



SISTEMAS DIGITALES

LOGRO DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

- Al término de la unidad, los alumnos, diseñarán e implementarán sistemas digitales básicos mediante el uso de simuladores que permite describir el funcionamiento interno de los circuitos digitales usados en la computadora.
- Al término de la unidad, los alumnos, describirán el funcionamiento de sistemas digitales básicos usados en la computadora, haciendo uso de sistemas numéricos, voltajes y tiempos.

TEMARIO

- Conversión de sistemas numéricos
- Generador de clock
- Conceptos básicos de electrónica
- Conceptos relacionados a la corriente eléctrica

ACTIVIDADES PROPUESTAS

- Los alumnos desarrollan ejemplos de conversiones de los sistemas numéricos.
- Los alumnos realizan conversiones de frecuencia a período y viceversa, además, desarrollan ejercicios que grafican la evolución temporal de las señales de reloj.
- Los alumnos en el taller desarrollarán las mediciones para verificar los conceptos relacionados a la corriente eléctrica.



1. CONVERSIÓN DE SISTEMAS NUMÉRICOS

1.1. Sistemas Numéricos

El sistema numérico que se utiliza a diario es el sistema decimal, pero este sistema no es conveniente para las máquinas debido a que la información se maneja codificada en forma de bits (ceros y unos); esta forma de codificación lleva a la necesidad de conocer el cálculo posicional que permita expresar un número en cualquier base que se necesite.

Es posible representar un número determinado en cualquier base mediante la siguiente fórmula:

$$D_n \dots D_3 D_2 D_1 D_0 \text{ base } B$$

Donde n es la posición del dígito empezando de derecha a izquierda y numerando a partir de cero. D es el dígito sobre el cual operamos y B es la base numérica empleada.

Por ejemplo, en el sistema decimal, los dígitos que usamos son del 0 al 9, la base empleada es 10. Un número decimal como 539 se puede interpretar así

Número decimal	5	3	9	=	$5 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 9 \times 10^0$
Posición	2	1	0	=	$5 \times 100 + 3 \times 10 + 9 \times 1$
Peso	10^2	10^1	10^0	=	$500 + 30 + 9$
Peso	100	10	1		

El 9 está en la posición 0, su peso es 1 y por ello vale 9, sin embargo, el 3 está en la posición 1, su peso es 10, por lo tanto, vale 30 y el 5, que se encuentra en la posición 2, su peso es 100 y vale 500. Por ello, a este número lo reconocemos como: quinientos treinta y nueve, mentalmente ya hemos interpretado su posición y le asignamos esos valores.

1.2. Convertir Números Binarios a Decimales

Trabajando en el lenguaje de las computadoras, nos encontramos con la necesidad de convertir números del sistema binario, que es el empleado por las computadoras, al sistema decimal utilizado por nosotros, con la intención de saber de qué número se trata.

El sistema binario está desarrollado para los sistemas digitales y está basado en solo dos dígitos, el cero y el uno, por lo tanto, su base es dos. Para la conversión podemos utilizar la fórmula de valor posicional, por ejemplo, si tenemos el número binario 10011, tomamos de derecha a izquierda cada dígito y lo multiplicamos por la base elevada al número de posición que ocupan:

Número binario	1	0	0	1	1	$= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$
Posición	4	3	2	1	0	$= 1 \times 16 + 0 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1$
Peso	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	$= 16 + 2 + 1 = 19$ decimal
Peso	16	8	4	2	1	

Puedo usar un método que me permita hacer la conversión de una manera más sencilla y rápida, siempre basado en lo que hemos explicado anteriormente. El método es escribir sobre cada uno de los dígitos y de derecha a izquierda o mejor dicho desde el menos significativo al más significativo o desde el dígito de posición 0 hacia el de máxima posición su peso. Sobre los dígitos se debe escribir: 1, 2, 4, 8, 16, 32, etc., tal como lo describe el siguiente gráfico.

