

# Circuitos Secuenciales: Elementos, Componentes y aplicaciones características.

## Introducción

Así como los llamados sistemas combinacionales se caracterizan porque la salida del sistema depende única y exclusivamente del estado de las entradas es ese mismo momento, en los sistemas secuenciales, que estudiaremos a continuación, el estado de la salida dependerá del estado de las entradas en ese instante, así como de lo que sucedió con anterioridad. Por tanto podemos afirmar que estos sistemas son capaces de memorizar, en cierto modo, la información.

Por tanto podemos afirmar que entra a formar parte de la actuación del sistema, la variable "tiempo" ya que una misma combinación de entradas puede producir distintas salidas dependiendo del momento en que se presente.

## Biestables

Los biestables, también llamados Flip-flops, son los circuitos lógicos elementales capaces de almacenar una información binaria.

Se pueden clasificar según:

- Su lógica de disparo:
  - R-S
  - J-K
  - D
  - T
  
- Su tipo de disparo:
  - Por nivel. El sistema es afectado por el estado alto o bajo de la entrada. La entrada se reconoce durante todo el tiempo que se mantenga el nivel.
  - Por flanco. Lo que produce la activación del sistema es la transición de un nivel a otro. Hay dos tipos:
    - Por flanco ascendente
    - Por flanco descendente

- El sincronismo en el disparo:
  - Asíncronos. Los cambios de estado se producen al estar presentes las señales de entrada.
  - Síncronos. Cuando el sistema funciona sincronizado por una señal de reloj.

## Biestable R-S

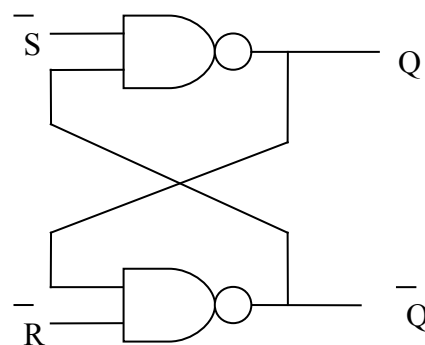
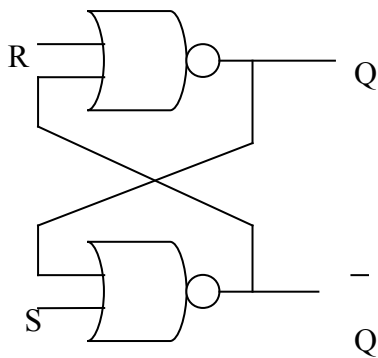
Asíncrono.

Por ser asíncrono cuando cambien las entradas las salidas evolucionaran inmediatamente.

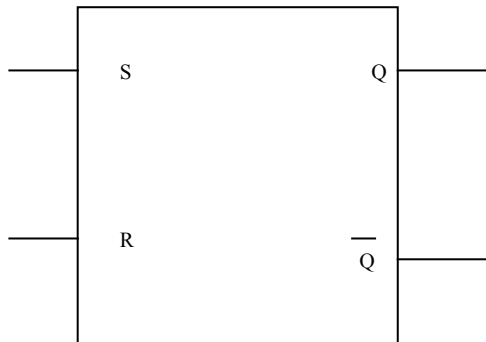
| S | R | $Q_n$     |
|---|---|-----------|
| 0 | 0 | $Q_{n-1}$ |
| 0 | 1 | 0         |
| 1 | 0 | 1         |
| 1 | 1 | X         |

La S viene de "SET" o puesta a 1 y la R de "RESET" o puesta a 0

Se puede implementar tanto con puertas NAND como con NOR



Se suele representar por:



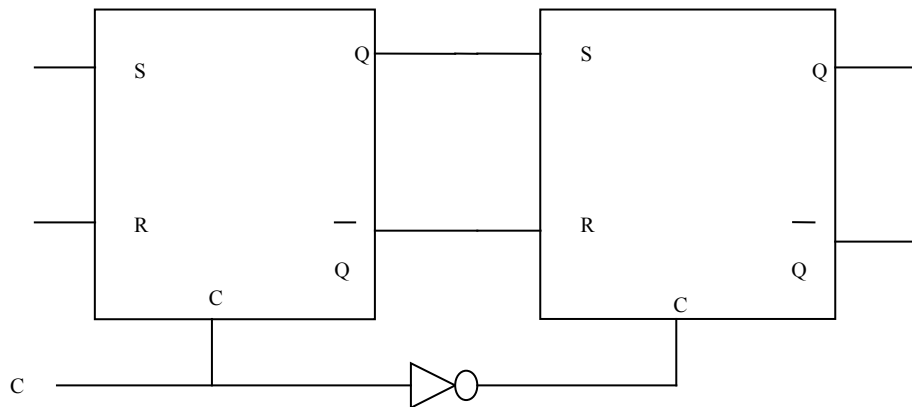
Síncrono.

