Universidad
Rey Juan Carlos

Escuela Superior de Cier

Síntesis de circuitos secuenciales síncronos: Máquinas de estados finitos

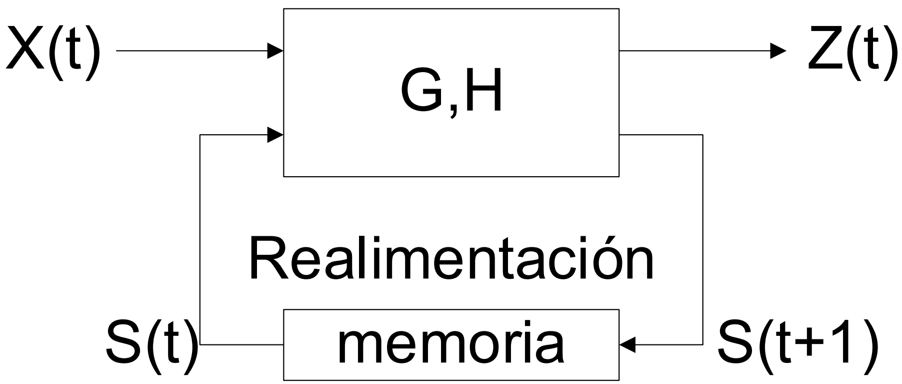
Norberto Malpica

Ingeniería de Tecnologías Industriales

Sistemas Electrónicos Digitales

Sistemas secuenciales

En los sistemas secuenciales la salida Z en un determinado instante de tiempo ti depende de X (la entrada) en ese mismo instante de tiempo ti y en todos los instantes temporales anteriores. Para ello es necesario que el sistema disponga de **elementos de memoria que le permitan recordar la situación en** que se encuentra (**estado).**



X(t): entrada actual

Z(t): salida actual

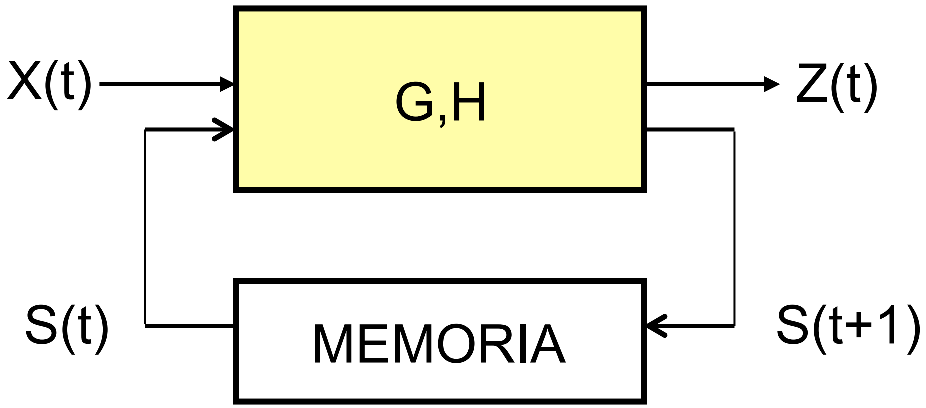
S(t): estado actual

S(t+1): estado próximo

$$\begin{cases} Z(t) = G(X(t),S(t)) & G: \text{función de salida} \\ S(t+1) = H(X(t),S(t)) & H: \text{función de transición} \end{cases}$$

Como un sistema secuencial es finito, tiene una capacidad de memoria finita y un conjunto finito de estados posibles **máquina finita de estados (FSM: *finite state machine*)**

Máquinas de estados finitos



X(t): entrada actual

Z(t): salida actual

S(t): estado actual

S(t+1): estado próximo

Las FSM constan de:

- Un conjunto de entradas $X \in \{X_0, X_1, \ldots, X_{l-1}\}$
- Un conjunto de salidas $Z \in \{Z_0, Z_1, \ldots, Z_{m-1}\}$
- Un conjunto de estados $S \in \{S_0, S_1, \ldots, S_{n-1}\}$

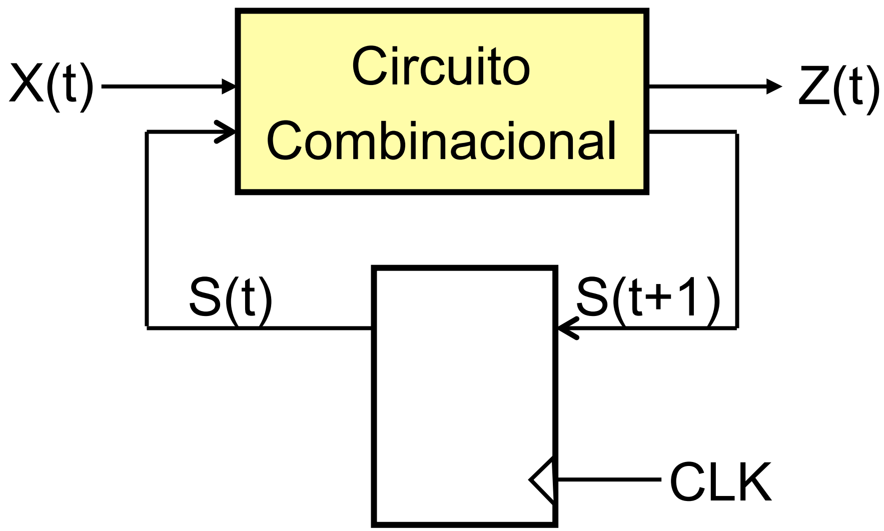
Tipos de FSM:

- **Mealy**
- **Moore**

Máquinas de Mealy

En una máquina de Mealy:

- El estado siguiente depende de la entrada y del estado actual.
- La salida depende de la entrada y del estado actual.

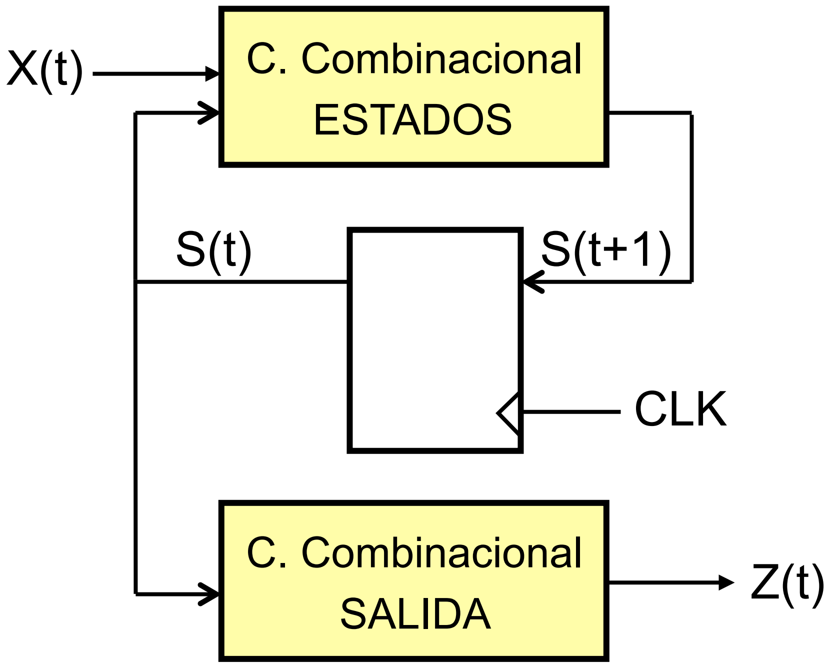


Máquinas de Moore

En una máquina de Moore:

- El estado siguiente depende de la entrada y del estado actual.
- La salida depende de exclusivamente del estado actual.

Toda máquina de Moore es un caso particular de una máquina de Mealy.



Metodología

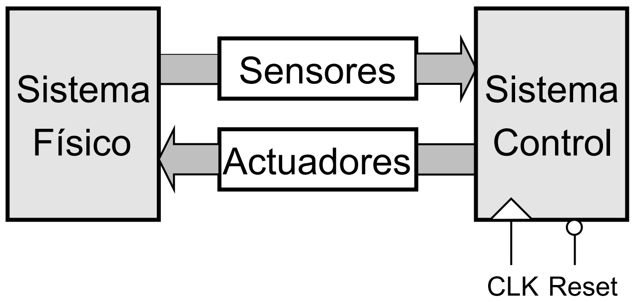
1	Identificación de entradas y salidas
2	Diagrama de transición de estados
3	Comprobación y reducción del diagrama
4	Determinación del número de biestables
5	Asignación de estados
6	Tablas de transición de estados, salidas y excitación del autómata
7	Minimización de las funciones lógicas
8	Diseño del circuito

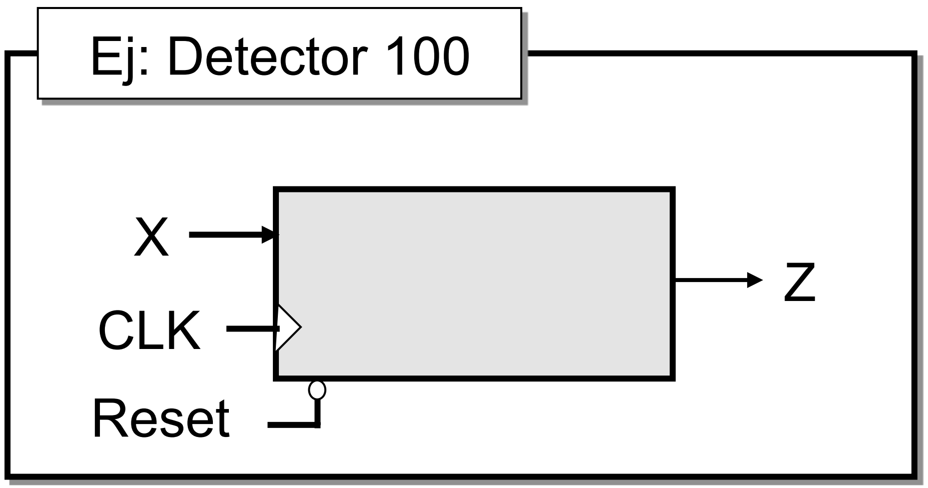
Ejemplo: Detector de secuencia 100

Diseñar un sistema secuencial con una entrada serie que detecte si los tres últimos datos recibidos coinciden con la secuencia **100**

1 Identificación de entradas y salidas

- Determinar las señales que entran y salen del circuito que se quiere diseñar
- El reloj y el reset deben ir siempre, y no se consideran
- En los sistemas de control, los sensores son entradas al circuito y los actuadores son las salidas





