

# Control y programación de sistemas automáticos: Circuitos secuenciales



Los circuitos analizados hasta ahora se les denominan circuitos combinatoriales, en ellos los valores de las salidas dependen exclusivamente de los valores de las variables de entrada.



## Importante

Los **circuitos secuenciales** son aquellos cuya salida en cualquier momento no depende exclusivamente de la entrada del circuito sino también de la historia anterior de las entradas, es decir de la secuencia de entradas que tuvo anteriormente.

### Pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- ▶ **Asíncronos:** pueden cambiar de estado en cualquier instante de tiempo cuando están presentes las entradas adecuadas.
- ▶ **Síncronos:** Para cambiar de estado precisan además de estar presentes las entradas adecuadas, que coincidan con determinados instantes de tiempo, por lo que decimos que **están sincronizados con una señal de reloj (Clock)**, únicamente se hace caso de las entradas en los instantes de sincronismo.

#### Tipos de sincronismo:

- ▶ **Sincronismo por nivel (alto o bajo):** el sistema hace caso de las entradas cuando el reloj esté en el nivel activo (alto o bajo).
- ▶ **Sincronismo por flanco (de subida o de bajada):** el sistema hace caso de las entradas y evoluciona, en el instante que se produce el flanco activo (de subida o de bajada)

# 1. Biestables. Tipos.



Son los componentes básicos para construir los circuitos secuenciales. **Se caracterizan por poseer memoria**, es decir, recuerdan las entradas anteriores que se han producido en el circuito. Se pueden construir cableando a partir de puertas lógicas o lo que es más común, formando parte de circuitos integrados. También son llamados básculas o flip-flop.

Según la lógica de disparo, se pueden dar los siguientes tipos:

- ▶ Biestables R-S
- ▶ Biestable D
- ▶ Biestable J-K
- ▶ Biestable T

## 1.1. Biestables R-S (Reset-Set)



Es un dispositivo con dos entradas R y S (Reset y Set) y una variable de estado o salida Q capaz de almacenar un bit de información. Su funcionamiento es el siguiente:

- ▶ Si su entrada Set se activa su estado Q se pone en Alto.
- ▶ Si su entrada Reset se activa su estado Q se pone en Bajo.
- ▶ Si no se activa ni Set ni Reset su estado no cambia.
- ▶ Por supuesto, no se permite activar Set y Reset simultáneamente.

### Tabla de Funcionamiento

Los fabricantes de circuitos integrados, para describir la operación que realiza el circuito, emplean la llamada tabla de funcionamiento, que es lo que hasta ahora hemos venido llamando tabla de verdad para los circuitos combinatoriales, a la que se ha añadido el estado del tiempo, que resulta esencial para los circuitos secuenciales.

La tabla de funcionamiento del biestable S-R, resulta ser:

Entradas ( $t_n$ )		Salida ( $t_{n+1}$ )
S	R	Q+
0	0	Q <sub>0</sub>
0	1	0
1	0	1
1	1	inviable

Hemos empleado la siguiente notación:

$t_n$  = instante de tiempo en el que se aplican las entradas.

$t_{n+1}$  = instante de tiempo inmediatamente posterior en el que el circuito responde.

Q<sub>0</sub> = salida Q en el instante  $t_n$

Q+ = salida en el instante  $t_{n+1}$

Aunque el flip-flop SR tiene dos entradas S y R, y una salida Q, es habitual que al implementarlo aparezca con otra salida más, la resultante de complementar la salida Q, y la entrada de reloj C.

Se suele representar simbólicamente como un rectángulo como se indica en la figura.

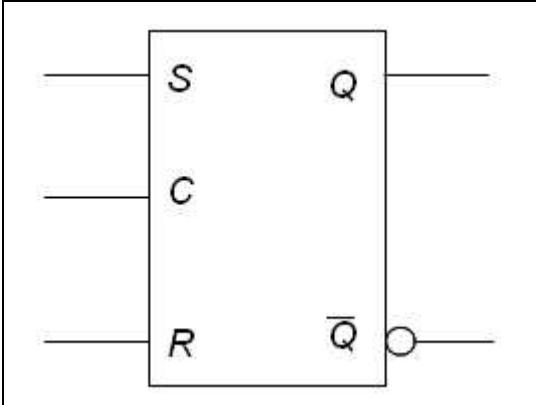


Imagen 01. elaboración propia

## Diseño de un biestable S-R (Set- Reset)

Estos circuitos se pueden diseñar siguiendo las técnicas que hemos venido empleando en el diseño de los circuitos combinacionales, sin más que tener en cuenta, *que los circuitos secuenciales presentan una realimentación.*

