# Bloque IV. Introducción a los sistemas digitales

Tema 5. Sistemas digitales.

Mª Jesús Algar Díaz

Universidad Rey Juan Carlos

# Índice

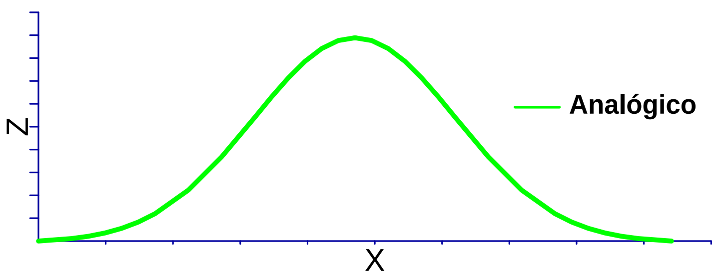

1. Introducción.
2. Álgebra de Boole.
3. Simplificación de funciones
4. Circuitos combinacionales
   - 4.1 Puertas lógicas
   - 4.2 Decodificador
   - 4.3 Multiplexor
   - 4.4 Comparador
   - 4.5 Ejemplo
5. Circuitos secuenciales.
   - 5.1 Biestable tipo D.
   - 5.2 Ejemplo.
6. Conclusión.

# 1. Introducción.

**Mundo analógico**

Continuas

(∞ valores dentro de un rango)



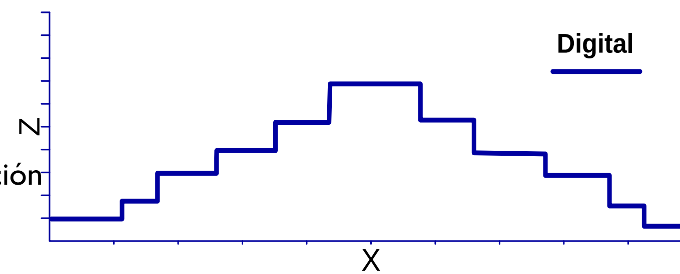

Muestreo

Cuantización de la información

**Mundo digital**

Discretas

(valores ∈ conjunto)



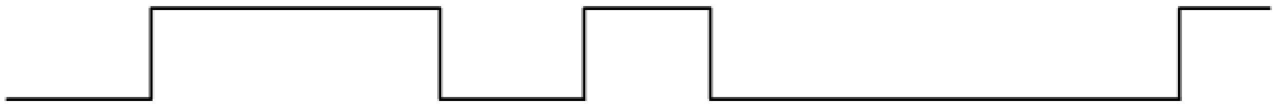

Ejemplos: instrumentos musicales, sistemas de audio y vídeo antiguos, fotografía analógica

Ejemplos: ordenadores, teléfonos móviles, calculadora, balanza electrónica

# 1. Introducción.

- Señal: variación en el tiempo de una magnitud física
- Señal digital: representación gráfica del valor a lo largo del tiempo

A



- Dos niveles de voltaje
  - •H, $V_H$: voltaje alto.
  - •L, $V_L$: voltaje bajo.
- ∃ dos tipos de lógica:
  - •$V_H$ = TRUE, $V_L$ = FALSE

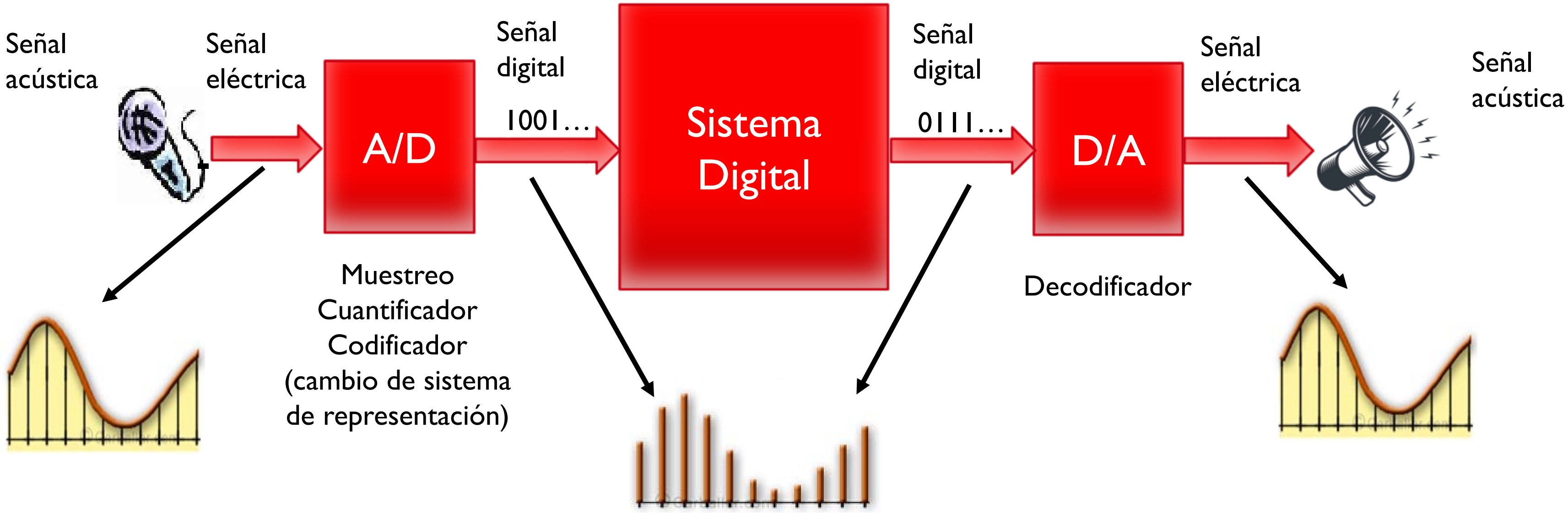
    Lógica positiva
  - •$V_H$ = FALSE, $V_L$ = TRUE

    Lógica negativa

| Voltajes típicos | TTL | CMOS |
|---|---|---|
| $V_{Hmax}$ | 5 V | 5 V |
| $V_{Hmin}$ | 2 V | 3,5 V |
| Zona de incertidumbre | | |
| $V_{Lmax}$ | 0,8 V | 1 V |
| $V_{Lmin}$ | 0 V | 0 V |

# 1. Introducción.

- Sistema digital: sistema variable con el tiempo cuyas entradas y salidas son señales digitales
  - Almacena, transporta, recupera, manipulan
  - Información representada mediante dígitos
  - Tipos: combinacionales y secuenciales

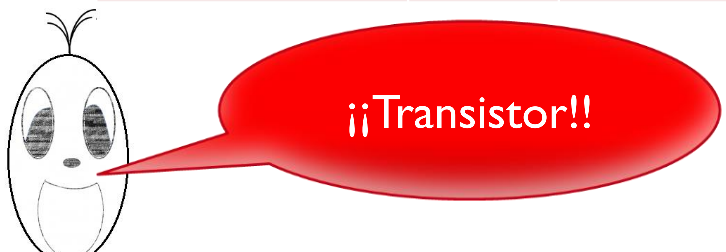


# 1. Introducción.

- Sistemas de representación:
  - Conjunto ordenado de símbolos + reglas para operar
  - Base = nº de cifras o dígitos que utiliza
  - **Sistema de numeración posicional**

$$(101{,}01)_2 = 1\cdot 2^2 + 0\cdot 2^1 + 1\cdot 2^0 + 0\cdot 2^{-1} + 1\cdot 2^{-2} = 4 + 0 + 1 + 0 + 0{,}25 = (5{,}25)_{10}$$

| Sistema | Base | Símbolos | Ejemplo |
|---|---|---|---|
| Decimal | 10 | {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9} | -1, 4,7,69 |
| Binario | 2 | {0, 1} | 10, 1001 |
| Hexadecimal | 16 | {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F} | FE2A, BACA |
| Octal | 8 | {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} | 356, 752, 61 |



