

Circuitos y Sistemas Digitales

Circuitos de salida múltiple

Clase 11



1. Introducción

En el ámbito de los circuitos digitales, los sistemas de salida múltiple juegan un papel fundamental al permitir la transmisión y almacenamiento simultáneo de múltiples señales lógicas. Estos circuitos son esenciales en aplicaciones donde se requiere manejar varias salidas de forma coordinada, lo cual resulta crucial para el funcionamiento eficiente de dispositivos electrónicos complejos.

En este contexto, revisaremos circuitos combinacionales de salida múltiple y dos componentes clave como son los registros y los contadores, que operan como bloques constructivos dentro de arquitecturas digitales más grandes.

Exploraremos en detalle los circuitos de salida múltiple combinacionales y los basados en registros y contadores, analizando su estructura interna, modos de operación y aplicaciones prácticas. Se presentará una descripción funcional de ambos tipos de circuitos, incluyendo ejemplos concretos de implementación, diagramas de conexión y simulaciones básicas. Además, se discutirá cómo estos elementos contribuyen al diseño de sistemas digitales avanzados, destacando su relevancia en tecnologías actuales como microcontroladores, interfaces de comunicación y sistemas embebidos.

Clase 11: Circuitos de salida múltiple.

Resultado o resultados de aprendizaje que será abordado con el contenido de la clase. **(No agregue los criterios)**

Diseñar circuitos digitales y sistemas digitales complejos, empleando las herramientas adecuadas.

3.8. Circuitos de salida múltiple

3.8.1. Circuitos combinacionales de salida múltiple

Habíamos visto en la clase previa que el display de 7 puede representar letras, según como se enciendan los segmentos, así por ejemplo podríamos expresar “HoLA”

```
  _  
| | | | |  
| | | | |
```

Dado que son 4 letras, necesitamos 4 combinaciones de las variables de entrada, por lo que usaremos las variables A y B, donde la combinación 00 es la H, 01 es o, 10 es la L y 11 es la A. Para

construir la tabla de verdad debemos identificar que segmentos se encienden en cada uno de las combinaciones, para ello se requieren 7 salidas que son los segmentos a, b, c, d, e, f y g. Esto se muestra con detalle en la Figura 7:

Nótese que las salidas múltiples, en este caso 7, se tratan conforme a la lógica de las salidas que se quieren obtener, en este caso las letras HoLA

Tabla 1

Tabla de verdad para presentar el mensaje "Hola" en un display de 7 segmentos.

Celda	A	B	Mensaje	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	H	0	1	1	0	1	1	1
1	0	1	o	0	0	1	1	1	0	1
2	1	0	L	0	0	0	1	1	1	0
3	1	1	A	1	1	1	0	1	1	1

Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

De esta tabla podemos extraer los minterm:

a = {m3}

b = {m0, m3}

c = {m0, m1, m3}

d = {m1, m2}

e = 1 (todas las salidas son uno, va conectado a Vcc)

f = {m0, m2, m3}

g = c (coinciden las salidas)

Función para a:

A\	0	1
B		
0	0 0	1 0
1	2 0	3 1

Dado que no se puede simplificar nada la función a es:

$$a = AB$$

Función para **b**:

A\B	0	1
0	0 1	1 0
1	2 0	3 1

Tampoco es posible simplificar nada, por tanto la función b nos queda:

$$b = A'B' + AB = A \text{ XNOR } B$$

Función para **c**:

A\B	0	1
0	0 1	1 1
1	2 0	3 1

A\B	0	1
0	0 1	1 1
1	2 0	3 1

En este caso podemos agrupar las celdas 0 y 1 que se muestran en amarillo y las celdas 1 y 3 que se muestran en verde, con lo que la función c nos queda:

$$c = A' + B$$

Función para **d**:

A\B	0	1
0	0 0	1 1
1	2 1	3 0

En d tampoco es posible simplificar nada, por tanto:

$$d = A'B + AB' = A \text{ XOR } B$$

Función para e:

$$e = 1$$

Función para f:

A \	0	1
B		
0	0 1	1 0
1	2 1	3 1

A \	0	1
B		
0	0 1	1 0
1	2 1	3 1

En este caso podemos combinar las celdas 0 y 2 mostradas en amarillo y las celdas 2 y 3 mostradas en verde, con lo que la función f nos queda:

$$f = B' + A$$

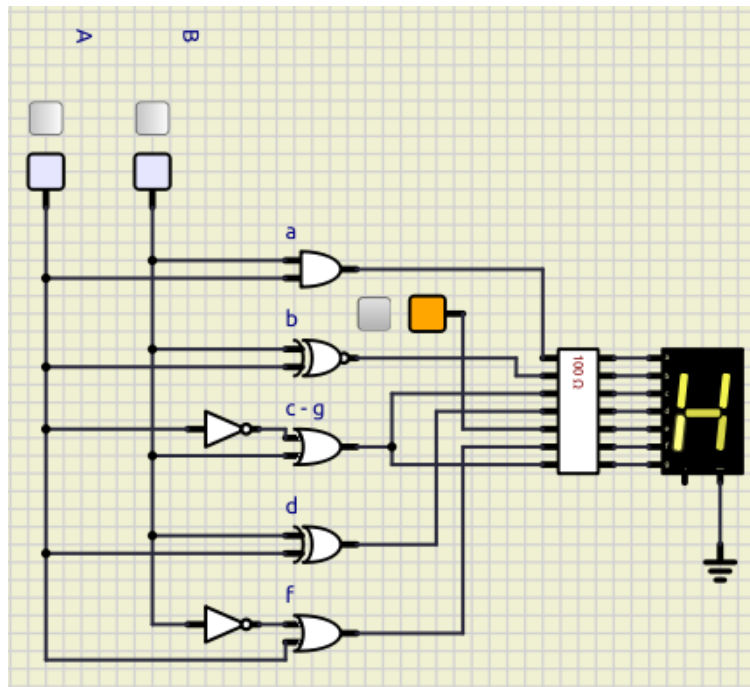
Función para g:

$$g = c$$

Las Figuras de la 1 a la 4 muestran la implementación del circuito en KTechlab (Jason et al., 2025) con la salida para las combinaciones 00, 01, 10 y 11 y que muestran secuencialmente el mensaje HoLA.

Figura 1

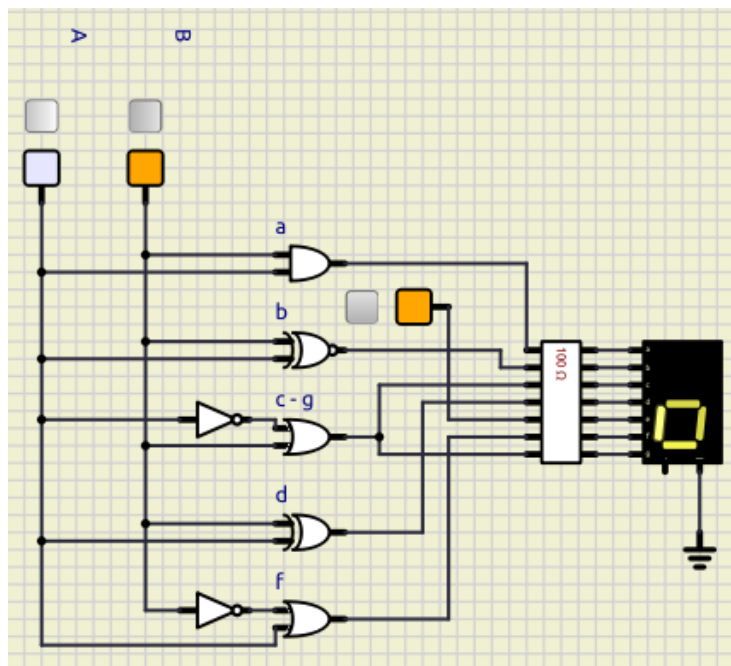
Implementación del circuito HoLA para la combinación 00.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Figura 2

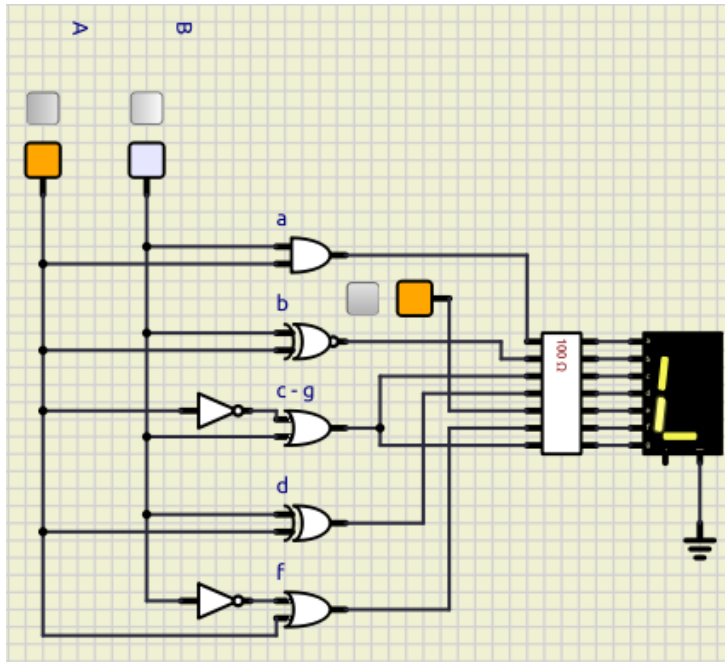
Implementación del circuito HoLA para la combinación 01.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Figura 3

