



Tema 4:

Módulos combinacionales básicos

Fundamentos de computadores

José Manuel Mendías Cuadros

*Dpto. Arquitectura de Computadores y Automática
Universidad Complutense de Madrid*





Contenidos

- ✓ Decodificador.
- ✓ Multiplexor.
- ✓ Bus.
- ✓ Codificador.
- ✓ ROM (Read Only Memory).
- ✓ Sumador/Restador.
- ✓ Comparador.
- ✓ ALU (Arithmetic Logic Unit).

Transparencias basadas en los libros:

- R. Hermida, F. Sánchez y E. del Corral. *Fundamentos de computadores*.
- D. Gajsky. *Principios de diseño digital*.



Decodificador

(para pasar de un código a otro)

SEÑAL DE
CAPACITACIÓN

↳ si ésta no está activada,
el decodificador está "apagado"

\underline{x} n entradas de datos

\underline{z} 2^n salidas de datos

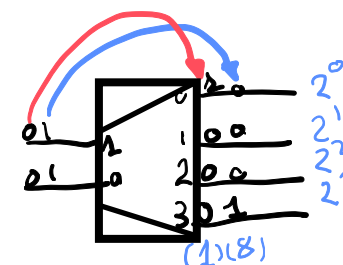
E 1 entrada de capacitación (op)

si la entrada toma la configuración
binaria p , la salida $(p)_{10}$ -ésima se activa

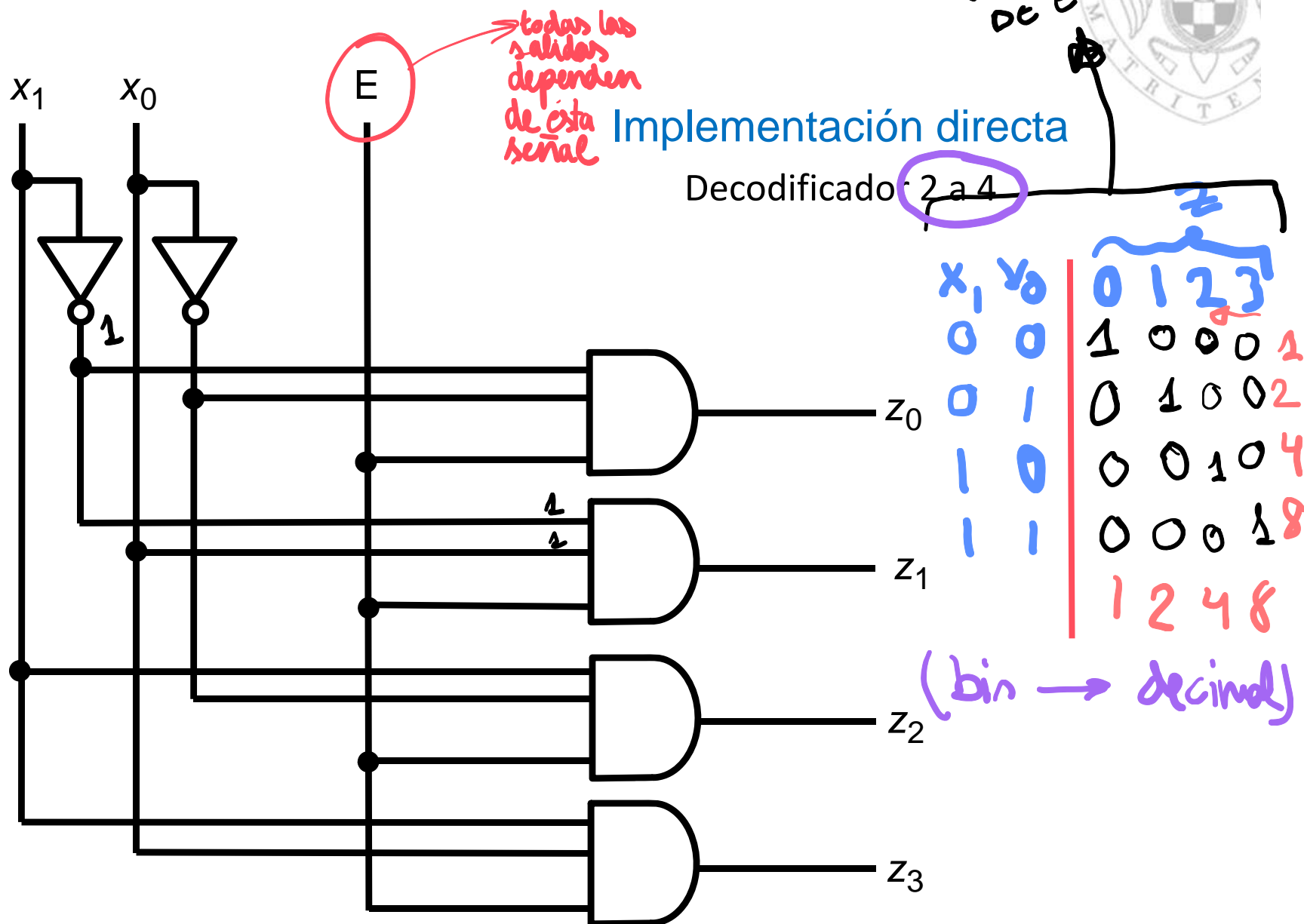
$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{si } E=1 \text{ y } (\underline{x})_{10} = i \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Decodificador n a 2^n

$$z_i = E \cdot m_i(\underline{x})$$



Decodificador





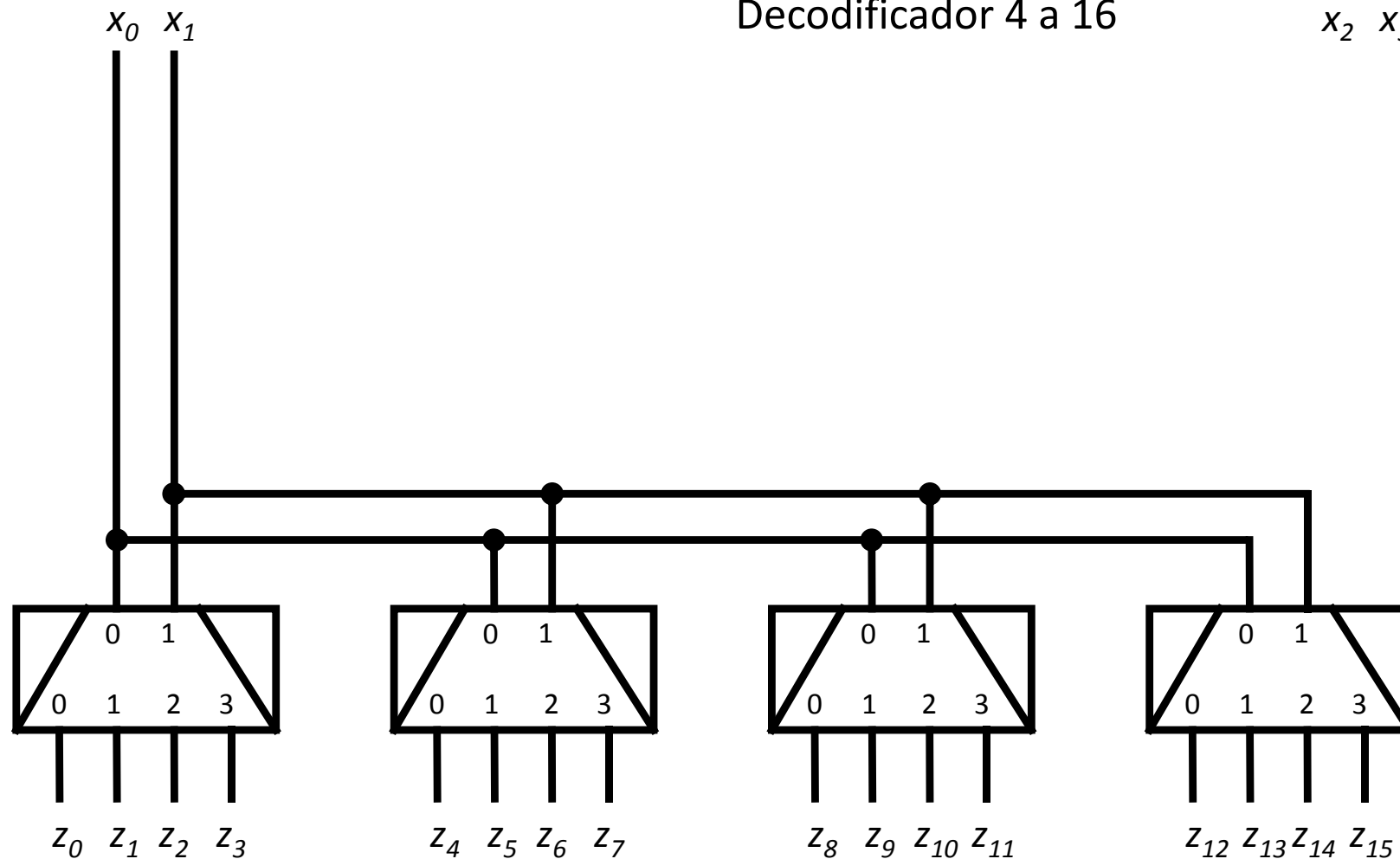
Decodificador

Implementación en árbol

Decodificador 4 a 16

x_2 x_3

E

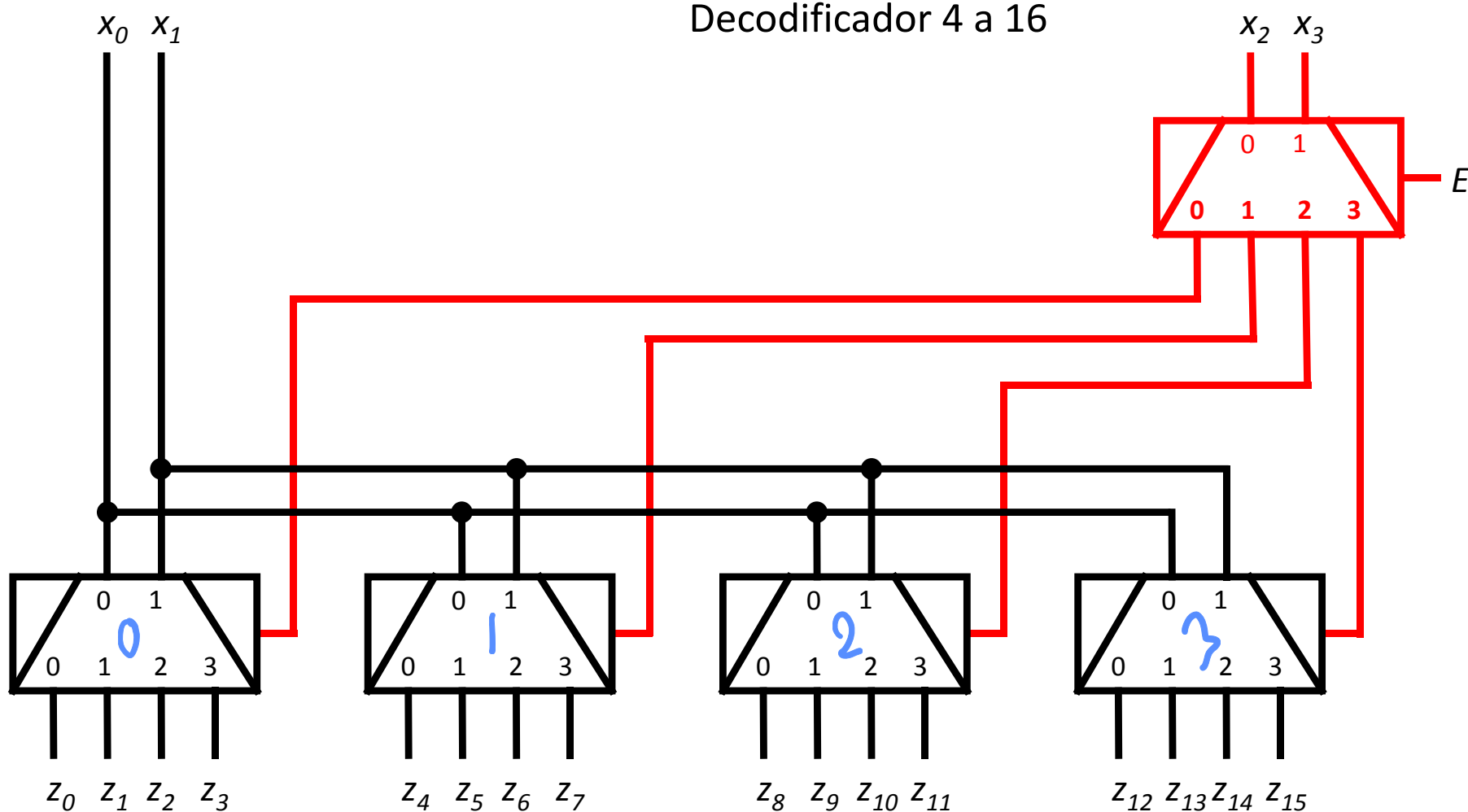




Decodificador

Implementación en árbol

Decodificador 4 a 16

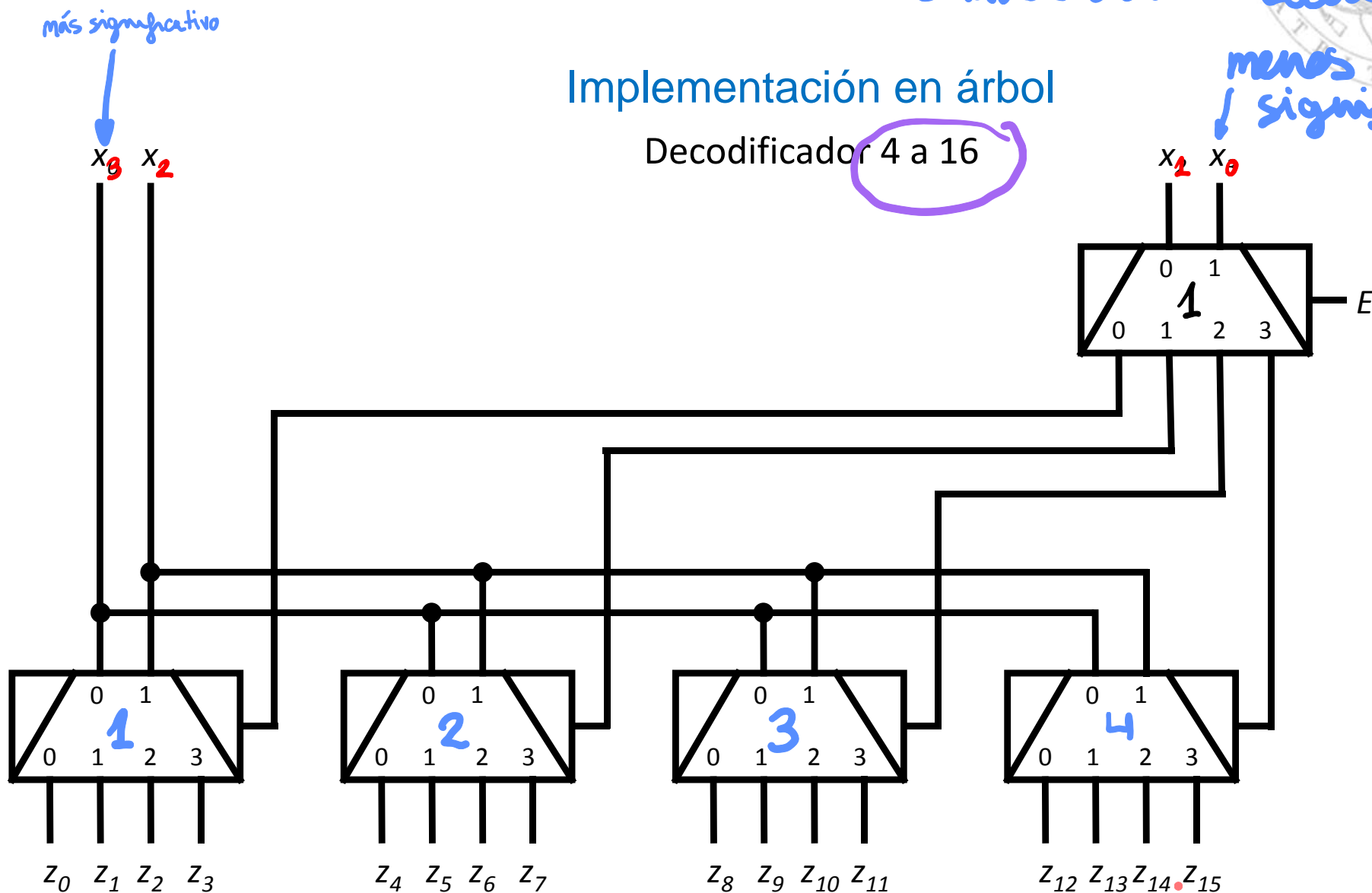


Decodificador

$x_1, 0 \rightarrow$ deciden cual 2º decodificador activo
 $x_1, 2, 3 \rightarrow$ deciden la salida del 2º decodif.

Implementación en árbol

Decodificador 4 a 16



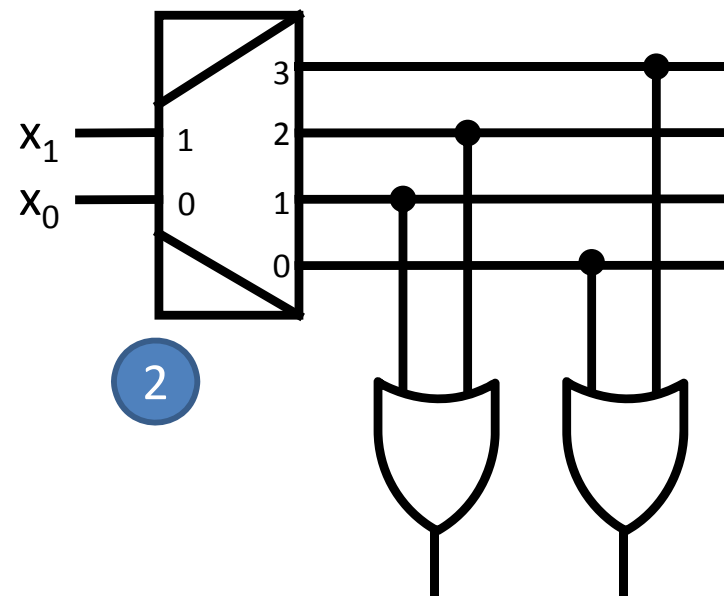
-SOLO FUNCIONA EL DECODIFICADOR INDICADO POR LA SALIDA DEL PRIMERO



Decodificador

■ Aplicaciones al diseño:

1. Habilitar selectivamente 1 de n subcomponentes cada uno asociado a un índice (dirección) binaria.
2. Implementar directamente SPC *SIN MAPA DE KARNAUGH!* usando puertas OR adicionales (que sumen cada unos de los mintérminos de la FC).



$$x_1 \oplus x_0 = \overline{x_1 \oplus x_0} \equiv x_1 \cdot \bar{x}_0 + \bar{x}_1 \cdot x_0$$

Multiplexor

$$f(a,b,c) = ab + \bar{a}\bar{b}c + abc$$

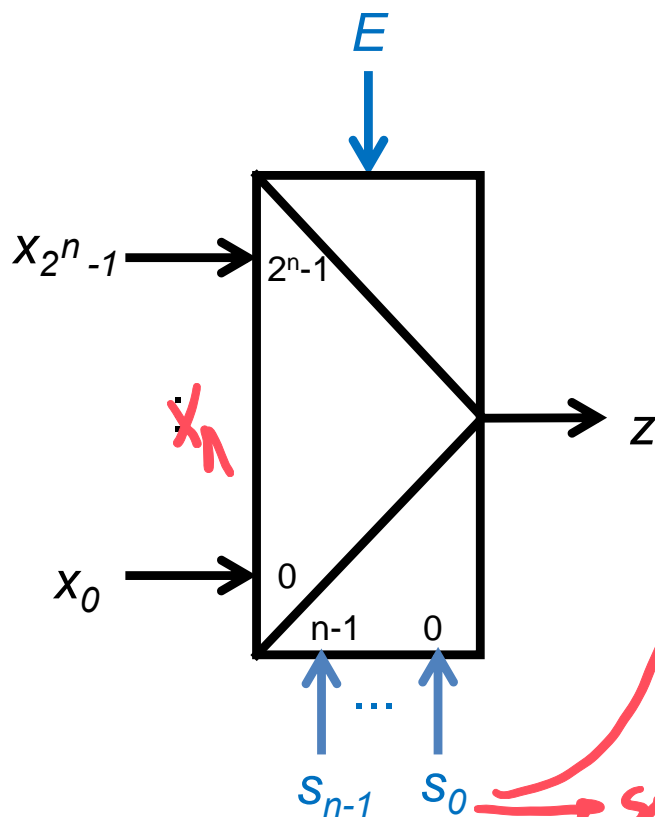
$$ab(c + \bar{c}) = \bar{a}\bar{b}c + abc$$

$$abc + abc + \bar{a}\bar{b}c + abc$$

$$111 + 110 + 001 + 110$$

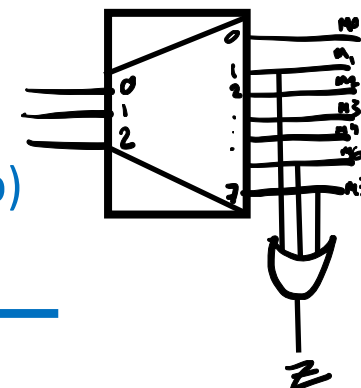
$$m_7 + m_6 + m_1 + m_6$$

$$\Sigma m(7, 6, 1)$$



Multiplexor 2^n a 1

- x 2^n entradas de datos
- s n entradas de control
- E 1 entrada de capacitación (op)
- z 1 salida de datos



si la entrada de control toma la configuración binaria p, la salida equivale a la entrada $(p)_{10}$ -ésima

$$z = \begin{cases} x_i & \text{si } E=1 \text{ y } (s)_{10} = i \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$z = E \cdot \Sigma (x_i \cdot m_i(s))$$

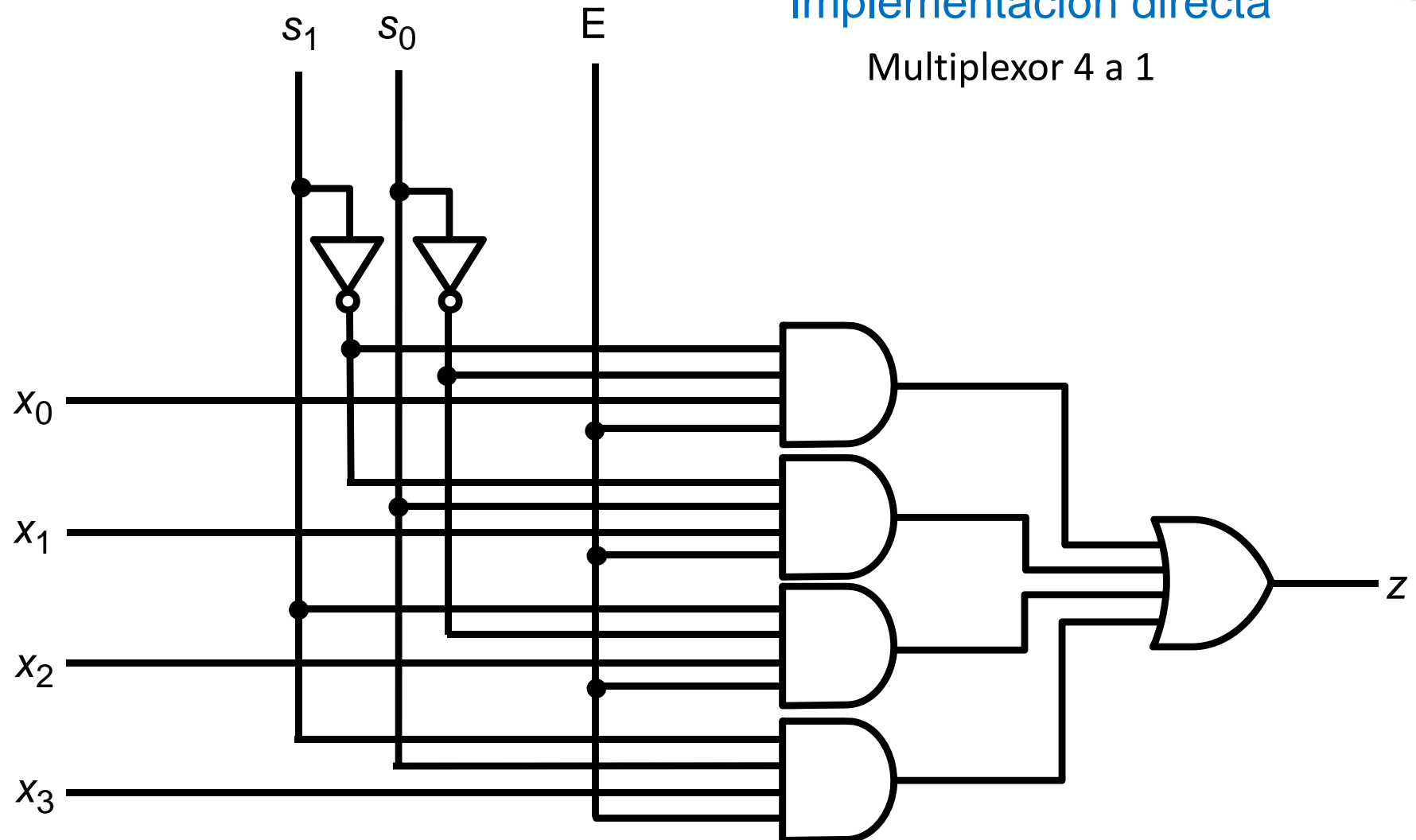
si los pines
un número n en
s, se va a activar
la entrada x_n



