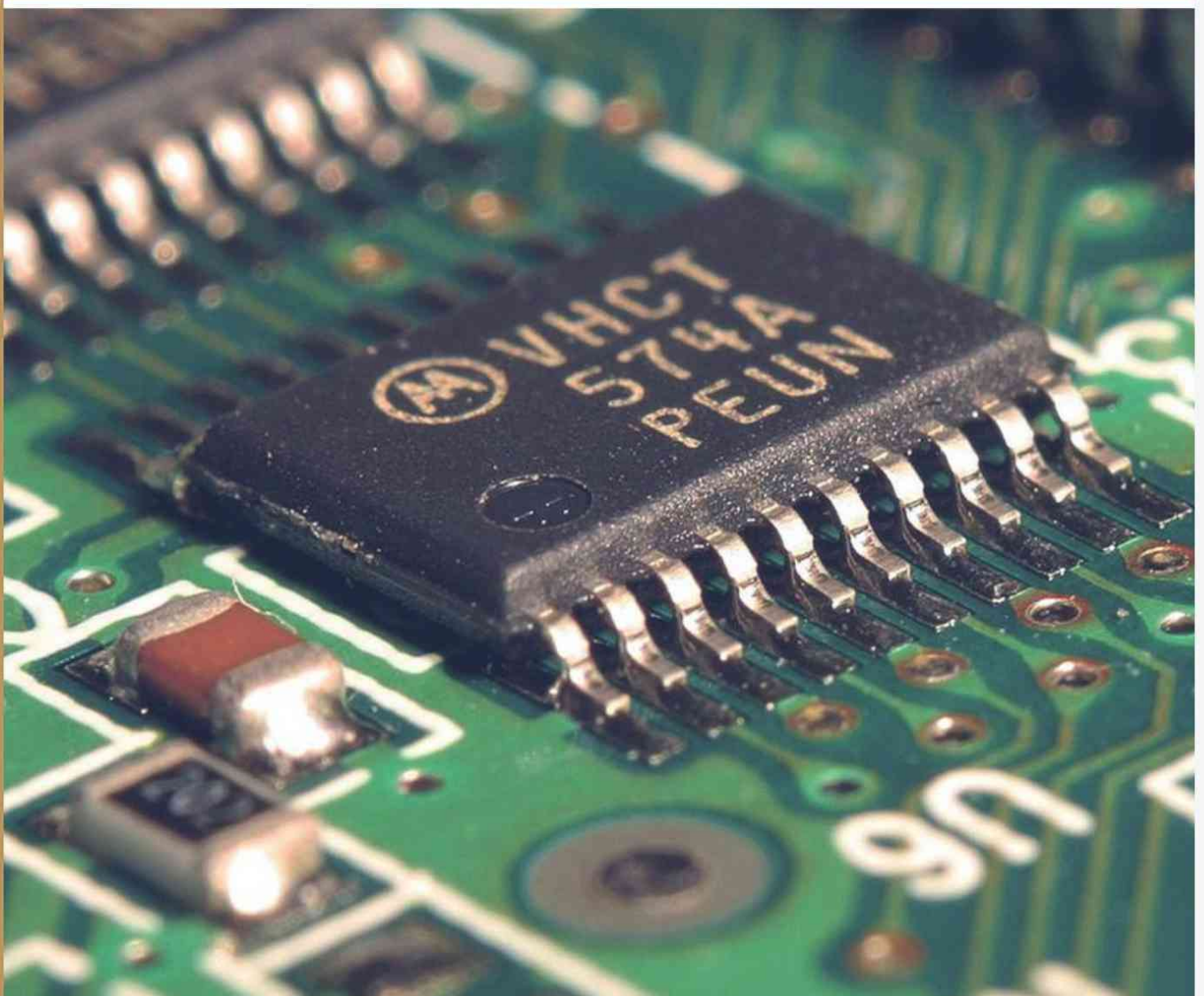


ELECTRÓNICA BÁSICA

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>



<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

David **Arboledas Brihuela**



Electrónica básica

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>



Electrónica básica

David Arboledas Brihuega

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>





Electrónica básica
© David Arboledas Brihuega
© De la edición StarBook 2010

MARCAS COMERCIALES. Las designaciones utilizadas por las empresas para distinguir sus productos suelen ser marcas registradas. StarBook ha intentado a lo largo de este libro distinguir las marcas comerciales de los términos descriptivos, siguiendo el estilo que utiliza el fabricante, sin intención de infringir la marca y sólo en beneficio del propietario de la misma. Los datos de los ejemplos y pantallas son ficticios a no ser que se especifique lo contrario.

StarBook es marca comercial registrada.

