

Introducción a los sistemas secuenciales

Temas 11



Universidad
de La Laguna

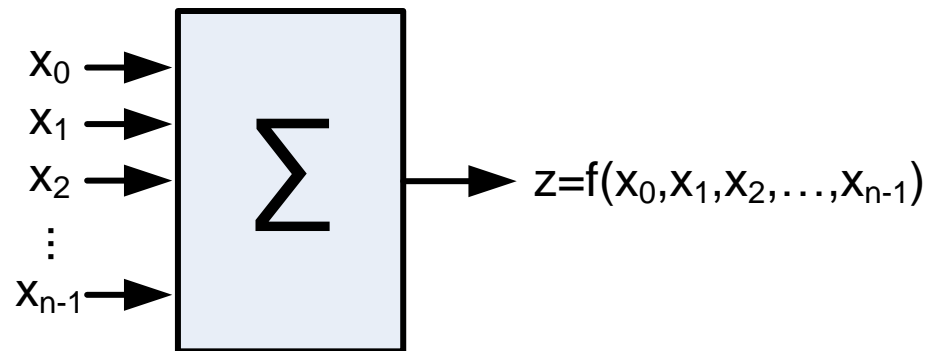
©Sistemas Electrónicos Digitales
Grado en Ingeniería Informática

Contenido

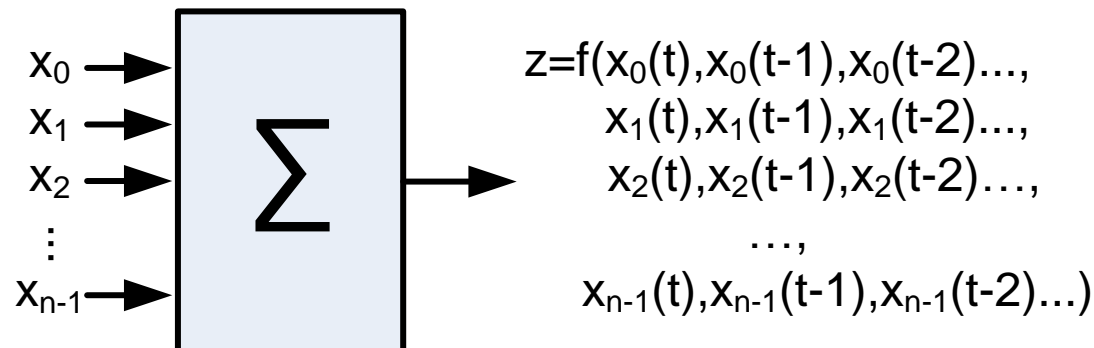
- › Definición de sistema secuencial
- › Clasificación de los sistemas secuenciales
- › Elementos de memoria. Flip-flops
- › Asociación de biestables. Registros
- › Resumen del comportamiento de los flip-flops

Definición de sistema secuencial

- › Sistema digital en que la salida depende de las entradas a cada instante y en instantes anteriores



Circuito combinacional



Circuito secuencial

Definición de sistema secuencial

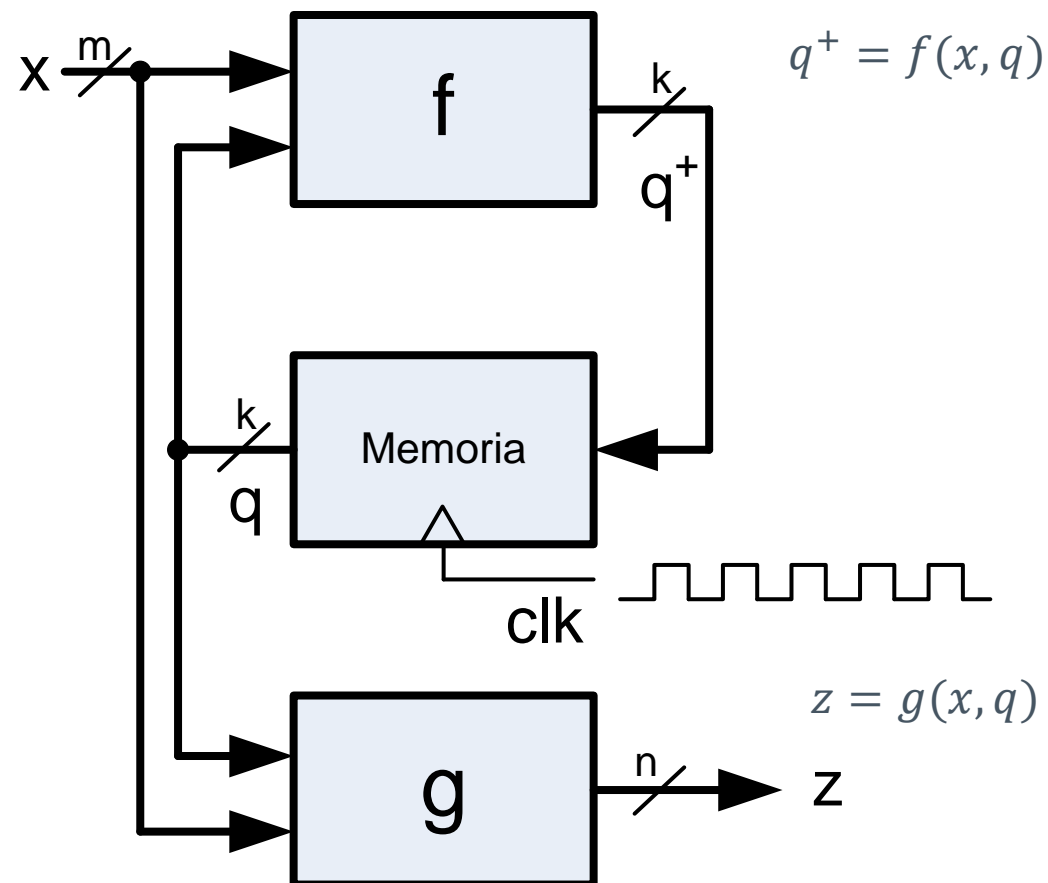
- › El circuito secuencial recuerda la historia pasada, es decir, tiene memoria

f es la función de transferencia de estado

q_i son las variables de estado (que codifican el estado del sistema)

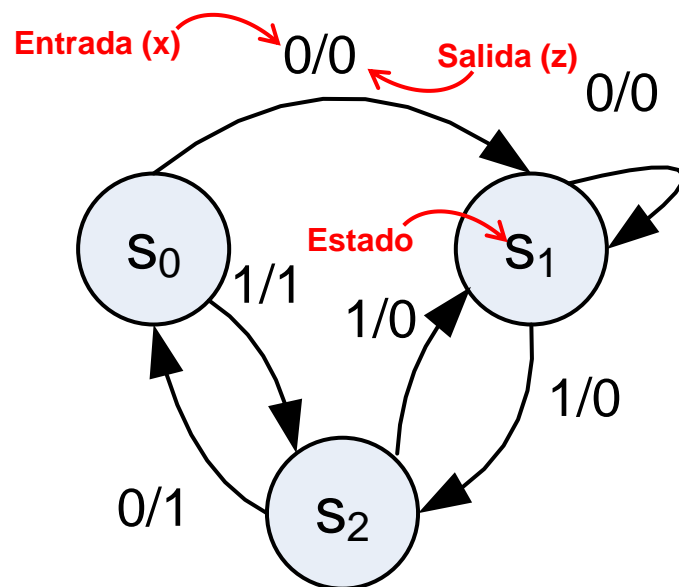
clk es el reloj del sistema (clock)

g es la función de salida del sistema secuencial



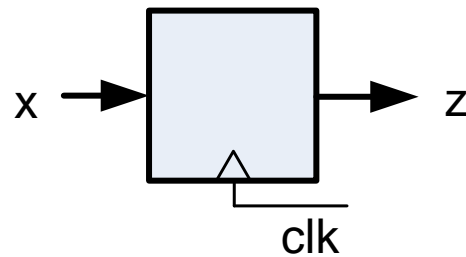
Definición de sistema secuencial

- › Las especificaciones de un sistema secuencial se representan mediante:
 - Diagramas de estado: es un grafo orientado
 - Tablas de estado: el equivalente tabular al caso anterior

