

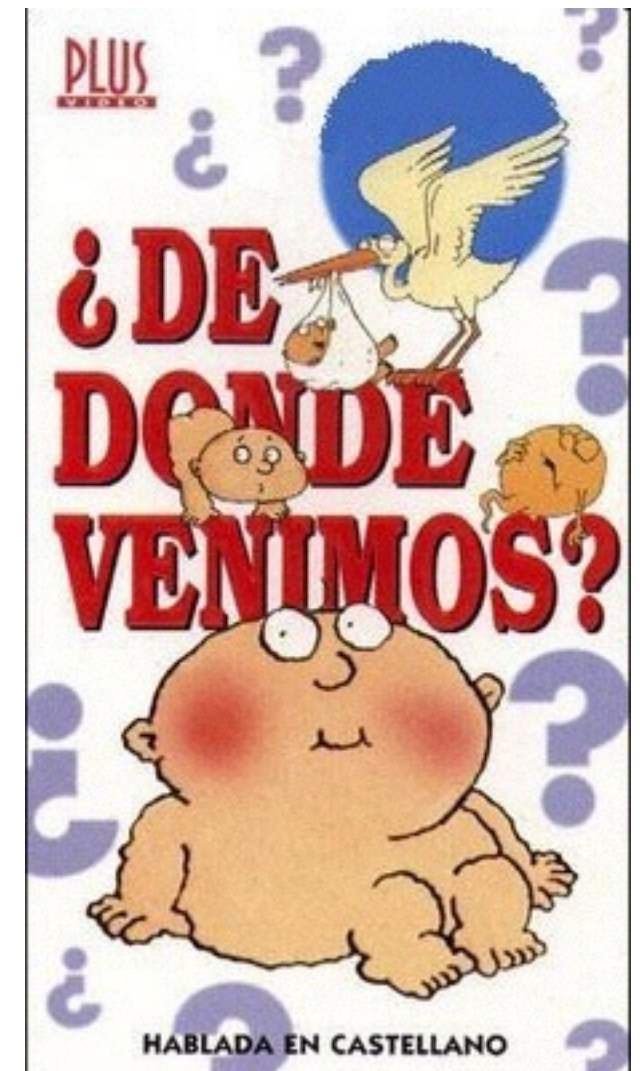
Lógica Digital Secuencial

Organización del Computador 1
Verano 2016

Agenda

¿De dónde venimos?

- Introducción: esquema de una computadora
- Representación de la información
- Circuitos combinatorios



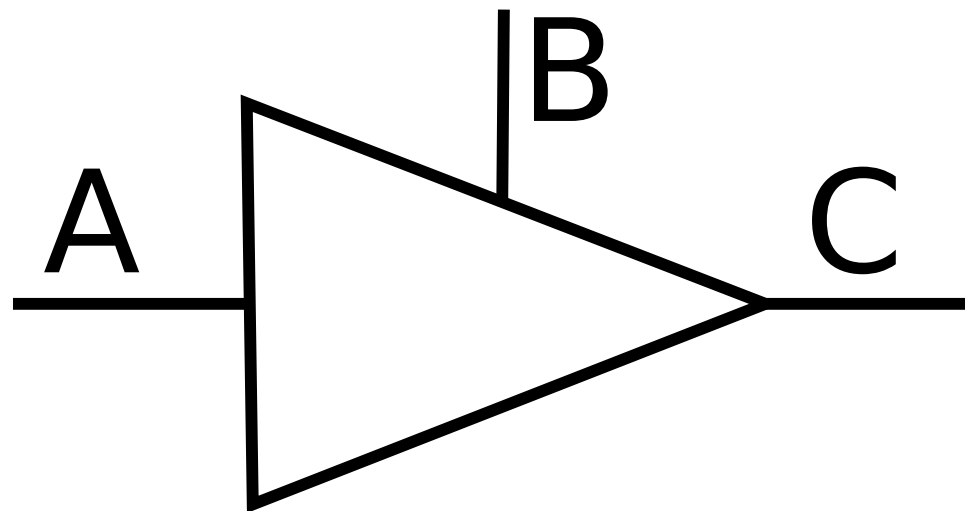
Agenda

¿Adónde vamos?

- Circuitos secuenciales
- Flip-Flops
- Contadores, registros, memoria
- Unidad de Control



Componentes de tres estados



A	B	C
0	1	0
1	1	1
?	0	Hi-Z

- Hi-Z significa “alta impedancia”, es decir, que tiene una resistencia alta al pasaje de corriente.

Un Cable

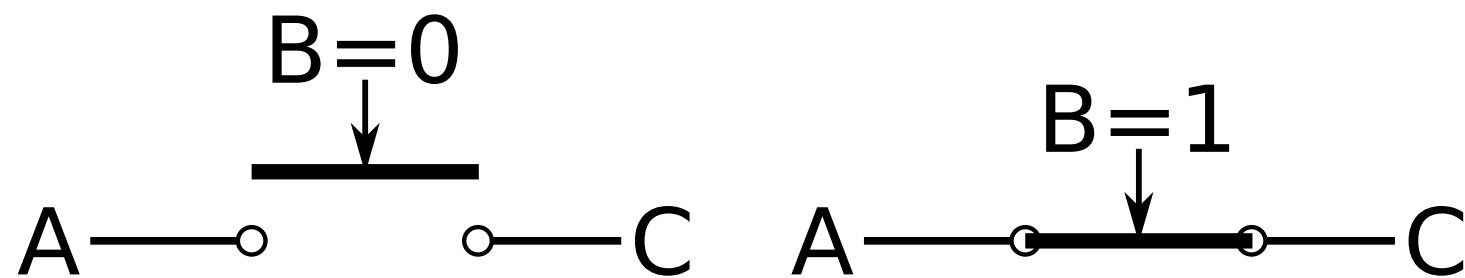
- Un cable permite mandar una señal de un bit por él
- Un dispositivo/componente puede escribir un 0 ó un 1
- Un cable puede ser leído por más de un dispositivo a la vez
- Un cable no tiene memoria, no conserva ningún valor si nadie lo está escribiendo

Un Cable

- Si dos dispositivos intentan escribir al mismo tiempo un 0 y un 1, se asume que el valor es **basura**
- Si ningún dispositivo está escribiendo un cable, al leerlo se obtiene un valor **basura**
- Si ningún dispositivo está escribiendo un cable, entonces vale Hi-Z (alta impedancia) -no es ni 1 ni 0

DispA	DispB	Valor
0	0	???
0	1	???
0	Hi-Z	0
1	0	???
1	1	???
1	Hi-Z	1
Hi-Z	0	0
Hi-Z	1	1
Hi-Z	Hi-Z	Hi-Z

Componentes de tres estados

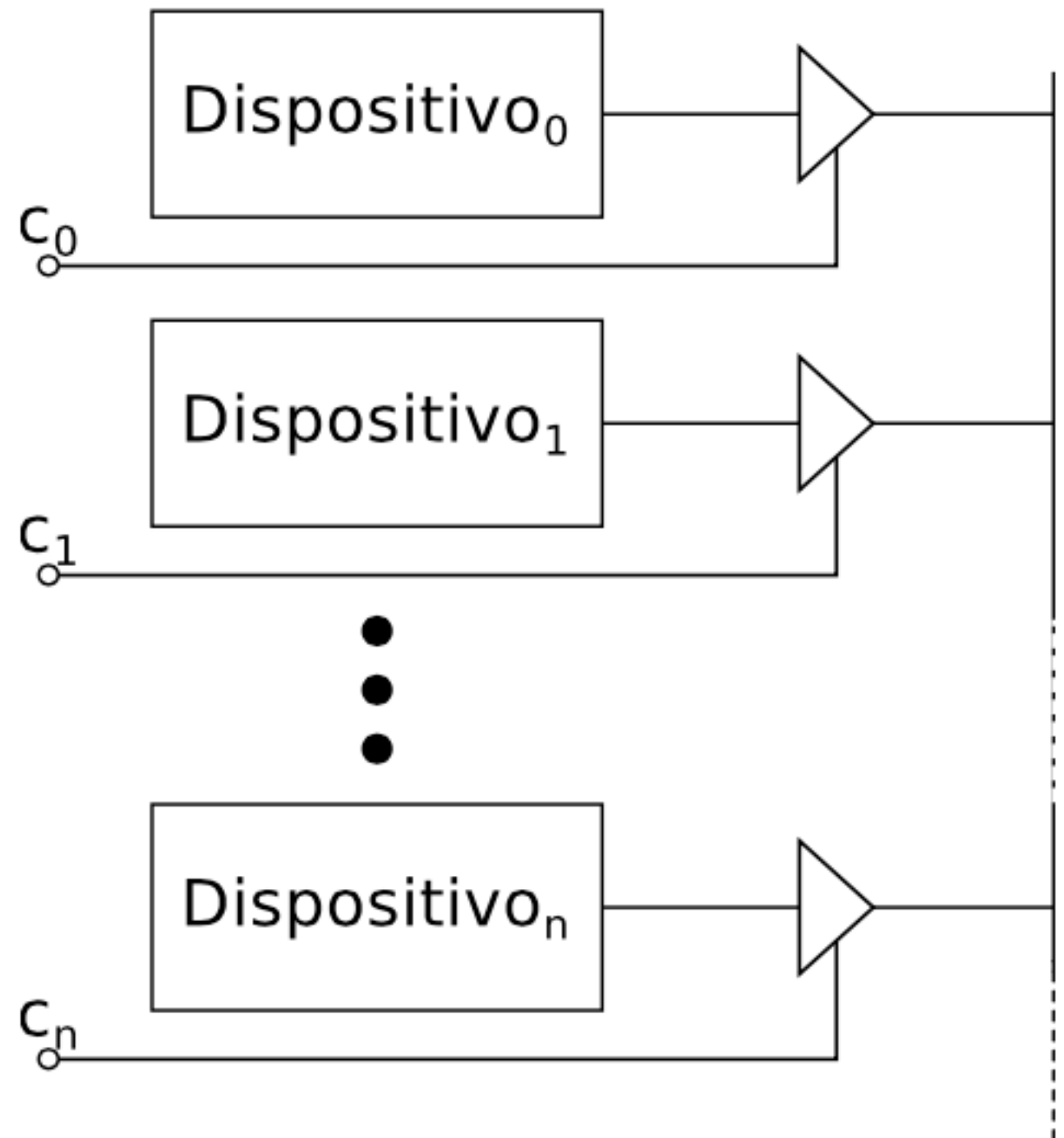


A	B	C
0	1	0
1	1	1
?	0	Hi-Z

- Como consecuencia de esto, podemos considerar al pin C como “desconectado” del circuito

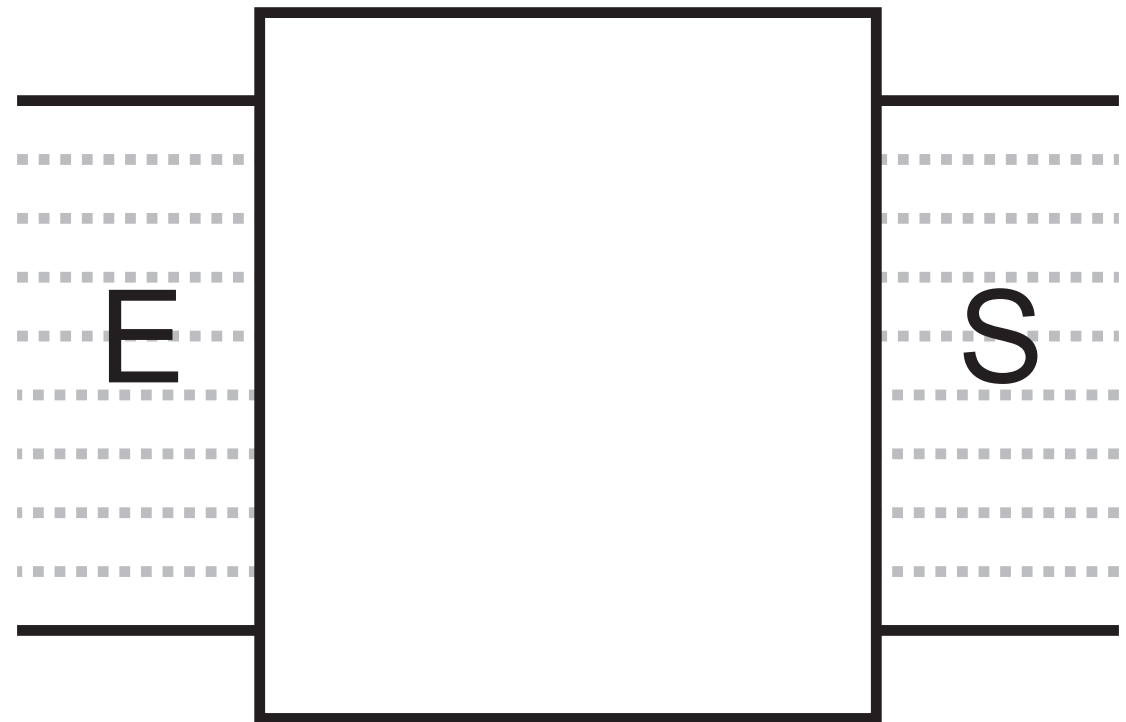
Componentes de Tres Estados

- **IMPORTANTE:** Sólo deben ser usados a la salida de componentes para controlar el acceso a un medio compartido