Vamos a aplicar el método al diseño de un flip-flop S-R. En nuestro caso la salida  $Q_{t+1}$  depende tanto de la salida anterior  $Q_t$ , como de las entradas S y R, por lo que para implementarlo vamos a tratarlo como a un circuito combinacional, pero considerando que  $Q_t$  es también una entrada, por lo que manejaremos la tabla de verdad que se adjunta, a partir de la tabla de estado que acabamos de comentar.

Entradas			Salida
S	R	$Q_t$	$Q_{t+1}$
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	X
1	1	1	X

Las entradas a cero no producen variación del valor de salida.

Si la entrada S es 1, el valor de la salida pasa a 1.

Si la entrada R es 1, el valor de la salida pasa a 0.

Las dos entradas a uno (no se utilizan) dan una salida indeterminada.

La función canónica será:

$$Q_{t+1} = \overline{S}\overline{R}Q_t + S\overline{R}Q_t + S\overline{R}\overline{Q}_t$$

Que al simplificar quedará:

SR	00	01	11	10
$Q_t$				
0			X	1
1	1		X	1

Aunque no es el procedimiento habitual, se consigue una función más simplificada si despreciamos los términos indiferentes del mapa de Karnaugh. Por lo tanto se hacen dos bolsas de dos celdas y se obtiene:

$$Q_{t+1} = S\overline{R} + \overline{R}Q_t = \overline{R}(S + Q_t)$$

Si lo implementamos empleando únicamente puertas NOR:

## 1.2. Biestable D



Se conocen por el nombre de biestables de datos o seguidores. Tienen una única entrada D, que es copiada en el interior del biestable en los instantes de sincronismo.

Solamente tienen sentido como biestables síncronos por nivel o por flanco.

Su tabla de funcionamiento será:

Entradas		Salida
D	$Q_t$	$Q_{t+1}$
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

El nuevo estado  $Q_{t+1}$  es 1, si D está activa 1 en el instante de sincronismo.  
 El nuevo estado  $Q_{t+1}$  es 0, si D está inactiva 0 en el instante de sincronismo

Vamos a considerar que la entrada D es activa por nivel alto, con lo que su circuito será

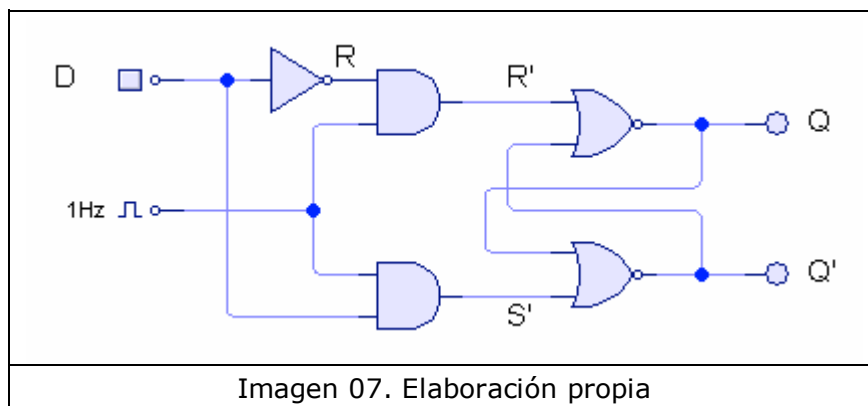


Imagen 07. Elaboración propia

Su símbolo

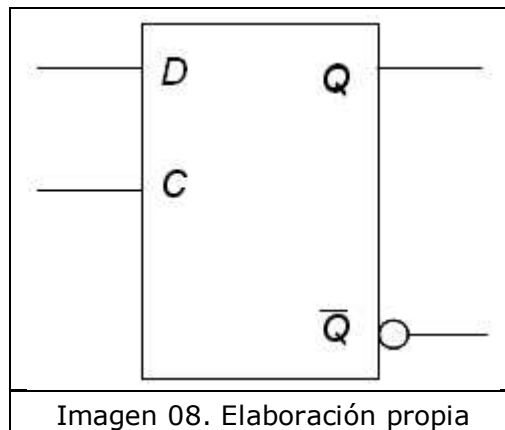


Imagen 08. Elaboración propia

y su tabla de estados sería;

$C_k$	D	$Q_{n+1}$
0	X	$Q_n$
1	0	0
1	1	1

Por tanto, su función lógica sería





Su funcionamiento es similar al flip-flop R-S, de modo que la entrada K actúa para la puesta a 0 (reset) y la entrada J para la puesta a 1 (set). Cuando se activan las dos entradas simultáneamente, el biestable cambia de estado. Son biestables síncronos, lo que quiere decir que las transiciones de los valores de salida se producen durante los flancos activos de las señales de reloj.