Se ha puesto el máximo empeño en ofrecer al lector una información completa y precisa. Sin embargo, StarBook Editorial no asume ninguna responsabilidad derivada de su uso ni tampoco de cualquier violación de patentes ni otros derechos de terceras partes que pudieran ocurrir. Esta publicación tiene por objeto proporcionar unos conocimientos precisos y acreditados sobre el tema tratado. Su venta no supone para el editor ninguna forma de asistencia legal, administrativa o de ningún otro tipo. En caso de precisarse asesoría legal u otra forma de ayuda experta, deben buscarse los servicios de un profesional competente.

Reservados todos los derechos de publicación en cualquier idioma.

Según lo dispuesto en el Código Penal vigente ninguna parte de este libro puede ser reproducida, grabada en sistema de almacenamiento o transmitida en forma alguna ni por cualquier procedimiento, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro sin autorización previa y por escrito de StarBook; su contenido está protegido por la Ley vigente que establece penas de prisión y/o multas a quienes, intencionadamente, reprodujeren o plagiaran, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica.

Editado por:

StarBook Editorial
Calle Jarama, 3A, Polígono Industrial Igarsa
28860 PARACUELLOS DE JARAMA, Madrid
Teléfono: 91 658 16 98
Fax: 91 658 16 98
Correo electrónico: edicion@starbook.es
Internet: www.starbook.es
ISBN: 978-84-92650-49-1
Depósito Legal: M. 46.399-2010
Autoedición: Autores
Diseño Portada: Antonio García Tomé
Impresión: Copias Centro.
Impreso en España en noviembre de 2010

*Errare humanum est,
perseverare autem diabolicum.*

Séneca

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 1. TEORÍA DE CIRCUITOS	15
1.1 LEYES DE KIRCHHOFF	15
1.2 TEOREMA DE THÉVENIN	20
1.3 TEOREMA DE NORTON	22
CAPÍTULO 2. SIMBOLOGÍA ELECTRÓNICA.....	25
2.1 REPRESENTACIÓN DE CIRCUITOS	28
2.1.1 Diagramas pictóricos.....	28
2.1.2 Diagramas de bloques	30
2.1.3 Diagramas esquemáticos.....	31
CAPÍTULO 3. INTERRUPTORES Y RELÉS.....	33
3.1 ¿QUÉ ES UN INTERRUPTOR?.....	33
3.1.1 Simbología	33
3.1.2 Clasificación	35
CAPÍTULO 4. FUSIBLES	39
4.1 ELECCIÓN DEL FUSIBLE	40
4.2 TIPOS DE FUSIBLES.....	41

4.2.1 Fusibles miniatura	41
4.2.2 Fusibles tipo tapón	42
4.2.3 Fusibles tipo cartucho	43
4.3 ¿POR QUÉ SE QUEMAN?.....	43
4.4 COMPROBACIÓN DE FUSIBLES	44
CAPÍTULO 5. RESISTENCIAS	45
5.1 RESISTENCIAS FIJAS	45
5.1.1 Clasificación	46
5.1.2 Características	47
5.2 RESISTENCIAS VARIABLES	51
5.2.1 Potenciómetros	51
5.2.2 Fotorresistencias.....	52
5.2.3 Termistores	53
5.2.4 Varistores.....	54
CAPÍTULO 6. CONDENSADORES	55
6.1 CLASIFICACIÓN.....	56
6.1.1 Condensadores fijos	56
6.1.2 Condensadores variables	60
6.2 CARACTERÍSTICAS DE UN CAPACITOR.....	60
6.3 IDENTIFICACIÓN DE UN CONDENSADOR	61
6.4 FUNCIONAMIENTO DE UN CAPACITOR.....	63
6.4.1 Corriente continua.....	63
6.4.2 Corriente alterna	64
CAPÍTULO 7. BOBINAS Y TRANSFORMADORES.....	67
7.1 LA INDUCTANCIA.....	67
7.2 REACTANCIA INDUCTIVA	70
7.3 CLASIFICACIÓN DE LAS BOBINAS.....	70
7.4 IDENTIFICACIÓN	72
7.5 SIMBOLOGÍA DE LAS BOBINAS.....	73
7.6 INDUCTANCIA MUTUA	73
7.7 TRANSFORMADORES	74