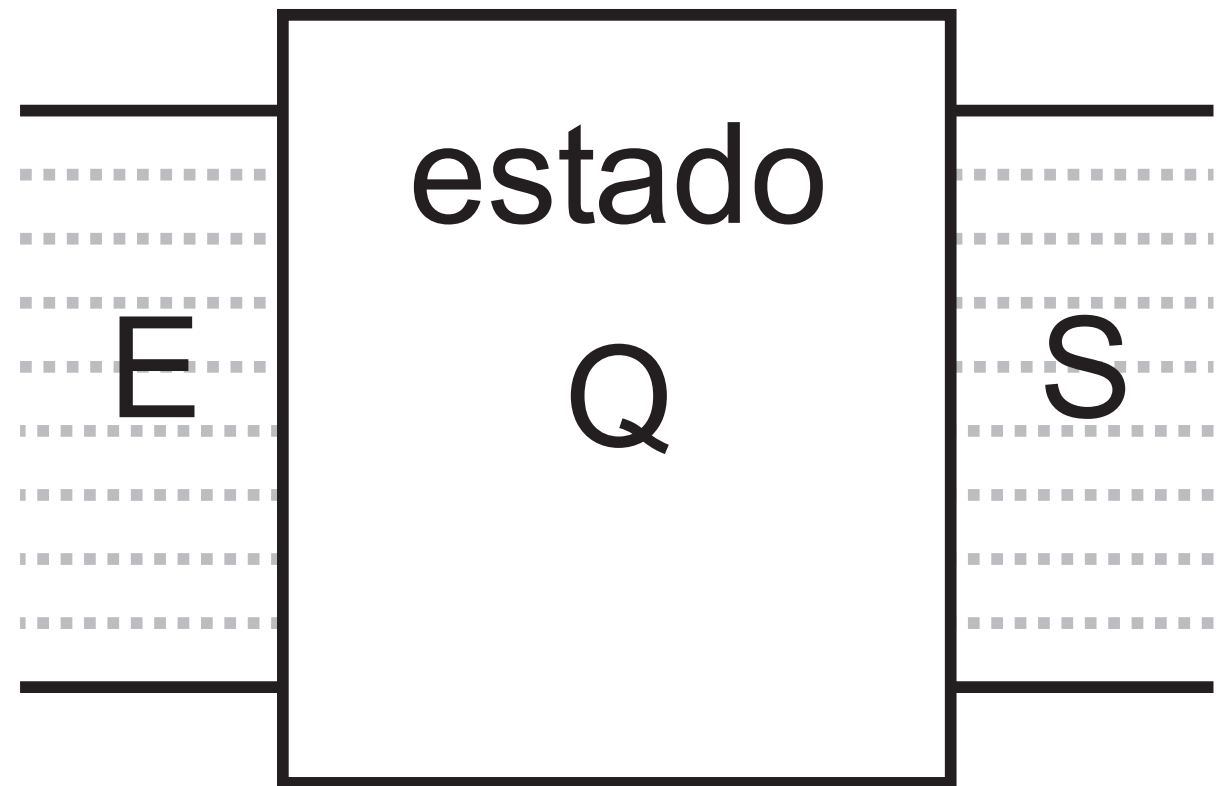
Circuitos Combinaciones

La salida está determinada únicamente por la entrada del circuito



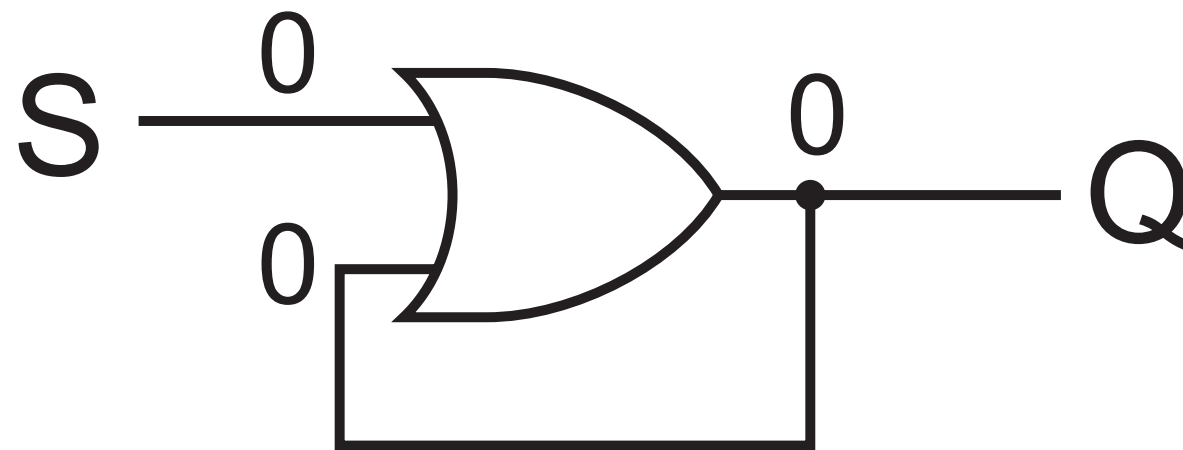
Circuitos Secuenciales

La salida está
determinada por la
entrada y **el**
estado del circuito



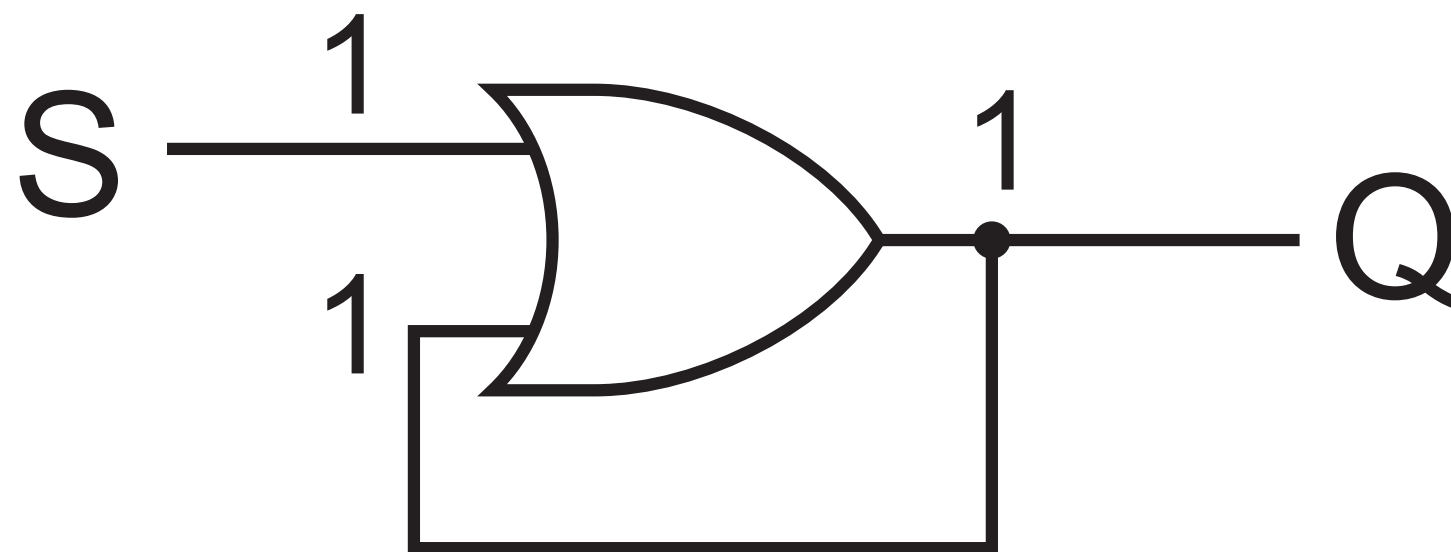
¿Cómo almacenar un bit?

- Las circuitos secuenciales retroalimentar las señales
- Supongamos el siguiente circuito con valores iniciales $S=0$ y $Q=0$
- ¿Qué pasa si cambiamos el valor de S a 1?



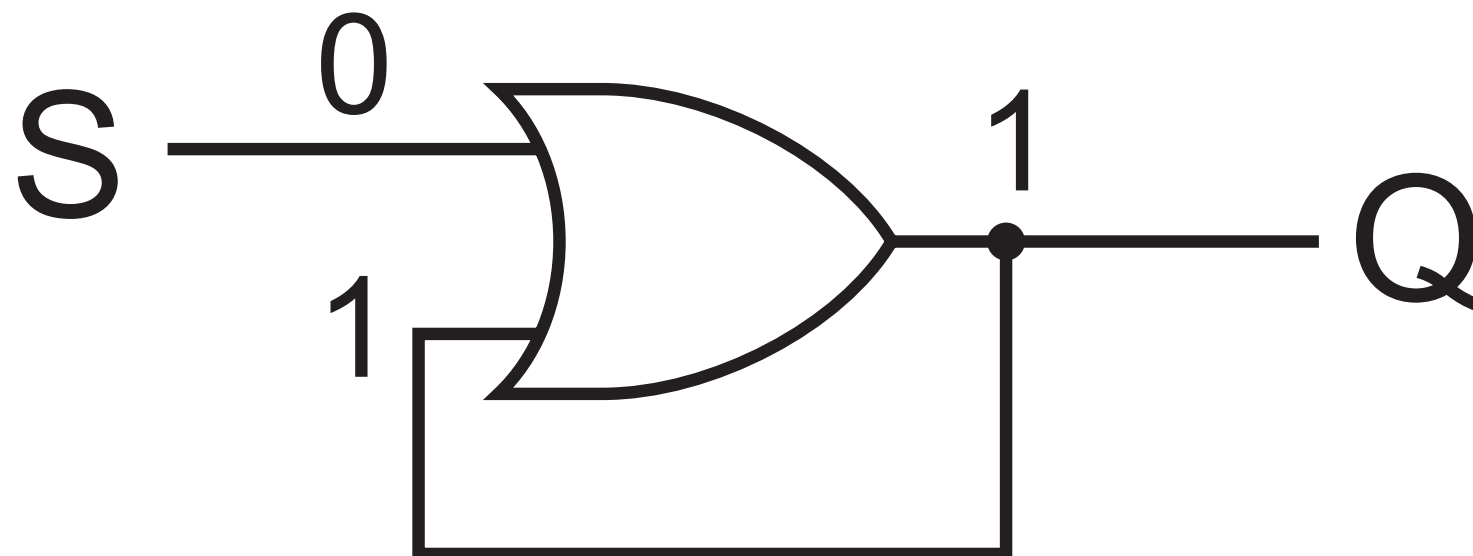
¿Cómo almacenar un bit?

- Si cambiamos el valor de $S=1$, luego que el circuito se estabiliza, la salida valdrá $Q=1$
- ¿Qué ocurrirá si ahora S vuelve a valer 0?



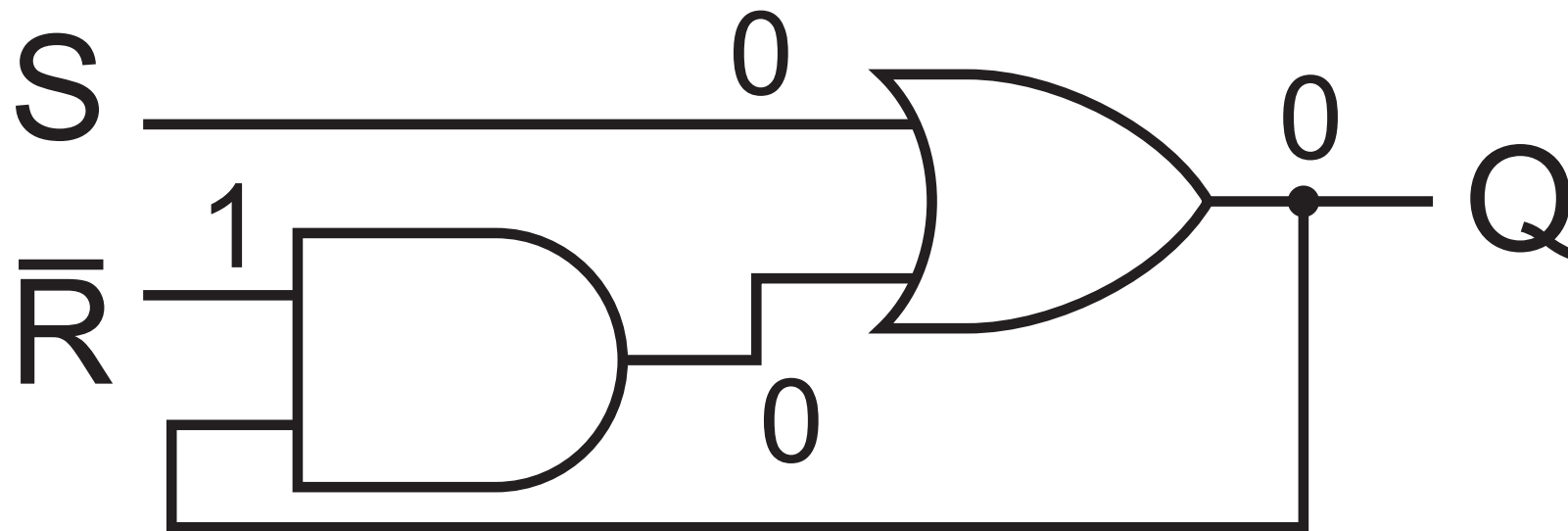
¿Cómo almacenar un bit?

- Si ahora cambiamos $S=0$, obtendremos como resultado que el valor de salida Q continuará en 1.
- Por lo tanto, para una misma entrada ($S=0$), tenemos una salida distinta de acuerdo al estado previo del circuito (valor de la señal Q)



¿Cómo construir un *bi-estable*?

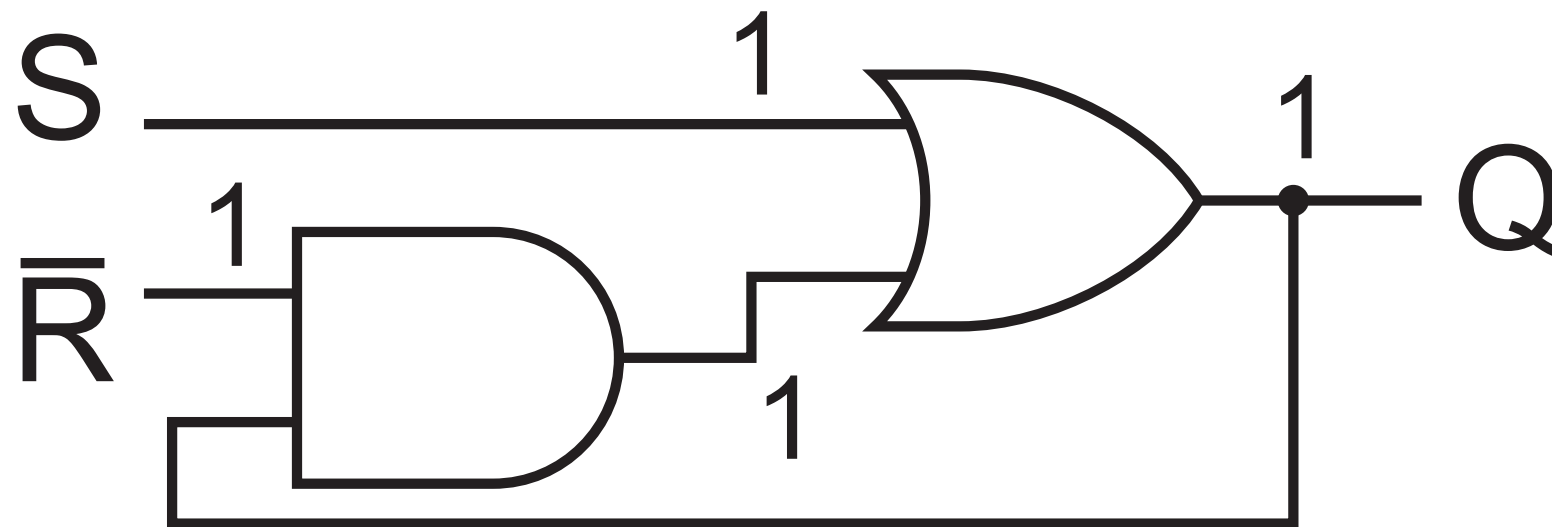
- Supongamos el siguiente circuito secuencial (retroalimentado) con los valores iniciales $S=0, \sim R=1$ y $Q=0$.



- ¿Qué pasará si ahora $S=1$ y $\sim R=1$?

¿Cómo construir un *bi-estable*?

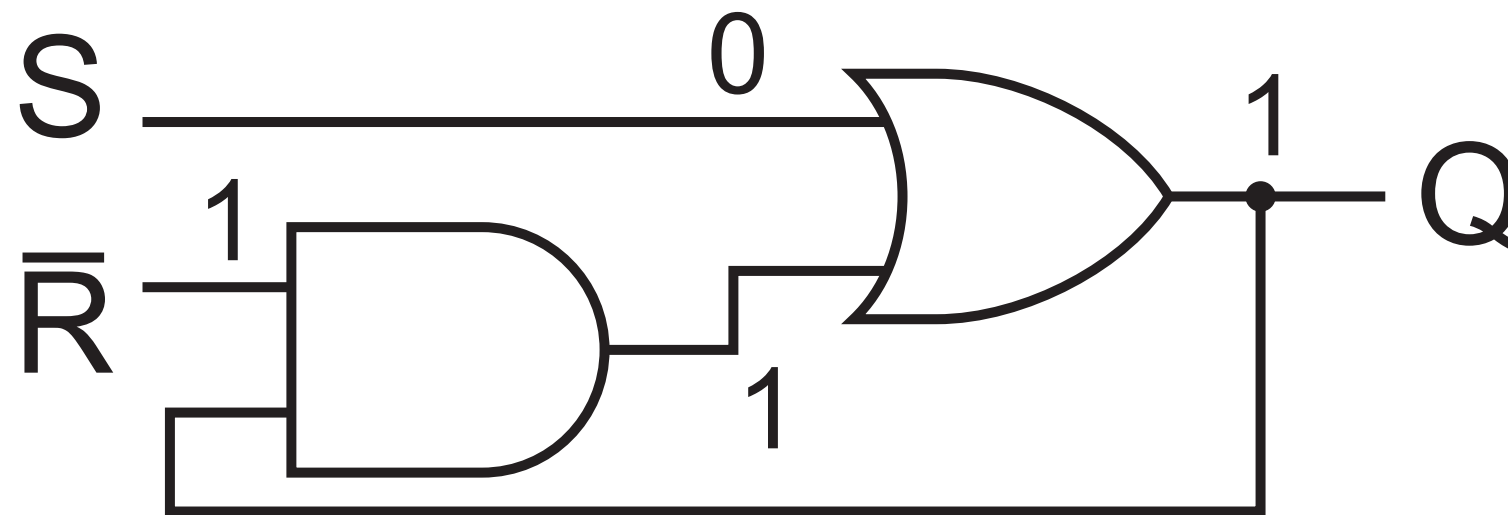
- Si $S=1$ y $\sim R=1$ (y el estado de Q era 0), el nuevo estado estable del circuito será tal que $Q=1$.



- ¿Qué pasará si ahora $S=0$ y $\sim R=1$?

¿Cómo construir un *bi-estable*?

