

# 7

# Módulos basados en circuitos secuenciales

## Introducción

Así como en el Capítulo 5 analizamos módulos basados en puertas, ahora toca referirnos a módulos construidos con biestables (unidades de memoria). Los módulos combinacionales se justificaron por ser más seguros, rápidos, por ahorrar espacio en las placas, aumentar la velocidad de trabajo, etc. Exactamente lo mismo podemos argumentar a la hora de justificar chips que realizan funciones secuenciales.

Se trata de las funciones típicas como los contadores, los registros de desplazamiento, los registros denominados cerrojos (“latch”, en inglés), etc.

Todos los conceptos te resultarán más sencillos de entender cuando en el laboratorio montes registros, contadores y diversos circuitos de entretenimiento.

### Contenido

#### 7.2. Contadores

- 7.2.4. Método para analizar el funcionamiento de los contadores. Diagramas de estado
- 7.2.5. Procedimiento de diseño de un contador
- 7.2.6. Parámetros temporales

### Objetivos

A lo largo del presente capítulo encontrarás los fundamentos de aquellos dispositivos basados en el módulo básico de memoria. De tal manera que los objetivos planteados son:

- u Que conozcas los módulos contadores en sus distintas modalidades.
- u Que conozcas los registros de desplazamiento.
- u Que afiances tus conocimientos con las múltiples prácticas experimentales.
- u Que adquieras experiencia en diseñar y construir registros de varios tipos y contadores con visualización.
- u Que apliques tus conocimientos para construir experimentos útiles como la quiniela electrónica y el dado electrónico.

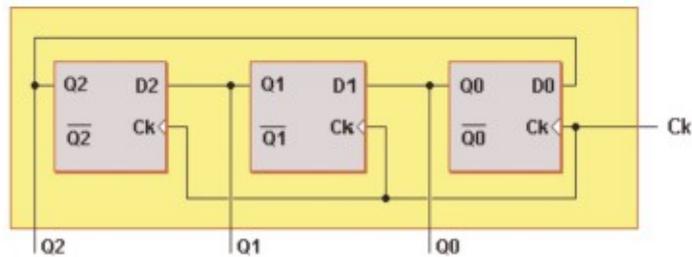
## 7.2.4. Método para analizar el funcionamiento de los contadores. Diagramas de estado

Veremos ahora un método que nos permitirá conocer el funcionamiento de un contador a partir del análisis del circuito. Saber qué estados tienen lugar y si existen estados por los que nunca pasa. Por estados del contador entendemos las distintas agrupaciones por las que pueden pasar sus biestables. Para aclarar este punto diremos que un contador que dispone de cuatro biestables tiene 16 estados posibles.

### Ejemplo

Contador de anillo

Analicemos el funcionamiento del contador que aparece en esta figura.



Contador en anillo

Variables de estado: externas: no tiene  
internas: Q2, Q1 y Q0

Ecuaciones de entradas a los biestables: D0 = Q2  
D1 = Q0  
D2 = Q1

Ahora vamos a plantear unas tablas en las cuales primero colocaremos todas las variables del sistema (tanto internas como externas, si las hubiere) y debajo la Tabla de Verdad. A continuación ubicaremos las entradas correspondientes a cada biestable y rellenaremos esas columnas teniendo en cuenta la función que las liga con las variables del sistema. En cada línea de la tabla tendremos los valores correspondientes que determinarán el nivel de cada entrada. Y, por último, a continuación pondremos las variables internas de modo que cada columna se determinará en función de la Tabla de Excitación correspondiente.

