazamiento. No obstante, podemos plasmar esta información en la siguiente ecuación teniendo en cuenta la relación matemática entre los campos de la dirección lógica:

$$\text{@lógica} = \text{página lógica} \times \text{tamaño página (bytes)} + \text{desplazamiento}$$

Sustituyendo en la ecuación los datos conocidos tendremos la siguiente ecuación:

$$3246 = 1 \times 2^n + \text{desplazamiento}$$

En la ecuación tenemos dos incógnitas:  $n$  y desplazamiento. Por ello, necesitamos otra ecuación para poder calcular ambos valores. Para ello, el enunciado nos da más información. En concreto, nos indica que, tras el proceso de traducción, a la dirección lógica 3246 le corresponde la dirección física 5294 que se encuentra en la página física 2. Sabemos que para realizar la traducción de la dirección se busca en el TLB la página física que le corresponde a una página lógica, pero el desplazamiento es el mismo en ambas direcciones (lógica y física). Por ello, teniendo en cuenta la relación matemática entre los campos de la dirección física, tenemos que:

$$\text{@física} = \text{página física} \times \text{tamaño página (bytes)} + \text{desplazamiento}$$

Sustituyendo en esta ecuación los datos conocidos, tenemos que:

$$5294 = 2 \times 2^n + \text{desplazamiento}$$

En esta ecuación vuelven a aparecer dos incógnitas:  $n$  y desplazamiento. Por ello, ambas ecuaciones forman un sistema de dos ecuaciones con 2 incógnitas, por lo que podemos calcular el valor de dichas incógnitas utilizando ambas ecuaciones:

$$\begin{aligned} 3246 &= 1 \times 2^n + \text{desplazamiento} \\ 5294 &= 2 \times 2^n + \text{desplazamiento} \end{aligned}$$

Haciendo la resta entre ambas, tenemos:

$$(5294 - 3246) = (2 - 1) \times 2^n + (\text{desplazamiento} - \text{desplazamiento})$$

Está claro, por tanto, que desaparece el desplazamiento y nos queda una única incógnita:  $n$ .

$$2048 = 1 \times 2^n$$

Para despejar  $n$  tendremos que aplicar logaritmos. Dado que estamos trabajando en base 2, utilizaremos logaritmos en base 2. Por tanto, para calcular  $n$ :

$$n = \log_2 2048$$

Un informático debería ser capaz de calcular dicho logaritmo sin necesidad de utilizar la calculadora. De hecho, es conveniente conocer las potencias básicas de 2. Cuando el exponente es pequeño, resulta sencillo, pero puede complicarse al aumentar el valor del exponente, por lo que es bueno memorizar algunas de las potencias:  $2^0 = 1$ ;  $2^1 = 2$ ;  $2^2 = 4$ ;  $2^3 = 8$ ;  $2^4 = 16$ ;  $2^5 = 32$ ;  $2^6 = 64$ ;  $2^7 = 128$ ;  $2^8 = 256$ ;  $2^9 = 512$ ;  $2^{10} = 1024$ ;  $2^{11} = 2048$ ; etc. Por tanto, la solución a la ecuación es la siguiente:

$$n = 11$$

Sustituyendo este valor en la ecuación inicial podremos calcular el valor del desplazamiento, obteniendo el siguiente resultado:

$$3246 = 1 \times 2^{11} + \text{desplazamiento}$$

$$\text{desplazamiento} = 1198$$

Ahora estamos en condiciones de responder a las preguntas del primer apartado:

¿Cuál es el tamaño de página en este sistema de memoria? Dado que son necesarios 11 bits para indicar un desplazamiento, y sabiendo que el direccionamiento se realiza a nivel de byte, el tamaño de página será de  $2^{11}$  bytes, esto es, **2048 bytes**.

¿Cuántas páginas lógicas puede tener un programa? Para indicar una página lógica se utilizan  $(21 - 11) = 10$  bits, por lo que un programa puede tener  $2^{10}$  páginas lógicas, esto es, **1024**.