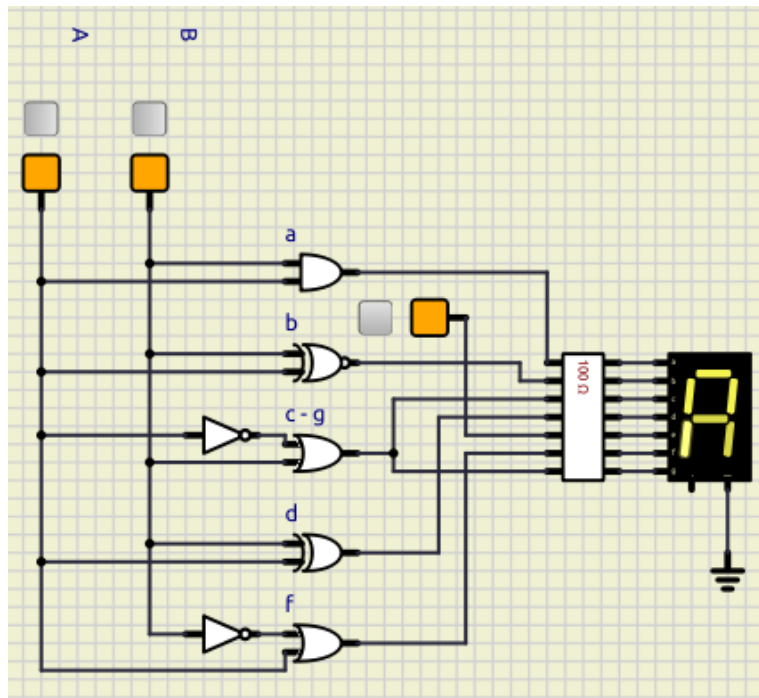
Implementación del circuito HoLA para la combinación 10.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Figura 4

Implementación del circuito HoLA para la combinación 11.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

3.8.2. Registros

A. Concepto Básico y Aplicaciones

Un registro es un circuito digital compuesto por un conjunto de flip-flops conectados entre sí, generalmente del tipo D (Data), que permite almacenar y manipular bits de información. Cada flip-flop dentro del registro representa un bit individual, por lo que un registro de n bits contiene n flip-flops sincronizados mediante una señal común de reloj. Esta característica permite que todos los bits se actualicen simultáneamente cuando se aplica un pulso de reloj, garantizando la integridad de los datos almacenados.

B. Tipos de Registros

Existen varios tipos de registros, cada uno con características específicas según la forma en que los datos se introducen y extraen:

- Registro de Entrada Paralela y Salida Paralela (PIPO)
- Registro de Entrada Serie y Salida Serie (SISO)
- Registro de Entrada Serie y Salida Paralela (SIPO)
- Registro de Entrada Paralela y Salida Serie (PISO)

- Registro de Desplazamiento Bidireccional

C. Funcionamiento Básico

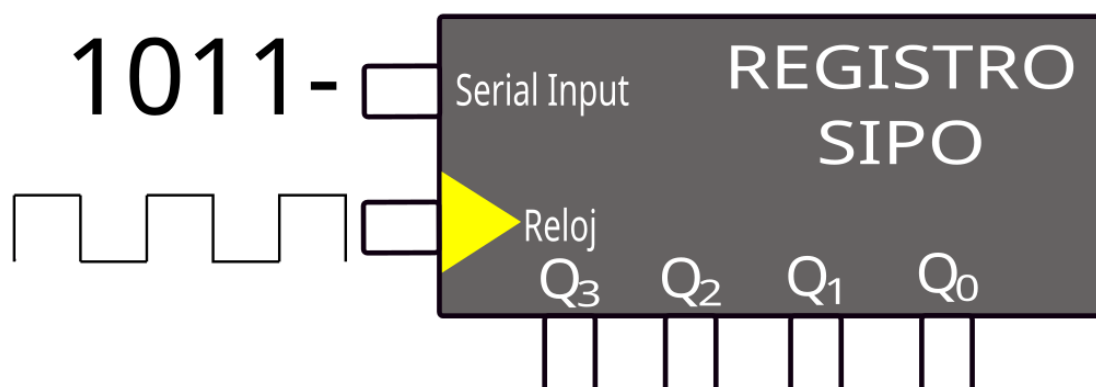
Para ilustrar el funcionamiento de un registro, consideremos un ejemplo sencillo: un registro de 4 bits de tipo SIPO. Supongamos que queremos almacenar la secuencia binaria "1011". La entrada de datos está conectada a un único pin de entrada serial, mientras que las salidas Q₀ a Q₃ representan los cuatro bits almacenados. Al aplicar un pulso de reloj, cada bit se desplaza hacia el siguiente flip-flop, hasta que después de cuatro ciclos de reloj, los cuatro bits estarán disponibles simultáneamente en las salidas paralelas.