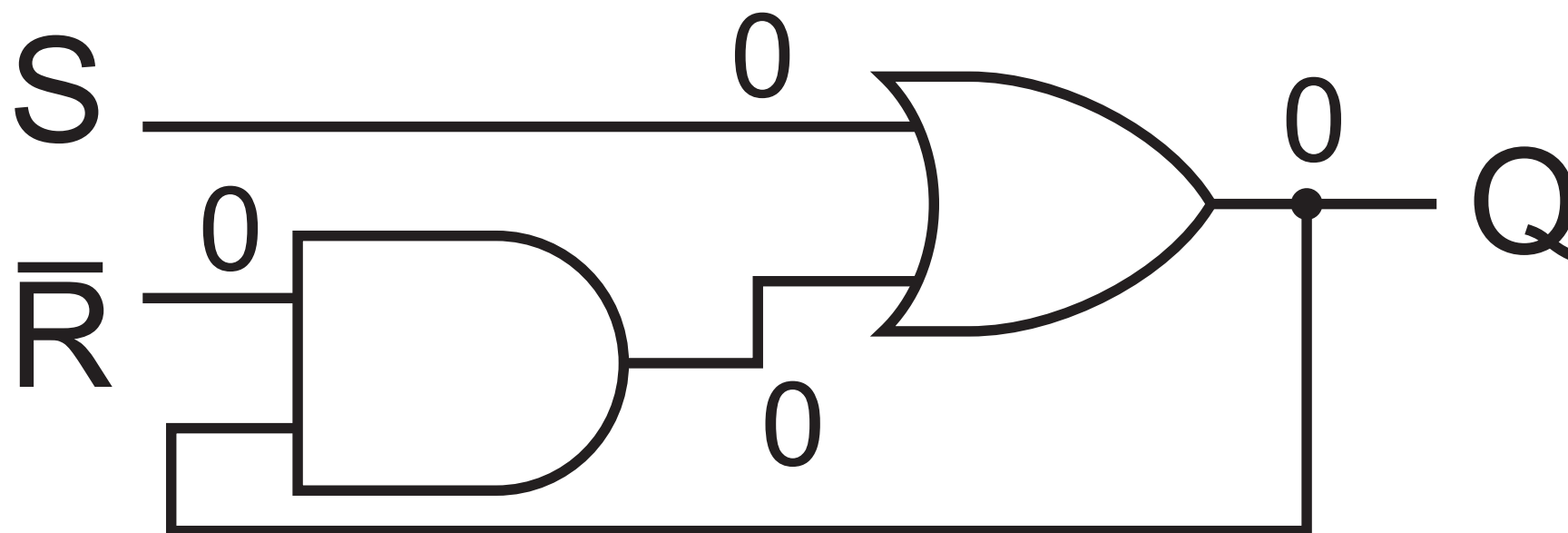
- Si S ahora vale 0, y $\sim R=1$ sigue valiendo 1, y en el anterior estado estable del circuito $Q=1$, entonces en el nuevo estado estable Q seguirá valiendo 1.



- ¿Qué pasará si ahora $S=0$ y $\sim R=0$?

¿Cómo construir un *bi-estable*?

- Ahora, $S=0$, y $\sim R=0$, entonces en el nuevo estado estable $Q=0$.



- S**=señal de Set (asignar valor)
- R**=señal de Reset (limpiar valor a 0)

Flip-Flops (Bi-estables)

- Un Flip-Flop es un dispositivo capaz de almacenar un bit de información
- Utilizan el principio de la retroalimentación (son circuitos secuenciales)
- Esta característica es utilizada para memorizar resultados
- El paso de un estado a otro se realiza variando las entradas

Flip-Flops (Bi-estables)

- Según el tipo de entradas se los Flip-Flops dividen en:
 - **Asincrónicos**: sólo tienen entradas de control y puede cambiar de estado en cualquier momento
 - **Sincrónicos**: además de las entradas de control posee entrada de sincronismo *o de reloj*.
 - El sistema sólo puede cambiar de estado en los instantes de sincronismo.

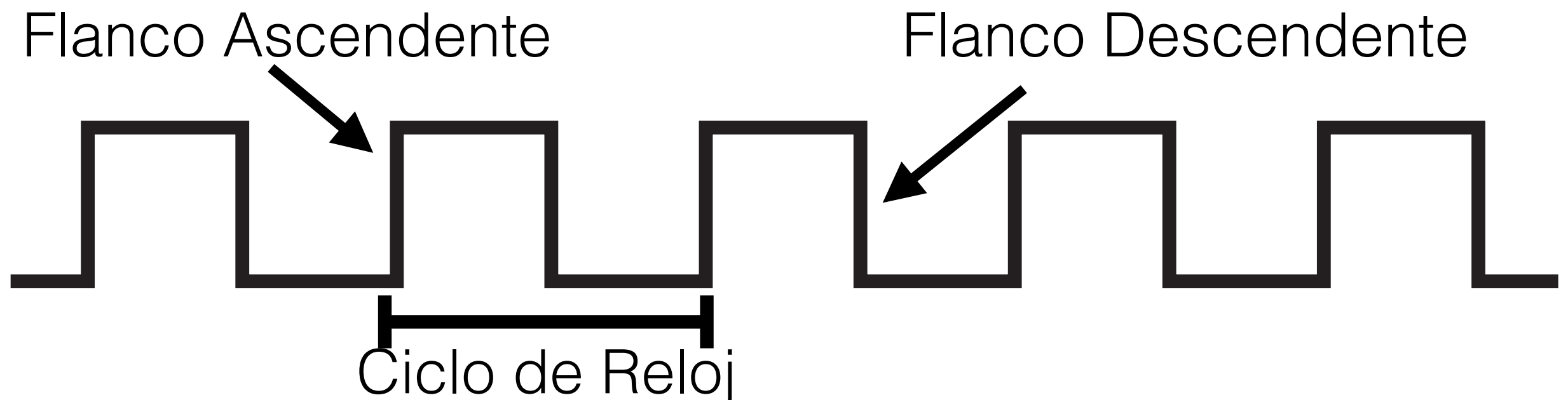
Clocks (Relojes)

- Un reloj es un circuito que emite una serie de pulsaciones consecutivas con una frecuencia definida.



Clocks (Relojes)

- Se denomina **Flanco** a la transición que va del nivel bajo al nivel alto, o del nivel alto al nivel bajo.
- El periodo entre dos flancos ascendentes o descendentes se denomina tiempo de ciclo de reloj.



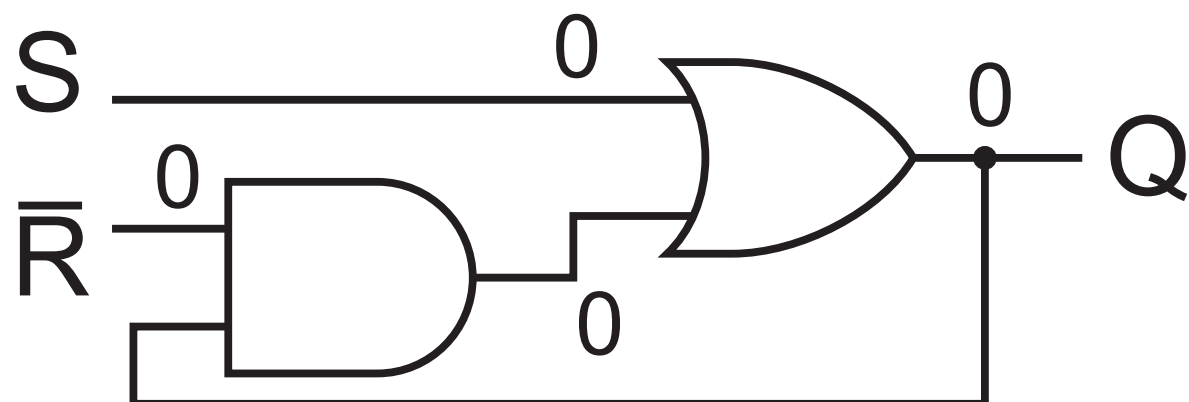
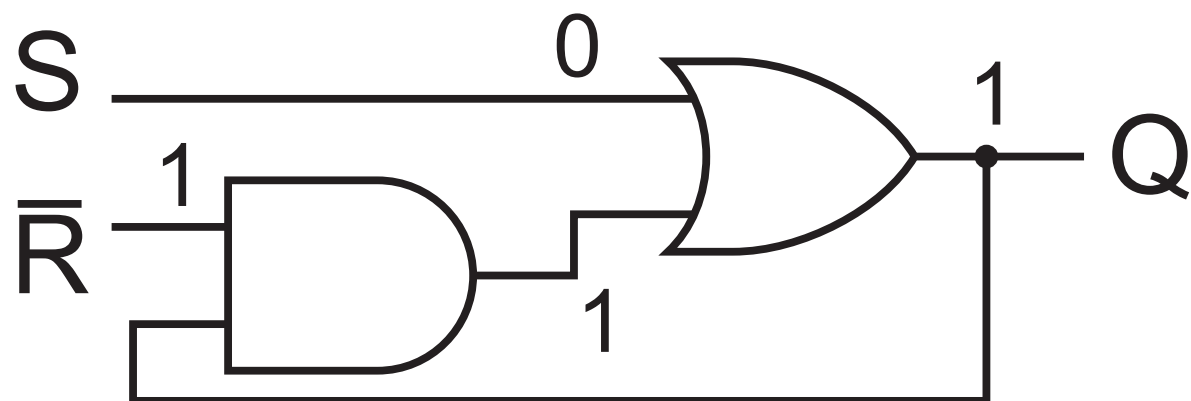
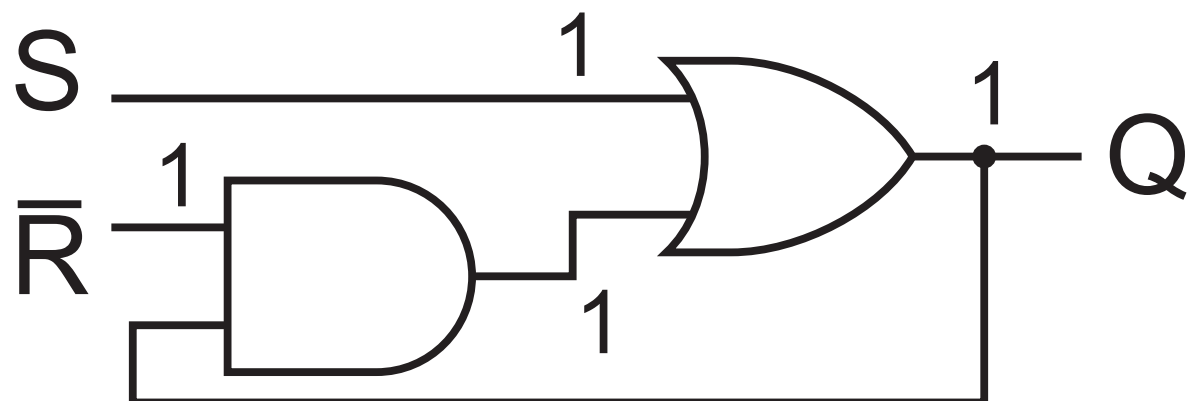
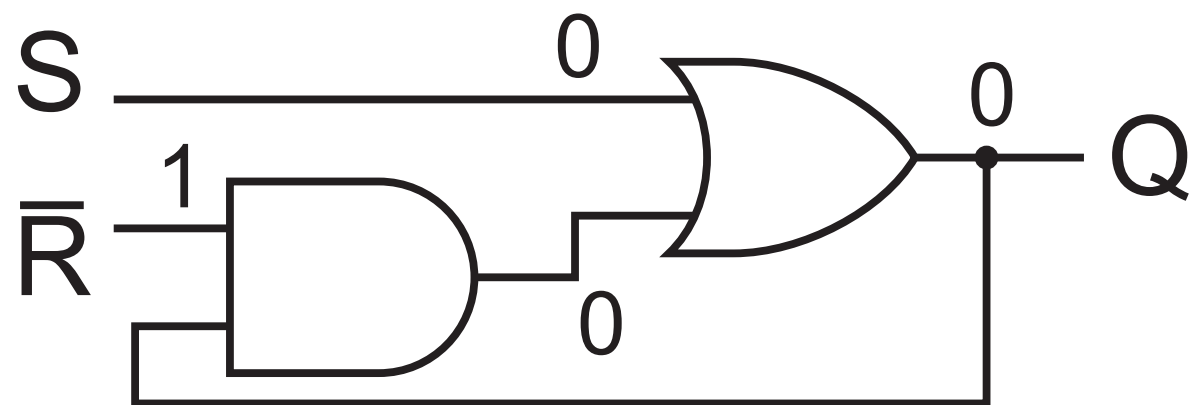
Clocks (Relojes)

- Si el ciclo de reloj es 2 nanosec. ¿Cuál es la frecuencia (en GHz) de mi Clock?
- **Rta:** Frecuencia = $1/T = 1/2 \text{ nanosec} = 0.5 \cdot 10^9 = 500 \text{ MHz} = 0.5 \text{ GHz}$



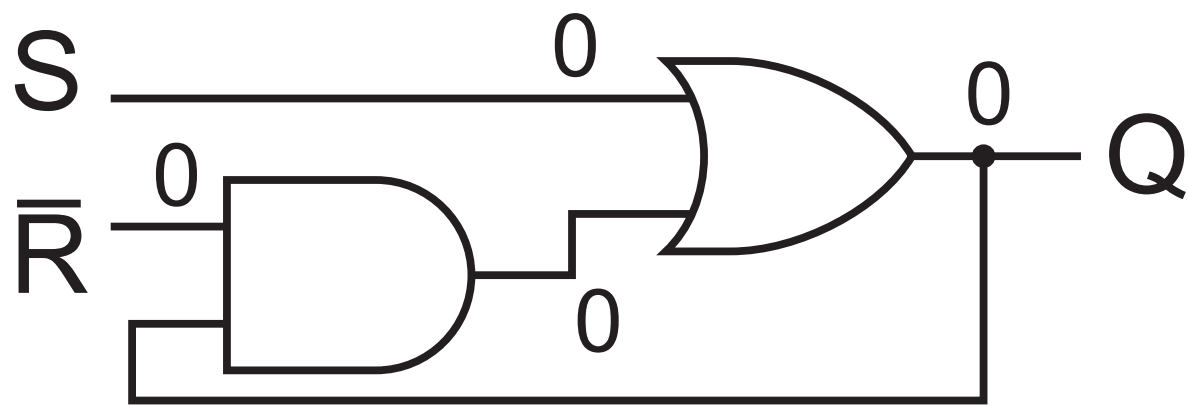
Tabla característica

- Los circuitos combinatorios implementan funciones booleanas que se especifican utilizan tablas de verdad
- Los circuitos combinatorios (al depender del estado del circuito además de sus entradas) no pueden ser especificados usando tablas de verdad
- Para especificar un circuito secuencia se utilizan Tablas Características y Ecuaciones Características.



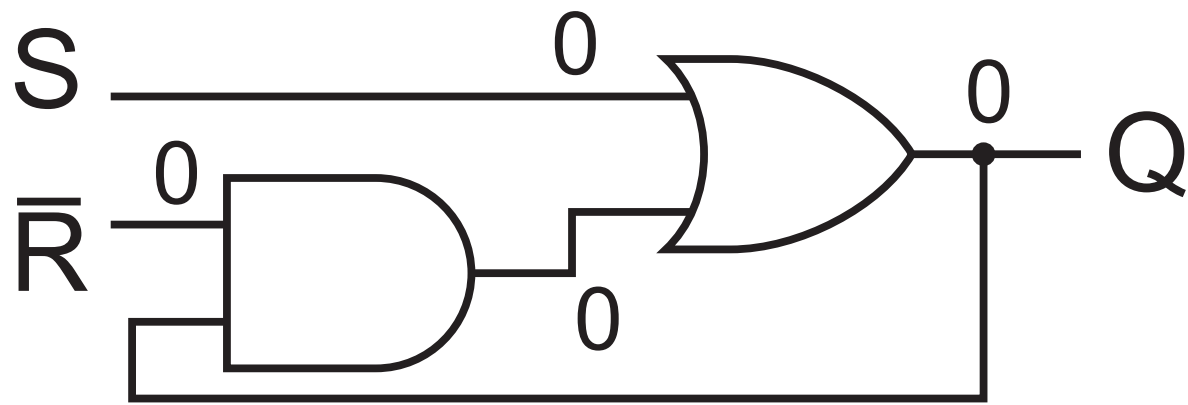
S	R	Q _n	Q _{n+1}
0	0	0	0
1	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0

Tabla característica



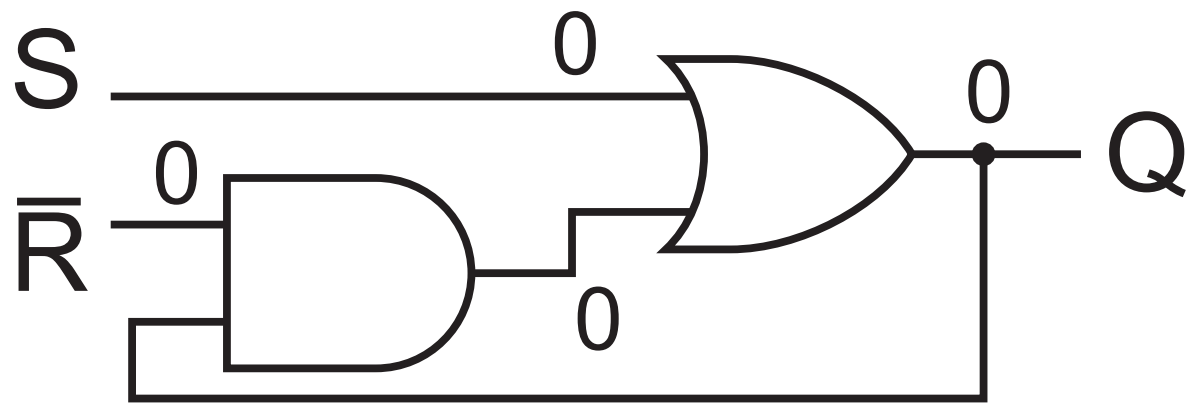
S	R	Q _n	Q _{n+1}
0	0	0	0
1	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0
1	1	0	?
0	1	0	?
1	0	1	?
1	1	1	?