Las salidas evolucionan en función de las entradas igual que en las asíncronas salvo que se activan tan solo en presencia de una señal de reloj.

| C | S | R | Q         |
|---|---|---|-----------|
| 0 | 0 | 0 | $Q_{n-1}$ |
| 0 | 0 | 1 | $Q_{n-1}$ |
| 0 | 1 | 0 | $Q_{n-1}$ |
| 0 | 1 | 1 | $Q_{n-1}$ |
| 1 | 0 | 0 | $Q_{n-1}$ |
| 1 | 0 | 1 | 0         |
| 1 | 1 | 0 | 1         |
| 1 | 1 | 1 | X         |

| C | S | R | Q         |
|---|---|---|-----------|
| 0 | x | x | $Q_{n-1}$ |
| 1 | 0 | 0 | $Q_{n-1}$ |
| 1 | 0 | 1 | 0         |
| 1 | 1 | 0 | 1         |
| 1 | 1 | 1 | X         |

Hay una configuración muy típica llamada Master-Slave que corresponde a una estructura formada por dos biestables conectados en cascada. La entrada se carga en el primer biestable cuando la señal de reloj tiene un determinado nivel, y pasa al segundo en el otro nivel, activándose así la salida.



Los biestables independientemente de su tipo se pueden caracterizar por:

- **Tiempo de asentamiento.** Tiempo mínimo durante el cual han de mantenerse las entradas síncronas, antes de la aparición de la señal de reloj para que puedan ser reconocidas por los circuitos.
- **Tiempo de retención.** Tiempo mínimo durante el cual ha de permanecer la señal en las entradas síncronas después de la aparición de la señal de reloj para que estas sean reconocidas por el circuito.
- **Tiempo de retardo o propagación.** Es aquel que transcurre entre la activación de las entradas y la aparición de la salida correspondiente.

## Biestable J-K

### Asíncrono

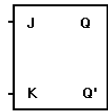
Evita el estado prohibido que presentaba el anterior haciendo que en el caso  $S=R=1$  la salida  $Q=Q'_{n-1}$

Su tabla de verdad sería:

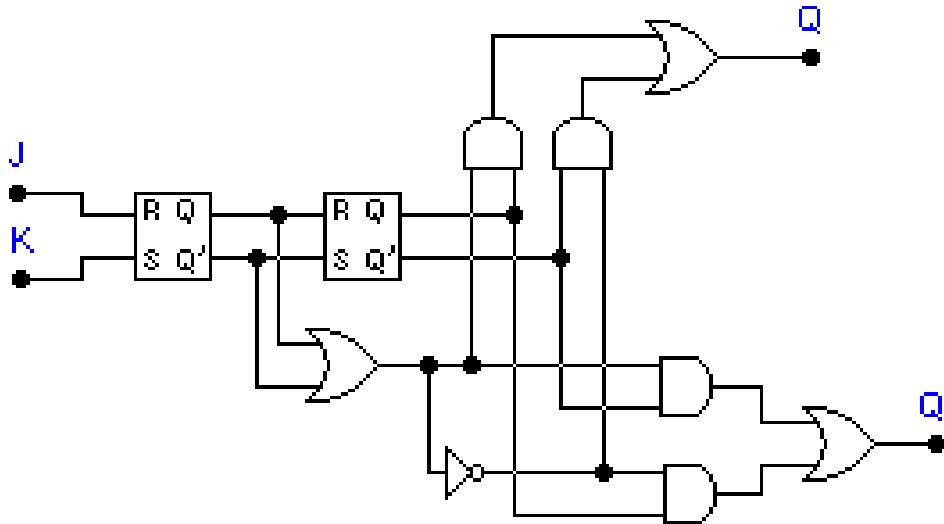
| J | K | Q          |
|---|---|------------|
| 0 | 0 | $Q_{N-1}$  |
| 0 | 1 | 0          |
| 1 | 0 | 1          |
| 1 | 1 | $Q_{N-1}'$ |

La tabla de verdad es análoga identificando  $S=J$  y  $R=K$  salvo en el estado  $S=R=1$  anteriormente comentado.