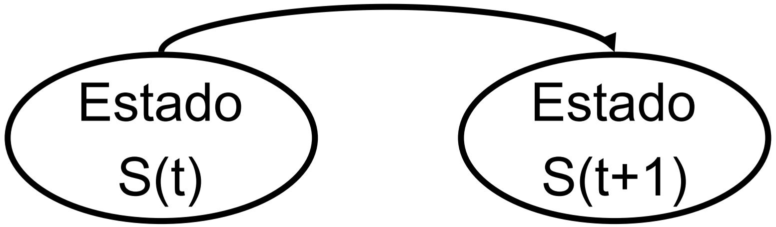
Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

2 Diagrama de transición de estados

- Comenzar por el estado de reposo o inicio (al encender el sistema)
- De cada estado deben salir 2^E transiciones (E = nº de entradas)
- En los sistemas físicos se considera la señal de reloj mucho más rápida que las señales de entrada

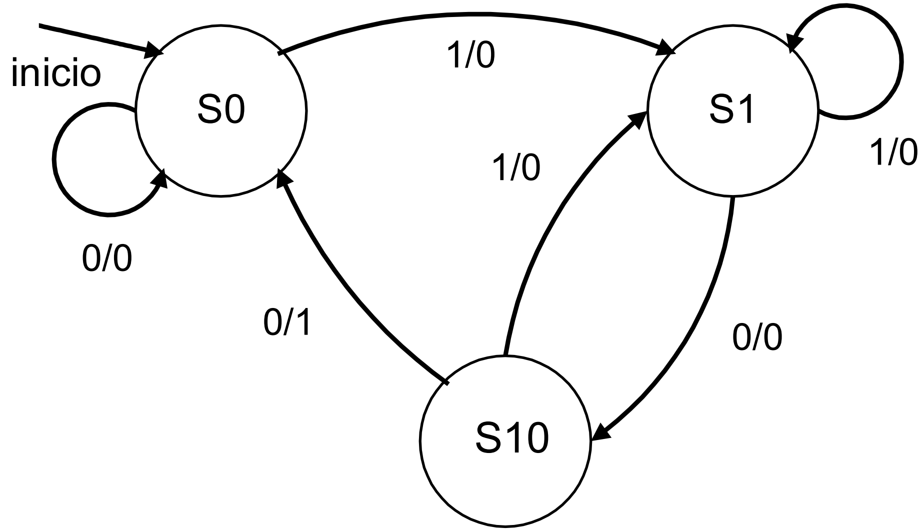
Mq. Mealy

Entrada **X(t)** / Salida **Z(t)**



La salida asociada a la transición

Ej: Detector 100



Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

3 | Comprobación y reducción del diagrama

• Para cada estado, comprobar las condiciones de tránsito:

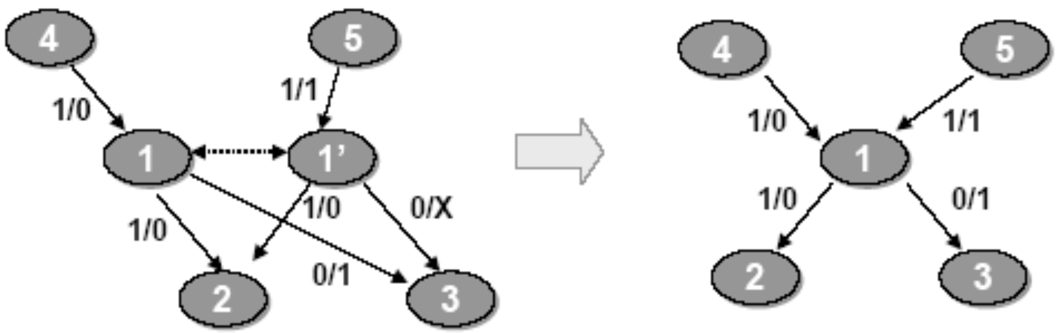
➢ De cada estado deben salir 2^E transiciones (E = nº de entradas), salvo aquellas que sean imposibles

➢ Todas las transiciones tiene que tener valores de entrada distintos

• **Reducción** del diagrama: Dos estados son iguales si a partir de ellos la evolución es la misma:

➢ Ante una misma combinación de las entradas el sistema, se va a los mismos estados y con las mismas salidas

En este caso, las condiciones de tránsito de llegada se unen



Ejemplo: Detector de secuencia 100

4 Determinación del número de biestables

N estados ⇒ n biestables tal que $2^n \geq N$

Ejemplo (detector de secuencia 100): 3 estados ⇒ 2 biestales

5 Asignación de estados

- A cada estado se le asigna una combinación de valores de los biestables

Estado	Q_1	Q_0
S0	0	0
S1	0	1
S10	1	0

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

6 | Tablas de transición de estados y salidas y excitación del autómata

Transición de estados:

Ecuación de estado:

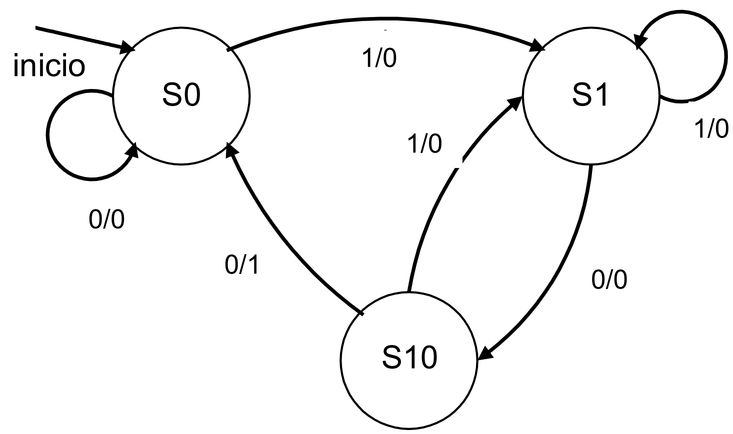
$$S(t+1) = f(S(t), X(t))$$

Salidas del circuito:

Moore: $Z(t) = g(S(t))$

Mealy: $\mathbf{Z(t) = g(S(t), X(t))}$

Ej: Detector 100



Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

6 Tablas de transición de estados y salidas y excitación del autómata

Transición de estados:

Ecuación de estado:

$$S(t+1) = f(S(t), X(t))$$

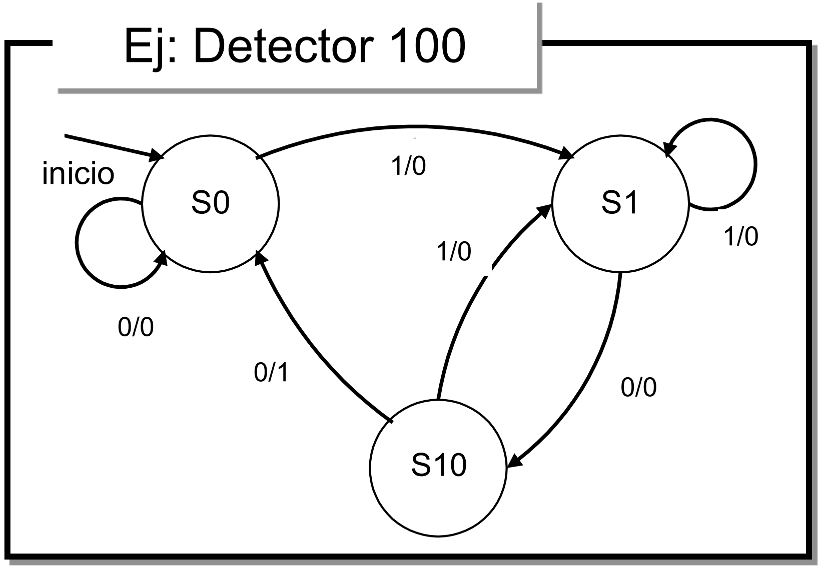
Salidas del circuito:

Moore: $Z(t) = g(S(t))$

Mealy: $\mathbf{Z(t) = g(S(t), X(t))}$

	Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z
S0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	1	0
S1	0	1	0	1	0	0
	0	1	1	0	1	0
S10	1	0	0	0	0	1
	1	0	1	0	1	0
	1	1	X	X	X	X

S(t) X(t) S(t+1) Z(t)



Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

6 Tablas de excitación del autómata

- Se construye a partir de la tabla de transición de estados.
- ¿Qué valor tiene que tomar el biestable para estando en el estado S(t) pase al estado Q(t+1)?
- La implementación se puede hacer con biestables D, J-K,T, S-R.

Basándonos en las tablas de verdad de los biestables se obtienen los valores que deben tomar las entradas para pasar del estado Q(t) al Q(t+1)

Tablas de verdad de los biestables:

S	R	Q(t+1)
0	0	Q(t)
0	1	0
1	0	1
1	1	-

J	K	Q(t+1)
0	0	Q(t)
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q(t)}$

D	Q(t+1)
0	0
1	1

T	Q(t+1)
0	Q(t)
1	$\overline{Q(t)}$

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

6 Tablas de excitación del autómata

Basándonos en las tablas de verdad de los biestables se obtienen los valores que deben tomar las entradas de los biestables para pasar del e
Q(t+1)

¿tabla para el resto de biestables?

Ej, para el S- R

Tabla de verdad del S-R

S	R	Q(t+1)
0	0	Q(t)
0	1	0
1	0	1
1	1	-

Obtengo la tabla que me da lo que necesito en S y R para obtener las transiciones de Q

Tabla de verdad para la obtención del estado siguiente

Q(t)	Q(t+1)	S	R
0	0	0	X
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	0

Para pasar 0 → 0
Mantener el valor
o poner un RESET

S	R
0	0
0	1

⇨

S	R
0	X

Para pasar 0 → 1 :
poner SET

S	R
1	0

Para pasar 1 → 0 :
poner un RESET

S	R
0	1

Para pasar 1 → 1
Mantener el valor
o poner un SET

S	R
0	0
1	0

⇨

S	R
X	0

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

6 Tablas de excitación del autómata

Para los demás biestables se hace de manera similar:

S	R	Q(t+1)
0	0	Q(t)
0	1	0
1	0	1
1	1	-

Q(t)	Q(t+1)	S	R
0	0	0	X
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	0

D	Q(t+1)
0	0
1	1

Q(t)	Q(t+1)	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

J	K	Q(t+1)
0	0	Q(t)
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q(t)}$

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

T	Q(t+1)
0	Q(t)
1	$\overline{Q(t)}$

Q(t)	Q(t+1)	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

6 | Tablas de excitación del autómata

Se completa la tabla de transición de estados con los valores necesarios en las entradas de los biestables para realizar la transición de estado

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	**0**	**0**	**X**
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Ej.: biestables J-K