Su circuito es:

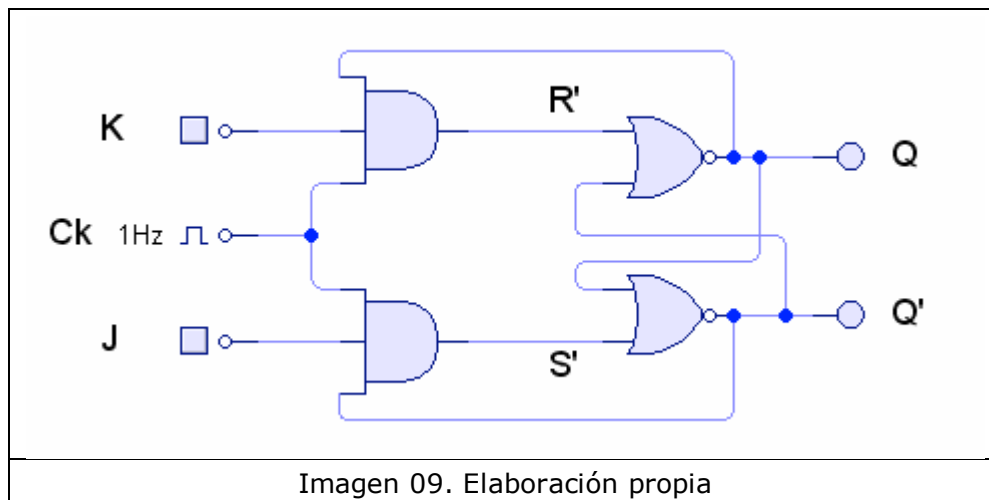


Imagen 09. Elaboración propia

el símbolo es:

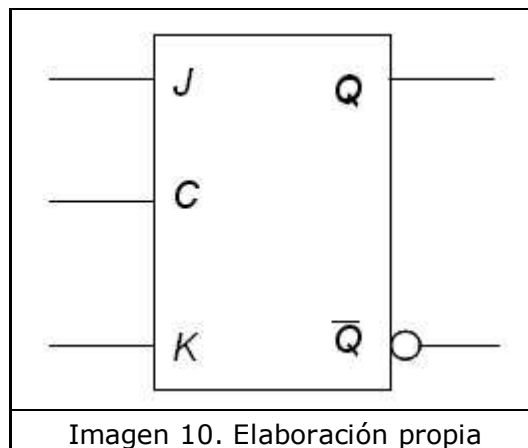


Imagen 10. Elaboración propia

Su tabla de estados sería:

Entradas			Salida
$C_k$	J	K	$Q_{t+1}$
0	X	X	$Q_t$
1	0	0	$Q_t$
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	$Q_t'$

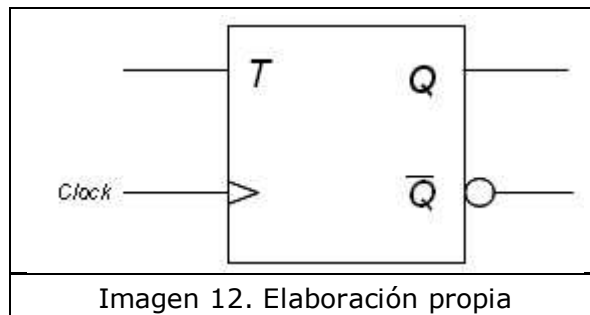
## 1.4. Biestable T (Trigger=disparo)



Es igual que el biestable J-K, de modo que estas dos entradas están puenteadas y forman la entrada T de la báscula, de forma que cuando T toma el valor 0 la salida  $Q_{t+1}=Q_t$ , es decir no cambia.

Cuando la entrada T toma el valor 1, la salida cambia de estado (bascula, de ahí su nombre). En el caso de que se mantenga la entrada T permanente igual a 1, la báscula T se comporta como un divisor de frecuencia de la señal de reloj entre dos.