Implementado con puertas lógicas sería:



Su implementación podría ser la siguiente:



### Síncrono

El biestable JK síncrono tendría una tabla de verdad análoga a la del asíncrono pero con la salvedad de que el dispositivo se activa con la señal de reloj. Así para un JK activado por reloj a nivel alto tendríamos la tabla de verdad:

| J | K | Clock | Q          |
|---|---|-------|------------|
| 0 | 0 | 0     | $Q_{N-1}$  |
| 0 | 0 | 1     | $Q_{N-1}$  |
| 0 | 1 | 0     | $Q_{N-1}$  |
| 0 | 1 | 1     | 0          |
| 1 | 0 | 0     | $Q_{N-1}$  |
| 1 | 0 | 1     | 1          |
| 1 | 1 | 0     | $Q_{N-1}$  |
| 1 | 1 | 1     | $Q'_{N-1}$ |

## Biestable D

Es siempre síncrono.

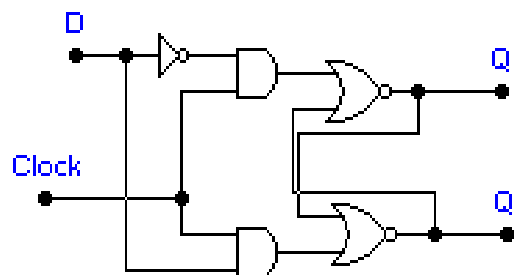
Tiene una entrada de información D, una de sincronismo C y dos salidas complementarias Q y Q'.

Q toma el valor de D en el nivel alto de reloj (o en el flanco de subida o de bajada, según sea el caso) y lo mantiene en el nivel bajo. Por esta característica es por la que se le llama biestable de cerrojo o "latch".

Su tabla de verdad sería:

| D | C | Q         |
|---|---|-----------|
| x | 0 | $Q_{N-1}$ |
| 0 | 1 | 0         |
| 1 | 1 | 1         |

Se podría implementar de la siguiente manera:

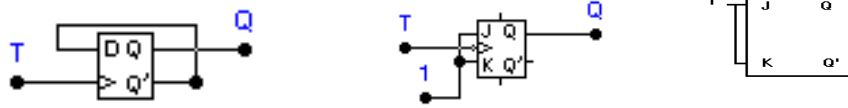


## Biestable T

Este biestable cambia su estado de salida cada vez que en su entrada aparece un uno. De manera que su tabla de verdad sería:

| T | Q          |
|---|------------|
| 0 | $Q_{N-1}$  |
| 1 | $Q'_{N-1}$ |

Hay varias formas de implementarlo:



## Tabla de transiciones

Hasta ahora hemos utilizado las tablas de excitación en las que la salida es función de la entrada. Pero muchas veces, a la hora de hacer diseños concretos, es más útil saber que debemos introducir al biestable para que evolucione de un estado concreto a otro. Esto aparece en las tablas de transición.

| $Q_n$ | $Q_{n+1}$ | J | K | D | T |
|-------|-----------|---|---|---|---|
| 0     | 0         | 0 | X | 0 | 0 |
| 0     | 1         | 1 | X | 1 | 1 |
| 1     | 0         | X | 1 | 0 | 1 |
| 1     | 1         | X | 0 | 1 | 0 |

## Aplicaciones características

### Registros

Son unidades de memoria cuya función suele ser el almacenamiento temporal de la información.