$\overbrace{Q_1 \quad Q_0}^{S(t)}$		Entrada X	$\overbrace{Q'_1 \quad Q'_0}^{S(t+1)}$		Salida Z	entradas en J-K para pasar de S(t) a S(t+1)			
Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z	J'_1	K'_1	J'_0	K'_0
0	**0**	0	0	**0**	0	0	X	**0**	**X**
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X
0	1	0	1	0	0	1	X	X	1
0	1	1	0	1	0	0	X	X	0
1	0	0	0	0	1	X	1	0	X
1	0	1	0	1	0	X	1	1	X
1	1	X	X	X	X	X	X	X	X

Ej:

$Q_0 \rightarrow Q'_0$

$0 \rightarrow 0$

para esta transición se necesita J_0=0, K_0=X

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

7 Minimización de las funciones lógicas

Se obtienen las ecuaciones lógicas de las J, K y las salidas (Z), en función del estado actual (Q_1 y Q_0) y las entradas (X)

Para minimizarlas se emplean los mapas de Karnaugh

Ej, para J_1

Q_1	Q_0	Entrada X	J'_1
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	X
1	0	1	X
1	1	X	X

$\overline{X} \cdot Q_0$

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	1	X	X
1	0	0	X	X

$$J_1 = \overline{X} \cdot Q_0$$

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

7 Minimización de las funciones lógicas

De la misma manera se hace para las demás entradas de los biestables (J, K) y la salida (X)

Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z	J'_1	K'_1	J'_0	K'_0
0	0	0	0	0	0	0	X	0	X
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X
0	1	0	1	0	0	1	X	X	1
0	1	1	0	1	0	0	X	X	0
1	0	0	0	0	1	X	1	0	X
1	0	1	0	1	0	X	1	1	X
1	1	X	X	X	X	X	X	X	X

Z

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	0	X	1
1	0	0	X	0

$\overline{X} \cdot Q_1$

$$Z = \overline{X} \cdot Q_1$$

K_1

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	X	X	1
1	X	X	X	1

1

$$K_1 = 1$$

J_0

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	X	X	0
1	1	X	X	1

X

$$J_0 = X$$

K_0

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	1	X	X
1	X	0	X	X

$\overline{X}$

$$K_0 = \overline{X}$$

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

8 | Diseño del circuito (Implementación biestables J-K)

A partir de las ecuaciones se puede construir el circuito

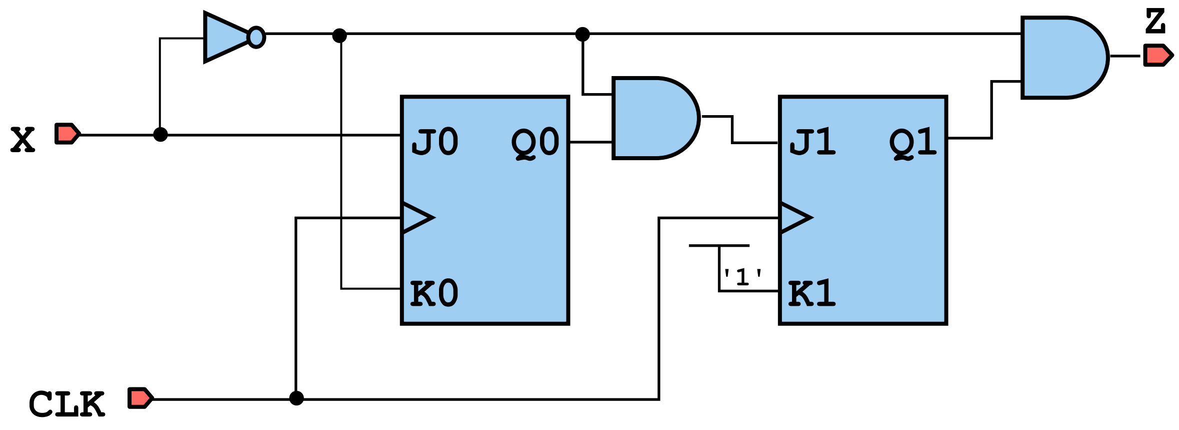
$$J_1 = \overline{X} \cdot Q_0$$

$$K_1 = 1$$

$$J_0 = X$$

$$K_0 = \overline{X}$$

$$Z = \overline{X} \cdot Q_1$$



La salida depende de la entrada

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

Hacemos el mismo circuito pero con biestables D

6 | Tablas de excitación del autómata (biestables D)

Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z	D'_1	D'_0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X

D coincide con Q'

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

7 Minimización de las funciones lógicas (biestables D)

Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z	D'_1	D'_0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X

Z

$$Z = \overline{X} \cdot Q_1$$

Para la salida no hace falta repetir porque la salida es igual que para J-K (es igual en todos)

D_1

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	1	X	0
1	0	0	X	0

$\overline{X} \cdot Q_0$

$$D_1 = \overline{X} \cdot Q_0$$

D_0

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	0	X	0
1	1	1	X	1

X

$$D_0 = X$$

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

8 | Diseño del circuito (Implementación biestables D)

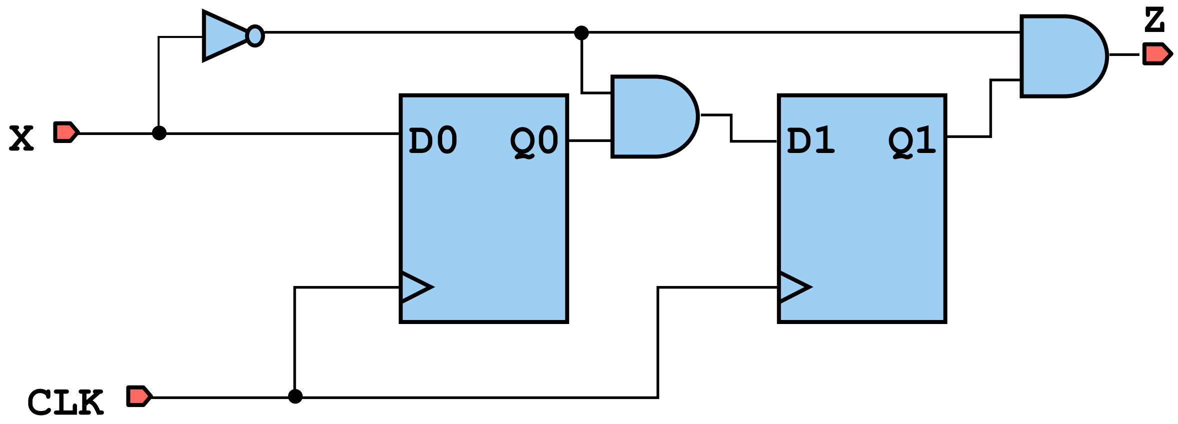
A partir de las ecuaciones
se construye el circuito

$$D_1 = \overline{X} \cdot Q_0$$

$$D_0 = X$$

$$Z = \overline{X} \cdot Q_1$$

La salida depende de la entrada

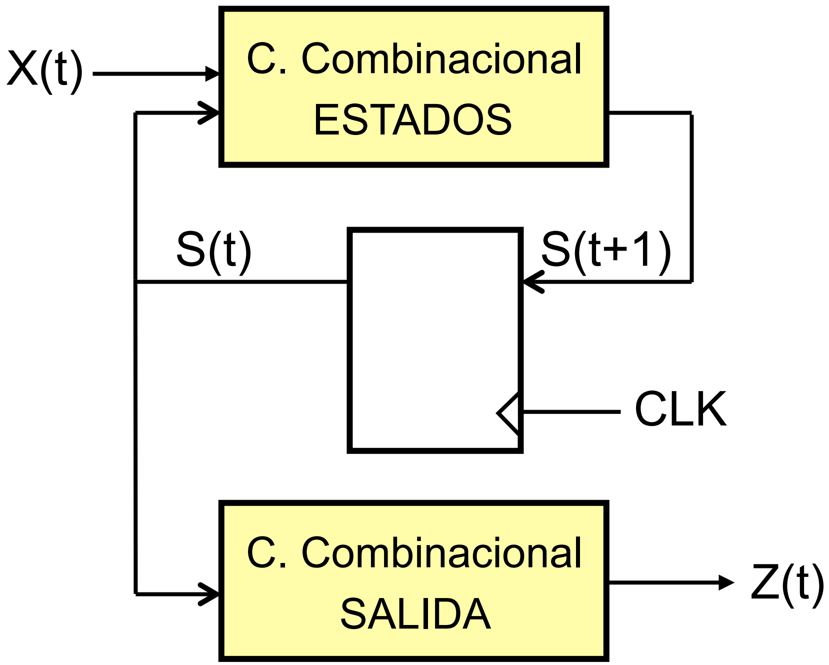


Máquinas de Moore

En una máquina de Moore:

- ➲ El estado siguiente depende de la entrada y del estado actual.
- ➲ La salida depende de exclusivamente del estado actual.

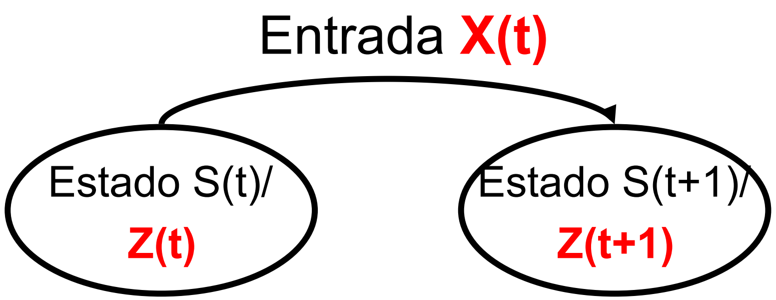
Toda máquina de Moore es un caso particular de una máquina de Mealy.



Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MOORE)

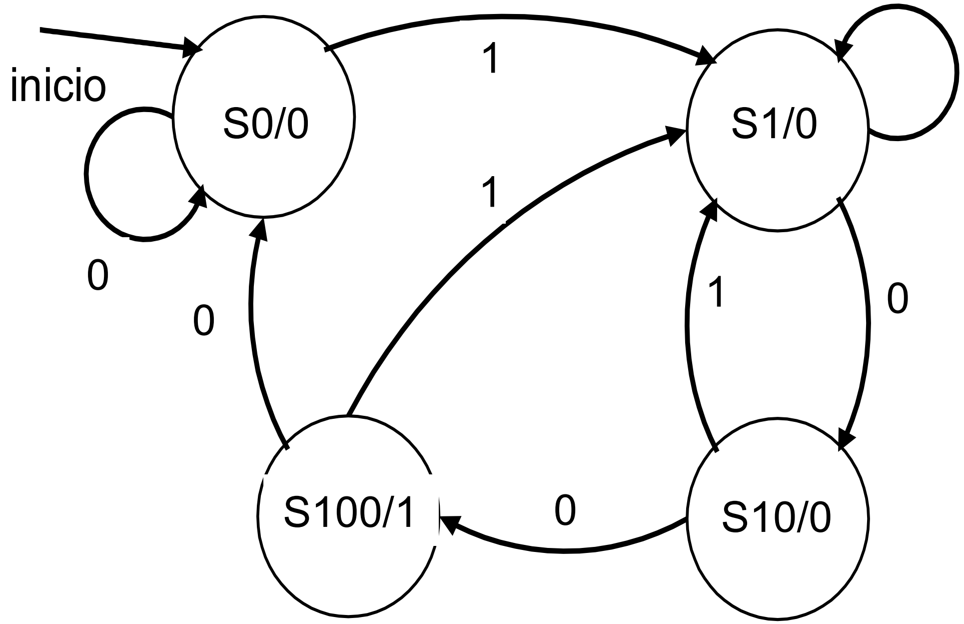
2 Diagrama de transición de estados

Mq. Moore



La salida asociada al estado

Ej: Detector 100



3 Comprobación y reducción del diagrama

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MOORE)

4 | Determinación del número de biestables

N estados $\Rightarrow$ n biestables tal que $2^n \geq N$

Ejemplo (detector de secuencia 100): 4 estados $\Rightarrow$ 2 biestales

5 | Asignación de estados

- A cada estado se le asigna una combinación de valores de los biestables

Estado	Q_1	Q_0
S0	0	0
S1	0	1
S10	1	0
S100	1	1

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MOORE)

6 | Tablas de transición de estados y salidas y excitación del autómata

Transición de estados:

Ecuación de estado:

$$S(t+1) = f(S(t), X(t))$$

Salidas del circuito

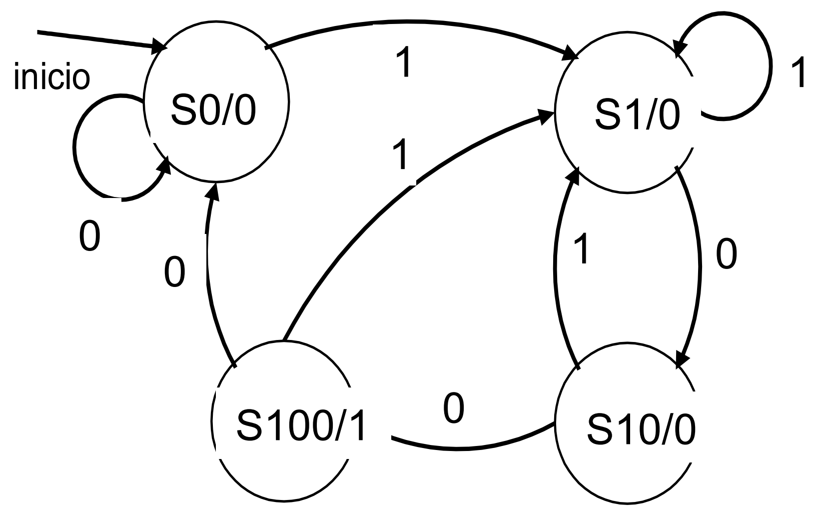
Moore: $Z(t) = g($

Mealy: $\mathbf{Z(t) = g(S(t), X(t))}$

¿Tabla de excitación: D, J-K, S-R?

	Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z
S0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	1	0
S1	0	1	0	1	0	0
	0	1	1	0	1	0
S10	1	0	0	1	1	0
	1	0	1	0	1	0
S100	1	1	0	0	0	1
	1	1	1	0	1	1
	S(t)		X(t)	S(t+1)		Z(t)

Ej: Detector 100



Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MOORE)

6 | Tablas de excitación del autómata

- Se construye a partir de la tabla de transición de estados.
- ¿Qué valor tiene que tomar el biestable para estando en el estado S(t) pase al estado S(t+1)?
- La implementación se puede hacer con biestables D, J-K,T, S-R.

Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z	J'_1	K'_1	J'_0	K'_0	D'_1	D'_0
0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	0
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	0	1
0	1	0	1	0	0	1	X	X	1	1	0
0	1	1	0	1	0	0	X	X	0	0	1
1	0	0	1	1	0	X	0	1	X	1	1
1	0	1	0	1	0	X	1	1	X	0	1
1	1	0	0	0	1	X	1	X	1	0	0
1	1	1	0	1	1	X	1	X	0	0	1

7 Minimización de las funciones lógicas

Q_1	Q_0	Entrada X	Q'_1	Q'_0	Salida Z	J'_1	K'_1	J'_0	K'_0	D'_1	D'_0
0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	0
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	0	1
0	1	0	1	0	0	1	X	X	1	1	0
0	1	1	0	1	0	0	X	X	0	0	1
1	0	0	1	1	0	X	0	1	X	1	1
1	0	1	0	1	0	X	1	1	X	0	1
1	1	0	0	0	1	X	1	X	1	0	0
1	1	1	0	1	1	X	1	X	0	0	1

J_1

$\overline{X} \cdot Q_0$

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	1	X	X
1	0	0	X	X

$$J_1 = \overline{X} \cdot Q_0$$

K_1

Q_0, X

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	X	1	0
1	X	X	1	1

$$K_1 = X + Q_0$$

J_0

Q_1, X

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	0	X	1
1	1	X	X	1

$$J_0 = X + Q_1$$

K_0

$\overline{X}$

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	1	1	X
1	0	0	0	X

$$K_0 = \overline{X}$$

Ejemplo: Detector de secuencia 100 (MEALY)

8 Diseño del circuito (Implementación biestables J-K)

A partir de las ecuaciones
se construye el circuito

$J_1 = \overline{X} \cdot Q_0$

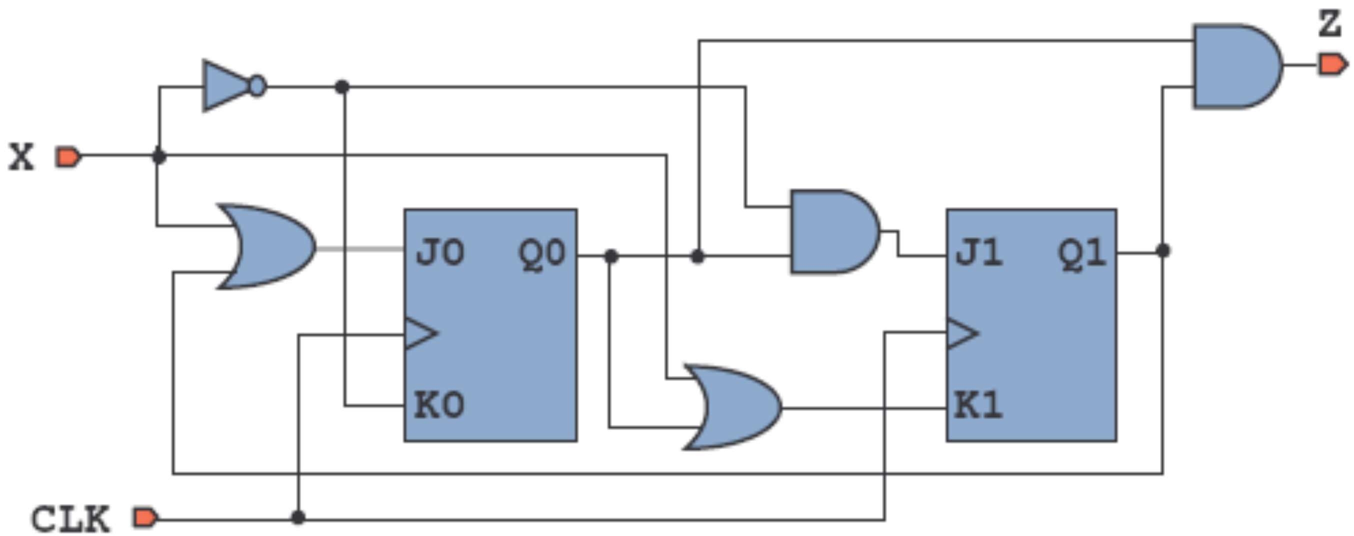
$K_1 = X + Q_0$

$J_0 = X + Q_1$

$K_0 = \overline{X}$

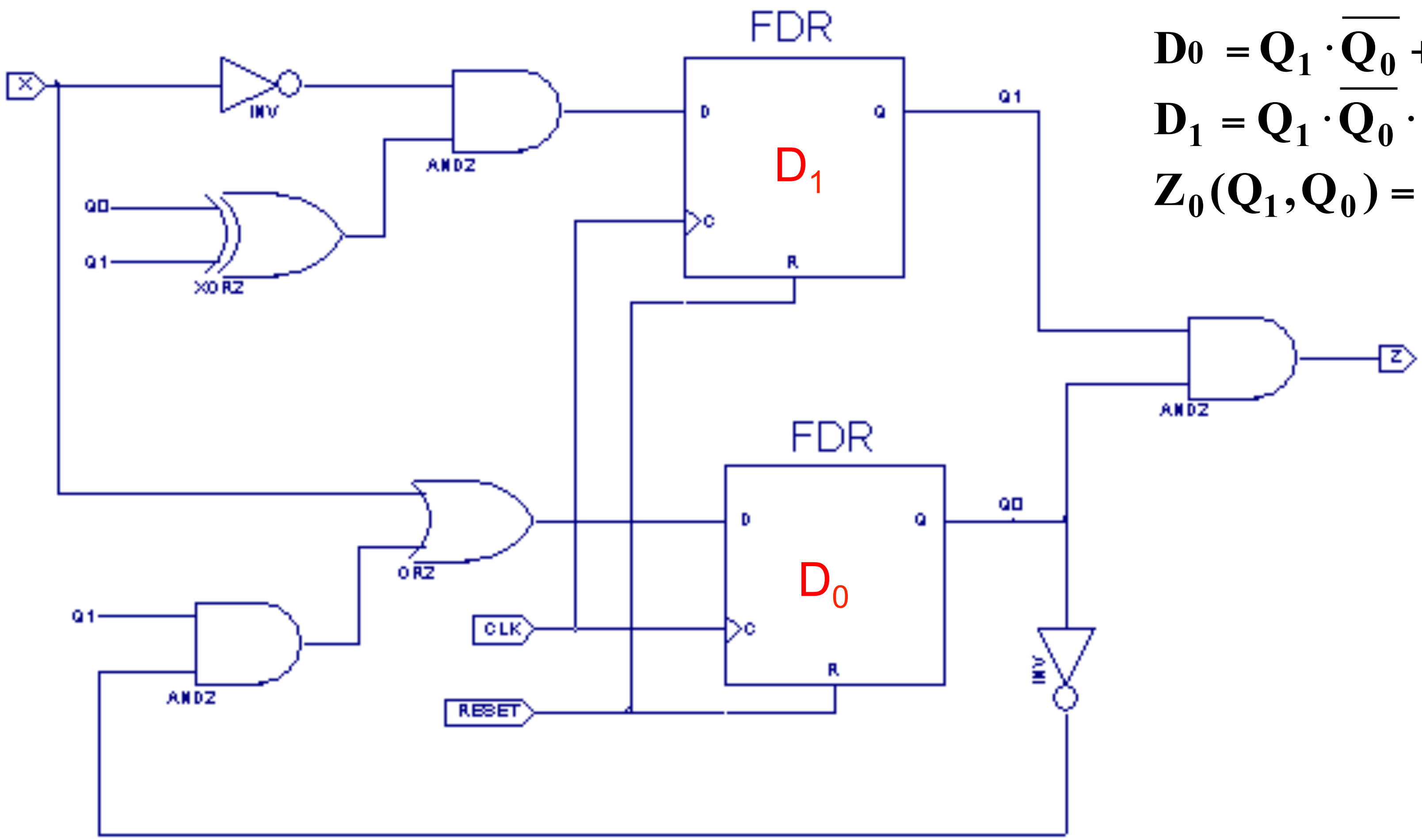
$Z = Q_1 \cdot Q_0$

La salida sólo depende
de los estados (Moore)