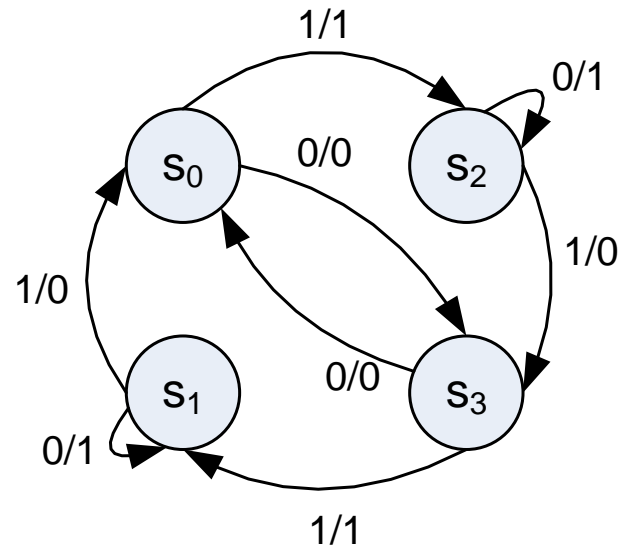


Estado actual	Estado siguiente		Salida	
	x=0	x=1	x=0	x=1
s0	s1	s2	0	1
s1	s1	s2	0	0
s2	s0	s1	1	0

Ejemplo: sea un sistema secuencial con:



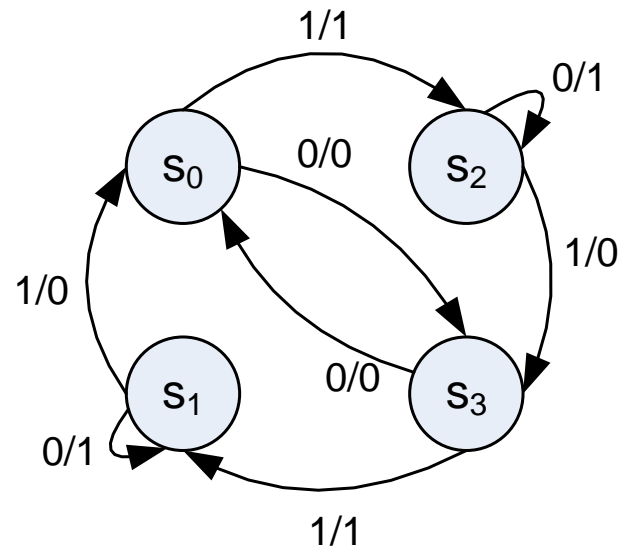
Entrada $x=\{0,1\}$
Salida $z=\{x,1\}$
Estados $(q1,q0)$:
 $s0=(0,0)$
 $s1=(0,1)$
 $s2=(1,0)$
 $s3=(1,1)$



Estado actual	Estado siguiente		Salida	
	x=0	x=1	x=0	x=1
s0	s3	s2	0	1
s1	s1	s0	1	0
s2	s2	s3	1	0
s3	s0	s1	0	1

Ejemplo: sea un sistema secuencial
con:

t=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x=	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
Estado actual	s0	s3	s1	s0	s3	s1	s1	s0	s2	s2	s2
z=	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0

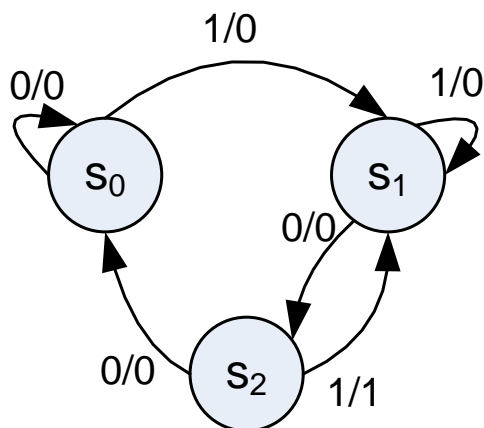


Estado actual	Estado siguiente		Salida	
	x=0	x=1	x=0	x=1
s0	s3	s2	0	1
s1	s1	s0	1	0
s2	s2	s3	1	0
s3	s0	s1	0	1

Clasificación de los sistemas secuenciales

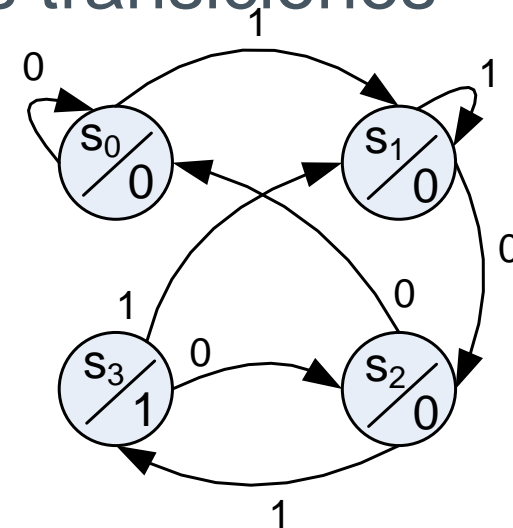
1. Según la forma en que se producen las transiciones

Asíncronos => modelo Mealy



Estado actual	Est. sig.		Salida	
	x=0	x=1	x=0	x=1
s0	s0	s1	0	0
s1	s2	s1	0	0
s2	s0	s1	0	1

Síncronos => modelo Moore

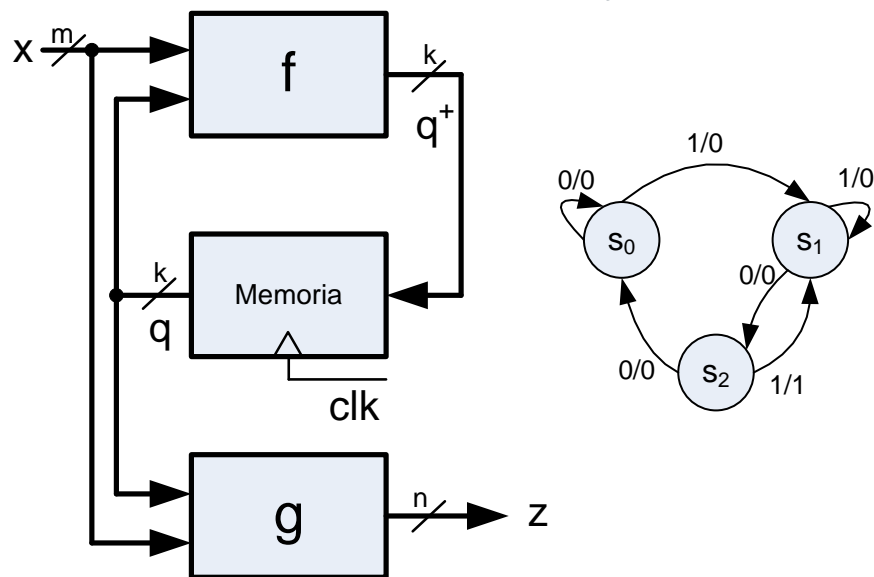


Estado actual	Estado siguiente		Salida
	x=0	x=1	
s0	s0	s2	0
s1	s1	s0	1
s2	s2	s3	1
s3	s0	s1	0

