Capítulo 1

NUMEROS UTILIZADOS EN ELECTRONICA DIGITAL

1.1. INTRODUCCION

El sistema de numeración decimal es familiar a todo el mundo. Este sistema utiliza los símbolos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9. El sistema decimal también tiene una característica de valor por posición. Considérese el número decimal 238. El 8 está en la posición o lugar de las unidades. El 3 está en la posición de las decenas y, por tanto, las tres decenas significan 30 unidades. El 2 está en la posición de las centenas y significa dos centenas, o 200 unidades. Sumando 200 + 30 + 8 se obtiene el número decimal total de 238. El sistema de numeración decimal también se llama *sistema de base 10*. Se denomina de base 10 porque tiene diez símbolos diferentes. También se dice que el sistema de base 10 tiene una *raíz* 10. «Raíz» y «base» son términos que significan exactamente lo mismo.

Los números binarios (base 2) se utilizan mucho en electrónica digital y en computadoras. Los números del sistema hexadecimal (base 16) y octal (base 8) son utilizados para representar grupos de dígitos binarios. Los números binarios y hexadecimales tienen un considerable uso en las modernas microcomputadoras.

Todos los sistemas de numeración mencionados (decimal, binario, octal y hexadecimal) pueden utilizarse para contar. También tienen todos una característica de valor por posición.

1.2. NUMEROS BINARIOS

El sistema de numeración binario utiliza solamente dos símbolos (0, 1). Se dice que tiene una raíz 2 y comúnmente se denomina *sistema de numeración en base 2*. Cada dígito binario se denomina *bit*.

Contar en binario se ilustra en la Figura 1.1. El número binario se muestra a la derecha con su equivalente decimal. Observar que el *bit menos significativo* (LSB) es la posición del 1. En otras palabras, si aparece un 1 en la columna derecha, se suma un 1 a la cuenta binaria. La segunda posición a partir de la derecha es el lugar del 2. Un 1 en esta columna (como en la fila de las decenas en los decimales) significa que a la cuenta se suma un 2. Los otros tres valores de las posiciones también se muestran en la Figura 1.1 (posiciones del 4, 8 y 16). Observar que a cada posición se le asigna una potencia de 2. La posición del 1 realmente es 2^0, la del 2 es 2^1, la del 4 es 2^2, la del 8 es 2^3, y la del 16 es 2^4. Es costumbre en electrónica digital memorizar, al menos, la secuencia de cuenta binaria desde 0000 hasta 1111 (que se pronuncia, uno, uno, uno, uno) o decimal 15.

Cuenta decimal	Cuenta binaria				
	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
	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
	Potencias de 2				

Figura 1.1. Contar en binario y decimal.

Considerar el número mostrado en la Figura 1.2*a*. Esta figura muestra cómo convertir el binario 10011 (uno, cero, cero, uno, uno) a su decimal equivalente. Observar que, para cada bit 1 del número binario, se escribe debajo el decimal equivalente de esa posición. Los números decimales se suman después ($16 + 2 + 1 = 19$) para obtener el decimal equivalente. El binario 10011 es igual al decimal 19.

Considerar el número binario 101110 de la Figura 1.2*b*. Utilizando el mismo procedimiento, cada bit 1 del número binario genera un decimal equivalente según la posición que ocupe. El *bit más significativo* (MSB) del número binario es 32. Sumar 8 más 4 más 2 a 32 da un total de 46. El número binario 101110, entonces, es igual al decimal 46. La Figura 1.2*b* también identifica el punto binario (similar al punto decimal en los números decimales). Es costumbre omitir el punto binario cuando se trabaja con números binarios enteros.

¿Cuál es el valor del número 111? Podría ser ciento once en decimal o uno, uno, uno en binario. Algunos libros utilizan el sistema mostrado en la Figura 1.2*c* para designar la

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

(*a*) Conversión binario-decimal

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

(*b*) Conversión binario-decimal

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

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

Figura 1.2.

base, o raíz, de un número. En este caso 10011 es un número en base 2 como muestra el pequeño subíndice 2 detrás del número. El número 19 es un número en base 10 como muestra el subíndice 10 detrás del número. La Figura 1.2*c* es un resumen de las conversiones binario-decimal de la Figura 1.2*a* y *b*.

¿Cómo se convierten los números fraccionarios? La Figura 1.3 ilustra cómo se convierte el número binario 1110.101 a su decimal equivalente. Los valores asignados a cada posición aparecen en la parte superior. Observar el valor de cada posición a la derecha del punto binario. El procedimiento para realizar la conversión es el mismo que con los números enteros. El valor de la posición de cada bit 1 del número binario se suma para formar el número decimal. En este problema 8 + 4 + 2 + 0.5 + 0.125 = 14.625 en decimal.

Potencias de 2	2^3	2^2	2^1	2^0		$1/2^1$	$1/2^2$	$1/2^3$		
Valor de la 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

Figura 1.3. Conversión binario-decimal.