Estado anterior

Q2	Q1	Q0
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

Estado posterior

Q2 <sub>n+1</sub>	Q1 <sub>n+1</sub>	Q0 <sub>n+1</sub>
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	0
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tablas para verificar el funcionamiento del contador

Si ahora tenemos en cuenta las dos tablas de los extremos, podremos dibujar el correspondiente Diagrama de Estados:

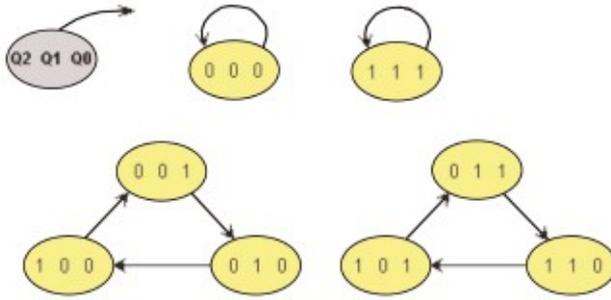


Diagrama de estados posibles en el contador cíclico

Esta representación debes entenderla de la siguiente forma. En el óvalo colocamos el nivel de cada variable interna tal como se describe en el óvalo sombreado (arriba a la izquierda), y con la flecha se indica el siguiente estado al ocurrir el pulso de reloj. Cuando el estado es 000 y ocurre el pulso de reloj, no hay cambio alguno; por eso la flecha retorna al mismo estado. Pero, cuando las variables internas están en 001, por ejemplo, al ocurrir el pulso de reloj evolucionan al estado 010.

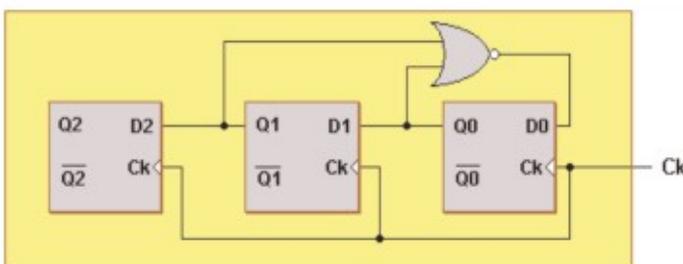
O sea: Q2 permanece a 0, Q1 pasa de 0 a 1 y Q0 de 1 a 0.

Tenemos dos ciclos posibles y dos estados que no tienen evolución. Mediante las señales de control (reset, clear, set y/o preset) podemos prefijar el estado inicial, o cualquier estado.

Ejemplo

Contador de anillo con autoarranque

Variables de estado: externas: ninguna  
internas: Q2 Q1 Q0  
Ecuaciones de entrada a los biestables:  $D0 = \bar{Q}0 + Q1$   
 $D1 = Q0$   
 $D2 = Q1$



Contador en anillo con autoarranque

Q2 Q1 Q0	D2 D1 D0	Q2 <sub>n+1</sub> Q1 <sub>n+1</sub> Q0 <sub>n+1</sub>
0 0 0	0 0 1	0 0 1
0 0 1	0 1 0	0 1 0
0 1 0	1 0 0	1 0 0
0 1 1	1 1 0	1 1 0
1 0 0	0 0 1	0 0 1
1 0 1	0 1 0	0 1 0
1 1 0	1 0 0	1 0 0
1 1 1	1 1 0	1 1 0

Tablas para verificar el funcionamiento del contador

El Diagrama de Estados ahora será:

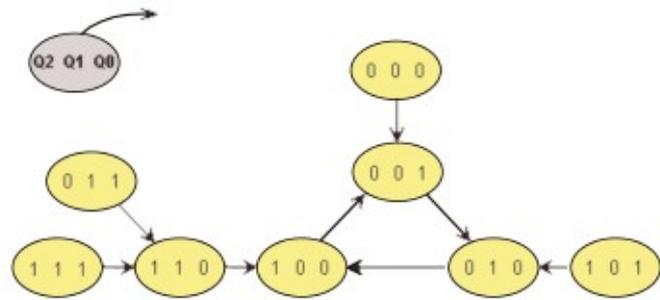


Diagrama de estados posibles en el contador cíclico

Como podemos apreciar, cualquiera sea el estado inicial siempre llegamos a la transición cíclica.

## 7.2.5. Procedimiento de diseño de un contador

El procedimiento que se desarrollará a continuación está aplicado al diseño de contadores, pero se trata de un método general para el diseño de cualquier tipo de sistema secuencial síncrono.

En lugar de hacer un desarrollo genérico vamos a ver el método aplicado a dos casos prácticos, y de allí se desprenderán los pasos a seguir con cualquier planteamiento dado.