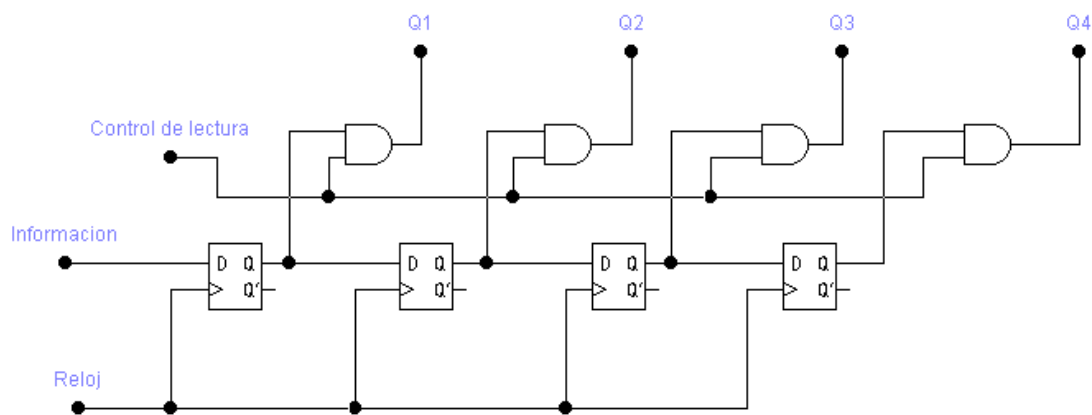
Pueden clasificarse:

- ❖ Por su modo de funcionamiento en:
  - ❖ **Estáticos.** Su estado puede mantenerse de un modo indefinido mientras mantengamos la alimentación (TTL o MOS)
  - ❖ **Dinámicos.** La información no puede ser retenida mucho tiempo por lo que se actualiza constantemente (MOS, la información se almacena en la capacidad puerta sustrato)
- ❖ Por el modo de adquirir y dar información en:
  - ❖ **Paralelo-paralelo.** La información es cargada y dada en paralelo
  - ❖ **Paralelo-serie.** La información se carga en paralelo y se da en serie.

- ❖ **Serie-paralelo.** La información se adquiere en serie y se da en paralelo
- ❖ **Serie-serie.** La información es tanto adquirida como dada en serie.

Los tres últimos tipos se llaman registros de desplazamiento. Reciben este nombre porque constan esencialmente de una cadena de biestables conectadas en cascada, de forma que la salida de uno es la entrada del siguiente, entre las cuales puede desplazarse la información en uno u otro sentido.

A modo de ejemplo hagamos un registro de desplazamiento serie-paralelo de cuatro bits.



También En estos circuitos suele haber una entrada PRESET y otra CLEAR para poner los biestables a 1 o a 0 si nos conviene.

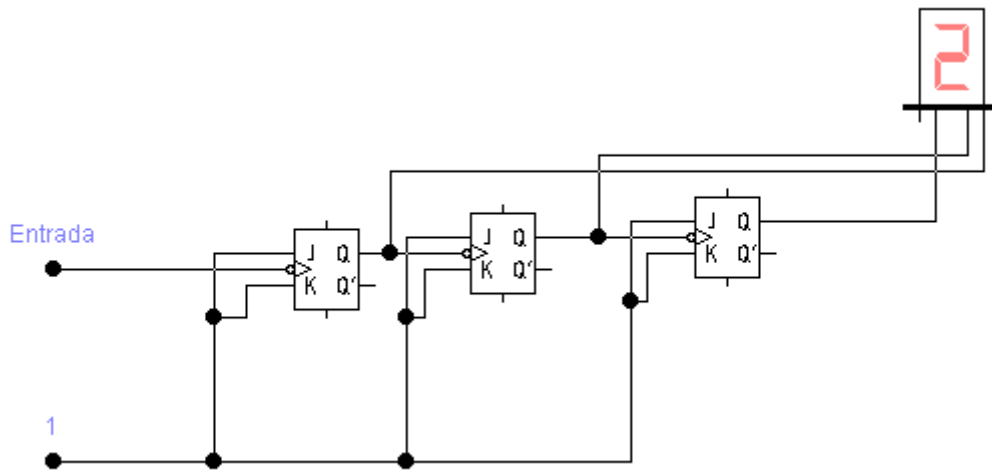
## Contadores

Son sistemas secuenciales que poseen una entrada de impulsos y cuyos estados representan el número de impulsos que se has dado (el n° máximo de impulsos a contar por un contador formado por N biestables es  $2^N$ )

Se pueden clasificar en:

- **Asíncronos.** Los impulsos a contar se aplican generalmente al primer biestable, evolucionando cada uno de los demás de acuerdo con la salida del anterior. Se suelen usar como divisores de frecuencia o como contadores.





Aplicando la lógica apropiada se pueden conseguir contadores con diversas propiedades como: contadores de décadas, de módulo variable (se realiza introduciendo unas puertas OR-EXCLUSIVAS en las salidas por las que introducir el número de cuenta deseado) o contadores reversibles.

