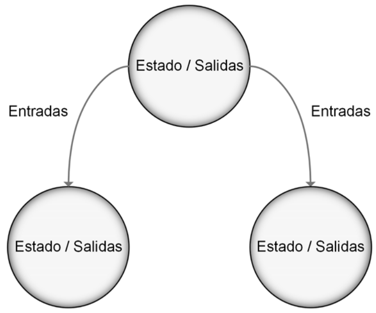
DISEÑO DE CIRCUITOS SECUENCIALES

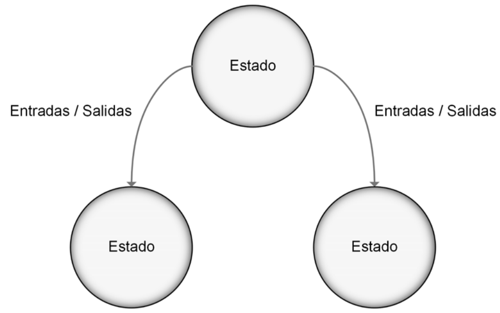
PROCESO DE DISEÑO

1. Diagrama de estados:

- Representación gráfica de la evolución de estados del sistema y del valor de las salidas en cada momento.
- La estructura del diagrama es diferente para autómatas de Moore y de Mealy:



MOORE



MEALY

- El número de estados resultante determina el número de variables de estado (Q) y, por consiguiente, el número de biestables necesarios.

2. Tabla de transición:

- Transcripción de la información contenida en el diagrama de estados.
- Para cada combinación de estado actual (Q_n) y valor actual de entrada (X) se especifica:
  - Valor actual de salida Z (no valor siguiente, que es un error frecuente).
  - Estado siguiente (Q_{n+1}).
  - Valor actual a suministrar en las entradas de los biestables (D o J-K).
- Ejemplo de tabla para 2 variables de estado, 1 entrada y 1 salida:

Estado actual		**Entrada actual**	**Salida actual (¡~~siguiente~~!)**	**Estado siguiente = Entrada actual biestables D**		**Entrada actual biestables J-K**			
Q_{1n}	Q_{0n}	X	Z	$Q_{1n+1} = D_1$	$Q_{0n+1} = D_0$	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0							
0	0	1							
0	1	0							
0	1	1							
1	0	0							
1	0	1							
1	1	0							
1	1	1							

- Biestables D: los valores a suministrar en sus entradas D coinciden con los valores que deben tomar las variables de estado en el estado siguiente (Q_{n+1} = D):

Q_n →	Q_{n+1}	D
x	0	0
x	1	1

- Biestables J-K: los valores a suministrar en sus entradas J y K vienen determinados por la evolución deseada en las variables de estado:

Q_n →	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	x
0	1	1	x
1	0	x	1
1	1	x	0

- Los estados no definidos dan lugar a términos indiferentes en la salida, en el estado siguiente y en las entradas de los biestables.