Ejemplo: Detector de secuencia 100 (M00RE)

8 | Diseño del circuito (Implementación biestables D)



$$D_0 = Q_1 \cdot \overline{Q_0} + X_0$$
$$D_1 = Q_1 \cdot \overline{Q_0} \cdot \overline{X_0} + \overline{Q_1} \cdot Q_0 \cdot \overline{X_0}$$
$$Z_0(Q_1, Q_0) = Q_1 \cdot Q_0$$

Síntesis: Metodología

1	Identificación de entradas y salidas
2	Diagrama de transición de estados
3	Comprobación y reducción del diagrama
4	Determinación del número de biestables
5	Asignación de estados
6	Tablas de transición de estados y salidas y excitación del autómata
7	Minimización de las funciones lógicas
8	Diseño del circuito

Análisis de máquinas de estados finitos

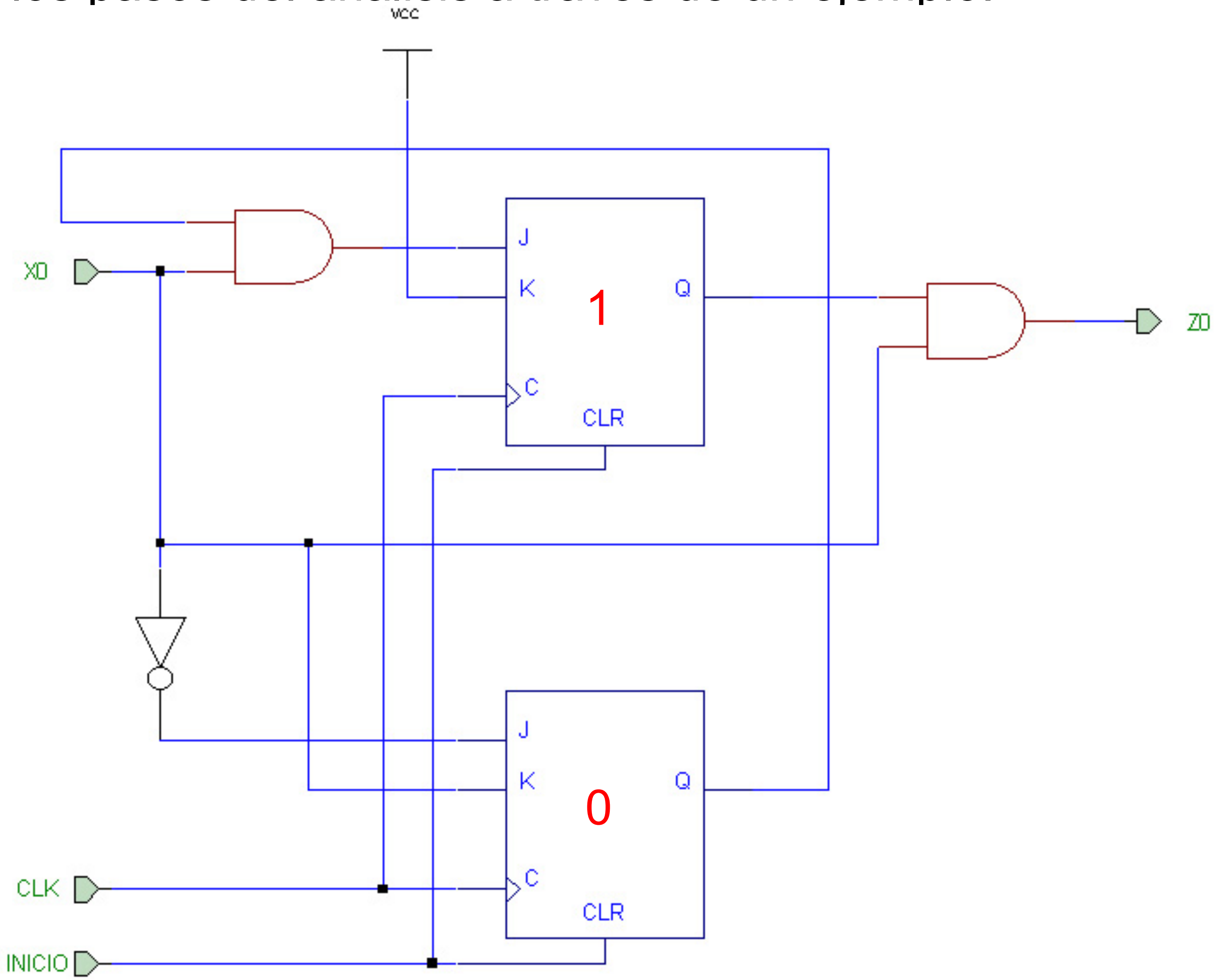
I	Identificación de entradas, estados y salidas
II	Expresiones algebraicas
III	Tabla de excitación del autómata
IV	Tabla de transición de estados
V	Diagrama de transición de estados

El proceso que hay que realizar es el inverso al de la síntesis.

Problema de ***"ingeniería inversa"***

Análisis

Veremos los pasos del análisis a través de un ejemplo.



Análisis

I. Identificación de entradas, estados y salidas

Entradas: $X \in \{0,1\}$

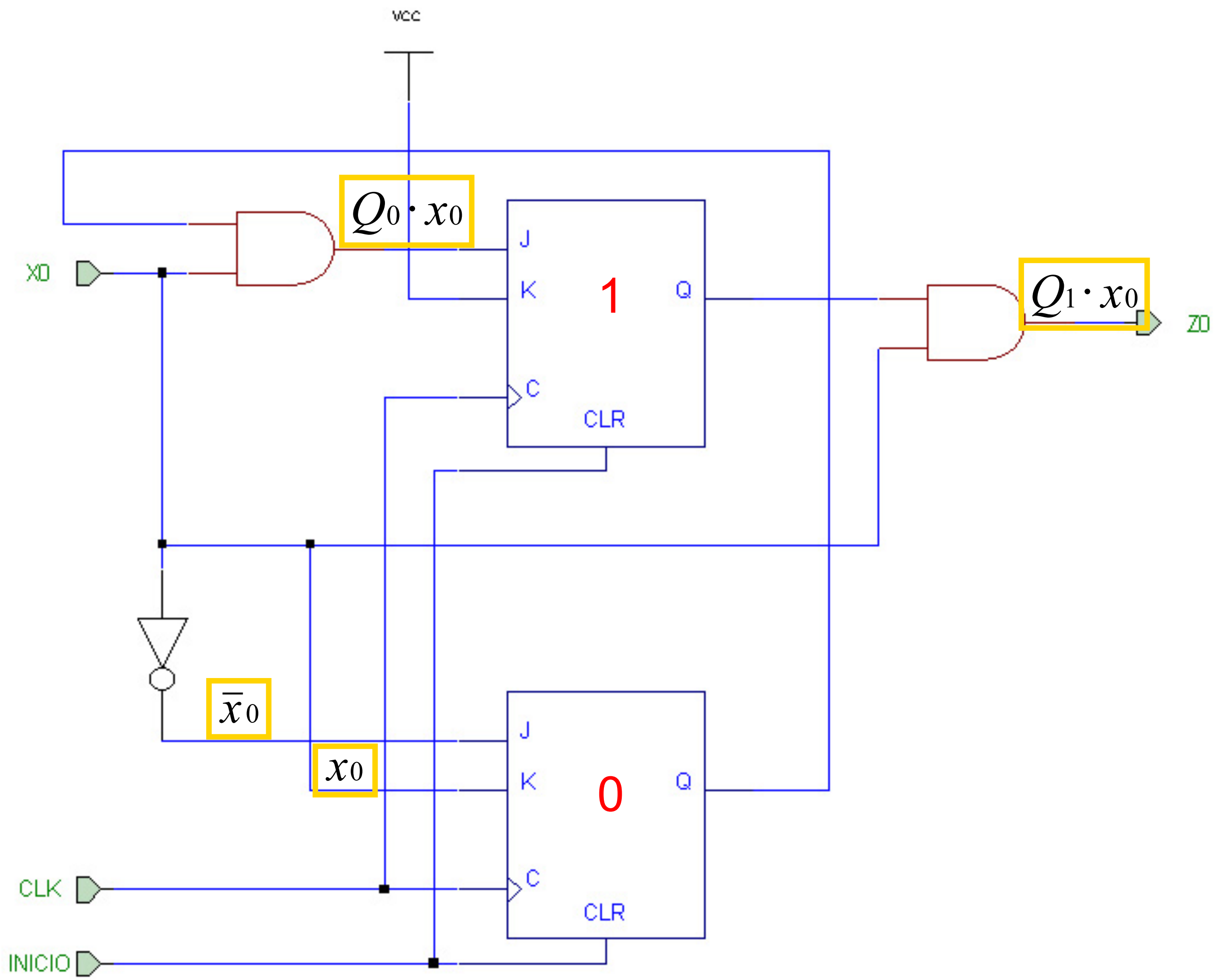
Salidas: $Z \in \{0,1\}$

Variables de estado: 2 $\{Q_0,Q_1\}$ darán lugar a 4 estados como máximo

II. Expresiones algebraicas

Análisis

II. Expresiones algebraicas



Análisis

II. Expresiones algebraicas

$$J_0 = \overline{X_0}$$
$$K_0 = X_0$$
$$J_1 = X_0 \cdot Q_0$$
$$K_1 = 1$$
$$Z_0 = X_0 \cdot Q_1$$

Mq. de Mealy:
Z= f (entrada, estado)

III. Obtención de la tabla de excitación del autómata

Q_1	Q_0	Entrada X	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	1	0	1
1	0	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1

¿Cuál será el estado siguiente y la salida del autómata?