Este comportamiento puede visualizarse en la tabla de verdad siguiente:

Ciclo de reloj	Entra-da se-rial	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	-	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0
2	1	1	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	1	1	0	1	1

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**5 muestra la ilustración de un registro Entrada Serie y Salida Paralela (SIPO) en el cual se muestran los terminales de entrada y salida de este dispositivo. Después de cuatro ciclos, el valor "1011" queda completamente cargado en el registro y disponible en paralelo.

Figura 5 Registro tipo SIPO.



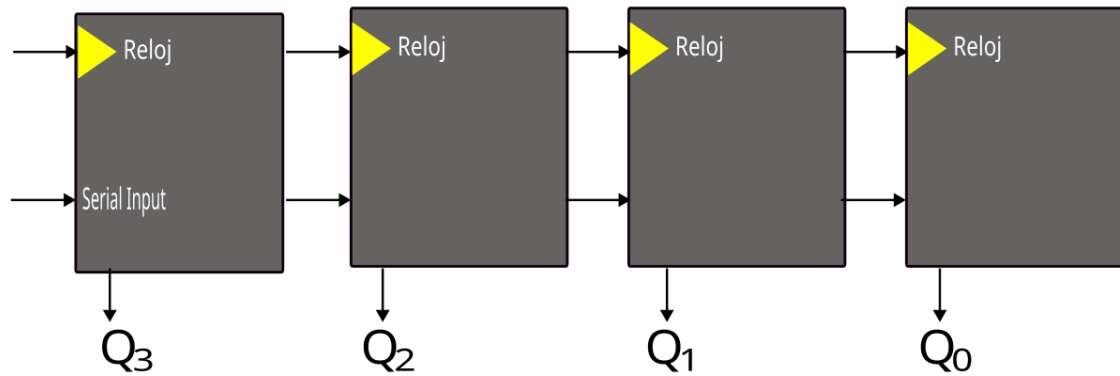
Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

D. Diagrama de bloques de un registro de 4 bits

En la Figura 6 se puede apreciar la estructura interna de un registro SIPO con las celdas y el desplazamiento de datos que ocurre en ellas en cada ciclo de reloj y estos continúan desplazándose y mostrándose en las salidas Q_3 a Q_0 .

Figura 6

Celdas internas del Registro SIPO.