¿Cuántas páginas físicas tiene la memoria principal? Para indicar una dirección física se utilizan 19 bits, de los cuales 11 se utilizan para codificar un desplazamiento. Por tanto, quedan 8 bits para indicar una página física, por lo que la memoria principal tendrá  $2^8$  páginas, esto es, **256** páginas físicas.

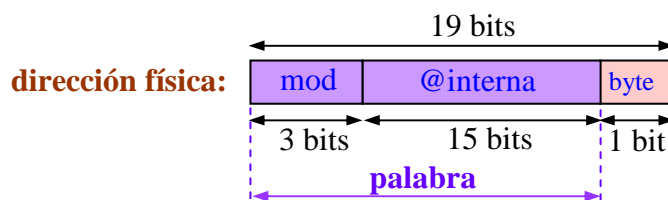
- (b) En este segundo apartado tenemos que determinar cuál es la estructura que sigue la memoria principal, módulos consecutivos o módulos entrelazados, a partir de la información indicada en el enunciado.

Para ello, sabemos que la dirección física 1 está en el módulo 1. Esta información es suficiente para contestar a esta pregunta. Veamos.

Dado que no sabemos qué estructura sigue, haremos una suposición acerca de la organización de la memoria que luego verificaremos si es cierta o no.

### Hipótesis 1: módulos consecutivos

De acuerdo a esta hipótesis, la dirección física tendría estos campos:



De acuerdo a esa distribución de bits, podemos calcular los valores que representan los tres campos de la dirección:

$$\text{palabra} = @\text{física} \div \text{tamaño palabra (bytes)}$$

$$\text{palabra} = 5122 \div 2^1 = 5122 \div 2 = 2561$$

$$\text{módulo} = \text{palabra} \div \text{tamaño módulo (palabras)}$$

$$\text{@interna} = \text{palabra} \bmod \text{tamaño módulo (palabras)}$$

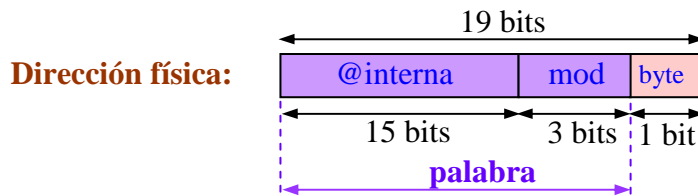
Esto es:

$$\text{módulo} = 2561 \div 2^{15} = 2561 \div 32768 = 0$$

Por tanto, si la memoria principal estuviera organizada en módulos consecutivos, la dirección física 5122 estaría en el módulo 0, no en el módulo 1, con lo que esta hipótesis no es correcta. Veamos la segunda hipótesis posible.

### Hipótesis 2: módulos entrelazados

De acuerdo a esta hipótesis la dirección física tendría la siguiente estructura:



Al igual que en la hipótesis anterior, podemos calcular la información correspondiente a los distintos campos de la dirección. La dirección a nivel de palabra es la misma en ambas hipótesis, ya que el campo que indica el byte dentro de la palabra no cambia. Por tanto, la palabra correspondiente a la dirección física 5122 será 2561.

Lo que sí cambia, tal y como se puede comprobar en la representación de la dirección, es el módulo y la dirección interna dentro del módulo, que ahora se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$\text{@interna} = \text{palabra} \div \text{número módulos}$$

$$\text{módulo} = \text{palabra} \bmod \text{número módulos}$$

Esto es:

$$\text{@interna} = 2561 \div 2^3 = 2561 \div 8 = 320$$

$$\text{módulo} = 2561 \bmod 2^3 = 2561 \bmod 8 = 1$$

Como se puede ver, esta hipótesis es la correcta. En este supuesto la dirección física 5122 se corresponde con una dirección del módulo 1, tal y como indica el enunciado. Por tanto, la memoria principal está organizada en 8 módulos entrelazados.