7.8 FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR.....	74
7.9 CLASIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES	75
7.10 ESTRUCTURA BÁSICA.....	77
7.11 IDENTIFICACIÓN	77
7.12 RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	78
7.13 RELACIÓN DE POTENCIA.....	78
7.14 LEYES BÁSICAS	78
7.15 PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES	79
CAPÍTULO 8. DIODOS.....	81
8.1 SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS ...	83
8.2 EL DIODO	84
8.3 TIPOS DE DIODOS.....	85
8.4 FUNCIONAMIENTO.....	85
8.5 LA UNIÓN PN.....	85
8.5.1 Polarización inversa.....	87
8.5.2 Polarización directa.....	87
8.6 TIPOS DE DIODOS.....	89
8.6.1 Diodos rectificadores.....	89
8.6.2 Diodos Zener.....	90
8.6.3 Diodos LED	91
CAPÍTULO 9. TRANSISTORES.....	95
9.1 TIPOS DE TRANSISTORES.....	95
9.2 TRANSISTORES BIPOLARES	96
9.2.1 Polarización y funcionamiento	96
9.3 ENCAPSULADOS.....	99
9.4 IDENTIFICACIÓN DE TRANSISTORES.....	99
9.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	100
9.6 RECTA DE CARGA.....	101
9.7 PUNTO DE TRABAJO.....	103
CAPÍTULO 10. AMPLIFICADORES OPERACIONALES	105
10.1 ESTRUCTURA INTERNA	106

10.2 ENCAPSULADOS	107
10.3 OPERACIÓN EN LAZO ABIERTO	109
10.4 OPERACIÓN EN LAZO CERRADO	110
10.5 PARÁMETROS REALES	110
CAPÍTULO 11. ELECTRÓNICA DIGITAL	113
11.1 SISTEMA BINARIO	114
11.1.1 Conversión decimal-binario.....	115
11.1.2 Conversión binario-decimal.....	116
11.2 LÓGICA DIGITAL Y ÁLGEBRA BOOLEANA.....	117
11.3 FUNCIONES Y PUERTAS LÓGICAS	117
11.4 SIMPLIFICACIÓN DE FUNCIONES.....	119
11.5 EL TRANSISTOR COMO INTERRUPTOR	121
11.6 FAMILIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITALES	122
11.7 CIRCUITOS DE PULSOS	123
11.8 CIRCUITO INTEGRADO 555	124
CAPÍTULO 12. CIRCUITOS INTEGRADOS	127
12.1 HISTORIA DE LOS CI	128
12.2 TIPOS DE CIRCUITOS INTEGRADOS.....	129
12.3 ENCAPSULADOS E IDENTIFICACIÓN.....	131
12.4 CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES	133
12.4.1 Reguladores de voltaje	133
12.5 CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITALES	134
12.5.1 Tipos de CI digitales.....	134
CAPÍTULO 13. CIRCUITOS IMPRESOS	137
13.1 ¿QUÉ ES UN CIRCUITO IMPRESO?	137
13.2 TIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS	138
13.3 ESTRUCTURA DE UN PCB.....	140
13.4 BREVE HISTORIA DE LOS PCB	141
13.5 ¿CÓMO SE DISEÑA UN PCB?	142
13.5.1 Pasos para elaborar un PCB	143
13.6 TÉCNICAS DE DISEÑO DE UN PCB.....	145

13.6.1	Diseño manual	145
13.6.2	Diseño manual con ordenador	146
13.6.3	Diseño asistido por ordenador (CAD)	146
13.7	DISEÑO MANUAL DE UN PCB	147
13.7.1	Puntos de soldadura (<i>pads</i>)	147
13.7.2	Componentes electrónicos.....	148
13.7.3	Trazado de las pistas	149
13.7.4	Consejos para el diseño del circuito	150
13.8	FABRICACIÓN DE UN PCB.....	150
13.8.1	Método del rotulador indeleble.....	151
13.8.2	Método de la transferencia de tóner	155
CAPÍTULO 14. FUENTES DE ALIMENTACIÓN.....		159
14.1	ESTRUCTURA DE UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN....	160
14.2	TIPOS DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN.....	160
14.3	FUENTES REGULADAS.....	161
14.4	EL CIRCUITO DE ENTRADA.....	161
14.5	EL TRANSFORMADOR.....	162
14.6	EL CIRCUITO RECTIFICADOR.....	162
14.7	FILTRO.....	164
14.8	REGULADOR.....	165
14.8.1	Regulador de tensión con diodo Zener	165
14.8.2	Regulador de tensión con diodo Zener y transistor	166
14.8.3	Regulador de tensión con circuitos integrados	166
14.9	FUENTES DE ALIMENTACIÓN REGULADAS FIJAS	167
ÍNDICE ALFABÉTICO.....		169



<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

INTRODUCCIÓN

Si nos preguntamos cómo acercarnos a la electrónica, sólo podemos dar una respuesta: ¡con ilusión! En efecto, hacen falta ganas de saber y mucha curiosidad para entender el mundo, del que la electrónica no es más que una manifestación física más del mismo. La historia de esta rama de la ingeniería aplicada al diseño y aplicación de circuitos electrónicos, por lo general, ha sido un proceso de búsqueda continua por encontrar un sentido real tras el ilimitado número de cambios que sufre la materia.