1er CASO: CONTADOR BINARIO ASCENDENTE DE 3 BITS.

PASO 1: Elaborar el Diagrama de Estados en función de las características del contador solicitado.

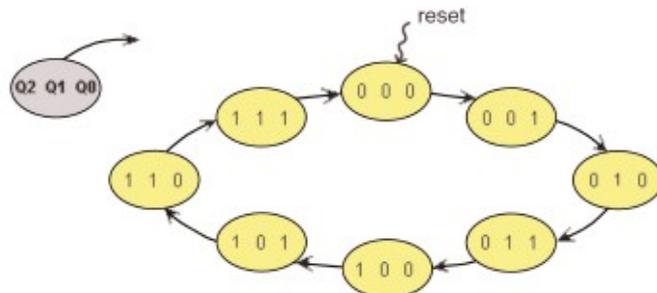


Diagrama de estados de un contador binario ascendente

En el caso que nos ocupa tenemos 3 bits que deberán cambiar con cada pulso de reloj cumpliendo el código binario natural. (Con 3 bits coincide también con el código BCD.)

PASO 2: Construir la Tabla de Estados.

Esta tabla tendrá en cuenta para cada estado cuál es el estado que le seguirá cuando aparezca el pulso de reloj. Por otra parte, es indispensable determinar con qué tipo de biestables vamos a trabajar.

Seleccionemos el biestable tipo T con tratamiento de flanco por bajada del pulso de reloj. Una vez determinado el próximo estado de todos los estados posibles (Tabla de Verdad), debemos realizar la tabla con las entradas correspondientes a cada biestable. Para ello nos referimos a la hoja "Resumen de Biestables" al final del Capítulo 6. Debemos tener claro el concepto de Tabla de Excitación: nivel que debe presentar la entrada del biestable para conseguir la evolución prevista de su salida.

A continuación podemos ver el resultado.

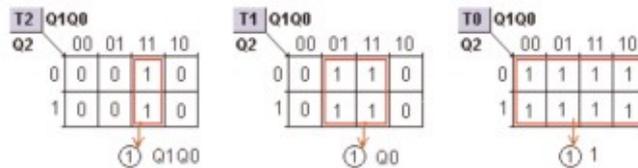
Q2	Q1	Q0
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

Q2 <sub>n+1</sub>	Q1 <sub>n+1</sub>	Q0 <sub>n+1</sub>
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1
0	0	0

T2	T1	T0
0	0	1
0	1	1
0	0	1
1	1	1
0	0	1
0	1	1
0	0	1
1	1	1

Tablas de Transición y de Excitación

PASO 3: Determinar la función de cada entrada mediante los Mapas de Karnaugh.



Mapas de Karnaugh de las tres entradas de los biestables

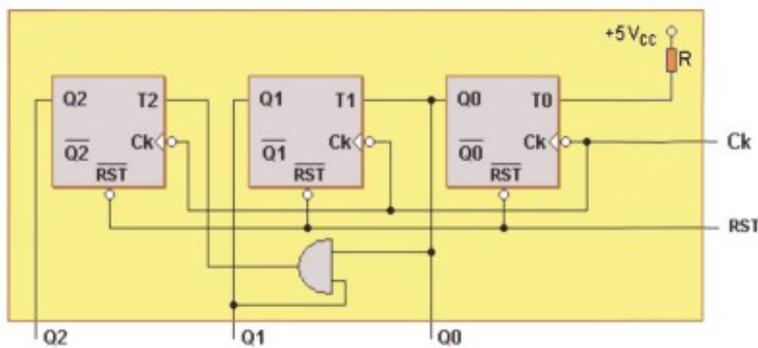
De los Mapas de Karnaugh deducimos la función de cada entrada:

$$T2 = Q1.Q0$$

$$T1 = Q0$$

$$T0 = 1$$

PASO 4: Dibujar el esquema de conexión, o sea la implementación del circuito.