# 2. Álgebra de Boole.



- Matemático británico George Boole, 1854
- Representación pensamiento lógico
- Bivaluada
- **Complementario:**

| a | not(a) |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

- **Suma lógica (OR, +):**

| a | b | a+b |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

- **Producto lógico (AND, *):**

| a | b | a·b |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

# 2. Álgebra de Boole.



| | | |
|---|---|---|
| Propiedad asociativa | a+(b+c) = (a+b)+c = a+b+c | a·(b·c) = (a·b)·c = a·b·c |
| Propiedad conmutativa | a+b = b+a | a·b = b·a |
| Propiedad distributiva | a+(b·c) = (a+b) · (a+c) | a·(b+c) = a·b + a·c |
| Elemento neutro | 0+a=a | 1·a=a |
| | 1+a=1 | 0·a=0 |
| Teoremas de identidad | a+a’=1 | a·a’=0 |
| Teoremas de idempotencia | a+a=a | a·a=a |
| Teorema de involución | (a’)’=a | |
| Teoremas de absorción | a+a·b = a | a·(a+b) = a |
| | a+a’·b=a+b | a·(a’+b)=a·b |
| | a·b+a·b’ = a | (a’+b’) ·(a’+b) = a’ |
| Teoremas del consenso | a·b+a’·c+b·c = a·b+a’·c | (a+b)·(a’+c)·(b+c) = (a+b)·(a’+c) |
| Teoremas de De Morgan | (a+b)’ = a’·b’ | (a·b)’ = a’+b’ |

# 3. Simplificación de funciones.

- Función de conmutación (= función lógica o booleana):

$$f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$$

  - Función de variables lógicas
  - Obedecen al álgebra de Boole
- Tabla de verdad

| a | b | f(a,b) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

- Expresión de conmutación (FC con OR, AND, NOT) $\longrightarrow$ Forma canónica:
  - Suma de productos (SdP): un único término producto o suma de términos producto (minterm).
  - Producto de sumas (PdS): un único término suma o producto de términos suma (maxterm).

# 3. Simplificación de funciones.

- Propiedades de los minterms:
  - Un minterm se puede representar como $m_i$ ('i': número entero que se obtiene de evaluar a positivo el minterm):
    - variables afirmadas $\longrightarrow$ 1, negadas $\longrightarrow$ 0.
    - Ejemplo: suponemos las variables $x_2$, $x_1$ y $x_0$:

$$x_2 \cdot \overline{x}_1 \cdot x_0 \Rightarrow 101 \Rightarrow 5 \Rightarrow m_5$$

  - minterm = 1 para una única combinación de las variables (coincide con el índice 'i' del minterm). Resto de valores, 0.

$$m_3 = \overline{x}_2 \cdot x_1 \cdot x_0$$

vale 1 cuando $x_2$, $x_1$ y $x_0$ valen '3'

$x_2 = 0$

$x_1 = 1$

$x_0 = 1$

# 3. Simplificación de funciones.

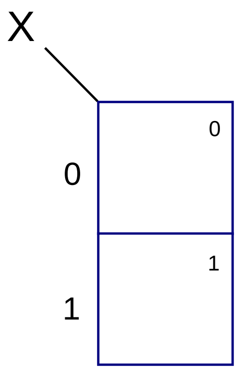
- 1º forma canónica: SdP
  - EC formada por la suma de varios minterms.
  - Minterms=1 en la tabla de verdad
  - Ejemplo: f(a, b, c)

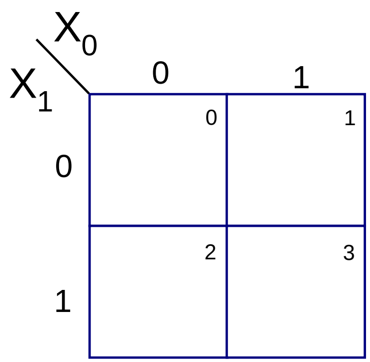
| a | b | c | f(a,b,c) | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | → $m_1$ |
| 0 | 1 | 0 | 1 | → $m_2$ |
| 0 | 1 | 1 | 1 | → $m_3$ |
| 1 | 0 | 0 | 1 | → $m_4$ |
| 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | → $m_6$ |
| 1 | 1 | 1 | 0 | |

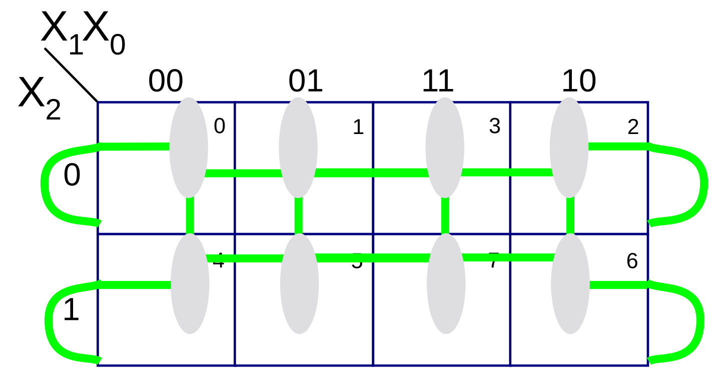
$$\sum m(1,2,3,4,6) = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_6 =$$
$$= \overline{a}\cdot\overline{b}\cdot c + \overline{a}\cdot b\cdot\overline{c} + \overline{a}\cdot b\cdot c + a\cdot\overline{b}\cdot\overline{c} + a\cdot b\cdot\overline{c}$$

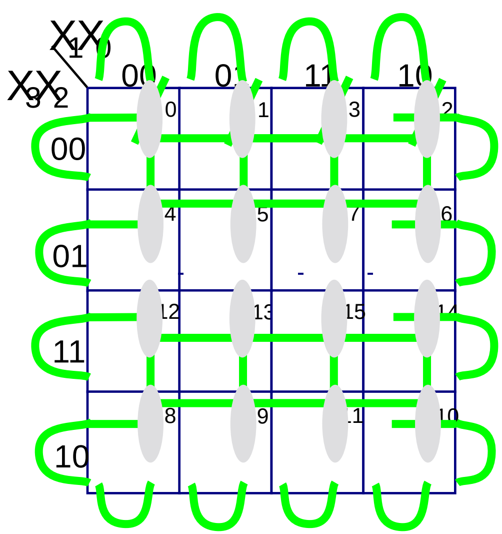
# 3. Simplificación de funciones.

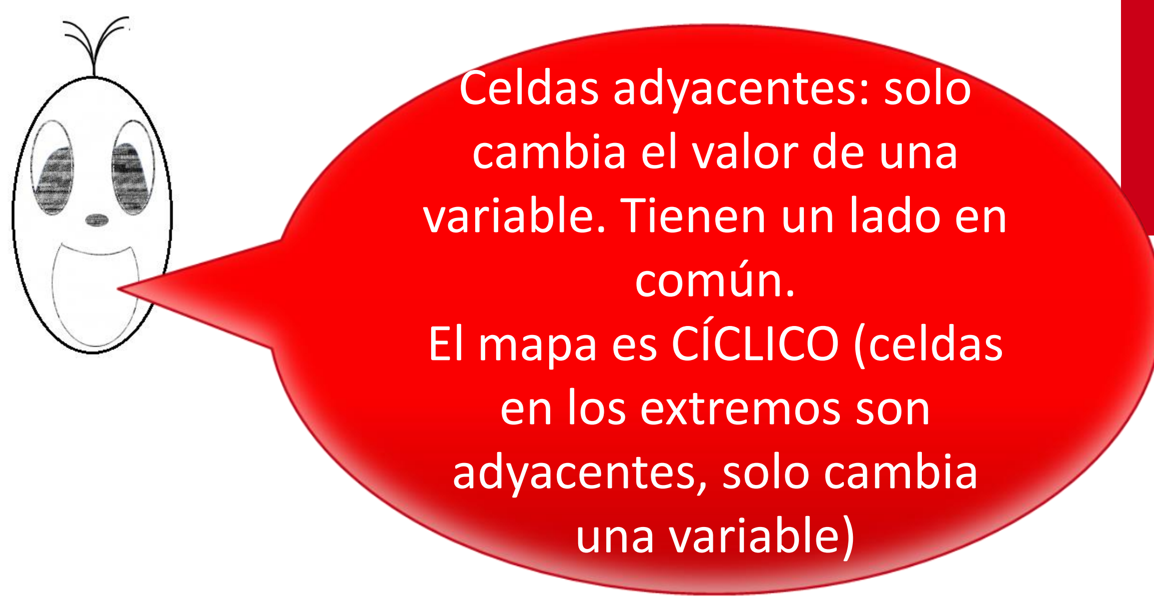
- Mapa de Karnaugh





# 3. Simplificación de funciones.



- Simplificación

| $X_3X_2 \backslash X_1X_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 00 | 0 | 1 | 3 | 2 |
| 01 | 4 | 5: **1** | 7: **1** | 6 |
| 11 | 12 | 13 | 15 | 14 |
| 10 | 8 | 9 | 11 | 10 |