Los circuitos electrónicos ofrecen enormes funcionalidades para procesar casi cualquier tipo de información, como la transmisión y recepción de ondas de radio y televisión o las operaciones lógicas que ocurren en los procesos electrónicos que se producen en los ordenadores.

La introducción de las válvulas de vacío: los diodos en 1904 por Ambrose Fleming y los triodos por Lee De Forest en 1906, fue el detonante del rápido crecimiento de la electrónica moderna. El desarrollo de esta gran variedad de tubos, diseñados para otra variedad enorme de funciones, posibilitó el avance extraordinario de la tecnología de la información y de la comunicación antes de la II Guerra Mundial y el desarrollo de las primeras computadoras poco después de ella.

Hoy el transistor de unión, patentado en 1951 por Schockley, con su reducido peso, tamaño y mayor fiabilidad que aquellos tubos revolucionó la electrónica. Pero los éxitos no acabaron ahí; la fabricación a escala industrial de los primeros circuitos integrados entre 1959 y 1962 hicieron

caer los precios de los semiconductores un 85% y hasta 1970 su producción se multiplico por veinte. Son estos componentes de estado sólido, la miniaturización extrema de los componentes electrónicos y circuitos integrados en general y los circuitos impresos de montaje superficial, los verdaderos artífices de la Revolución Electrónica tal cual la conocemos hoy y de sus aplicaciones en los equipos de audio y vídeo, telefonía móvil, ordenadores y satélites de comunicaciones.

Todo científico, como bien decía el Doctor Juan Manuel Lozano, sabe que sabe muy poco y que es poco lo que entiende. Los científicos, en el fondo, somos ignorantes, por eso investigamos y deseamos enseñar; pero es una labor intelectual sorprendente, un diálogo con los electrones, una aventura del pensamiento y un juego maravilloso.

Este libro se ha escrito a partir de la experiencia adquirida en la enseñanza, durante varios años, de las distintas Tecnologías en el ámbito preuniversitario. Se han cuidado, de forma especial, los aspectos pedagógicos en la presentación de los capítulos que contiene la obra con el objeto de estimular la reflexión del lector.

Asimismo, deseo expresar mi agradecimiento a la editorial Ra-Ma, y en especial a su sello Starbook, por la ayuda concedida para la elaboración de este libro. De igual forma, deseo reconocer los consejos y comentarios recibidos de algunos colegas y estudiantes durante la elaboración de este libro y que han sido de gran utilidad.

David Arboledas Brihuega

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

Capítulo 1

TEORÍA DE CIRCUITOS

La teoría de circuitos en física es la rama de la misma que engloba los principios y fundamentos para el análisis de los circuitos eléctricos. Permite hallar la tensión y corriente en cada punto del circuito en respuesta a una determinada excitación. Se trata de una simplificación de la teoría electromagnética de Maxwell.

Las bases de esta rama de la ingeniería se encuentran en la ley de Ohm ($I = V/R$), ampliamente estudiada en el libro *Electricidad Básica*, de esta misma editorial, y en las leyes de Kirchhoff, que veremos a continuación.

El aprendizaje de la teoría de circuitos es complejo, pues se requieren amplios conocimientos de matemáticas (aritmética de números complejos, cálculo diferencial e integral, etc.). Es por este motivo, y como corresponde al título del libro, por el cuál no se va a tratar en profundidad este capítulo. Tan sólo se darán pinceladas a sus leyes y teoremas básicos con el fin de que vea el enorme potencial que representa esta teoría de circuitos en la comprensión de los circuitos eléctricos y electrónicos.

1.1 LEYES DE KIRCHHOFF

Todo circuito eléctrico representa un camino cerrado para la corriente eléctrica. Cada punto del mismo se caracteriza por un potencial

eléctrico; excepto aquéllos que representan una discontinuidad: un generador de fuerza electromotriz (*fem*) o un motor, caracterizado por su fuerza contraelectromotriz (*fcem*).

Un circuito puede estar formado por mallas, entendiendo por **mall**a todo camino cerrado que resulta de recorrer el esquema eléctrico en un mismo sentido para regresar al punto de partida sin pasar dos veces por el mismo punto. Como ya conoce si ha leído el libro *Electricidad Básica*, aquel punto del circuito en el que se unen tres o más conductores se denomina **nudo** o **nodo** (figura 1.1).