Multiplexor

Implementación directa

Multiplexor 4 a 1

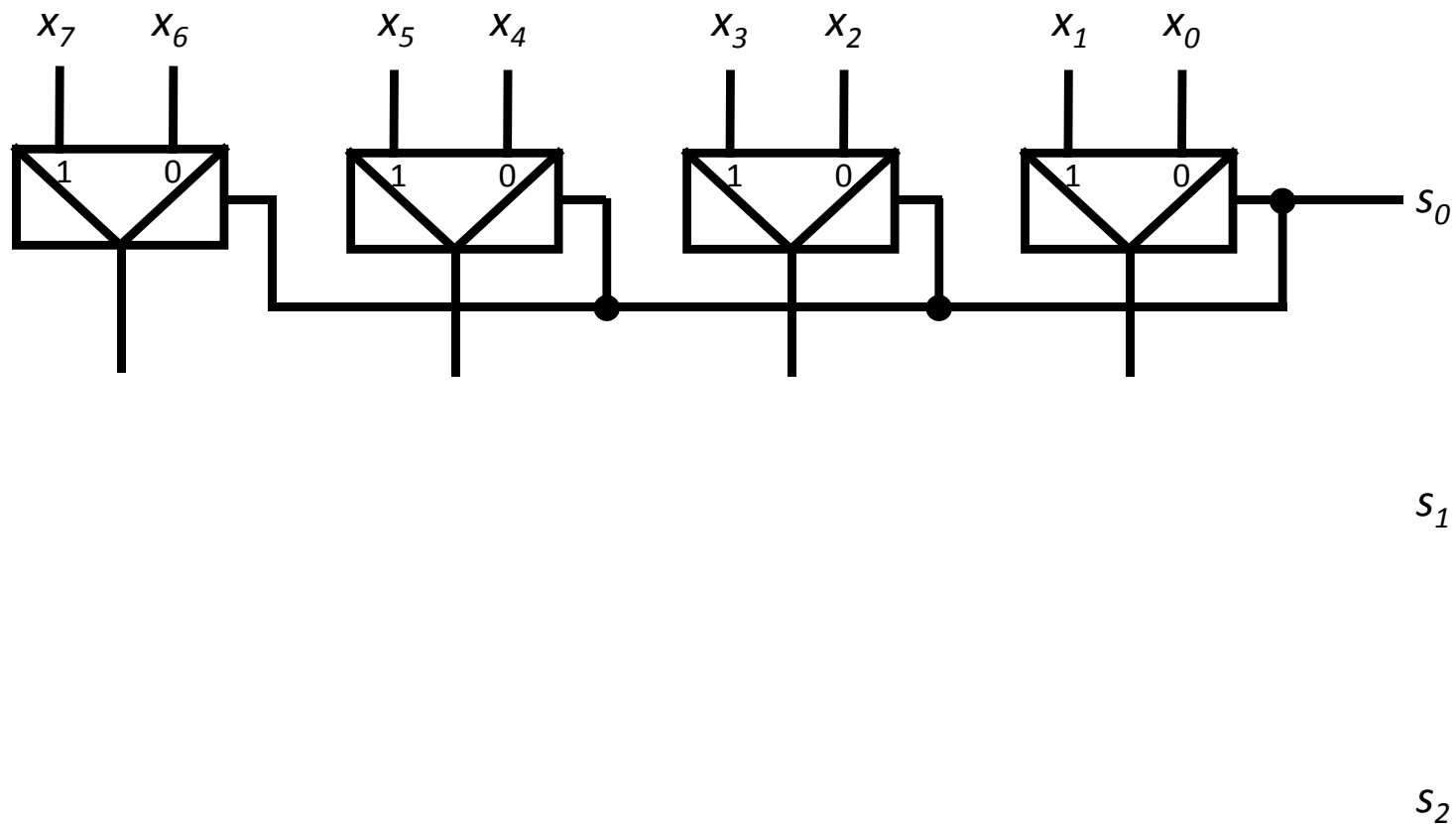




Multiplexor

Implementación en árbol

Multiplexor 8 a 1

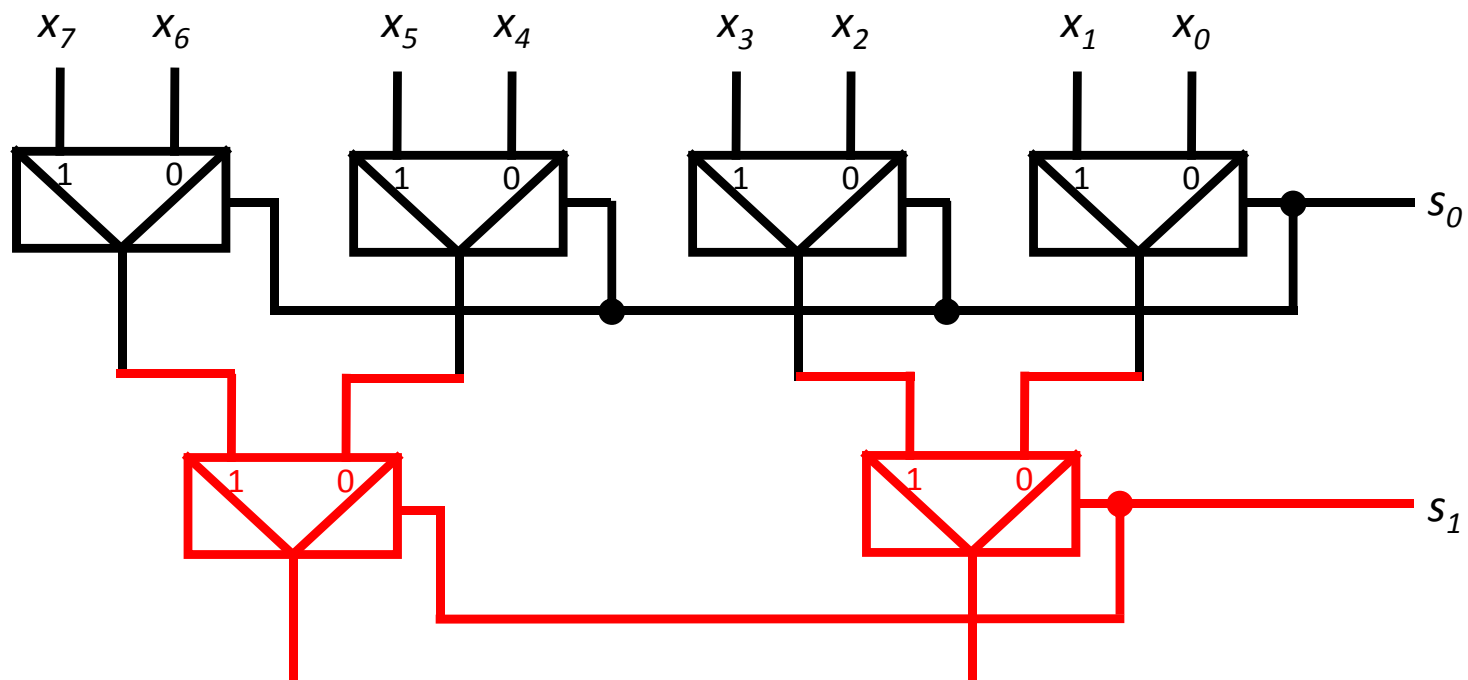




Multiplexor

Implementación en árbol

Multiplexor 8 a 1

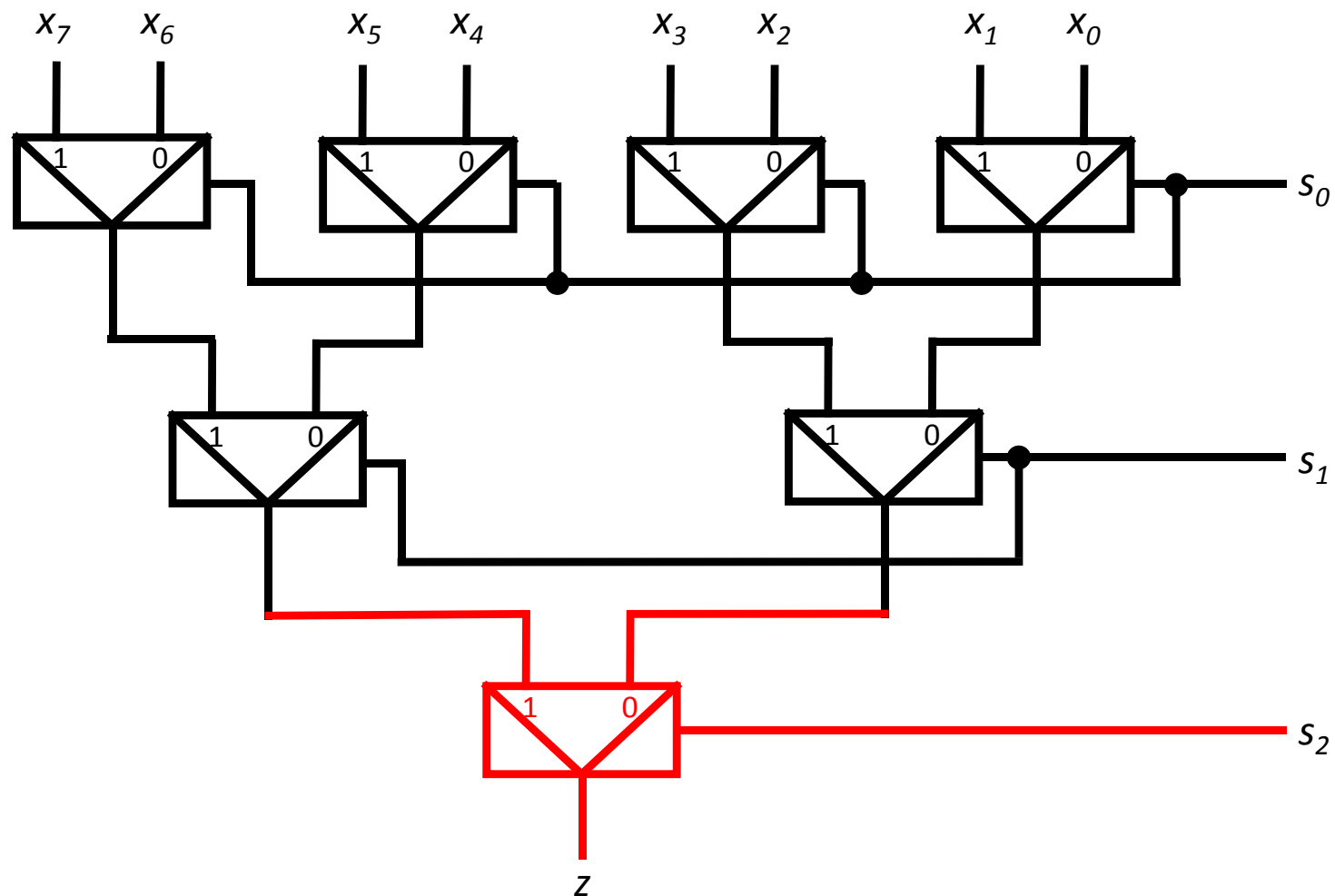




Multiplexor

Implementación en árbol

Multiplexor 8 a 1

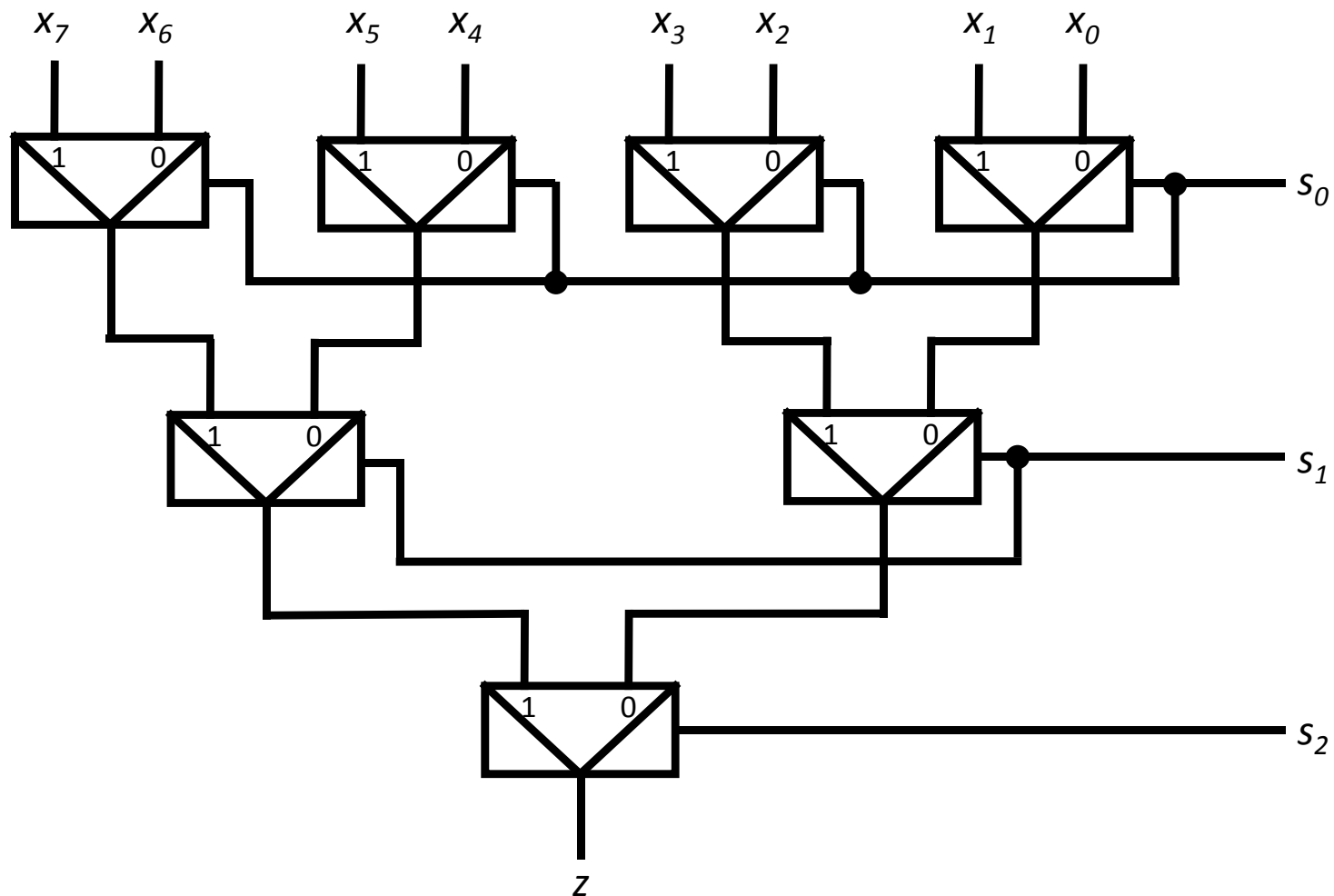




Multiplexor

Implementación en árbol

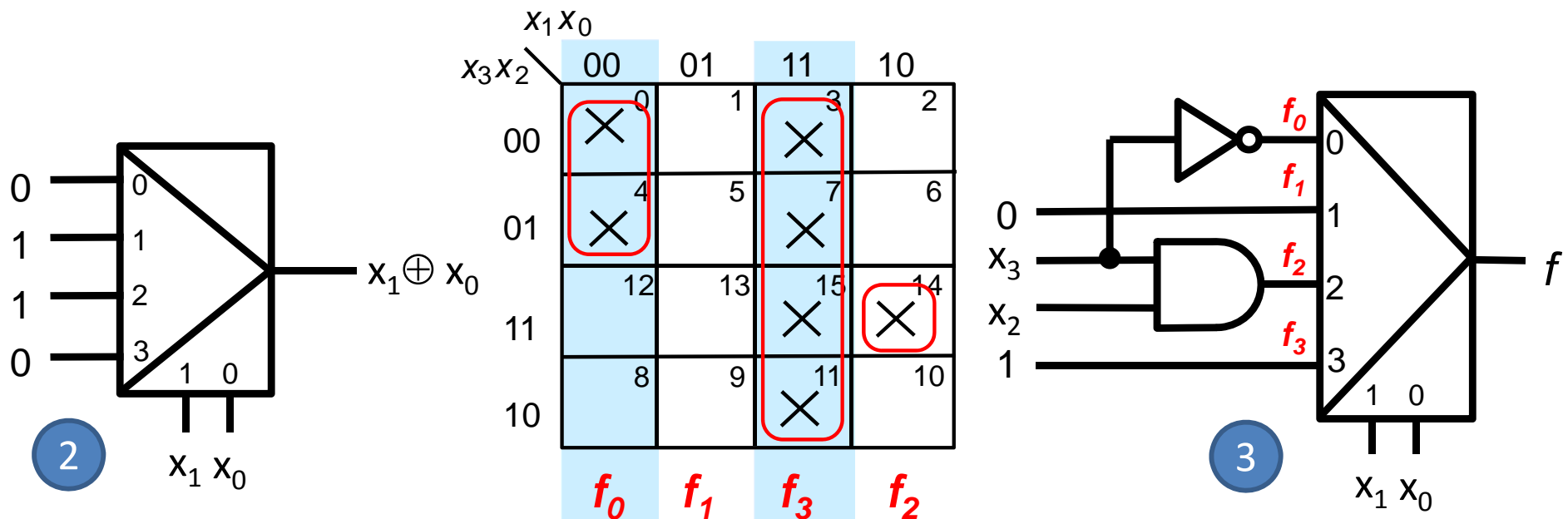
Multiplexor 8 a 1



Multiplexor

■ Aplicaciones al diseño:

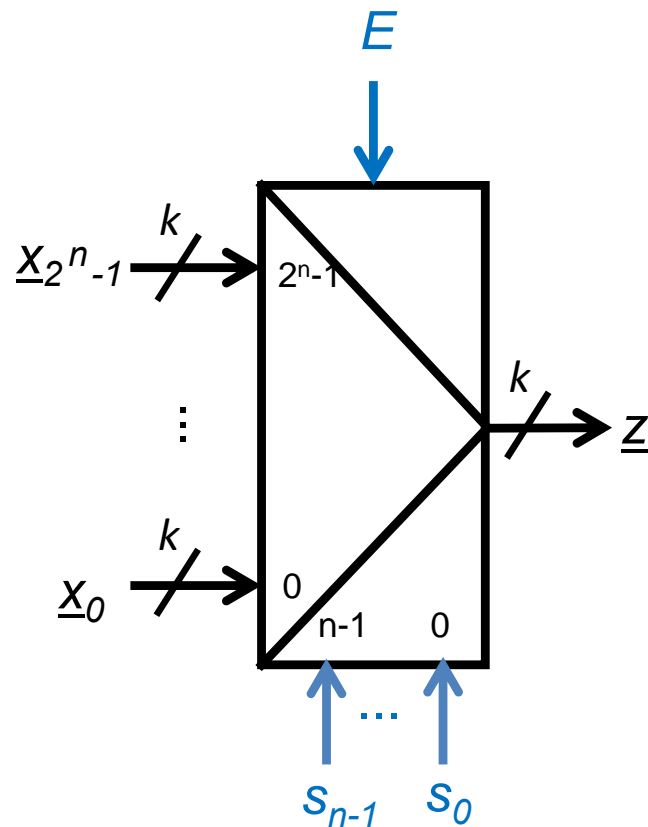
1. Conectar selectivamente varias entradas una misma salida.
2. Implementar directamente FC que tengan el mismo número de variables que entradas de control (transcribiendo su tabla de verdad).
3. Implementar funciones de manera que las EC a simplificar tengan menos variables.





Multiplexor vectorial

Lo mismo que un multiplexor normal pero con cadenas de bits



Multiplexor 2^n a 1 de k bits

- \underline{x} 2^n entradas de datos de k bits
- \underline{s} n entradas de control
- E 1 entrada de capacitación (op)
- \underline{z} 1 salida de datos de k bits

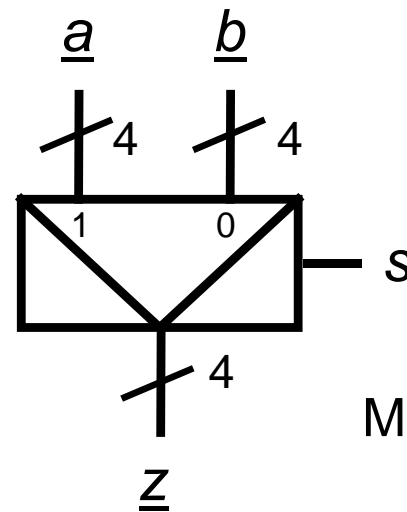
si la entrada de control toma la configuración binaria p, la salida equivale a la entrada $(p)_{10}$ -ésima

$$\underline{z} = \begin{cases} \underline{x}_i & \text{si } E=1 \text{ y } (\underline{s})_{10} = i \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

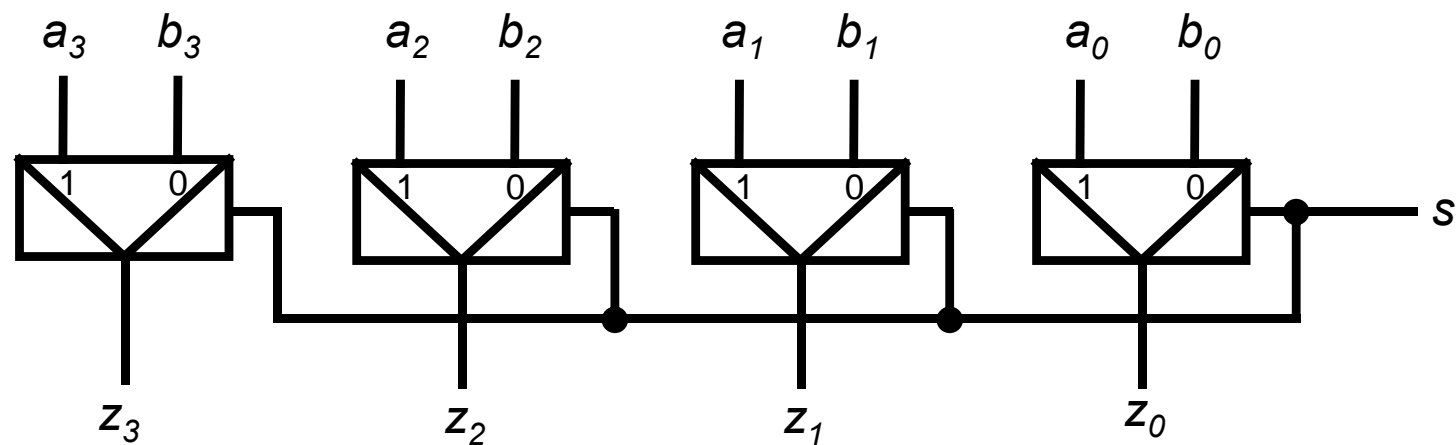
$$z_j = E \cdot \sum (x_{ij} \cdot m_i(\underline{s}))$$



Multiplexor vectorial

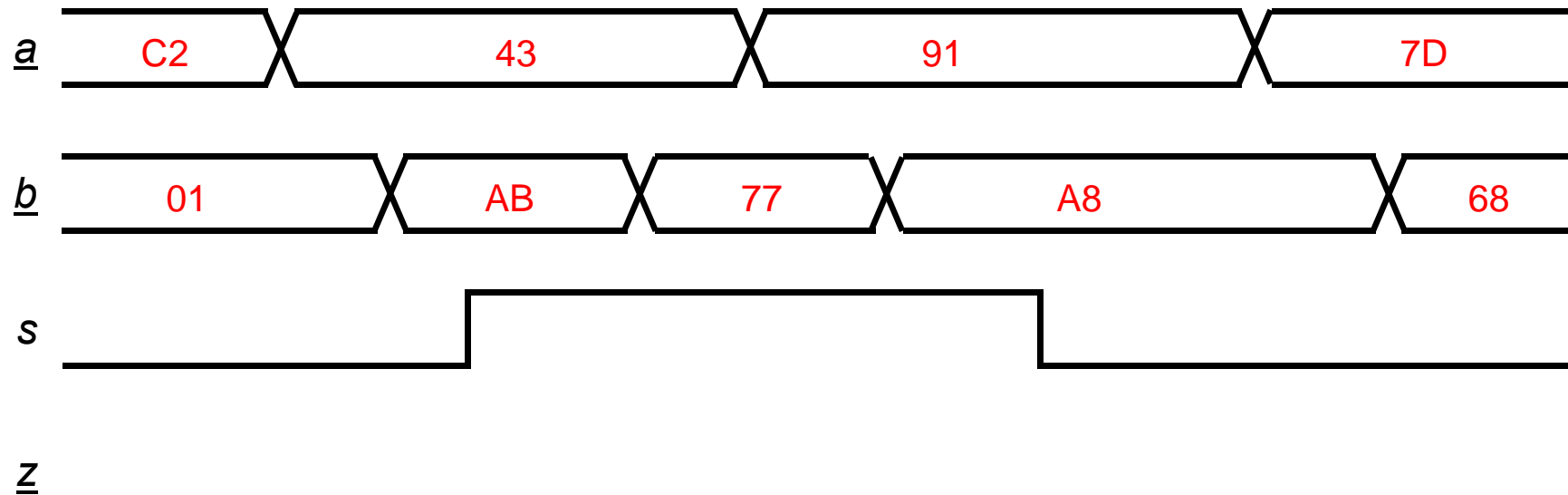
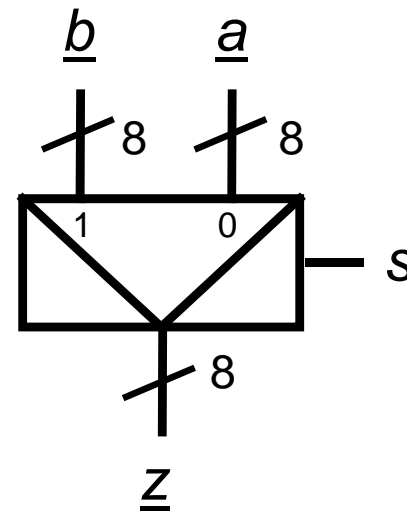


Multiplexor 2 a 1 de 4 bits



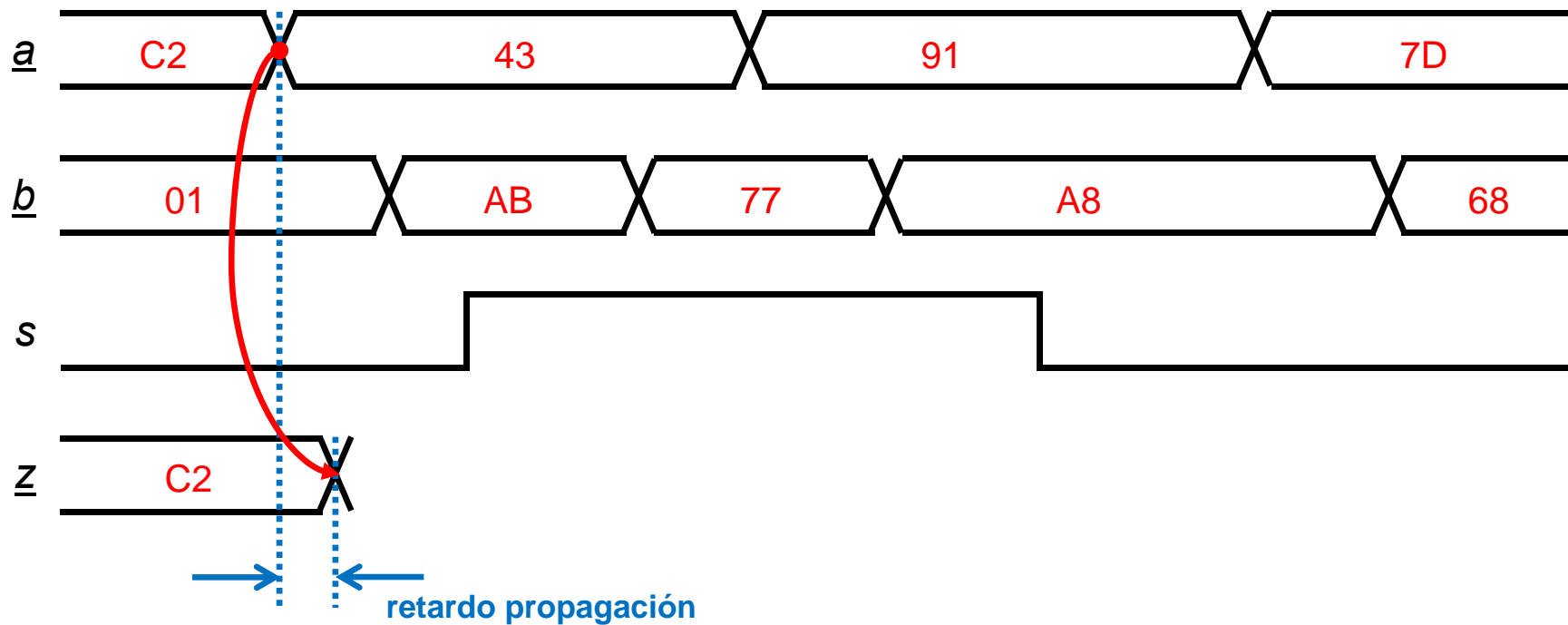
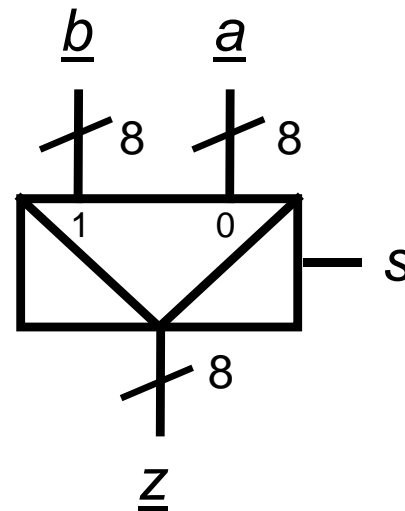