$$m_5 + m_7 = \overline{x_3} \cdot x_2 \cdot \overline{x_1} \cdot x_0 + \overline{x_3} \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot x_0 =$$
$$\overline{x_3} \cdot x_2 \cdot x_0 \cdot (x_1 + \overline{x_1}) = \overline{x_3} \cdot x_2 \cdot x_0$$

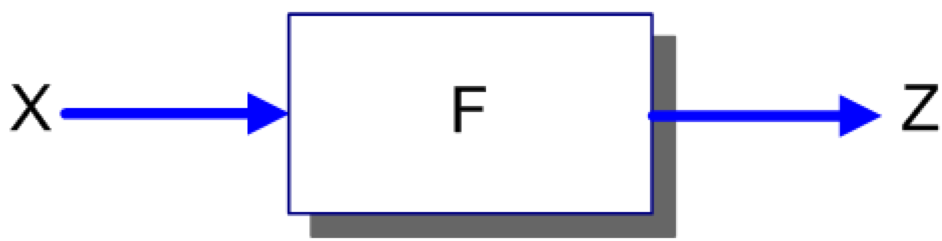
| $X_3X_2 \backslash X_1X_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 00 | 0 | 1 | 3 | 2 |
| 01 | 4: **1** | 5 | 7 | 6: **1** |
| 11 | 12: **1** | 13 | 15 | 14: **1** |
| 10 | 8 | 9 | 11 | 10 |

$$m_4 + m_6 + m_{12} + m_{14} =$$
$$\overline{x_3} \cdot x_2 \cdot \overline{x_1} \cdot \overline{x_0} + \overline{x_3} \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot \overline{x_0} +$$
$$x_3 \cdot x_2 \cdot \overline{x_1} \cdot \overline{x_0} + x_3 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot \overline{x_0} =$$
$$x_2 \cdot \overline{x_0}$$

# 4. Circuitos combinacionales.

- Tipos de sistemas digitales:
  - **Combinacionales**: Z en $t_i$ solo depende del valor de $X(t_i)$ $\Rightarrow$ se puede obviar la variable t.

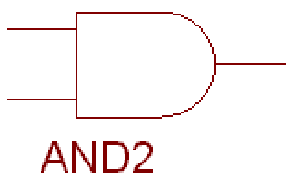
$$Z(t) = F(X(t)) \qquad Z = F(X)$$




  - Secuenciales: Z en $t_i$ depende del valor de $X(t_i)$ y en todos los instantes anteriores $\Rightarrow$ no se puede obviar la variable t.

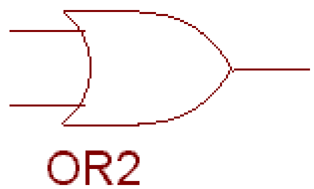
# 4. Circuitos combinacionales.

- Especificación de sistemas combinaciones:
  - Tabla de verdad → simplificación → SdP
  - Lógica positiva: 5V = H, 0V = L
- Puertas lógicas



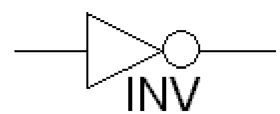

$$Z = X \cdot Y$$

| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |




$$Z = X + Y$$

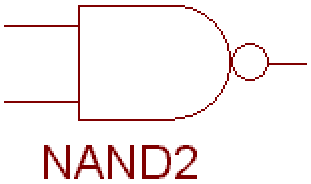
| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |




$$Z = \overline{X}$$

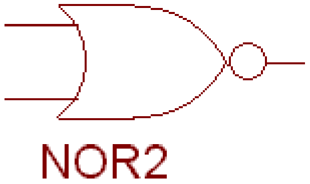
| X | Z |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

- Puertas lógicas




$$Z = \overline{X \cdot Y} = \bar{X} + \bar{Y}$$

| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |




$$Z = \overline{X + Y} = \bar{X} \cdot \bar{Y}$$

| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

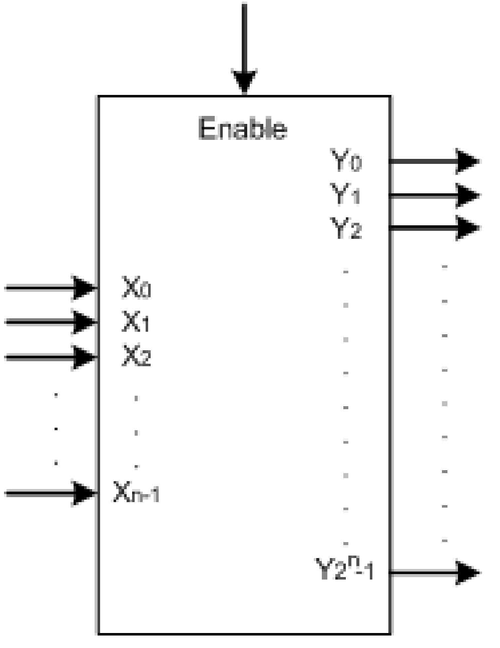

$$Z = \bar{X} \cdot Y + X \cdot \bar{Y}$$

| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

# 4. Circuitos combinacionales.

- **Decodificador de n a $2^n$:**
  - 'n' entradas ($X_0$, $X_1$, … $X_{n-1}$)
  - $2^n$ salidas ($Y_0$, $Y_1$, $Y_2$, …)
  - Enable (señal de activación)
  - Funcionamiento:
    - Enable = desactivada → $Y_i$ = '0'
    - Enable = activada $Y_i$ = '1', donde

  i = nº decimal codificado en las entradas



# 4. Circuitos combinacionales.

- Ejemplo: implementación de un decodificador de 2 a 4 con puertas lógicas :