128	64	32	16	8	4	2	1	
1	0	1	0	0	1	0	1	$= 128 + 32 + 4 + 1 = 165$
Binario								Decimal

Para la conversión, luego de hacer la tabla con los pesos y el número binario, debemos obtener el decimal como una suma de los pesos, pero solo de aquellos donde los dígitos del número binario valen "1". En el gráfico anterior hemos convertido el binario 10100101 a decimal, obteniendo como resultado 165.

1.3. Convertir Números Decimales a Binarios

Existen varios métodos de conversión de números decimales a binarios; aquí sólo se analizará dos de ellos, ustedes elegirán el que les resulte más cómodo, no importa el método, si es importante saber hacer la conversión.

Uno de los métodos utiliza la división sucesiva entre dos, guardando el residuo como dígito binario y el resultado como la siguiente cantidad a dividir, hasta que el cociente sea menor al divisor, tal como se muestra en el siguiente gráfico:

19		2		
18		9		2
1		8		4
		1		4
				2
Residuos				0
				2
				0
				1
				0
				Cociente

19	=	1	0	0	1	1
Decimal	→	Binario				

Otro método denominado de distribución. Consiste en distribuir los unos necesarios entre las potencias sucesivas de 2 de modo que su suma resulte ser el número decimal a convertir. Sea por ejemplo el número 162, para el que se necesitarán las 8 primeras potencias de 2, ya que la siguiente, $2^8 = 256$, es superior al número a convertir. Se comienza poniendo un 1 en 128, por lo que aún faltarán 34, $162 - 128 = 34$, para llegar al 162. Este valor se conseguirá distribuyendo unos entre las potencias cuya suma den el resultado buscado y poniendo ceros en el resto. En el ejemplo resultan ser las potencias 5 y 1, esto es, 32 y 2, respectivamente.

162 -	128	64	32	16	8	4	2	1
128	1	0	1	0	0	0	1	0
34 -								
32								
2 -								
2								
0								

162 = 10100010

Decimal → Binario

1.4. Sistema Hexadecimal

El sistema numérico hexadecimal tiene 16 dígitos que van del 0 al 9 y de la letra A hasta la F (estas letras representan los números del 10 al 15). Por lo tanto, contamos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F; a base usada es en base 16.

La conversión entre el sistema binario y hexadecimal es sencilla. Lo primero que se hace para una conversión de un número binario a hexadecimal es dividirlo en grupos de 4 bits, empezando de derecha a izquierda. En caso de que el último grupo (el que quede más a la izquierda) sea menor de 4 bits se rellenan los faltantes con ceros.

Tomando como ejemplo el número binario 101011 lo dividimos en grupos de 4 bits y nos queda:

10 1011

Rellenando con ceros el último grupo (el de la izquierda) tenemos:

0010 1011

Después tomamos cada grupo como un número independiente y consideramos su valor en hexadecimal de acuerdo a la siguiente tabla:



Número en binario	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
Número en hexadecimal	0	1	2	3	4	5	6	7

Número en binario	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
Número en hexadecimal	8	9	A	B	C	D	E	F

0010= 2 y 1011= B

Entonces: 0010 1011= 2BH (H representa la base hexadecimal)

Para saber el valor en hexadecimal de un grupo de cuatro bits, éste se convierte poniéndole a cada bit su peso, tal como muestra la siguiente figura:

8	4	2	1	
1	0	1	0	= 10 = A
Binario		Decimal		Hexadecimal

Para convertir un número de hexadecimal a binario se toma cada dígito hexadecimal en forma independiente y se convierte a un número binario de 4 cifras donde a cada dígito binario tiene su peso " 8 4 2 1 " de manera similar al ejemplo anterior, luego se unen los resultados obtenidos de cada cifra hexadecimal en el orden respectivo formando el número binario equivalente.

Ejemplo

Se desea convertir el número 3BH a binario.