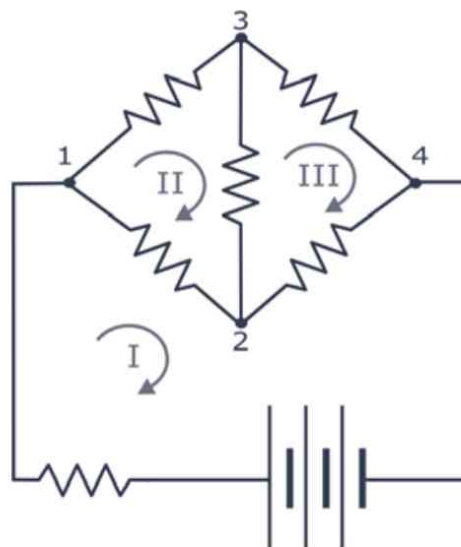


Figura 1.1. Nudos y mallas en un esquema eléctrico. Observe que en el circuito aparecen cuatro nudos (1, 2, 3 y 4) y tres mallas (I, II y III). Existen seis ramas, cada una con su propia intensidad de corriente: 1-2, 1-3, 2-3, 2-4, 3-4 y 4-1

En cada nudo del circuito debe cumplirse que la suma algebraica de las intensidades correspondientes a las distintas ramas o tramos que concurren en el nudo es nula. Lo que es un principio básico de la ley de conservación de la carga eléctrica. Recuerde que un tramo o **rama** es el camino eléctrico entre dos nudos consecutivos del esquema eléctrico (figura 1.1). Matemáticamente esta ley puede expresarse como sigue:

$$\sum_i I_i = 0$$

La ecuación anterior constituye la **primera ley de Kirchhoff**, o **ley de las corrientes** (LCK), y establece que:

La suma de las intensidades que se dirigen al nudo es igual a la suma de las intensidades que se alejan del mismo.

Para cada nudo existe una ecuación; sin embargo, si en el circuito hay n nudos, sólo habrá que escribir $n - 1$ ecuaciones. Por otro lado, si consideramos cualquier malla dentro del circuito, es evidente que la suma algebraica de las caídas de potencial, $V = R \cdot I$, ha de ser igual a la suma de las fuerzas electromotrices presentes en la misma. Para cada malla, entonces, puede escribirse:

$$\sum_i R_i \cdot I_i = \sum_i V_{E(i)}$$

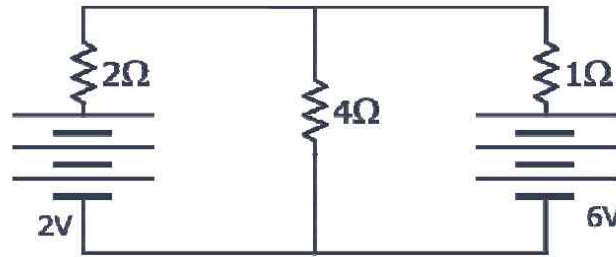
Los productos $R \cdot I$ se toman positivos o negativos según correspondan a conductores recorridos en el mismo u opuesto sentido al indicado arbitrariamente antes de comenzar el estudio de la malla. A su vez, las fem serán positivas si las recorremos de polo negativo (-) a positivo (+) y viceversa. Lo veremos a continuación en detalle con un ejemplo.

La anterior ecuación constituye la **segunda ley de Kirchhoff**, o **ley de los voltajes (LVK)**, y afirma que:

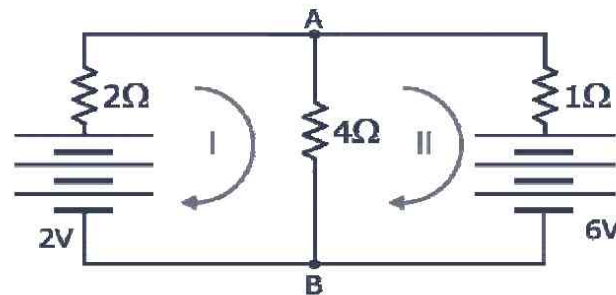
La suma algebraica de las fem existentes en una malla cualquiera es igual a la suma algebraica de las caídas de potencial en los conductores que forman la malla.

Para cada malla puede escribirse una ecuación. Si en el circuito existen r ramas, la solución del problema consiste en encontrar las r intensidades correspondientes. En consecuencia, si r son las incógnitas y existen n nudos, el número de mallas independientes es $m = r - (n - 1)$. Al resolver las r ecuaciones de la LCK y LVK, se obtienen, con su signo, las intensidades que recorren cada tramo del circuito. Si es positivo, el sentido de la intensidad en la rama coincide con el supuesto inicialmente. Si por el contrario resulta negativo, el sentido de la intensidad será el opuesto.