Convertir el número 87 a binario. La Figura 1.4 muestra un método adecuado para realizar esta conversión. El número decimal 87 se divide primero por 2, dando 43 con un resto de 1. El resto es importante y se anota a la derecha. Se convierte en el LSB (bit menos significativo) del número binario. El cociente (43) entonces es transferido, como muestra la flecha, y se convierte en dividendo. Los cocientes son divididos, repetidamente, por 2 hasta que el cociente es 0 con un resto de 1, como en la última línea de la Figura 1.4. En la parte inferior de la figura aparece el decimal 87 igual al binario 1010111.

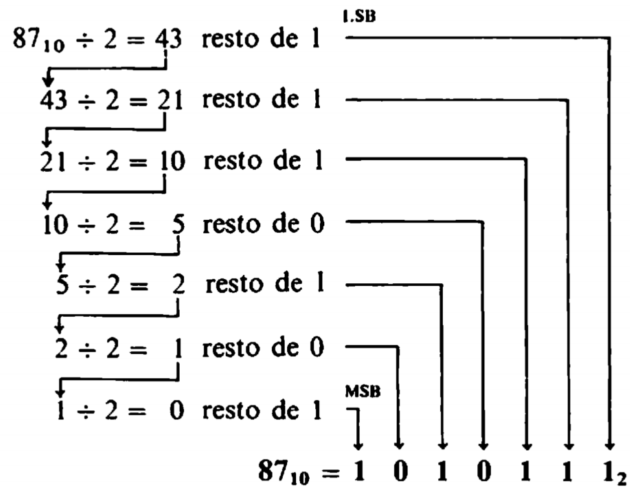


Figura 1.4. Conversión decimal-binario.

Convertir el número decimal 0.375 a binario. La Figura 1.5*a* ilustra un método para realizar esta tarea. Observar que el número decimal (0.375) se *multiplica* por 2. Esto da un producto de 0.75. El 0 del lugar entero (posición de las unidades) se convierte en el bit más próximo al punto binario. El 0.75 es entonces multiplicado por 2, dando 1.50. El arrastre de 1 a la parte entera (posición de las unidades) es el siguiente bit del número binario. El 0.50 se multiplica entonces por 2, dando un producto de 1.00. El arrastre de 1 a la parte entera es el 1 final del número binario. Cuando el producto es 1.00, finaliza el proceso de conversión. La Figura 1.5*a* muestra el decimal 0.375 convertido en su equivalente binario 0.011.

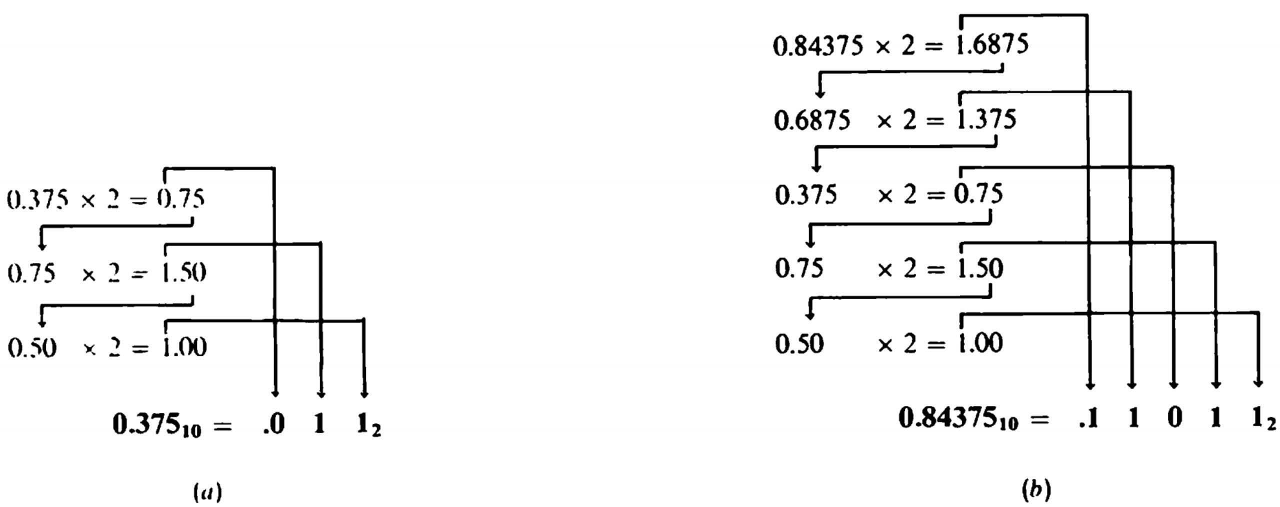


Figura 1.5. Conversiones de fraccionario decimal a binario.

La Figura 1.5*b* muestra el número decimal 0.84375 convertido en binario. Observar de nuevo que 0.84375 se multiplica por 2. El entero de cada producto se coloca debajo, formando el número binario. Cuando el producto es 1.00, finaliza la conversión. Este problema muestra el decimal 0.84375 convertido en el binario 0.11011.