Su símbolo es como el de la figura adjunta.



Y su tabla de estado:

Entradas		Salida
$Q_t$	T	$Q_{t+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

## 2. Aplicaciones de sistemas secuenciales



Los sistemas secuenciales constituyen un conjunto de circuitos muy habituales en la vida cotidiana. **En cualquier componente que precise almacenar algún dato**, se hace necesario un sistema secuencial. Cualquier elemento de programación que tenga que realizar más de una función, necesita un sistema secuencial.

Por ejemplo, una máquina expendedora de café, en ella iremos introduciendo monedas hasta alcanzar o sobrepasar el valor en que está tasado el tipo de café que deseamos extraer. Por lo tanto, en este sistema se tienen que almacenar una serie de datos:

- ▶ Los precios de los productos expendidos.
- ▶ Estado de existencia de los mismos.
- ▶ Cantidad de dinero introducido en la máquina hasta el momento.

Como vemos que es preciso almacenar temporalmente una serie de datos, por lo que nos enfrentamos ante un sistema secuencial.

## 2.1. Registros de desplazamiento



**Sirven para almacenar un número binario de tantos bits como biestables contenga el Circuito.** Se construyen a partir de biestables de tipo D.

Existen dos tipos:

- ▶ Registros de almacenamiento.
- ▶ Registros de desplazamiento.

De acuerdo como se introduzca la información, pueden ser de varias clases:

- ▶ Serie: La información se introduce bit a bit y se extrae del mismo modo.
- ▶ Paralelo: La información se introduce y se extrae de "golpe".
- ▶ Híbridos: Entrada serie/salida paralelo o viceversa.

En la figura se puede ver la conexión de biestables D para conseguir un registro de desplazamiento serie-serie (es decir, los datos entran de uno en uno y salen de uno en uno).

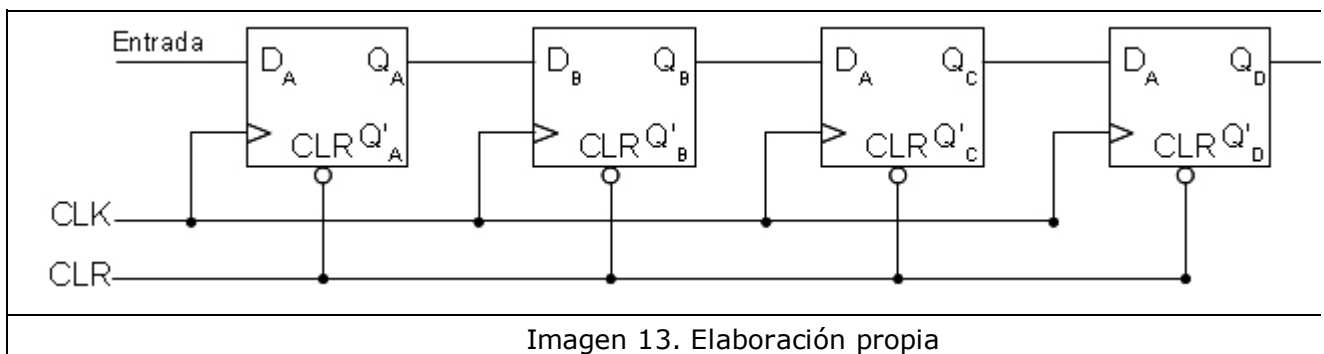


Imagen 13. Elaboración propia

En la figura adjunta se observa la conexión de biestables tipo D para obtener un registro de desplazamiento paralelo-paralelo (es decir, entran todos a la vez y salen todos a la vez)