Multiplexor vectorial



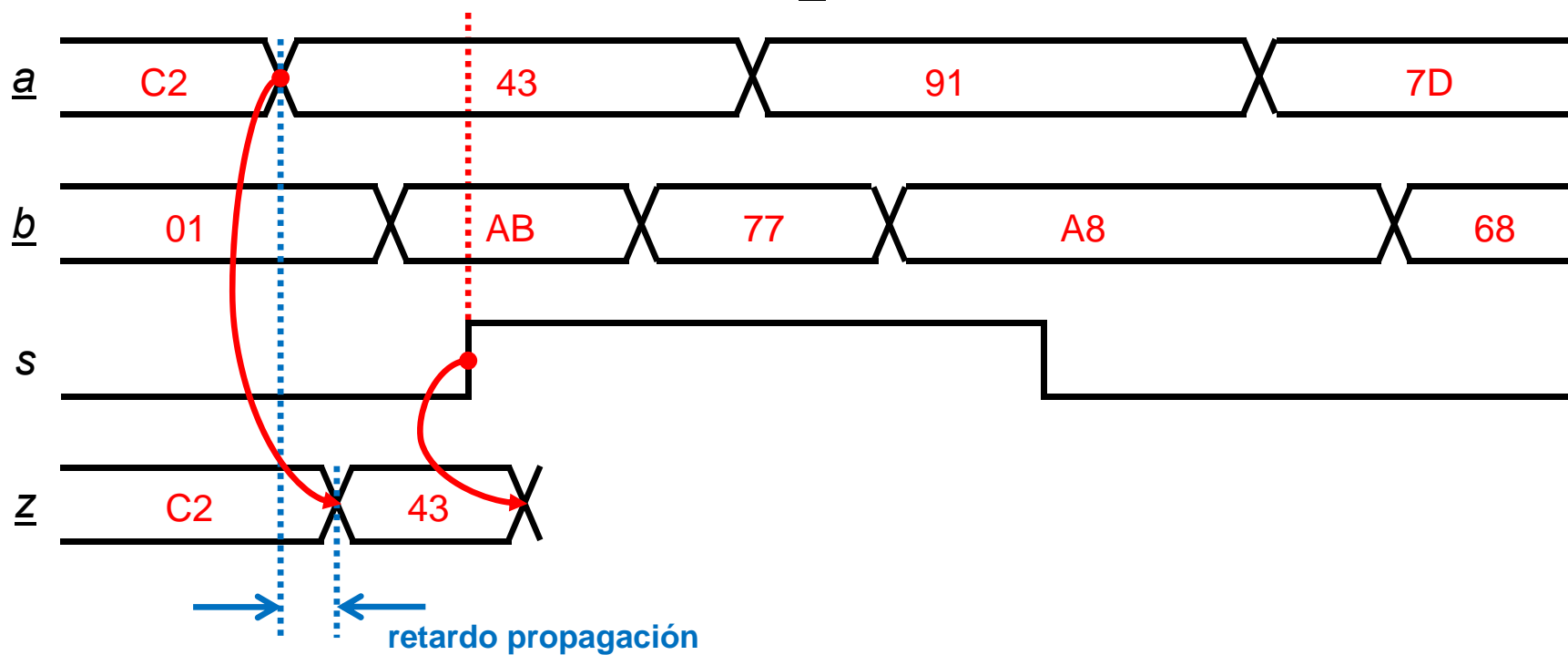
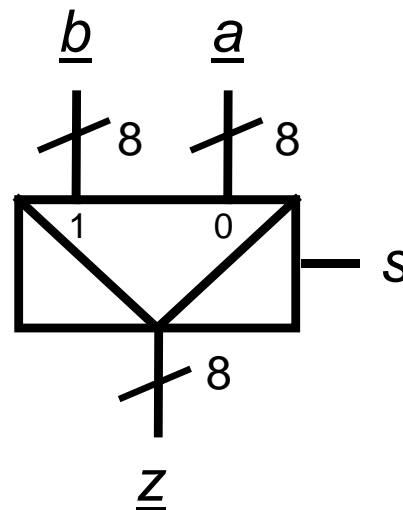


Multiplexor vectorial



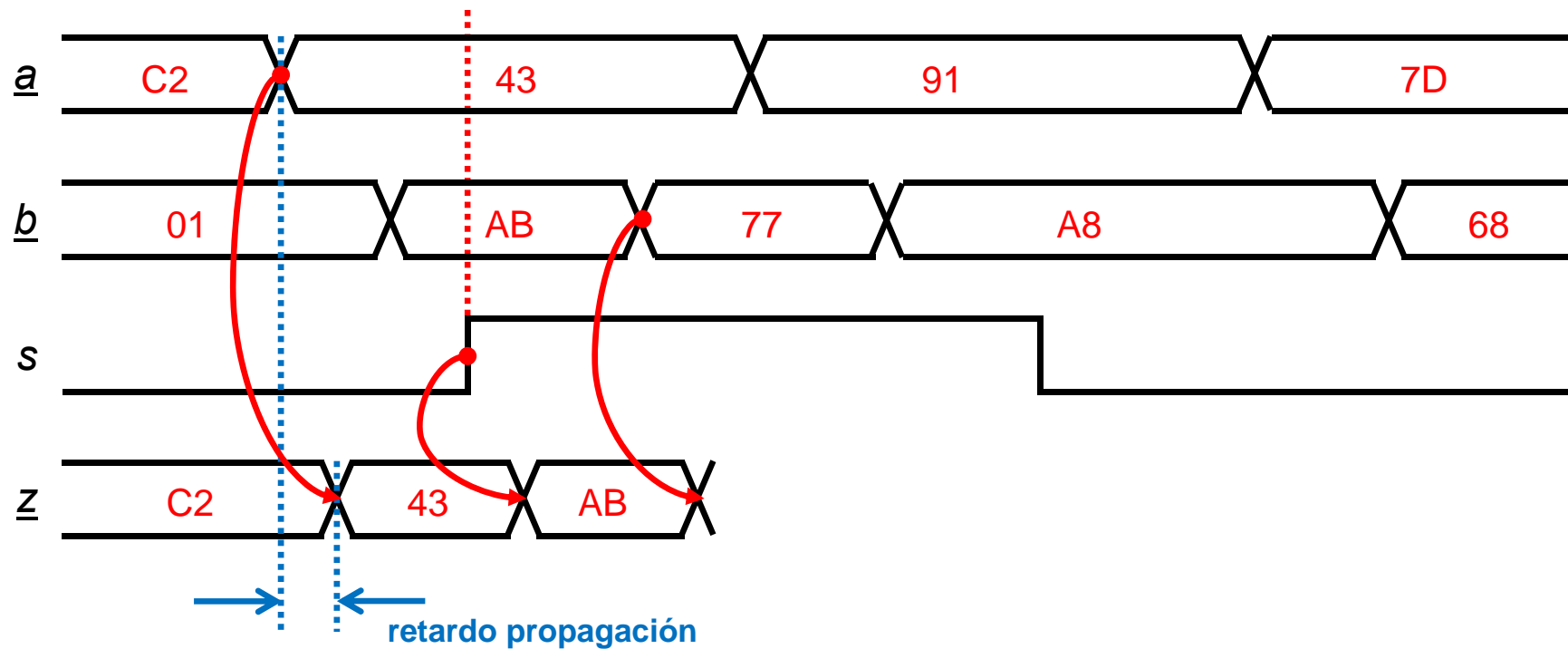
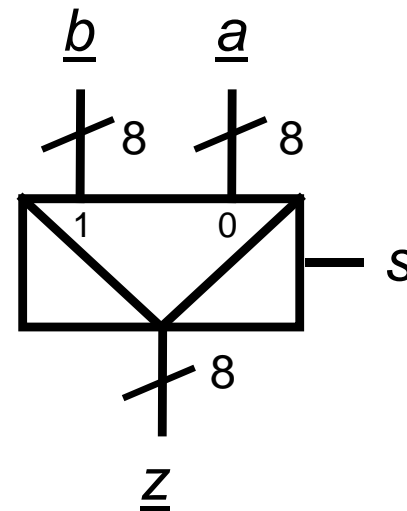


Multiplexor vectorial



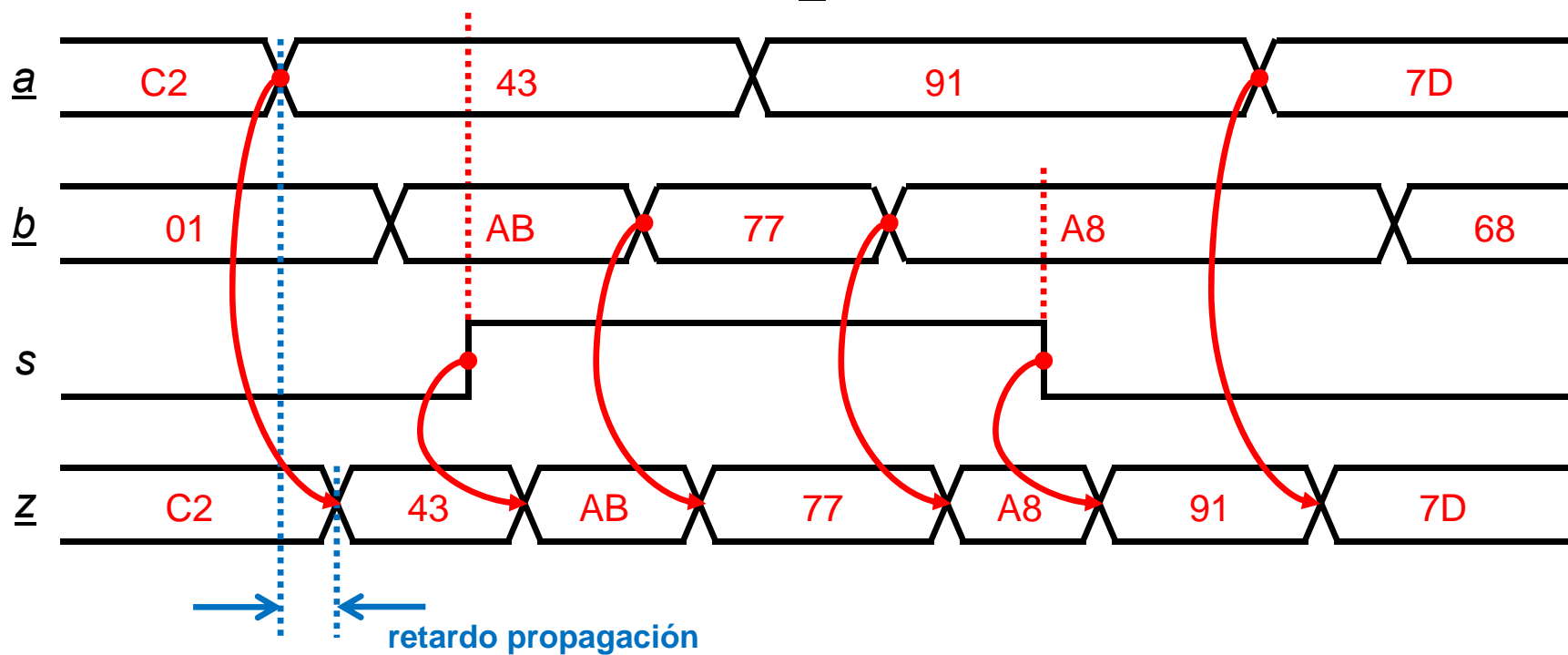
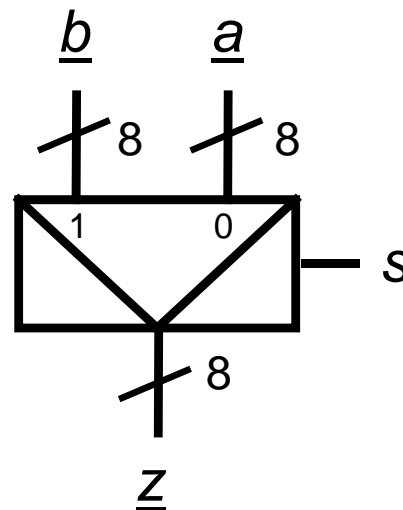


Multiplexor vectorial

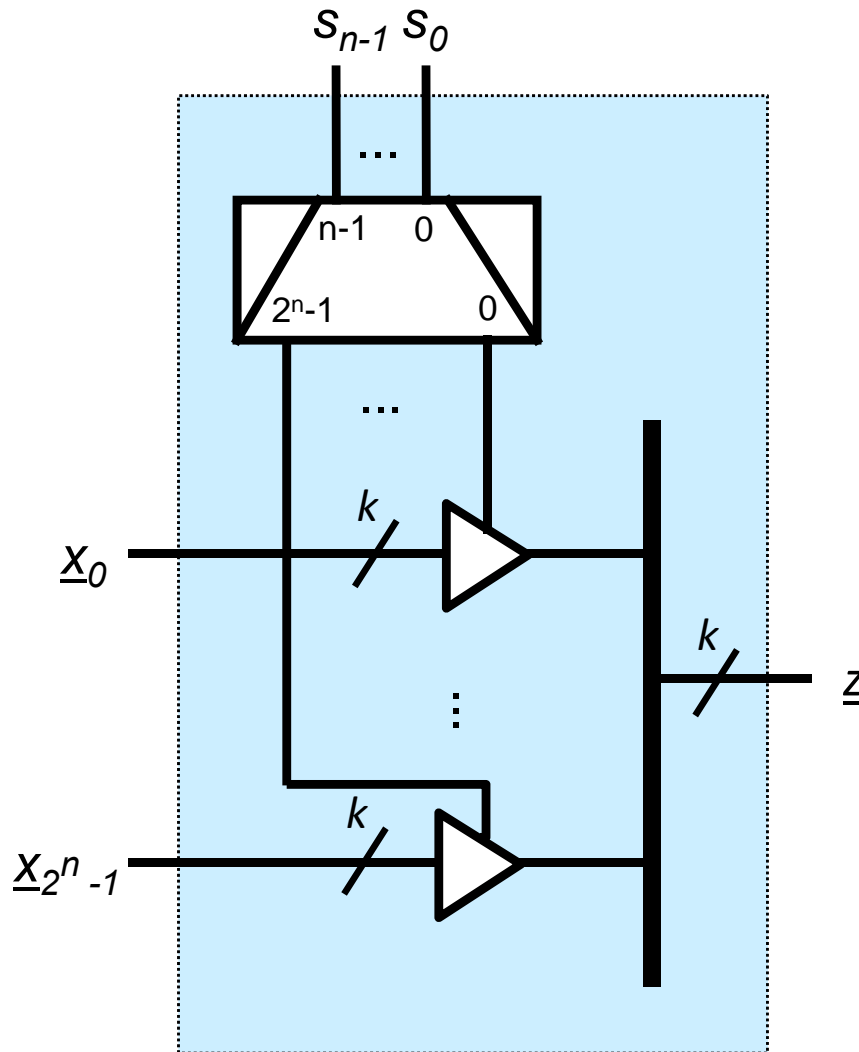




Multiplexor vectorial



Bus



\underline{x} 2^n entradas de datos de k bits

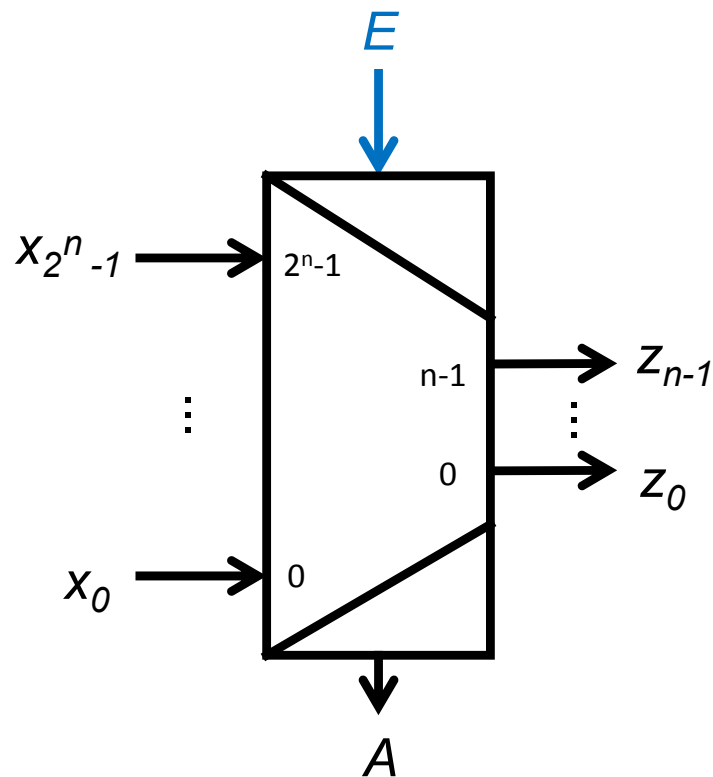
\underline{s} n entradas de control

\underline{z} 1 salida de datos de k bits

si la entrada de control toma la configuración binaria p , la salida equivale a la entrada $(p)_{10}$ -ésima



Codificador



Codificador 2^n a n

\underline{x} 2^n entradas de datos

\underline{z} n salidas de datos

E 1 entrada de capacitación (op)

A 1 salida de actividad

si se activa la entrada p -ésima **y solo esa**, la salida codifica p en binario

$$\underline{z} = \begin{cases} (i)_2 & \text{si } E=1 \text{ y } x_i = 1 \text{ y } \forall j, j \neq i, x_j=0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$A = \begin{cases} 1 & \text{si } E=1 \text{ y } \exists i, x_i=1 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$z_i = E \cdot \sum (x_j) \text{ con } j \in \{ (a_{n-1} \dots a_0)_2 / a_i = 1 \}$$
$$A = E \cdot \sum (x_i)$$



Codificador

versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinatoriales básicos

FC

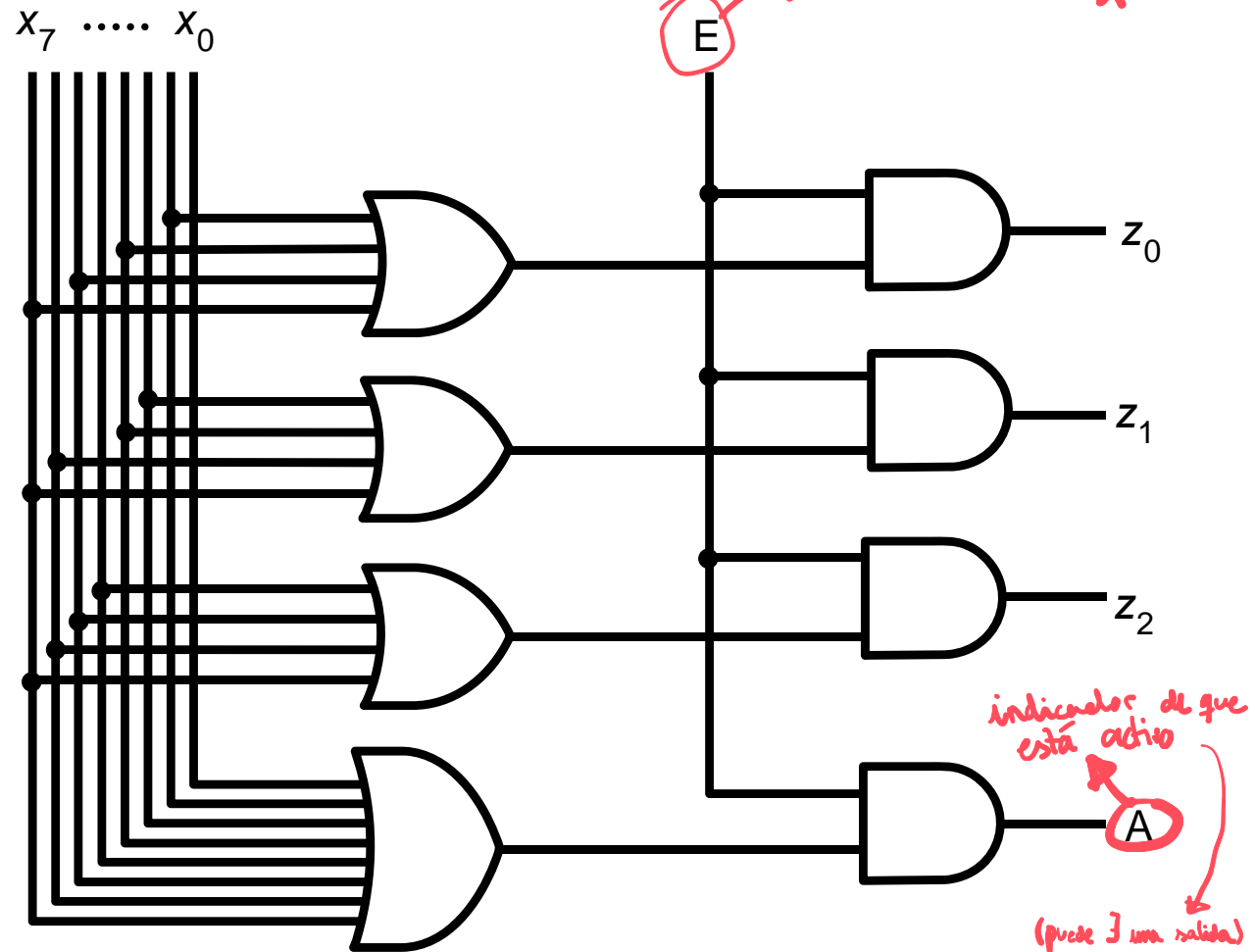
25

Implementación directa

Codificador 8 a 3

si $E=0 \Rightarrow z_x=0$

| entrada activada | z_2 | z_1 | z_0 |
|---------------------|-------|-------|-------|
| x_0 | 0 | 0 | 0 |
| x_1 | 0 | 0 | 1 |
| x_2 | 0 | 1 | 0 |
| x_3 | 0 | 1 | 1 |
| x_4 | 1 | 0 | 0 |
| x_5 | 1 | 0 | 1 |
| x_6 | 1 | 1 | 0 |
| x_7 | 1 | 1 | 1 |





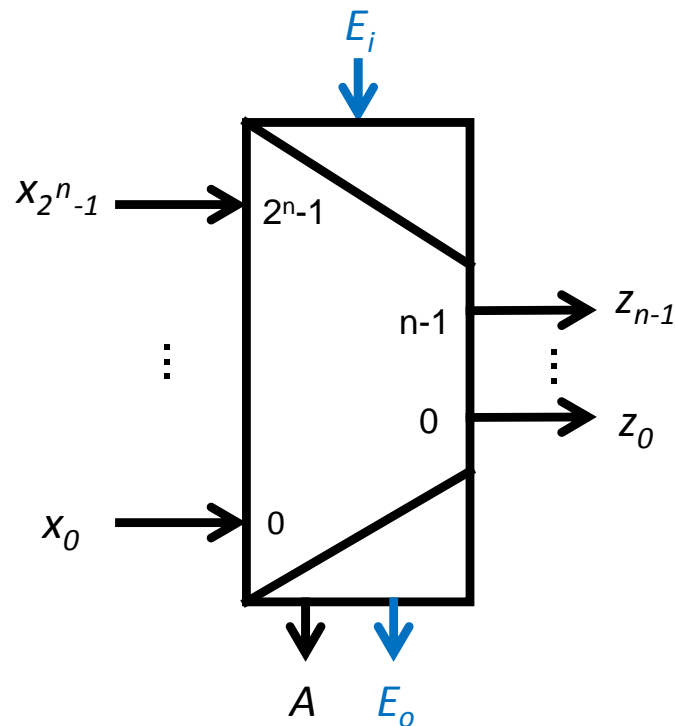
Codificador de prioridad

versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinatoriales básicos

FC

26



Codificador de
prioridad 2^n a n

\underline{x} 2^n entradas de datos

\underline{z} n salidas de datos

E_i 1 entrada de capacitación (op)

E_o 1 salida de capacitación (op)

A 1 salida de actividad

la salida codifica en binario la
entrada activa de **más peso**

$$\underline{z} = \begin{cases} (i)_2 & \text{si } E_i=1 \text{ y } x_i = 1 \text{ y } \forall j, j>i, x_j=0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Si capacitación y existe una entrada más grande cuando

$$A = \begin{cases} 1 & \text{si } E_i=1 \text{ y } \exists i, x_i=1 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Si capacitación y alguna entrada

$$E_o = \begin{cases} 1 & \text{si } E_i=1 \text{ y } \forall j, x_j = 0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Si capacitación y ninguna entrada