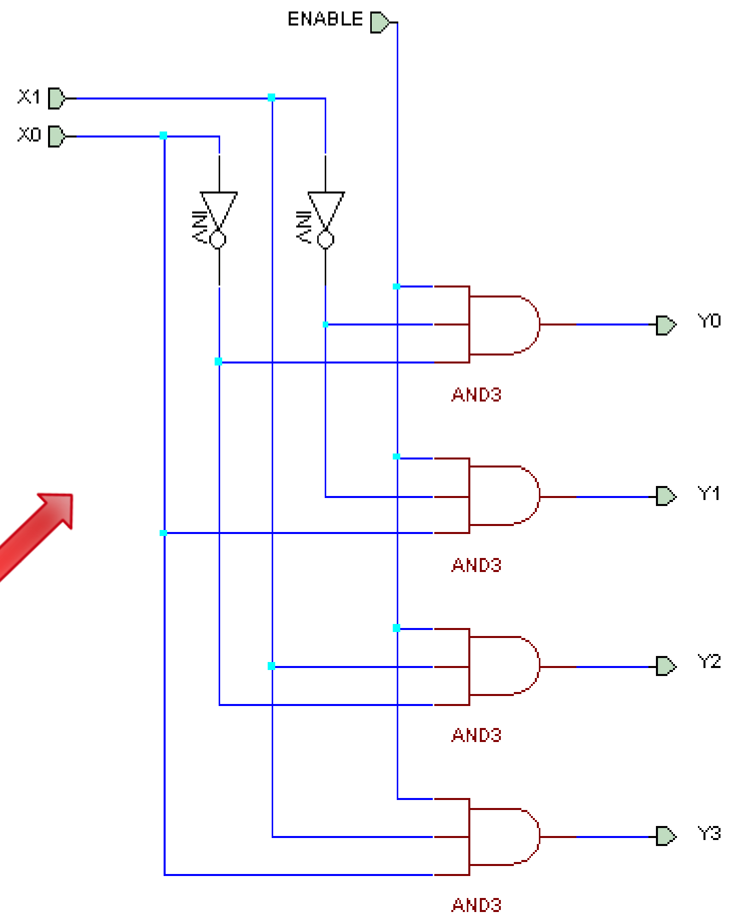
| E | $X_1$ | $X_0$ | $Y_3$ | $Y_2$ | $Y_1$ | $Y_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | X | X | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

$$Y_0 = E \cdot \overline{X_1} \cdot \overline{X_0}$$

$$Y_1 = E \cdot \overline{X_1} \cdot X_0$$

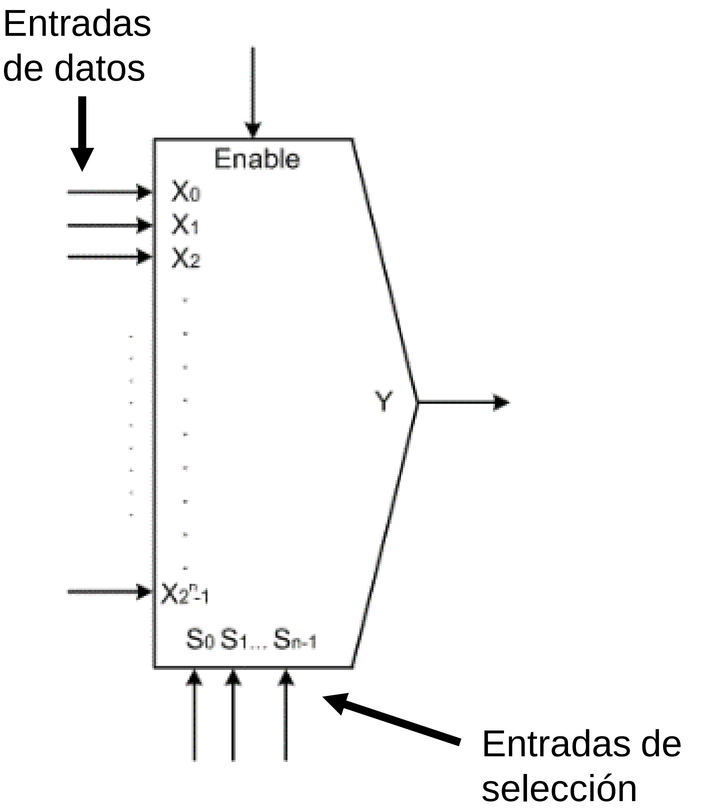
$$Y_2 = E \cdot X_1 \cdot \overline{X_0}$$

$$Y_3 = E \cdot X_1 \cdot X_0$$



# 4. Circuitos combinacionales.

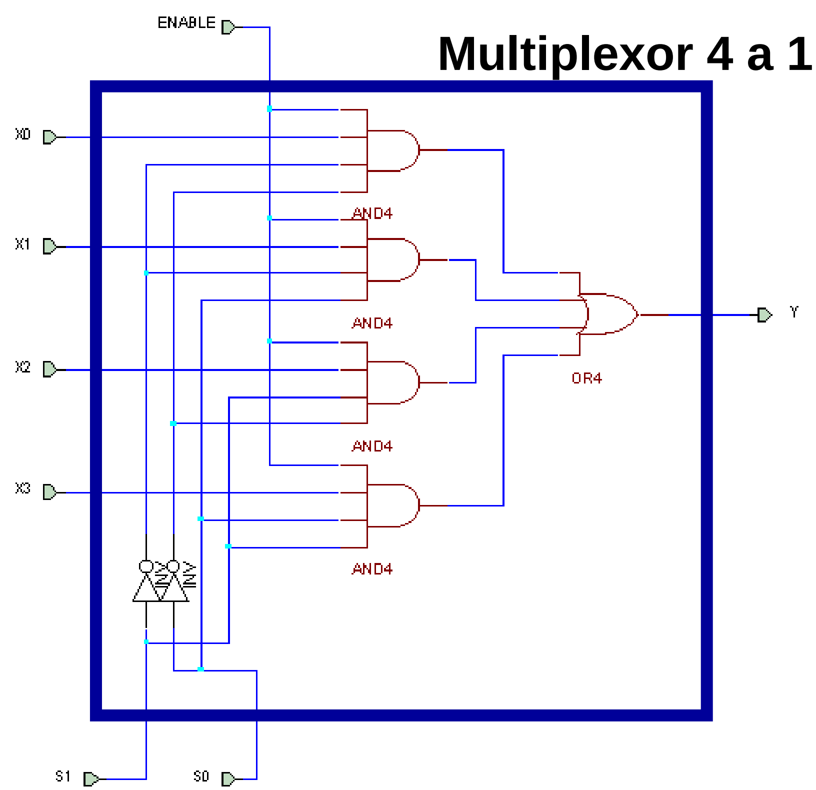
- **Multiplexor de $2^n$ a 1**:
  - $2^n$ entradas de datos
  - 'n' entradas de selección
  - Enable (entrada de activación)
  - Salida única
  - Funcionamiento:
    - Conecta una de las $2^n$ entradas a la salida según S
    - Enable activo:
      $S_i$ codifican el nº "i" $\rightarrow$ Y = valor de $X_i$
    - Enable inactivo: Y = 0



- Ejemplo: implementación de un multiplexor de 4 entradas con puertas lógicas:

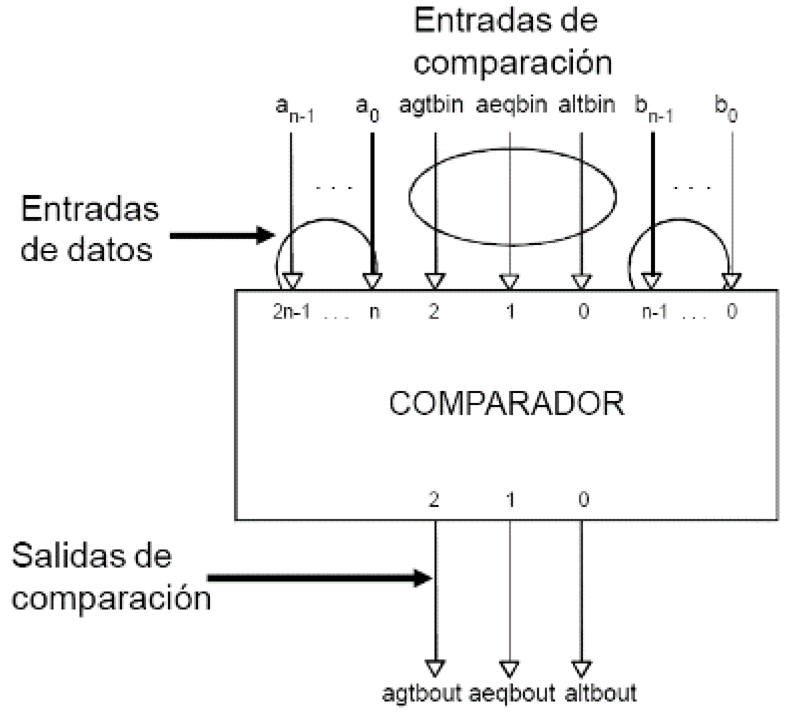
$$y = E \cdot (x_0 \cdot m_0(s_1, s_0) + x_1 \cdot m_1(s_1, s_0) + x_2 \cdot m_2(s_1, s_0) + x_3 \cdot m_3(s_1, s_0)) =$$

$$E \cdot (x_0 \cdot \overline{s_1} \cdot \overline{s_0} + x_1 \cdot \overline{s_1} \cdot s_0 + x_2 \cdot s_1 \cdot \overline{s_0} + x_3 \cdot s_1 \cdot s_0)$$