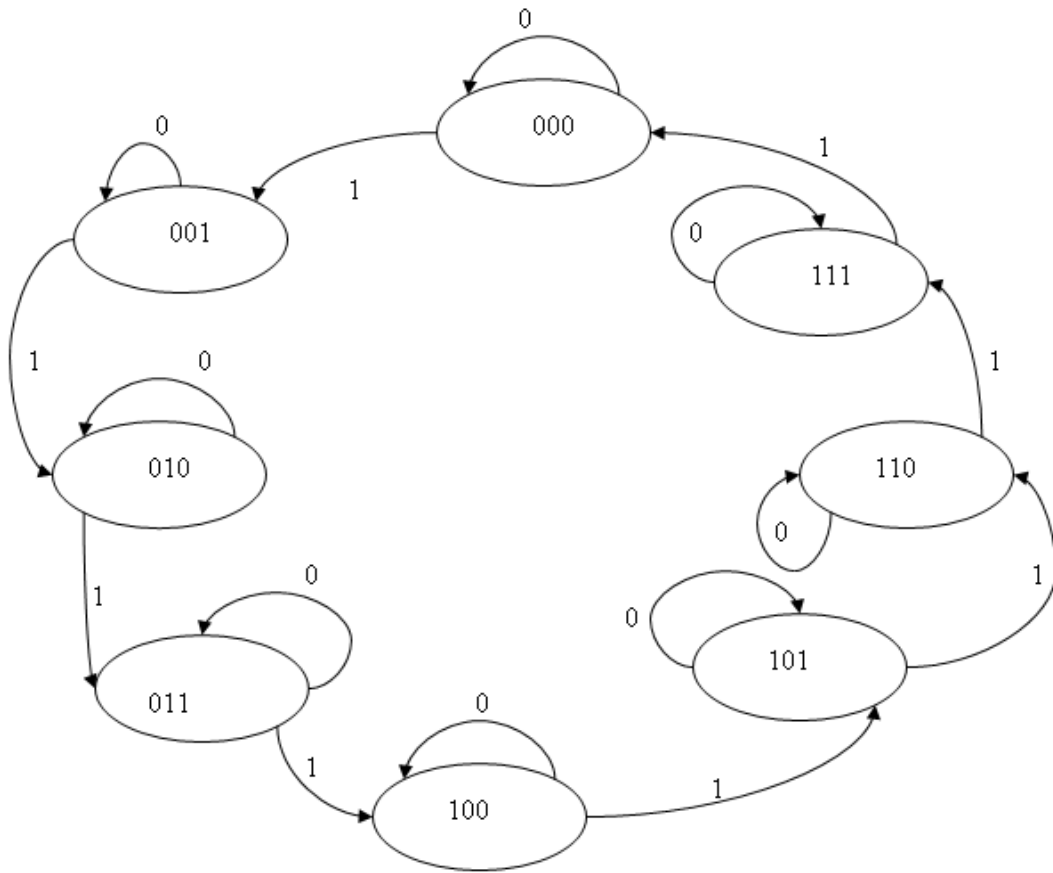
Estos contadores tienen muy limitada su velocidad porque el retardo es la suma de todas las puertas, lo cual es un grave inconveniente cuando se desea trabajar a altas frecuencias.

- **Síncronos.** En ellos la señal de reloj es la misma para todos y las entradas procederán de alguna combinación de la salida de los otros biestables. Por esto son mucho más rápidos que los anteriores.

El diseño de estos sistemas se suele hacer acudiendo a la teoría de autómatas finitos. Concretamente esta contempla dos tipos de máquinas: las de Mealy y las de Moore; y los contadores son máquinas de Moore.

Como ejemplo vamos a proponernos implementar un contador síncrono de módulo ocho.

El diagrama de estados sería:



Construyamos ahora la tabla de transiciones si lo diseñamos con biestables JK

$2^n=8 \Rightarrow n=3 \Rightarrow$  necesitamos 3 biestables.