3. Ecuaciones de excitación: D, J, K.

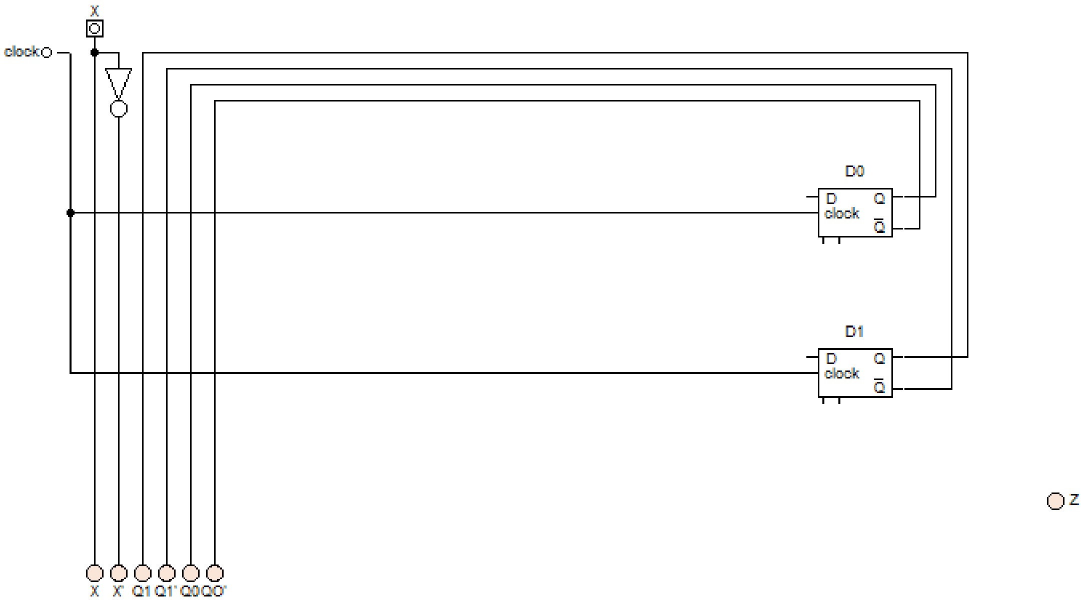
- Funciones a conectar en las entradas (excitación) de los biestables.
- Constituyen el sistema combinacional que define la evolución de estados, $Q_{n+1} = f_1 (Q_n, X)$, donde Q_{n+1} viene representado por D o por J-K, según el tipo de biestable que se utilice.
- Obtención mediante simplificación a partir de las columnas correspondientes a las variables de estado actual (Q_n) y de entrada (X) de la tabla de transición.
- Para simplificar la notación, prescindimos del subíndice n de las variables de estado actual.

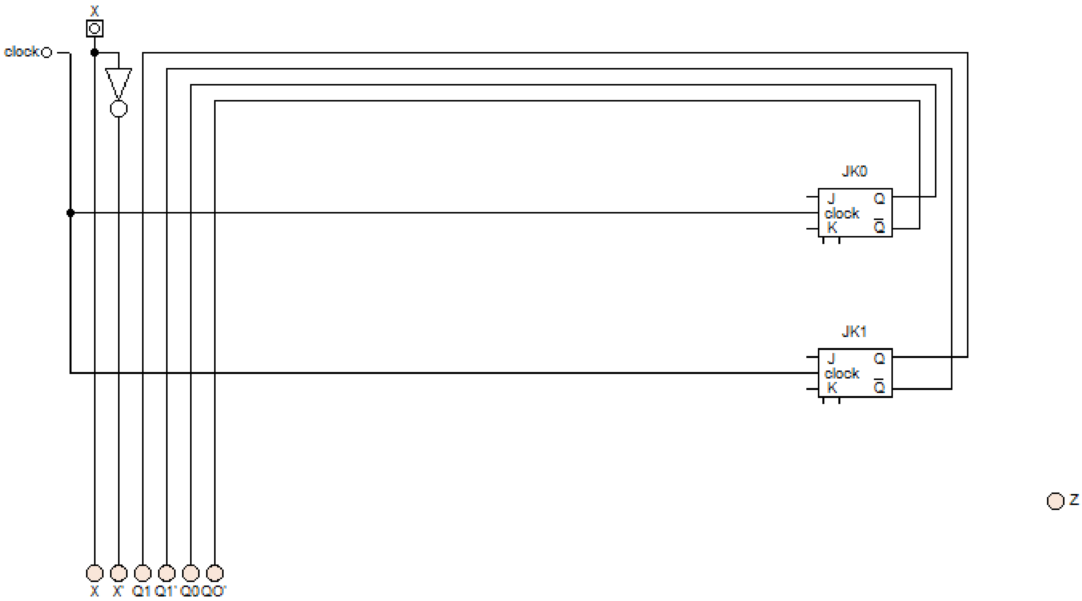
4. Ecuaciones de salida: Z.