# 4. Circuitos combinacionales.

- **Comparadores**:
  - $2^n$ entradas (a y b de n bits)
  - 3 entradas para encadenamiento de comparación (de entradas menos a más significativas)
  - 3 salidas de comparación
  - Determina relación de magnitud de dos vectores binarios :




agtbout = (a>b) + (a=b)·agtbin → 1º > 2º

aeqbout = (a=b)·aeqbin → 1º = 2º

altbout = (a<b) + (a=b)·altbin → 2º > 1º

# 4. Circuitos combinacionales.

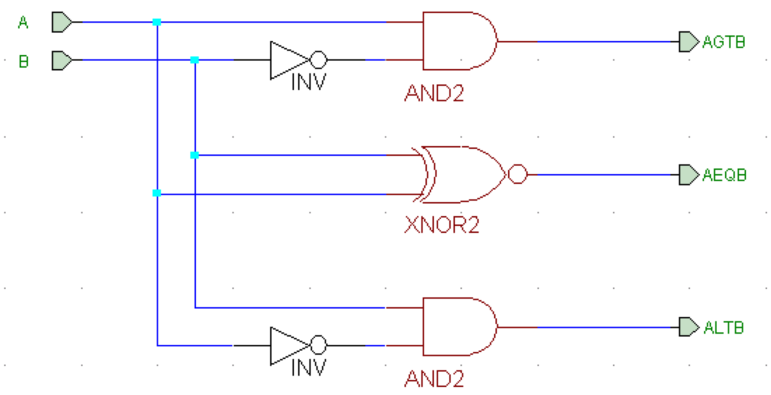
- Ejemplo: comparador de 1 bit no encadenable

| a | b | a>b | a=b | a<b |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

$$(a>b) = a \cdot \overline{b}$$

$$(a=b) = a \text{ xnor } b$$

$$(a<b) = \overline{a} \cdot b$$



# 4. Circuitos combinacionales.

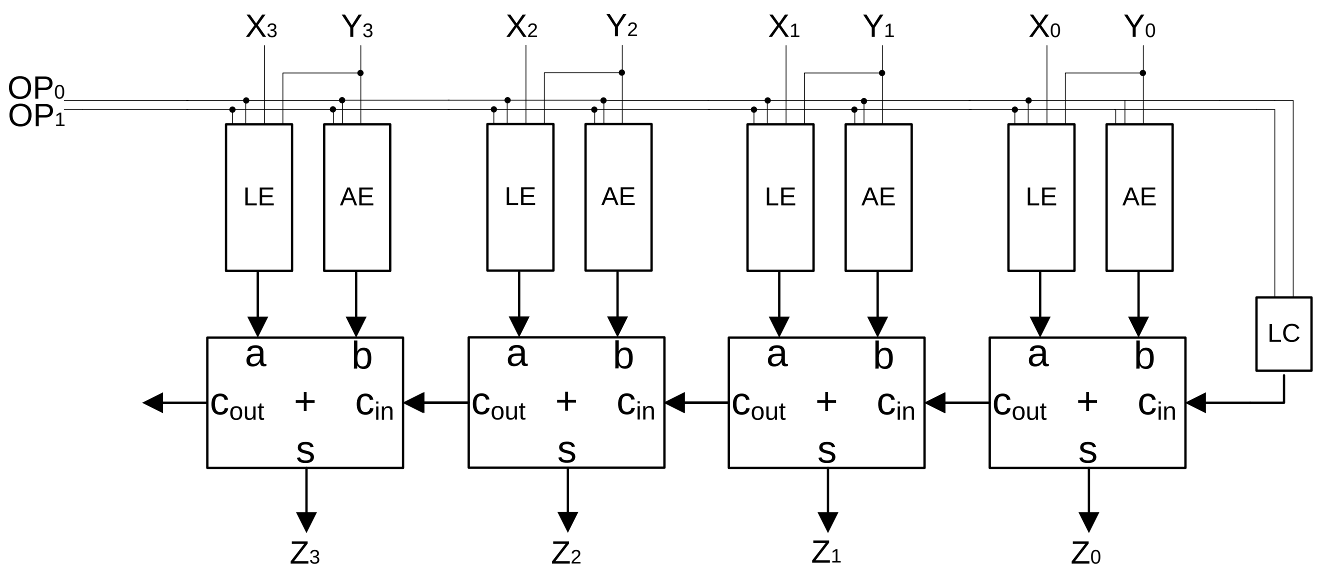
- Circuitos aritméticos (ALU):
  - Cto. combinacional que realiza distintas operaciones entre 2 operandos según señales de control
    - Aritméticas: sumas, restas, desplazamientos
    - Lógicas: AND, OR, NOT, XOR, etc.
  - Sumadores-restadores & multiplexores & lógica adicional

# 4. Circuitos combinacionales.



- Ejemolo: ALU con 2 entradas de datos de 4 bits

| $OP_1$ | $OP_0$ | OPERACIÓN |
|---|---|---|
| 0 | 0 | X + Y |
| 0 | 1 | X - Y |
| 1 | 0 | X AND Y |
| 1 | 1 | X OR Y |



# 4. Circuitos combinacionales.

- Ejemplo. Máquina expendedora:


- Una máquina expendedora automática proporciona productos con diversos precios:
  - botella de agua 0,5€
  - lata de refresco 1,0€
  - paquete de galletas 1,5€
  - caja de bombones 2,0€

Solo admite una moneda de 0,5€, 1,0€ o 2,0€ para adquirir el producto y sólo devuelve cambio de 1 moneda, en caso de que tuviera que devolver cambio. Habrá casos en los que, al no poder proporcionar el cambio correcto, devolverá la moneda introducida, sin proporcionar el producto.

# 4. Circuitos combinacionales.

- Ejemplo. Máquina expendedora:

| ENTRADAS | | SALIDAS | |
|---|---|---|---|
| Moneda | Producto pedido | ¿Suministra producto? | Cambio |
| 0,00 € | Botella de agua | No * | 0,00 € |
| 0,00 € | Lata de refresco | No * | 0,00 € |
| 0,00 € | Paquete de galletas | No * | 0,00 € |
| 0,00 € | Caja de bombones | No * | 0,00 € |
| 0,50 € | Botella de agua | Sí | 0,00 € |
| 0,50 € | Lata de refresco | No * | 0,50 € |
| 0,50 € | Paquete de galletas | No * | 0,50 € |
| 0,50 € | Caja de bombones | No * | 0,50 € |
| 1,00 € | Botella de agua | Sí | 0,50 € |
| 1,00 € | Lata de refresco | Sí | 0,00 € |
| 1,00 € | Paquete de galletas | No * | 1,00 € |
| 1,00 € | Caja de bombones | No * | 1,00 € |
| 2,00 € | Botella de agua | No ** | 2,00 € |
| 2,00 € | Lata de refresco | Sí | 1,00 € |
| 2,00 € | Paquete de galletas | Sí | 0,50 € |
| 2,00 € | Caja de bombones | Sí | 0,00 € |