Circuito final del contador binario ascendente de 3 bits

## 2º CASO: CONTADOR BINARIO DE CICLO PREFIJADO NO ESTÁNDAR, DE 3 BITS.

Ahora nos ocuparemos de diseñar un contador que no siga ningún código conocido y en el que la sucesión de estados sea puramente arbitraria.

El ciclo seleccionado será: 0 0 0, 0 1 0, 0 1 1, 1 0 1, 1 1 0, 0 0 0, etc.

PASO 1: Determinar el Diagrama de Estados.

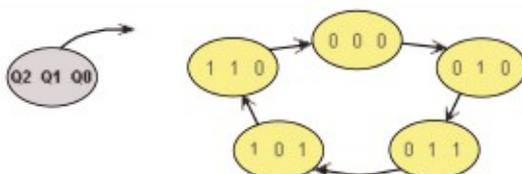


Diagrama de Estados del contador propuesto

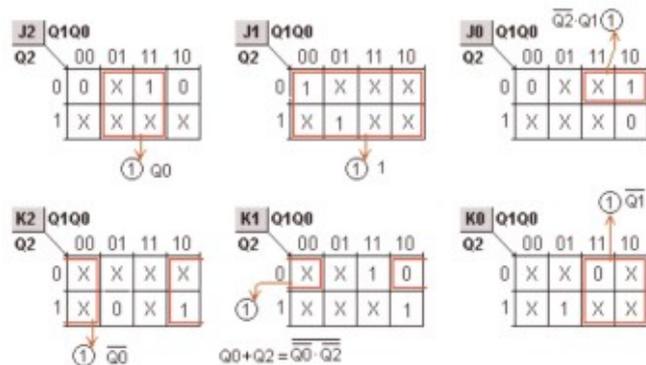
PASO 2: Construir la Tabla de Estados teniendo en cuenta que se van a utilizar biestables tipo J-K con entrada de reloj por flanco positivo.

Q2 Q1 Q0	Q2 <sub>n+1</sub> Q1 <sub>n+1</sub> Q0 <sub>n+1</sub>	J2 K2	J1 K1	J0 K0
0 0 0	0 1 0	0 X	1 X	0 X
0 0 1	X X X	X X	X X	X X
0 1 0	0 1 1	0 X	X 0	1 X
0 1 1	1 0 1	1 X	X 1	X 0
1 0 0	X X X	X X	X X	X X
1 0 1	1 1 0	X 0	1 X	X 1
1 1 0	0 0 0	X 1	X 1	0 X
1 1 1	X X X	X X	X X	X X

Tablas de Estado para el contador de ciclo arbitrario

Como vemos, al tener en cuenta todos los posibles estados que pueden adoptar tres variables binarias, habrá estados que podríamos designar como "indeseados". Si consideramos que esos estados no se podrán dar nunca, es indiferente el estado que asignemos a las variables tras un pulso de reloj. Por ello hemos puesto una x como estado posterior a uno indeseado.

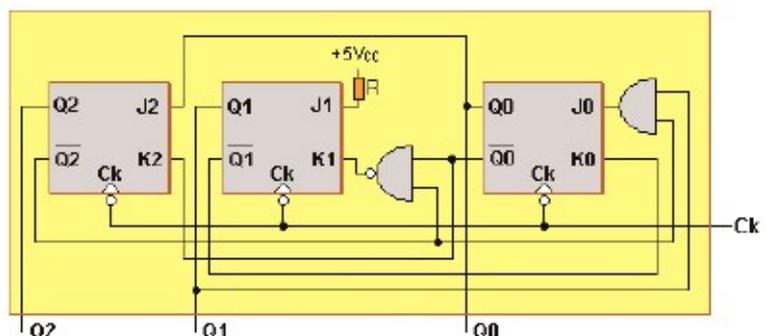
PASO 3: Determinar la función de cada entrada.