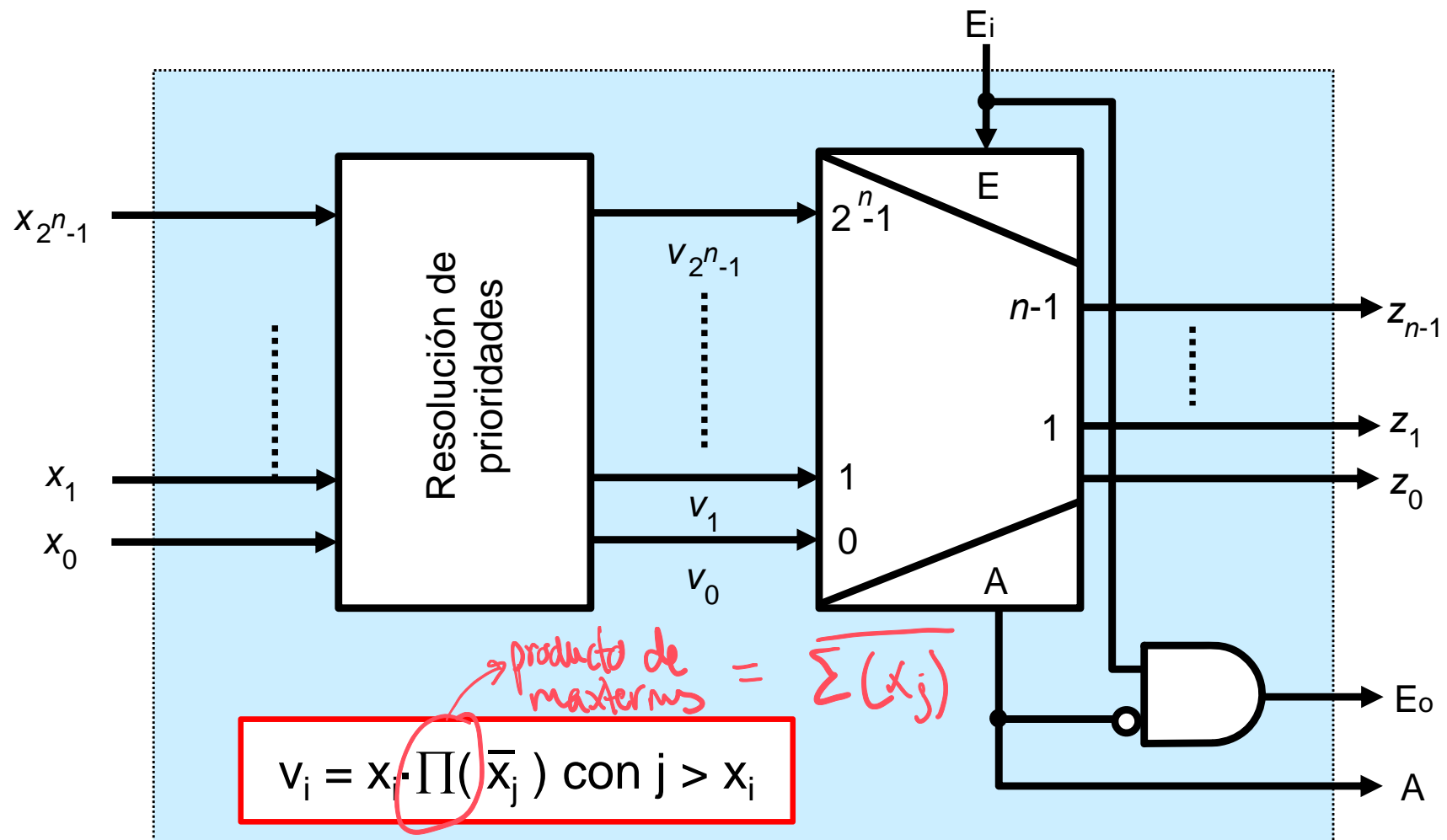
Codificador de prioridad

versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinacionales básicos

FC

27



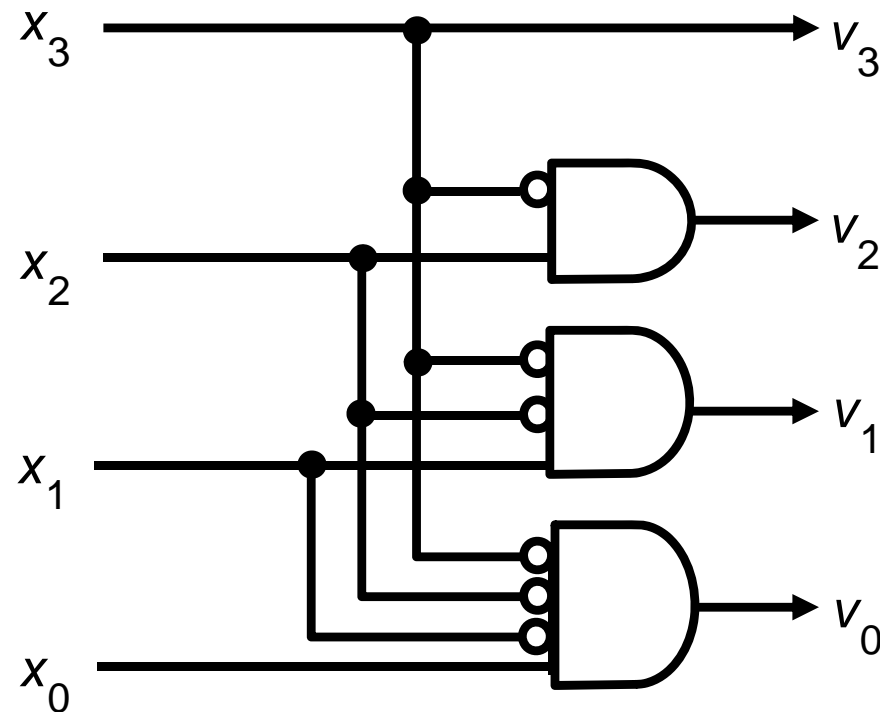


Codificador de prioridad

Implementación directa

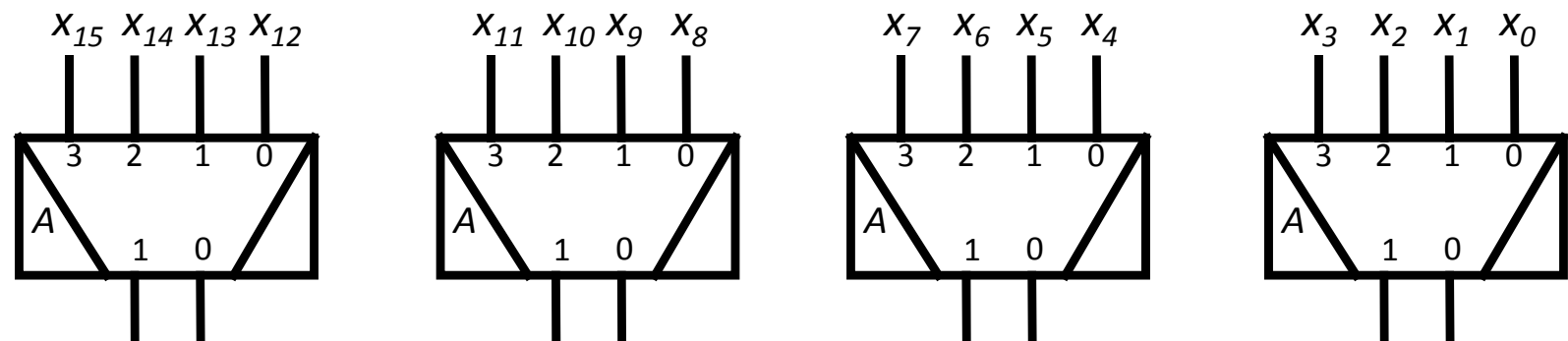
Resolución de prioridades

Codificador 4 a 2





Codificador de prioridad



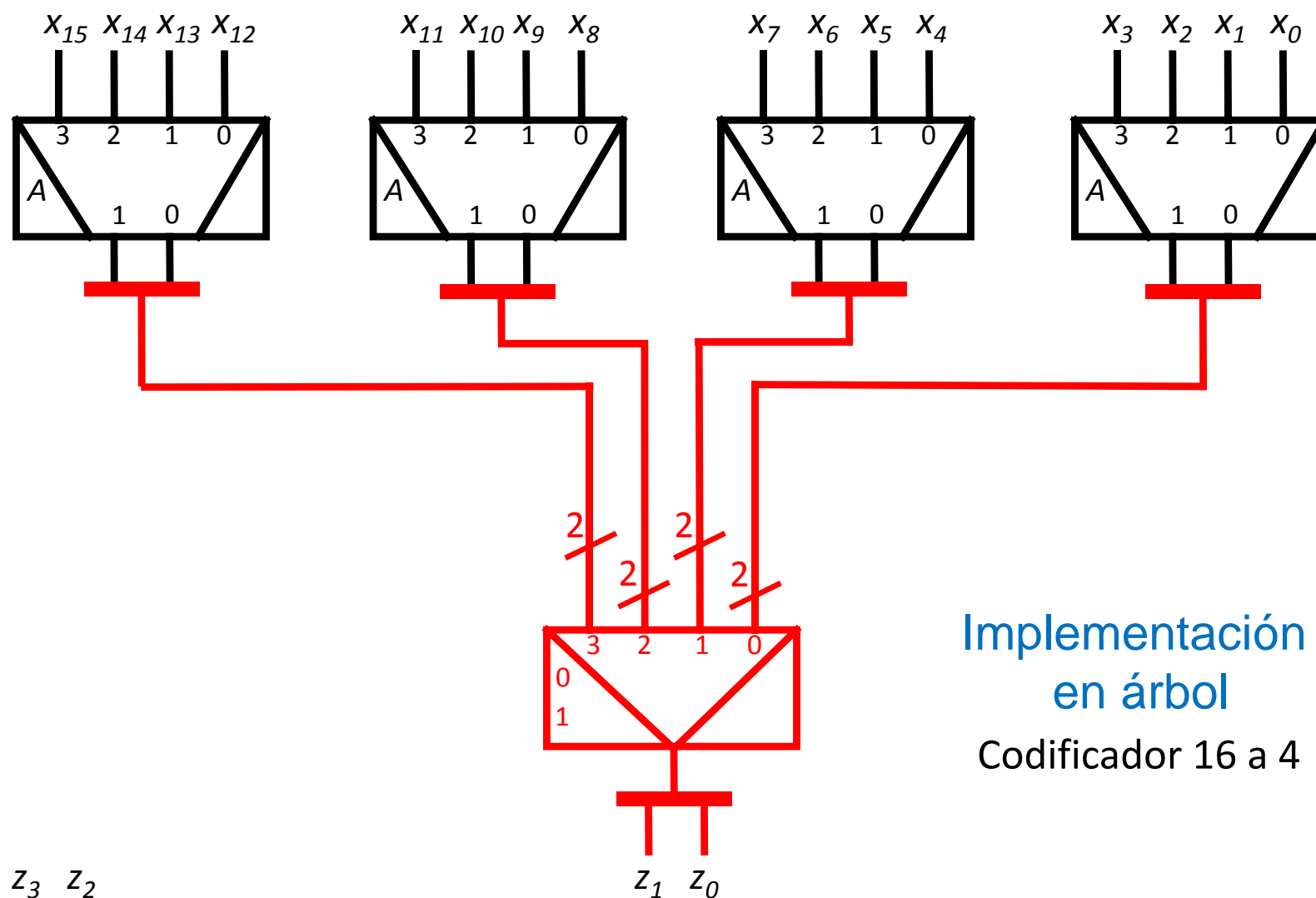
A

Implementación
en árbol

Codificador 16 a 4



Codificador de prioridad



Implementación
en árbol
Codificador 16 a 4



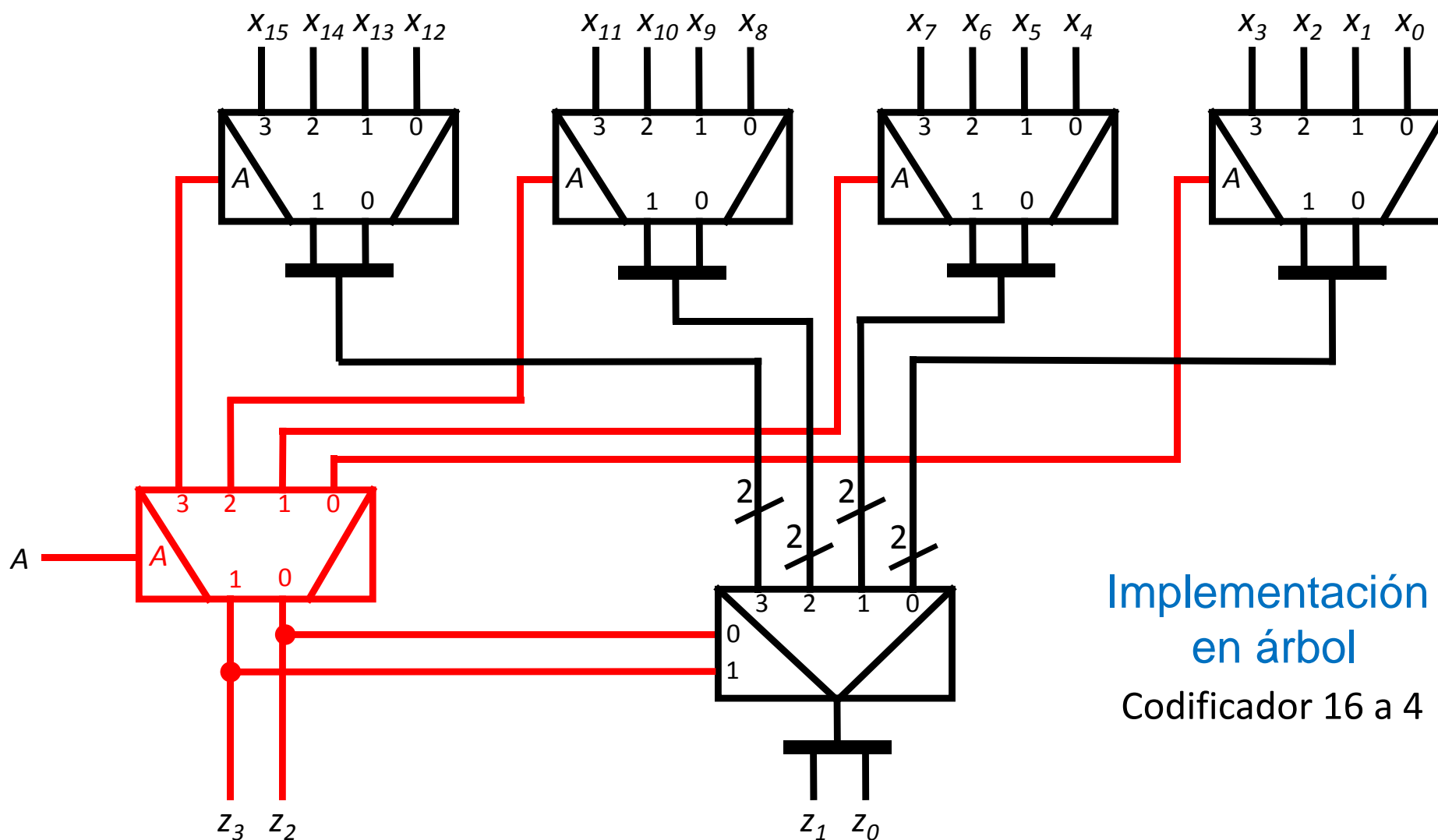
Codificador de prioridad

versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinatoriales básicos

FC

31



Implementación
en árbol
Codificador 16 a 4



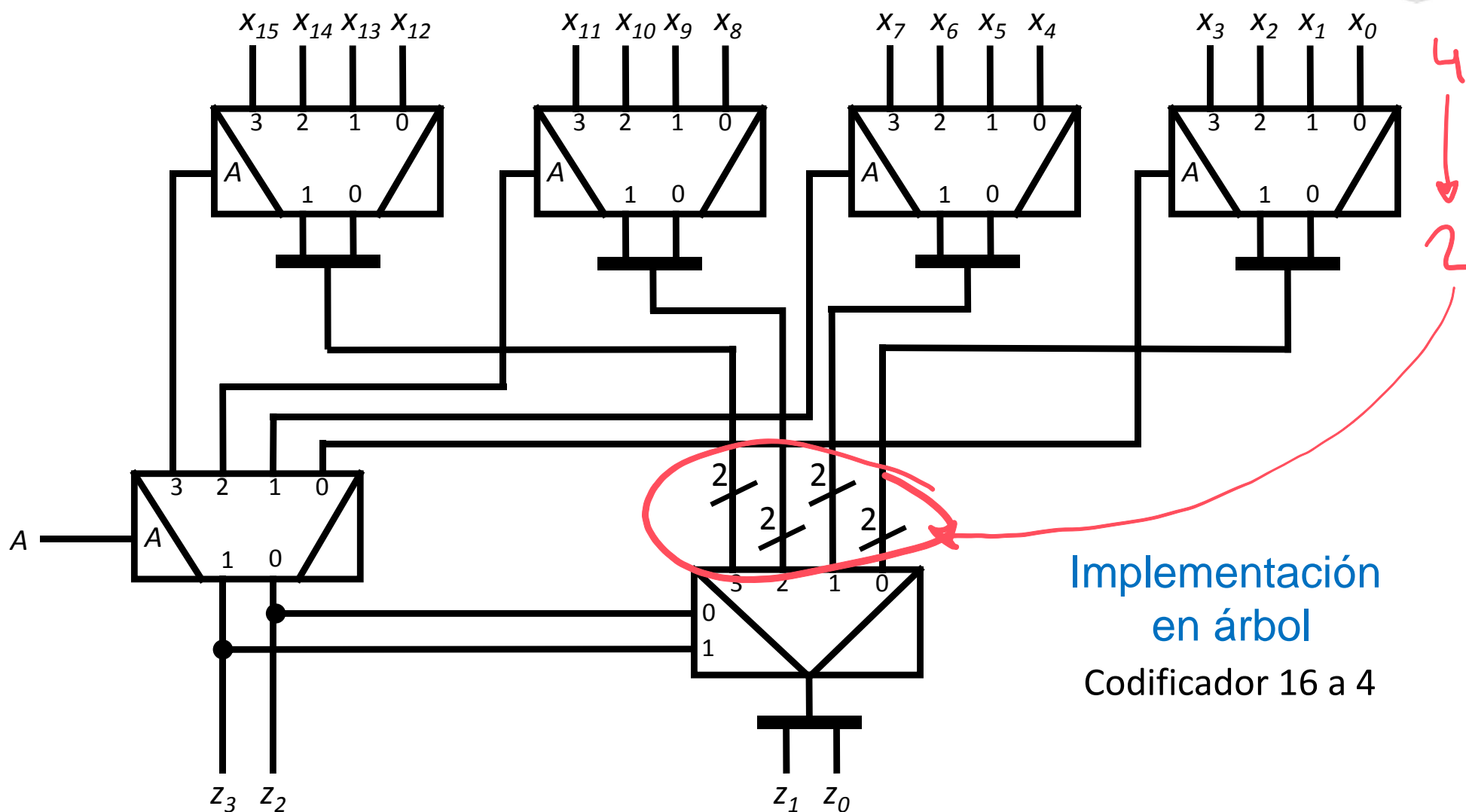
Codificador de prioridad

versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinatoriales básicos

FC

32

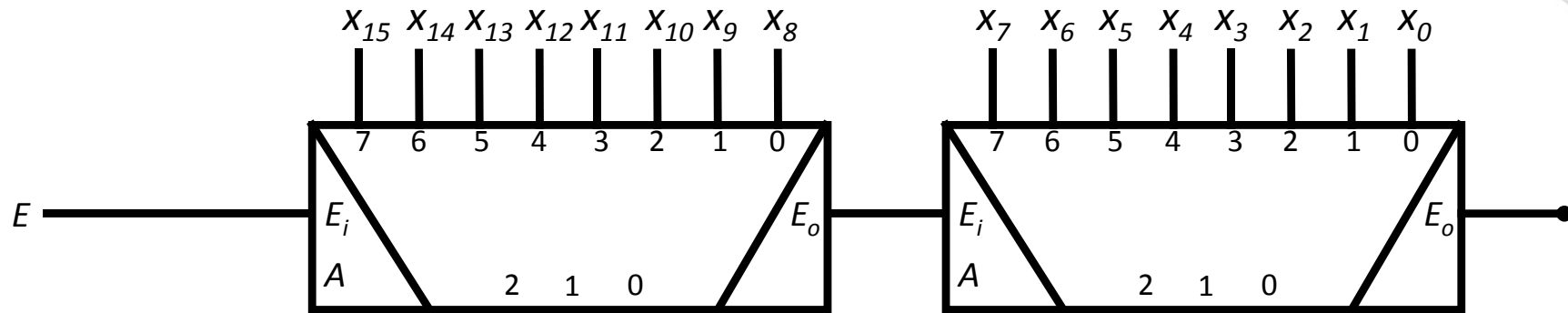


Implementación
en árbol

Codificador 16 a 4



Codificador de prioridad



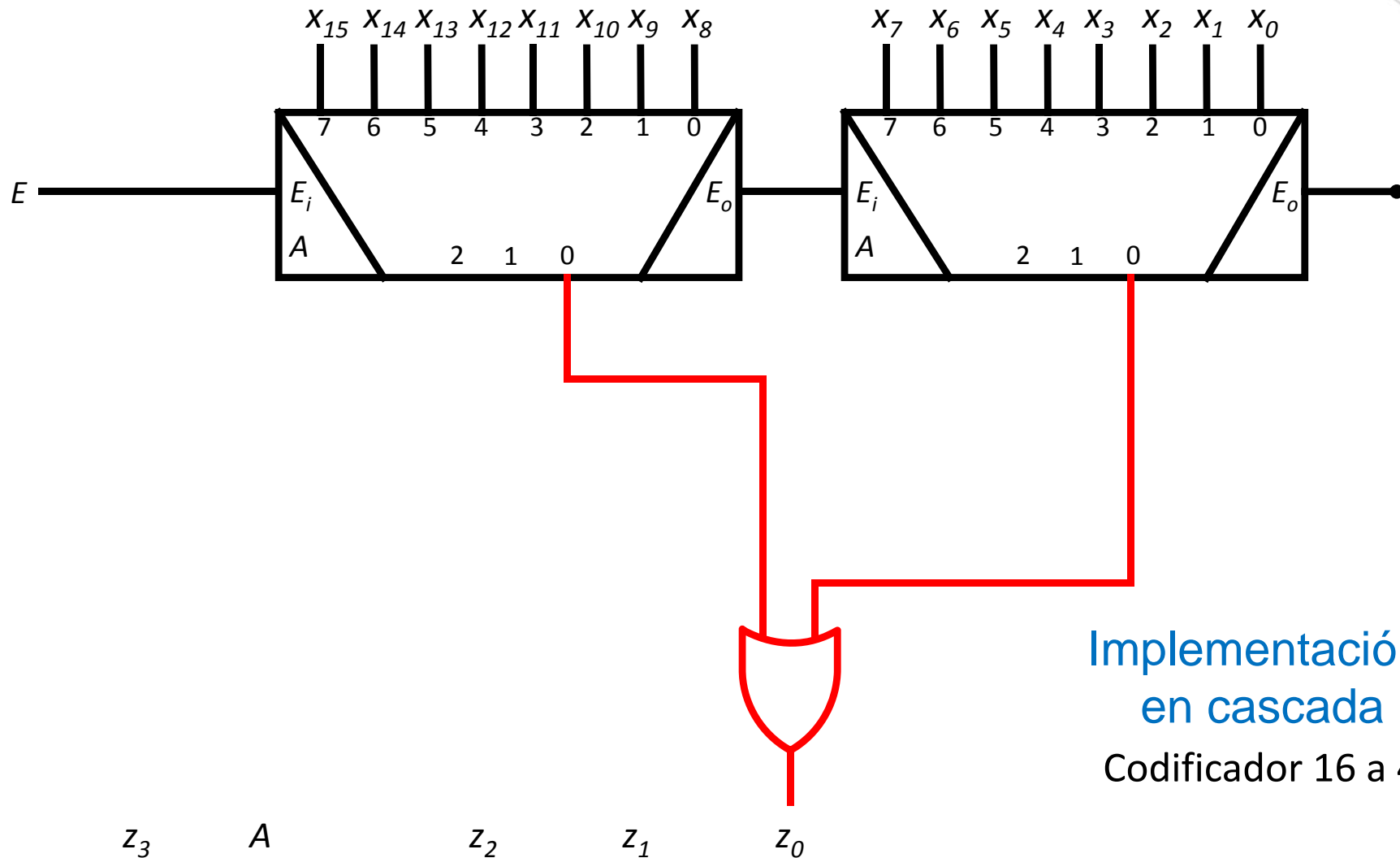
Implementación
en cascada

Codificador 16 a 4

z_3 A z_2 z_1 z_0



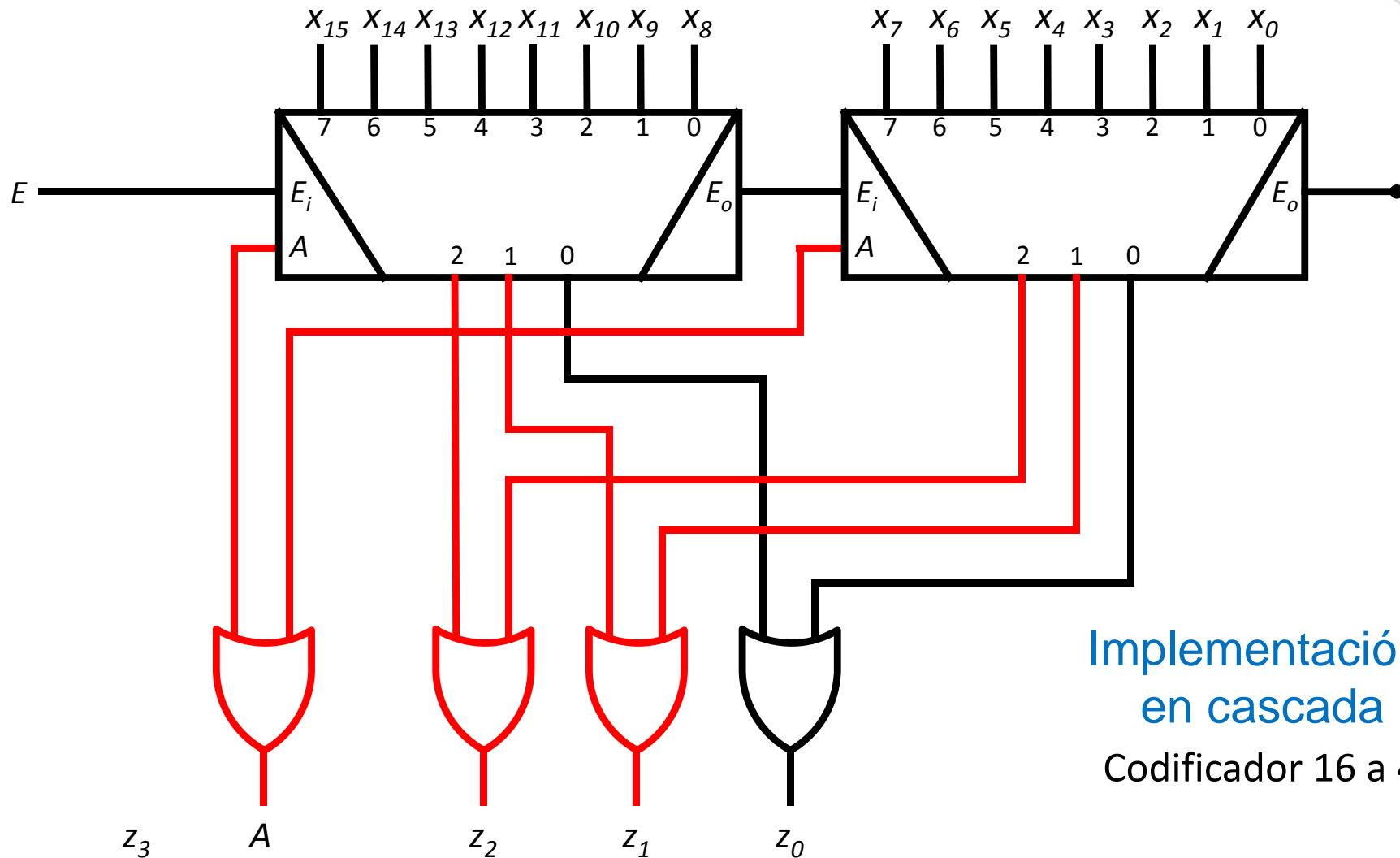
Codificador de prioridad



Implementación
en cascada
Codificador 16 a 4



Codificador de prioridad

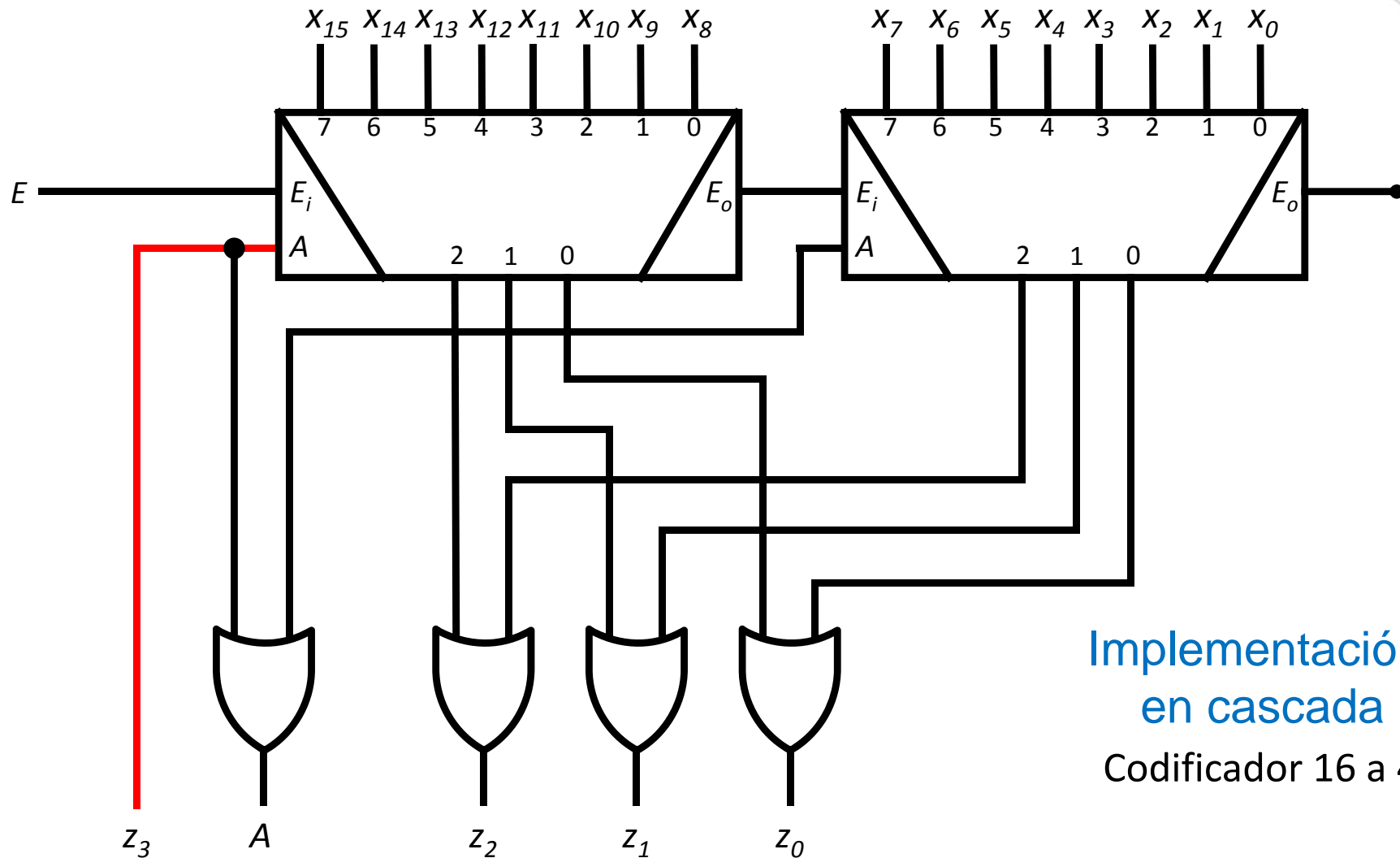


Implementación
en cascada

Codificador 16 a 4



Codificador de prioridad

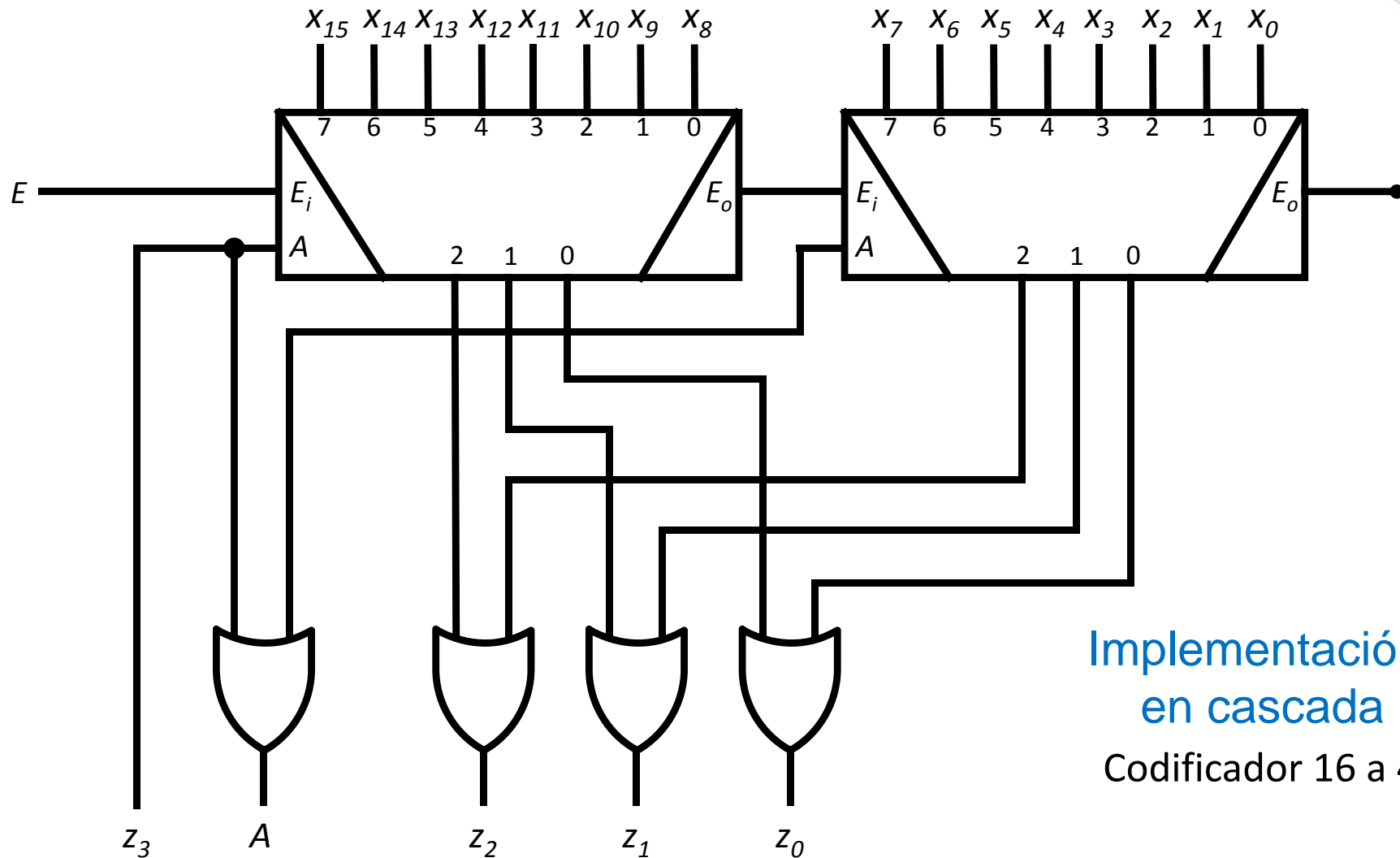


Implementación
en cascada

Codificador 16 a 4



Codificador de prioridad



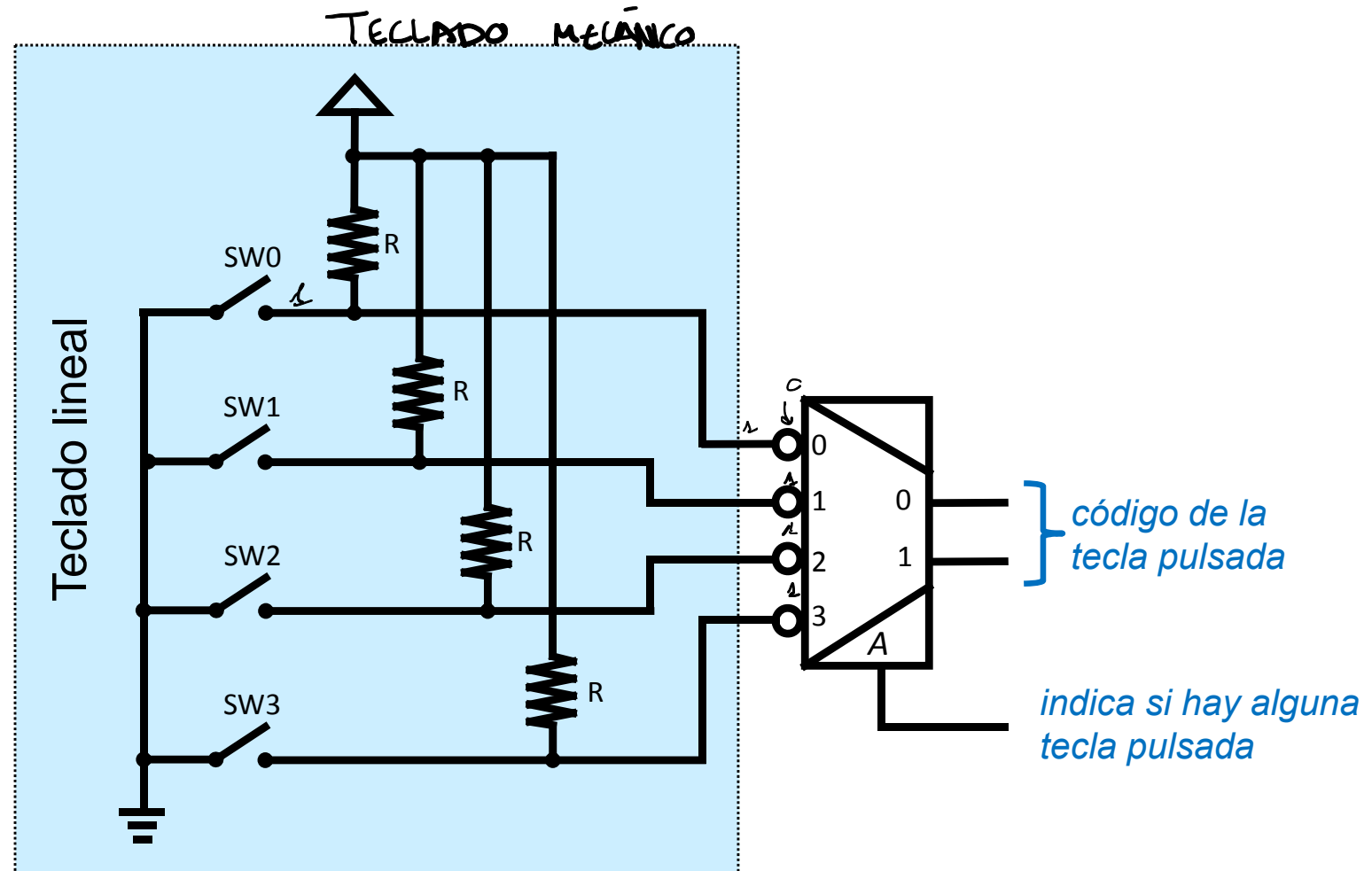
Implementación
en cascada

Codificador 16 a 4

Codificador de prioridad

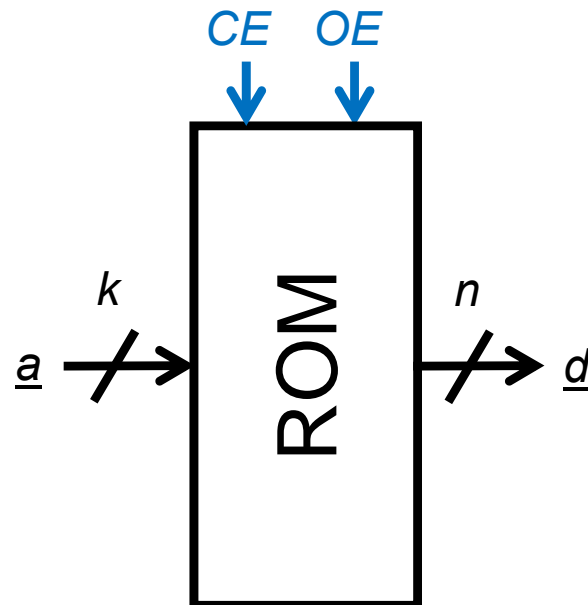
■ Aplicaciones al diseño:

1. Asociar un código a cada componente de un vector de entrada.





ROM (Read Only Memory)

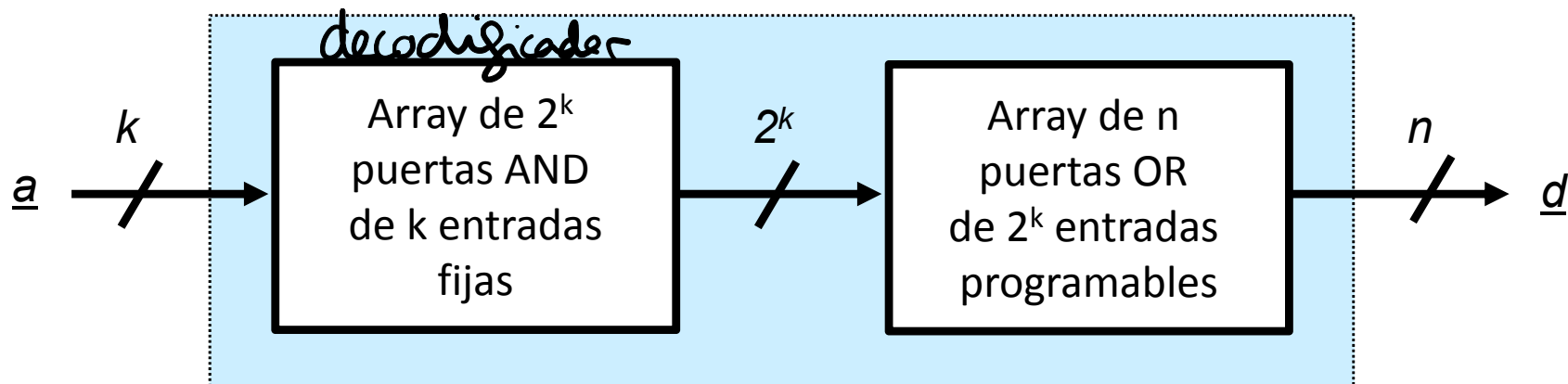


ROM $2^k \times n$
(2^k palabras de n bits)