**MOTIVO DE LA NEGATIVA**

* Dinero insuficiente

** No hay cambio en una única moneda

# 4. Circuitos combinacionales.

- Ejemplo. Máquina expendedora:

| | |
|---|---|
| **ENTRADAS**<br><br>**Codif. moneda (m1,m0)**<br>00: Ninguna<br>01: moneda de 0,50 €<br>10: moneda de 1,00 €<br>11: moneda de 2,00 € | **Codificación producto (p1,p0)**<br>00: botella de agua<br>01: lata de refresco<br>10: paquete de galletas<br>11: caja de bombones |
| **SALIDAS**<br><br>**Codif. devolución (c1,c0)**<br>00: Ninguna<br>01: moneda de 0,50 €<br>10: moneda de 1,00 €<br>11: moneda de 2,00 € | **Codificación suministro (S)**<br>0: NO da el producto seleccionado<br>1: SI da el producto seleccionado |

# 4. Circuitos combinacionales.

| $m_1$ | $m_0$ | $p_1$ | $p_0$ | S | $C_1$ | $C_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

| $p_1$ $p_0$ / $m_1$ $m_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

$$S = m_1\overline{m_0}\,\overline{p_1} + m_1\overline{p_1}p_0 + m_1m_0p_1 + \overline{m_1}m_0\,\overline{p_1}\,\overline{p_0}$$

| $p_1$ $p_0$ / $m_1$ $m_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

$$C_1 = m_1m_0\,\overline{p_1} + m_1\overline{m_0}p_1$$

| $p_1$ $p_0$ / $m_1$ $m_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

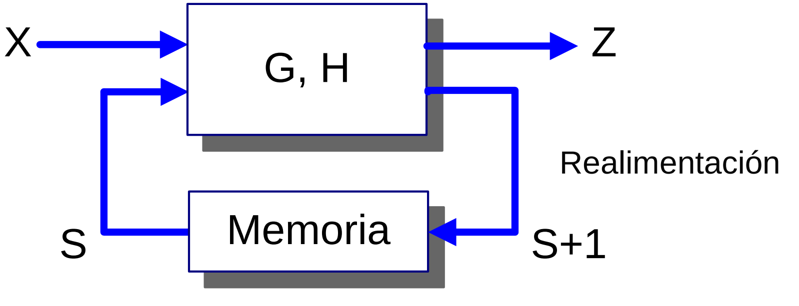
$$C_0 = m_1\overline{p_1}\,\overline{p_0} + \overline{m_1}m_0p_0 + m_0p_1\overline{p_0}$$

# 5. Circuitos secuenciales.



- Tipos de sistemas digitales:
  - Combinacionales: se puede obviar la variable t.
  - **Secuenciales**: no se puede obviar la variable t.
    - $Z(t_i)$ depende de $X(t_i)$ y en todos los t´s anteriores
    - ¿memoria ∞? NO ⟶ **FSM** (máquina finita de estados)

$Z(t) = G(X(t), S(t))$ - Salida
$S(t+1) = H(X(t), S(t))$ - Cambio de estado



# 5. Circuitos secuenciales.

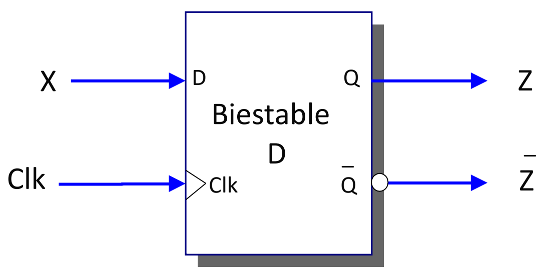


- Tipos de sistemas secuenciales:
  - **Asíncronos**: cambios de estado gobernados por X.
  - **Síncronos**: cambios de estado gobernados por señal de reloj (Clk).

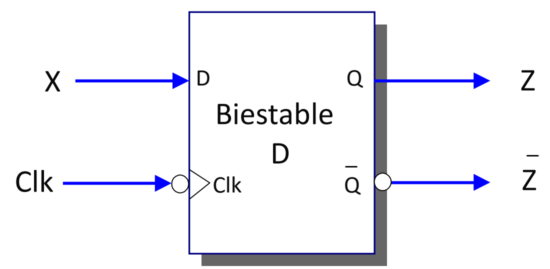
- Elementos de memoria:
  - Determinan el estado del sistema
  - Biestables
    - D activo por flanco de reloj

| **Q** | **$Q_{next}$** |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

Biestable D disparado por flanco de subida




Biestable D disparado por flanco de bajada

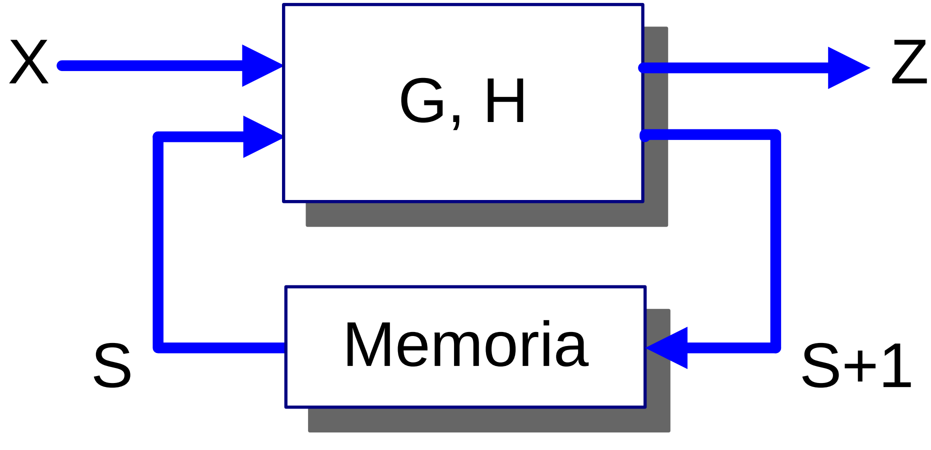



  - REALIMENTACIÓN

# 5. Circuitos secuenciales.



- Las FSM constan de:
  - Un conjunto de entradas $X \in \{X_0, X_1, \ldots, X_{k-1}\}$
  - Un conjunto de salidas $Z \in \{Z_0, Z_1, \ldots, Z_{m-1}\}$
  - Un conjunto de estados $S \in \{S_0, S_1, \ldots, S_{n-1}\}$
  - Una función de transición $S(t+1) = H(X(t), S(t))$
  - Una función de salida $Z(t) = G(X(t), S(t))$




