SERIE DE COMPENDIOS SCHAUM

TEORÍA Y PROBLEMAS

de

PRINCIPIOS DIGITALES

ROGER L. TOKHEIM, M. S.
Jefe del Departamento de Educación Industrial,
Henry Sibley High School
Mendota Heights, Minnesota

Traducción:
Raúl Varela G.
Químico
Profesor de Computación y Programación
en la U.N.A.M.

María Pozzi de del Conde
Matemática
Investigadora del Colegio de México

Revisión Técnica:
José Cen Zubieta
Ingeniero Mecánico Electricista, U.N.A.M.
Maestro en Ciencias de Operaciones
New York University
Jefe de la Unidad de Cómputo del Colegio de México

McGraw-Hill

MÉXICO • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • GUATEMALA • LISBOA • MADRID
NUEVA YORK • PANAMÁ • SAN JUAN • SANTIAGO • SÃO PAULO • AUCKLAND
HAMBURGO • JOHANNESBURGO • LONDRES • MONTREAL • NUEVA DELHI
PARÍS • SAN FRANCISCO • SINGAPUR • ST. LOUIS • SIDNEY • TOKIO • TORONTO

PRINCIPIOS DIGITALES

LIBROS McGRAW-HILL DE MÉXICO, S. A. de C. V.
Atlacomulco 499-501, Fracc. Industrial San Andrés Atoto
53500 Naucalpan de Juárez, Edo. de México
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial, Reg. Núm. 465

ISBN 968-451-287-2

Traducido de la primera edición en inglés de
DIGITAL PRINCIPLES

ISBN 0-07-064928-6

2345678901 P.E.-82 8012356794

Impreso en México Printed In Mexico

Esta obra se terminó en febrero de 1984
en Litográfica Ingramex, S, A.,
Centeno 162,
Col. Granjas Esmeralda
Delegación Iztapalapa
09810 México, D. F.

Se tiraron 3 000 ejemplares

Prefacio

La electrónica digital es una tecnología en desarrollo. Los circuitos digitales se emplean ahora en todo tipo de productos; desde juguetes para niños hasta computadoras, desde sistemas de telemetría en satélites hasta calculadoras manuales. Debido principalmente al desarrollo de los circuitos integrados (CI) de bajo costo, los circuitos digitales aparecen actualmente en casi todos los productos electrónicos y se espera que esta tendencia continúe.

Principios digitales de la serie Schaum facilita la información necesaria para ayudar al lector a resolver aquellos problemas digitales con los que uno puede encontrarse como estudiante, técnico, ingeniero o aficionado. Debido a que son necesarios los principios del tema, la filosofía Schaum's se dedica a mostrar al estudiante *cómo aplicar* los principios de la electrónica digital. Este libro contiene más de 700 problemas prácticos, muchos de ellos con soluciones detalladas.

Los temas tratados en este libro fueron seleccionados cuidadosamente para que coincidieran con los cursos que se imparten a nivel preparatoria, vocacional o escuela técnica*. Se analizaron ocho de los libros de texto y manuales de laboratorio que se utilizan más en el campo de la electrónica digital. Los temas y problemas que se incluyen en este libro son similares a los que se encuentran con más frecuencia en los libros comunes.

Principios digitales de la Serie Schaum, empieza con *sistemas numéricos y códigos digitales* y continúa con *compuertas lógicas* y circuitos de lógica combinatoria. Luego trata *basculadores* y *lógica secuencial* siguiendo con *contadores, registros de corrimiento, circuitos aritméticos* y, finalmente, *dispositivos de interfase.* El libro hace hincapié en el uso de CI estándar en la industria para que el lector se familiarice con los aspectos de *hardware* de la electrónica digital.

Afortunadamente, si se comprenden algunos principios, la electrónica digital no es difícil. La electrónica digital es interesante por las fantásticas tareas que estos circuitos pueden realizar. Usando sólo unos cuantos CI digitales, pueden diseñarse y construirse proyectos que contengan el equivalente de miles de transistores.

Deseo agradecer a mis alumnos de la Henry Sibley High School por su aliento. También quisiera expresar mi aprecio a mi familia, Dan, Marshall y Caroline, por su apoyo y paciencia.

ROGER L. TOKHEIM

*N. del T. En el sistema educacional de E.U.A.

ROGER L. TOKHEIM tiene el grado en Educación de Artes Industriales del St. Cloud State College y de la Universidad de Wisconsin. Es autor del libro *Digital Electronics* (McGraw-Hill, 1979) y de abundante material educacional de ciencias e industria. Como un experimentado educador en los niveles adulto y secundario, es actualmente el jefe de Educación Industrial de Henry Sibley High School, Mendota Heights, Minnesota.

Contenido

Capítulo 1

Números utilizados en electrónica digital

1-1 INTRODUCCIÓN

Todos conocemos el sistema de números decimales, que utiliza los símbolos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9. El sistema decimal también tiene un valor de posición característico. Considérese el número decimal 238. El 8 está en la posición o lugar de las unidades, el 3 en el de las decenas, por lo tanto, las tres decenas denotan 30 unidades; el 2 está en el de las centenas, o sea, 200 unidades. Sumando 200 + 30 + 8, el número decimal total que se obtiene es 238. El sistema decimal también se llama sistema de *base 10*, ya que tiene diez símbolos diferentes. Asimismo se dice que este sistema tiene *rádix 10*. Los términos base y rádix significan exactamente lo mismo.

Los números binarios (base 2) se usan ampliamente en circuitos digitales, los números octales (base 8) y hexadecimales (base 16), aunque en menor grado, también se utilizan en sistemas digitales.

Todos estos sistemas mencionados (decimal, binario, octal y hexadecimal) pueden usarse para contar, y todos tienen el valor de posición característico.

1-2 NÚMEROS BINARIOS

El sistema de números binarios sólo utiliza dos símbolos (0,1); se dice que tiene rádix 2 y comúnmente se llama sistema de números de *base 2*. Cada *dígito binario* se denomina *bit*.

La forma de contar en binario se muestra en la figura 1-1. El número binario se indica a la derecha, con su decimal equivalente a la izquierda. Nótese que el *bit menos significativo* (bms) está en el lugar de las unidades; en otras palabras, si el 1 aparece en la columna derecha, se suma un 1 a la cuenta binaria; el segundo lugar de derecha a izquierda es el lugar de los 2(doses); el 1 que aparece en esta columna (como en el renglón del 2 decimal) significa que se suma un 2 a la cuenta. La figura 1-1 es otro ejemplo de tres valores de posición binarios (el de los 4 (cuatros), los 8 (ochos) y los 16 (dieciséises)). Nótese que cada valor de posición es una potencia de 2 mayor que el de la derecha. De hecho, el lugar de las unidades es 2^0, el de los 2 (doses) 2^1, el de los 4 (cuatros) 2^2, el de los 8 (ochos) 2^3 y el de los 16 (dieciseises) 2^4. En electrónica digital se acostumbra memorizar por lo menos la sucesión de la cuenta binaria del 0000 al 1111 (se dice uno, uno, uno, uno), o sea, hasta el 15 decimal.

Considérese el número de la figura 1-2*a*, donde se enseña cómo convertir el 10011 (se dice uno, cero, cero, uno, uno) a su decimal equivalente. Nótese que para cada bit del número binario, el decimal equivalente para

conteo decimal	conteo binario				
	16	8	4	2	1
0					0
1					1
2				1	0
3				1	1
4			1	0	0
5			1	0	1
6			1	1	0
7			1	1	1
8		1	0	0	0
9		1	0	0	1
10		1	0	1	0
11		1	0	1	1
12		1	1	0	0
13		1	1	0	1
14		1	1	1	0
15		1	1	1	1
16	1	0	0	0	0
17	1	0	0	0	1
18	1	0	0	1	0
19	1	0	0	1	1

Fig 1-1 Conteo binario y decimal

ese valor de posición, está escrito abajo. Para obtener este decimal, se suman los números decimales (16 + 2 + 1 = 19) y se concluye entonces que el 10011 binario es igual al 19 decimal.

Considérese el número binario 101110 de la figura 1-2*b*. Siguiendo el mismo procedimiento, cada bit del número binario genera un decimal equivalente para ese valor de posición. El *bit más significativo* (BMS) del número binario es igual a 32, y si a éste le sumamos 8 + 4 + 2, da como resultado un total de 46, por lo que el 101110 binario es equivalente al 46 decimal. La figura 1-2*b* identifica también al punto binario (similar al punto decimal en números decimales). Generalmente se omite el punto binario al trabajar con binarios enteros.

Potencias de 2		2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
Valor de posición		16	8	4	2	1		
Binario		1	0	0	1	1	.	←Punto binario
Decimal		16	+		2 +	1	=	19

a) Conversión de binario a decimal

Potencias de 2	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
Valor de posición	32	16	8	4	2	1		
Binario	1	0	1	1	1	0	.	← Punto binario
Decimal	32	+	8 +	4 +	2		=	46

b) Conversión de binario a decimal

$10011_2 = 19_{10}$ $101110_2 = 46_{10}$

c) Resumen de conversiones y uso de subíndices para indicar la base del número

Fig 1-2

¿Cómo convertir números fraccionarios? La figura 1-3 es un ejemplo de la conversión del número binario 1110.101 a su decimal equivalente. Los valores de posición se indican en la parte superior; hay que notar el valor de cada lugar a la derecha del punto binario. El procedimiento para efectuar esta conversión es el mismo que se emplea para con los números enteros: se suma el valor de posición de cada bit para obtener el número decimal. En este problema 8 + 4 + 2 + 0.5 + 0.125 = 14.625 decimal.

Potencias de 2	2^3		2^2		2^1		2^0		$1/2^1$		$1/2^2$	$1/2^3$		
Valor de posición	8		4		2		1		0.5		0.25	0.125		
Binario	1		1		1		0	.	1		0	1		
Decimal	8	+	4	+	2	+			0.5	+		0.125	=	14.625

Fig 1-3 Conversión de binario a decimal

¿Cuál es el valor del número 111? Podría ser ciento once en decimal, o bien uno, uno, uno en binario. Algunos libros utilizan el sistema que se muestra en la figura 1-2*c* para designar la base o rádix de una cantidad. En este caso, 10011 es de base 2 como lo indica el subíndice 2. El número 19 está en base 10 como lo indica el subíndice 10. La figura 1-2*c* es un resumen de las conversiones binarias a decimales de las figuras 1-2*a* y *b*.

Conviértase el número decimal 87 a número binario. La figura 1-4 nos muestra un método adecuado para llevar a cabo esta conversión: se divide el número 87 entre 2 y se obtiene el cociente 43 y de residuo 1; éste es importante y se escribe a la derecha, además es el bit menos significativo (bms), número binario. El cociente (43) se transfiere como lo indica la flecha y pasa a ser el dividendo. De esta forma, todos los cocientes se dividen entre 2, hasta que el último sea 0 y el residuo sea 1, como en la última linea de la figura 1-4. Casi al final de la figura se indica que el 87 decimal es igual al 1010111 binario.

$87_{10} \div 2 = 43$ y con residuo 1 (bms)

$43 \div 2 = 21$ y con residuo 1

$21 \div 2 = 10$ y con residuo 1

$10 \div 2 = 5$ y con residuo 0

$5 \div 2 = 2$ y con residuo 1

$2 \div 2 = 1$ y con residuo 0

$1 \div 2 = 0$ y con residuo 1 (BMS)

$$87_{10} = 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1_2$$

Fig 1-4 Conversión de decimal a binario

Conviértase el 0.375 decimal a número binario. La figura 1-5*a* ilustra un método de llevar a cabo esta operación. Hay que notar que el número decimal (0.375) se multiplica por 2, dando como resultado 0.75. El 0 del lugar de los enteros (lugar de las unidades) será el siguiente bital punto binario. Entonces el 0.75 se multiplica por 2, resultando 1.50. El acarreo del 1 a los enteros (lugar de las unidades), será el siguiente bit a la derecha del anterior, se multiplica entonces el 0.50 por 2 obteniendo como resultado 1.00. El acarreo del 1 al lugar de los enteros es el 1 final del número binario, ya que el proceso de conversión termina cuando el producto es 1.00. En la figura 1-5*a* vemos cómo convertir el 0.375 decimal a su correspondiente 0.011 binario.

$0.375 \times 2 = 0.75$

$0.75 \times 2 = 1.50$

$0.50 \times 2 = 1.00$

$$0.375_{10} = .\,0\ 1\ 1_2$$

a)

$0.84375 \times 2 = 1.6875$

$0.6875 \times 2 = 1.375$

$0.375 \times 2 = 0.75$

$0.75 \times 2 = 1.50$

$0.50 \times 2 = 1.00$

$$0.84375_{10} = .\,1\ 1\ 0\ 1\ 1_2$$

b)

Fig 1-5 Conversiones de decimal fraccionario a binario

La figura 1-5*b* muestra la conversión del 0.84375 decimal a binario. Una vez más hay que hacer hincapié en que 0.84375 se multiplica por 2. El entero de cada producto se escribe abajo, generando así el número binario, y cuando el producto es igual a 1.00, se termina la conversión. En este problema se indica cómo convertir el 0.84375 decimal al 0.11011 binario.

Considérese el número decimal 5.625. Para convertir este número a binario se necesitan dos procesos diferentes: la parte entera del número (5) se procesa por división repetida como se ilustra en la parte superior de la figura 1-6. De esta forma el 5 decimal se convierte en el 101 binario. La parte fraccionaria del número decimal (.625) se convierte al .101 binario como se indica en la parte inferior de la figura 1-6. Esta parte se convierte al binario .101 mediante un proceso de multiplicación repetida. En seguida se combinan las dos secciones entera y fraccionaria, resultando que el 5.625 decimal es igual al 101.101 binario.

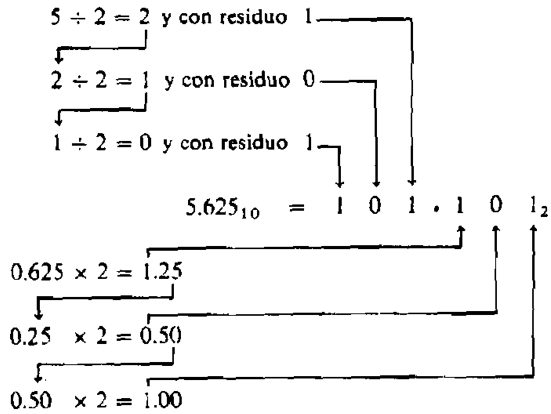

Fig 1-6 Conversión de decimal a binario

PROBLEMAS RESUELTOS

1.1 El sistema binario de números es el sistema de base ____ y tiene rádix ____.

Solución:

El sistema binario de números es el sistema de base 2 y tiene rádix 2.

1.2 Al trabajar con números binarios, el término bit significa ______ ______.

Solución:

Bit significa dígito binario.

1.3 ¿Cómo diría el número 1001 en *a*) binario y *b*) decimal?

Solución:

El número 1001 se dice de la siguiente manera: *a*) uno, cero, cero, uno. *b*) mil uno.

1.4 El número 110_{10} es un número de base ____.

Solución:

El número 110_{10} es un número de base 10, como lo indica el subíndice 10.

1.5 Escribir el número de base 2, uno, uno, cero, cero, uno.

Solución:

11001_2

1.6 Convertir los siguientes números binarios a sus decimales equivalentes:

a) 001100	*c*) 011100	*e*) 101010	*g*) 100001
b) 000011	*d*) 111100	*f*) 111111	*h*) 111000

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-2 los decimales equivalentes a los números binarios son:

a) $001100_2 = 12_{10}$	*c*) $011100_2 = 28_{10}$	*e*) $101010_2 = 42_{10}$	*g*) $100001_2 = 33_{10}$
b) $000011_2 = 3_{10}$	*d*) $111100_2 = 60_{10}$	*f*) $111111_2 = 63_{10}$	*h*) $111000_2 = 56_{10}$

1.7 $11110001111_2 =$ ______$_{10}$

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-2, $11110001111_2 = 1935_{10}$.

1.8 $11100.011_2 =$ ______$_{10}$

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-3, $11100.011_2 = 28.375_{10}$.

1.9 $110011.10011_2 =$ ______$_{10}$.

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-3, $110011.10011_2 = 51.59375_{10}$

1.10 $1010101010.1_2 =$ ______$_{10}$

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-3, $1010101010.1_2 = 682.5_{10}$

1.11 Convertir los siguientes números decimales a sus binarios equivalentes:
a) 64, *b*) 100, *c*) 111, *d*) 145, *e*) 255, *f*) 500

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-4, los binarios equivalentes a los números decimales son:

a) $64_{10} = 1000000_2$	*c*) $111_{10} = 1101111_2$	*e*) $255_{10} = 11111111_2$
b) $100_{10} = 1100100_2$	*d*) $145_{10} = 10010001_2$	*f*) $500_{10} = 111110100_2$

1.12 $34.75_{10} =$ ______$_2$

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-6, $34.75_{10} = 100010.11_2$

1.13 $25.25_{10} =$ ______$_2$

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-6, $25.25_{10} = 11001.01_2$

1.14 $27.1875_{10} =$ ______$_2$

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-6, $27.1875_{10} = 11011.0011_2$

1-3 NÚMEROS OCTALES

El sistema octal es el de base 8, y los ocho símbolos que utiliza son 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7. La tabla de la figura 1-7 compara cómo se cuenta en los sistemas decimal, binario y octal. La utilidad del sistema octal radica en que posee un símbolo diferente para cada número binario del 000 al 111.

Conteo decimal	Conteo binario	Conteo octal	Conteo decimal	Conteo binario	Conteo octal
0	000	0	9	1001	11
1	001	1	10	1010	12
2	010	2	11	1011	13
3	011	3	12	1100	14
4	100	4	13	1101	15
5	101	5	14	1110	16
6	110	6	15	1111	17
7	111	7	16	10000	20
8	1000	10	17	10001	21

Fig 1-7 Forma de contar en los sistemas decimales, binario y octal

El sistema octal también utiliza el valor de posición. La figura 1-8*a* enseña el valor de los cuatro primeros lugares a la izquierda del punto octal. El dígito menos significativo (dms) es el que está en el lugar de las unidades, mientras que el lugar del 8^1 es igual a 8 y así sucesivamente, por lo tanto, el valor o peso de las posiciones 1, 8, 64, 512, etc.

Potencias de 8	8^3	8^2	8^1	8^0 . ← Punto octal
Valor de posición (en decimales)	512	64	8	1

a) Valores de posición en el sistema octal

Número octal: 1 2 3_8

$$\text{Decimal} \quad \begin{array}{r}64\\ \times 1\\ \hline 64\end{array} + \begin{array}{r}8\\ \times 2\\ \hline 16\end{array} + \begin{array}{r}1\\ \times 3\\ \hline 3\end{array} = 83_{10}$$

b) Conversión de octal a decimal

Número octal: 2 4 5 7_8

$$\text{Decimal} \quad \begin{array}{r}512\\ \times 2\\ \hline 1024\end{array} + \begin{array}{r}64\\ \times 4\\ \hline 256\end{array} + \begin{array}{r}8\\ \times 5\\ \hline 40\end{array} + \begin{array}{r}1\\ \times 7\\ \hline 7\end{array} = 1327_{10}$$

c) Conversión de octal a decimal

Fig 1-8

Conviértase el número octal 123_8 a su decimal equivalente. La figura 1-8*b* enseña el procedimiento. Considere primero el lugar de las unidades; tres 1(unos) es igual a 3, escrito abajo en la línea decimal. Después se considera el lugar de los 8(ochos); hay dos 8 por lo que $2 \times 8 = 16$, que se suma al 3 de abajo. Considere por último el lugar de los 64, sólo hay un 64 que se suma finalmente al 16 y al 3 ($64 + 16 + 3 = 83$), obteniendo como resultado el 83 decimal, por lo que el octal 123 es igual al 83 decimal.

Conviértase el octal 2457_8 a número decimal. La figura 1-8*c* muestra con detalle el procedimiento. El valor de posición se multiplica por el dígito en esa posición y se suman los productos. El resultado es que el octal 2457 es igual al 1327 decimal.

El procedimiento para convertir números decimales a octales es similar al que se utiliza para convertir decimales a binarios. Convertir el decimal 1327 a octal. Este procedimiento se muestra en la figura

1-9. Primero el 1327 se divide entre 8, obteniendo como cociente 165 y residuo 7, que pasa a ser el dígito menos significativo del número octal. El cociente (165) se transfiere (véase la flecha de la figura 1-9) y se convierte en el dividendo, éste se divide entre 8 y se obtiene 20 de cociente y 5 de residuo, que se escribe abajo como el siguiente dígito del número octal. La repetición del proceso de dividir entre 8 continúa hasta que el cociente sea 0 y el residuo desde 1 hasta 7, inclusive. En este problema el número decimal 1327 es equivalente al 2457 octal.

$1327 \div 8 = 165$ y con residuo 7

$165 \div 8 = 20$ y con residuo 5

$20 \div 8 = 2$ y con residuo 4

$2 \div 8 = 0$ y con residuo 2

$$1327_{10} = 2\ 4\ 5\ 7_8$$

Fig 1-9 Conversión de decimal a octal

Considere el número octal 642.21. La figura 1-10*a* enseña un proceso sencillo para convertir este número octal a número decimal. Cada valor de posición se multiplica por el dígito de ese lugar, que está escrito abajo. Se suman los 5 valores decimales (384 + 32 + 2 + 0.25 + 0.015625 = 418.265625) obteniendo así, el número de base 10 equivalente.

Potencias de 8	8^2	8^1	8^0	$1/8^1$	$1/8^2$
Valor de posición	64	8	1	.125	.015 625
Número octal	6	4	2	2	1

$$\text{Decimal}\quad \frac{64 \times 6}{384} + \frac{8 \times 4}{32} + \frac{1 \times 2}{2} + \frac{.125 \times 2}{.25} + \frac{.015\,625 \times 1}{.015\,625} = 418.265\,625_{10}$$

a) Conversión de octal fraccionario a decimal

$418 \div 8 = 52$ y con residuo 2

$52 \div 8 = 6$ y con residuo 4

$6 \div 8 = 0$ y con residuo 6

$$418.265\,625_{10} = 6\ 4\ 2\,.\,2\ 1_8$$

$0.265\,625 \times 8 = 2.125$

$0.125 \times 8 = 1.00$

$0.00 \times 8 = 0.00$

b) Conversión de decimal fraccionario a octal

Fig 1-10

Para convertir el decimal 418.265 625 a octal se invierte el proceso, éste se puede observar con detalle en la figura 1-10*b*. El primer proceso es la división repetida entre 8; utilizando los residuos se genera la parte entera del número octal; por lo tanto, el decimal 418 es igual al 624 octal.

La parte fraccionaria del decimal se convierte a octal en la sección inferior de la figura 1-10*b*, y se lleva a cabo por medio de repetidas multiplicaciones por 8. La parte entera de cada producto genera la respuesta. El proceso termina cuando el producto de la multiplicación es 0.00. Combinando el resultado de las partes entera y fraccionaria se obtiene el número octal 642.21_8.

La utilidad del sistema octal, está en su facilidad de conversión a binario. Considérese el número octal 532. Para efectuar esta conversión basta memorizar tan sólo los primeros ocho números de la cuenta binaria (000 − 111) y sus respectivos octales equivalentes, que se encuentran en la parte sombreada de la tabla de la figura 1-7. La conversión del octal 532_8 a binario se observa en la figura 1-11*a*. Nótese que cada dígito octal forma un grupo de tres dígitos binarios.

$$\begin{array}{ccc} 5 & 3 & 2_8 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 101 & 011 & 010 \end{array} \qquad 532_8 = 101011010_2$$

a) Conversión de octal a binario

$$\begin{array}{cccc} 110 & 111 & 000 & 100_2 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 6 & 7 & 0 & 4 \end{array} \qquad 110111000100_2 = 6704_8$$

b) Conversión de binario a octal

$$\begin{array}{ccccc} 7 & 4 & . & 6 & 1_8 \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 111 & 100 & . & 110 & 001 \end{array} \qquad 74.61_8 = 111100.110001_2$$

c) Conversión de octal fraccionario a binario

$$\begin{array}{ccccc} 001 & 011 & . & 101 & 100_2 \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 3 & . & 5 & 4 \end{array} \qquad 1011.1011_2 = 13.54_8$$

d) Conversión de binario fraccionario a octal

Fig 1-11

La figura 1-11*b* muestra otra conversión de octal a binario en donde el 74.61_8 se convierte a su equivalente binario. Nótese que el punto octal pasa a ser el punto binario en el número de base 2. Por lo tanto, 74.61_8 es igual al 111100.110001_2.

Para convertir de binario a octal se invierte el proceso. La figura 1-11*c* enseña cómo el binario 110111000100 se divide en grupos de tres bit cada uno, empezando en el punto binario. Cada grupo genera su dígito octal equivalente, y así se muestra en la figura 1-11*c* que el 110111000100_2 es igual al 6704_8.

Conviértase el binario 1011.1011 a su octal equivalente. Primero hay que dividir los bit binarios en grupos de tres, *cada uno a partir del punto binario*. La figura 1-11*d* muestra cómo dividir los bit binarios en grupos de tres; después, cada grupo de 3 se traduce al dígito octal correspondiente y el punto binario se transforma en el punto octal. La figura 1-11*d* ilustra cómo el 1011.1011_2 es igual al 13.54_8.

PROBLEMAS RESUELTOS

1.15 El sistema octal se llama sistema de base ________.

Solución:

El sistema octal se llama sistema de base 8.

1.16 Enumere los ocho símbolos utilizados en el sistema octal de números.

Solución:

Los ocho símbolos utilizados en el sistema octal son: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7

1.17 Conviértanse los siguientes números octales a sus decimales equivalentes:
a) 42, *b*) 376, *c*) 1057, *d*) 11.11, *e*) 37.123

Solución:

Siguiendo el procedimiento de las figuras 1-8 y 1-10*a*, los decimales equivalentes a estos números octales son:
a) $42_8 = 34_{10}$ *c*) $1057_8 = 559_{10}$ *e*) $37.123_8 = 31.162_{10}$
b) $376_8 = 254_{10}$ *d*) $11.11_8 = 9.141_{10}$

1.18 Convertir los siguientes decimales enteros a sus octales equivalentes:
a) 3, *b*) 7, *c*) 10, *d*) 50, *e*) 100, *f*) 6391

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-9, los octales equivalentes a los números decimales son:
a) $3_{10} = 3_8$ *c*) $10_{10} = 12_8$ *e*) $100_{10} = 144_8$
b) $7_{10} = 7_8$ *d*) $50_{10} = 62_8$ *f*) $6391_{10} = 14367_8$

1.19 Conviértanse los siguientes números decimales a sus octales equivalentes:
a) 77.375, *b*) 20.515625, *c*) 8.15625, *d*) 44.5625

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-10*b*, los octales equivalentes a los números decimales son:
a) $77.375_{10} = 115.3_8$ *c*) $8.15625_{10} = 10.12_8$
b) $20.515625_{10} = 24.41_8$ *d*) $44.5625_{10} = 54.44_8$.

1.20 Conviértanse los siguientes números octales enteros a sus equivalentes binarios:
a) 3, *b*) 6, *c*) 7, *d*) 72, *e*) 113

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura. 1-11*a* y haciendo uso de la tabla de la figura 1-7, los binarios equivalentes a los octales enteros son:
a) $3_8 = 011_2$ *c*) $7_8 = 111_2$ *e*) $113_8 = 1001011_2$
b) $6_8 = 110_2$ *d*) $72_8 = 111010_2$

1.21 Conviértanse los siguientes números octales a sus equivalentes binarios:
a) 7.5, *b*) 16.3, *c*) 20.1, *d*) 37.6, *e*) 11.4

Solución:

Siguiendo el procedimiento que se muestra en la figura 1-11*b*, los binarios equivalentes a los octales, son:
a) $7.5_8 = 111.101_2$ *c*) $20.1_8 = 10000.001_2$ *e*) $11.4_8 = 1001.1_2$
b) $16.3_8 = 1110.011_2$ *d*) $37.6_8 = 11111.11_2$

1.22 Conviértanse los siguientes números binarios a sus equivalentes octales:
a) 011, *b*) 110, *c*) 111000, *d*) 101100

Solución:

Siguiendo el procedimiento que se muestra en la figura 1-11c, los octales equivalentes a los números binarios son:
a) $011_2 = 3_8$ *c*) $111000_2 = 70_8$
b) $110_2 = 6_8$ *d*) $101100_2 = 54_8$

1.23 Convertir los siguientes números binarios a sus equivalentes octales:
a) 111.001, *b*) 1011.011, *c*) 110110.11011, *d*) 11000.1001

Solución:

Siguiendo el procedimiento de la figura 1-11*c*, los octales equivalentes a estos binarios, son:

a) $111.001_2 = 7.1_8$ *c*) $110110.11011_2 = 66.66_8$
b) $1011.011_2 = 13.3_8$ *d*) $11000.1001_2 = 30.44_8$

1-4 NÚMEROS HEXADECIMALES

El sistema hexadecimal de números es el sistema de números de base 16, utiliza los símbolos 0-9, A, B, C, D, E y F como se muestra en la tabla de la figura 1-12, columna de hexadecimales. La letra A representa el 10, la B el 11, la C el 12, la D el 13, la E el 14 y la F el 15. La ventaja de este sistema es su facilidad de conversión directa a un número binario de cuatro bit. En la sección sombreada de la figura 1-12 cada número binario de cuatro bit, o sea, del 0000 al 1111, puede representarse por un sólo dígito hexadecimal.

Decimal	Binario	Hexadecimal	Decimal	Binario	Hexadecimal
0	0000	0	16	10000	10
1	0001	1	17	10001	11
2	0010	2	18	10010	12
3	0011	3	19	10011	13
4	0100	4	20	10100	14
5	0101	5	21	10101	15
6	0110	6	22	10110	16
7	0111	7	23	10111	17
8	1000	8	24	11000	18
9	1001	9	25	11001	19
10	1010	A	26	11010	1A
11	1011	B	27	11011	1B
12	1100	C	28	11100	1C
13	1101	D	29	11101	1D
14	1110	E	30	11110	1E
15	1111	F	31	11111	1F

Fig 1-12 Forma de contar en los sistemas decimal, binario y hexadecimal

Al fijarse en la columna decimal de la figura 1-12 se puede ver que el equivalente de 16 en el sistema hexadecimal es 10, lo que demuestra que el sistema hexadecimal también emplea el concepto de valor de posición. El 1 en (10_{16}) significa 16 unidades, mientras que el 0 representa cero unidades.

Conviértase el hexadecimal 2B6 a número decimal. La figura 1-13*a* muestra el proceso que ya conocemos. El 2 está en el lugar de los 256, por lo que $2 \times 256 = 512$, que se escribe en el renglón de los decimales. El dígito hexadecimal B aparece en la columna de los 16. Hay que recordar que el B hexadecimal corresponde al 11 decimal, lo que significa que hay once que 2×256 obteniendo 176 como resultado, que se suma al 512 del renglón de decimales de la figura 1-13*a*. La columna de las unidades muestra que hay seis de ellas, por lo tanto, se suma un 6 al total de la línea de los decimales, obteniendo como resultado final ($512 + 176 + 6 = 694$) 694_{10}. La figura 1-13*a* muestra que $2B6_{16}$ es igual a 694_{10}.

Conviértase el hexadecimal A3F.C a su decimal equivalente. La figura 1-13*b* enseña con detalle este problema. Inicialmente hay que considerar la columna de los 256. El dígito hexadecimal A significa que 256 debe multiplicarse por 10, siendo el resultado del producto 2560; el número hexadecimal muestra que tiene tres 16, por lo tanto $16 \times 3 = 48$, que se suma al renglón de los decimales. La columna de las unidades contiene el dígito hexadecimal F, lo que significa que $1 \times 15 = 15$, que se suma también al renglón de los decimales. La columna que representa a 16^{-1} (0.0625) contiene el dígito hexadecimal C, lo que quiere decir que $12 \times 0.0625 = 0.75$, que se suma al total decimal ($2560 + 48 + 15 + 0.75 =$

Potencias de 16	16^2	16^1	16^0
Valor de posición	256	16	1
Número hexadecimal	2	B	6
	256 × 2	16 × 11	1 × 6
Decimal	512 +	176 +	6 = 694_{10}

a) Conversión de hexadecimal a decimal

Potencias de 16	16^2	16^1	16^0	$1/16^1$
Valor de posición	256	16	1	.0625
Número hexadecimal	A	3	F .	C
	256 × 10	16 × 3	1 × 15	.0625 × 12
Decimal	2560 +	48 +	15 +	0.75 = 2623.75_{10}

b) Conversión fraccionaria de hexadecimal a decimal

Fig 1-13

2623.75), obteniendo como resultado final el número decimal 2623.75. La figura 1-13*b* ilustra la conversión del $A3F.C_{16}$ al 2623.75_{10}.

Inviértase ahora el proceso para convertir el número decimal 45 a su hexadecimal equivalente. La figura 1-14*a* presenta con detalle el ya conocido proceso de dividir entre 16. El número decimal 45 se divide entre 16, obteniendo cociente 2 y residuo 13 ($13_{10} = D_{16}$), que es el dms del número hexadecimal. El cociente (2) pasa a ser el nuevo dividendo, y al dividirse entre 16 se obtiene 0 de cociente y 2 de residuo, por lo que el 2 pasa a ser el siguiente dígito del número hexadecimal. El proceso termina aquí, debido a que la parte entera del cociente es 0. El proceso que se indica en la figura 1-14*a* convierte el número decimal 45 al hexadecimal 2D.

$45 \div 16 = 2$ y con residuo 13

$2 \div 16 = 0$ y con residuo 2

$45_{10} = 2\ D_{16}$

a) Conversión de decimal a hexadecimal

$250 \div 16 = 15$ y con residuo 10

$15 \div 16 = 0$ y con residuo 15

$250.25_{10} = F\ A\ .\ 4_{16}$

$0.25 \times 16 = 4.00$

$0.00 \times 16 = 0.00$

b) Conversión de decimal fraccionario a hexadecimal

Fig 1-14

Conviértase el decimal 250.25 a hexadecimal. La conversión debe hacerse utilizando dos procesos como se muestra en la figura 1-14*b*. La parte entera del número decimal (250) se convierte a hexadecimal por medio del proceso repetido de división entre 16. Los residuos de 10 (A en hexadecimal) y 15 (F en hexadecimal) constituyen la parte entera hexadecimal FA. La parte fraccionaria (.25) se multiplica por 16 y se obtiene como resultado 4.00. El 4 se transfiere a la posición que se indica en la figura 1-14*b*. La conversión completa muestra que el decimal 250.25 es igual al FA.4 hexadecimal.

La principal ventaja del sistema hexadecimal es su facilidad para convertirlo a binario. La figura 1-15*a* muestra la conversión del hexadecimal 3B9 a binario. Cada dígito hexadecimal forma un grupo de cuatro dígitos binarios o bit. Para formar el número binario se combinan estos grupos, en este caso $3B9_{16} = 1110111001_2$.

$$\begin{array}{ccc} 3 & B & 9_{16} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 0011 & 1011 & 1001 \end{array} \qquad 3B9_{16} = 1110111001_2$$

a) Conversión de hexadecimal a binario

$$\begin{array}{ccccc} 4 & 7 & . & F & E \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 0100 & 0111 & . & 1111 & 1110 \end{array} \qquad 47.FE_{16} = 1000111.1111111_2$$

b) Conversión de números fraccionarios hexadecimales a binarios fraccionarios

$$\begin{array}{cccc} 1010 & 1000 & 0101 & . \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\ A & 8 & 5 & \end{array} \qquad 101010000101_2 = A85_{16}$$

c) Conversión de binario a hexadecimal

$$\begin{array}{ccccc} 0001 & 0010 & . & 0110 & 1100 \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 2 & . & 6 & C \end{array} \qquad 10010.011011_2 = 12.6C_{16}$$

d) Conversión de binario fraccionario a hexadecimal

Fig 1-15

En la figura 1-15*b* se explica con detalle otra conversión de hexadecimal a binario. Una vez más, cada dígito hexadecimal forma un grupo de cuatro bit en el número binario. El punto hexadecimal conserva su lugar y pasa a ser el punto binario. El número hexadecimal 47.FE se convierte en el 1000111.1111111 binario. Este sistema es un método fácil y rápido para escribir números binarios debido a su forma más compacta de expresión.

La figura 1-15*c* enseña cómo se convierte el 101010000101 binario a hexadecimal. Primero se divide el número binario en grupos de cuatro bit, *empezando en el punto binario*, después cada grupo de cuatro bit se convierte a su dígito hexadecimal equivalente. La figura 1-15*c* indica cómo el 101010000101_2 es equivalente al $A85_{16}$.

La figura 1-15*d* es un ejemplo de otra conversión binaria a hexadecimal, en donde el binario 10010.011011 se convierte a hexadecimal. Primero el binario se divide en grupos de cuatro bit empezando en el punto binario. Para completar el primer grupo de la izquierda se añaden tres ceros, formando así el 0001 y dos ceros se añaden al último grupo de la derecha, formando el 1100. Cada grupo tiene así cuatro bit, que se convierten a los dígitos hexadecimales correspondientes como se muestra en la figura 1-15*d*. El número binario 10010.011011 es igual al 12.6C hexadecimal.

PROBLEMAS RESUELTOS

1.24 El sistema hexadecimal de números también se llama sistema de base ________.

Solución:

El sistema hexadecimal de números también se llama sistema de base 16.

1.25 Enumere los 16 símbolos utilizados en el sistema hexadecimal de números.

Solución:

Refiriéndose a la figura 1-12, los 16 símbolos utilizados en este sistema son: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F.