Tabla característica



S	R	Qn	Qn+1
0	0	0	0
1	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0
1	1	0	1
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	1	1

Tabla característica



S	R	Q _{n+1}
0	0	Q _n
1	0	1
0	1	0
1	1	1

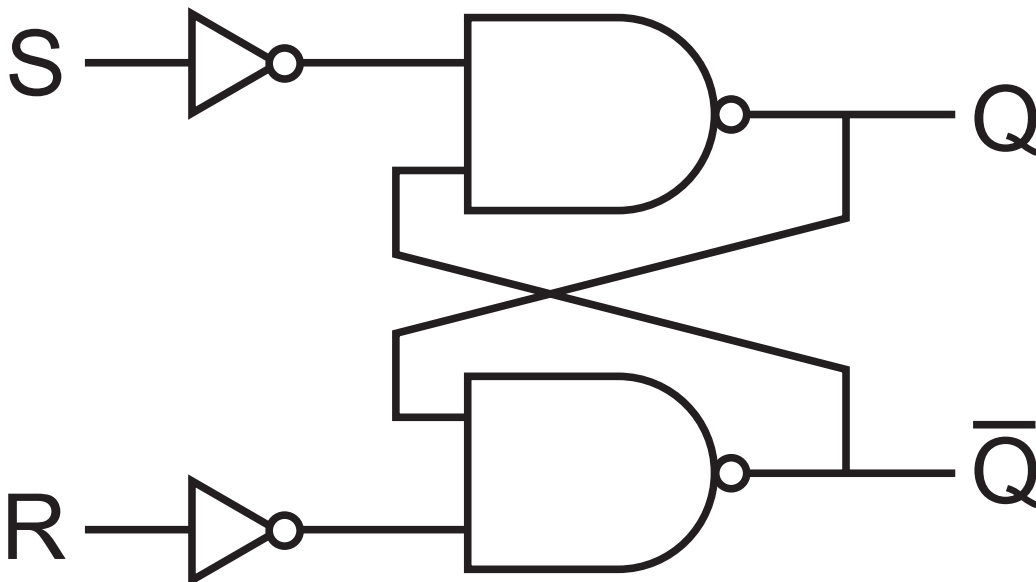
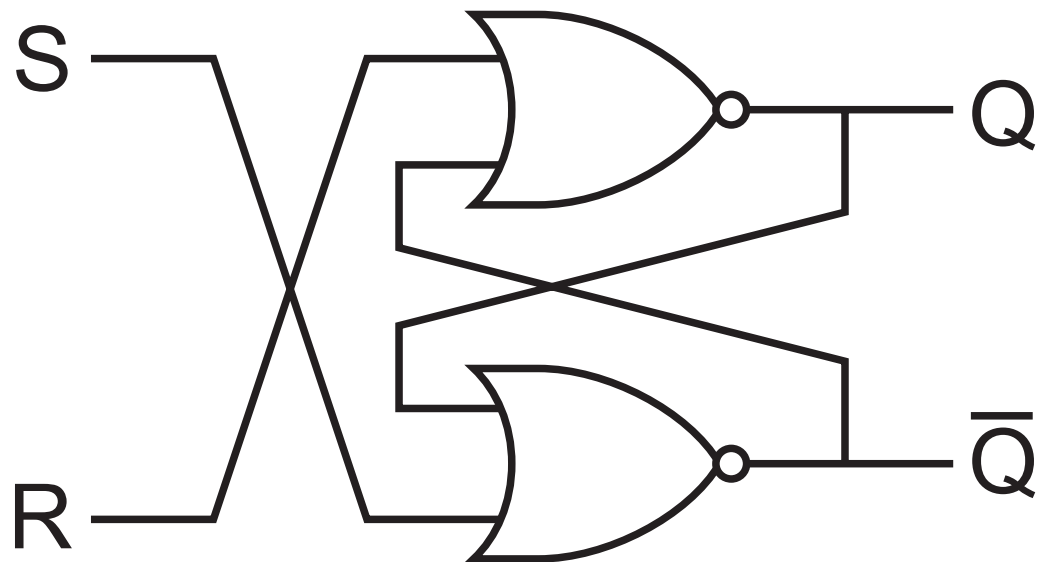
Ecuación característica: $Q_{n+1} = S + (\sim R \cdot Q_n)$

Flip-Flops RS

- Sus entradas principales son S (Set) y R (Reset)
- S o Set: Cuando está en uno la salida está en 1.
- R o Reset: Cuando está en uno la salida es 0.
- Si no, mantiene el valor anterior de Q_n .

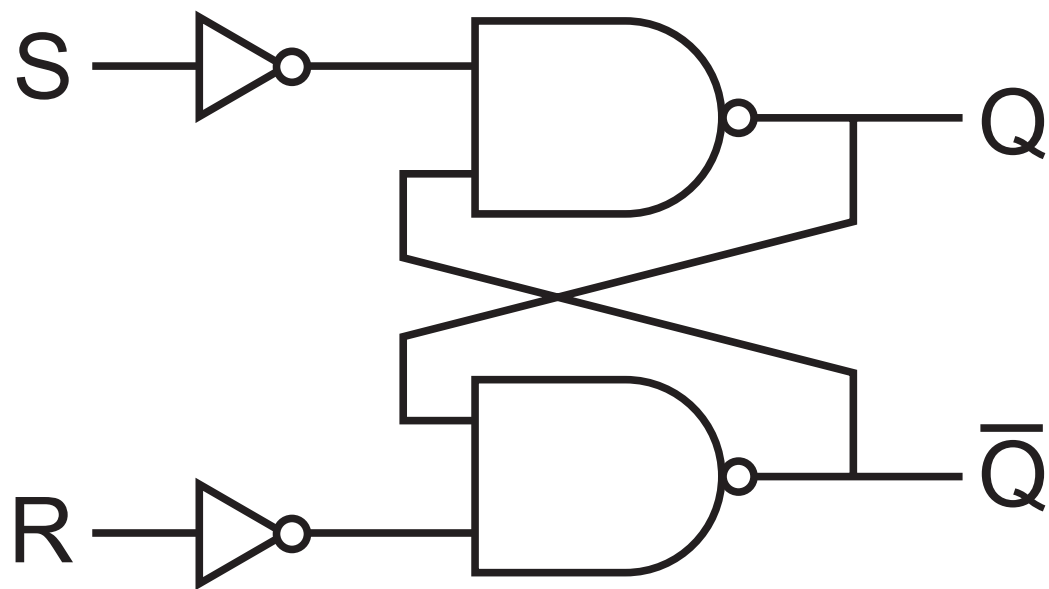
S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
1	0	1
0	1	0
1	1	Indef

Flip-Flops RS



- Existen varias implementaciones posibles de un Flip-Flop RS
- El uso del mismo tipo de compuertas reduce el costo del circuito y su complejidad

Flip-Flops RS



S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
1	0	1
0	1	0
1	1	Indef

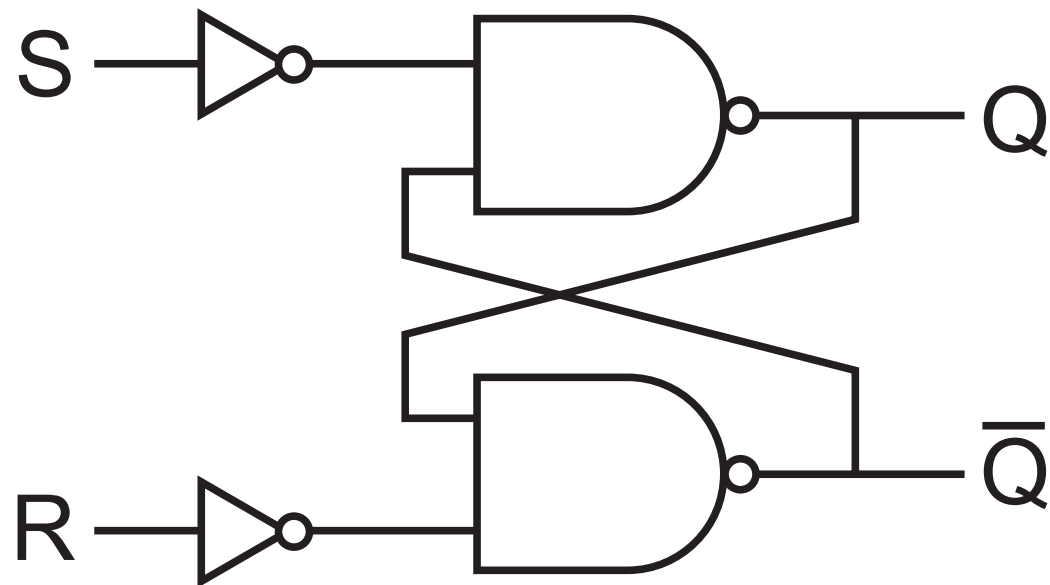
Flip-Flops RS con Clock

- Tiene una entrada adicional (Clock) que habilita/deshabilita el comportamiento del Flip-Flop

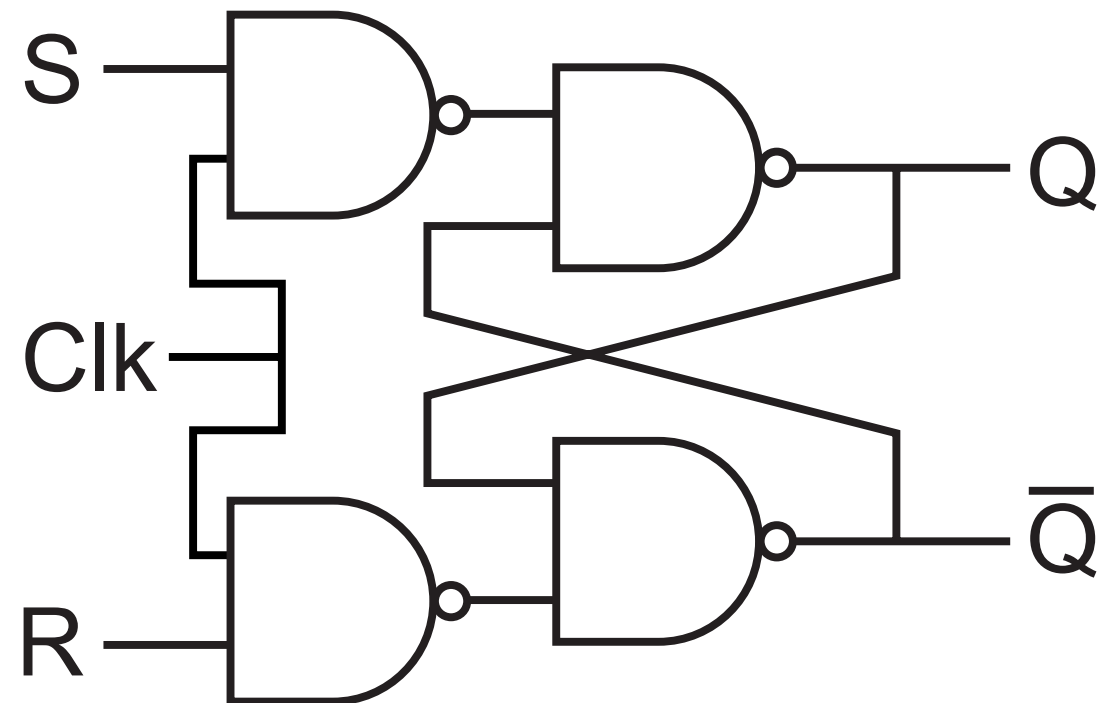
Clk	S	R	Q _{n+1}
0	X	X	Q _n
1	0	0	Q _n
1	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	Indef

Flip-Flops RS con Clock

- Tiene una entrada adicional (Clock) que habilita/des-habilita el comportamiento del Flip-Flop

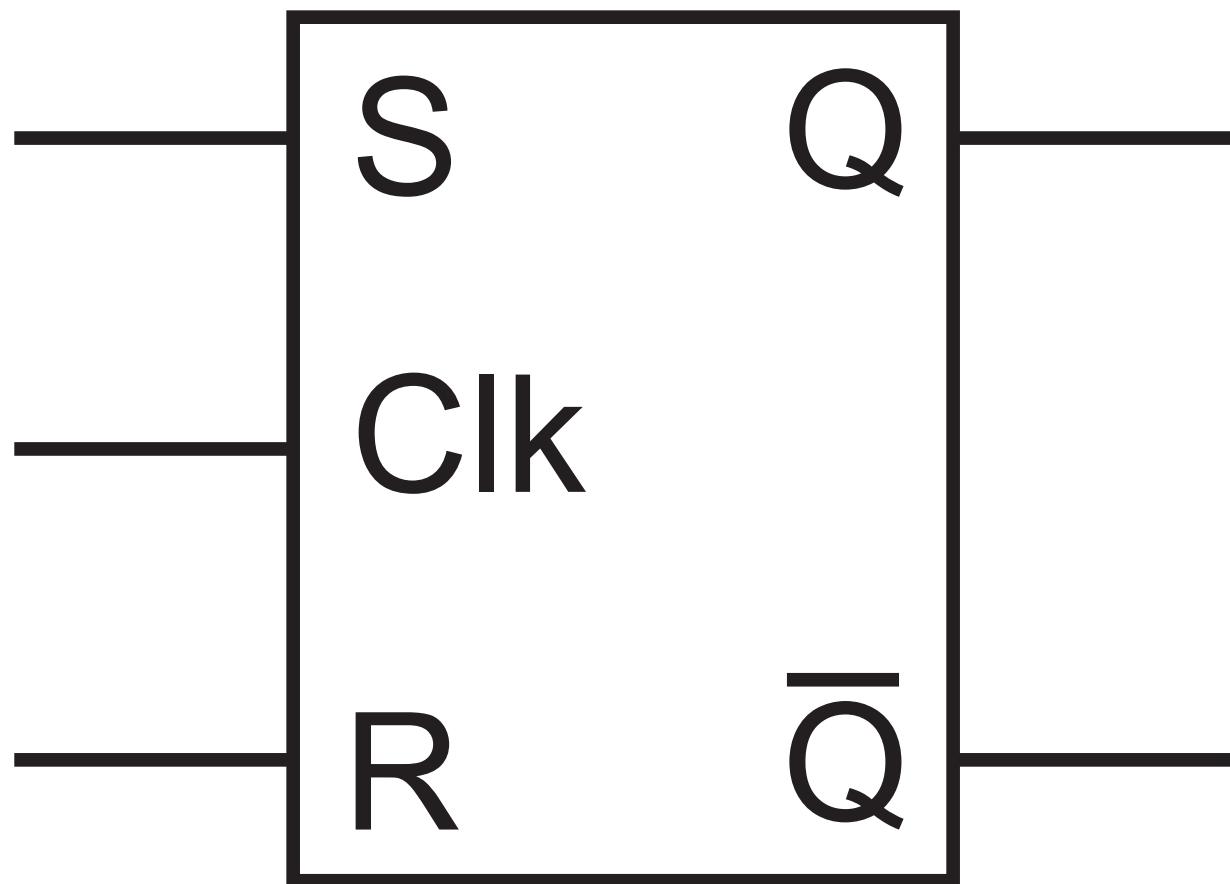


Flip-Flop RS sin Clk



Flip-Flop RS **con** Clk

Flip-Flops RS con Clock



Clk	S	R	Q _{n+1}
0	X	X	Q _n
1	0	0	Q _n
1	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	Indef

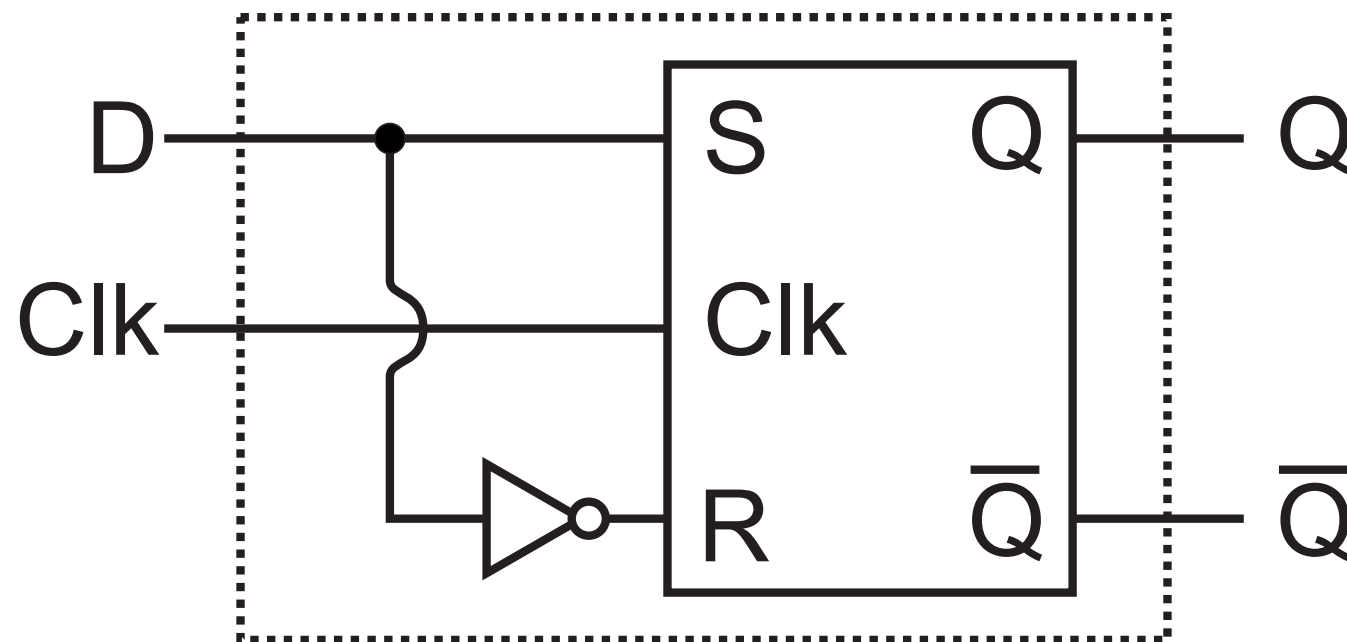
Flip-Flop D (delay)