Considerar el número decimal 5.625. La conversión de este número binario involucra dos procesos. La parte entera del número (5) es procesada por *división repetida* en la parte superior de la Figura 1.6. El decimal 5 se convierte en el binario 101. La parte fraccionaria del número decimal (.625) es convertida al binario .101 en la parte inferior de la Figura 1.6. La parte fraccionaria es convertida a binario mediante el proceso de *multiplicación repetida*. Las secciones entera y fraccionaria del decimal 5.625 se juntan para dar el binario 101.101.

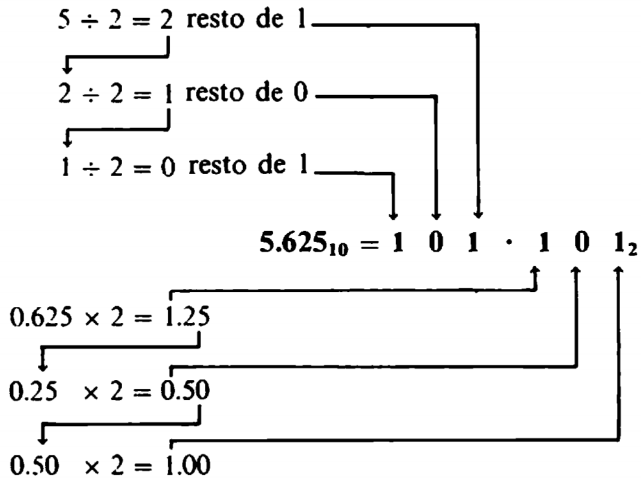


Figura 1.6. Conversión decimal a binario.

PROBLEMAS RESUELTOS

1.1. El sistema binario de numeración es el sistema de base ______ y tiene una raíz de ______ .

Solución:

El sistema binario de numeración es el sistema de base 2 y tiene una raíz de 2.

1.2. Cuando se trata con números binarios, el término bit significa ______ ______ .

Solución:

Bit significa dígito binario.

1.3. ¿Cómo se pronunciaría el número 1001 en (*a*) binario y (*b*) decimal?

Solución:

El número 1001 se pronuncia: (*a*) uno, cero, cero, uno; (*b*) mil uno.

1.4. El número 110_{10} es un número en base ______.

Solución:

El número 110_{10} es un número en base 10, como indica el pequeño 10 detrás del número.

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

Solución:

11001_2

1.6. Convertir los siguientes números binarios a sus equivalentes decimales:
(*a*) 001100, (*b*) 000011, (*c*) 011100, (*d*) 111100, (*e*) 101010, (*f*) 111111, (*g*) 100001, (*h*) 111000.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.2. Los equivalentes decimales 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:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.2. $11110001111_2 = 1935_{10}$.

1.8. $11100.011_2 = \_\_\_\_\_\__{10}$

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.3. $11100.011_2 = 28.375_{10}$.

1.9. $110011.100\,11_2 = \_\_\_\_\_\__{10}$

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.3. $110011.10011_2 = 51.593\,75_{10}$.

1.10. $1010101010.1_2 = \_\_\_\_\_\__{10}$

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.3. $1010101010.1_2 = 682.5_{10}$.

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

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.4. Los equivalentes binarios de 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:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.6. $34.75_{10} = 100010.11_2$.

1.13. $25.25_{10} = \_\_\_\_\_\__2$

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.6. $25.25_{10} = 11001.01_2$.

1.14. $27.1875_{10} = \_\_\_\_\_\__2$

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.6. $27.1875_{10} = 11011.0011_2$.

1.3. NUMEROS HEXADECIMALES

El sistema de numeración hexadecimal tiene una raíz de 16. Se denomina *sistema de numeración en base 16.* Utiliza los símbolos 0-9, A, B, C, D, E y F como se muestra en la columna hexadecimal de la tabla de la Figura 1.7. La letra A se utiliza para el 10, la B para el 11, la C para el 12, la D para el 13, la E para el 14, y la F para el 15. La ventaja del sistema hexadecimal es que es útil para convertir directamente números binarios de 4 bits. Observar en la sección sombreada de la Figura 1.7 que cada número binario de cuatro bits, del 0000 al 1111, puede ser representado por un único 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

Figura 1.7. Contar en los sistemas de numeración decimal, binario y hexadecimal.

Observar la línea que corresponde al 16 en la columna decimal de la Figura 1.7. El hexadecimal equivalente es 10. Esto muestra que el sistema de numeración hexadecimal utiliza la idea de valor por posición. El 1 (en 10_{16}) significa 16 unidades, mientras que el 0 significa cero unidades.

Convertir el número hexadecimal 2B6 en decimal. La Figura 1.8*a* muestra el proceso familiar. El 2 está en la posición del 256, por tanto $2 \times 256 = 512$, que se escribe en la línea decimal. El dígito hexadecimal B aparece en la columna del 16. Observar en la Figura 1.8 que el hexadecimal B corresponde al decimal 11. Esto significa que hay once 16 (16×11), dando 176. El 176 se suma al total decimal en la parte inferior de la Figura 1.8*a*. La columna del 1 muestra seis 1. El 6 se suma a la línea decimal. Los valores decimales son sumados ($512 + 176 + 6 = 694$), dando 694_{10}. La Figura 1.8*a* muestra que $2B6_{16}$ es igual a 694_{10}.