En este caso se toma cada cifra hexadecimal en forma independiente en primer lugar el dígito B y se convierte en un número binario de 4 cifras, el dígito B equivale a 11 decimal, se tiene que llegar a ese valor

$$\begin{array}{r} 8 \ 4 \ 2 \ 1 \\ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \end{array} = 8+2+1 = 11 \text{ decimal}$$

De la misma manera el número 3 se convierte al sistema binario

$$\begin{array}{r} 8 \ 4 \ 2 \ 1 \\ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \end{array} = 2+1 = 3 \text{ decimal}$$

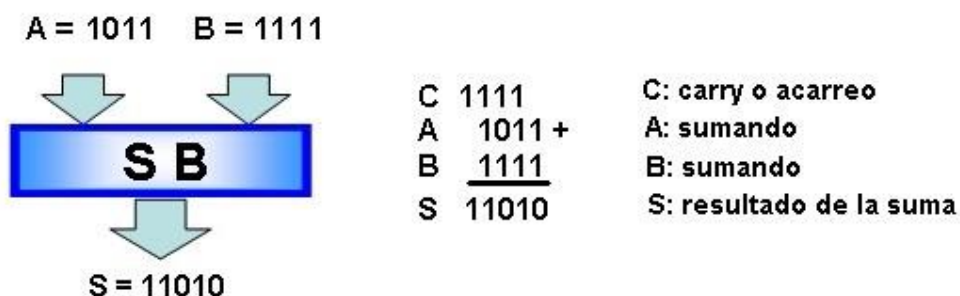
Al final se forma el número binario uniendo las cifras binarias en el orden respectivo por lo tanto el número 3BH es 0011 1011 en binario.

Dec	Bina	Hex	Dec	Bina	Hex
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

Como vemos, la conversión de un sistema decimal a otro es muy fácil, debemos practicar para poder usarlo más adelante con toda soltura. En los siguientes capítulos vamos a utilizarlo fundamentalmente cuando direcciona el CPU.

1.5. Sumador binario.

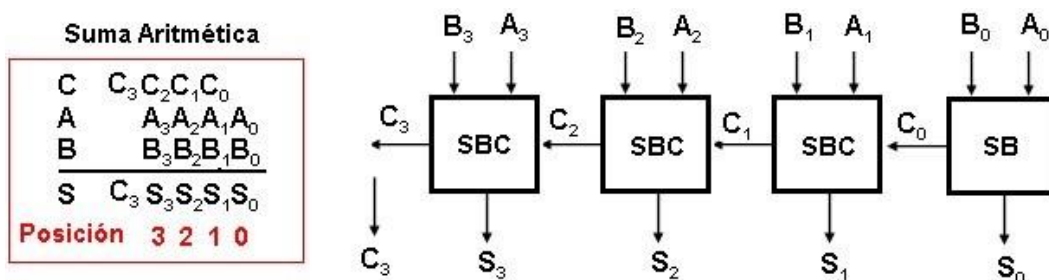
Un sistema interesante que deberíamos hacer para relacionarlo con los sistemas digitales que se usan en la computadora es el sumador binario, un sistema que nos permita sumar dos números binarios, un ejemplo puede ser en el que, cada número tenga cuatro bits, tal como lo vemos en el siguiente gráfico.



El primer sumando es $A = 1011$, de cuatro bits, el segundo sumando es $B = 1111$ y como resultado obtenemos la salida $S = 11010$. Para desarrollar un sistema con estas características, debemos pensarlos como un sistema de 8 variables digitales de entrada y de 5 variables digitales de salida. Si se tiene 8 variables de entrada, se debe llenar una tabla de 256 estados (2^8), que como vemos sería un problema muy complejo su implementación.