- Funciones que generan los valores de las salidas.
- Constituyen el sistema combinacional que define las salidas. Según si se trata de un autómata de Moore o de Mealy, tendrán distinta forma:
  - Moore: $Z = f_2 (Q_n)$.
  - Mealy: $Z = f_2 (Q_n, X)$.
- Obtención mediante simplificación a partir de las columnas correspondientes a las variables de estado actual (Q_n) y de entrada (X) de la tabla de transición.
- Para simplificar la notación, también prescindimos del subíndice n de las variables de estado actual.
- Recomendación: es importante comprobar que las ecuaciones de salida obtenidas en un autómata de Moore no dependan de las entradas X. En caso contrario, existe algún error. El más frecuente suele ser haber rellenado la tabla de transición con los valores de las salidas correspondientes al estado siguiente en lugar de al estado actual.

5. Circuito:

- Para facilitar las conexiones y mejorar la legibilidad del circuito, conviene emplear una distribución regular, en la que simplemente sea necesario implementar los dos sistemas combinacionales correspondientes a las ecuaciones de excitación y a las de salida.
- Ejemplos de plantillas, tanto con biestables D como J-K, para un circuito secuencial con 1 entrada, 1 salida y 2 biestables:





EJEMPLO

Diseñar un circuito secuencial con un terminal X por el que van entrando bits en serie, y una salida Z que se pondrá a 1 cuando detecte la secuencia 1-0-1 en el terminal de entrada. Se permiten solapamientos, es decir, los bits que han formado parte de una secuencia también pueden pertenecer a la siguiente:

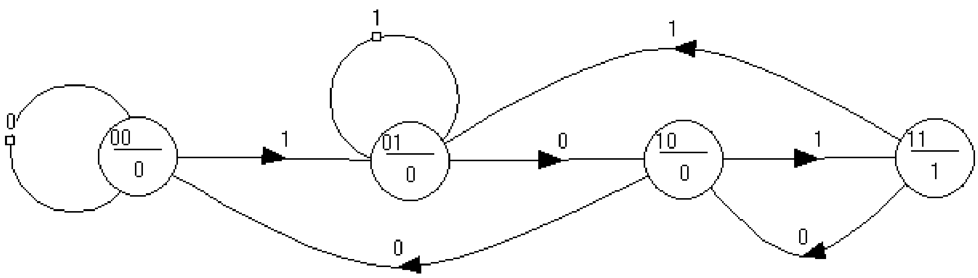
X → **CIRCUITO SECUENCIAL** Detector de secuencia 1-0-1 → Z

X: 1-0-0-**1-0-1**-1-**1-0-1-0-1**-…
Z: 0-0-0-0-0-**1**-0-0-0-**1**-0-**1**-…

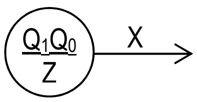
Diseñarlo como autómata de Moore y como autómata de Mealy. En ambos casos, hacerlo tanto con biestables D como con J-K.

RESOLUCIÓN: AUTÓMATA DE MOORE

DIAGRAMA DE ESTADOS



- **Notación**:



- **Interpretación del funcionamiento como autómata de Moore**:
  - Son necesarios 3 cambios de estado, uno por cada uno de los 3 bits a detectar (1-0-1), para llegar finalmente a un cuarto estado en el que el valor asociado de la salida sea 1.
  - El valor de la salida está fijado para cada estado. Para poder modificar el valor de la salida es imprescindible cambiar de estado.
- **Número de biestables necesarios**:
  4 estados $\rightarrow$ 2 variables de estado (Q_1, Q_0) $\rightarrow$ 2 biestables.

TABLA DE TRANSICIÓN

Estado actual		Entrada actual	Salida actual (¡~~siguiente~~!)	Estado siguiente = Entrada actual biestables D		Entrada actual biestables J-K			
Q_{1n}	Q_{0n}	X	Z	$Q_{1n+1} = D_1$	$Q_{0n+1} = D_0$	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	0	0	0	x	0	x
0	0	1	0	0	1	0	x	1	x
0	1	0	0	1	0	1	x	x	1
0	1	1	0	0	1	0	x	x	0
1	0	0	0	0	0	x	1	0	x
1	0	1	0	1	1	x	0	1	x
1	1	0	1	1	0	x	0	x	1
1	1	1	1	0	1	x	1	x	0