Mapas de Karnaugh de las entradas de los biestables

De los mapas de la figura anterior podemos deducir las funciones de cada entrada:

$$\begin{aligned}
 J2 &= Q0 & J1 &= 1 & J0 &= \bar{Q}2 \cdot Q1 \\
 K2 &= \bar{Q}0 & K1 &= \bar{Q}0 \cdot \bar{Q}2 & K0 &= \bar{Q}1
 \end{aligned}$$



Implementación de un contador de ciclo arbitrario

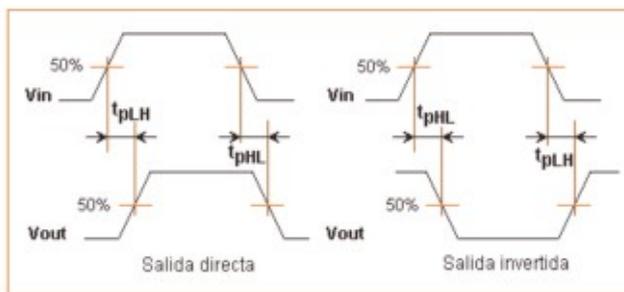
## 7.2.6. Parámetros temporales

Hay algo que debes tener siempre en cuenta: antes de usar un dispositivo, sea cual fuere, debes enterarte perfectamente de cuál es su funcionamiento y cuáles son sus parámetros característicos, sus límites, etc. De esa manera evitarás fracasos que, cuando se producen, nos bajan mucho la moral y a veces estamos muy próximos a pensar... ¡esto no es lo mío!

Para el caso que nos ocupa, los biestables, debemos respetar ciertos parámetros para garantizar que nuestros proyectos lleguen a buen puerto. A continuación te exponemos los más usados, que son los relacionados con los retardos que imponen las puertas lógicas. Recuerda que los biestables están contruidos con ellas, por lo que lógicamente impondrán retardos a las señales aplicadas. En cada caso te indicaremos entre paréntesis su designación en inglés, ya que es frecuente su utilización, aun en bibliografías en español.

### 7.2.6.1. Tiempo de propagación (delay time) $t_p$ .

Es el tiempo que transcurre desde que la señal que origina el cambio en la salida ha alcanzado el 50% (ya sea en la caída o en la subida de nivel) y la salida, en su cambio, también ha alcanzado el 50%. ¡Qué lío!, ¿verdad? Para que te aclares, en la siguiente figura te detallamos todos los casos posibles y verás que en el subíndice se indica si se trata de un cambio de alto a bajo ( $t_{pHL}$ ) o viceversa ( $t_{pLH}$ ).



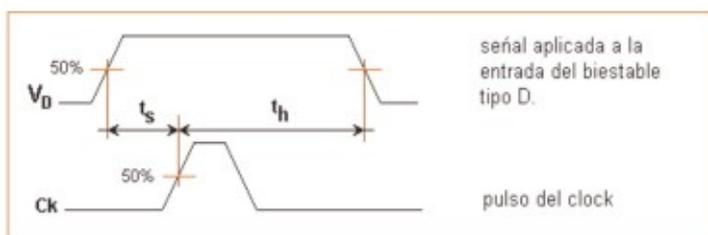
Tiempo de retardo en un biestable

El tiempo indicado por  $t_p$  es el valor medio entre ambos retardos. En el caso de biestables síncronos, el tiempo de propagación se comienza a contar desde que se produce el flanco de disparo.

### 7.2.6.2. Tiempo de establecimiento (setup time)

$t_s$  Cuando llega el pulso de reloj a un biestable, la señal o las señales de entrada al mismo deben estar ya estables. Por lo tanto, el fabricante indica con cuánto tiempo de antelación deben estar esas señales estables. Ése es el denominado tiempo de establecimiento.

Te mostramos el tiempo de establecimiento para el caso de un biestable tipo D.



Tiempo de establecimiento de un biestable tipo D

Si se tratase de un biestable de dos entradas, el tiempo a tener en cuenta estaría relacionado con la entrada que cambia en último lugar.

### 7.2.6.3. Tiempo de mantenimiento (hold time) th

Se trata de mantener el nivel de las entradas un cierto tiempo mínimo después que ha ocurrido el flanco activo del reloj. En la figura anterior se muestra este tiempo para el caso de un biestable tipo D.