- Posee una única entrada D.
- La salida Q obtiene el valor de la entrada D cuando la señal de CLK (clock) está activada
- Se especifica con la siguiente tabla característica:

Clk	D	Q _{n+1}
0	X	Q _n
1	0	0
1	1	1

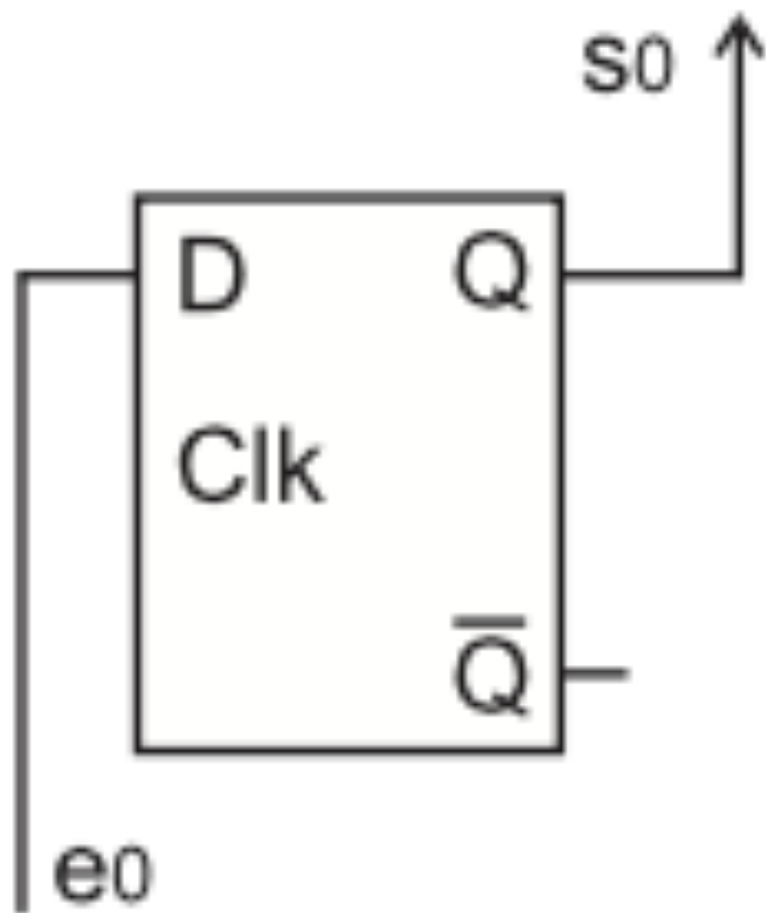
Flip-Flop D (delay)

- Un Flip-Flop D se puede implementar a partir de un Flip Flop RS.



Clk	D	Q_{n+1}
0	X	Q_n
1	0	0
1	1	1

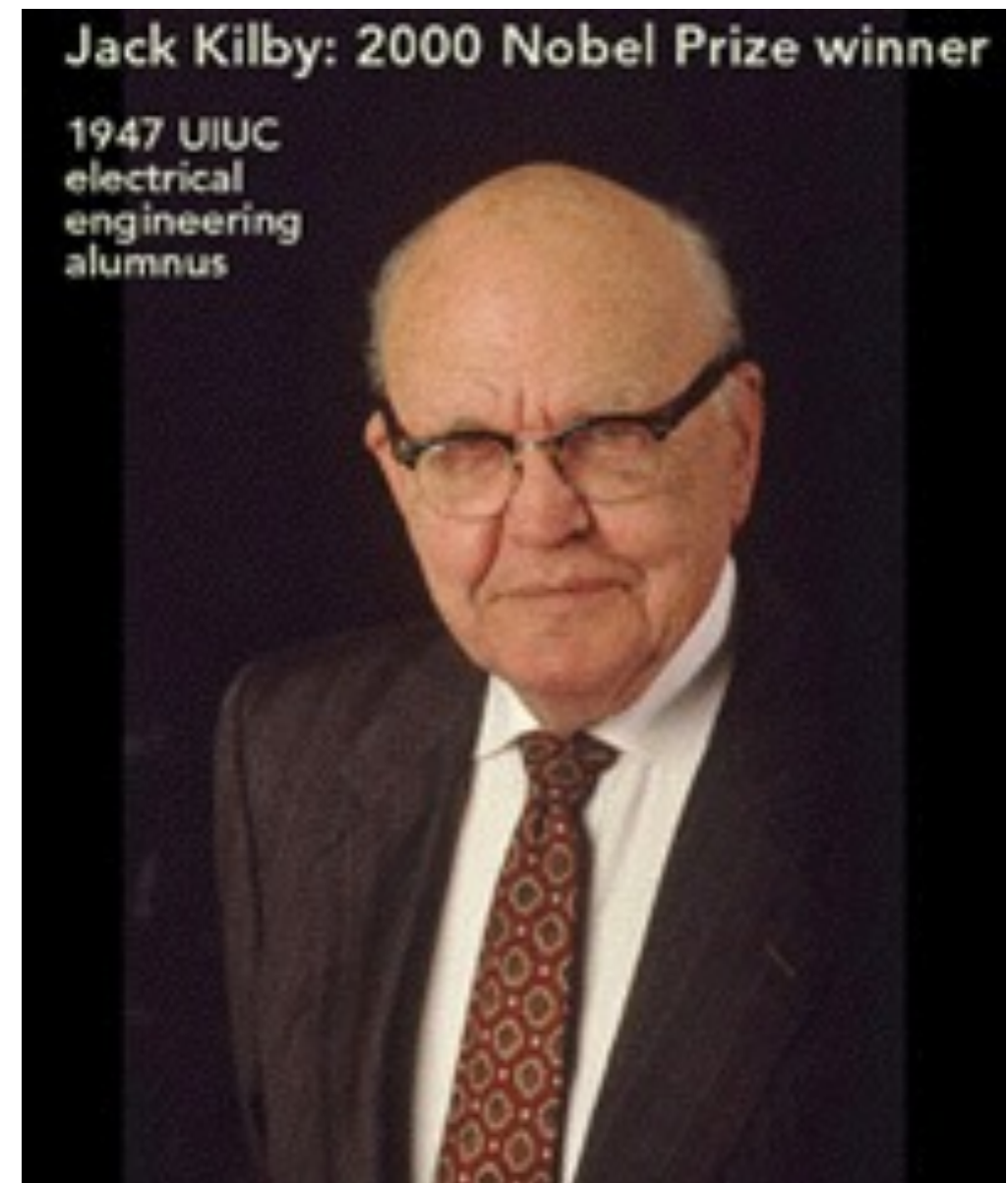
Flip-Flop D



Clk	D	Q _{n+1}
0	X	Q _n
1	0	0
1	1	1

Flip-Flop JK

- Sus entradas son J y K (en honor a Jack Kilby)
- Su comportamiento es similar al Flip-Flop RS, salvo por la entrada $J=1$, $K=1$.
- Se lo considera el Flip-Flop "universal" (los otros Flip-Flops se pueden implementar usando JKs)

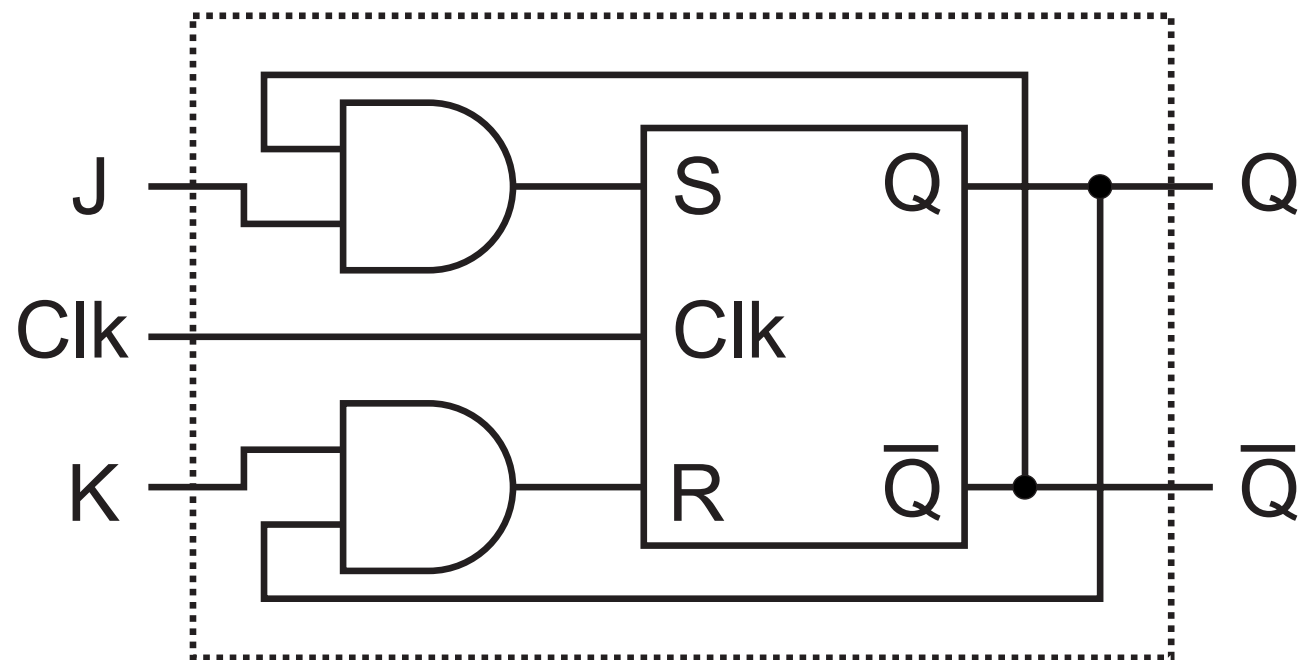


Flip-Flop JK

- Tabla Característica:

Clk	J	K	Q _{n+1}	
0	?	?	Q _n	Deshabilitado
1	0	0	Q _n	
1	1	0	1	Set
1	0	1	0	Reset
1	1	1	~Q _n	Complemento

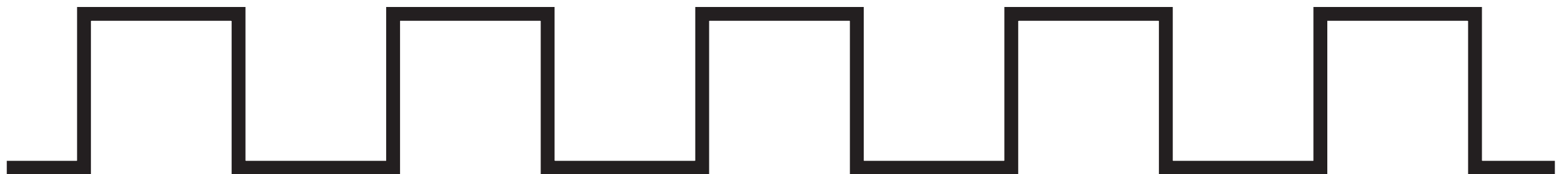
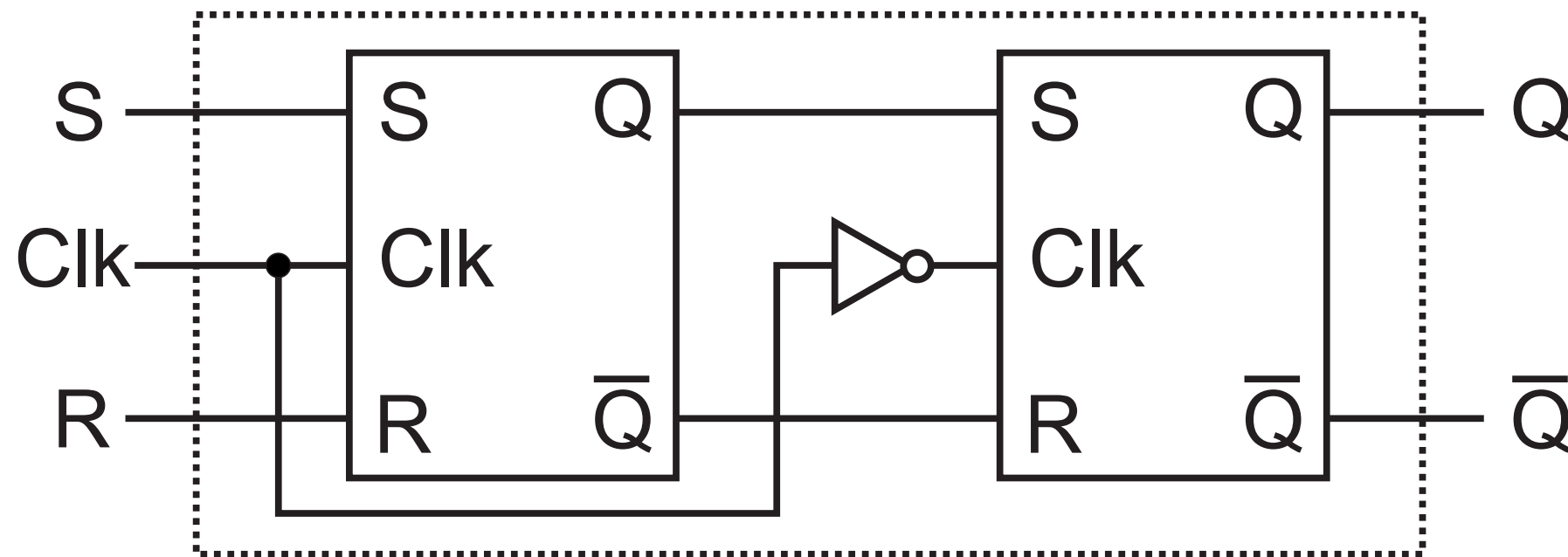
Flip-Flop JK



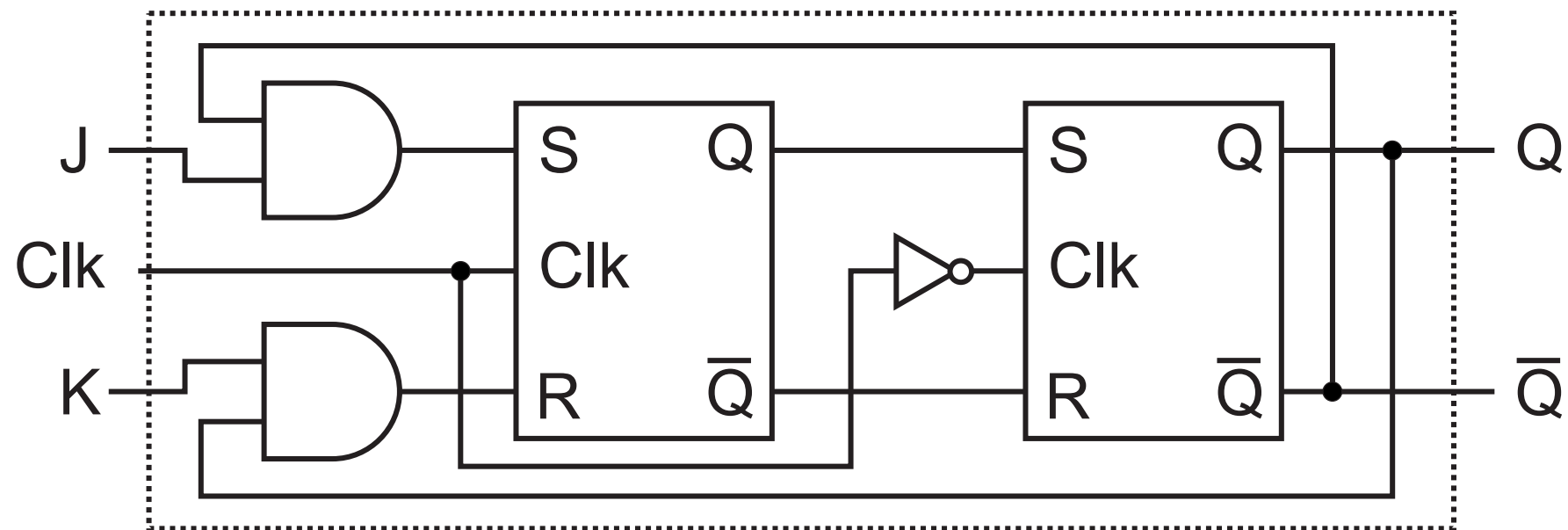
Clk	J	K	Q _{n+1}
0	?	?	Q _n
1	0	0	Q _n
1	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	~Q _n