ECUACIONES

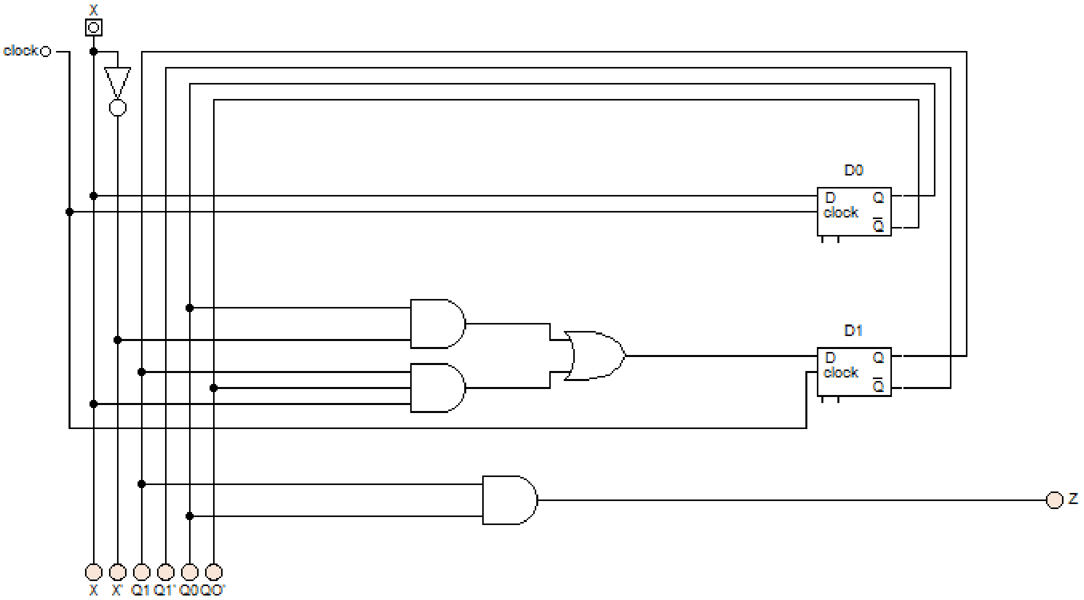
$$D_1 = Q_0 \cdot \overline{X} + Q_1 \cdot \overline{Q_0} \cdot X$$
$$D_0 = X$$

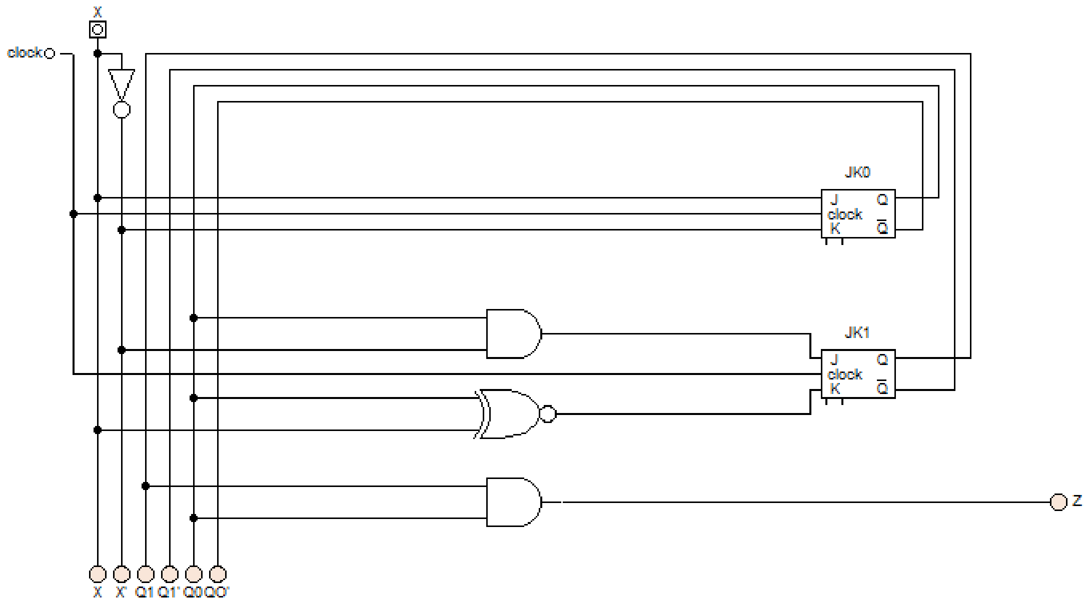
$$J_1 = Q_0 \cdot \overline{X}$$
$$K_1 = Q_0 \cdot X + \overline{Q_0} \cdot \overline{X} = \overline{Q_0 \oplus X}$$
$$J_0 = X$$
$$K_0 = \overline{X}$$