Clasificación de los sistemas secuenciales

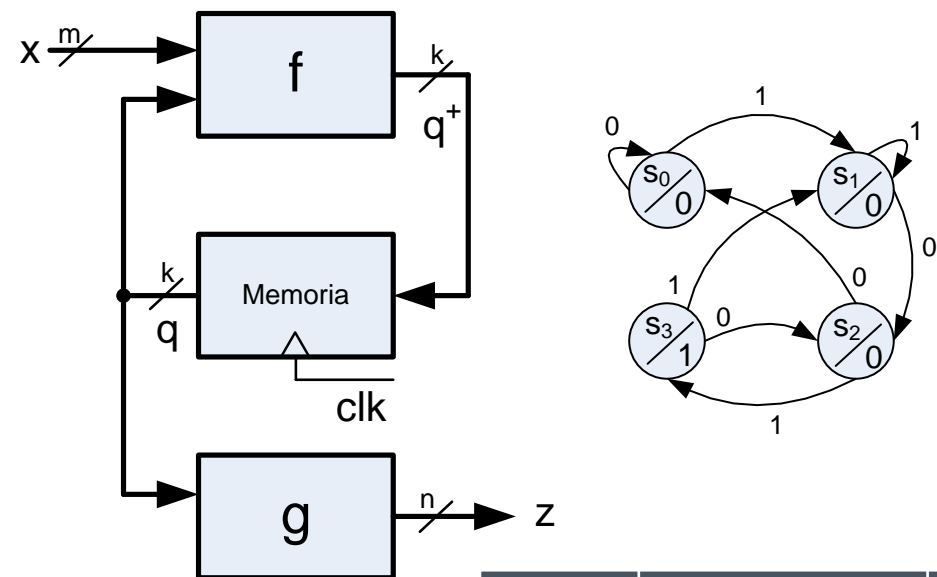
1. Según la forma en que se producen las transiciones

Asíncronos => modelo Mealy



Estado actual	Est. sig.		Salida	
	x=0	x=1	x=0	x=1
s0	s0	s1	0	0
s1	s2	s1	0	0
s2	s0	s1	0	1

Síncronos => modelo Moore

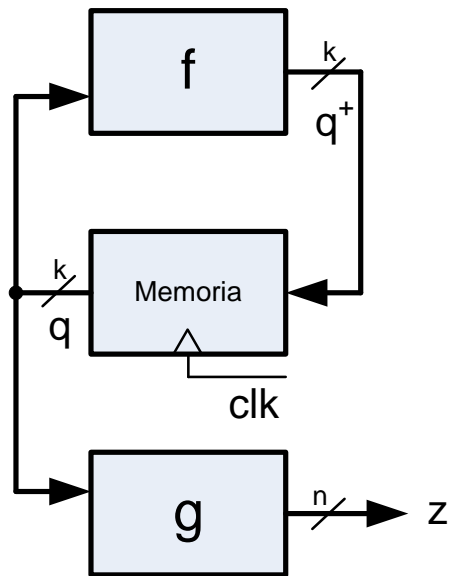


Estado actual	Estado siguiente		Salida
	x=0	x=1	
s0	s0	s2	0
s1	s1	s0	1
s2	s2	s3	1
s3	s0	s1	0

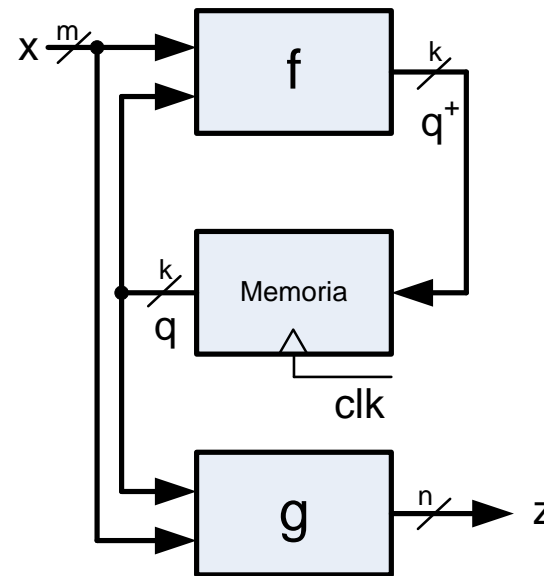
Clasificación de los sistemas secuenciales

2. Atendiendo a si tienen entradas o no

Autónomos



Generalizados

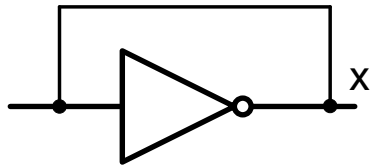


Elementos de memoria

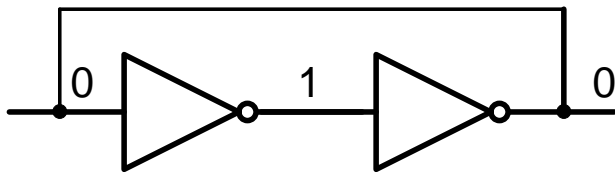
- › El elemento básico de memoria es el flip-flop (o biestable)
- › Asume uno de los dos estados posibles
- › Suele tener una o dos salidas y una o más entradas que provocan el cambio de estado
- › Para construir un elemento de memoria, debemos introducir una realimentación (condición necesaria, pero no suficiente)

Elementos de memoria

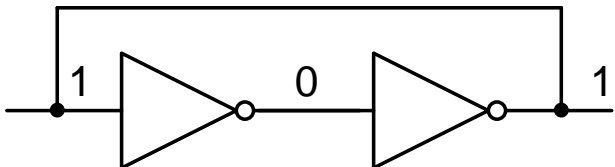
- › Ejemplos de realimentaciones que no infieren un elemento de memoria:



Es inestable. No tiene 2 estados estables

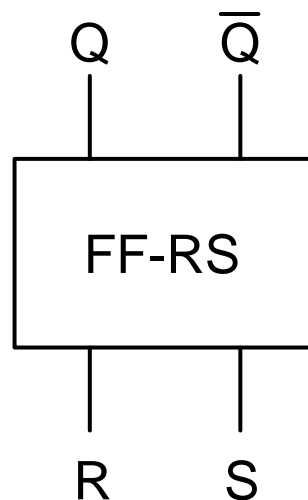
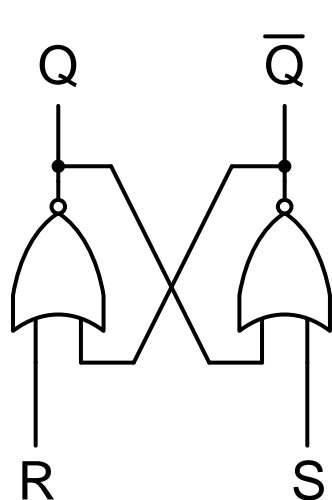
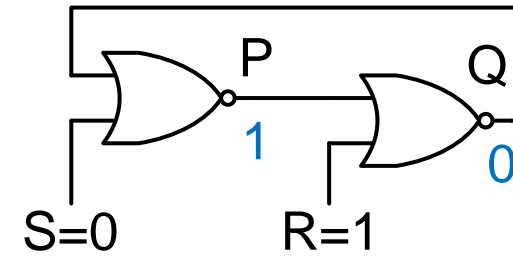
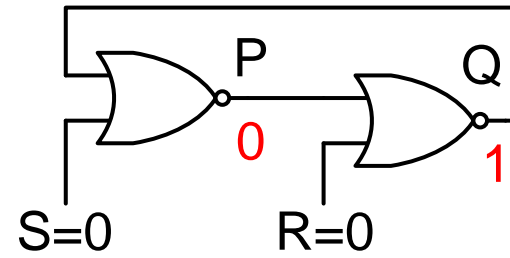
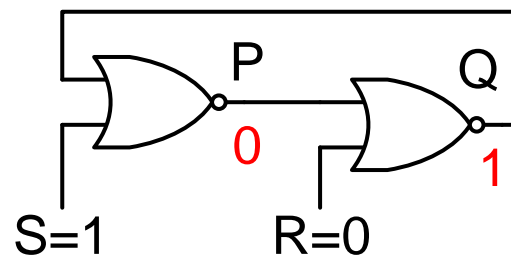
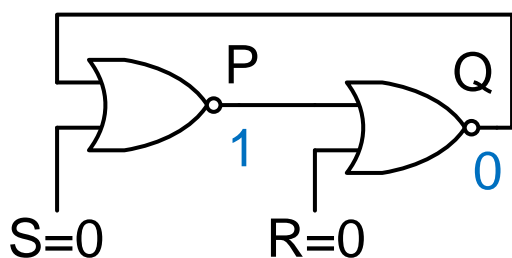


Tiene 2 estados estables, pero no podemos controlarlo



Elementos de memoria

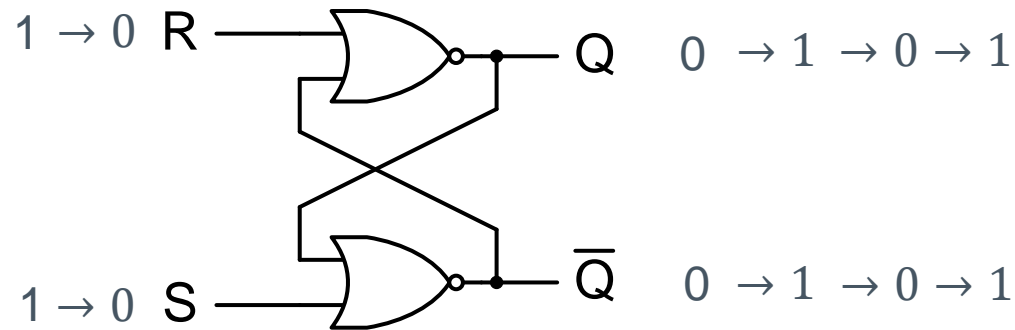
› Flip-flop SR



- Si $S \neq R \Rightarrow P = \bar{Q}$
- Si $S = R = 1 \Rightarrow$ *circuito inestable*
- $S = 1$ fuerza que $Q = 1$ y $\bar{Q} = 0$ (set)
- $S = 0$ fuerza que $Q = 0$ y $\bar{Q} = 1$ (reset)

Elementos de memoria. Flip-flops

› Flip-flop SR



Comportamiento oscilante

Elementos de memoria. Flip-flops

› Flip-flop SR

– Su comportamiento se resume en la siguiente tabla:

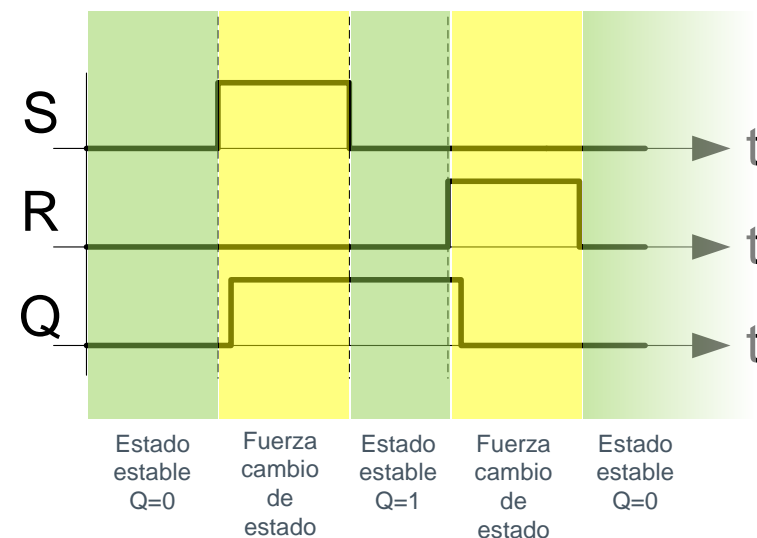
S(t)	R(t)	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	-
1	1	1	-