- Ecuación Característica
- $Q_{n+1} = (J \cdot \sim Q_n) + (\sim K \cdot Q_n)$

Flip-Flop RS activado por flanco

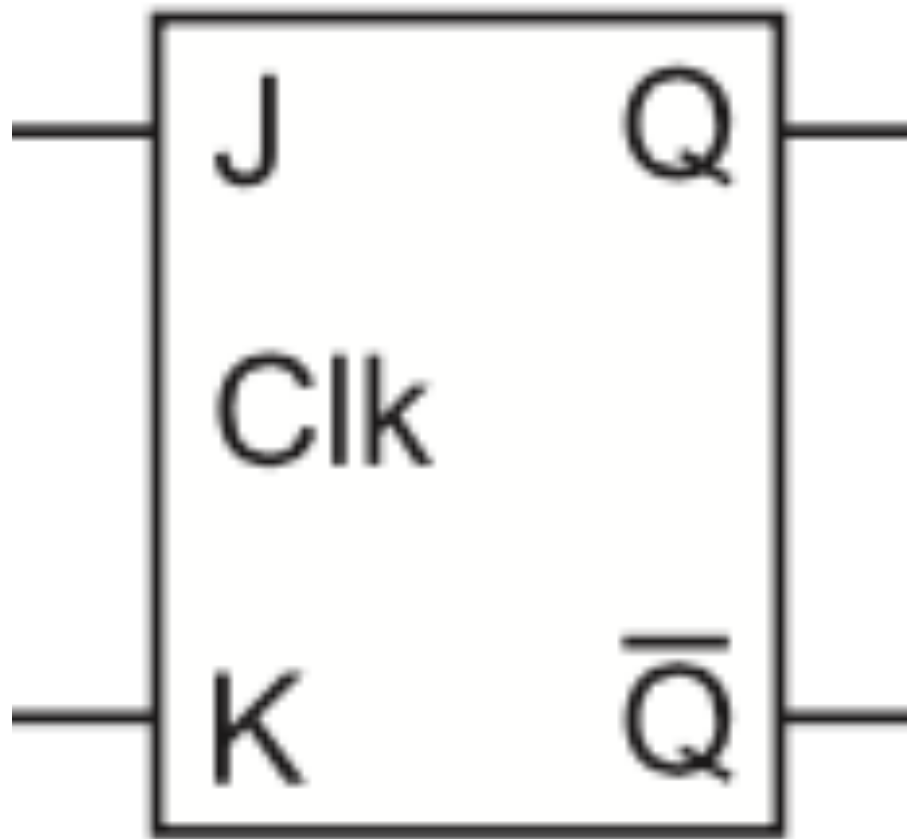

$$\begin{array}{ccccc} & Q_0=0 & Q_0=1 & Q_0=1 & \\ \vdots & & & & \\ & Q_1=0 & Q_1=0 & Q_1=1 & \vdots \end{array}$$

Flip-Flop JK activado por flanco



	J=0	J=1	J=0	
...	$Q_0=0$	$Q_0=1$	$Q_0=1$...
	$Q_1=0$	$Q_1=0$	$Q_1=1$	

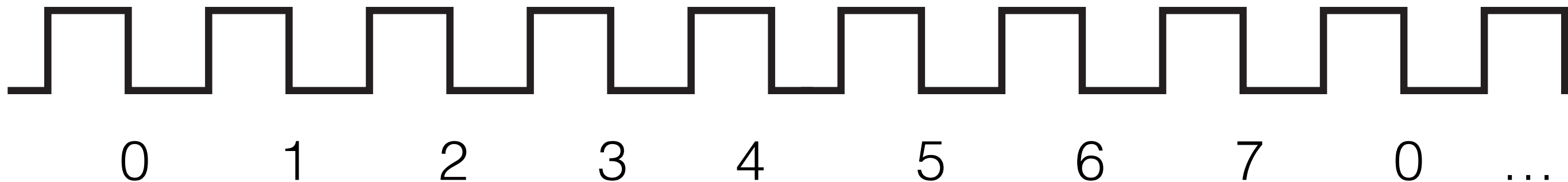
Flip-Flop JK



Clk	J	K	Q _{n+1}
0	?	?	Q _n
1	0	0	Q _n
1	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	~Q _n

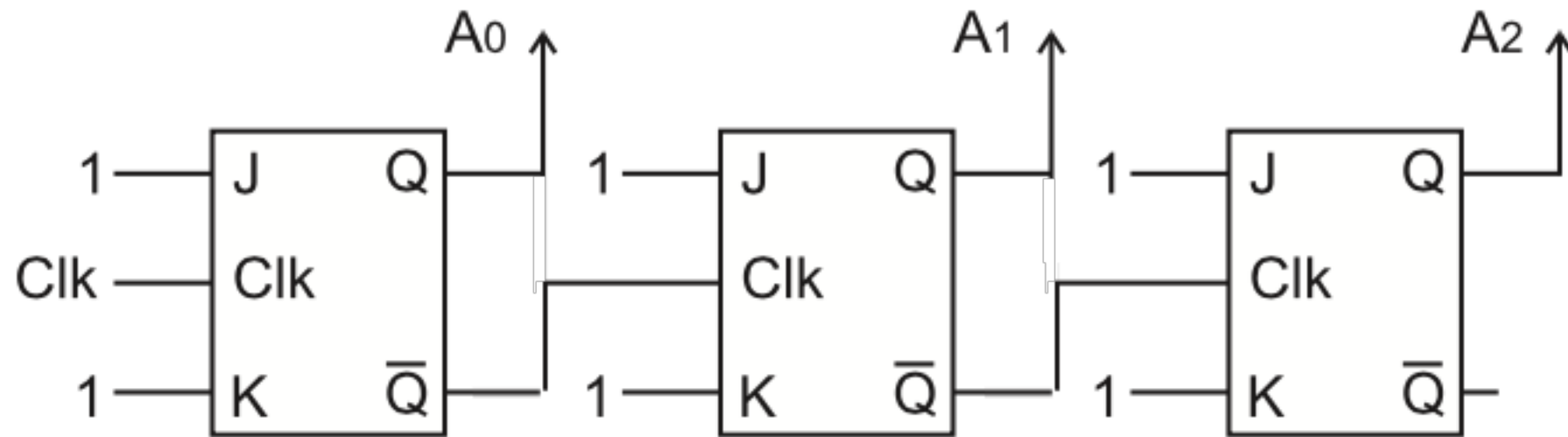
Contadores

- Se desea realizar un circuito secuencial con 3 salidas y una entrada de reloj que cuente la cantidad de ciclos de reloj.

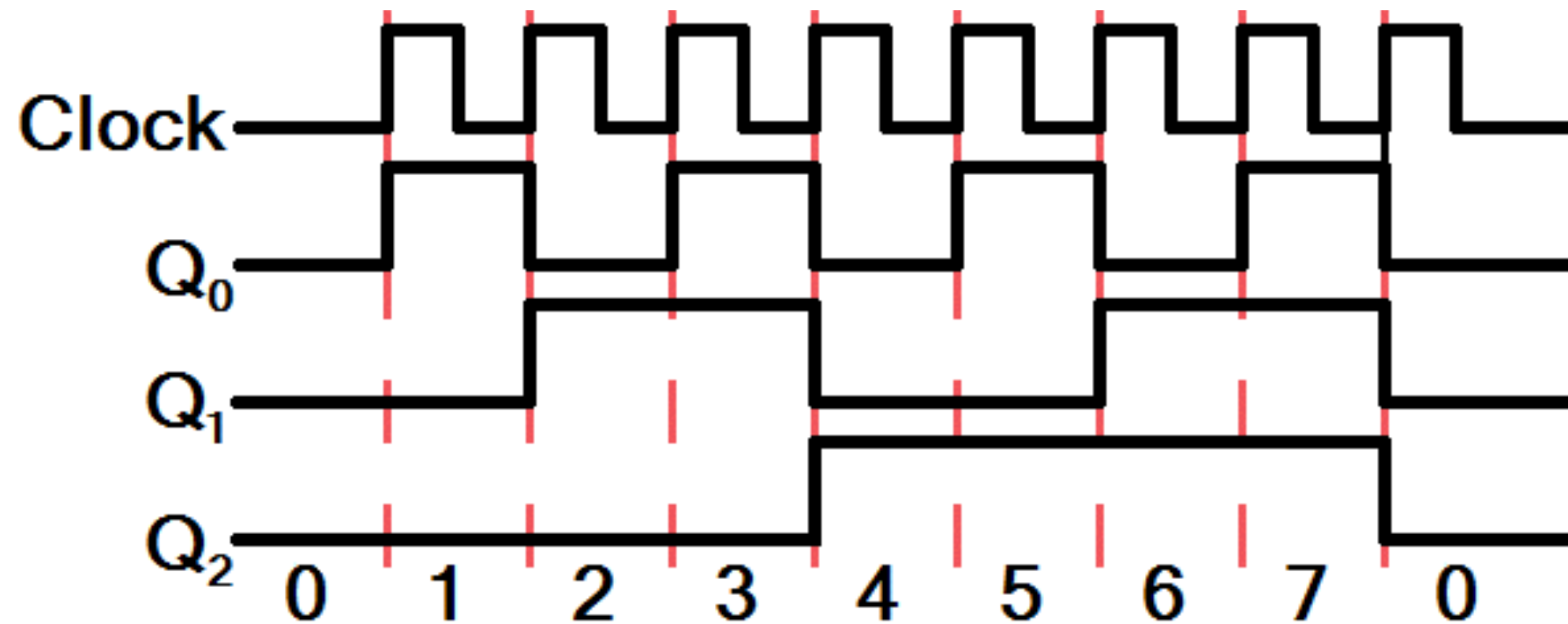
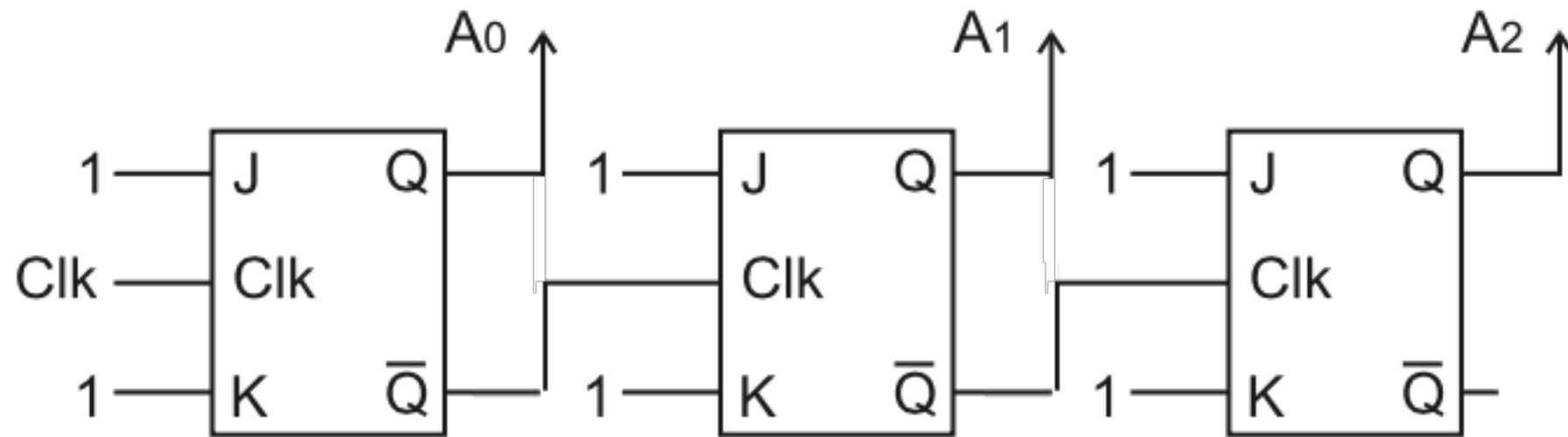


- Usando únicamente Flip-Flops JK

Contadores



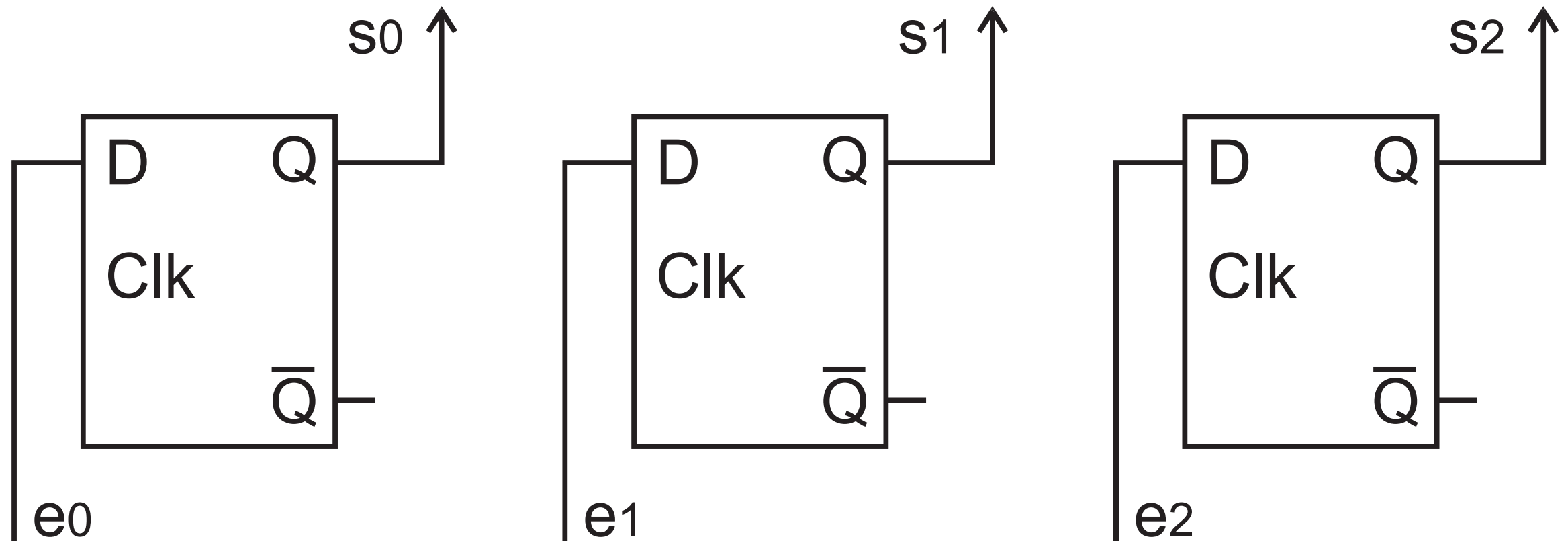
Contadores



Registros

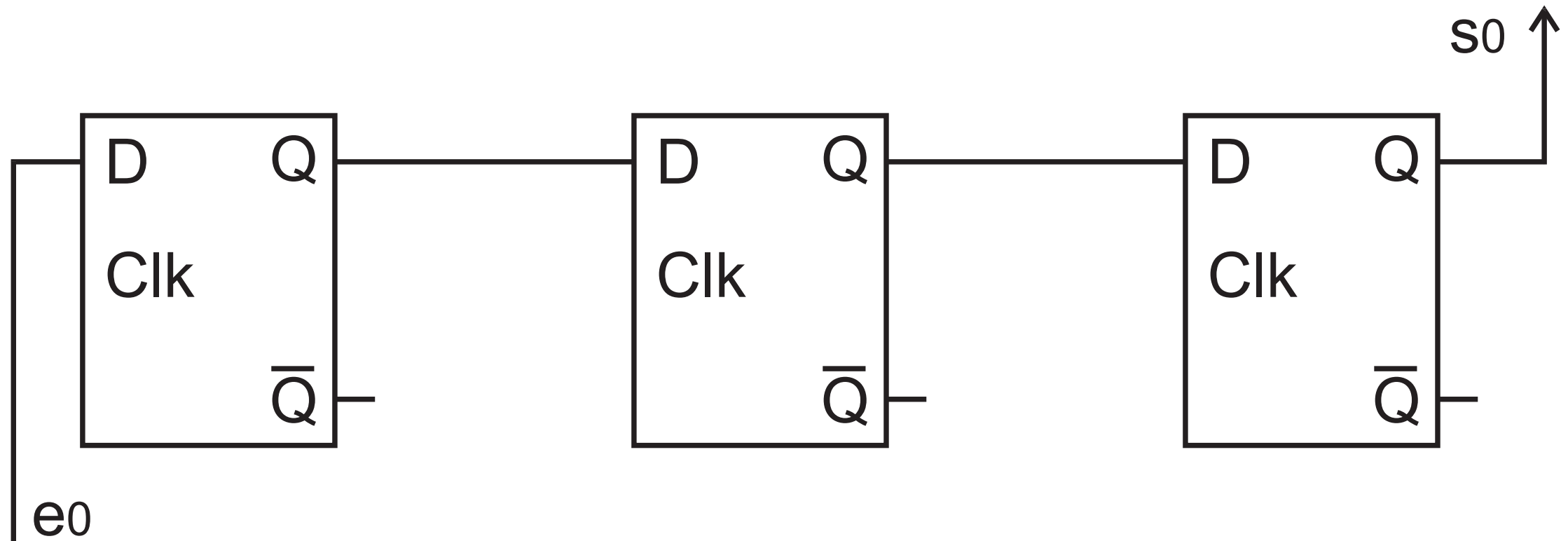
- Un registro es un conjunto de n Flip-Flops asociados, que permiten almacenar temporariamente un grupo de n bits.
- Los tipos de registros dependen de la forma en que los datos son leídos o almacenados.