| ESTADO ACTUAL  |                |                | ESTADO FUTURO  |                |                | J <sub>c</sub> | K <sub>c</sub> | J <sub>B</sub> | K <sub>B</sub> | J <sub>A</sub> | K <sub>A</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Q <sub>c</sub> | Q <sub>B</sub> | Q <sub>A</sub> | Q <sub>c</sub> | Q <sub>B</sub> | Q <sub>A</sub> |                |                |                |                |                |                |
| 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 0              | X              | 0              | X              | 1              | X              |
| 0              | 0              | 1              | 0              | 1              | 0              | 0              | X              | 1              | X              | X              | 1              |
| 0              | 1              | 0              | 0              | 1              | 1              | 0              | X              | X              | 0              | 1              | X              |
| 0              | 1              | 1              | 1              | 0              | 0              | 1              | X              | X              | 1              | X              | 1              |
| 1              | 0              | 0              | 1              | 0              | 1              | X              | 0              | 0              | X              | 1              | X              |
| 1              | 0              | 1              | 1              | 1              | 0              | X              | 0              | 1              | X              | X              | 1              |
| 1              | 1              | 0              | 1              | 1              | 1              | X              | 0              | X              | 0              | 1              | X              |
| 1              | 1              | 1              | 0              | 0              | 0              | X              | 1              | X              | 1              | X              | 1              |

Como la X la podemos tomar como 0 o como 1 la vamos a tomar como 1 para que en el biestable a  $J_A = K_A = 1$

Simplifiquemos ahora por Karnaugh para el resto de los biestables (utilizamos los estados actuales)

|       |   |           |    |    |    |
|-------|---|-----------|----|----|----|
|       |   | $Q_C Q_B$ |    |    |    |
|       |   | 00        | 01 | 11 | 10 |
| $Q_A$ | 0 | X         | 0  | 0  | X  |
|       | 1 | X         | 1  | 1  | X  |

$$K_B = Q_A$$

|       |   |           |    |    |    |
|-------|---|-----------|----|----|----|
|       |   | $Q_C Q_B$ |    |    |    |
|       |   | 00        | 01 | 11 | 10 |
| $Q_A$ | 0 | 0         | X  | X  | 0  |
|       | 1 | 1         | X  | X  | 1  |

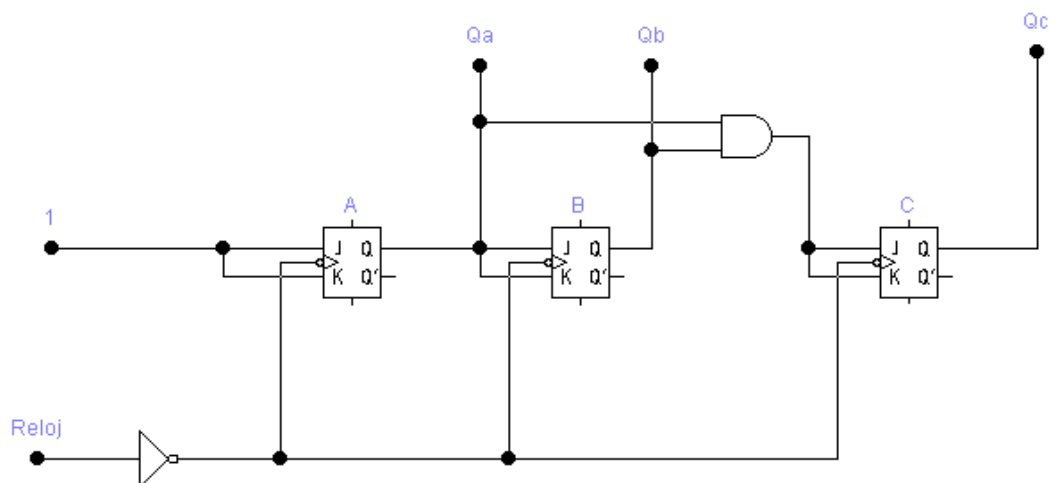
$$J_B = Q_A$$

|       |   |           |    |    |    |
|-------|---|-----------|----|----|----|
|       |   | $Q_C Q_B$ |    |    |    |
|       |   | 00        | 01 | 11 | 10 |
| $Q_A$ | 0 | X         | X  | 0  | 0  |
|       | 1 | X         | X  | 1  | 0  |

$$K_C = Q_B Q_A$$

|       |   |           |    |    |    |
|-------|---|-----------|----|----|----|
|       |   | $Q_C Q_B$ |    |    |    |
|       |   | 00        | 01 | 11 | 10 |
| $Q_A$ | 0 | 0         | 0  | X  | X  |
|       | 1 | 0         | 1  | X  | X  |