} No permitidos

R(t)Q(t) \ S(t)	0	1
00	0	1 ₄
01	1 ₁	1 ₅
11	3	X ₇
10	2	X ₆

$$Q(t+1) = S(t) + \bar{R}(t)Q(t)$$

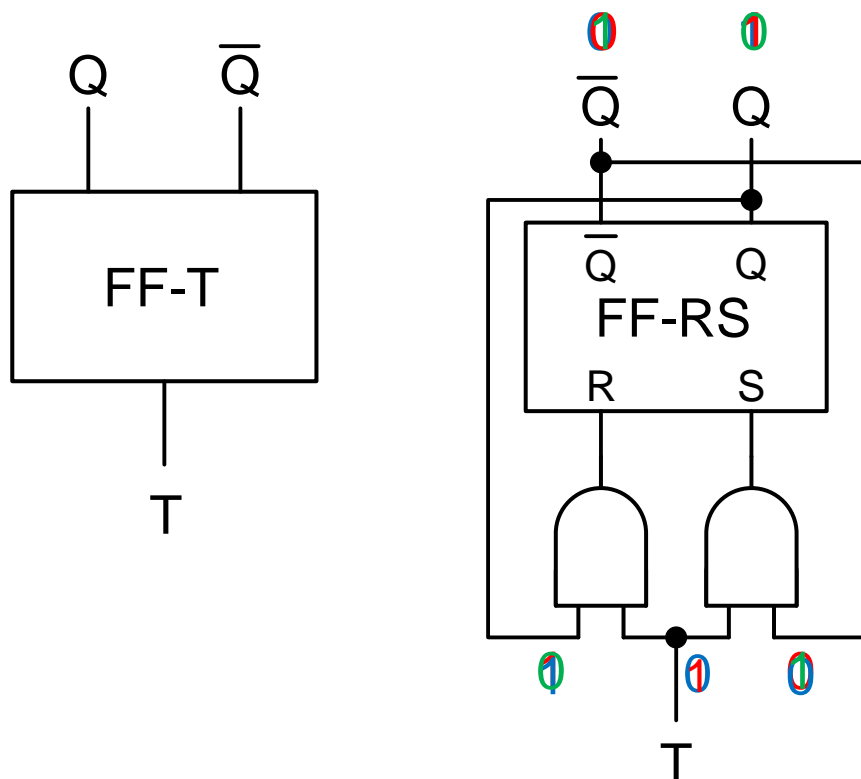
$$Q^+ = S + \bar{R}Q \quad (SR = 0)$$



Elementos de memoria. Flip-flops

› Flip-flop T

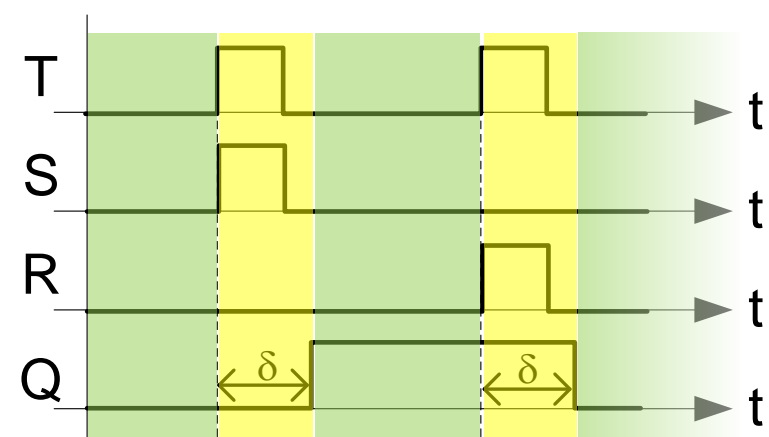
- Única entrada
- Aplicando un pulso a la entrada el estado cambia



- Si $T = 0 \Rightarrow Q^+ = Q$
- Si $T = 1 \Rightarrow Q^+ = \bar{Q}$
 - Si $Q = 1 \Rightarrow R = 1 \wedge S = 0 \Rightarrow Q^+ = 0$
 - Si $Q = 0 \Rightarrow R = 0 \wedge S = 1 \Rightarrow Q^+ = 1$

$$Q^+ = \bar{T}Q + T\bar{Q} = T \oplus Q$$

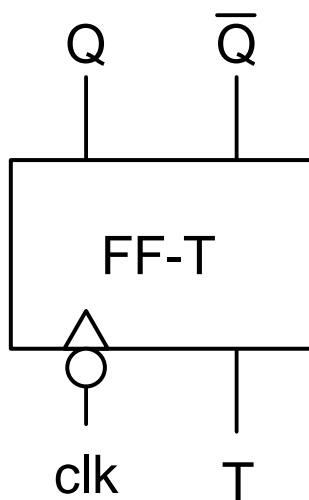
T	Q	Q ⁺
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Elementos de memoria. Flip-flops

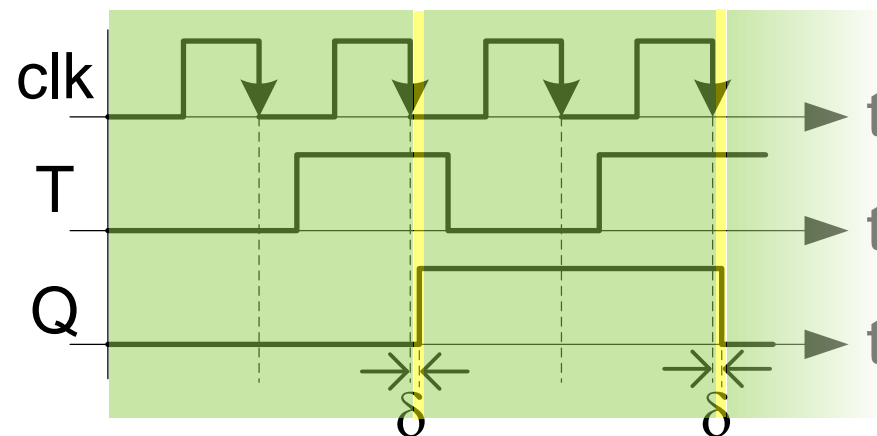
› Flip-flop T síncrono

- Los flip-flops suelen tener una señal de reloj para controlar los cambios de estado
- Los flip-flops pueden ser sensibles a los flancos de subida o de bajada de la señal de reloj



$$Q^+ = \bar{T}Q + T\bar{Q} = T \oplus Q$$

T	Q	Q ⁺
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



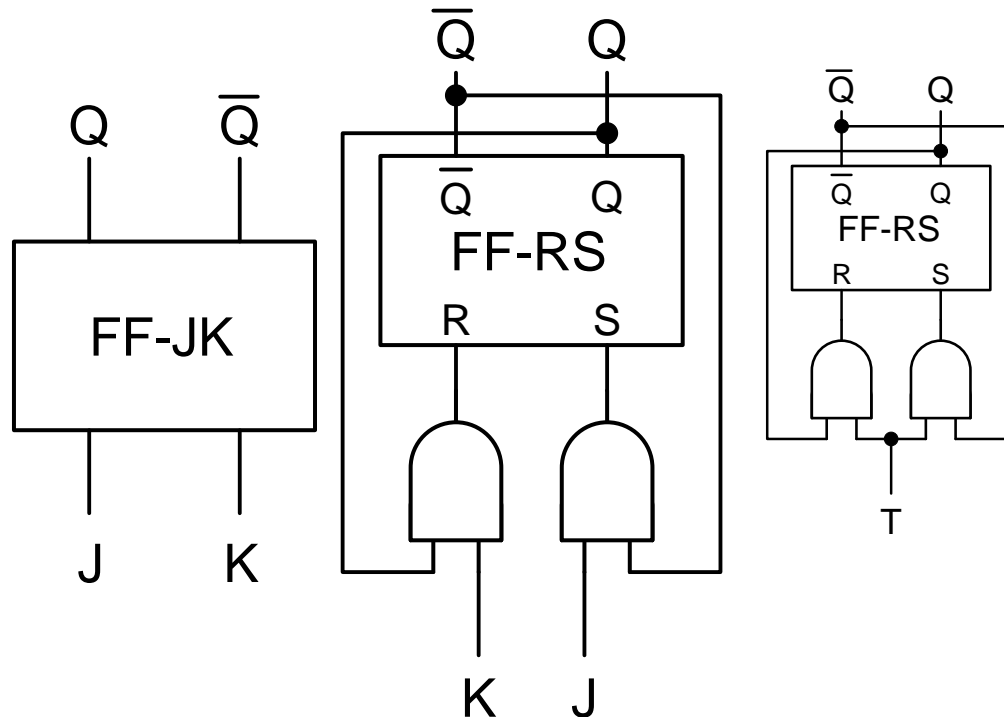
Desaparecen los problemas temporales y el biestable opera adecuadamente para un ancho rango de frecuencias de reloj

Elementos de memoria. Flip-flops

› Flip-flop JK

– Combina las características de los biestables tipo SR y T

- › Si $J=K$, actúa como un biestable tipo T
- › Si $J \neq K$, actúa como un biestable tipo SR, con $J=S$ y $K=R$