Convertir el número hexadecimal A3F.C en su decimal equivalente. La Figura 1.8*b* detalla este problema. Primero considerar la columna del 256. El dígito hexadecimal A significa que 256 debe ser multiplicado por 10, dando un producto de 2560. El número hexadecimal muestra que contiene tres 16, y por tanto $16 \times 3 = 48$ que se suma a la línea decimal. La columna del 1 contiene el dígito hexadecimal F, que significa $1 \times 15 = 15$. El 15 se suma a la línea decimal. La columna del 0.0625 contiene el dígito hexadecimal C, que significa $12 \times 0.0625 = 0.75$. El 0.75 se suma a la línea decimal. Al sumar los contenidos de la línea decimal $(2560 + 48 + 15 + 0.75 = 2623.75)$ se obtiene el número decimal 2623.75. La Figura 1.8*b* convierte $A3F.C_{16}$ en 2623.75_{10}.

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

(*a*) Conversión hexadecimal-decimal

Potencias de 16	16^2		16^1		16^0		$1/16^1$	
Valor de la 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 hexadecimal fraccionario-decimal

Figura 1.8.

Ahora invertir el proceso y convertir el número decimal 45 en su equivalente hexadecimal. La Figura 1.9*a* detalla el proceso familiar de división repetida por 16. El número decimal 45 se divide primero por 16, dando un 2 de cociente con resto 13. El resto 13 (D en hexadecimal) se convierte en el LSD del número hexadecimal. El cociente (2) se transfiere a la posición del dividendo y se divide por 16. Así se obtiene un cociente de 0 con un resto de 2. El 2 se convierte en el siguiente dígito del número hexadecimal. El proceso finaliza cuando la parte entera del cociente es 0. El proceso de la Figura 1.9*a* convierte el número decimal 45 en el número hexadecimal 2D.

Convertir el número decimal 250.25 a hexadecimal. La conversión debe hacerse utilizando dos procesos como muestra la Figura 1.9*b*. La parte entera del número decimal (250) se convierte en hexadecimal utilizando el proceso de división repetida por 16. Los restos de 10 (A en hexadecimal) y 15 (F en hexadecimal) forman el número hexadecimal entero FA.

$45 \div 16 = 2$ resto de 13

$2 \div 16 = 0$ resto de 2

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

(*a*) Conversión decimal-hexadecimal

$250 \div 16 = 15$ resto de 10

$15 \div 16 = 0$ resto de 15

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

$0.25 \times 16 = 4.00$

$0.00 \times 16 = 0.00$

(*b*) Conversión decimal fraccionario-hexadecimal

Figura 1.9.

La parte fraccionaria del 250.25 se multiplica por 16 (0.25×16). El resultado es 4.00. El entero 4 es transferido a la posición mostrada en la Figura 1.9*b*. La conversión completa muestra que el número decimal 250.25 es igual al hexadecimal FA.4.

La principal ventaja del sistema hexadecimal es su fácil conversión al binario. La Figura 1.10*a* muestra el número hexadecimal 3B9 convertido a binario. Observar que cada dígito hexadecimal forma un grupo de cuatro dígitos binarios o bits. Los grupos de bits son entonces combinados para formar el número binario. En este caso $3B9_{16}$ es igual a 1110111001_2.

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

(*a*) Conversión hexadecimal-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 hexadecimal fraccionario-binario

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

(*c*) Conversión binario-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 binario fraccionario-hexadecimal

Figura 1.10.

Otra conversión hexadecimal a binario se detalla en la Figura 1.10*b*. De nuevo, cada dígito hexadecimal forma un grupo de cuatro bits en el número binario. El punto hexadecimal es bajado para formar el punto binario. El número hexadecimal 47.FE se convierte en el número binario 1000111.1111111. Es claro que los números hexadecimales, debido a su compactación, son mucho más fáciles de escribir que largas cadenas de 1 y 0 en binario. El sistema hexadecimal puede considerarse como un método abreviado de escribir números binarios.

La Figura 1.10*c* muestra la conversión del número binario 101010000101 a hexadecimal. Primero dividir el número binario en grupos de cuatro bits *comenzando en el punto binario.* Cada grupo de cuatro bits se traduce a su dígito hexadecimal equivalente. La Figura 1.10*c* muestra que el número binario 101010000101 es igual al hexadecimal A85.

Otra conversión binario a hexadecimal se ilustra en la Figura 1.10*d*. Aquí el número binario 10010.011011 se traduce a hexadecimal. Primero el número binario se divide en grupos de cuatro bits comenzando en el punto binario. Tres 0 se añaden al grupo de más a la izquierda, formando 0001. Dos 0 se añaden al grupo de más a la derecha, formando 1100. Cada grupo tiene ahora 4 bits y se traduce a un dígito hexadecimal como muestra la Figura 1.10*d*. El número binario 10010.01101 es igual a $12.6C_{16}$.