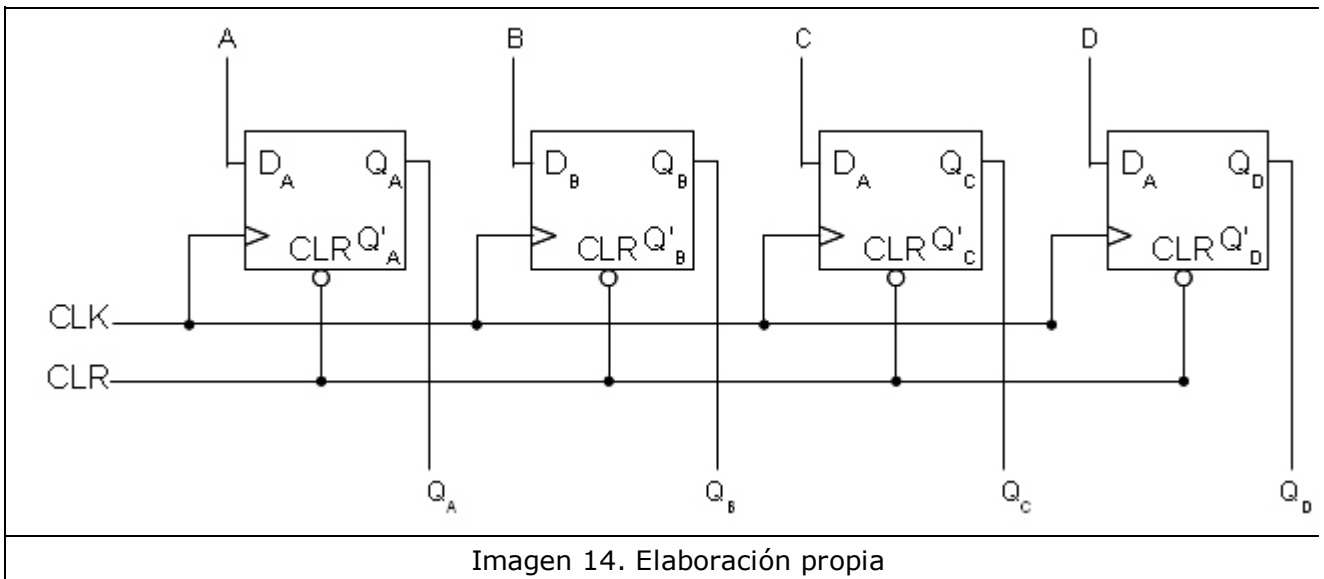


Imagen 14. Elaboración propia

En la figura un circuito que haría la función de registro híbrido, en este caso, entrada en Paralelo, salida en serie (aunque también dispone de entrada serie, ya que está previsto para doble uso; serie-serie y paralelo-serie)