Veamos un ejemplo a continuación con el que le quedará más claro cómo se escriben para un circuito dado las ecuaciones correspondientes a las leyes de Kirchhoff. Dado el esquema siguiente, vamos a hallar todas las corrientes que circulan por el mismo.

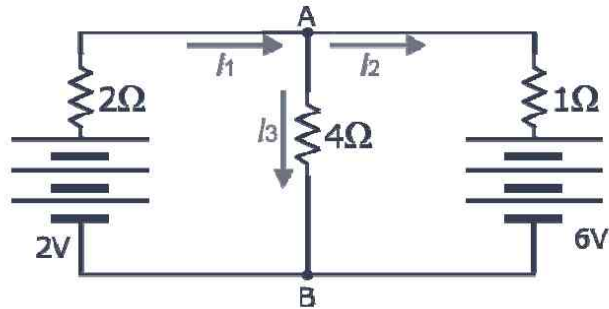


Lo primero que debe observar es que en este esquema eléctrico existen **dos mallas** independientes; es decir, dos caminos cerrados que resultan de recorrer el circuito eléctrico en un mismo sentido. Siempre se ha de regresar al punto de partida sin pasar dos veces por el mismo punto. Llamaremos a esas mallas, I y II. Ahora busquemos aquellos puntos del circuito en los que se unan tres o más conductores, **nudos**. Sin mirar mucho nos damos cuenta en seguida de que las uniones de la resistencia de $4\ \Omega$ constituyen dos nudos, que llamaremos A y B. Así pues, si marcamos esos nudos en el esquema y elegimos como sentido arbitrario de la corriente de cada malla el horario, tendremos:



Entonces, ¿cuántas intensidades recorren el circuito propuesto? Exactamente una por cada **rama** del mismo. Recuerde que una rama es el camino eléctrico entre dos nudos consecutivos. Tenemos, entonces, **tres intensidades**. Una entre AB que recorre la resistencia de $4\ \Omega$, otra entre AB por la rama de la izquierda y la última entre AB por la rama de la derecha. Matemáticamente podríamos haber obtenido la misma respuesta. Si n es el número de nudos, m el de mallas independientes y r el número de ramas, entonces, $r = m + (n - 1) = 2 + (2 - 1) = 3$.

Ahora es el momento de dibujar las intensidades que recorren cada una de las tres ramas, que llamaremos i_1 , i_2 e i_3 . ¿Cómo se indican? Pues también de forma arbitraria, pero teniendo cuidado en no poner que todas las corrientes entren o salgan del mismo nudo. Recuerde la LCK. Así que una posible solución al sentido de las corrientes sería el siguiente:



Como existen dos nudos, la LCK la hemos de aplicar a uno sólo ($n - 1$). Elijamos el nudo A, por ejemplo. Fíjese, pues es importante, que no se han dibujado todas las corrientes entrando al nudo o todas saliendo. Como las corrientes que se dirigen a un nudo son las mismas que las que se alejan de él, entonces, la LCK aplicada al nudo A queda de la siguiente forma:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Ahora hemos de escribir las ecuaciones correspondientes a la LVK para cada una de las dos mallas. Siempre ha de tomarse la siguiente precaución: si la intensidad que se dibuja en la malla va en el mismo sentido que la intensidad de la rama, entonces, ésta última, será positiva y viceversa.

Las mallas I y II vamos a recorrerlas en sentido horario, como marcamos, empezando en el vértice superior izquierdo de cada una. Entonces, las ecuaciones de la LVK quedarán:

$$\text{malla I: } 4I_3 + 2I_1 = 2;$$

$$\text{malla II: } 1I_2 - 4I_3 = -6;$$

Tenemos ya las ecuaciones que nos permitirán dar las soluciones pedidas:

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = I_2 + I_3 \\ 4I_3 + 2I_1 = 2 \\ 1I_2 - 4I_3 = -6 \end{array} \right\}$$

Al resolver este sistema, obtendremos:

$$I_1 = -1 \text{ A } \checkmark, \quad I_2 = -2 \text{ A } \checkmark, \quad I_3 = 1 \text{ A } \checkmark$$

Las intensidades negativas significan que van en sentido opuesto al dibujado y las positivas en el mismo.

1.2 TEOREMA DE THÉVENIN

En la teoría de circuitos eléctricos, el teorema de Thévenin establece que una parte de un circuito eléctrico comprendido entre dos puntos A y B, puede sustituirse por un circuito equivalente que esté constituido exclusivamente por un generador de tensión en serie con una resistencia (figura 1.2), de forma que al conectar un elemento entre los dos terminales A y B, la caída de tensión en éste y la intensidad que lo atraviesa son las mismas en ambos circuitos: el real y el equivalente Thévenin. Se trata de una herramienta muy útil para el estudio de circuitos complejos.