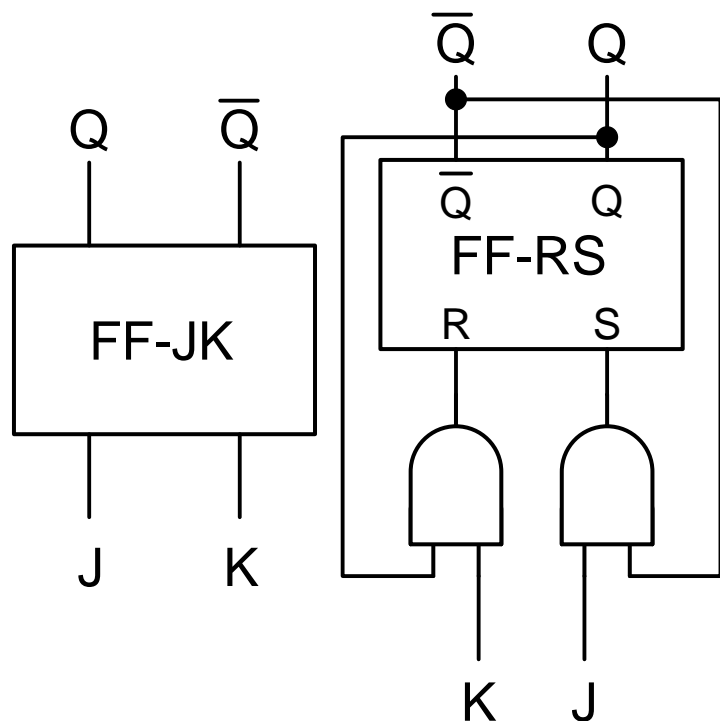
- **$Si J = 1 \wedge K = 0 \Rightarrow Q^+ = 1$**
 - $Si Q = 1 \Rightarrow S = 0 \wedge R = 0 \Rightarrow Q^+ = Q (= 1)$
 - $Si Q = 0 \Rightarrow S = 1 \wedge R = 0 \Rightarrow Q^+ = 1$
- **$Si J = 0 \wedge K = 1 \Rightarrow Q^+ = 0$**
 - $Si Q = 1 \Rightarrow S = 0 \wedge R = 1 \Rightarrow Q^+ = 0$
 - $Si Q = 0 \Rightarrow R = 0 \wedge S = 0 \Rightarrow Q^+ = Q (= 0)$
- **$Si J = K \Rightarrow Q^+ = K \oplus Q = J \oplus Q$**

Elementos de memoria. Flip-flops

› Flip-flop JK

– Combina las características de los biestables tipo SR y T

- › Si $J=K$, actúa como un biestable tipo T
- › Si $J \neq K$, actúa como un biestable tipo SR, con $J=S$ y $K=R$



J	K	Q	Q ⁺
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

J \ KQ	0	1
00	0	1 ₄
01	1 ₁	1 ₅
11	3	7
10	2	1 ₆

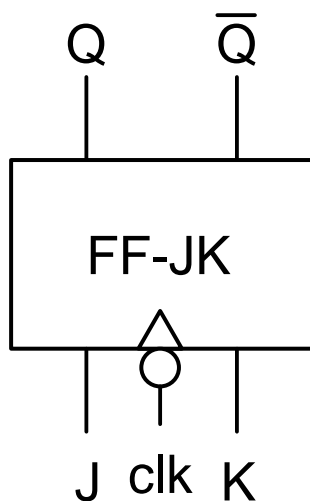
$$Q^+ = \bar{K}Q + J\bar{Q}$$

Si $J=K$ tenemos los mismos problemas que con un biestable tipo T asíncrono

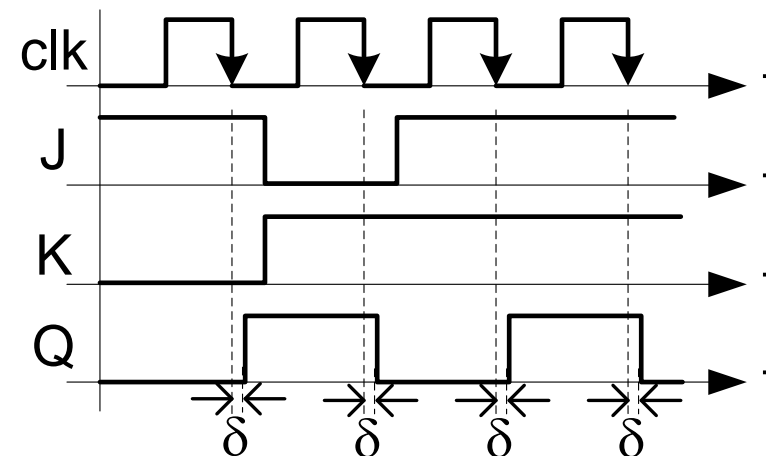
Elementos de memoria. Flip-flops

› Flip-flop JK síncrono

- Se comporta igual que uno asíncrono, pero el cambio de estado lo gestiona el reloj

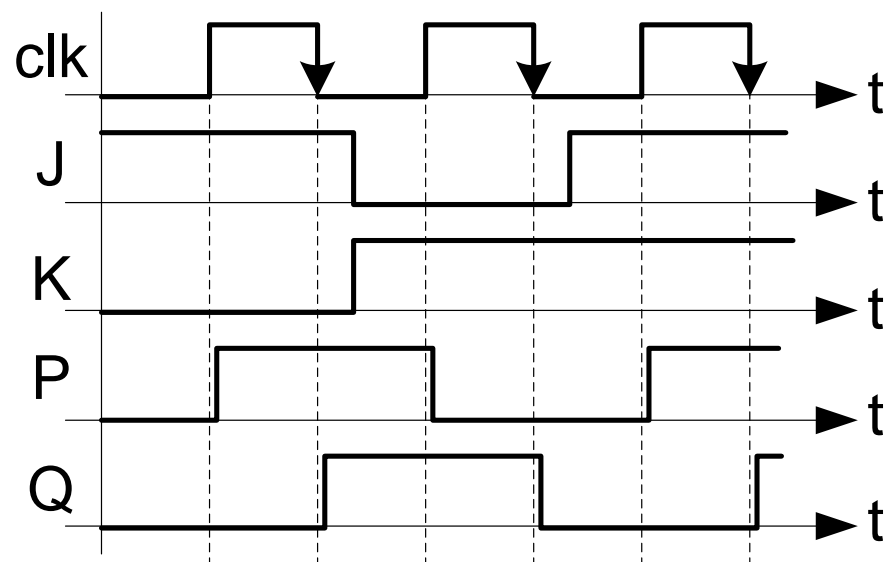
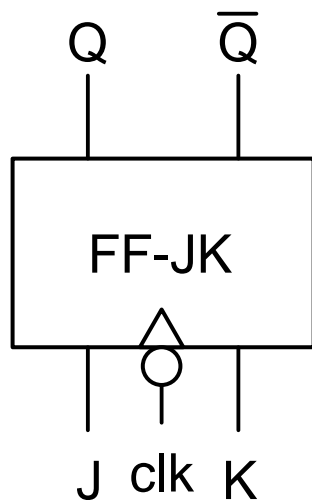
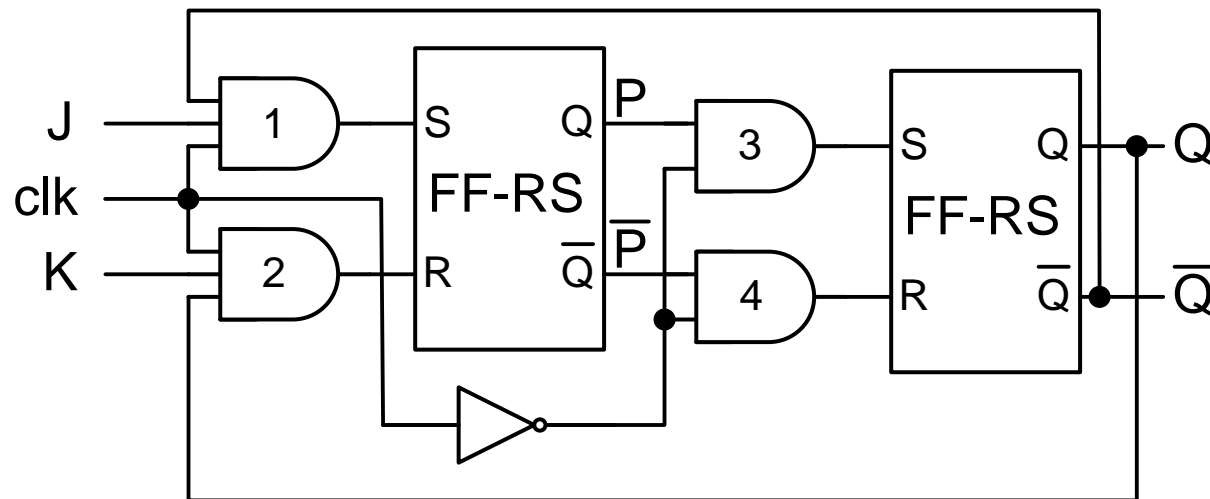