-
- a 1 entrada de dirección de k bits
 - d 1 salida de datos de n bits
 - CE 1 entrada de capacitación (op)
 - OE 1 entrada de capacitación de lectura (op)
-

*dispositivo programable capaz de
implementar n FC de k variables
almacenando sus tablas de verdad*

*memoria no volátil de capaz de
almacenar 2^k palabras de n bits cada una*





ROM (Read Only Memory)

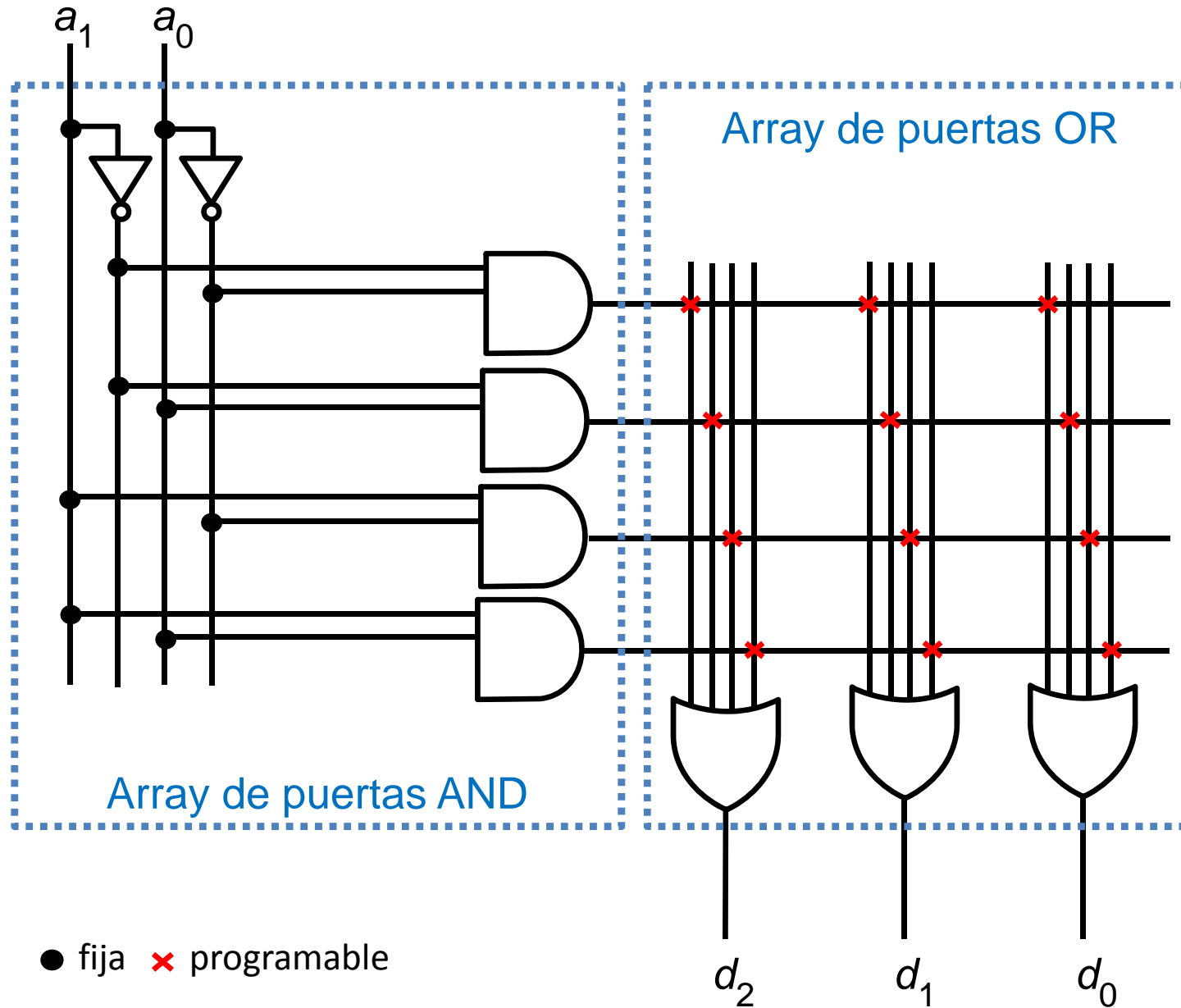
versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinatoriales básicos

FC

40

ROM 4x3





ROM (Read Only Memory)

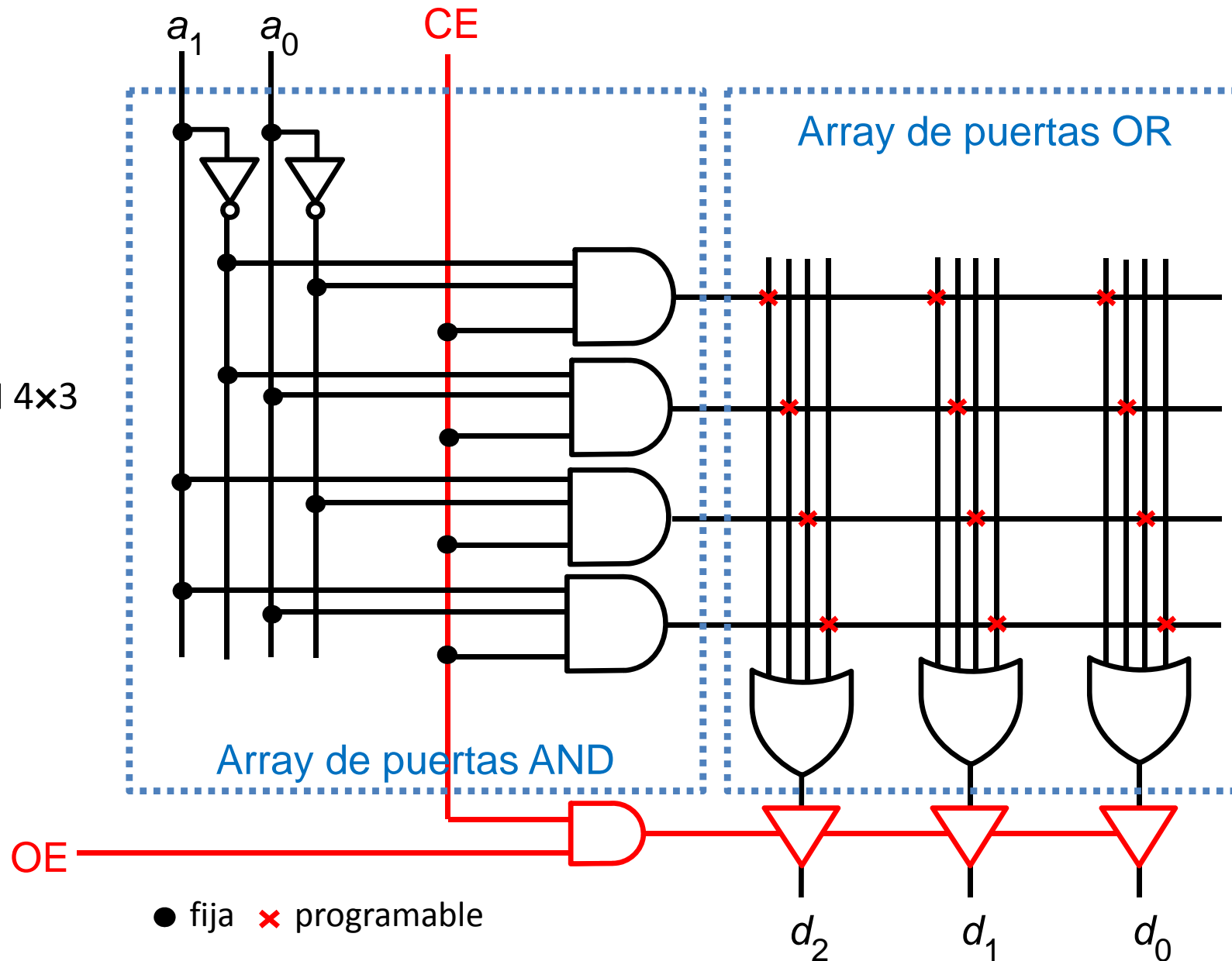
versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinatoriales básicos

FC

41

ROM 4x3





ROM (Read Only Memory)

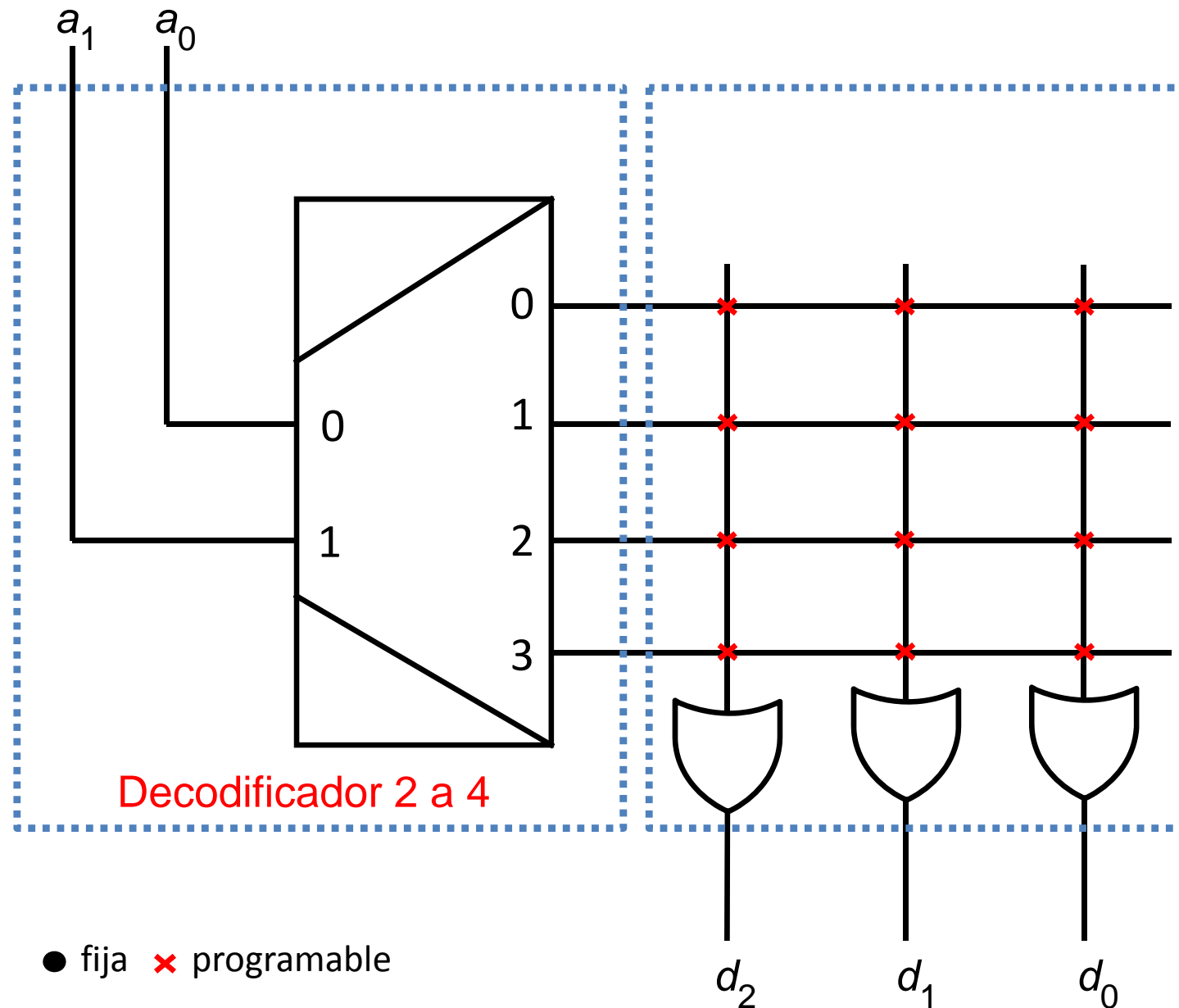
versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinatoriales básicos

FC

42

ROM 4x3





ROM (Read Only Memory)

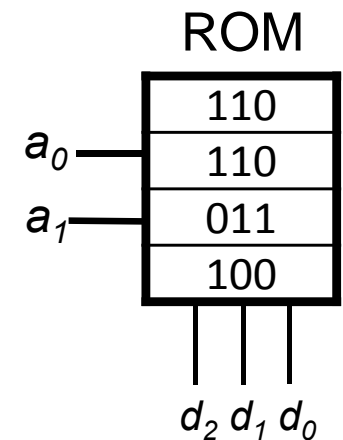
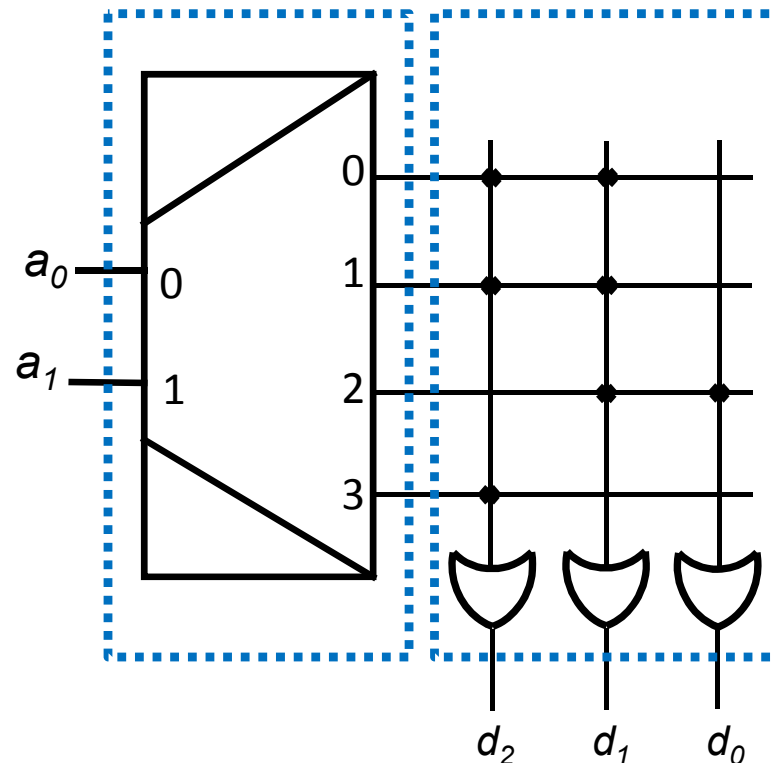
- Aplicaciones al diseño:
 - Implementar directamente FC almacenando su tabla de verdad.

| | a_1 | a_0 | d_2 | d_1 | d_0 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

$$d_2 = \bar{a}_1 + \bar{a}_0$$

$$d_1 = a_1 + a_0$$

$$d_0 = a_1 \cdot \bar{a}_0$$



ROM (Read Only Memory)



- **Mask Programmable ROM**
 - Se programa durante la fabricación del chip.
 - No puede borrarse/reprogramarse.
- **PROM (Programmable ROM)**
 - Se programa eléctricamente usando un programador.
 - No puede borrarse/reprogramarse.
- **EPROM (Erasable Programmable ROM)**
 - Se programa eléctricamente usando un programador.
 - Se borra (chip completo) exponiéndola a luz ultravioleta.
- **EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM)**
 - Se programa/borra (palabra) eléctricamente usando un programador.
- **Flash memory**
 - Se programa/borra (bloque) eléctricamente sin requerir programador.