En la práctica, muchas modernas calculadoras manuales realizan conversiones entre sistemas de numeración. La mayoría pueden convertir entre decimal, hexadecimal, octal y binario. Estas calculadoras también pueden realizar operaciones aritméticas en varias bases (como por ejemplo hexadecimal).

PROBLEMAS RESUELTOS

1.15. El sistema de numeración hexadecimal, a veces, se denomina sistema de base ______ .

Solución:

El sistema de numeración hexadecimal, a veces, se denomina sistema de base 16.

1.16. Listar los dieciséis símbolos usados en el sistema de numeración hexadecimal.

Solución:

Acudir a la Figura 1.7. Los dieciséis símbolos usados en el sistema de numeración hexadecimal son 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F.

1.17. Convertir los siguientes números enteros hexadecimales a sus equivalentes decimales: (*a*) C, (*b*) 9F, (*c*) D52, (*d*) 67E, (*e*) ABCD.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.8*a*. Acudir también a la Figura 1.7. Los equivalentes decimales de los números hexadecimales son:

(*a*) $C_{16} = 12_{10}$ (*c*) $D52_{16} = 3410_{10}$ (*e*) $ABCD_{16} = 43981_{10}$
(*b*) $9F_{16} = 159_{10}$ (*d*) $67E_{16} = 1662_{10}$

1.18. Convertir los siguientes números hexadecimales a sus equivalentes decimales: (*a*) F.4, (*b*) D3.E, (*c*) 1111,1, (*d*) 888.8, (*e*) EBA.C.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.8*b*. Acudir también a la Figura 1.7. Los equivalentes decimales de los números hexadecimales son:

(*a*) $F.4_{16} = 15.25_{10}$ (*c*) $1111.1_{16} = 4369.0625_{10}$ (*e*) $EBA.C_{16} = 3770.75_{10}$
(*b*) $D3.E_{16} = 211.875_{10}$ (*d*) $888.8_{16} = 2184.5_{10}$

1.19. Convertir los siguientes números enteros decimales a sus equivalentes hexadecimales:
(*a*) 8, (*b*) 10, (*c*) 14, (*d*) 16, (*e*) 80, (*f*) 2560, (*g*) 3000, (*h*) 62 500.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.9*a*. Acudir también a la Figura 1.7. Los equivalentes hexadecimales de los números decimales son:

(*a*) $8_{10} = 8_{16}$ (*c*) $14_{10} = E_{16}$ (*e*) $80_{10} = 50_{16}$ (*g*) $3000_{10} = BB8_{16}$
(*b*) $10_{10} = A_{16}$ (*d*) $16_{10} = 10_{16}$ (*f*) $2560_{10} = A00_{16}$ (*h*) $62\,500_{10} = F424_{16}$

1.20. Convertir los siguientes números decimales a sus equivalentes hexadecimales:
(*a*) 204.125, (*b*) 255.875, (*c*) 631.25, (*d*) 10 000.003 906 25.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.9*b*. Acudir también a la Figura 1.7. Los equivalentes hexadecimales de los números decimales son:

(*a*) $204.125_{10} = CC.2_{16}$ (*c*) $631.25_{10} = 277.4_{16}$
(*b*) $255.875_{10} = FF.E_{16}$ (*d*) $10\,000.003\,906\,25_{10} = 2710.01_{16}$

1.21. Convertir los siguientes números hexadecimales a sus equivalentes binarios:
(*a*) B, (*b*) E, (*c*) 1C, (*d*) A64, (*e*) 1F.C, (*f*) 239.4.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.10*a* y *b*. Acudir también a la Figura 1.7. Los equivalentes binarios de los números hexadecimales son:

(*a*) $B_{16} = 1011_2$ (*c*) $1C_{16} = 11100_2$ (*e*) $1F.C_{16} = 11111.11_2$
(*b*) $E_{16} = 1110_2$ (*d*) $A64_{16} = 101001100100_2$ (*f*) $239.4_{16} = 1000111001.01_2$

1.22. Convertir los siguientes números binarios a sus equivalentes hexadecimales:
(*a*) 1001.1111 (*c*) 110101.011001 (*e*) 10100111.111011
(*b*) 10000001.1101 (*d*) 10000.1 (*f*) 1000000.0000111

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.10*c* y *d*. Acudir también a la Figura 1.7. Los equivalentes hexadecimales de los números decimales binarios son:

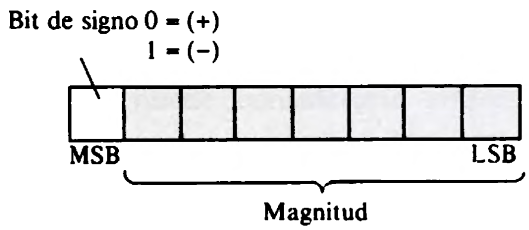
(*a*) $1001.1111_2 = 9.F_{16}$ (*c*) $110.101.011001_2 = 35.64_{16}$ (*e*) $10100111.111011_2 = A7.EC_{16}$
(*b*) $10000001.1101_2 = 81.D_{16}$ (*d*) $10000.1_2 = 10.8_{16}$ (*f*) $1000000.0000111_2 = 40.0E_{16}$

1.4. NUMEROS EN COMPLEMENTO A 2

El método de representar números en complemento a 2 es muy utilizado en los equipos basados en microprocesador. Hasta ahora, hemos supuesto que todos los números son positivos. Sin embargo, los microprocesadores deben tratar tanto números positivos como negativos. Utilizando la *representación del complemento a 2*, pueden determinarse el *signo y la magnitud* de un número.