Análisis

II. Expresiones algebraicas

$$J_0 = \overline{X_0}$$
$$K_0 = X_0$$
$$J_1 = X_0 \cdot Q_0$$
$$K_1 = 1$$
$$Z_0 = X_0 \cdot Q_1$$

Mq. de Mealy:
Z= f (entrada, estado)

III. Obtención de la tabla de excitación del autómata

Q_1	Q_0	Entrada X	J_1	K_1	J_0	K_0	Q'_1	Q'_0	Salida Z
0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	1	1	0	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0	0	1

Análisis Máquina de Mealy

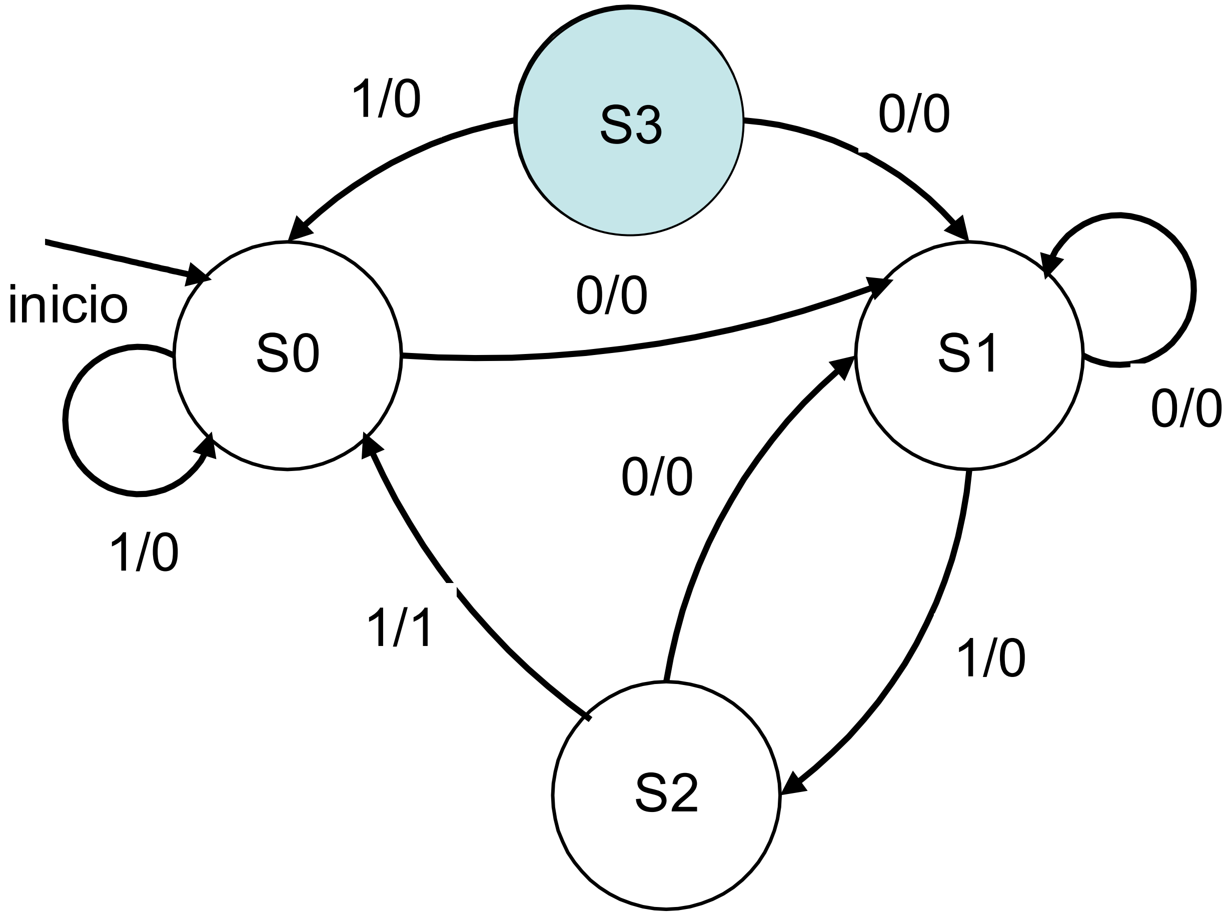
IV. Obtención de la tabla de transición de estados y salida

			X	
			$Q'_1Q'_0/Z$	
CODIFICACIÓN	Q_1	Q_0	0	1
S_0	0	0	01/0	00/0
S_1	0	1	01/0	10/0
S_2	1	0	01/0	00/1
S_3	1	1	01/0	00/1

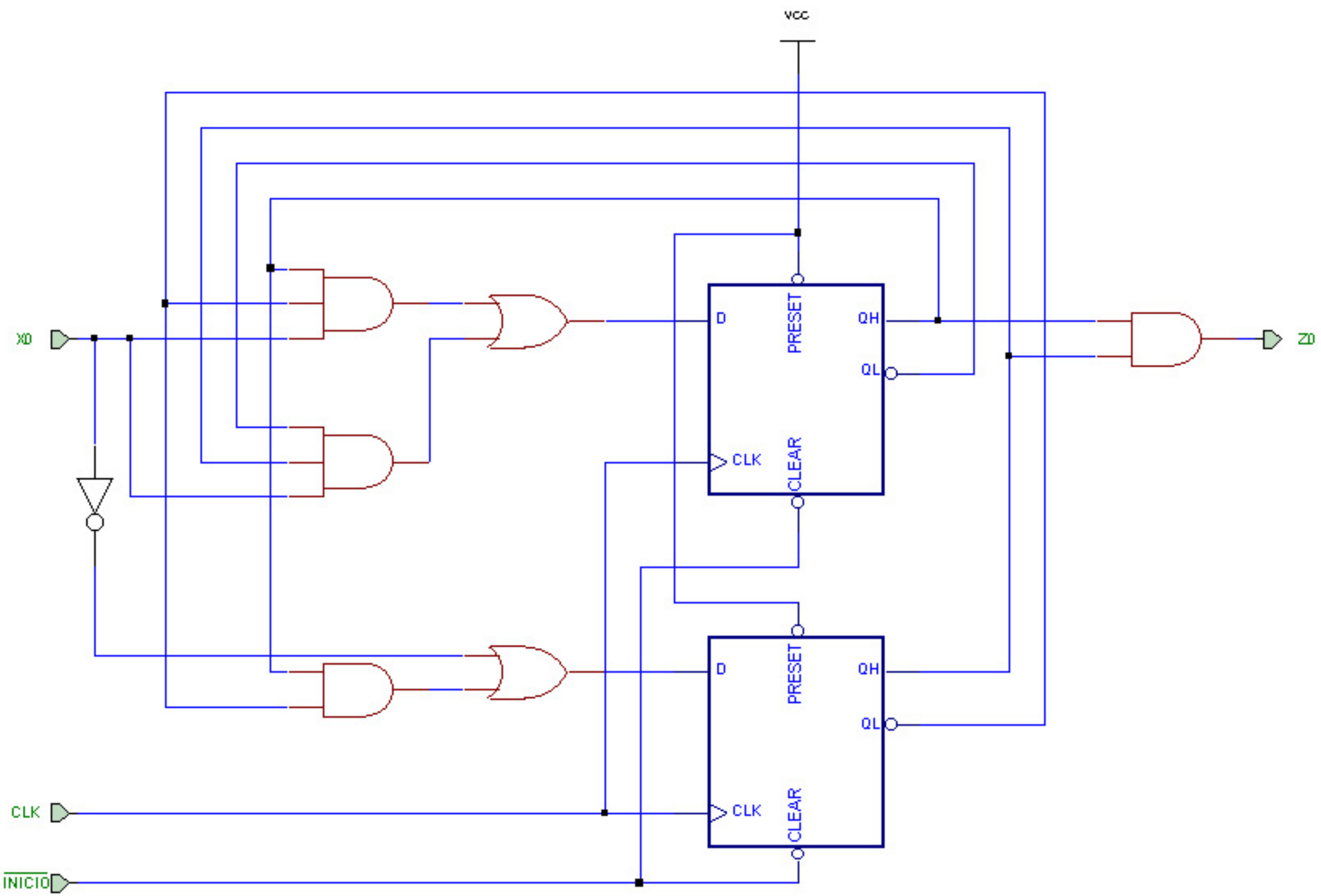
Análisis Máquina de Mealy

V. Obtención del diagrama de transición de estados

Pueden salir estados inconexos y/o inaccesibles.