Podemos pensar en este problema de una forma más sencilla, analizando cómo se realiza la suma de esos números binarios. Noten que la suma se hace bit a bit, como en el ejemplo, comenzamos sumando 1 más 1, el resultado debería ser 2 ya que se trata de una suma aritmética, pero el símbolo 2 no existe en el sistema binario, si su equivalente que es 10, por lo que al sumar 1 más 1 nos da 0 y "lleva 1". En los siguientes dígitos debemos sumar, lo que llevamos más 1 más 1, el resultado es 3, su equivalente es 11, por lo que diremos que 1 más 1 más 1 es 1 y lleva 1; y así sucesivamente se va realizando la suma como aparece en el gráfico anterior.

Podemos escribir la suma en forma genérica, identificando cada uno de los bits de las variables de entrada, a cada uno de ellos se le ha asignado una letra y un subíndice de acuerdo a su posición, así, la primera suma será con A_0 y B_0 , dando como resultado S_0 y llevamos C_0 . Gráficamente podemos representar esta suma tal como se muestra en el siguiente gráfico.



Al primer bloque le llamamos SB (sumador binario simple) y tiene solo dos entradas, mientras que el resto de bloques lo llamamos SBC (sumador binario completo), el cual tiene tres entradas. Si implementamos estos dos sistemas, podemos implementar al sumador binario de n bits, como el que se encuentra en el ALU de los CPUs, por ejemplo, en un Pentium 4 se usa el sumador binario de 32 bits, conformado por un SB y 31 SBC.

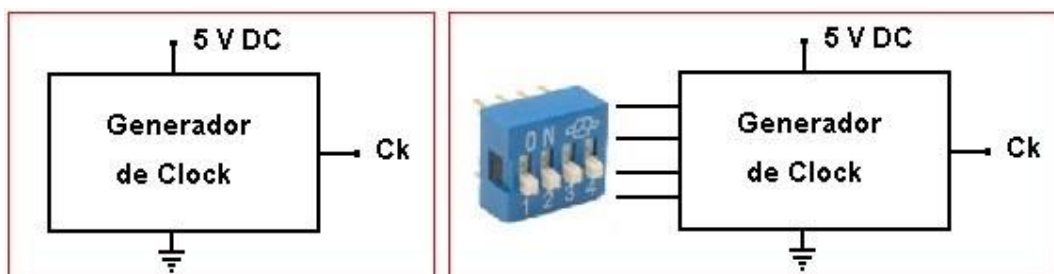
La implementación de estos sistemas se deja para que el alumno lo desarrolle en el taller del curso.

2. GENERADOR DE CLOCK

Las computadoras son sincrónicas, lo que significa que todas sus partes funcionan de forma acompasada con una señal de reloj. Así como nosotros nos movemos y actuamos bajo la dependencia del tiempo controlado por un reloj, en la computadora ocurre también de forma similar, todos sus componentes necesitan de indicaciones de un reloj, algunas con más frecuencia que otras, algunas trabajando muy rápido, mientras que otras lentamente, pero siempre sincronizadas, ósea, todas partiendo al mismo tiempo.

Para que las partes de la computadora trabajen controlando su tiempo, fue necesario generar un sistema digital que les provea de estas señales de reloj. A este sistema le llamamos *Generador de clock*, que de forma simplificada lo podemos ver como un sistema que no presenta variables de entrada, sino solo de salida identificada con *Ck*, la cual es una señal pulsante que luego explicaremos.

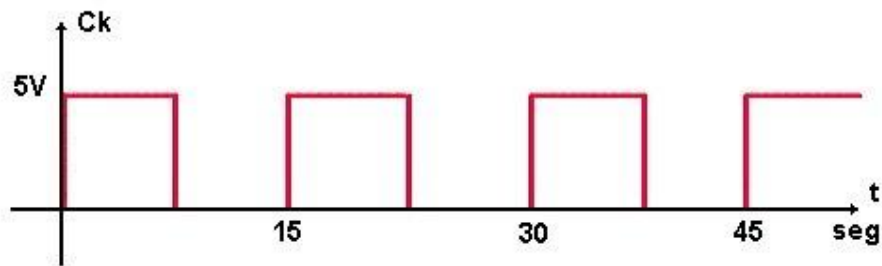
Posteriormente plantearemos el caso de que sea un sistema digital más complejo, el cual tiene variables de entrada, con las cuales determinamos como debe ser la salida. La salida tiene algunos parámetros los cuales los puedo cambiar desde la entrada, estos cambios antiguamente se hacían mediante switches o jumpers, ahora se hace mediante software.