X(t): entrada actual

Z(t): salida actual

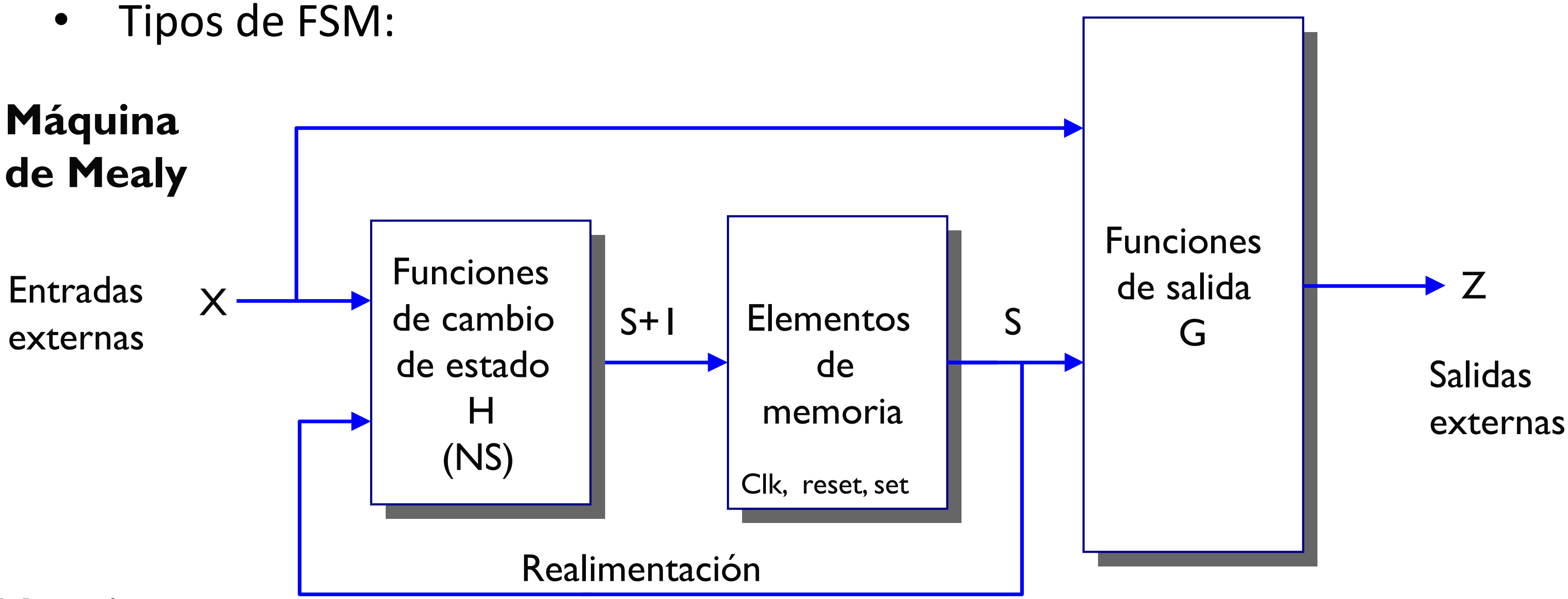
S(t): estado actual

S(t+1): estado próximo

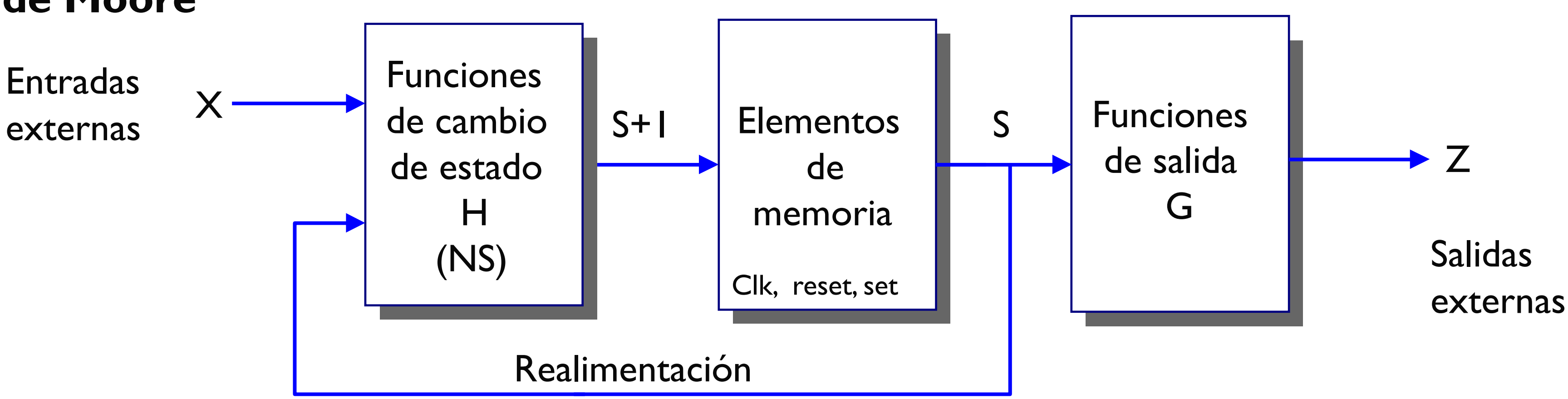
# 5. Circuitos secuenciales.

- Tipos de FSM:

**Máquina de Mealy**




**Máquina de Moore**



- Representación formal FSM – Mealy:
  - Tabla de estados y salidas
  - Diagrama de estados

**Diagrama de estados**

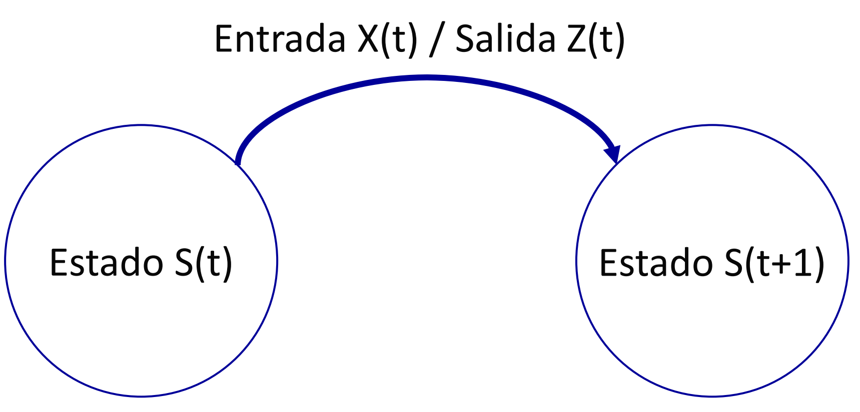



**Tabla de estados y salidas**

| **Estado actual** | **Entrada actual** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **$X_0$** | **$X_1$** | **…** | **$X_m$** |
| $S_0$ | $S_{0,0}/Z_{0,0}$ | $S_{0,1}/Z_{0,1}$ | … | $S_{0,m}/Z_{0,m}$ |
| $S_1$ | $S_{1,0}/Z_{1,0}$ | $S_{1,1}/Z_{1,1}$ | … | $S_{1,m}/Z_{1,m}$ |
| … | … | … | … | … |
| $S_n$ | $S_{n,0}/Z_{n,0}$ | $S_{n,1}/Z_{n,1}$ | … | $S_{n,m}/Z_{n,m}$ |
| | **Estado siguiente / Salida** | | | |

# 5. Circuitos secuenciales.

- Ejemplo. Control de ascensor:


- Diseñar el control de un ascensor en un edificio de dos plantas. Como entradas actuarán las señales procedentes de los botones de ascensor y como salida el accionamiento del motor que hace que suba, baje o permanezca en el piso que está. En este caso, los estados serán el piso en le que se encuentre el ascensor.

# 5. Circuitos secuenciales.



**Entrada**

| X(t) | $X_1$ | $X_0$ |
|---|---|---|
| Ninguna llamada | 0 | 0 |
| Llamada del piso 0 | 0 | 1 |
| Llamada del piso 1 | 1 | 0 |
| Llamadas de los pisos 0 y 1 | 1 | 1 |

**Estado**

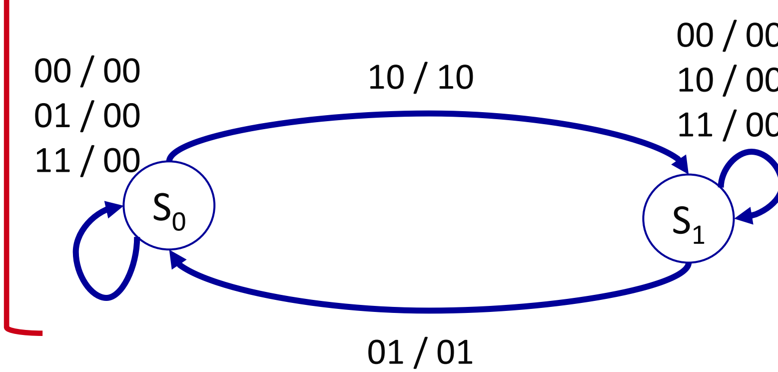
| S(t) | $Q_0$ |
|---|---|
| $S_0$ (ascensor piso 0) | 0 |
| $S_1$ (ascensor piso 1) | 1 |

**Salida**

| Z(t) | $Z_1$ | $Z_0$ |
|---|---|---|
| No accionar motor | 0 | 0 |
| Accionar motor para bajada | 0 | 1 |
| Accionar motor para subida | 1 | 0 |
| No usado | 1 | 1 |