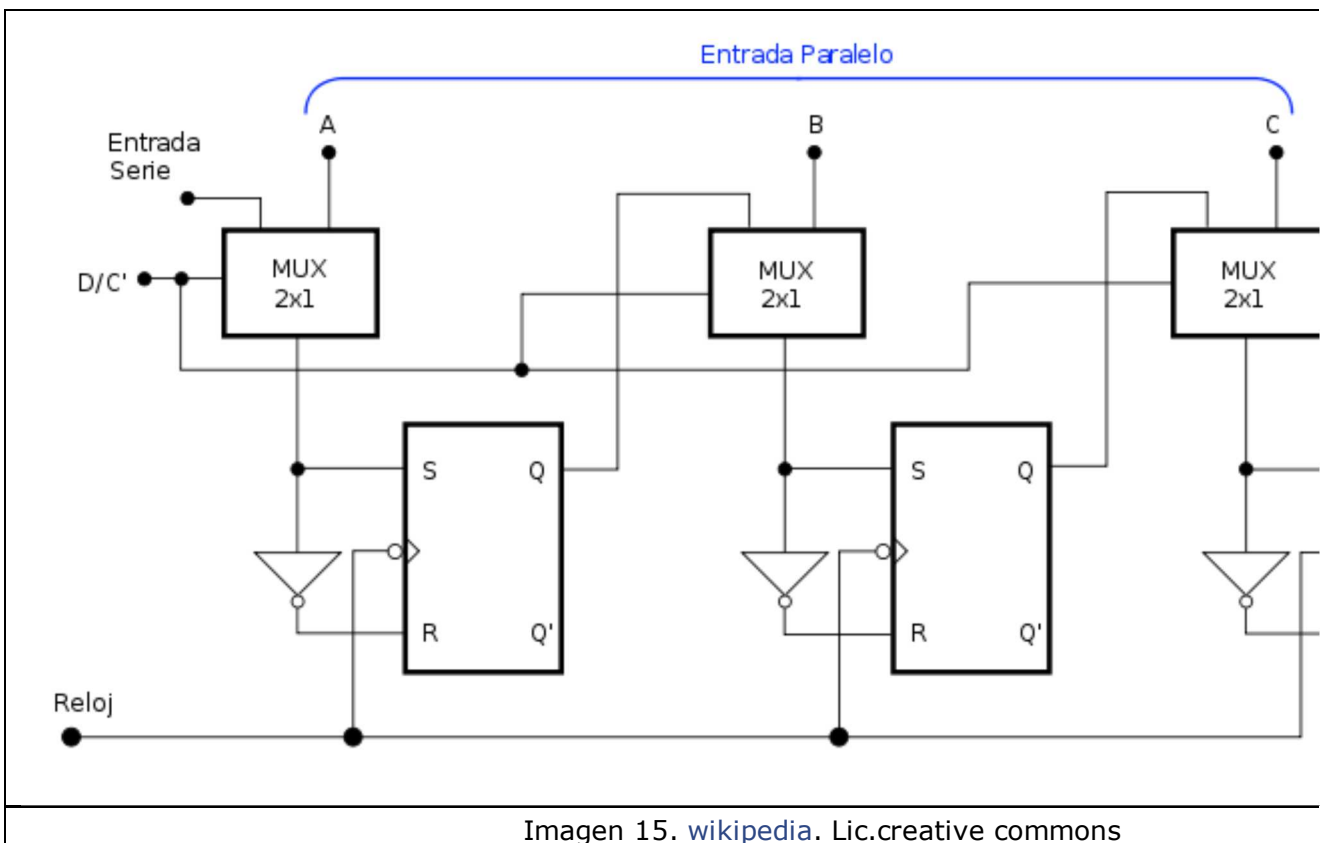


Imagen 15. [wikipedia](https://es.wikipedia.org/wiki/Registro_h%C3%ADbrido). Lic.creative commons

## 2.2. Contadores



**Sirven para contar pulsos cíclicamente**, habitualmente en binario natural, hacia delante (contadores), o hacia atrás (descontadores).

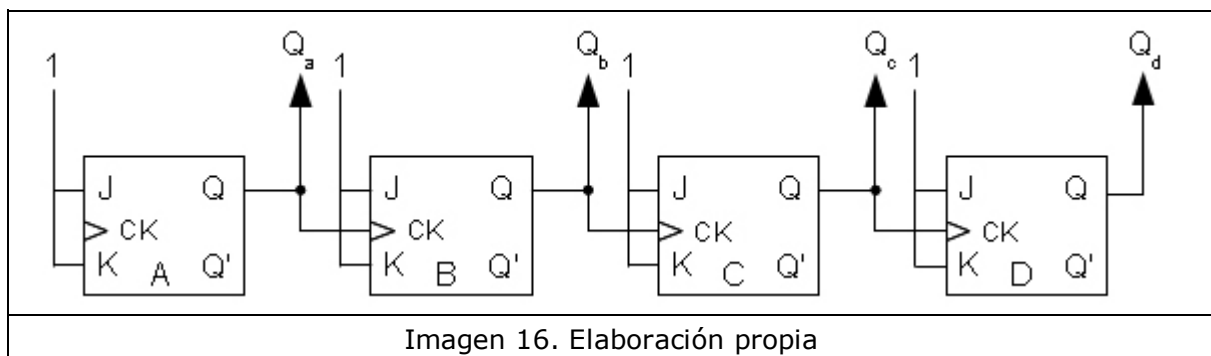
En el sentido más elemental, los contadores son sistemas de memoria que recuerdan cuántos pulsos de reloj han sido aplicados en la entrada. Se produce un nuevo conteo cada  $n$  ciclos de reloj.

Existen dos tipos.

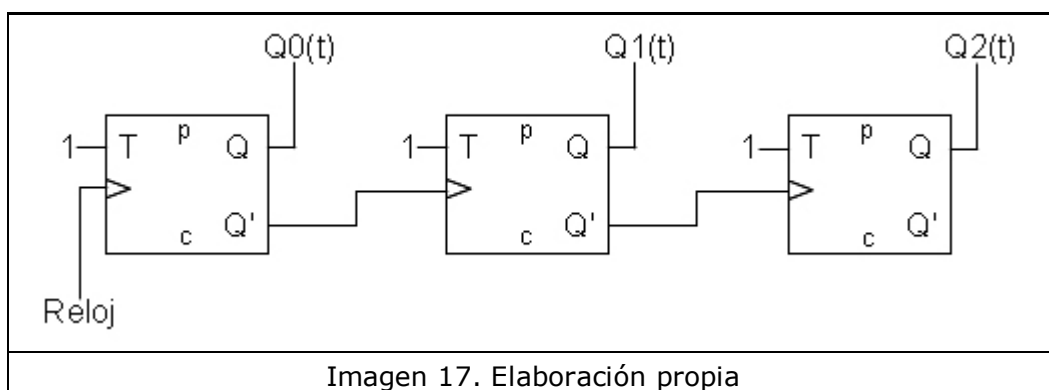
- ▶ Síncronos: todos los biestables comparten la misma señal de reloj.
- ▶ Asíncronos: cuando no son síncronos