$$J_C = Q_B Q_A$$

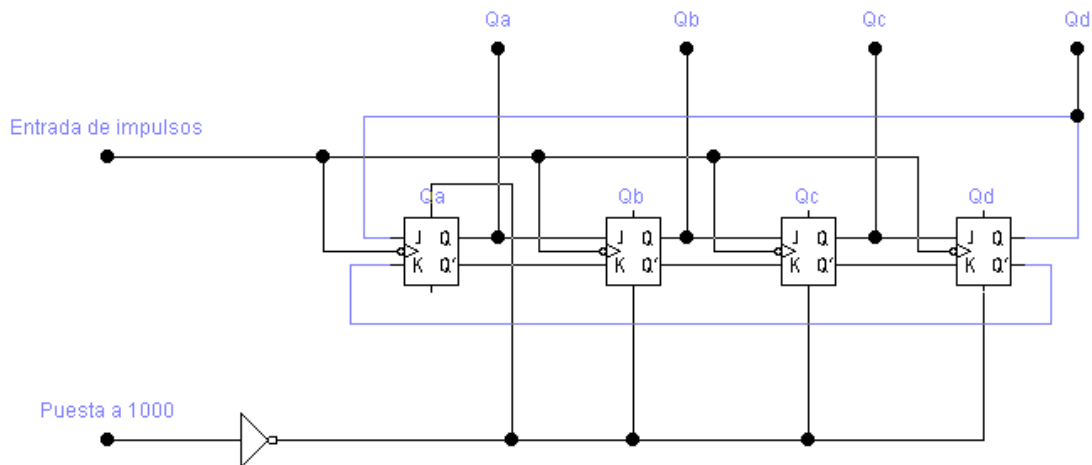


Si las entradas de reloj no fueran negadas no tendríamos que poner el inversor a la salida de reloj.

Conviene hacer mención a dos tipos de dos tipos concretos de contadores síncronos basados en los registros de desplazamiento que son:

- **Contador de anillo.** Se trata de una serie de biestables conectados en cascada de manera que la salida del último se conecta a la entrada del primero.

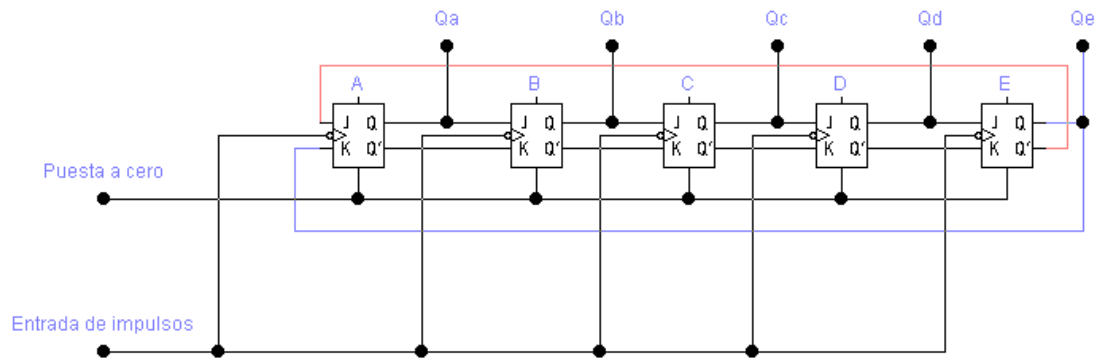
Se supone que la entrada superior es la PRESET y la inferior la CLEAR.



Su tabla de verdad sería:

|                 | Q <sub>A</sub> | Q <sub>B</sub> | Q <sub>C</sub> | Q <sub>D</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| INICIO          | 1              | 0              | 0              | 0              |
| PRIMER IMPULSO  | 0              | 1              | 0              | 0              |
| SEGUNDO IMPULSO | 0              | 0              | 1              | 0              |
| TERCER IMPULSO  | 0              | 0              | 0              | 1              |

- **Contador Johnson.** También llamado en anillo invertido o de Mobius. Se diferencia del anterior en que la realimentación es cruzada.



Su tabla de verdad sería la siguiente:

|                | $Q_A$ | $Q_B$ | $Q_C$ | $Q_D$ | $Q_E$ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Estado inicial | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Impulso 1      | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Impulso 2      | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| Impulso 3      | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| Impulso 4      | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     |
| Impulso 5      | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Impulso 6      | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Impulso 7      | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| Impulso 8      | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     |
| Impulso 9      | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| Impulso 10     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |