

Figura 1-3 Ejemplo de procesamiento de información binaria

de la memoria para almacenamiento hasta que vuelvan a ser necesarios. El diagrama muestra el contenido de los dos operandos transferidos de los dos registros de memoria R1 y R2. Los circuitos lógicos digitales producen la suma que a su vez será transferida al registro R3. El contenido del registro R3 puede ser trasladado a los registros de memoria.

Los últimos dos ejemplos demuestran la capacidad del flujo de información del sistema digital de una manera muy sencilla. Los registros del sistema son los elementos básicos para almacenamiento y retención de la información binaria. Los circuitos digitales procesan la información. En la siguiente sección se introducen los circuitos digitales y su correspondiente capacidad de manipulación. El tema de los registros y las operaciones de transferencia de registros se verá de nuevo en el Capítulo 8.

1-8 LOGICA BINARIA

La lógica binaria trata con variables que toman dos valores discretos y con operaciones que asumen significado lógico. Los dos valores que las variables asumen pueden llamarse de diferentes maneras (por ejemplo, *verdadero* y *falso*, *si* y *no*, etc.) pero para este propósito es conveniente pensar

en términos de bits y asignar los valores de 1 y 0. La lógica binaria se usa para describir, de una manera matemática el procesamiento y manipuleo de la información binaria. Se acomoda muy bien para el análisis y diseño de los sistemas digitales. Los circuitos lógicos digitales de la Figura 1-3, que realizan la aritmética binaria, son circuitos cuyo comportamiento se expresa más convenientemente en términos de variables binarias y operaciones lógicas. La lógica binaria que se introduce en esta sección es equivalente a un tipo de álgebra llamada álgebra de Boole. La presentación formal del álgebra de Boole de dos valores se verá en más detalles en el Capítulo 2. El propósito de esta sección es el de introducir el álgebra de Boole, de una manera heurística y de relacionarla con los circuitos lógicos digitales y señales binarias.

Definición de lógica binaria

La lógica binaria consiste en variables binarias y operaciones lógicas. Las variables se indentifican mediante las letras del alfabeto tales como A, B, C, x, y, z, etc. y cada variable tendrá dos y sólo dos valores posibles: 1 y 0. Hay tres operaciones lógicas básicas: AND, OR y NOT.

1. AND: Esta operación se representa por un punto o por la ausencia de un operador. Por ejemplo, $x \cdot y = z$ ó $xy = z$ leído "x y y es igual a z" implican que $z = 1$ si y sólo si $x = 1$ y $y = 1$; de otra forma $z = 0$. (Recuérdese que x, y y z son variables y pueden ser solamente 1 ó 0 y nada más.)
2. OR: Esta operación se representa por un signo más. Por ejemplo $x + y = z$ se lee "x OR y es igual a z", queriendo decir que $z = 1$ si $x = 1$ o si $y = 1$ o si se tiene $x = 1$ y $y = 1$. Si ambos $x = 0$ y $y = 0$, entonces $z = 0$.
3. NOT: Esta operación se representa por un apóstrofe (algunas veces por una barra). Por ejemplo: $x' = z$ (ó $\bar{x} = z$) se lee "x no es igual a z" implicando que z es lo que x no. En otras palabras, si $x = 1$ entonces $z = 0$, pero si $x = 0$ entonces $z = 1$.

La lógica aritmética se parece a la aritmética binaria y las operaciones AND y OR tienen su similitud con la multiplicación y la suma respectivamente. De hecho los símbolos usados para AND y OR son los mismos que se usan para la suma y la multiplicación. La lógica binaria, empero, no se debe confundir con la aritmética binaria. Se debe tener en cuenta que una variable aritmética designa un número que puede consistir en muchos dígitos mientras que una variable lógica es siempre 1 ó 0. En la aritmética binaria, por ejemplo, se tiene que $1 + 1 = 10$ (leído "uno más uno es igual a dos") mientras que en la lógica binaria se tiene que $1 + 1 = 1$ (leído: "uno OR uno es igual a uno").

Existe un valor de z especificado por la definición de la operación lógica, por cada combinación de valores x y y. Estas definiciones pueden listarse en una forma compacta usando *tablas de verdad*. Una tabla de verdad es una tabla de todas las combinaciones posibles de las variables

Tabla 1-6 Tablas de verdad de las operaciones lógicas

AND		OR		NOT	
x	y	$x \cdot y$	$x + y$	x	x'
0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1		
1	1	1	1		

que muestra la relación entre los valores que las variables pueden tomar y el resultado de la operación. Por ejemplo, las tablas de verdad para las operaciones AND y OR con variables x y y se obtienen al listar todos los valores posibles que las variables pueden tener cuando se combinan en pares. El resultado de la operación de cada combinación se lista en una columna separada. Las tablas de verdad de AND, OR y NOT se listan en la Tabla 1-6. Estas tablas demuestran claramente las definiciones de las operaciones.

Señales binarias y circuitos de conmutación

El uso de variables binarias y la aplicación a la lógica binaria se demuestra por los circuitos sencillos de conmutación de la Figura 1-4. Supongamos que los interruptores A y B representan dos variables binarias con valores iguales a 0 cuando el interruptor está abierto e igual a 1 cuando el interruptor está cerrado. Simultáneamente asúmase que la lámpara L representa una tercera variable primaria igual a 1 cuando la luz está prendida e igual a 0 cuando está apagada. Para el caso de los interruptores en series, la luz se prende solamente si A y B están cerrados. Para los interruptores en paralelo, la luz se prenderá si A o B están cerrados. Obviamente estos dos circuitos pueden expresarse por medio de la lógica binaria con las operaciones AND y OR respectivamente:

$$L = A \cdot B \quad \text{para el circuito de la Figura 1-4(a)}$$

$$L = A + B \quad \text{para el circuito de la Figura 1-4(b)}$$

Los circuitos digitales electrónicos se llaman algunas veces *circuitos de conmutación*, ya que se comportan como un interruptor con un elemento activo tal como un transistor conduciendo (interruptor cerrado) o en

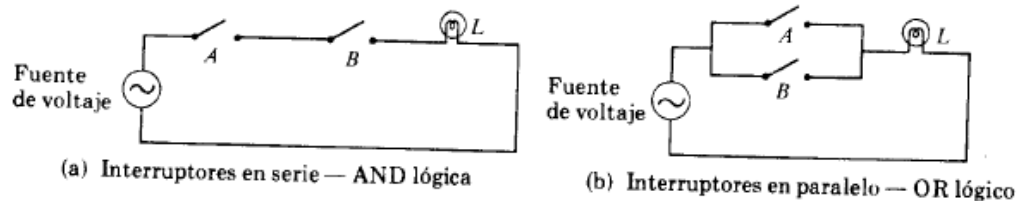


Figura 1-4 Circuitos de interrupción que demuestran la lógica binaria

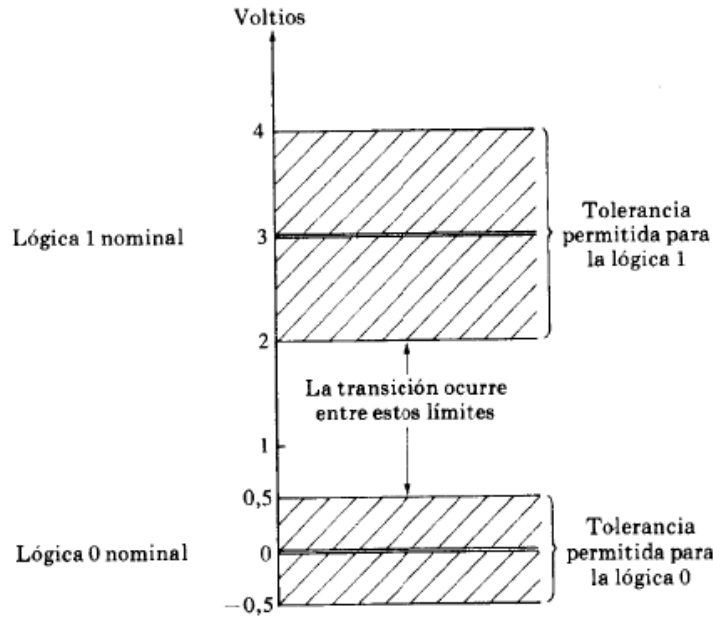


Figura 1-5 Ejemplo de señales binarias

corte (interruptor abierto). En vez de cambiar manualmente el interruptor el circuito de interrupción electrónico usa señales binarias para controlar el estado de conducción o no conducción del elemento activo. Las señales eléctricas tales como voltajes o corrientes existen por todo el sistema digital en cualquiera de los dos valores reconocibles (excepto durante la transición). Los circuitos operados por voltaje responden a dos niveles separados los cuales representan una variable binaria igual a lógica 1 o lógica 0. Un sistema digital en particular podría definir la lógica 1 como una señal de valor nominal de 3 voltios y la lógica 0 como una señal de valor nominal de 0 voltios. Como se muestra en la Figura 1-5 cada nivel de voltaje tiene una desviación aceptable de la nominal. La región intermedia entre las regiones permitidas se cruza solamente durante las transiciones de estado. Los terminales de entrada de los circuitos digitales aceptan señales binarias dentro de las tolerancias permisibles y responden en el terminal de salida con señales binarias que caen dentro de las tolerancias específicas.

Compuertas lógicas

Los circuitos digitales electrónicos se llaman *circuitos lógicos* ya que con las entradas adecuadas establecen caminos de manipuleo lógico. Cualquier información deseada para calcular o controlar, puede ser operada pasando señales binarias a través de varias combinaciones de circuitos lógicos con cada señal que representa una variable y trasporta un bit de información. Los circuitos lógicos que ejecutan las operaciones lógicas de AND, OR y NOT se muestran con sus respectivos símbolos en la Figura 1-6.

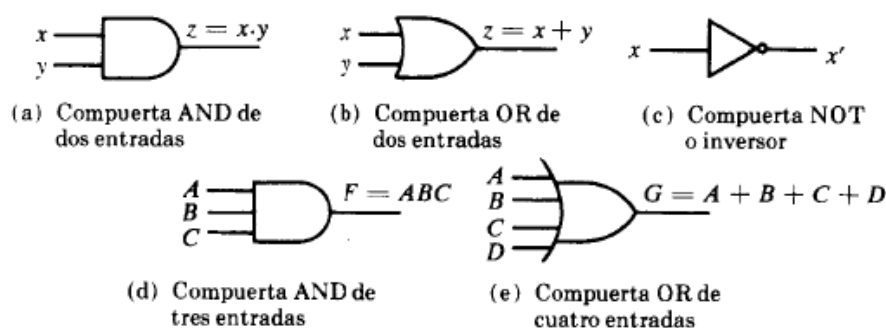


Figura 1-6 Símbolos para los circuitos lógicos

Estos circuitos, llamados *compuertas* son bloques de circuitería que producen señales de salida de lógica 1 o lógica 0, si se satisfacen las condiciones de las entradas lógicas. Nótese que se han usado cuatro nombres diferentes para el mismo tipo de circuito: circuitos digitales, circuitos de conmutación, circuitos lógicos y compuertas. Todos los cuatro nombres se usan a menudo pero se hará referencia a los circuitos como compuertas AND, OR y NOT. La compuerta NOT se denomina algunas veces como *circuito inversor* ya que invierte la señal binaria.

Las señales de entrada x y y en las compuertas de dos entradas de la Figura 1-6 pueden existir en uno de los cuatro estados posibles: 00, 10, 11 ó 01. Estas señales de entrada se muestran en la Figura 1-7 conjuntamente con las señales de salida de las compuertas AND y OR. Los diagramas de tiempo de la Figura 1-7 ilustran la respuesta de cada circuito a cada una de las posibles combinaciones binarias de entrada. La razón para el nombre "inversor" dado a la compuerta NOT es aparente al comparar la señal x (entrada del inversor) y la señal x' (salida del inversor).

Las compuertas AND y OR, pueden tener más de dos entradas como la compuerta AND con tres entradas y la compuerta OR con cuatro entradas de la Figura 1-6. La compuerta AND de tres entradas responde con la salida de lógica 1 si todas las tres señales de entrada son de lógica 1. La salida produce una señal de lógica 0 si cualquier entrada es de lógica 0. La compuerta OR de cuatro entradas responde con lógica 1 cuando cualquier entrada es de lógica 1. Su salida será de lógica 0 si todas las señales de entrada son de lógica 0.

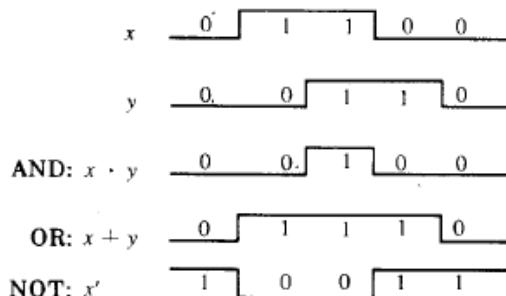


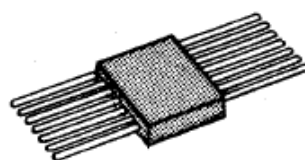
Figura 1-7 Señales de entrada-salida para las compuertas (a), (b) y (c) de la Figura 1-6

El sistema matemático de lógica binaria es mejor conocido como de Boole o álgebra de conmutación. Esta álgebra se usa convenientemente para describir la operación de conjuntos complejos de circuitos digitales. Los diseñadores de los sistemas digitales usan el álgebra de Boole para transformar los diagramas de circuito a expresiones algebraicas o viceversa. Los Capítulos 2 y 3 se dedican al estudio del álgebra de Boole, sus propiedades y su capacidad de manipuleo. El Capítulo 4 muestra cómo el álgebra de Boole puede usarse para expresar matemáticamente las interconexiones entre los enlaces de compuertas.

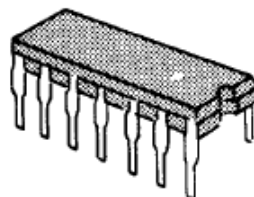
1-9 CIRCUITOS INTEGRADOS

Los circuitos digitales están contruidos invariablemente con circuitos integrados. Un circuito integrado (abreviado CI) es un cristal semiconductor de silicón, llamado *pastilla*, que contiene componentes eléctricos tales como transistores, diodos, resistencias y condensadores. Los diversos componentes están interconectados dentro de la pastilla para formar un circuito electrónico. La pastilla está montada en un empaque plástico con sus conexiones soldadas a las patillas externas para conformar el circuito integrado. Los circuitos integrados difieren de otros circuitos electrónicos compuestos de elementos discretos en que los componentes individuales del CI no pueden ser separados o desconectados y que el circuito dentro del paquete se hace accesible solamente por medio de las patillas externas.

Los circuitos integrados vienen en dos clases de pastillas, la pastilla plana y la pastilla de hilera doble de patillas* tal como se ve en la Figura 1-8. La pastilla de hilera doble es la más comúnmente usada debido a su bajo costo y fácil instalación en los circuitos impresos. La protección del circuito integrado se hace de plástico o cerámica. La mayoría de las pastillas tienen tamaños normalizados y el número de patillas varían entre 8 y 64. Cada circuito integrado tiene su designación numérica impresa sobre su superficie, para poder identificarlo. Cada fabricante publica un libro de características o catálogo para suministrar la información correspondiente a los diversos productos.



Pastilla plana



Pastilla de hilera doble de patillas

Figura 1-8 Circuitos integrados

* En inglés se usa (DIP) Dual-in-line package.

El tamaño del circuito integrado es bastante pequeño. Por ejemplo, cuatro compuertas AND están encapsuladas dentro de una pastilla de 14 patillas en hilera doble con dimensiones de $20 \times 8 \times 3$ milímetros. Un microprocesador completo está encapsulado de una pastilla de 40 patillas en hilera doble con dimensiones de $50 \times 15 \times 4$ milímetros.

Además de la reducción sustancial de tamaño el CI ofrece otras ventajas y beneficios comparados con los circuitos electrónicos con componentes discretos. El costo de los CI es bastante bajo, lo cual los hace económicos de usarlos. Su bajo consumo de poder hace los sistemas digitales más económicos de operar. Tienen una gran confiabilidad de no fallar y por tanto menos reparaciones. La velocidad de operación es alta haciéndolos más adecuados para operaciones de alta velocidad. El uso de los CI reduce el número de conexiones externas ya que la mayoría están internamente dentro de la pastilla. Debido a todas estas ventajas, los sistemas digitales se construyen con circuitos integrados.

Los circuitos integrados se clasifican en dos categorías generales: *lineales* y *digitales*. Los CI lineales operan con señales continuas para producir funciones electrónicas tales como amplificadores y comparadores de voltaje. Los circuitos integrados digitales, operan con señales binarias y se hacen de compuertas digitales interconectadas. Aquí se tratará solamente con los circuitos integrados digitales.

A medida que mejora la tecnología de los CI, el número de compuertas que pueden encapsularse en una pastilla de silicón, ha aumentado considerablemente. La forma de diferenciar aquellos CI que tengan unas pocas compuertas, con las que tienen cientos de compuertas, es referirse a la pastilla como un elemento de integración pequeña, mediana o grande. Unas pocas compuertas en una sola pastilla constituyen un elemento de integración pequeña (SSI)*. Para poder calificar como un elemento de integración mediana (MSI)* el circuito integrado debe cumplir una función lógica completa y tener una complejidad de 10 a 100 compuertas. Un elemento de integración a gran escala (LSI)* realiza una función lógica con más de 100 compuertas. Existe también una integración de muy grande escala (VLSI)* para aquellos elementos que contienen miles de compuertas en una sola pastilla.

Muchos diagramas de circuitos digitales considerados en este libro, se muestran en detalle hasta describir las compuertas individuales y sus interconexiones. Tales diagramas son útiles para demostrar la construcción lógica de una función particular. Sin embargo, debemos tener en cuenta en la práctica que una función dada se obtiene de un elemento de mediana o gran integración (MSI y LSI), al cual el usuario sólo tiene acceso a las entradas externas o salidas pero nunca a las entradas o salidas de las compuertas intermedias. Por ejemplo, un diseñador que desee incorporar un registro en su sistema debe preferiblemente escoger tal función de un circuito de mediana integración (MSI), en vez de diseñar los circuitos digitales individuales como se muestra en el diagrama.

*En inglés se usa: SSI (Small scale integration) Integración de pequeña escala; MSI (Medium scale integration) Integración de mediana escala; LSI (Large scale integration) Integración a gran escala; VLSI (Very large scale integration) Integración a muy grande escala.