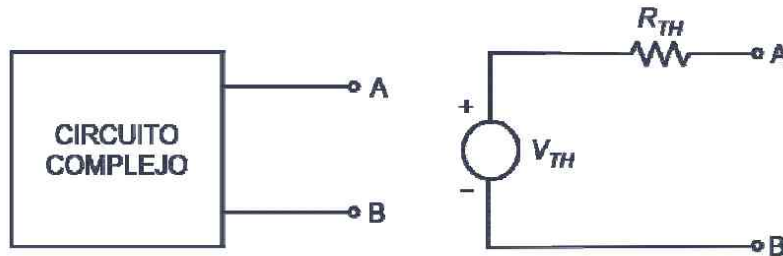


Figura 1.2. Circuito equivalente Thévenin. La parte del circuito entre A y B puede sustituirse por un generador de tensión en serie con una resistencia

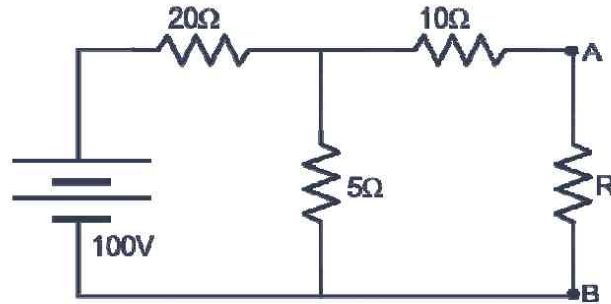
Para hallar la tensión y la resistencia de Thévenin se procede de la siguiente forma:

1. Se calcula la tensión en circuito abierto que aparece entre A y B. Si existe algún elemento conectado a estos puntos se habrá de quitar para el cálculo. De este modo tendremos V_{TH} .
2. Se halla la intensidad de corriente que circula entre ambos puntos cuando se cortocircuitan, I_{CC} . De modo que $R_{TH} = V_{TH}/I_{CC}$.

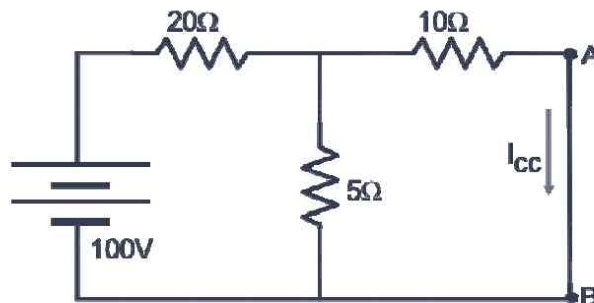
Una vez conocidas la tensión y resistencia de Thévenin la relación entre la intensidad de corriente que circula por un elemento unido a los puntos A y B y su caída de tensión, resulta inmediata:

$$V_{TH} = I \cdot R_{TH} + V_{AB}$$

Veamos a continuación un ejemplo práctico. Dado el siguiente esquema eléctrico vamos a hallar el circuito equivalente de Thévenin entre los puntos A y B.



Para obtener la tensión de Thévenin lo primero que hacemos es eliminar la resistencia R entre los puntos A y B. Hecho esto se observa que el resistor de 10 ohmios está en circuito abierto; es decir que no circula corriente por él y, por tanto, no se produce ninguna caída de tensión. El circuito queda entonces reducido a una fuente de tensión de 100 V unida a dos resistencias en serie de 20 y 5 ohmios. Como la carga R está en paralelo con la resistencia de 5 ohmios, la diferencia de potencial entre los puntos A y B es igual a la caída de tensión en el resistor de 5 ohmios. Así pues, la tensión de Thévenin, resulta:



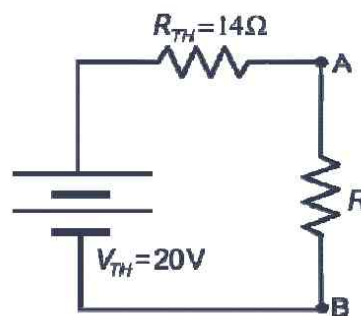
Para el cálculo de la resistencia de Thévenin, R_{TH} , necesitamos hallar la corriente en cortocircuito, I_{cc} , entre los puntos dados, como muestra el circuito siguiente:

$$V_{TH} = \frac{100 \text{ V}}{(20 + 5)\Omega} \cdot 5 \Omega = 20 \text{ V} \checkmark$$

El cálculo de I_{cc} es muy sencillo, pues se obtiene prácticamente por aplicación inmediata de la ley de Ohm. Si lo resuelve, encontrará que el valor buscado es 1,43 A. Así pues:

$$R_{TH} = \frac{V_{TH}}{I_{cc}} = \frac{20 \text{ V}}{1,43 \text{ A}} = 14 \Omega \checkmark$$

Entonces, el circuito Thévenin equivalente puede dibujarse como sigue:



1.3 TEOREMA DE NORTON

Es un teorema dual del de Thévenin que establece que cualquier circuito se puede sustituir por una fuente equivalente de intensidad en paralelo con una resistencia (figura 1.3). Al sustituir un generador de tensión por uno de corriente, el borne positivo del generador de tensión deberá coincidir con el borne positivo del generador de corriente y viceversa.