ROM (Read Only Memory)

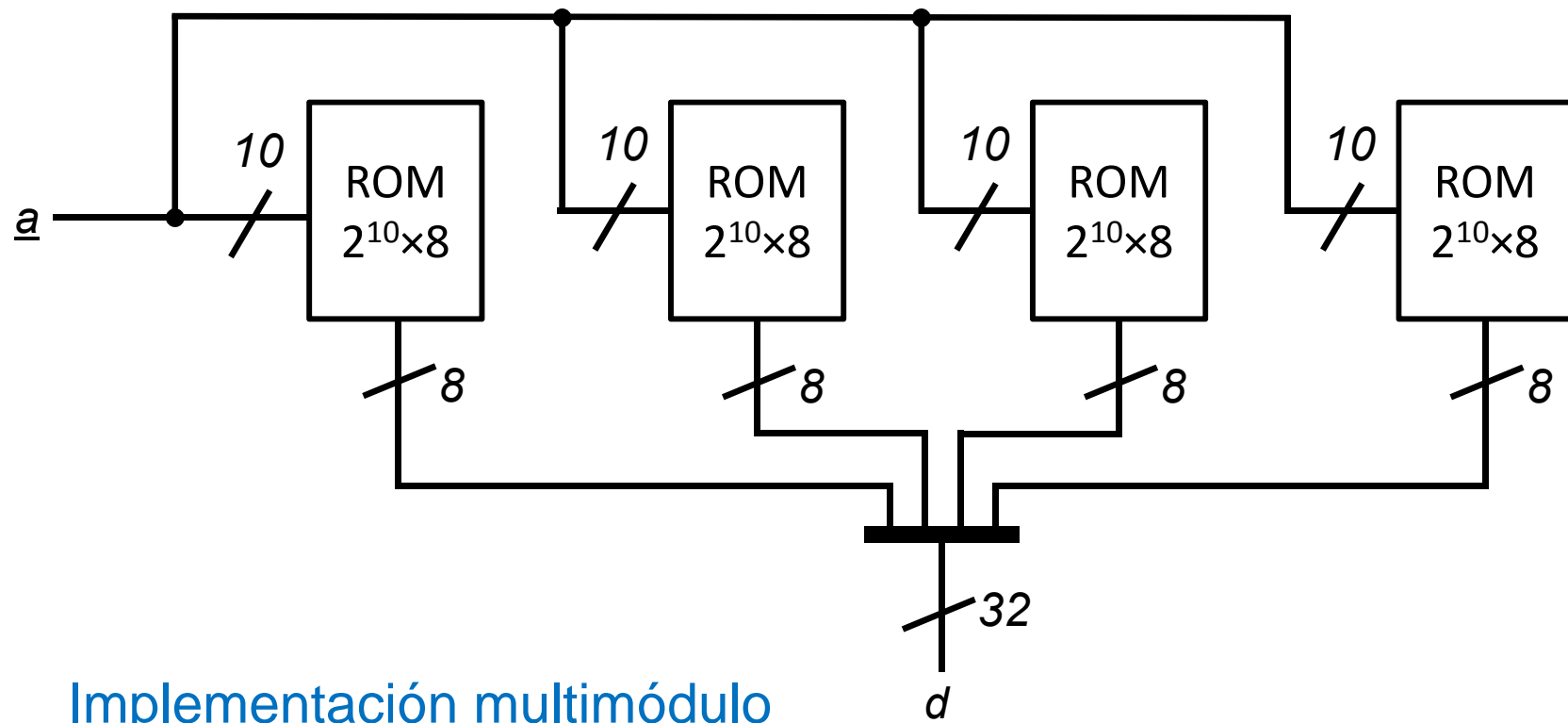


- La **capacidad** de las memorias se mide en bytes (8 bits)
 - Cuando el número de bytes es alto, se utilizan prefijos.
- Históricamente, los prefijos indican cantidades potencias de 2
 - Kilobyte (KB) = 2^{10} bytes = 1.024 bytes
 - Megabyte (MB) = 2^{20} bytes = 1.048.576 bytes
 - Gigabyte (GB) = 2^{30} bytes = 1.073.741.824 bytes
- Sin embargo, desde hace algunos años su significado se ha homogeneizado con el definido en el Sistema Internacional de unidades (**potencias de 10**)
 - Kilobyte (kB) = 10^3 bytes = 1.000 bytes
 - Megabyte (MB) = 10^6 bytes = 1.000.000 bytes
 - Gigabyte (GB) = 10^9 bytes = 1.000.000.000 bytes
 - Y se han definido **nuevos prefijos** para indicar las **potencias de 2**
 - Kibibyte (KiB) = 2^{10} bytes = 1.024 bytes
 - Mebibyte (MiB) = 2^{20} bytes = 1.048.576 bytes
 - Gibibyte (GiB) = 2^{30} bytes = 1.073.741.824 bytes
 - No obstante, todavía no está generalizado el uso de los nuevos prefijos .



ROM (Read Only Memory)

- Varias ROM se pueden componer para comportarse como una ROM de **mayor anchura de palabra**.



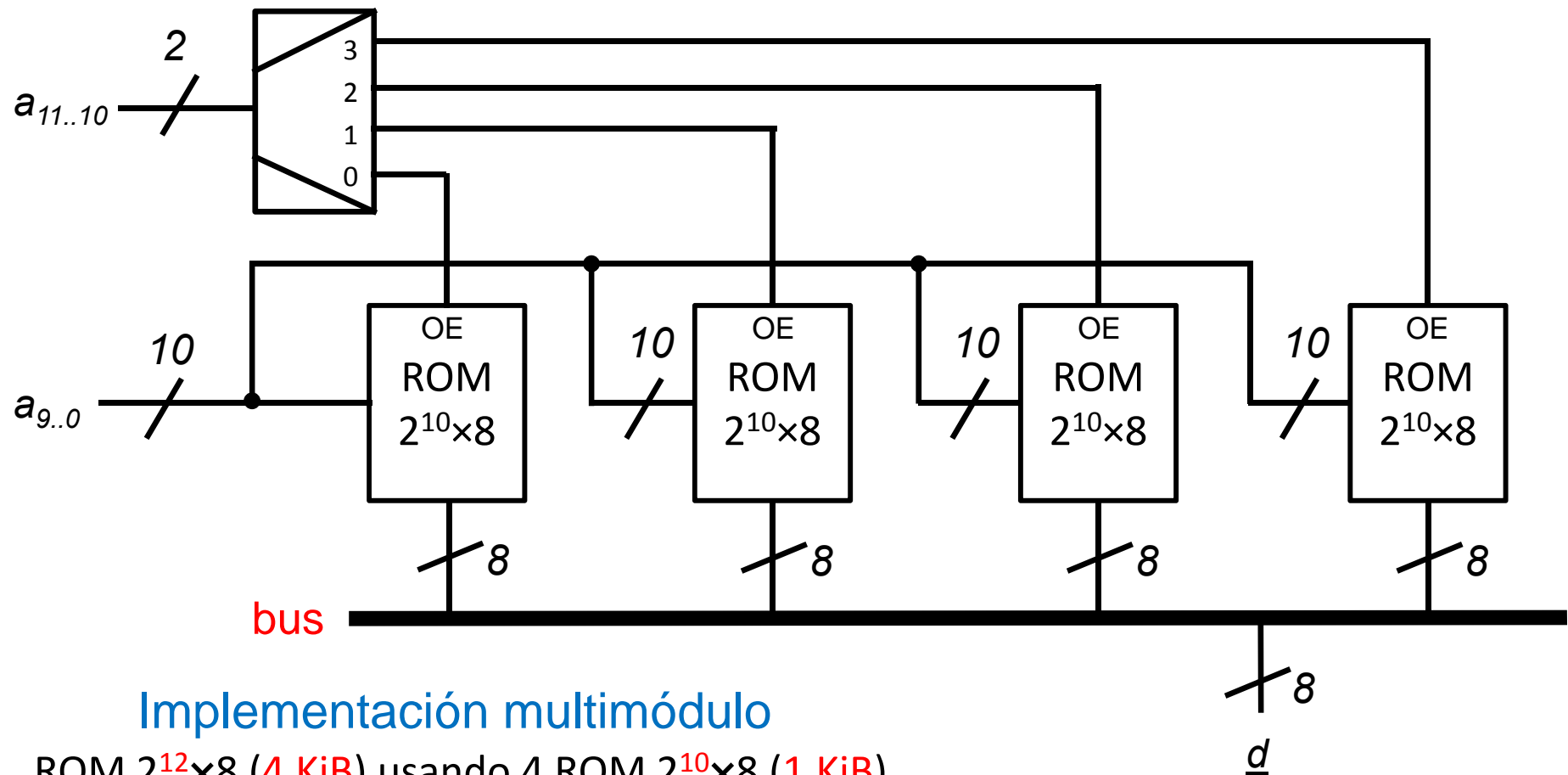
Implementación multimódulo

ROM $2^{10} \times 32$ (4 KiB) usando 4 ROM $2^{10} \times 8$ (1 KiB)



ROM (Read Only Memory)

- Varias ROM se pueden componer para comportarse como una ROM de **mayor profundidad**.





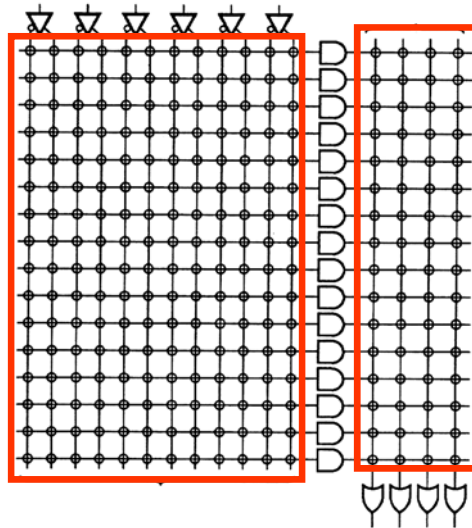
Otros dispositivos programables

versión 12/09/14

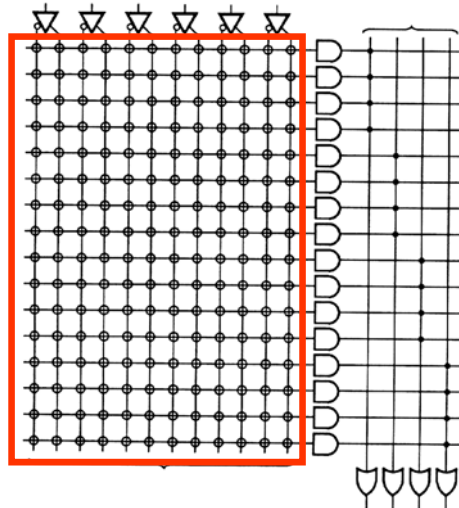
tema 4:
Módulos combinacionales básicos

FC

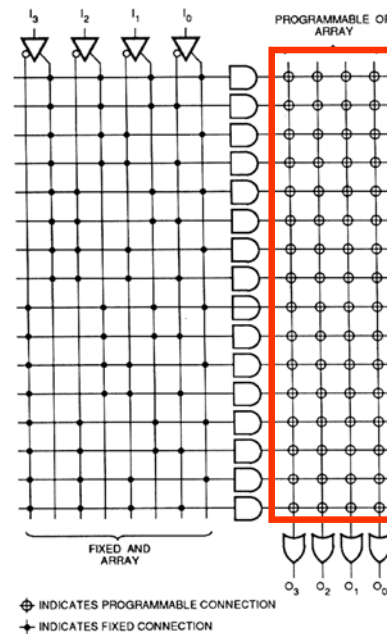
48



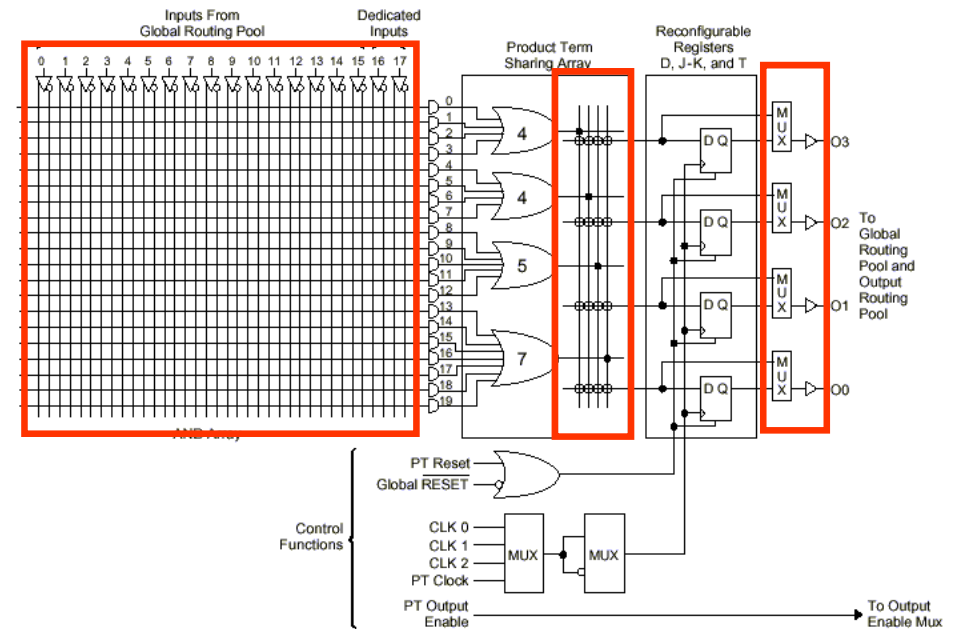
PLA



PAL



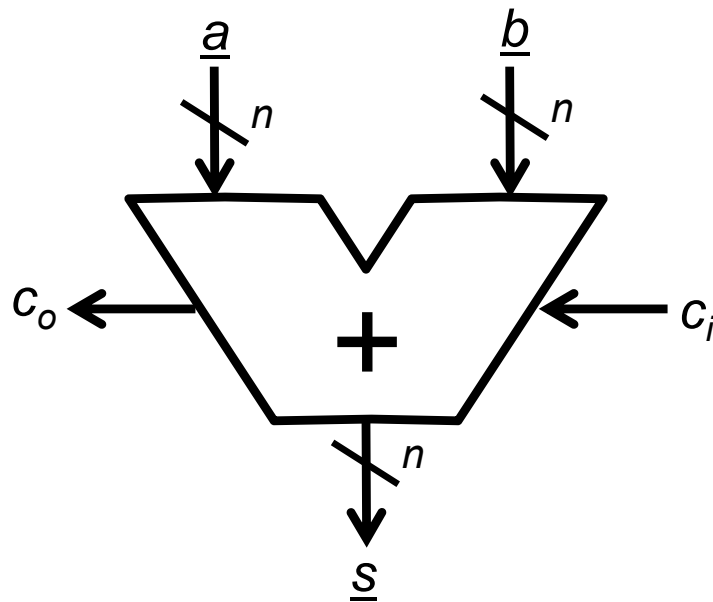
ROM



CPLD

**interconexiones
(re)programables**

Sumador



$\underline{a}, \underline{b}$ 2 entradas de datos de n bits

c_i 1 entrada de acarreo

\underline{s} 1 salida de datos de n bits

c_o 1 salida de acarreo

realiza la suma binaria de $\underline{a} + \underline{b} + c_i$

$$\underline{s} = (\underline{a} + \underline{b} + c_i) \bmod 2^n$$

$$c_o = \begin{cases} 1 & (\underline{a} + \underline{b} + c_i) \geq 2^n \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$



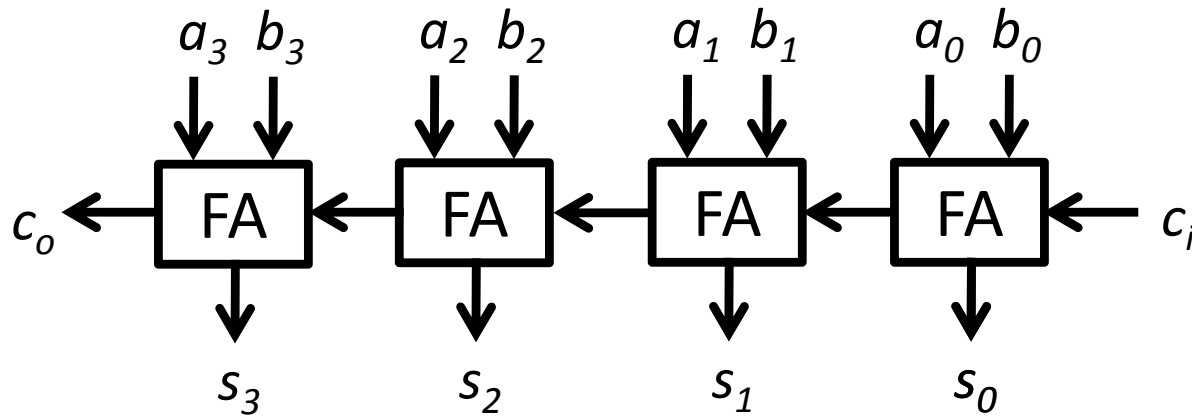
Sumador

versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinacionales básicos

FC

50



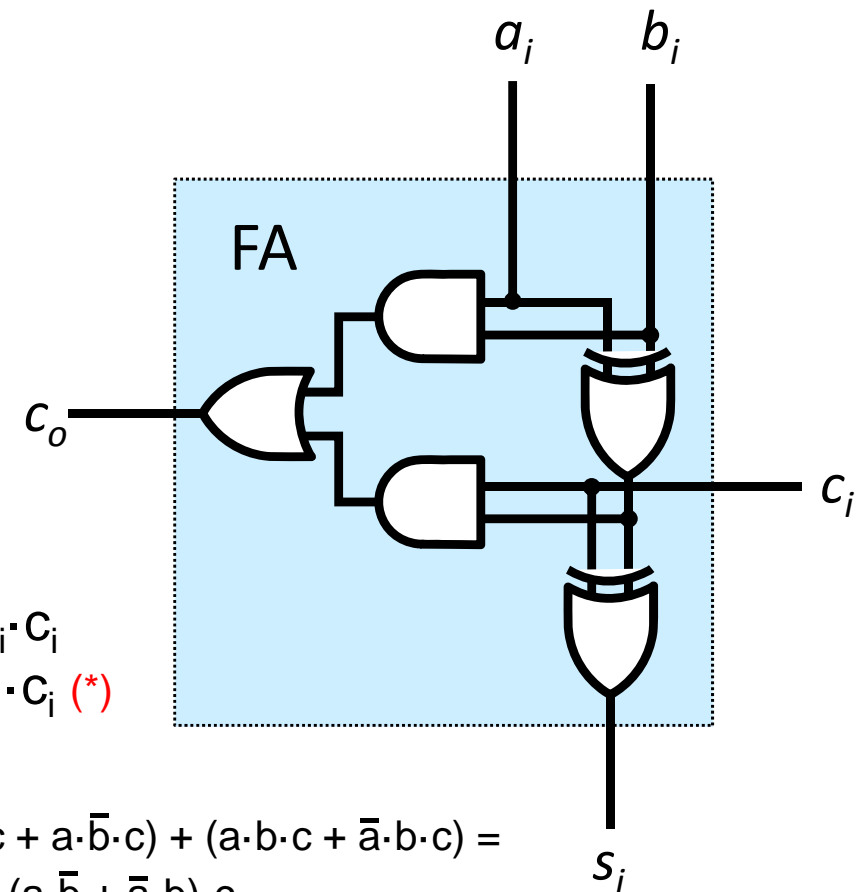
Implementación con
propagación de acarreo

Sumador de 4 bits

| c_i | a_i | b_i | c_o | s_i |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

$$s_i = (a_i \oplus b_i) \oplus c_i$$

$$\begin{aligned} c_o &= a_i \cdot b_i + a_i \cdot c_i + b_i \cdot c_i \\ &= a_i \cdot b_i + (a_i \oplus b_i) \cdot c_i (*) \end{aligned}$$

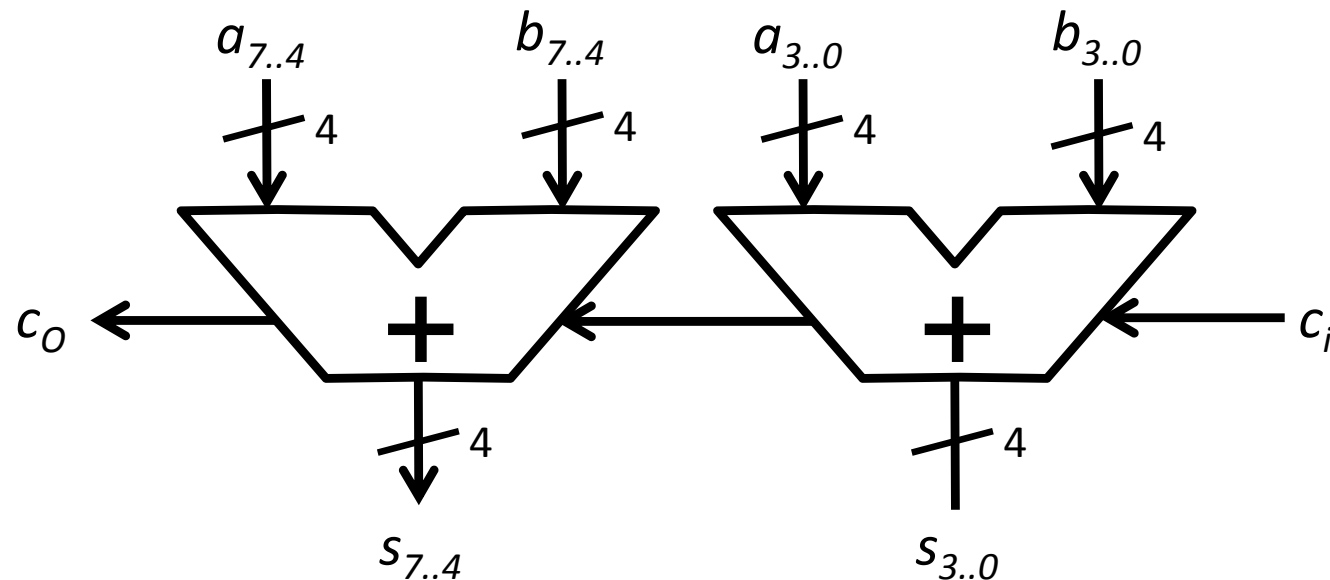


$$\begin{aligned} (*) \quad a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c &= a \cdot b + (a \cdot b \cdot c + a \cdot \bar{b} \cdot c) + (a \cdot b \cdot c + \bar{a} \cdot b \cdot c) = \\ &= a \cdot b + a \cdot \bar{b} \cdot c + \bar{a} \cdot b \cdot c = a \cdot b + (a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b) \cdot c \end{aligned}$$

Sumador



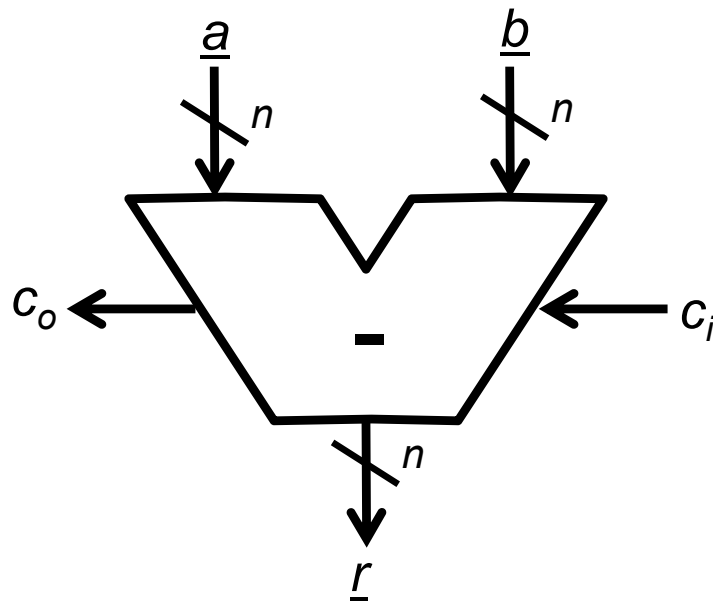
- Varios sumadores se pueden componer en serie para para comportarse como un sumador de **mayor anchura**.