Suponer un registro de 8 bits de un microprocesador como el de la Figura 1.11*a*. El bit más significativo (MSB) es el *bit de signo*. Si este bit es 0, entonces el número es (+) positivo. Sin embargo, si el bit de signo es 1, entonces el número es (−) negativo. Los 7 bits restantes del registro representan la magnitud del número.

La tabla de la Figura 1.11*b* muestra las representaciones en complemento a 2 para algunos números positivos y negativos. Por ejemplo, +127 está representado en comple-



(*a*) El MSB de un registro de 8 bits es el bit de signo

Decimal con signo	Representación en complemento a 2, con 8 bits
+127	0 111 1111
+126	0 111 1110
+125	0 111 1101
+124	0 111 1100
⋮	⋮ ⋮ ⋮
+5	0 000 0101
+4	0 000 0100
+3	0 000 0011
+2	0 000 0010
+1	0 000 0001
+0	0 000 0000
−1	1 111 1111
−2	1 111 1110
−3	1 111 1101
−4	1 111 1100
−5	1 111 1011
⋮	⋮ ⋮ ⋮
−125	1 000 0011
−126	1 000 0010
−127	1 000 0001
−128	1 000 0000
	Signo Magnitud

Igual que los números binarios

(*b*) Representaciones en complemento a 2 de números positivos y negativos

Figura 1.11.

mento a 2 por el número 01111111. El decimal −128 está representado en complemento a 2 por el número 10000000. Observar que *las representaciones en complemento a 2 para todos los valores positivos son iguales a los equivalentes binarios* de ese número decimal.

Convertir el decimal con signo −1 en un número en complemento a 2. Siguiendo la Figura 1.12 se puede realizar la conversión en los cinco pasos siguientes:

Paso 1. Separar el signo y magnitud de −1. El signo negativo significa que el bit de signo será 1 en la representación en complemento a 2.

Paso 2. Convertir el decimal 1 a su equivalente binario de 7 bits. En ese ejemplo el decimal 1 es igual a 0000001 en binario.

Paso 3. Convertir el binario 0000001 a su forma en complemento a 1. En este ejemplo el binario 0000001 es igual a 1111110 en complemento a 1. Observar que cada 0 se cambia por 1 y cada 1 por 0.

Paso 4. Convertir el número en complemento a 1 a su forma en complemento a 2. En este ejemplo 1111110 en complemento a 1 es 1111111 en complemento a 2. Se suma +1 al complemento a 1 para obtener el número en complemento a 2.

Paso 5. El número de 7 bits en complemento a 2 (1111111 en este ejemplo) es la parte correspondiente a la magnitud del número entero de 8 bits en complemento a 2.

El resultado es que el decimal con signo −1 es 11111111 en la notación en complemento a 2. El número en complemento a 2 se muestra en el registro de la parte superior de la Figura 1.12.

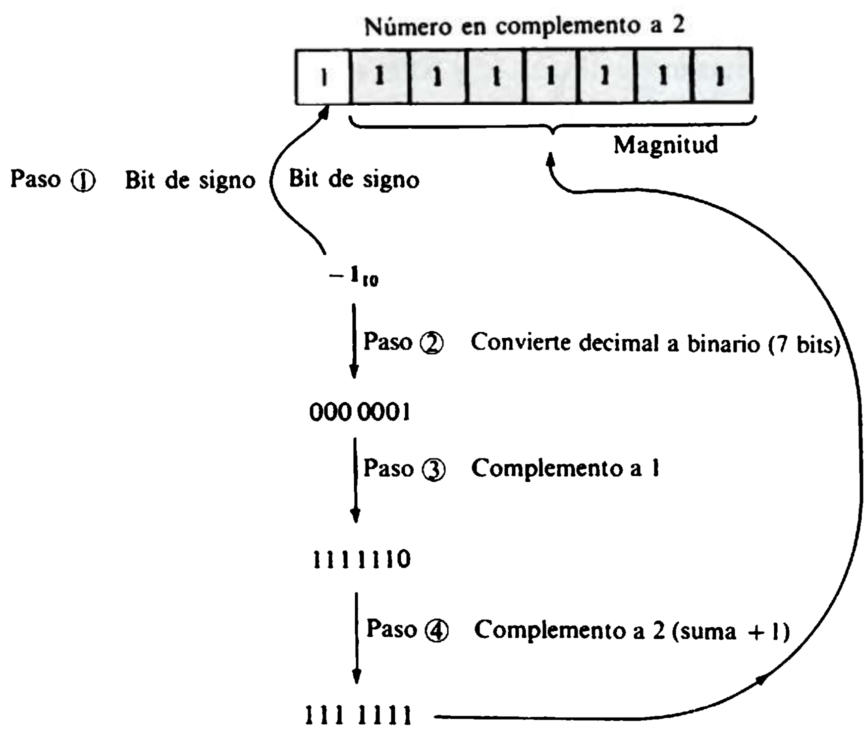


Figura 1.12. Conversión de un número decimal con signo a su notación en complemento a 2.