$$Z = Q_1 \cdot Q_0$$

- **Comprobación de la ecuación de salida**:
  autómata de Moore → Z no depende de X.

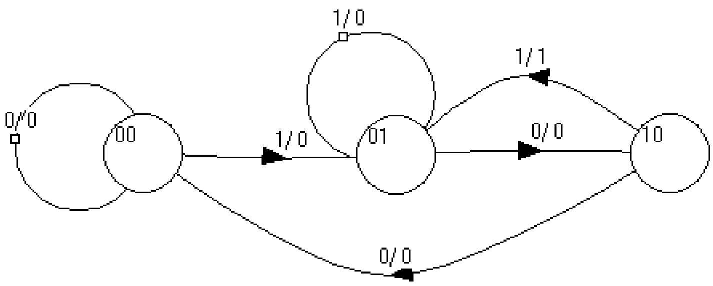
CIRCUITOS



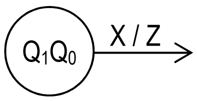

X
clock
JK0
J
clock
K
Q
Q̄
JK1
J
clock
K
Q
Q̄
Z
X
X'
Q1
Q1'
Q0
QO'

RESOLUCIÓN: AUTÓMATA DE MEALY

DIAGRAMA DE ESTADOS



- **Notación**:



- **Interpretación del funcionamiento como autómata de Mealy**:
  - Una vez alcanzado el tercer estado, tras haber recibido los 2 primeros bits de la secuencia a detectar (1-0), la llegada en cualquier momento de un nuevo 1 (tercer bit) permite activar la salida sin tener que cambiar a un nuevo estado.
  - Dentro del estado 10, si cambia la entrada también cambia la salida.
  - Cuando la señal de reloj marca el instante de cambio de estado, el sistema evoluciona hacia uno u otro estado según el valor presente en la entrada en ese momento.
- **Número de biestables necesarios**:
  3 estados → 2 variables de estado (Q_1, Q_0) → 2 biestables.

TABLA DE TRANSICIÓN

Estado actual		Entrada actual	Salida actual (¡~~siguiente~~!)	Estado siguiente = Entrada actual biestables D		Entrada actual biestables J-K			
Q_{1n}	Q_{0n}	X	Z	$Q_{1n+1} = D_1$	$Q_{0n+1} = D_0$	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	0	0	0	x	0	x
0	0	1	0	0	1	0	x	1	x
0	1	0	0	1	0	1	x	x	1
0	1	1	0	0	1	0	x	x	0
1	0	0	0	0	0	x	1	0	x
1	0	1	1	0	1	x	1	1	x
1	1	0	x	x	x	x	x	x	x
1	1	1	x	x	x	x	x	x	x

- **Observación**: la no existencia del estado 11 provoca la aparición de términos indiferentes en las columnas de salida, estado siguiente y entrada a los biestables.