Implementación serie

Sumador de 8 bits

Restador



$\underline{a}, \underline{b}$ 2 entradas de datos de n bits

c_i 1 entrada de acarreo

\underline{r} 1 salida de datos de n bits

c_o 1 salida de acarreo

realiza la resta binaria de $\underline{a} - \underline{b} - c_i$

$$\underline{s} = (\underline{a} - \underline{b} - c_i) \bmod 2^n$$

$$c_o = \begin{cases} 1 & (\underline{a} - \underline{b} - c_i) < 0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$



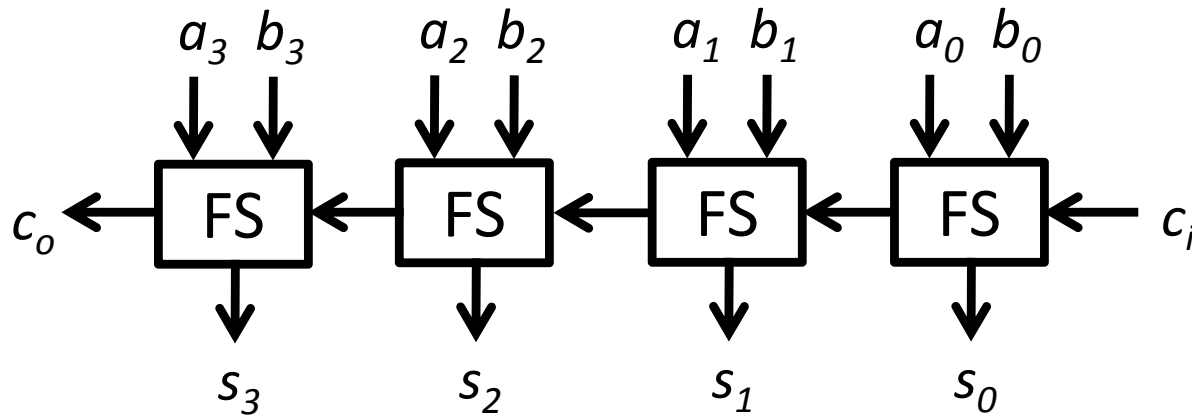
Restador

versión 12/09/14

tema 4:
Módulos combinacionales básicos

FC

53



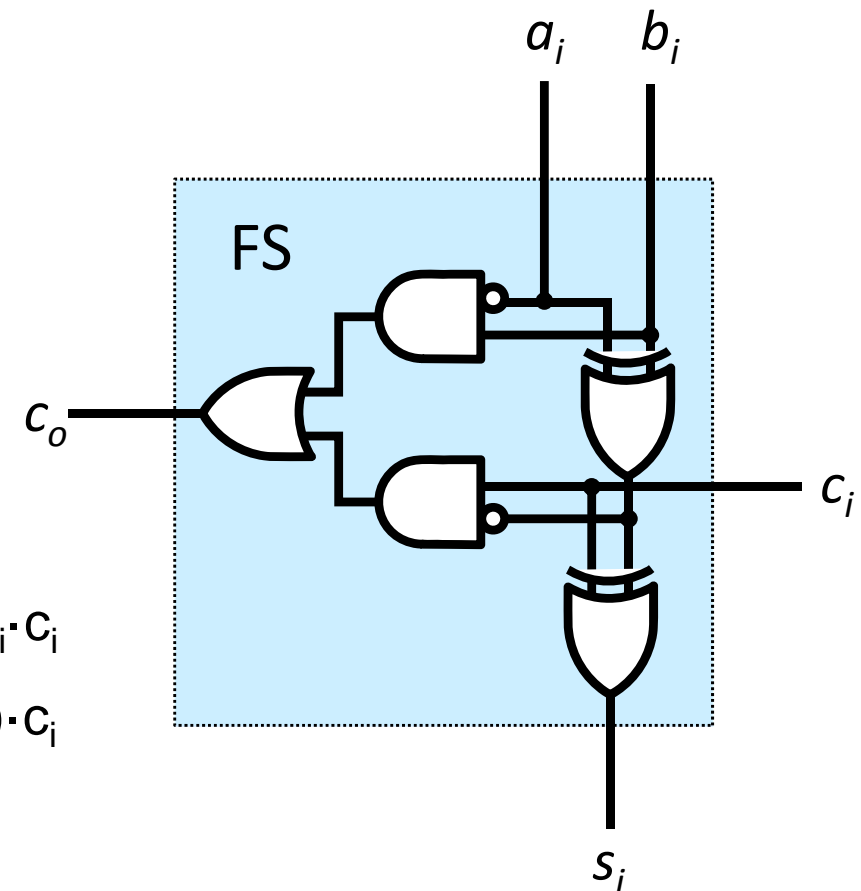
Implementación con
propagación de acarrees

Restador de 4 bits

| c_i | a_i | b_i | c_o | r_i |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

$$r_i = (a_i \oplus b_i) \oplus c_i$$

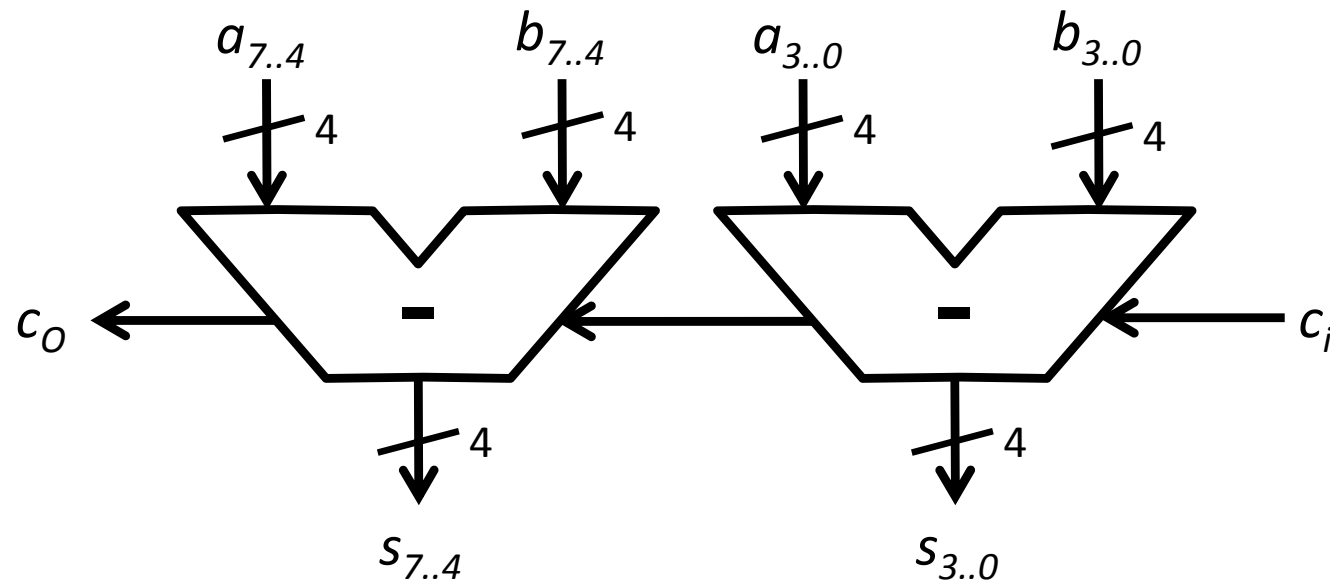
$$\begin{aligned} c_o &= \bar{a}_i \cdot b_i + \bar{a}_i \cdot c_i + b_i \cdot c_i \\ &= \bar{a}_i \cdot b_i + \overline{(a_i \oplus b_i)} \cdot c_i \end{aligned}$$



Restador



- Varios restadores se pueden componer en serie para para comportarse como un restador de **mayor anchura**.

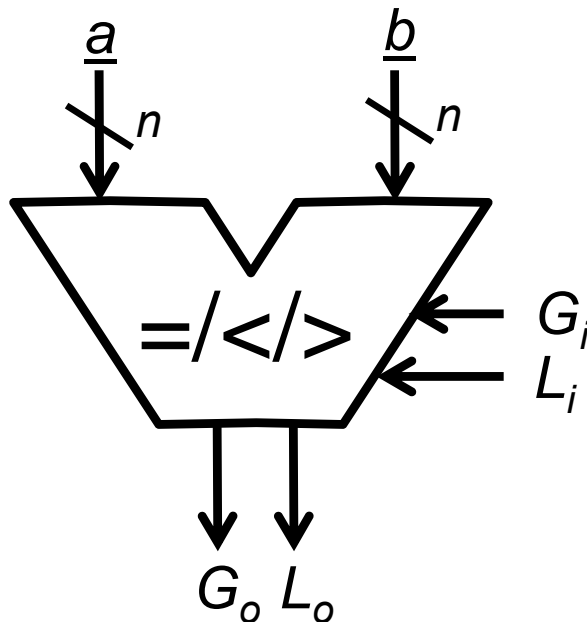


Implementación serie

Restador de 8 bits



Comparador de magnitud



$\underline{a}, \underline{b}$ 2 entradas de datos de n bits

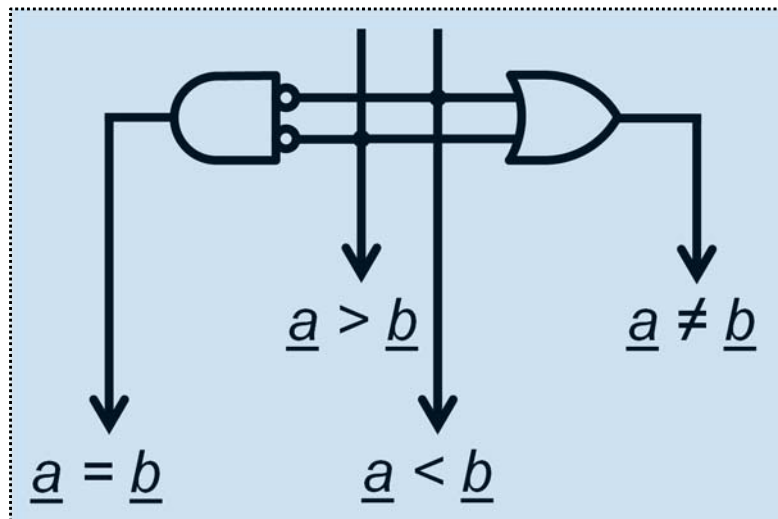
G_i, L_i 2 entrada de acarreo

G_o, L_o 2 salidas de comparación

compara 2 números binarios

$$G_o = \begin{cases} 1 & \text{si } (a > b) \text{ o } (a = b \text{ y } G_i > L_i) \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$L_o = \begin{cases} 1 & \text{si } (a < b) \text{ o } (a = b \text{ y } G_i < L_i) \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$





Comparador de magnitud

versión 12/09/14

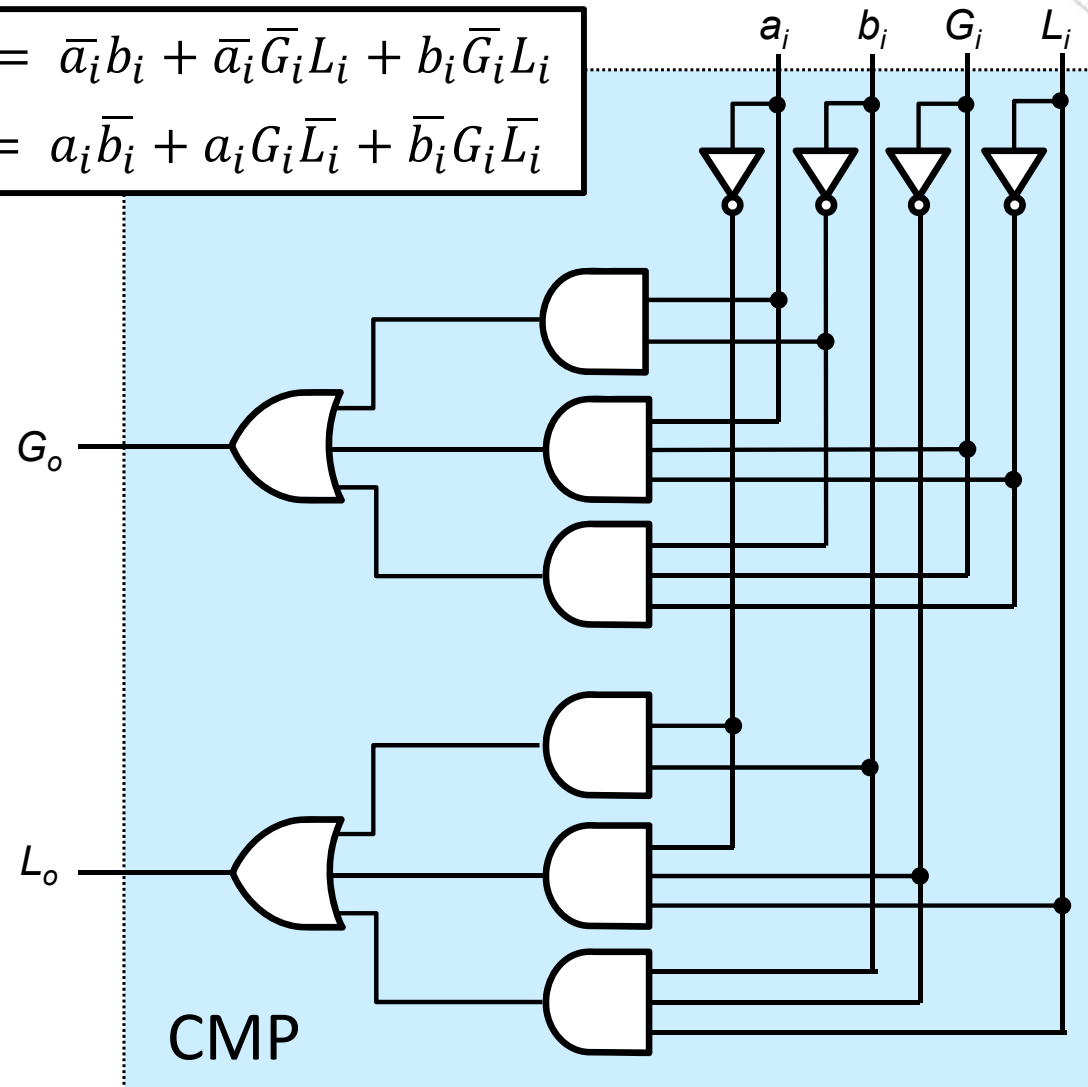
tema 4:
Módulos combinacionales básicos

FC

56

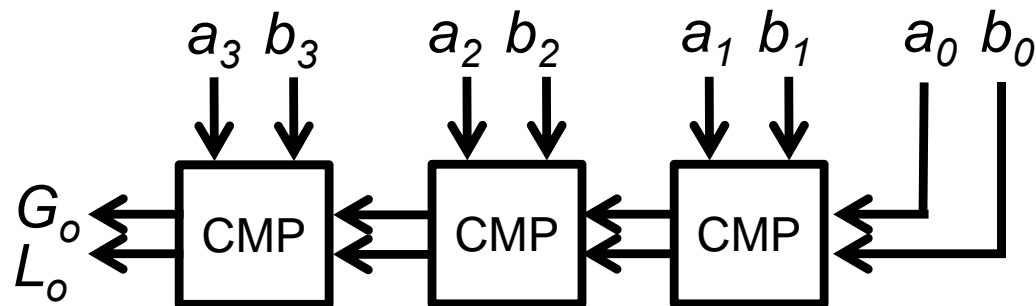
| a_i | b_i | G_i | L_i | G_o | L_o |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

$$L_o = \bar{a}_i b_i + \bar{a}_i \bar{G}_i L_i + b_i \bar{G}_i L_i$$
$$G_o = a_i \bar{b}_i + a_i G_i \bar{L}_i + \bar{b}_i G_i \bar{L}_i$$



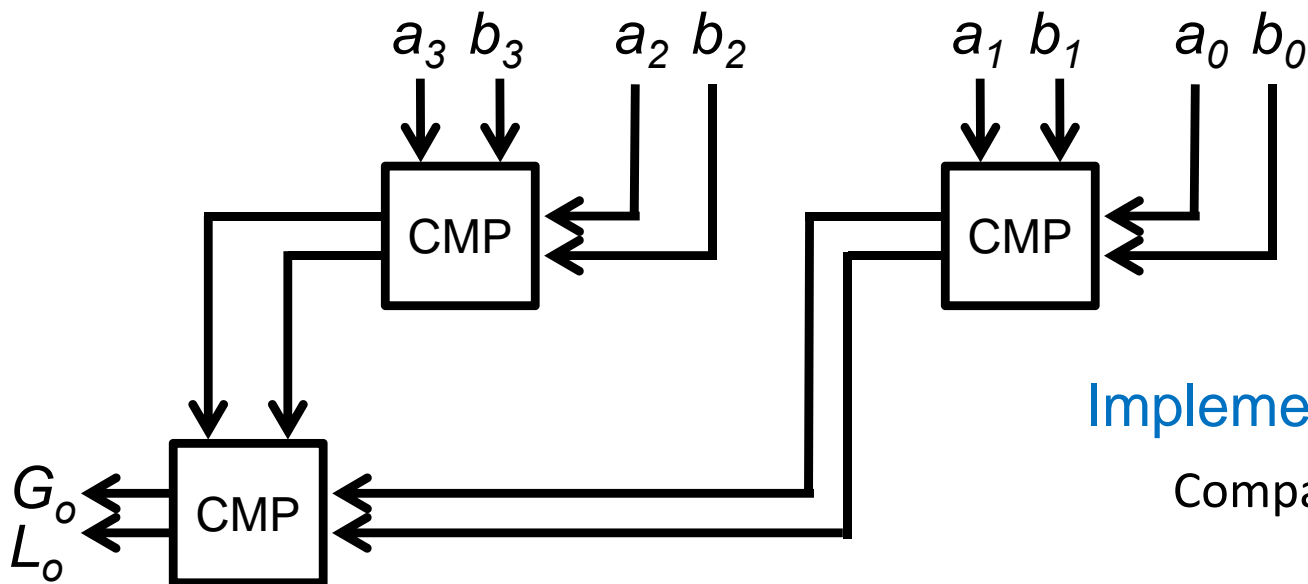


Comparador de magnitud



Implementación en serie

Comparador de 4 bits

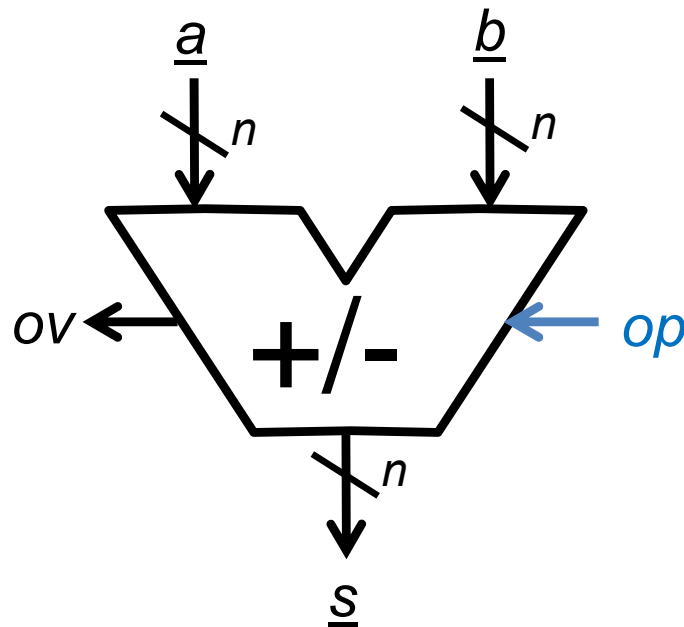


Implementación en árbol

Comparador de 4 bits



Sumador/restador



$\underline{a}, \underline{b}$ 2 entradas de datos de n bits

op 1 entrada de selección de operación

\underline{s} 1 salida de datos de n bits

ov 1 salida de overflow

*realiza la suma/resta en \underline{a} y \underline{b}
(interpretados en C2)*

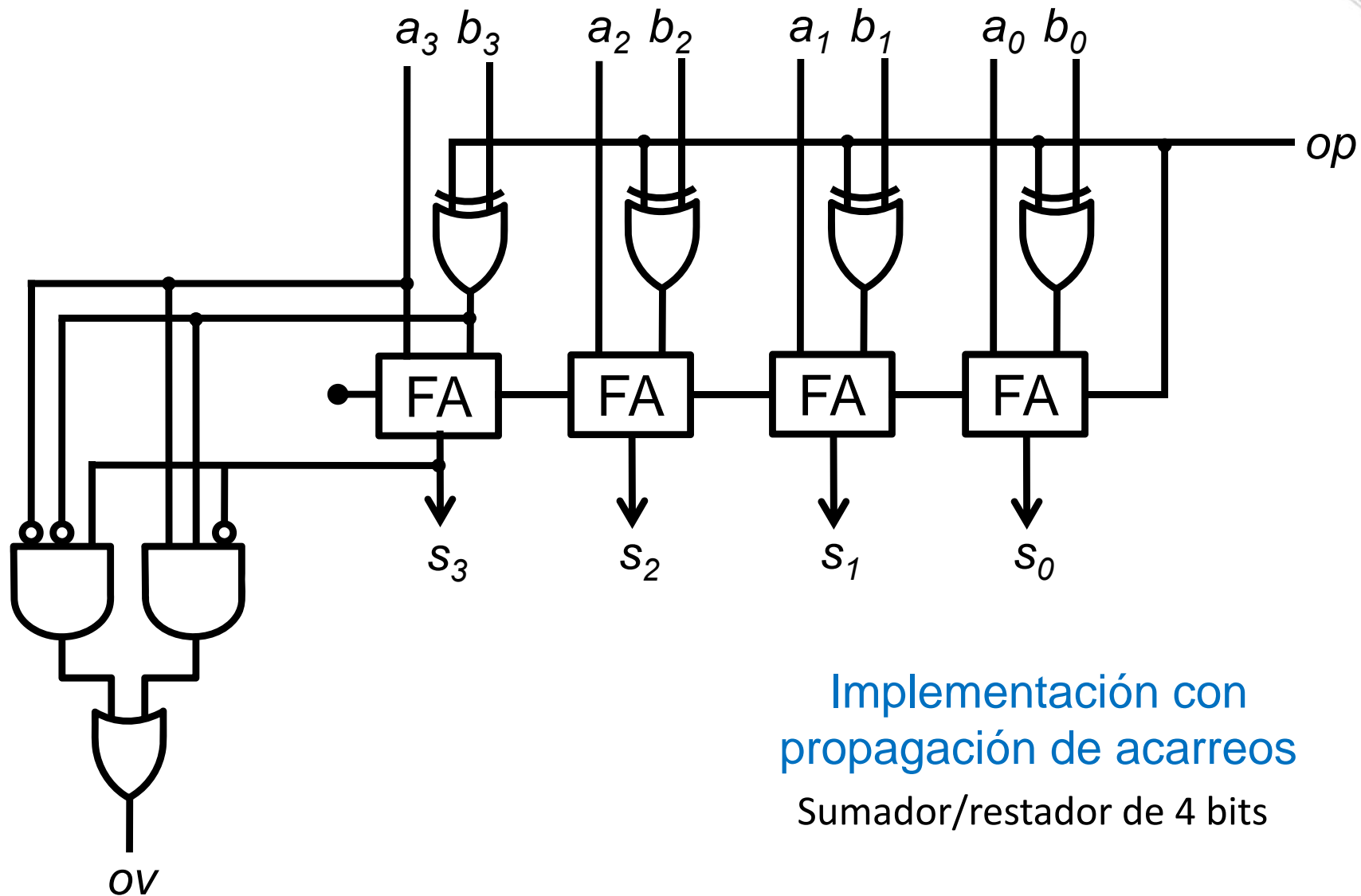
$$\underline{a} - \underline{b} = \underline{a} + (-\underline{b}) =_{C2} \underline{a} + C2(\underline{b}) = \underline{a} + C1(\underline{b}) + 1 = \underline{a} + \overline{\underline{b}} + 1$$

$$\underline{s} = \left\{ \begin{array}{ll} \underline{a} + \underline{b} & \text{si } op = 0 \\ \underline{a} + \overline{\underline{b}} + 1 & \text{si } op = 1 \end{array} \right\} = \underline{a} + (\underline{b} \oplus op) + op$$

$$ov = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & (b_{n-1} \oplus op) = 0 \text{ y } a_{n-1} = 0 \text{ y } s_{n-1} = 1 \\ & \text{ó} \\ & (b_{n-1} \oplus op) = 1 \text{ y } a_{n-1} = 1 \text{ y } s_{n-1} = 0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{array} \right.$$