### 7.2.6.4. Frecuencia máxima de reloj $f_{m\acute{a}x}$

Como es fácil de deducir, al observar los tiempos de retardo, mantenimiento y pre-fijado, la frecuencia de los pulsos de reloj tendrá que estar limitada porque, si no corremos el riesgo de pretender unos cambios que no tienen tiempo de producirse.

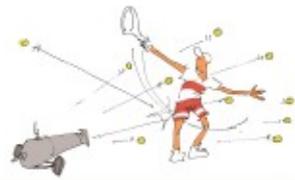
### 7.2.6.5. Duración de los impulsos de reloj $t_w$

Cuando estudiamos la inclusión de pulsos de reloj en el funcionamiento de los biestables, comentamos que su duración activa (según trabaje con la parte alta o baja del pulso) debía ser suficiente para conseguir el cambio en el biestable (si procede que cambie), ya que hay que tener en cuenta los tiempos de retardo de las puertas que intervienen en su circuito lógico. También comentamos que, si durante el estado activo se producía un cambio en las entradas esto podía originar un cambio en la salida, lo cual no es deseado. Por ello los fabricantes ofrecen la posibilidad de activar los biestables con flancos de la señal de entrada de reloj. Pero, claro, el ancho del pulso de reloj debe ser igual o mayor que el tiempo necesario para conseguir el correcto funcionamiento del biestable.

Unidad de tiempo: Normalmente todos los fabricantes indican los parámetros temporales en ns (nanosegundos;  $1 \text{ ns} = 0,000000001 \text{ s}$ ).

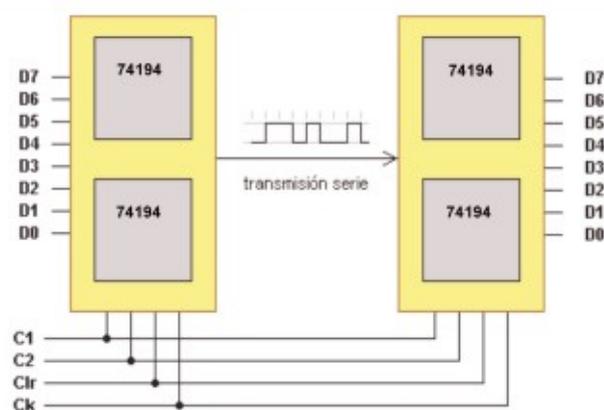


Haz una prueba: consigue un cañón que arroja pelotas de tenis y trata de devolverlas con tu raqueta. Si le pones una velocidad baja (o sea un tiempo alto entre pelota y pelota), te será muy fácil lucirte en las devoluciones; pero, conforme vas bajando el tiempo (aumentando la frecuencia), te será cada vez más difícil dicha devolución y llegará un momento en que, por más que te esfuerces, las pelotas se empezarán a amontonar a tu espalda.



### Ejercicio Propuesto

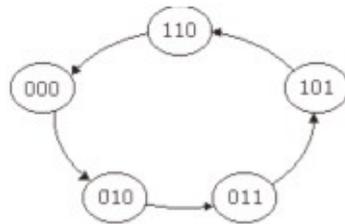
Te proponemos diseñar un transmisor y un receptor para transmitir de forma seriada un carácter ASCII de 8 bits. Evidentemente, en cada equipo se usarán dos Registros 74194. En la figura te sugerimos un diagrama en bloques de cómo podría quedar el sistema.



Sistema de transmisión serie propuesto

### Ejercicio Propuesto

Diseñar con biestables tipo D activos con flancos de bajada un circuito que presente el diagrama de estados que se detalla a continuación:



### Ejercicio Propuesto

Diseñar un contador de 0-a-10.

### Ejercicio Propuesto

Se considera el diseño de un contador BCD de 4 bits, que cuenta con la secuencia 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, . . . , 1001, 0000, 0001, etc.

- a. Dibujar el Diagrama de Estados y la Tabla de Transiciones de Estados.
- b. Implementar el contador usando biestables tipo:
  - b1. D
  - b2. T
  - b3. R-S
  - b4. J-K