Análisis: otro ejemplo



Análisis

I. Identificación de entradas, estados y salidas

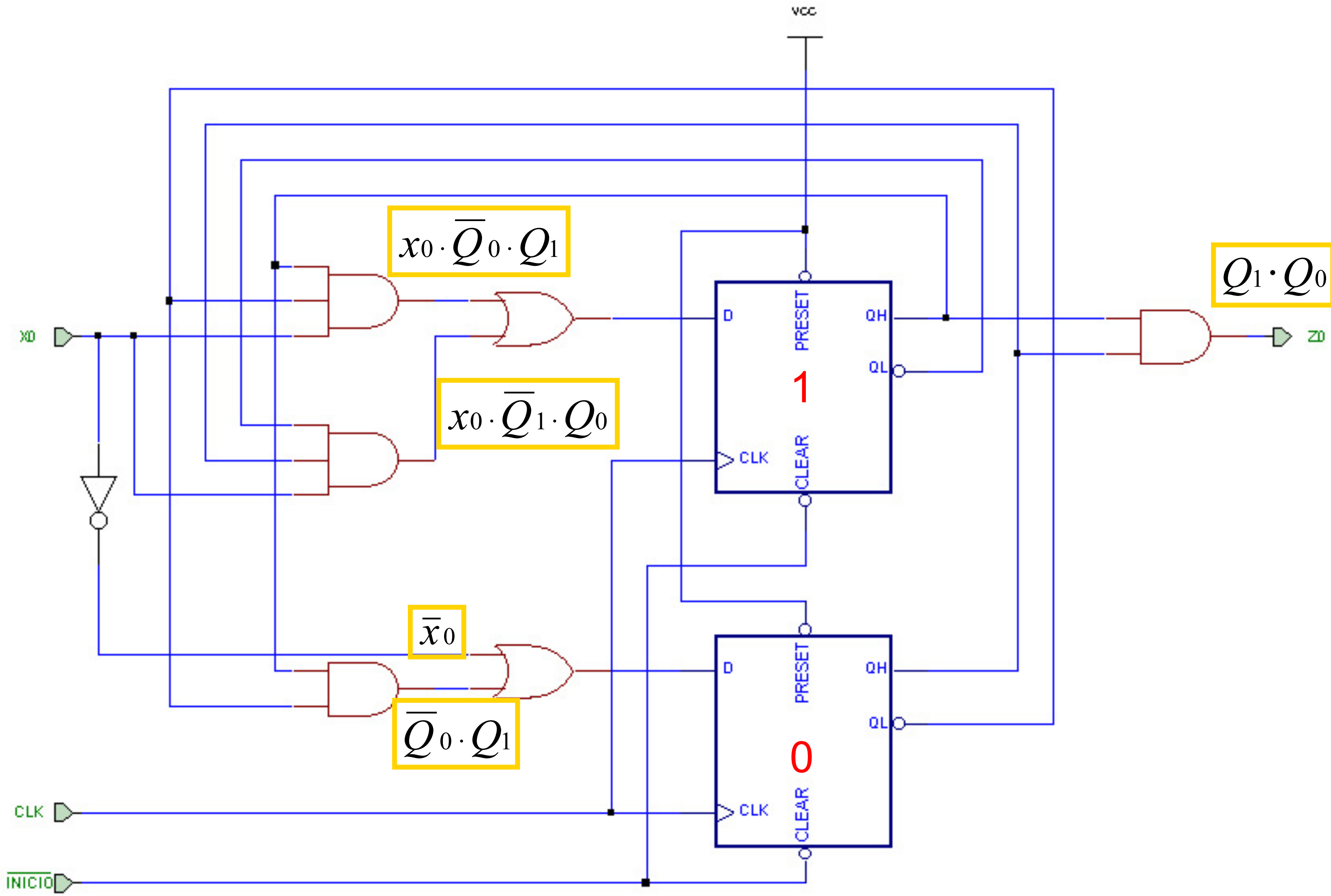
Entradas: $X \in \{0,1\}$

Salidas: $Z \in \{0,1\}$

Variables de estado: 2 $\{Q_0,Q_1\}$ darán lugar a 4 estados como máximo

II. Expresiones algebraicas

Análisis



VCC
X0
Z0
CLK
INICIO
D
PRESET
QH
QL
CLK
CLEAR
1
0
$x_0 \cdot \overline{Q}_0 \cdot Q_1$
$x_0 \cdot \overline{Q}_1 \cdot Q_0$
$\overline{x}_0$
$\overline{Q}_0 \cdot Q_1$
$Q_1 \cdot Q_0$

Análisis

II. Expresiones algebraicas

$$Q_0' = D_0 = Q_1 \cdot \overline{Q_0} + \overline{X_0}$$

$$Q_1' = D_1 = Q_1 \cdot \overline{Q_0} \cdot X_0 + \overline{Q_1} \cdot Q_0 \cdot X_0$$

$$Z_0 = Q_1 \cdot Q_0$$

Mq. de Moore: Z= f (estado)

III. Obtención de la tabla de excitación del autómata

Q_1	Q_0	Entrada X	D_1	D_0
0	0	0	0	1
0	0	1	0	0
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	1	0	0

¿Cuál será el estado siguiente y la salida del autómata?

Análisis

II. Expresiones algebraicas

$$Q_0' = D_0 = Q_1 \cdot \overline{Q_0} + \overline{X_0}$$

$$Q_1' = D_1 = Q_1 \cdot \overline{Q_0} \cdot X_0 + \overline{Q_1} \cdot Q_0 \cdot X_0$$

$$Z_0 = Q_1 \cdot Q_0$$

Mq. de Moore: Z= f (estado)

III. Obtención de la tabla de excitación del autómata

Q_1	Q_0	Entrada X	D_1	D_0	Q'_1	Q'_0	Salida Z
0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1

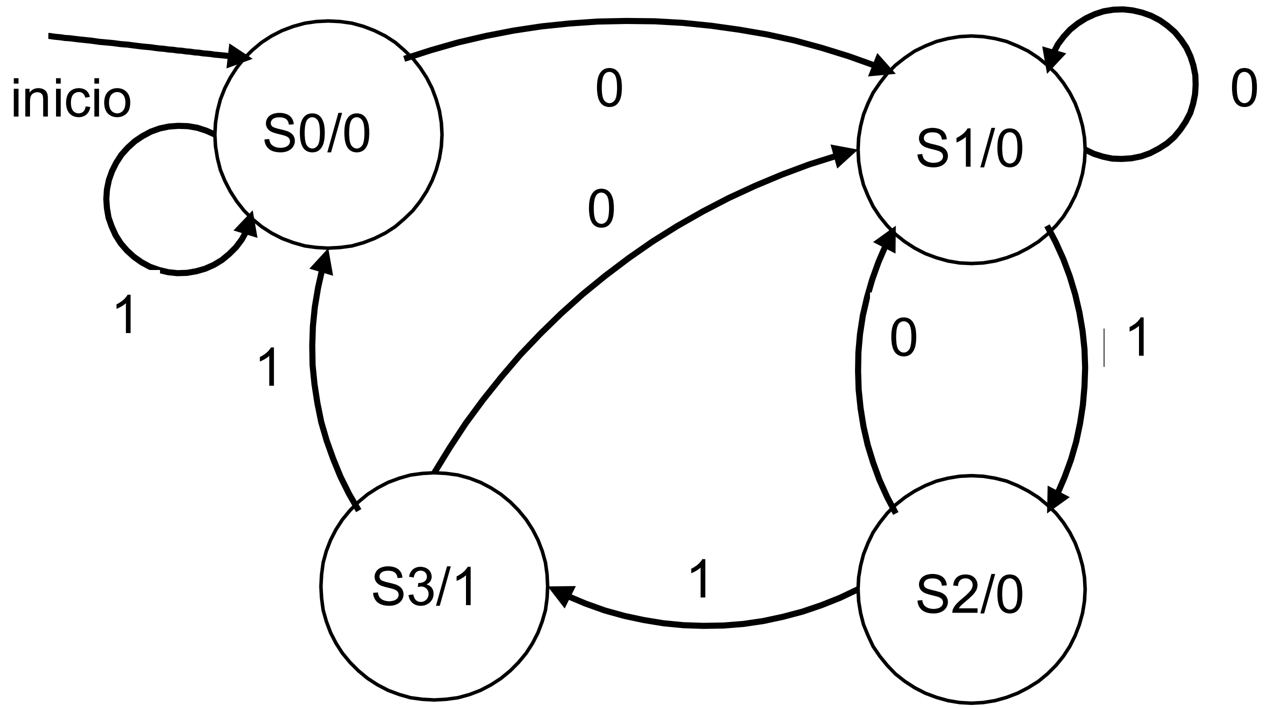
Análisis

IV. Obtención de la tabla de transición de estados y salida

			X		
			$Q'_1Q'_0$	$Q'_1Q'_0$	
CODIFICACIÓN	Q_1	Q_0	0	1	Z
S_0	0	0	01	00	0
S_1	0	1	01	10	0
S_2	1	0	01	11	0
S_3	1	1	01	00	1

Análisis

V. Obtención del diagrama de transición de estados

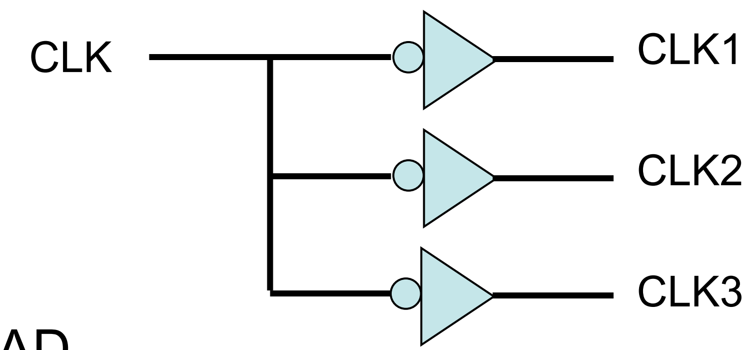


Implementación de máquinas secuenciales síncronas

- Implementación de forma canónica: tablas, biestables y puertas ✓
- Implementación desde otros enfoques hardware: multiplexores, registros, ✓ etc…
- Implementación de autónomas con los estados codificados con el código one-hot (*One Hot Encoding*)
- Implementación utilizando técnicas ASM (*Algoritmic State Machine*) y RT (Transferencia entre Registros)
- Implementación con dispositivos lógicos programables: PLD, CPLD, ✓ FPGAs

Máquinas secuenciales síncronas: consideraciones

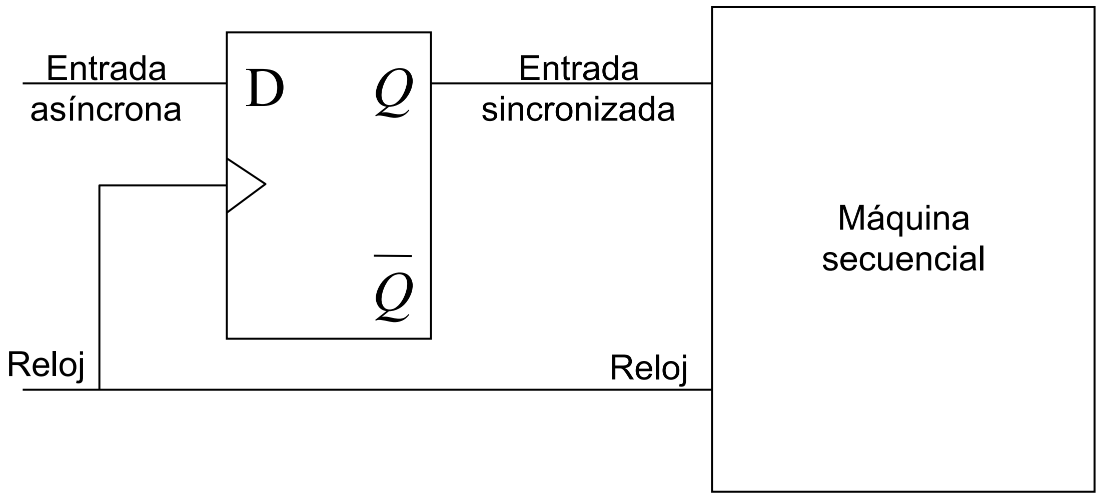
- **Moore vs. Mealy:**
  - En Moore la salida no depende de la entrada, es decir los cambios en la entrada que no alteren el estado no pueden alterar el valor de la salida ⇒ Protección contra señales espurias
  - En una máquina de Moore la respuesta de la salida de retarda hasta en un periodo de reloj
- ***"Clock Skew":*** la señal de reloj no llega a la vez a los distintos componentes:
  - Longitud del bus
  - Líneas no "equilibradas"
  - "*Crosstalk*"
  - Rutado automático de las herramientas CAD



Máquinas secuenciales síncronas: entradas asíncronas

En los sistemas reales las **entradas** son **ASÍNCRONAS**, no se encuentran sincronizadas con un reloj ⇒ sistemas secuenciales asíncronos. Existen técnicas de análisis y diseño específicas para los sistemas secuenciales asíncronos, aunque lo más usual es "sincronizarlos":

1. Se introduce un reloj a una frecuencia suficiente para muestrear las entradas.
2. Se "bloquean" las entradas asíncronas mediante la interposición de un biestable D síncrono por flanco.