J	K	Q	Q ⁺
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0



Elementos de memoria. Flip-flops

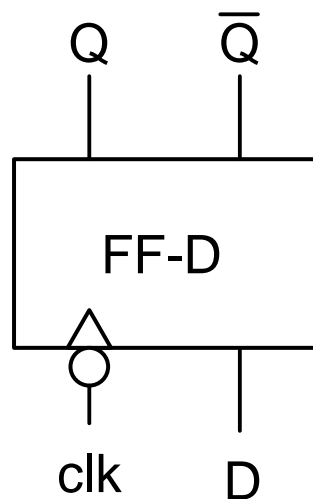
- › Flip-flop JK síncrono
 - Se puede realizar un biestable JK síncrono con 2 biestables SR en cascada



El cambio de estado sólo ocurre en los flancos de bajada

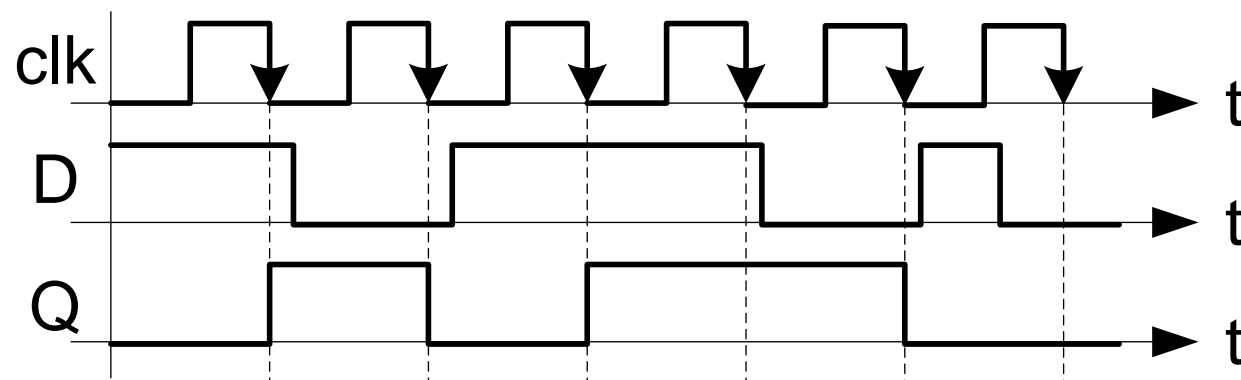
Elementos de memoria. Flip-flops

- › Flip-flop D síncrono
 - Su comportamiento es el más sencillo



$$Q^+ = D$$

D	Q	Q ⁺
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1



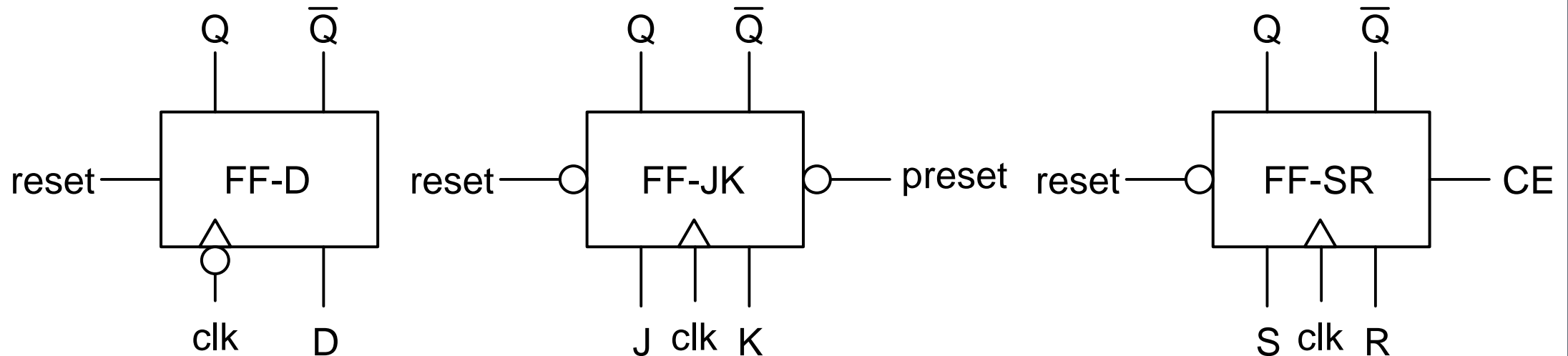
La salida almacena lo de la entrada en el flanco de bajada de reloj en el caso que nos ocupa

Elementos de memoria. Flip-flops

- › Flip-flops con puertos de control adicionales
 - Normalmente los biestables suelen disponer de una o más entradas de control, tales como RESET, PRESET, CE (*chip enable*, habilitación)
 - RESET: resetea el flip-flop (lo pone en estado 0)
 - PRESET: hace un set (lo pone a estado 1)
 - CE: la salida está congelada si está deshabilitado. Si no, opera con normalidad