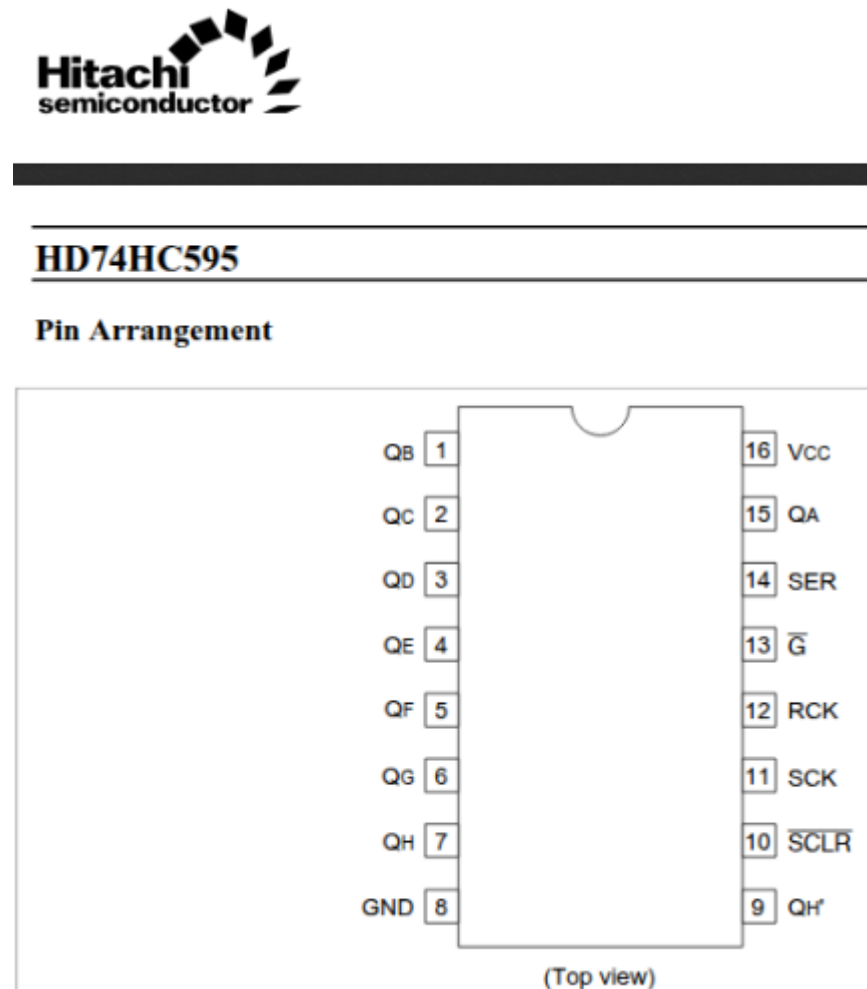


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

La Figura 7 muestra el esquemático de la documentación técnica de un registro fabricado por Hitachi.

Figura 7

Esquemático del registro HD74HC595 Hitachi, 1999a



Nota: Recuperado de Hitachi, 1999a.

[En este enlace puede ver con mas detalle el uso comercial del registro de desplazamiento 74HC595](#)

3.8.3. Contadores

3.8.3.1. Concepto Básico y Aplicaciones

Un contador es un circuito secuencial diseñado para generar una secuencia predeterminada de estados binarios en respuesta a pulsos de reloj. Estos circuitos son fundamentales en sistemas digitales, ya que permiten realizar funciones como medición de tiempo, conteo de eventos, control de

secuencias y generación de señales periódicas. Los contadores están formados principalmente por flip-flops interconectados de manera que cada estado cambia conforme avanza el tiempo o se cumplen ciertas condiciones lógicas.

A. Tipos de Contadores

Existen diversos tipos de contadores, clasificados según su modo de operación, secuencia de conteo y estructura interna. Los más comunes son los siguientes:

Contadores Ascendentes (Up Counters): Estos contadores incrementan su valor en uno con cada ciclo de reloj. Por ejemplo, un contador de 4 bits seguirá la secuencia $0000 \rightarrow 0001 \rightarrow 0010 \rightarrow \dots \rightarrow 1111$ antes de reiniciarse. Son útiles en aplicaciones donde se requiere llevar un conteo progresivo, como temporizadores o contadores de eventos.

- Contadores Descendentes (Down Counters)
- Contadores Ascendentes/Descendentes (Up/Down Counters)
- Contadores Síncronos (Todos los flip-flops reciben la misma señal de reloj)
- Contadores Asíncronos (Ripple Counters) (Solo el primer flip-flop recibe la señal de reloj)
- Contadores Modulo-N (cuenta desde 0 hasta N-1 y luego se reinicia)

B. Funcionamiento Básico de un Contador

Para entender el funcionamiento de un contador, consideremos un ejemplo básico: un contador binario ascendente de 4 bits. Este contador está compuesto por cuatro flip-flops tipo T (Toggle), donde cada flip-flop cambia de estado cada vez que su entrada Toggle (T) está en alto. La señal de reloj se aplica al primer flip-flop, y la salida de cada flip-flop se utiliza como señal de reloj para el siguiente.

La secuencia de conteo sería; 0000, 0001, 0010, 1111, 0000 tal como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2

Contador ascendente (Escobar C, 2025)

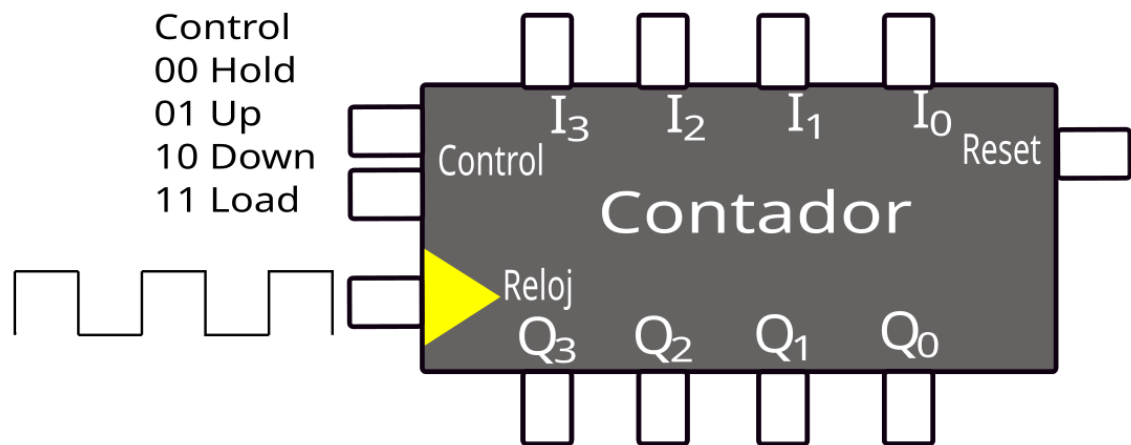
Pulso de Reloj	Estado Bina-rio Q3 Q2 Q1 Q0	Valor Decimal
1	0000	0
2	0001	1
3	0010	2
4	0011	3
5	0100	4
6	0101	5
7	0110	6
8	0111	7
9	1000	8
10	1001	9
11	1010	10
12	1011	11
13	1100	12
14	1101	13
15	1110	14
16	1111	15
17	0000	0

Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Este comportamiento es típico de un contador binario natural, que sigue la secuencia estándar de números binarios. Sin embargo, también existen contadores que siguen secuencias no binarias, como el código BCD (Binary-Coded Decimal), utilizado en relojes y displays numéricos.

Figura 8

Contador de propósito general.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

La

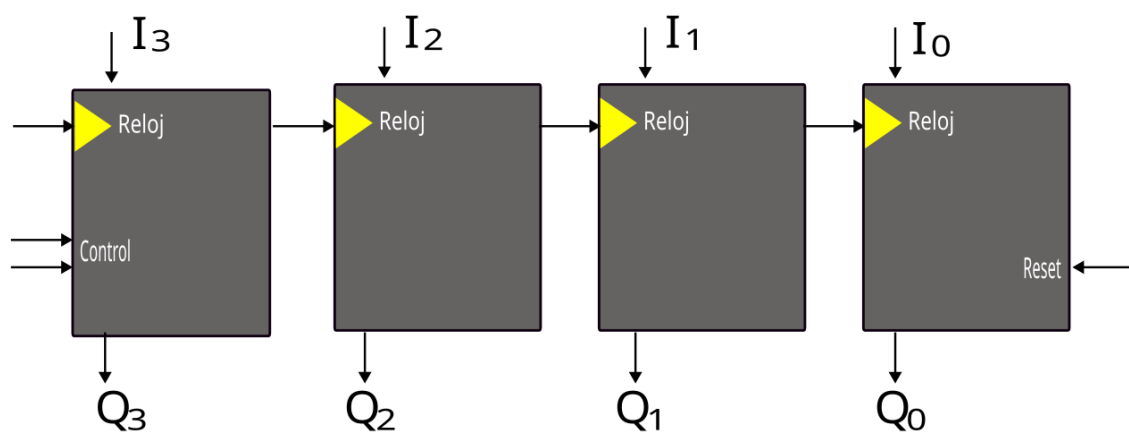
Figura 8 muestra la ilustración de un contador de propósito general en la que se pueden apreciar la señales de control que determinan si el contador cuenta de manera ascendente (Up), descendente (Down), carga en paralelo los que tenga en la entradas I_3 a I_0 (Load) o se mantiene en el número que se encontraba (Hold).

C. Diagrama de Bloques de un Contador de propósito general de 4 Bits

La Figura 9 muestra el diagrama de bloques del contador de propósito general de 4 Bits compuesto por 4 flip-flop, donde cada una de estas celdas cambia de estado cuando recibe un pulso de reloj. En este caso, de acuerdo a la configuración determinada en las señales de control.

Figura 9

Diagrama de Bloques de un Contador de propósito general de 4 Bits.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Una aplicación común de los contadores es en los relojes digitales, donde se utilizan contadores módulo-60 para los segundos y minutos, y módulo-12 o módulo-24 para las horas. Por ejemplo, un contador módulo-60 puede construirse combinando un contador de 4 bits (módulo 10) y otro de 3 bits (módulo 6), de manera que genere la secuencia correcta de dígitos decimales. El funcionamiento sería el siguiente:

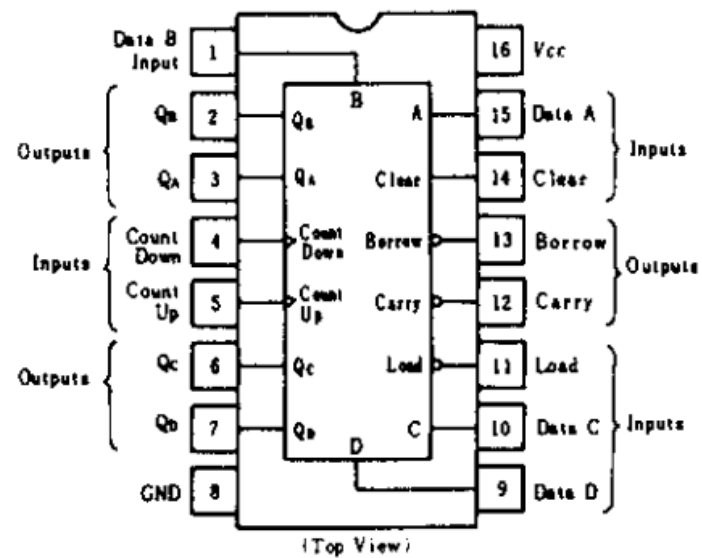
- El contador de unidades (módulo 10) cuenta desde 0 hasta 9.
- Cuando alcanza 9, genera una señal de acarreo que incrementa el contador de decenas (módulo 6).
- El contador de decenas cuenta desde 0 hasta 5, y al llegar a 5 y recibir otro pulso, ambos contadores se reinician.
- Este sistema permite mostrar correctamente los valores de 00 a 59 en un display digital.