**Tabla de estados y salidas**

| S(t) | $X_1 X_0 / Z_1 Z_0$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| $Q_0$ | 00 | 01 | 10 | 11 |
| 0 | 0/00 | 0/00 | 1/10 | 0/00 |
| 1 | 1/00 | 0/01 | 1/00 | 1/00 |



| $Q_0$ | $X_1$ | $X_0$ | $Q`_0$ | $Z_1$ | $Z_0$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

| $Q_0$ \ $X_1 X_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |

$$Q`_0 = X_1\overline{X_0} + Q_0X_1 + Q_0\overline{X_0}$$

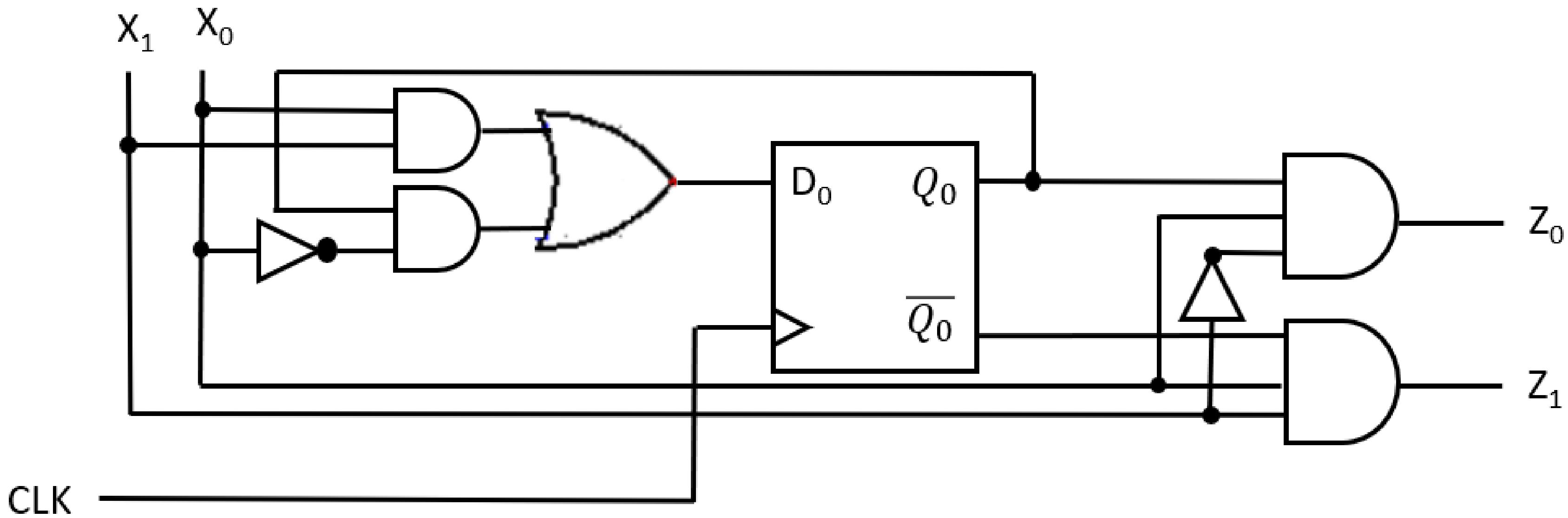
| $Q_0$ \ $X_1 X_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

$$Z_1 = \overline{Q_0}X_1X_0$$

| $Q_0$ \ $X_1 X_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |

$$Z_0 = Q_0\overline{X_1}X_0$$

# 5. Circuitos secuenciales.

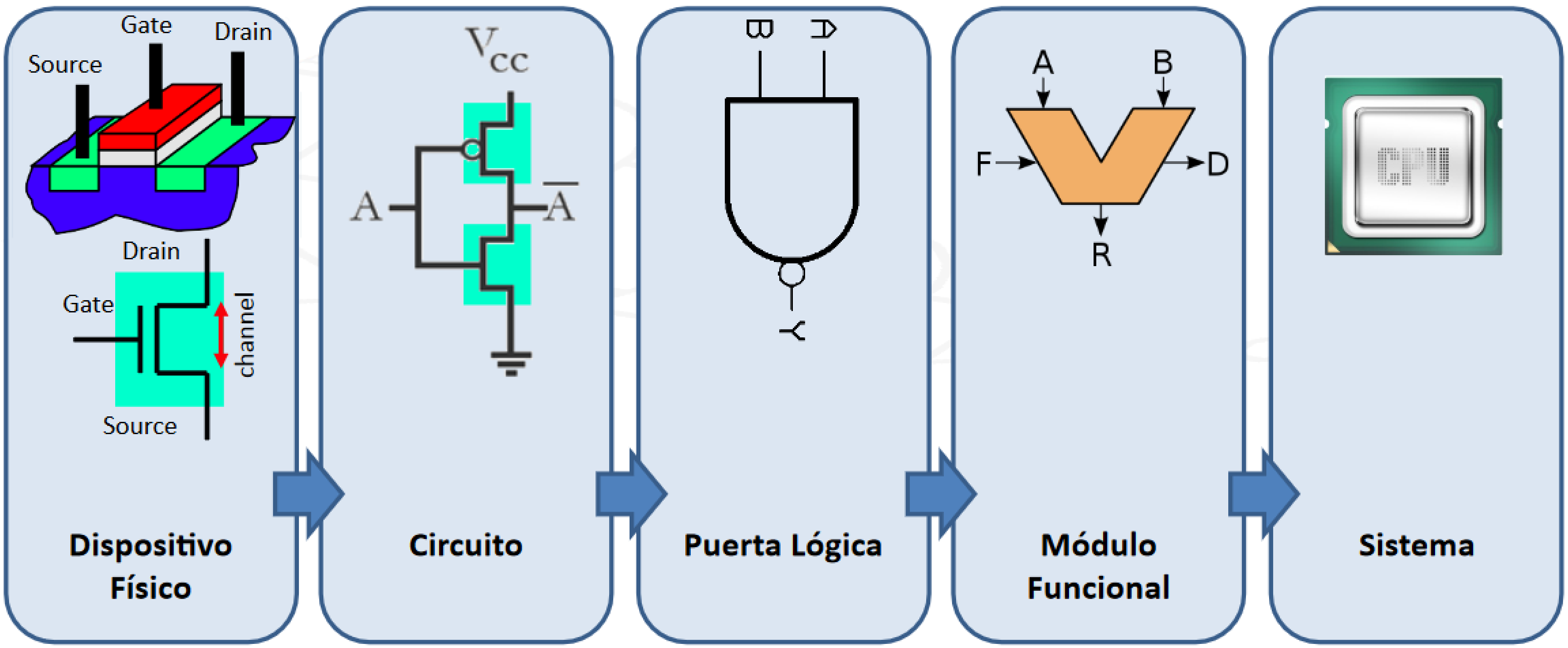


# 6. Ventajas e inconvenientes.

| Ventajas | Inconvenientes |
|---|---|
| • Sistemas mas sencillos y baratos que los analógicos<br>• Más seguros y precisos<br>• Facilidad de almacenamiento<br>• Facilidad de diseño y fabricación<br>• Menor tamaño<br>• Más robustos a interferencias, ruido o cambios de condiciones ambientales | • El mundo es analógico<br>• Mayor necesidad de ancho de banda |

# 5. Circuitos secuenciales.

- Ordenador: sistema digital de propósito general
  - Millones de puertas lógicas
  - Abstracción



# 6. Bibliografía.


- Román Hermida, Ana Mº del Corral, Enric Pastor, Fermín Sánchez, **“Fundamentos de Computadores”** , cap 2-3 Editorial Síntesis

- Thomas L. Floyd, **“Fundamentos de Sistemas Digitales”**, cap 4-7, Editorial Prentice Hall

- Daniel D. Gajski, **“Principios de Diseño Digital”**, cap 3-5 Editorial Prentice Hall

- M. Morris Mano, **“Diseño Digital”**, cap 2-5, Editorial Prentice Hall

- .