Sumador/restador

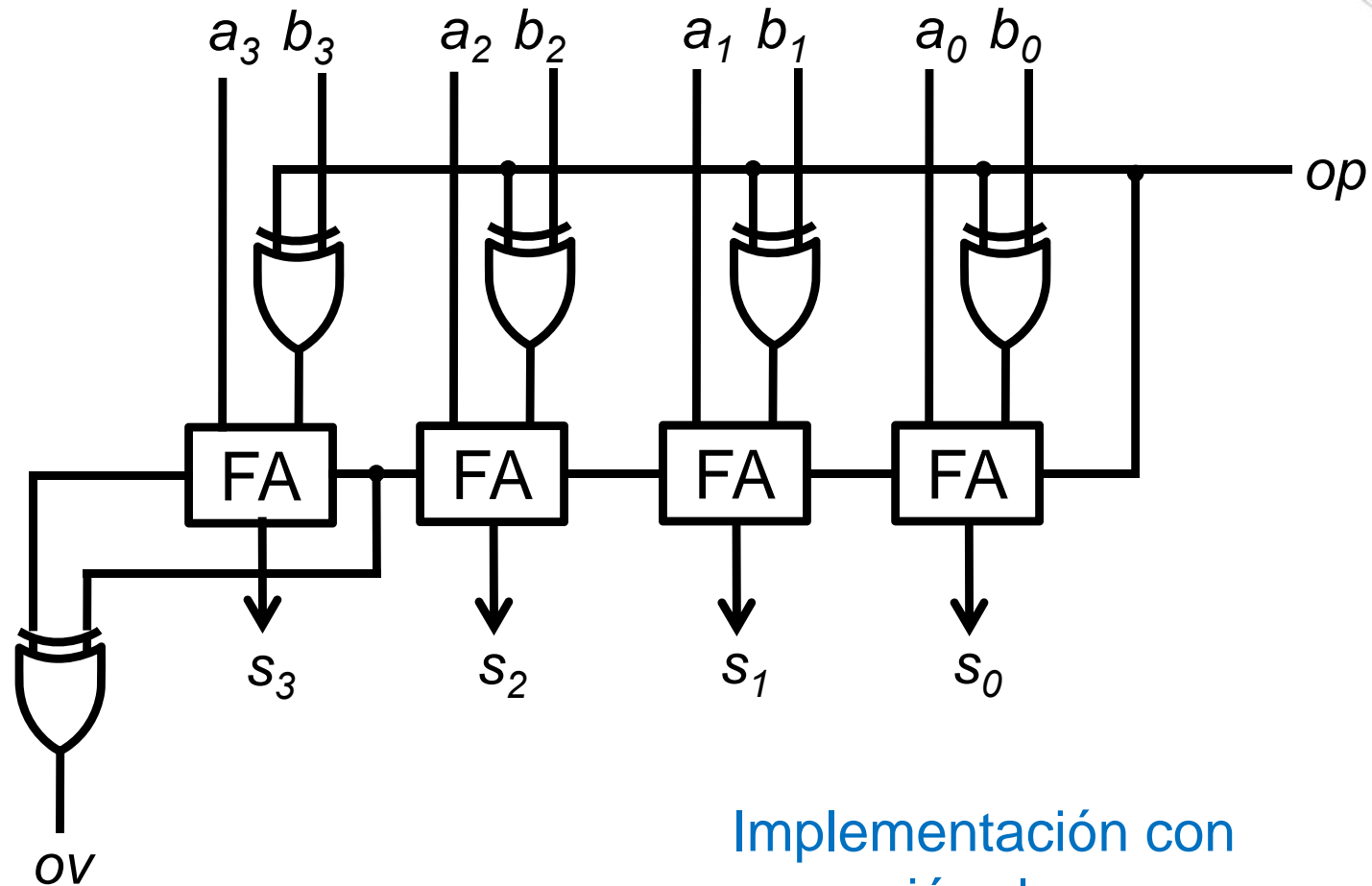


Implementación con
propagación de acarreo

Sumador/restador de 4 bits



Sumador/restador

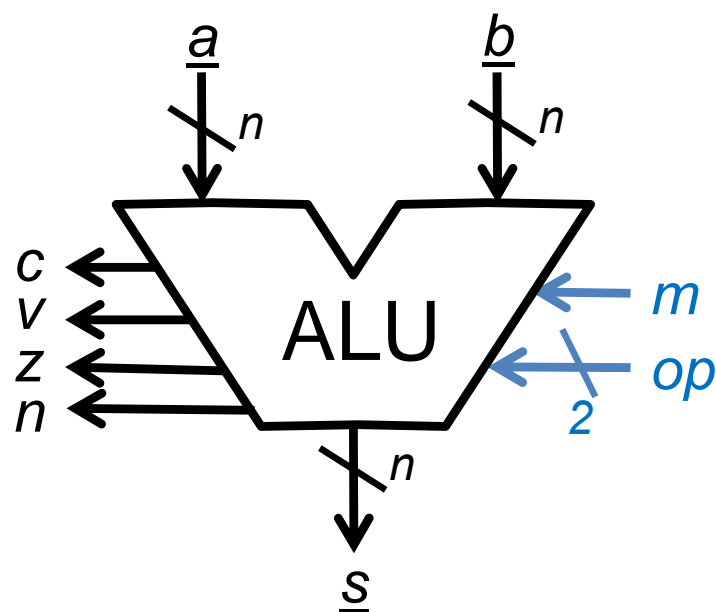


Implementación con
propagación de acarreo

Sumador/restador de 4 bits



ALU (Arithmetic-Logic Unit)



- $\underline{a}, \underline{b}$ 2 entradas de datos de n bits
- \underline{m} 1 entrada de selección de modo
- \underline{op} 1 entrada de selección de operación
- \underline{s} 1 salida de datos de n bits
- c 1 salida de acarreo
- v 1 salida de overflow
- z 1 salida de detección de cero
- n 1 salida de detección de negativo

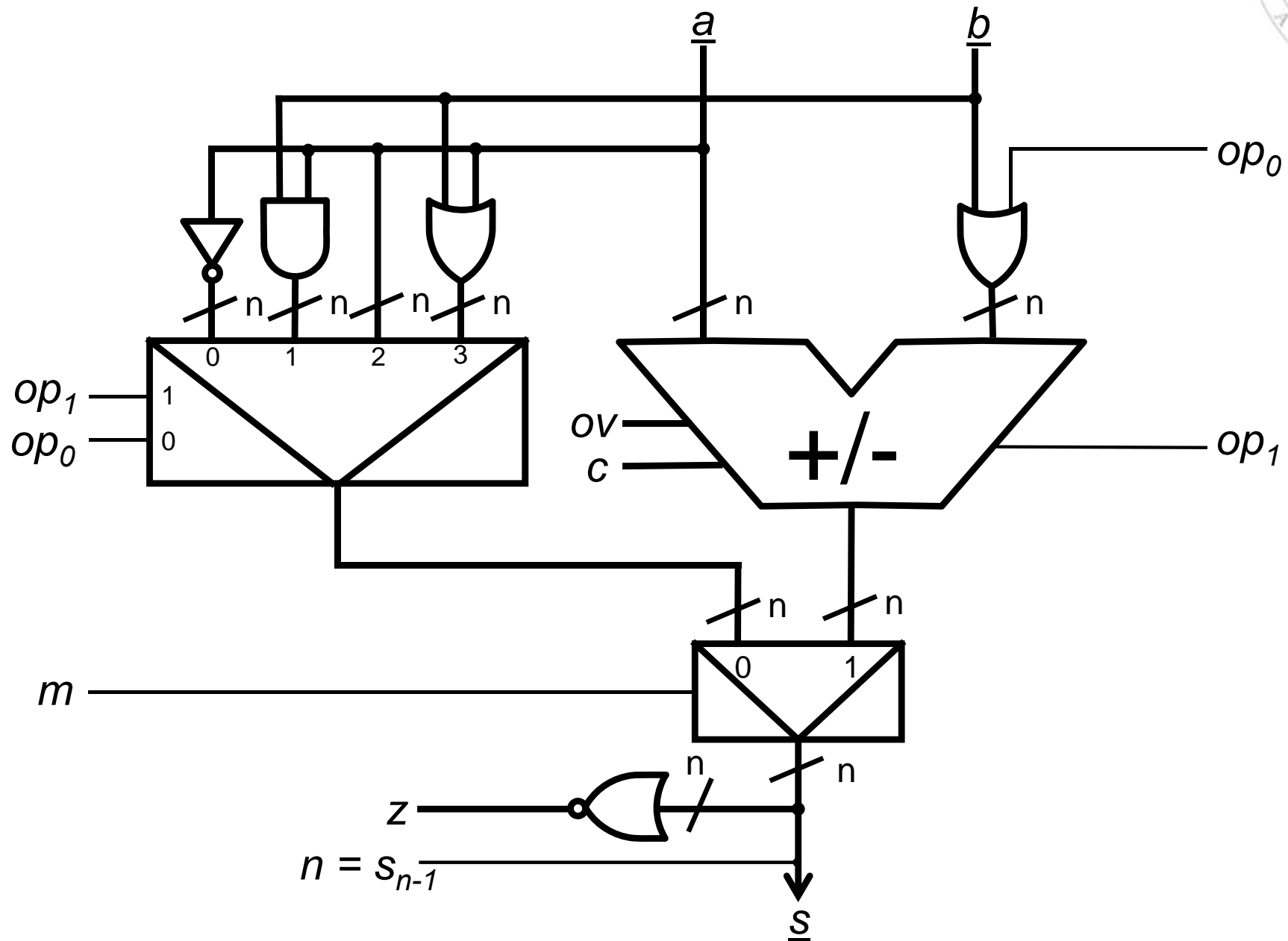
operaciones lógicas

| \underline{m} | \underline{op}_1 | \underline{op}_0 | \underline{z} |
|-----------------|--------------------|--------------------|--|
| 0 | 0 | 0 | $\text{not}(\underline{a})$ |
| 0 | 0 | 1 | $\text{and}(\underline{a}, \underline{b})$ |
| 0 | 1 | 0 | \underline{a} |
| 0 | 1 | 1 | $\text{or}(\underline{a}, \underline{b})$ |

operaciones aritméticas

| \underline{m} | \underline{op}_1 | \underline{op}_0 | \underline{z} |
|-----------------|--------------------|--------------------|---|
| 1 | 0 | 0 | $\underline{a} + \underline{b}$ |
| 1 | 0 | 1 | $\underline{a} - 1 = \underline{a} + (-1) =_{c2} \underline{a} + \underline{1}$ |
| 1 | 1 | 0 | $\underline{a} - \underline{b}$ |
| 1 | 1 | 1 | $\underline{a} + 1 = \underline{a} - (-1) =_{c2} \underline{a} - \underline{1}$ |

ALU (Arithmetic-Logic Unit)



Recapitulación

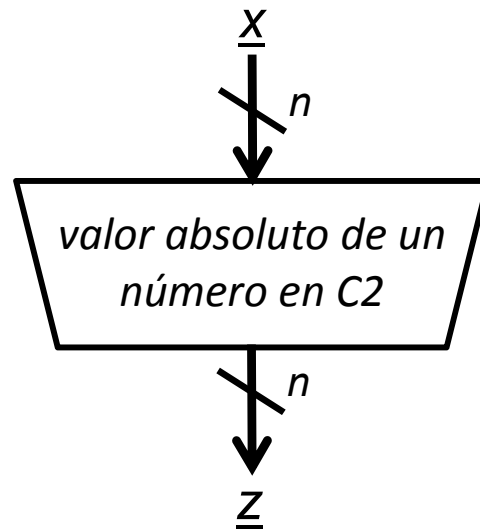


- Los **módulos** presentan algunas **características interesantes**:
 - Tienen estructuras genéricas fácilmente **escalables**.
 - Procesan **palabras de datos** y no solo bits individuales.
 - Pueden **realizar distintas funciones** según el valor de ciertas entradas de control.
 - Tienen **funcionalidades abstractas** que permiten diseñar/describir de manera estructurada sistemas complejos sin tener recurrir a EC/FC:
 - Basta con interconectarlos **sin crear realimentaciones**
 - Y usar discrecionalmente puertas (glue logic) para adaptar señales.



Recapitulación

- En muchos casos es posible obtener directamente una red de módulos combinacionales desde un enunciado.



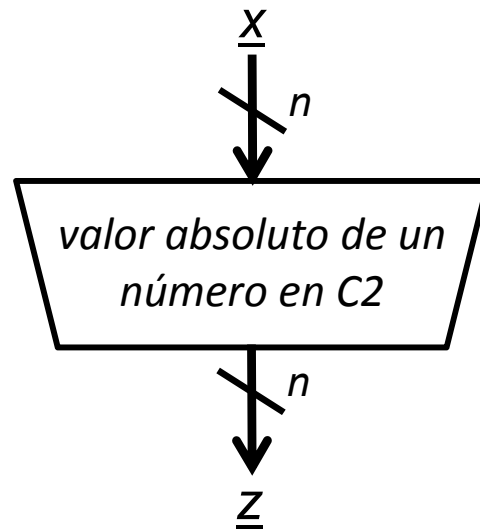
$$\underline{z} = \text{abs}(\underline{x}) = \begin{cases} \underline{x} & \text{si } x \geq 0 \\ -\underline{x} & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

$$\underline{z} = \text{abs}(\underline{x}) =_{C2} \begin{cases} \underline{x} & \text{si } x_{n-1} = 0 \\ C2(\underline{x}) = \text{not}(\underline{x}) + 1 & \text{si } x_{n-1} = 1 \end{cases}$$



Recapitulación

- En muchos casos es posible obtener directamente una red de módulos combinacionales desde un enunciado.

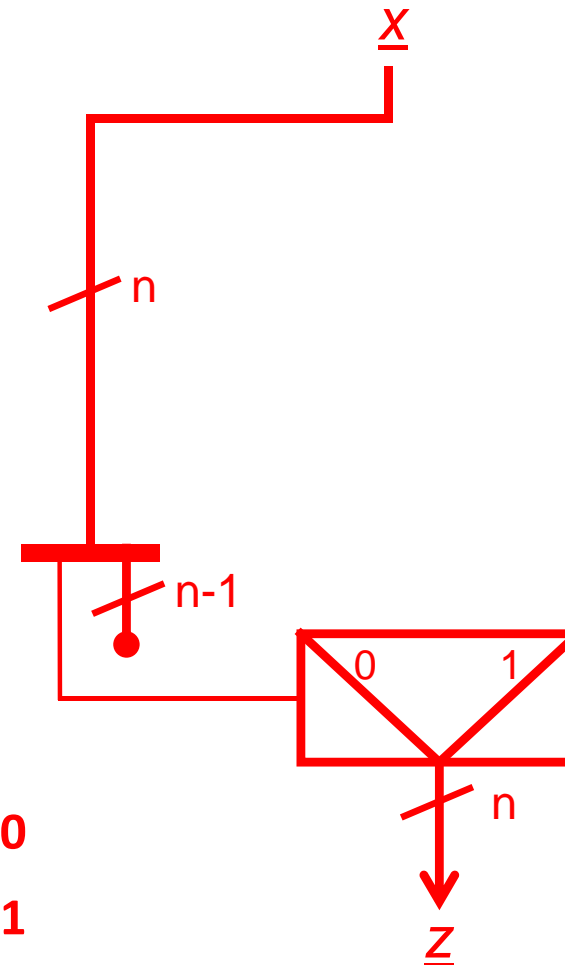


$$z = \text{abs}(x) = \begin{cases} x & \text{si } x \geq 0 \\ -x & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

$$z = \text{abs}(x) =_{C2} \begin{cases} x \\ C2(x) = \text{not}(x) + 1 \end{cases}$$

$$\text{si } x_{n-1} = 0$$

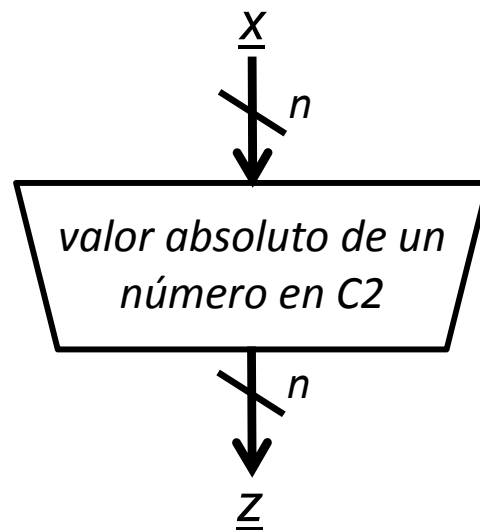
$$\text{si } x_{n-1} = 1$$





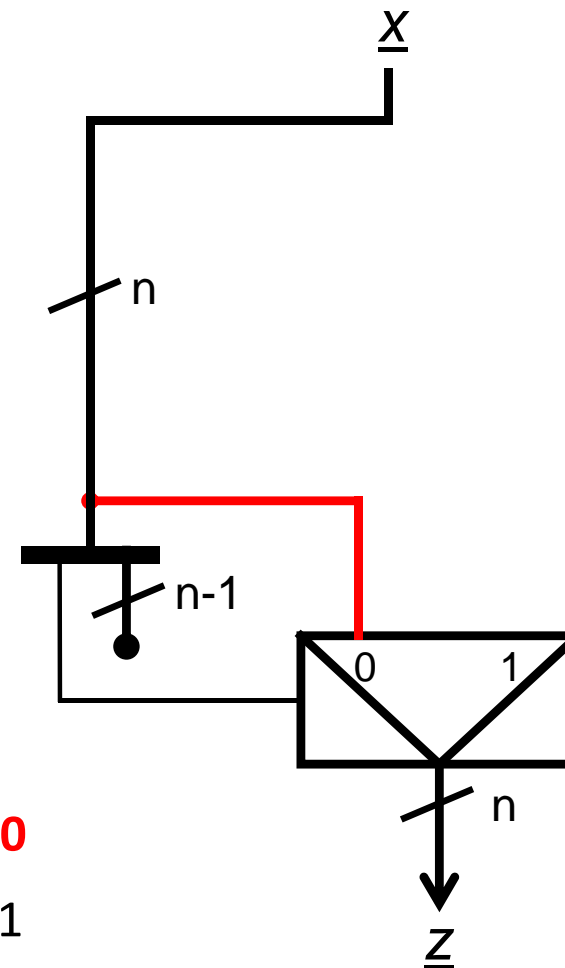
Recapitulación

- En muchos casos es posible obtener directamente una red de módulos combinacionales desde un enunciado.



$$z = \text{abs}(x) = \begin{cases} x & \text{si } x \geq 0 \\ -x & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

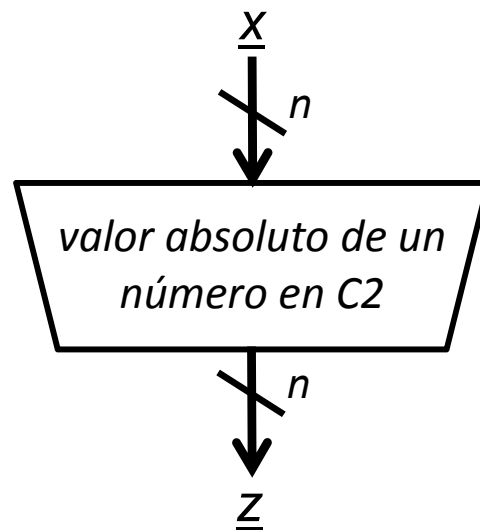
$$z = \text{abs}(x) =_{C2} \begin{cases} x & \text{si } x_{n-1} = 0 \\ C2(x) = \text{not}(x) + 1 & \text{si } x_{n-1} = 1 \end{cases}$$





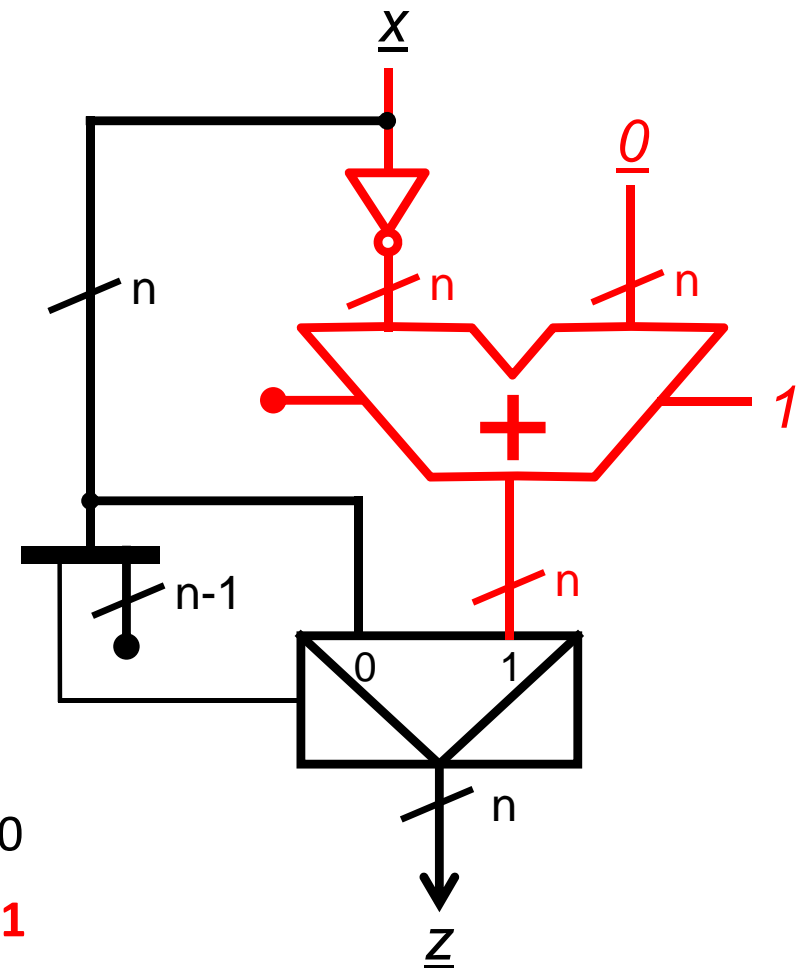
Recapitulación

- En muchos casos es posible obtener directamente una red de módulos combinacionales desde un enunciado.



$$z = \text{abs}(x) = \begin{cases} x & \text{si } x \geq 0 \\ -x & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

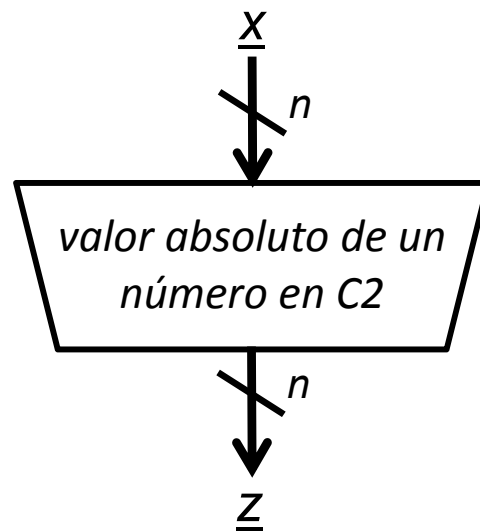
$$z = \text{abs}(x) =_{C2} \begin{cases} x & \text{si } x_{n-1} = 0 \\ C2(x) = \text{not}(x) + 1 & \text{si } x_{n-1} = 1 \end{cases}$$





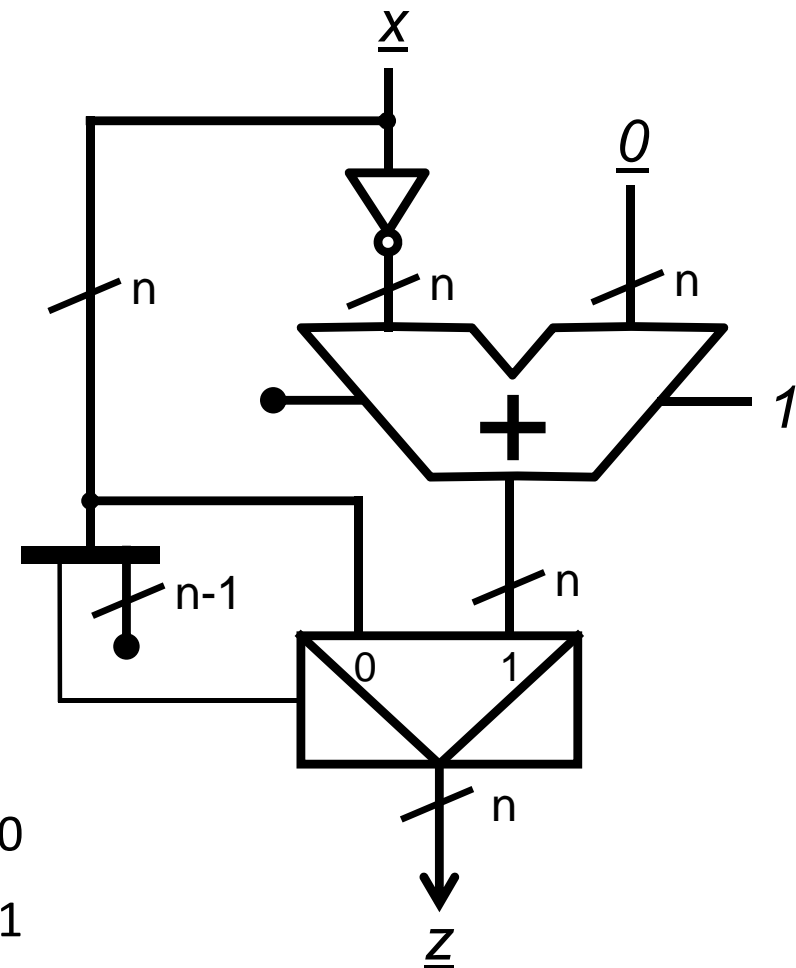
Recapitulación

- En muchos casos es posible obtener directamente una red de módulos combinacionales desde un enunciado.



$$z = \text{abs}(x) = \begin{cases} x & \text{si } x \geq 0 \\ -x & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

$$z = \text{abs}(x) =_{C2} \begin{cases} x & \text{si } x_{n-1} = 0 \\ C2(x) = \text{not}(x) + 1 & \text{si } x_{n-1} = 1 \end{cases}$$

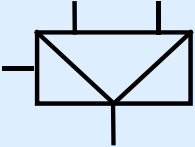
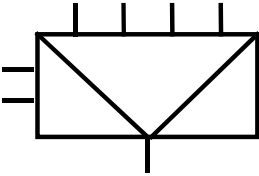
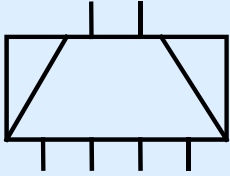
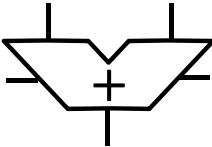




Aspectos tecnológicos

Biblioteca de celdas: CMOS 90 nm

fente: Synopsys (SAED EDK 90 nm)

| Módulo | Área (μm^2) | Retardo (ps) | Consumo estático (nW) | Consumo dinámico (nW/MHz) |
|---|-----------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------|
|  | 11.0592 | 223 | 84 | 8639 |
|  | 23.0400 | 250 | 163 | 15169 |
|  | 29.4912 | 191 (z_0) 189 (z_1) 132 (z_2) 127 (z_3) | 23 | 543 |
|  | 29.4912 | 205 (s) 226 (c) | 159 | 5374 (s) 713 (c) |

ABCFWZ línea Naranja Acora Vela Sí Tal vez zgrntrigo glúten muerte tanatorio zombie drogas Fabrik
 Porros No :) rave sexo kamagutro utg omé Patón TODOS LOS DÍAS SON 8M UARRA chocho puri :) Gartic-one
 PUTA hija de Lancheros — NO BINARIA — Español Lancheros facha rugos

Acerca de Creative Commons



■ Licencia CC (Creative Commons)

- Ofrece algunos derechos a terceras personas bajo ciertas condiciones. Este documento tiene establecidas las siguientes:



Reconocimiento (*Attribution*):

En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia hará falta reconocer la autoría.



No comercial (*Non commercial*):

La explotación de la obra queda limitada a usos no comerciales.



Compartir igual (*Share alike*):

La explotación autorizada incluye la creación de obras derivadas siempre que mantengan la misma licencia al ser divulgadas.

Más información: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>