2.1. Señal del Generador de clock

La señal de clock es una señal periódica variando en forma digital, es decir en dos estados: 0 voltios y 5 voltios, lo podemos interpretar que la señal está formada por una secuencia de ceros (0 voltios) y unos (5 voltios). Por esta salida aparece un cero, luego un uno y luego un cero y así sucesivamente, haciéndolo en forma periódica.

En la gráfica siguiente vemos la evolución de esta señal en el tiempo, podemos identificar a un período como el tiempo que demora un uno y un cero, estos tiempos pueden ser en la computadora muy pequeños.



En el ejemplo vemos que el período de esa señal es de 15 segundos. Notemos que siempre en cada período hay un "uno" y hay un "cero".

Pero a veces no es muy conveniente expresarse usando períodos, sino más bien contando cuántos períodos ocurren en un segundo; este nuevo parámetro es la frecuencia. Veamos estos dos conceptos importantes, el período y la frecuencia, importante cuando manejamos las señales de reloj.

Existe una relación entre período y frecuencia.

- Período (T)

Es el tiempo que demora un ciclo. Permite distinguir una señal de reloj de otra. La unidad del período es el segundo, aunque es frecuente usar factores para trabajar con valores de períodos muy pequeños. Los factores son:

mili	= 1 / 1000	= 10^{-3}
micro	= 1 / 1000000	= 10^{-6}
nano	= 1 / 1000000000	= 10^{-9}

- Frecuencia (F)

Es la inversa del período. Indica la cantidad de ciclos que ocurren en un segundo. La frecuencia es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo. Para calcular la frecuencia de un evento, se contabilizan un número de ocurrencias de este teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido.

La unidad de la frecuencia es el hertz (Hz), se utiliza esta unidad acompañado de un factor multiplicador ya que en las computadoras se trabaja con valores muy altos. Estos factores son:

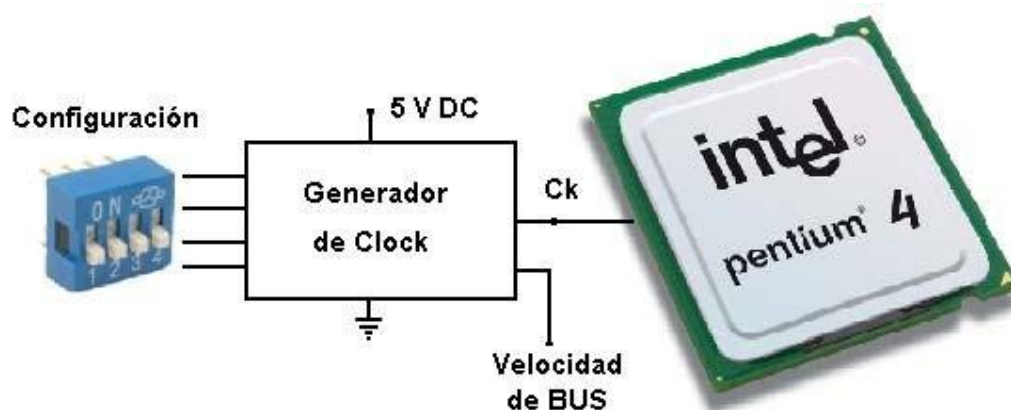
Kilo = 1000 = 10^3
Mega = 1000000 = 10^6
Giga = 1000000000 = 10^9

Período	Frecuencia
m seg = mili segundo	K Hz = Kilo Hertz
μ seg = micro segundo	M Hz = Mega Hertz
n seg = nano segundo	G Hz = Giga Hertz
$T = \frac{1}{F}$ [seg] = $\left[\frac{1}{\text{Hz}}\right]$	$F = \frac{1}{T}$ [Hz] = $\left[\frac{1}{\text{seg}}\right]$

La parte principal del reloj es un oscilador controlado por un cristal de cuarzo que actúa de patrón. En las primeras PC's la frecuencia del cristal fue de 14.31818 MHz y a partir de esta señal se aplicó una señal de clock de 4.77 MHz al microprocesador Intel 8088 en la XT.

La señal de reloj o clock es importantísima, ya que sin ella sería imposible un funcionamiento armónico de los distintos elementos (incluyendo el procesador, uno de cuyos pines o patitas está conectado directamente con el generador). Todos los sucesos internos tienen lugar al compás de este tic-tac electrónico.

En los sistemas de cómputo actuales ya no se usa una señal de reloj si no dos señales, por lo que nuestro generador de clock tendrá dos salidas, una de alta frecuencia y otra de menor frecuencia, pero lo más resaltante es que tiene variables de entrada, con las cuales puedo manejar las salidas. Esto tuvo que ser así, ya que los diferentes modelos de microprocesadores varían su

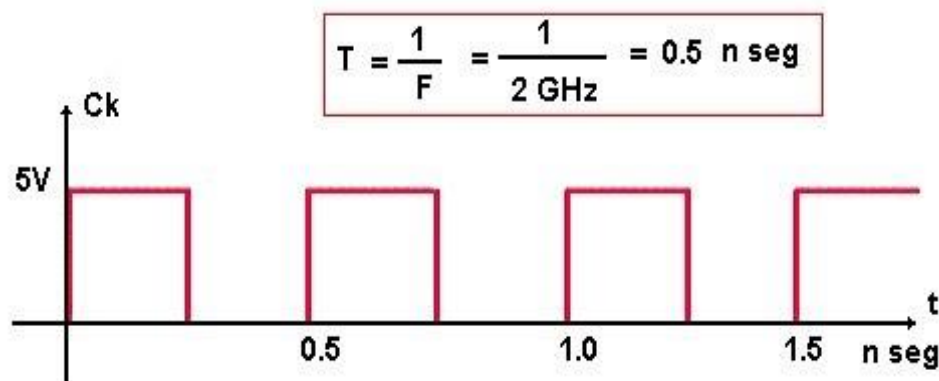


velocidad y el generador que se encuentra en la mainboard debe adecuarse a cada uno de esos procesadores.



El generador de clock es utilizado para entregarle pulsos al microprocesador con los cuales lo obligan a hacer una nueva tarea por cada pulso que llega, tiene que ejecutar una nueva instrucción, por ejemplo, si el micro es de 2 GHz, significa que éste va a ejecutar dos mil millones de instrucciones en un segundo, por lo tanto, la frecuencia del generador de clock debe ser de 2 GHz y debe entregar dos mil millones de pulsos.

Si queremos graficar esta señal de reloj, es necesario determinar cuál es el período, que como sabemos es la inversa de la frecuencia, el gráfico quedará así:



3. CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA

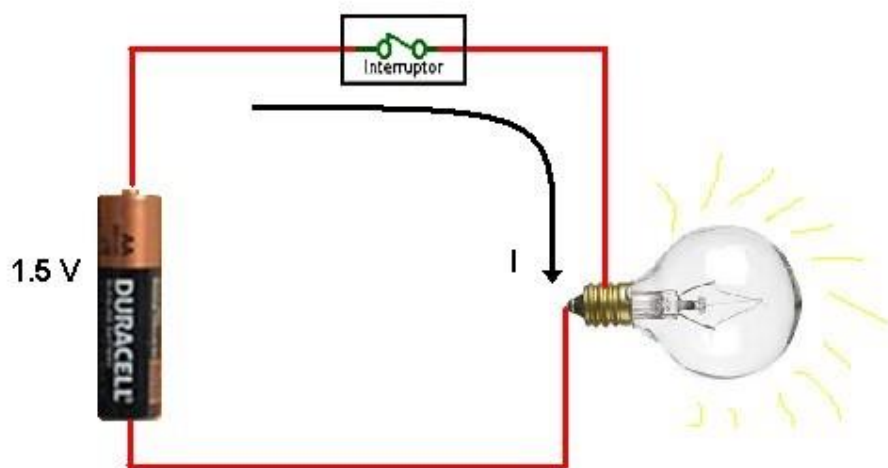
Es necesario conocer algunos conceptos básicos de electrónica para poder entender cómo se puede representar los bits dentro de la computadora, entender cómo es posible que en un cable o un pin del chip pueda haber un "1" o un "0". Es necesario tener presente que, en la computadora, todos los componentes necesitan energía para su funcionamiento y que esa energía debe ser controlada, por lo tanto, debemos saber cuáles son los parámetros a manejar para que nuestro sistema sea más eficiente.

Para conocer los diferentes parámetros eléctricos vamos a utilizar el circuito de una linterna, cuyos componentes son: una batería, un foco, un interruptor y cables.

3.1 Circuito eléctrico

Un circuito eléctrico simple consta básicamente de cuatro elementos que son una fuente de energía (generador, batería o pila), un cable conductor, un aparato eléctrico (foco, resistencia, timbre, etcétera) y un interruptor para abrir o cerrar el circuito.

Cuando se cierra el circuito se genera la circulación de una corriente debido a la presencia de la pila la cual tiene energía eléctrica suficiente para generar el movimiento de electrones, los cuales, al atravesar el foco, se genera la luz.



4. CONCEPTOS RELACIONADOS A LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Un conductor se puede comparar con el tubo de una instalación hidráulica; por medio de este tubo se puede calcular la cantidad de agua que pasa por una sección transversal en cierto intervalo de tiempo; de manera similar, la cantidad de carga que pasa por una sección transversal de un conductor, corresponderá a la cantidad de electrones que circulan por una sección transversal, a la cual se denomina intensidad de corriente eléctrica.

- Intensidad de corriente eléctrica (I): Es la cantidad de electrones por unidad de tiempo, que atraviesa la sección de un conductor. Su unidad es el Amperio (A) en honor del físico francés André-Marie Ampere.
- Voltaje o diferencia de potencial (V): Es la energía que se encarga de hacer circular la corriente por un conductor, su unidad es el Voltio (V).
- Resistencia (R): Es la dificultad u oposición que ofrece el medio conductor al paso de la corriente eléctrica, su unidad es el Ohmio (Ω).
- Potencia (P): Es la energía que se consume o se gasta en la unidad de tiempo. Su unidad es el watt o vatio. La potencia eléctrica que puede desarrollar una fuente está determinada por el producto de la diferencia de potencial que se genera entre sus polos y la intensidad de corriente; matemáticamente, la potencia eléctrica queda definida por la igualdad: $P = V I$

Existe relación entre V, I y R, ésta es: "la intensidad de corriente I que circula en un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial V e inversamente proporcional a la resistencia R del conductor". Esto se expresa mediante la siguiente fórmula (ley de Ohm).

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

I = intensidad de corriente (A)

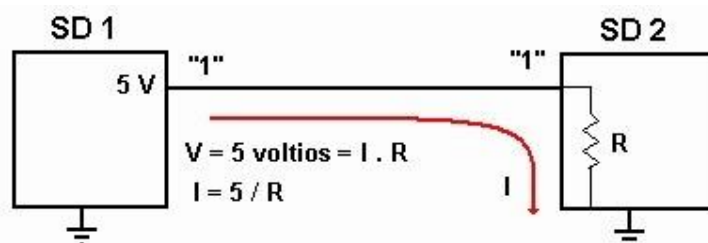
V = diferencia de potencial (V)

R = resistencia (Ω)

De la fórmula anterior se deduce que, en un circuito, cuanto mayor es el voltaje, mayor es la intensidad de corriente, y cuanto mayor es la resistencia, menor es la intensidad de corriente.

Es importante entender estos parámetros para el diseño de los sistemas digitales y en especial en el diseño de todos los componentes de la computadora, ya que, para manejar los ceros y unos, estos son representados por voltajes, en especial por 5 voltios.

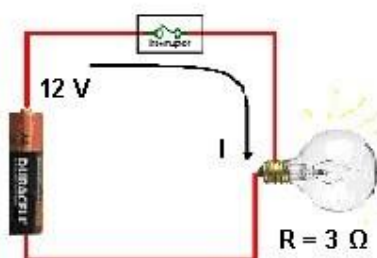
Cuando un sistema digital se conecta con otro e intercambian datos, si uno de ellos le entrega un "1" significa que ha puesto en su salida 5 voltios, este voltaje genera una corriente y el producto de ambos ($V \cdot I$) da la potencia consumida, esta potencia se traduce en calentamiento y consecuentemente en pérdida de energía, si queremos que se reduzca esta energía perdida y caliente menos, debemos reducir la corriente, esto es posible si limitamos la corriente con una resistencia.



Para reducir la potencia también se lo logra reduciendo el voltaje, esto lo vemos en el caso de los microprocesadores actuales, los cuales actualmente trabajan a menos de 2 voltios, con ello se ha logrado simplificar su sistema de enfriamiento.

Ejemplo 1:

¿Cuál será la intensidad de corriente que circula por un foco eléctrico de 3Ω , el cual se encuentra conectado a una fuente o batería de 12 V?



Datos	Fórmula	Resultado
V = 12 V	$I = \frac{V}{R}$	I = 4 A
R = 3	$I = \frac{12 \text{ V}}{3 \Omega}$	
I = ?		

Ejemplo 2:

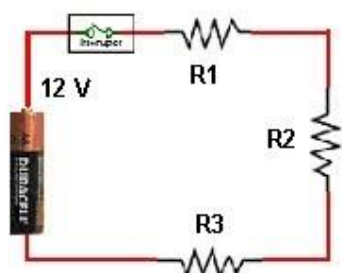
¿Qué potencia se obtendría de un motor que se encuentra conectado a un voltaje de 110 V y consume 3,8 A?

Datos	Fórmula	Sustitución	Resultado
$P = ?$ $V = 110V$ $I = 3.8A$	$P = V \cdot I$	$P = 110V \times 3.8A$	$P = 418 W$

3.3. Circuitos con más de una resistencia

Los elementos de un circuito eléctrico pueden ser conectados en serie o en paralelo.

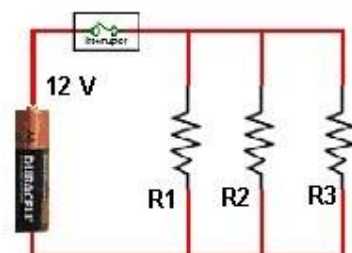
Cuando dos o más resistencias están conectadas en serie, se encuentran una a continuación de otra y en cada una pasa la misma cantidad de corriente eléctrica. Un ejemplo claro de este tipo de conexión son los foquitos que adornan un árbol de navidad.



Resistencias en Serie

$$R_{\text{Serie}} = R_1 + R_2 + R_3$$

Cuando las resistencias se conectan en paralelo, uno de sus extremos se conecta a un polo de la batería o pila por medio de un cable, y el otro extremo, al otro polo de la batería, permitiendo así el flujo de la corriente eléctrica por diversos caminos.



Resistencias en Paralelo

$$R_{\text{Paralelo}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$