Se construyen a partir de biestables de tipo T. Cada biestable cambia cuando el anterior pasa de 1 a 0 y el primero lo hace con cada pulso que le llega.

Contador asíncrono.



Contador asincrono natural de 3 bits



Un ejemplo de la utilización de los contadores es el reloj digital.



En la web en la que se explica la electrónica de este circuito, que puedes ver pulsando [aquí](#), detallan el esquema del circuito, que puedes ver ampliado pulsando [aquí](#), y en el segundero de LED utilizan los circuitos 74LS164N, que es un registro de desplazamiento de 8 bits.

Si analizas el [circuito](#), utilizan 8 registros 74LS164N, es decir  $8 \times 8 = 64$  salidas. Como son 60 segundos, sobran 4 salidas que si te fijas están libres en el circuito.

## 2.3. Memorias RAM



Acrónimo de **R**andom **A**ccess **M**emory (Memoria de Acceso Aleatorio) es donde un ordenador guarda los datos que está utilizando en el momento presente; son los "megas" famosos que en número de 128, 256 o 512 Mbs, o incluso 1024Mbs=1Gbs que aparecen en los anuncios de ordenadores.

La diferencia entre la RAM y otros tipos de memoria de almacenamiento, es que es mucho más rápida, y que se borra al apagar el ordenador, no como las otras.

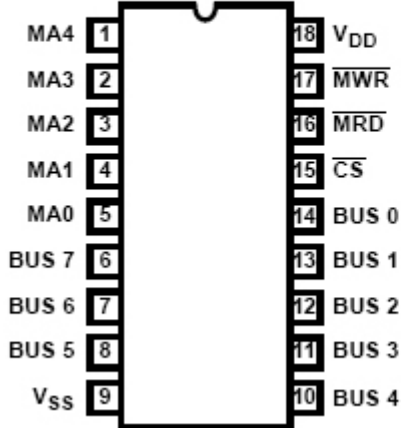
En sistemas digitales complejos resulta muy útil disponer de un amplio número de registros dentro del mismo **circuito integrado**. Los terminales de entrada y salida a estos registros serán comunes para todos ellos y unas entradas adicionales de control o direccionamiento indicarán en cada momento a cual de los registros nos estamos refiriendo. Esta configuración de memoria de  $m$  registros de  $n$  bits, seleccionables por  $p$  entradas de direccionamiento  $m=2^p$ .





Para acabar, un ejemplo del conexionado de una RAM (algo antigua, pero las actuales son complejísimas) extraído de su hoja de datos (datasheet)

**CDP1824, CDP1824C (PDIP, SBDIP)**  
TOP VIEW



**OPERATIONAL MODES**

FUNCTION	$\overline{CS}$	$\overline{MRD}$	$\overline{MWR}$	DATA PINS S
READ	0	0	X	Output: High/Low on Data
WRITE	0	1	0	Input: Output Disa
Not Selected	1	X	X	Output Disabled: High-Impedance S
Standby	0	1	1	Output Disabled: High-Impedance S

Logic 1 = High   Logic 0 = Low   X = Don't Care

Imagen 20. [datasheetarchive](https://datasheetarchive.com). ©



## Curiosidad

La capacidad de almacenamiento (es decir la capacidad de las memorias RAM), ha crecido y crecido en los últimos 40 años, duplicándose cada seis meses, como describe la Ley de Moore y la actualidad esta entre los 4 y los 32 GigaBytes, para un circuito que cabe en la yema de un dedo.

Sin embargo, la capacidad de los dispositivos de silicio (que es de lo que están fabricados los chips) puede quedar superada por otros materiales que como el GRAFENO, permiten una capacidad de almacenamiento mucho mayor.

Los científicos rusos Andre Geim y Konstantin Novoselov que sintetizaron y estudiaron el grafeno han obtenido el Nobel de física en 2010. Su descubrimiento promete un inmenso avance de la tecnología digital.