Invertir el proceso y convertir 11111000, en complemento a 2, en un número decimal con signo. Siguiendo la Figura 1.13 la conversión se hace en los cuatro pasos siguientes:

Paso 1. Separar el bit de signo de la parte de magnitud del número en complemento a 2. El MSB es un 1; por tanto, el signo del número decimal será (−) negativo.
Paso 2. Determinar el complemento a 1 de la parte magnitud. La magnitud de los 7 bits 1111000 es 0000111 en la notación en complemento a 1.
Paso 3. Sumar +1 al número en complemento a 1. Al sumar a 0000111 se obtiene 0001000. El número de 7 bits 0001000 está ahora en binario.
Paso 4. Convertir el número binario a su equivalente decimal. En este ejemplo, el binario 0001000 es igual a 8 en notación decimal. La parte magnitud del número es 8.

El procedimiento de la Figura 1.13 muestra cómo convertir números en la notación en complemento a 2 a números decimales negativos con signo. En este ejemplo, el número 11111000 en complemento a 2 es igual a +8 en notación decimal.
La conversión regular binario-decimal (véase Figura 1.4) se utiliza para convertir los números en complemento a 2 que son iguales a los números decimales positivos. Recordar que para los números decimales positivos, los equivalentes en binario y en complemento a 2 son iguales.

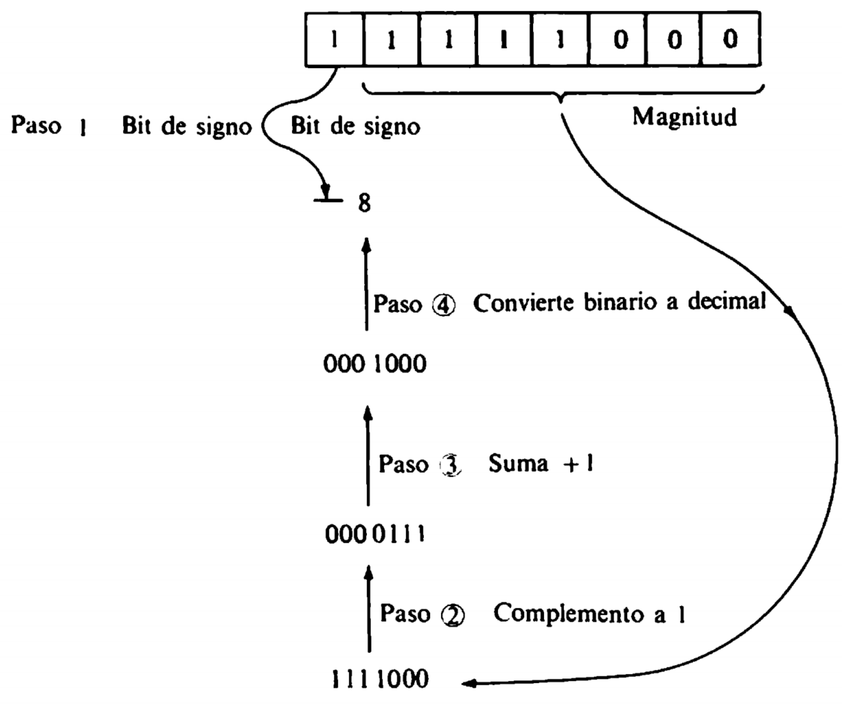


Figura 1.13. Conversión de un número en notación de complemento a 2 a número decimal con signo.

PROBLEMAS RESUELTOS

1.23. El (LSB, MSB) ______ de un número en complemento a 2 es el bit del signo.

Solución:

El MSB (bit más significativo) de un número en complemento al 2 es el bit del signo.

1.24. El número, en complemento a 2, 10000000 es el decimal con signo ______.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.13. El número, en complemento a 2, 10000000 es el decimal -128.

1.25. El número 01110000 es igual al decimal con signo ______.

Solución:

El 0 en la posición del MSB significa que es un número positivo, y la conversión a decimal sigue las reglas usadas en binario a decimal. El número 01110000 es igual al decimal con signo $+112$.

1.26. El número decimal con signo $+75$ es igual a ______ en complemento a 2 con 8 bits.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.4. El decimal $+75$ es igual a 010001011 en complemento a 2 y binario.

1.27. El número, en complemento a 2, 11110001 es igual al decimal con signo ______ .

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.13. El número, en complemento a 2, 11110001 es igual al decimal con signo -15.