La Figura 10 muestra la distribución de pines del contador comercial 74LS192,

Figura 10

Distribución de pines del contador 74LS192.

■ PIN ARRANGEMENT



Nota: Recuperado de Hitachi, 1999b.

Tabla 3

Tabla de funcionamiento del contador 74LS192 (Escobar C, 2025)

Clear	Load'	UP	DOWN	QA	QB	QC	QD	Carry'	Borrow'
1	x	x	x	0	0	0	0	1	1*
0	0	x	x	Data A	Data B	Data C	Data D	1*	1*
0	1	1	1	Sostenimiento				1*	1*
0	1	Pulso	1	Conteo ascendente				1*	1*
0	1	1	Pulso	Conteo descendente				1*	1*

Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Notas:

- El pulso actúa en la transición de bajo a alto
- *: Normalmente en alto pero un estado en bajo aparece cuando se cumplen las condiciones:
 - $\text{Carry}' = (\text{QA} * \text{QD} * \text{UP}')' \rightarrow \text{Conteo ascendente}$
 - $\text{Borrow}' = (\text{QA}' * \text{QB}' * \text{QC}' * \text{QD}' * \text{DOWN}')' \rightarrow \text{Conteo descendente}$
- x: Do't care (no importa el estado)

La

Tabla 3 muestra las entradas y salidas del contador 74LS192 y su funcionamiento. Nótese que la entrada de reloj se aplica ya sea en el pin de control de conteo ascendente o descendente y esto determina el sentido del conteo de este circuito.

Adicionalmente puede observar que la señal de control Load tiene un pequeño círculo junto a su entrada, lo que determina que se trata de una entrada que se habilita con un cero lógico, es por esto que en la tabla de funcionamiento se la representa como negada; Load' y cuando su valor es cero se puede apreciar que en las salidas QA, QB, QC y QD se cargan los datos que estén contenidos en las entradas Data A, Data B, Data C y DATA D, con lo que se puede cargar cualquier estado inicial en el contador o usarlo como memoria.

La señal de control Clear resetea a cero el contador cuando recibe un uno lógico lo que carga todas las salidas en cero. Esta entrada adicionalmente a resetear el contador con lógica binaria complementaria también puede ser usada para configurar el contador como módulo $n < 15$, por ejemplo si se quisiera un contador módulo 12 (1100), la lógica conectada a QA, QB, QC y QD debe generar un uno lógico que envíe la señal de reset ya sea en 12 o en 13, dependiendo de los tiempos de respuesta de retardo del contador comercial que se use.

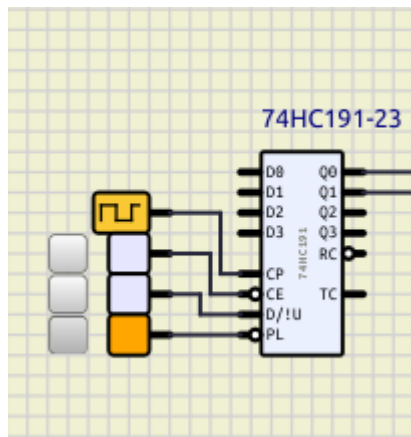
E. Ejercicio de Aplicación

En el ejercicio desarrollado previamente reemplazaremos las entradas manuales A y B por los bits menos significativos de un contador binario de 4 bits pero en orden invertido, es decir B con A y A con b, esto se debe a que el bit más significativo de contador es D y el menos significativo es A, pero en nuestro circuito el más significativo es A y B el menos significativo.

Nótese en la figura 11 como la salida A del contador se conecta a la B de nuestro circuito y viceversa. La señal de control en (enable) permite arrancar y/o detener el conteo que se actualizará en cada ciclo de reloj. Las señales de salida C y D no se usan ya que nuestro circuito HoLA solo tiene cuatro estados y para ello solo se requieren B y A ya que con 2^2 alcanzamos esos 4 estados. Si fueran 8 estados bastaría con CBA y para 16 estados se usarían todas las salidas DCBA. En simulIDE se puede usar el contador 74HC191-23, tal como se muestra en la Figura 11

Figura 11

Contador reemplazando las entradas A y B.