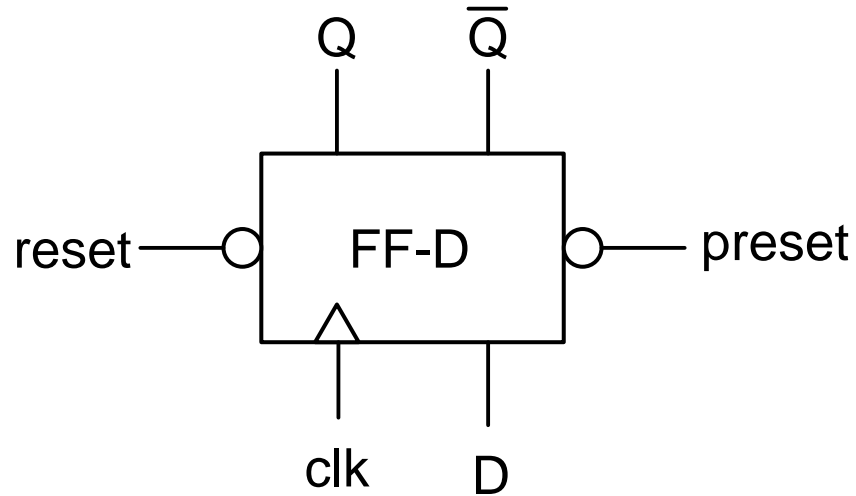
Elementos de memoria. Flip-flops

- › Flip-flops con puertos de control adicionales
 - Podemos tener biestables activos a flancos de subida, de bajada, con reset activo a alta, a baja; con preset activo a alta, a baja; con CE...
 - Ejemplos:



Elementos de memoria. Flip-flops

› Flip-flops con puertos de control adicionales



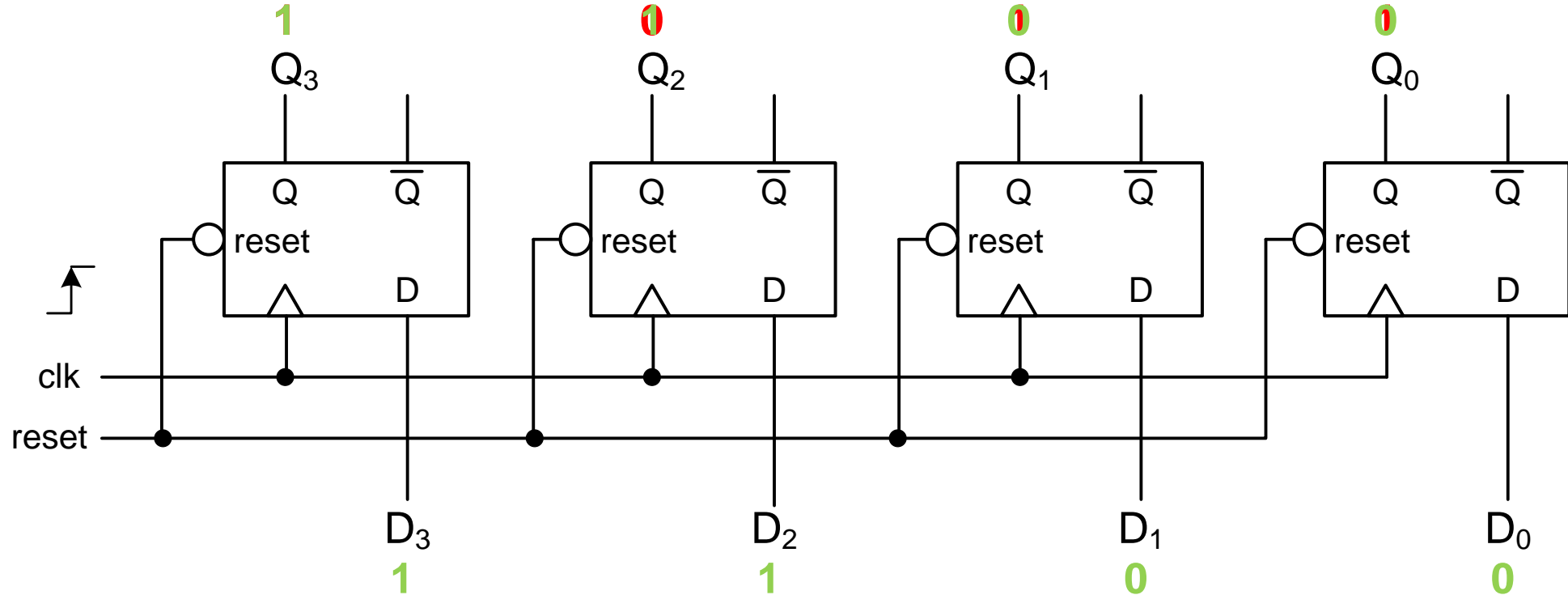
clk	D	Preset	Reset	Q ⁺
X	X	0	0	No permitido
X	X	0	1	1
X	X	1	0	0
↑	0	1	1	0
↑	1	1	1	1
0,1, ↓	X	1	1	Q (sin cambios)

Asociación de biestables. Registros

- › Varios flip-flops pueden agruparse formando un registro, donde cada flip-flop almacena un bit de información
- › En otros:
 - Registros de carga paralela
 - Registros de desplazamiento
- › Operaciones:
 - Almacenar información
 - Ceder información
 - Desplazamientos y rotaciones

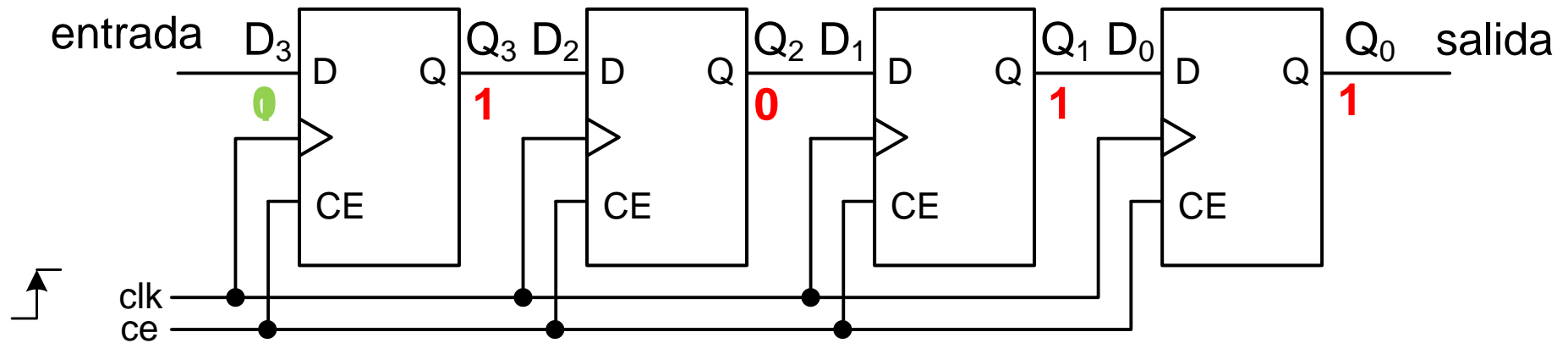
Asociación de biestables. Registros

› Registros de carga paralela



Asociación de biestables. Registros

› Registros de desplazamiento



Ideal para multiplicaciones y divisiones
potencia de 2

Resumen del comportamiento de los flip-flops

Biestable
SR

S	R	Q	Q ⁺
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	-
1	1	1	-

Biestable
T

T	Q	Q ⁺
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Biestable
JK

J	K	Q	Q ⁺
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Biestable
D

D	Q	Q ⁺
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1