1.28. El número decimal con signo -35 es igual a ______ en complemento a 2 con 8 bits.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.12. El decimal -35 es igual a 11011101 en complemento a 2.

1.29. El número decimal con signo -100 es igual a ______ en complemento a 2 con 8 bits.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.12. El decimal -100 es igual a 10011100 en complemento a 2.

1.30. El número decimal con signo $+20$ es igual a ______ en complemento a 2 con 8 bits.

Solución:

Seguir el procedimiento mostrado en la Figura 1.4. El decimal $+20$ es igual a 00010100 en complemento a 2 y binario.

PROBLEMAS SUPLEMENTARIOS

1.31. El sistema de numeración de base 2 se denomina sistema de numeración ______.

Res. binario.

1.32. El sistema de numeración de base 10 se denomina sistema de numeración ______.
Res. decimal.

1.33. El sistema de numeración de base 8 se denomina sistema de numeración ______.
Res. octal.

1.34. El sistema de numeración de base 16 se denomina sistema de numeración ______.
Res. hexadecimal.

1.35. *Dígito binario* de forma abreviada se denomina ______ .
Res. bit.

1.36. ¿Cómo se pronunciará el número 1101 en (*a*) binario y (*b*) decimal?
Res. (*a*) uno, uno, cero, uno, (*b*) mil ciento uno.

1.37. El número 1010_2 es un número en base __(*a*)__ y se pronuncia __(*b*)__.
Res. (*a*) 2, (*b*) uno, cero, uno, cero.

1.38. Convertir los siguientes números binarios en sus equivalentes decimales:
(*a*) 00001110, (*b*) 11100000, (*c*) 10000011, (*d*) 10011010.
Res. (*a*) $00001110_2 = 14_{10}$ (*c*) $10000011_2 = 131_{10}$
(*b*) $11100000_2 = 224_{10}$ (*d*) $10011010_2 = 154_{10}$

1.39. $110011.11_2 = \_\_\_\_\_\__{10}$
Res. 51.75.

1.40. $11110000.0011_2 = \_\_\_\_\_\__{10}$
Res. 240.1875.

1.41. Convertir los siguientes números decimales en sus equivalentes binarios:
(*a*) 32, (*b*) 200, (*c*) 170, (*d*) 250.
Res. (*a*) $32_{10} = 100000_2$ (*c*) $170_{10} = 10101010_2$
(*b*) $200_{10} = 11001000_2$ (*d*) $258_{10} = 100000010_2$

1.42. $40.875_{10} = \_\_\_\_\_\__2$
Res. 101000.111.

1.43. $999.125_{10} = \_\_\_\_\_\__2$
Res. 1111100111.001.

1.44. Convertir los siguientes números hexadecimales en sus equivalentes decimales:
(*a*) 13AF, (*b*) 25E6, (*c*) B4.C9, (*d*) 78.D3.
Res. (*a*) $13AF_{16} = 5039_{10}$ (*c*) $B4.C9_{16} = 180.78515_{10}$
(*b*) $25E6_{16} = 9702_{10}$ (*d*) $78.D3_{16} = 120.82421_{10}$

1.45. Convertir los siguientes números decimales en sus equivalentes hexadecimales:
(*a*) 3016, (*b*) 64881, (*c*) 17386.75, (*d*) 9817.625.
Res. (*a*) $3016_{10} = BC8_{16}$ (*c*) $17386.75_{10} = 43EA.C_{16}$
(*b*) $64881_{10} = FD71_{16}$ (*d*) $9817.625_{10} = 2659.A_{16}$

1.46. Convertir los siguientes números hexadecimales en sus equivalentes binarios:
(*a*) A6, (*b*) 19, (*c*) E5.04, (*d*) 1B.78.

Res. (*a*) $A6_{16} = 10100110_2$ (*c*) $E5.04_{16} = 11100101.000001_2$
(*b*) $19_{16} = 11001_2$ (*d*) $1B.78_{16} = 11011.01111_2$

1.47. Convertir los siguientes números binarios en sus equivalentes hexadecimales:
(*a*) 11110010 (*b*) 11011001, (*c*) 111110.000011, (*d*) 10001.11111.

Res. (*a*) $11110010_2 = F2_{16}$ (*c*) $111110.000011_2 = 3E.0C_{16}$
(*b*) $11011001_2 = D9_{16}$ (*d*) $10001.11111_2 = 11.F8_{16}$

1.48. Cuando se usa la notación del complemento a 2, el MSB es el bit de ______.

Res. signo.

1.49. Convertir los siguientes números decimales con signo a sus equivalentes en complemento a 2, con 8 bits:
(*a*) +13, (*b*) +110, (*c*) −25, (*d*) −90.

Res. (*a*) 00001101 (*c*) 11100111
(*b*) 01101110 (*d*) 10100110

1.50. Convertir los siguientes números en complemento a 2 a sus equivalentes decimales:
(*a*) 01110000, (*b*) 00011111, (*c*) 11011001, (*d*) 11001000.

Res. (*a*) +112 (*c*) −39
(*b*) +31 (*d*) −56