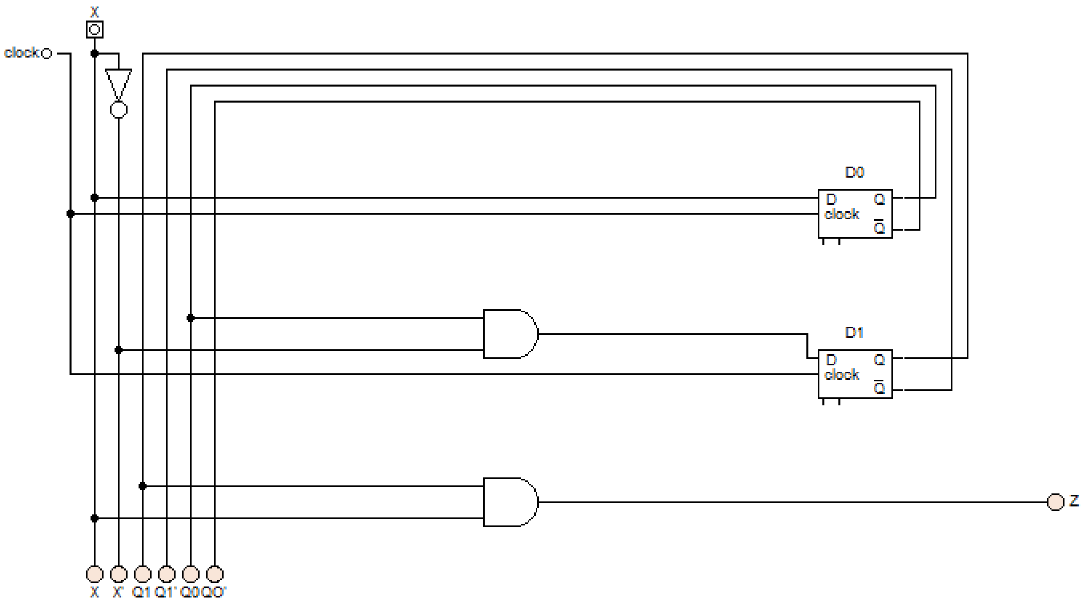
ECUACIONES

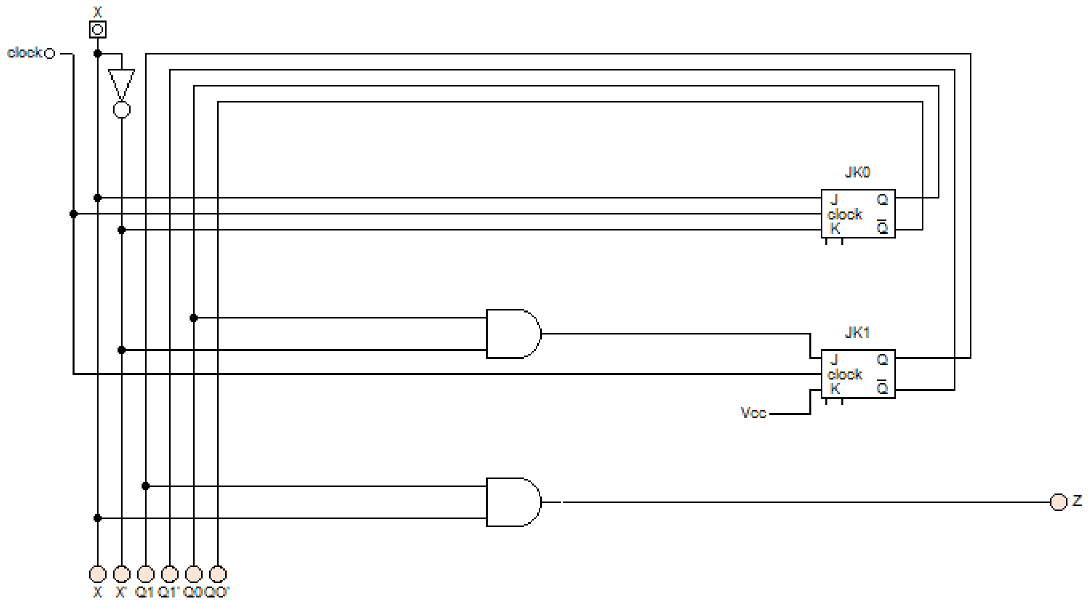
$D_1 = Q_0 \cdot \overline{X}$
$D_0 = X$

$J_1 = Q_0 \cdot \overline{X}$
$K_1 = 1$
$J_0 = X$
$K_0 = \overline{X}$

$Z = Q_1 \cdot X$

CIRCUITOS




X
clock
JK0
J
clock
K
Q
Q̄
JK1
J
clock
K
Q
Q̄
Vcc
Z
X
X'
Q1
Q1'
Q0
QO'