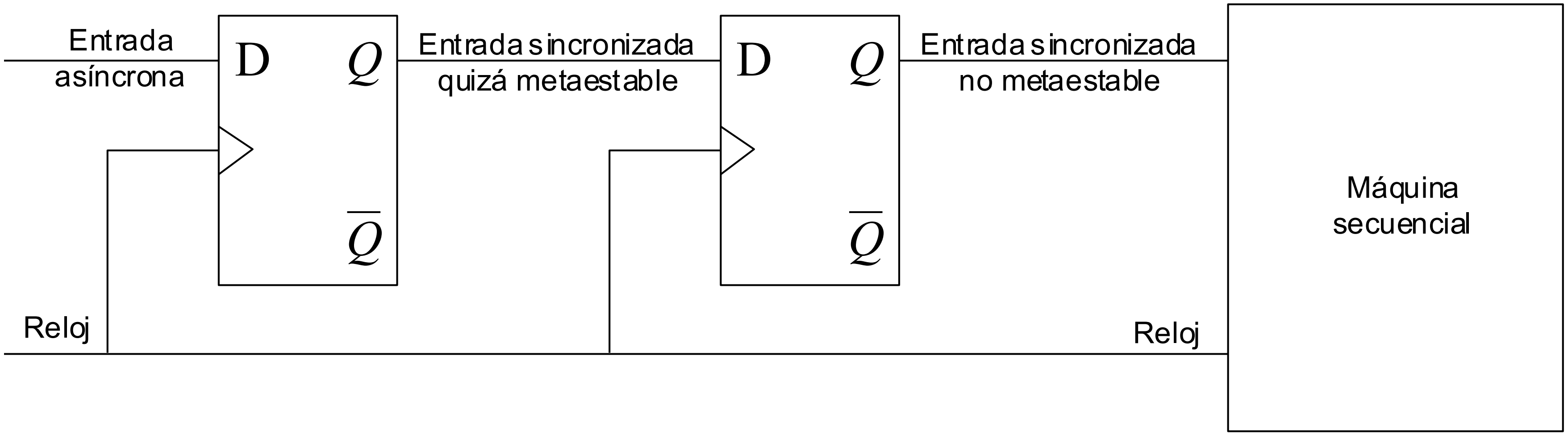


¿Qué ocurre si se produce metaestabilidad?

Máquinas secuenciales síncronas: entradas asíncronas

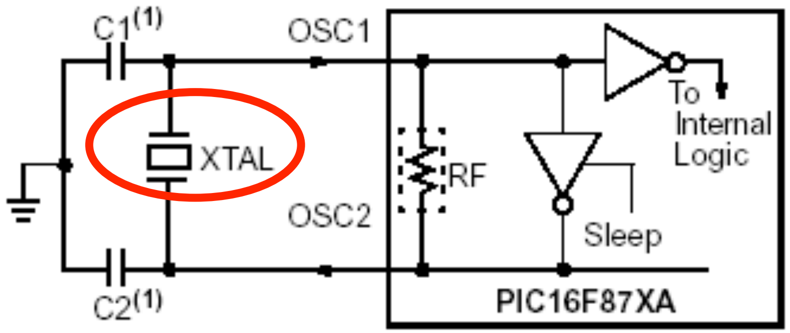
Las entradas asíncronas pueden no respetar los parámetros de temporización del biestable y hacer que quede en estado metaestable.

Si se supone que la metaestabiliad dura menos que un periodo de reloj, se puede interponer un biestable más para evitar que el sistema se vea afectado (si no, será preciso interponer varios).

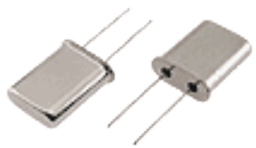


Aspectos tecnológicos

- **Señal de reloj:** Cristal de cuarzo



Osc Type	Crystal Freq.	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	15 pF	15 pF
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF



✓ Alta estabilidad
✓ Facilidad de diseño
✗ Alto coste (aprox 1 €).
✗ Consumo alto

Aspectos tecnológicos

➢ **Señal de reloj:** Resonador cerámico

- ✓ Estabilidad media
- ✓ Facilidad de diseño
- ✗ Consumo alto

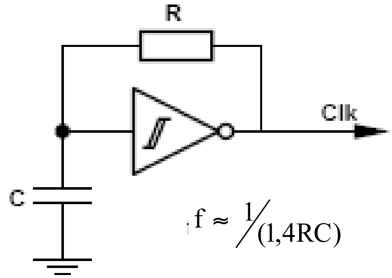
Ranges Tested:			
Mode	**Freq.**	**OSC1**	**OSC2**
XT	455 kHz 2.0 MHz 4.0 MHz	68-100 pF 15-68 pF 15-68 pF	68-100 pF 15-68 pF 15-68 pF
HS	8.0 MHz 16.0 MHz	10-68 pF 10-22 pF	10-68 pF 10-22 pF

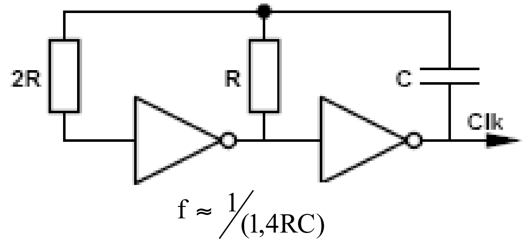
Aspectos tecnológicos

➢ **Señal de reloj:** Oscilador RC

✓ Bajo coste
✓ Pocos componentes y espacio en placa
× Difícil de diseñar y ajustar
× Poco estable a la temperatura y variaciones de voltaje
× No adecuado para aplicaciones con temporización fuerte

Circuitos RC (para f < 600KHz)



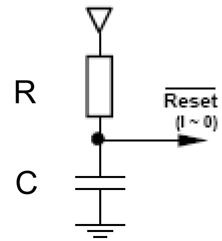


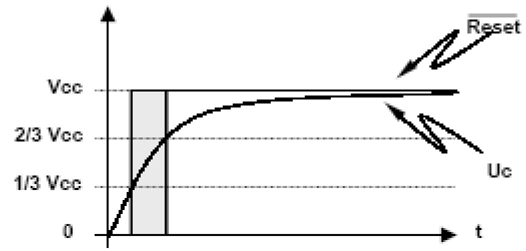
Aspectos tecnológicos

➢ Circuito de reset (power-on-reset)

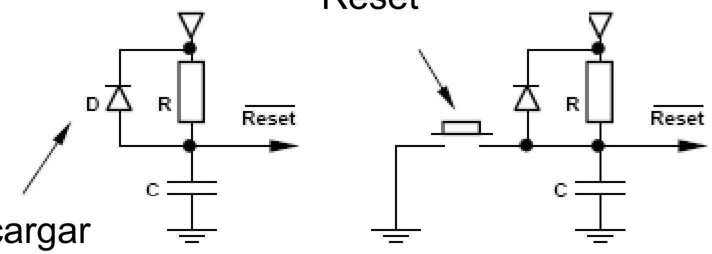
CMOS: R= 27 KΩ, C= 100 nF

TTL   : R=   1 KΩ, C= 220 pF





Pulsador de Reset

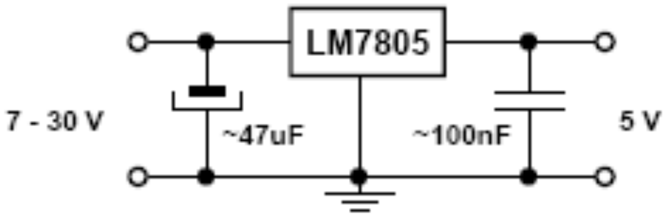


Diodo para descargar rápidamente C en caso de fallo de alimentación para producir un reset

Aspectos tecnológicos

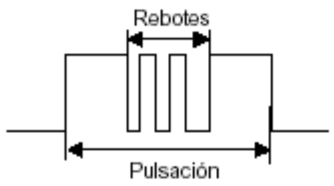
➢ Tensión de alimentación

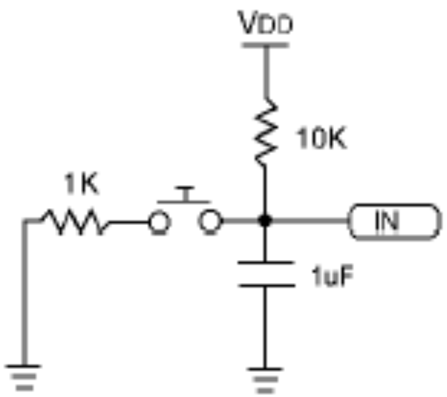
Regulador lineal

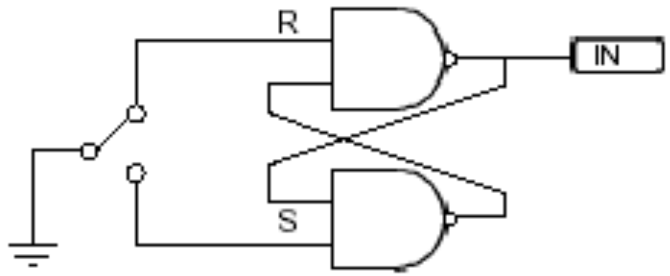


Reguladores de tensión de 3.3V, 5V, 12V y 15V (Más usual 7805 de 5V).

➢ Circuitos antirrobotes







Ejercicio

- Diseñar una máquina expendedora de café con tres entradas
  - ✓ La A se pone a uno cada vez que se introduce una moneda de 20 céntimos en la máquina.
  - ✓ La entrada B solicita un café.
  - ✓ La entrada C indica la devolución de la vuelta.
- El circuito tiene una salida, que indica a la máquina que haga el café.
- El café cuesta 60 céntimos.
- Diseña una máquina de estados que cuenta el número de monedas de entrada, y devuelve un café una vez que se hayan introducido 3 monedas, y el usuario solicite el café. El botón de solicitud de vuelta pone a cero el número de monedas.

Ejercicio

- Diseñar un sumador serie de dos bits: Recibe pares de bits como entrada y va produciendo el resultado de la suma como salida.