Registro paralelo-paralelo



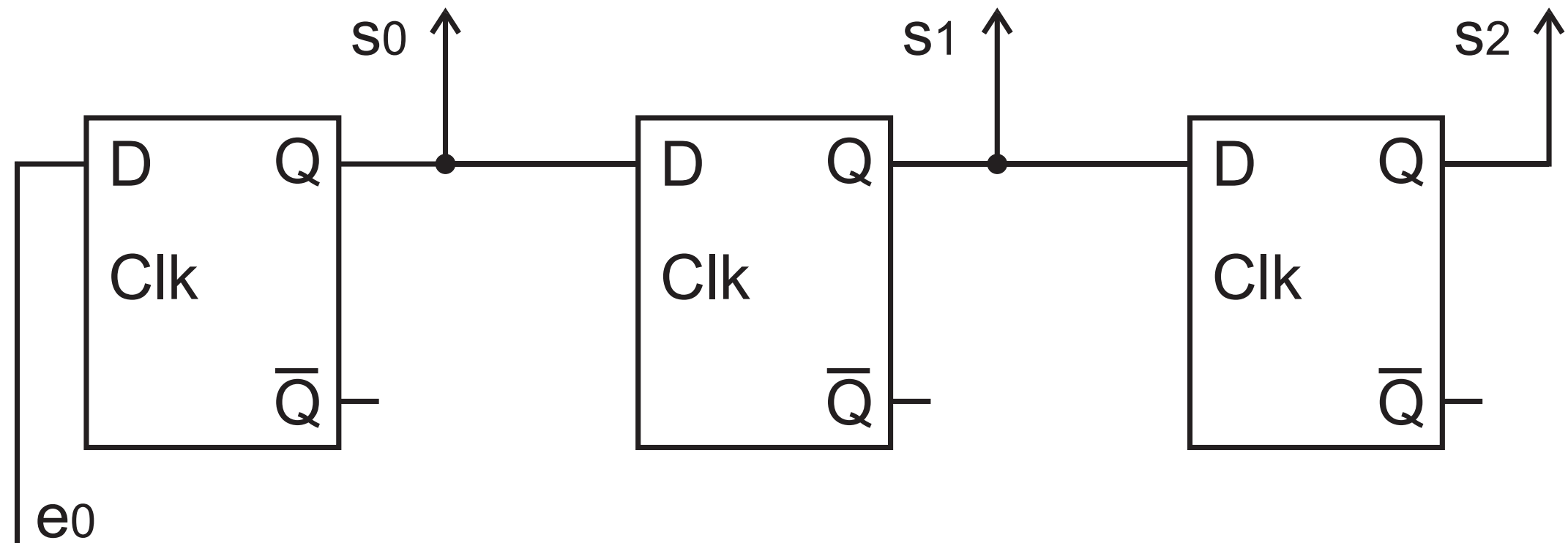
- Escritura: Paralela y Lectura: Paralela
- Almacenamiento (CPU)

Registro serie-serie



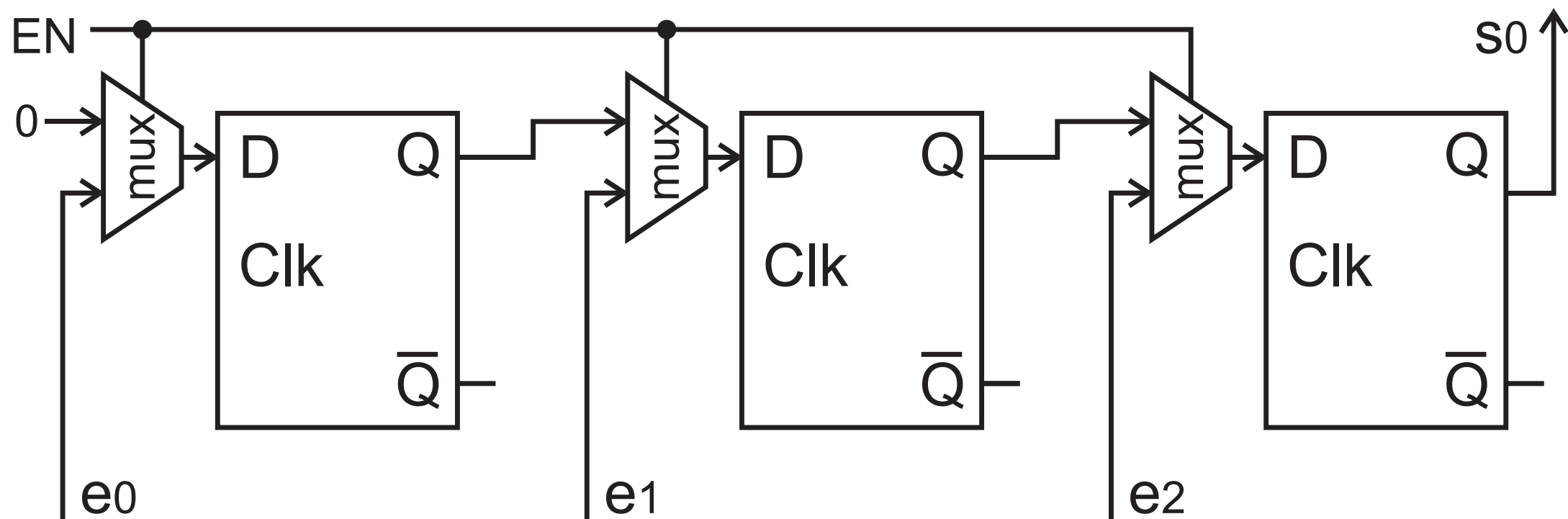
- Escritura Serial y Lectura Serial
- Se utilizan para retardo/sincronización

Registro serie-paralelo



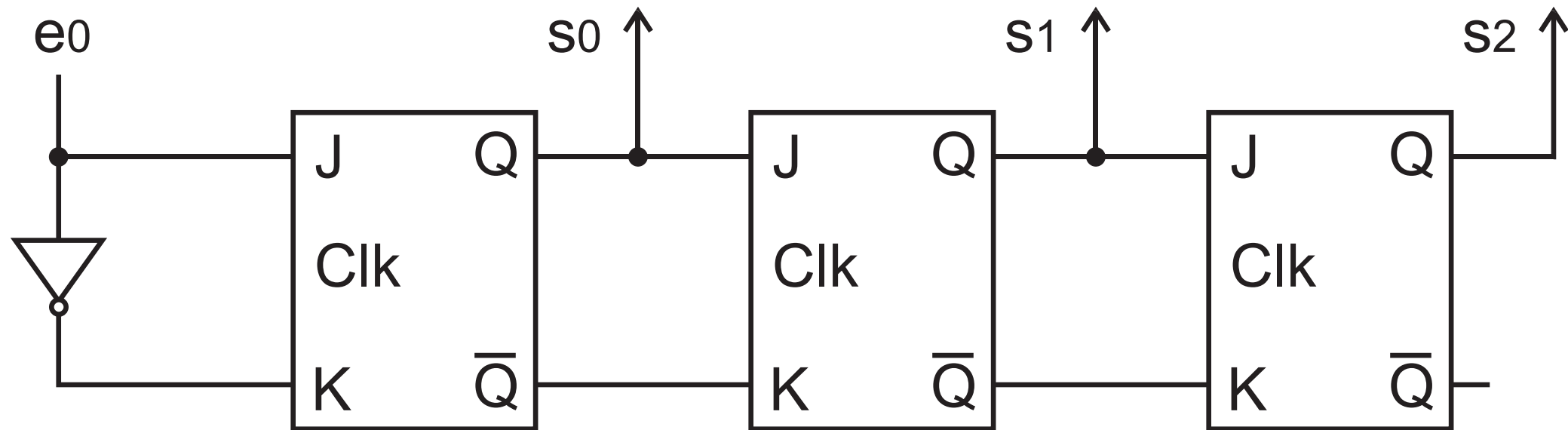
- Escritura Serial y Lectura Paralela
- Transforma una señal serial en paralela

Registro paralelo-serie



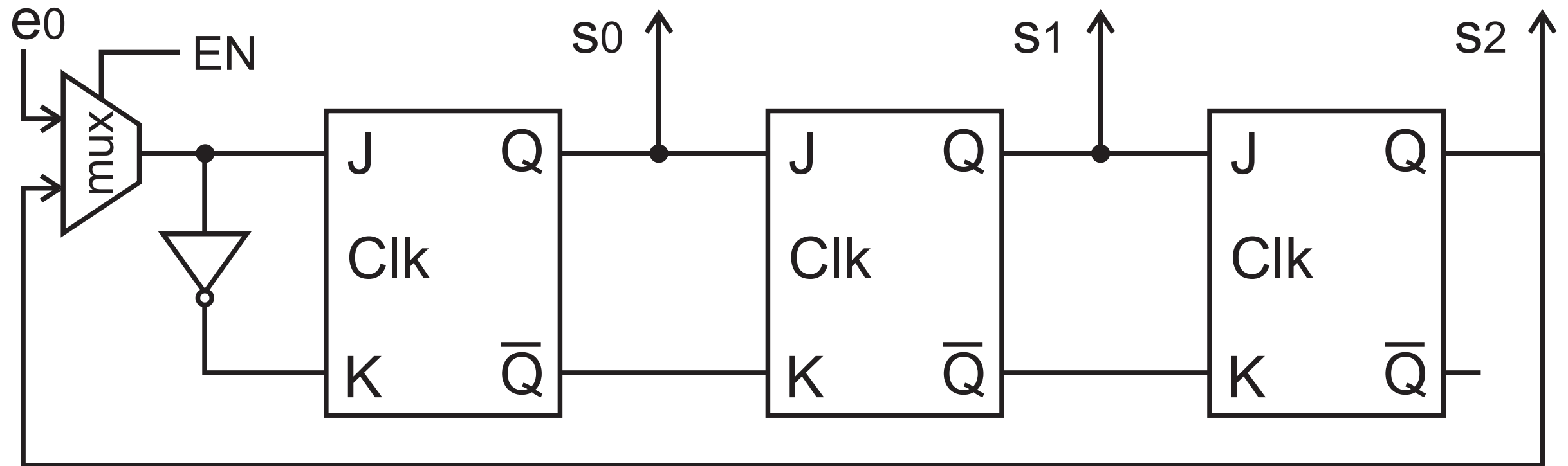
- Escritura Paralela y Lectura Serial
- Transforma una señal paralela en serial

Registro de desplazamiento



- Es el Registro Serie-Paralelo usando Flip-Flops JK en lugar de Flip-Flops D.

Registro de desplazamiento circular



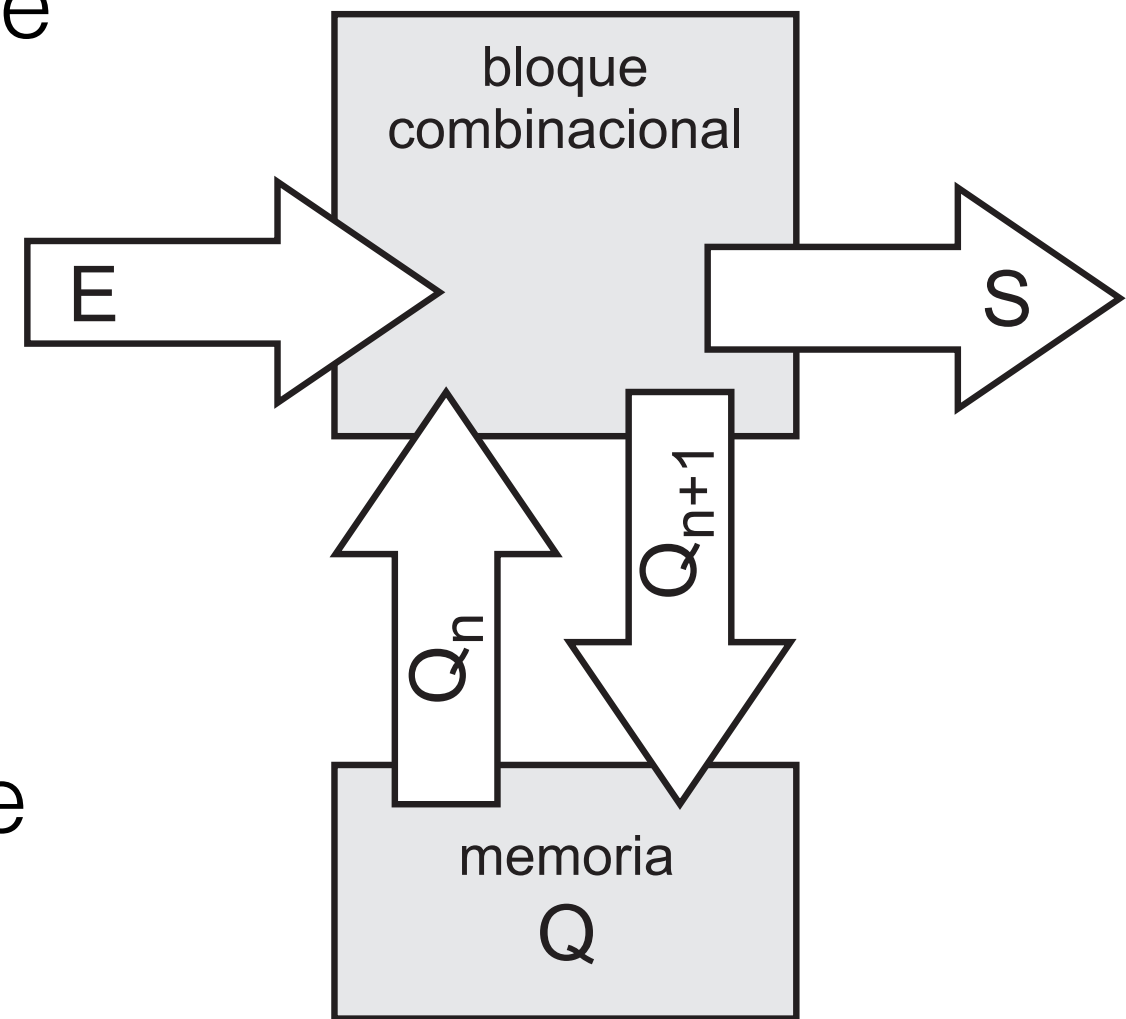
- Posee una entrada de control adicional (EN) para activar tomar el primer bit de e_0 o de s_2 .