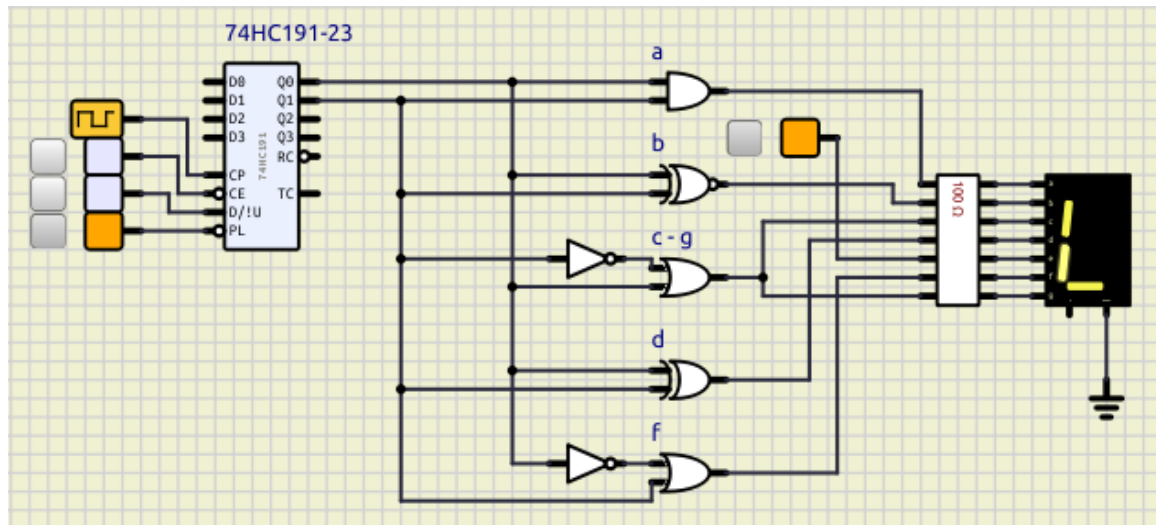
Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

La

Figura 12 muestra el circuito HoLACont.sim1 dónde se incorpora el contador en lugar de las entradas digitales que se seteaban manualmente y que provoca que automáticamente el display muestre la secuencia del mensaje.

Figura 12

Circuito decodificador HoLA con contador.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Al ejecutar el circuito que se adjunta como HoLA-contador.circuit podrá apreciar como el circuito a medida que cuenta de manera ascendente muestra la secuencia H – o – L – A en el display de 7 segmentos. Se le sugiere que pruebe reemplazar el contador por entradas digitales manuales ya que al retirar el contador las conexiones se re-arreglarán de manera automática y es posible que se sienta desorientado respecto a cuales de ellas son las entradas A y B. Como artificio podría poner unas salidas temporales antes de desconectar el contador para tener un control de las líneas de entrada y luego de colocar las entradas digitales, retirar estas salidas.

[En este video puede ver la configuración de dos contadores en cascada implementado en ktechlab y que cuenta de 0 a 99](#)

Referencias citadas en la Clase 11.

Hitachi. (1999a). 8-bit Shift Register/Latch (with 3-state outputs).
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/63916/HITACHI/74HC595.html>

Hitachi. (1999b). Synchronous up/down decade counter.
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/64015/HITACHI/74LS192.html>

Jason, L., Grimes, A., Padrah, Z., & Bäume, J. (2025). Simulador de circuitos KTechlab. Simulador de circuitos KTechlab. <https://github.com/KDE/ktechlab>

Definición de los términos citados en la Clase .

Registro: es un circuito digital compuesto por un conjunto de flip-flops conectados entre sí, generalmente del tipo D (Data), que permite almacenar y manipular bits de información. Cada flip-flop dentro del registro representa un bit individual, por lo que un registro de n bits contiene n flip-flops sincronizados mediante una señal común de reloj. Esta característica permite que todos los bits se actualicen simultáneamente cuando se aplica un pulso de reloj, garantizando la integridad de los datos almacenados.

Contador: es un circuito secuencial diseñado para generar una secuencia predeterminada de estados binarios en respuesta a pulsos de reloj. Estos circuitos son fundamentales en sistemas digitales, ya que permiten realizar funciones como medición de tiempo, conteo de eventos, control de secuencias y generación de señales periódicas. Los contadores están formados principalmente por flip-flops interconectados de manera que cada estado cambia conforme avanza el tiempo o se cumplen ciertas condiciones lógicas.



La excelencia no se improvisa

síguenos