Circuitos Secuenciales Genéricos

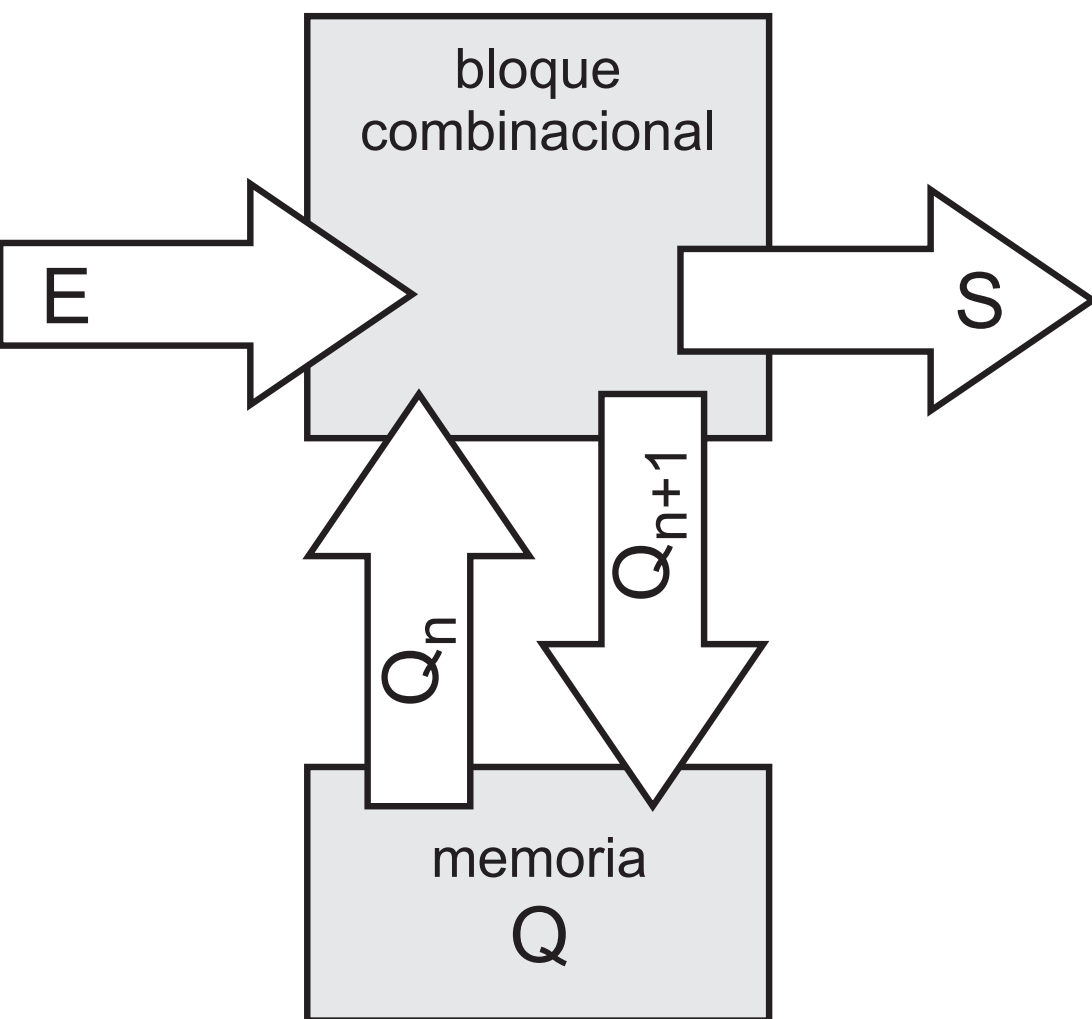
E0	Q0 _n	Q1 _n	S0	Q0 _{n+1}	Q1 _{n+1}
0	0	0	0	0	1
0	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0

Diseñando Circuitos Secuenciales

- Cualquier circuito secuencia se puede separar en 2 partes:
 - Un bloque combinacional
 - Un bloque con memoria
- La memoria almacena bits que determina el estado actual del circuito

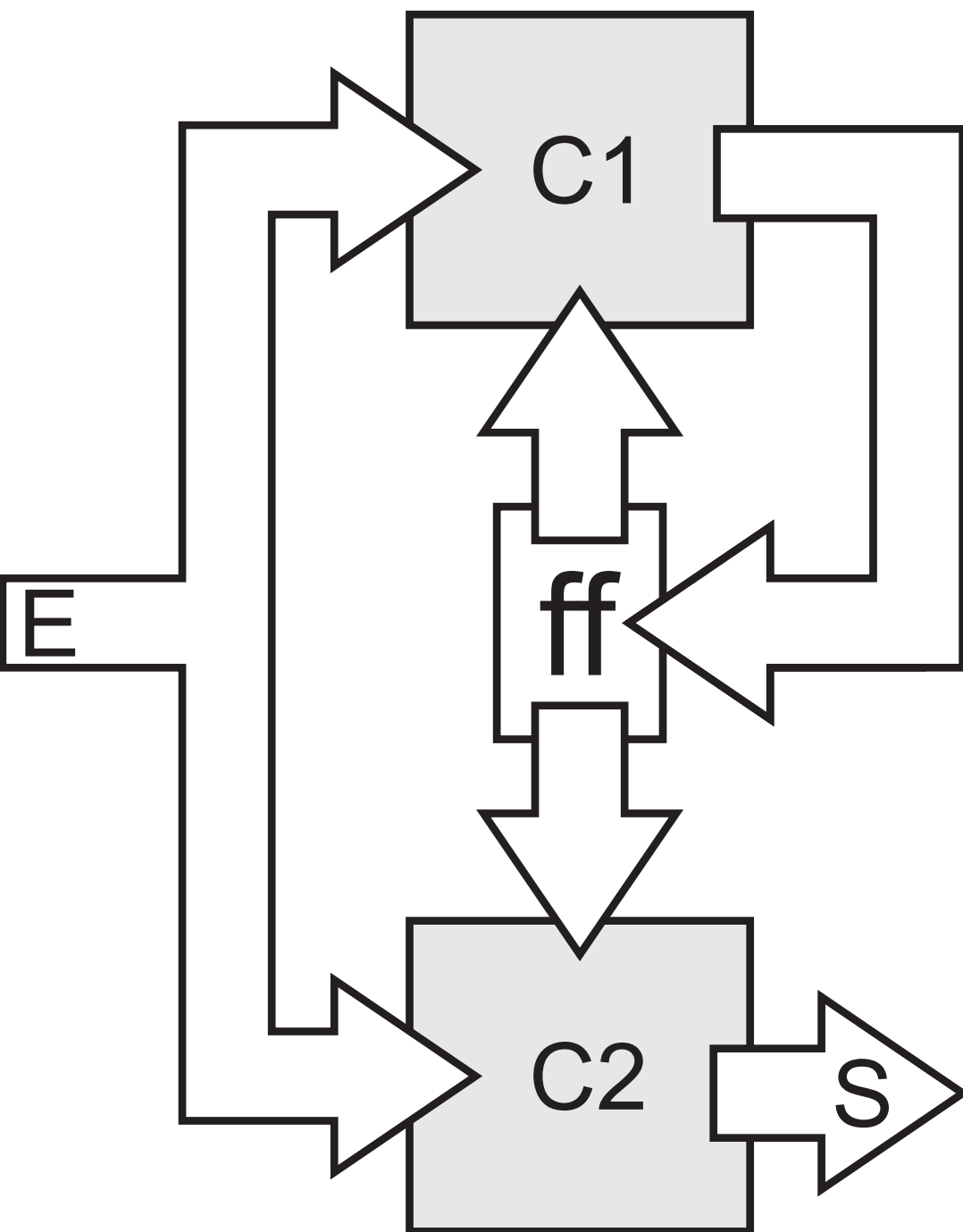


Diseñando Circuitos Secuenciales



- Las entradas del circuito combinaciones son las entradas (E) junto con las salidas de la memoria (Q_n)
- El bloque combinacional genera la salida del circuito (S) y el nuevo estado (Q_{n+1})

Diseñando Circuitos Secuenciales con Flip-Flops



- C1: circuito combinatorial que genera el nuevo estado del circuito
- C2: circuitos combinacionales que genera la salida del circuito
- FF: conjunto de flip-flops que almacena el estado

Circuitos Secuenciales Genéricos

E0	Q0 _n	Q1 _n	S0
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$$s0 = (e0 + q0_n + q1_n) \cdot (\overline{e0} + q0_n + q1_n)$$

Circuitos Secuenciales Genéricos

E0	Q0 _n	Q1 _n	Q0 _{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

$$q0_{n+1} = (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot q1_n) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n})$$

Circuitos Secuenciales Genéricos

E0	Q0 _n	Q1 _n	Q1 _{n+1}
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

$$q1_{n+1} = (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot \overline{q1_n}) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n})$$

Ecuaciones Características

- Nuevos estados

$$q0_{n+1} = (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot q1_n) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n})$$

$$q1_{n+1} = (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot \overline{q1_n}) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n})$$

- Salida del circuito

$$s0 = (e0 + q0_n + q1_n) \cdot (\overline{e0} + q0_n + q1_n)$$

Ecuaciones características

$$q0_{n+1} = (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot q1_n) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n})$$

$$\begin{aligned} q1_{n+1} &= (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot \overline{q1_n}) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n}) \\ &= (\overline{e0} \cdot \overline{q1_n}) \cdot (\overline{q0_n} + q0_n) \\ &= (\overline{e0} \cdot \overline{q1_n}) \cdot 1 \\ &= \overline{e0} \cdot \overline{q1_n} \end{aligned}$$

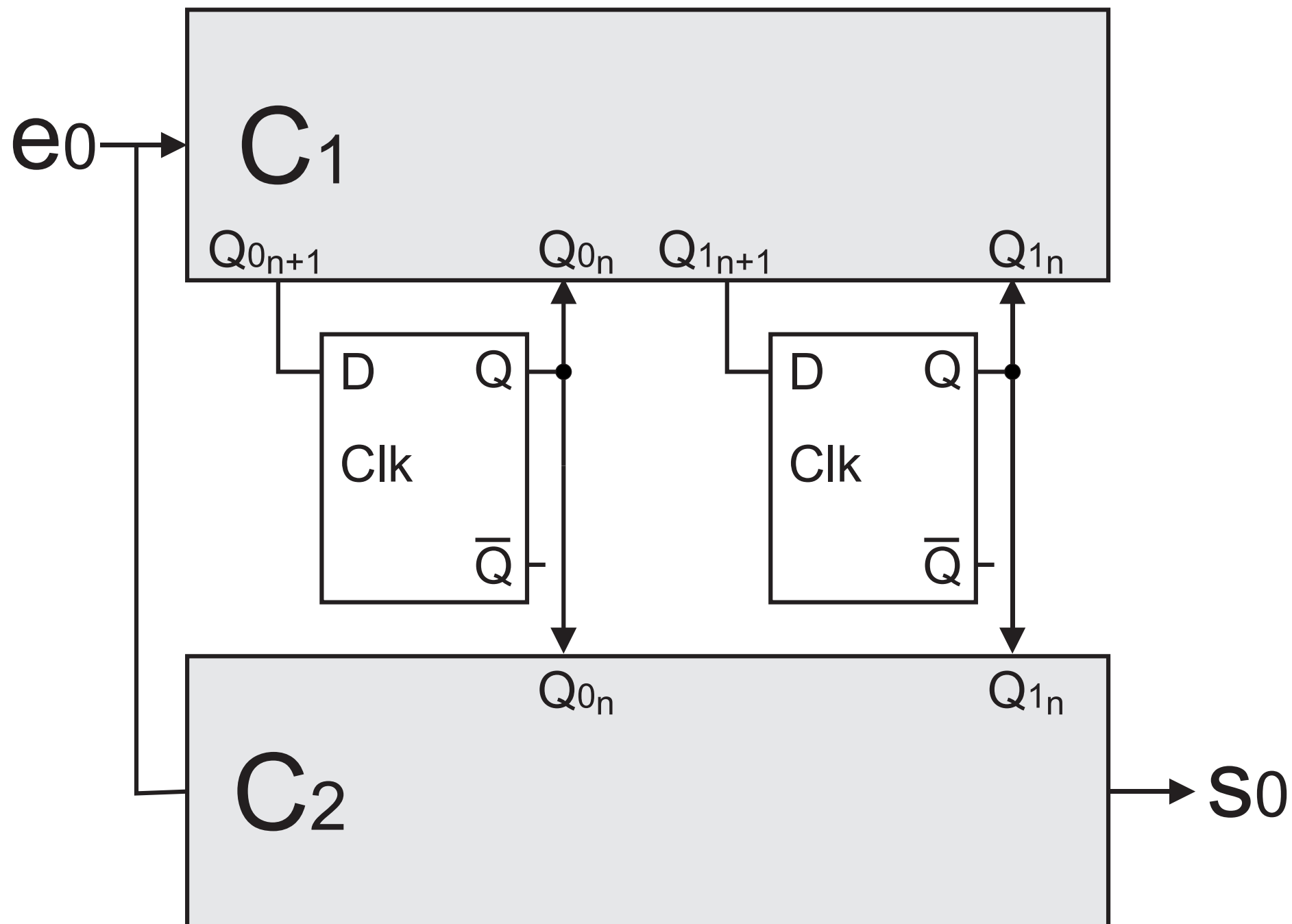
Ecuaciones características

$$\begin{aligned}s0 &= (e0 + q0_n + q1_n) \cdot (\overline{e0} + q0_n + q1_n) \\&= (e0 \cdot \overline{e0}) + (q0_n + q1_n) \\&= 0 + (q0_n + q1_n) \\&= q0_n + q1_n\end{aligned}$$

$$q0_{n+1} = (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot q1_n) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n})$$

$$q1_{n+1} = \overline{e0} \cdot \overline{q1_n}$$

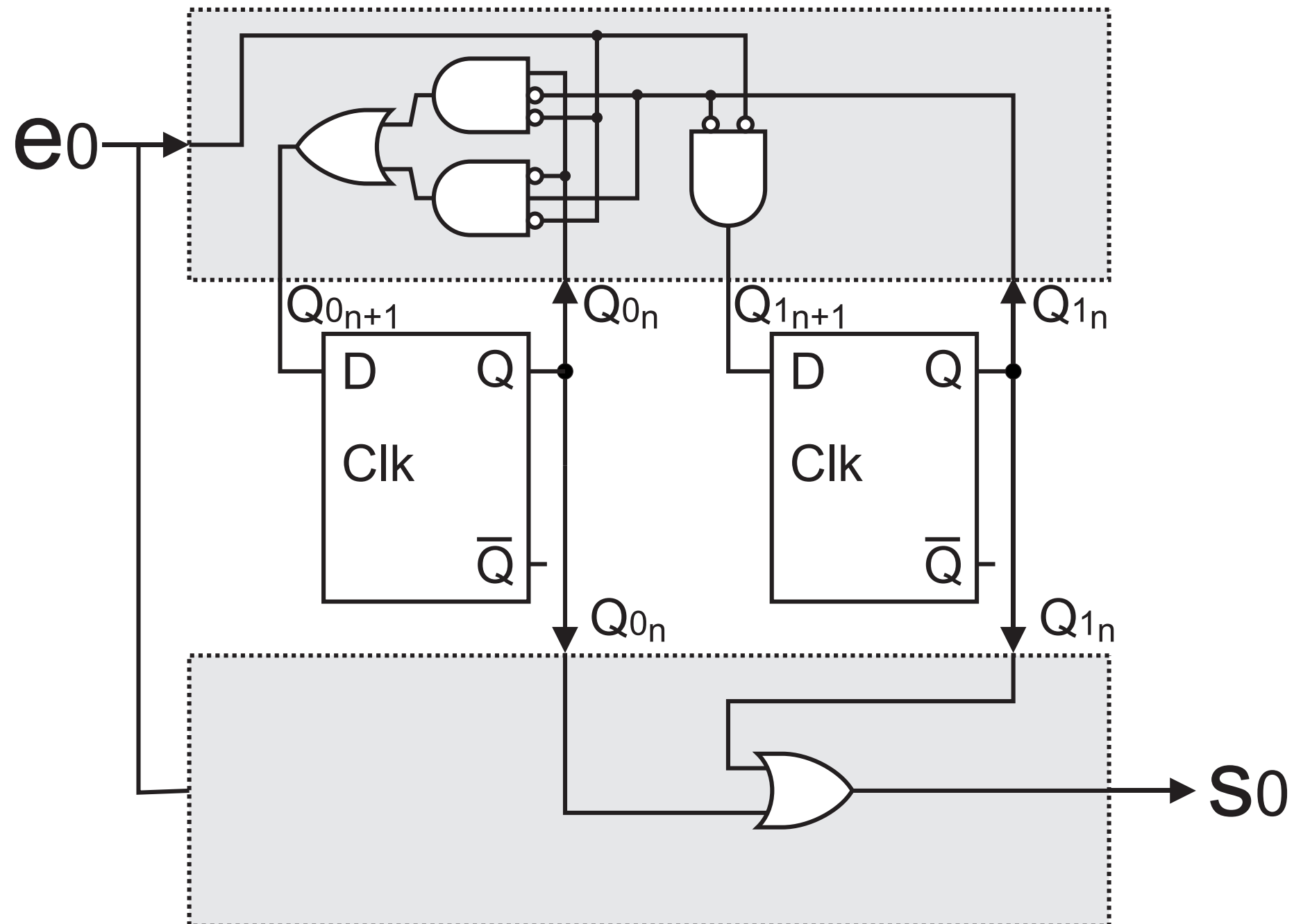
$$s0 = q0_n + q1_n$$



$$q0_{n+1} = (\overline{e0} \cdot \overline{q0_n} \cdot q1_n) + (\overline{e0} \cdot q0_n \cdot \overline{q1_n})$$

$$q1_{n+1} = \overline{e0} \cdot \overline{q1_n}$$

$$s0 = q0_n + q1_n$$



Resumen de hoy

- Circuitos con estado
- Cómo almacenar un bit: circuito secuencial biestable
- Flip-Flops: SR, D, JK, sin/con CLK
- Contadores
- Registros
- Circuitos Secuenciales Genéricos

Bibliografía

- Linda Null, The Essentials of Computer Organization and Architecture, **Capítulo 3**.