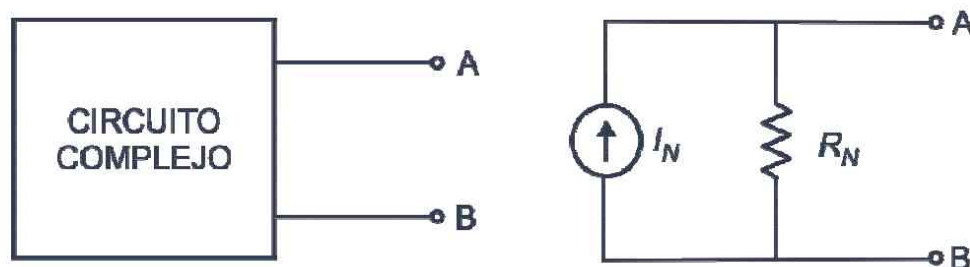
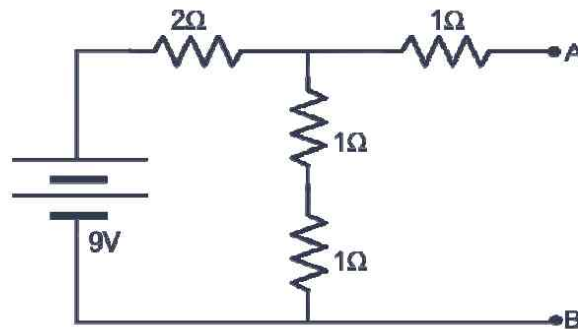


Figura 1.3. Circuito equivalente Norton. La parte del circuito entre A y B puede sustituirse por un generador de corriente en paralelo con una resistencia

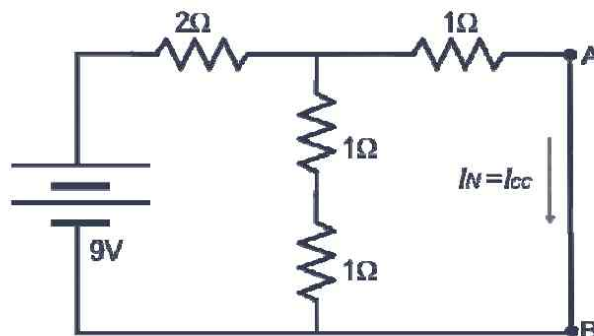
Para hallar la corriente, I_N , que debe suministrar el generador de corriente se cortocircuitan los puntos A y B y se calcula la corriente que

discurre por ellos. La resistencia de Norton, por otro lado, coincide con la de Thévenin.

Veamos un caso práctico. Vamos a obtener el circuito Norton equivalente entre los puntos A y B para el siguiente esquema:



Lo primero que debemos hacer es cortocircuitar los puntos A y B y hallar la intensidad de corriente que circula entre ellos.



La intensidad suministrada por la fuente de tensión se calcula por aplicación directa de la ley de Ohm:

$$I_{total} = \frac{9 \text{ V}}{2 \Omega + 1 \Omega \parallel (1 \Omega + 1 \Omega)} = 3,38 \text{ A}$$

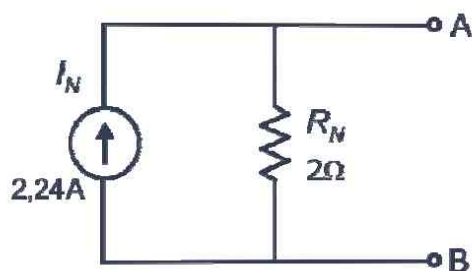
Entonces, la corriente en cortocircuito debe ser:

$$I_{cc} = I_N = \frac{(9 \text{ V} - 3,38 \text{ A} \cdot 2 \Omega)}{1 \Omega} = 2,24 \text{ A} \checkmark$$

Y la resistencia Norton equivalente sería:

$$R_N = 2 \Omega \parallel (1 \Omega + 1 \Omega) + 1 \Omega = 2 \Omega \checkmark$$

Así pues, el circuito Norton equivalente puede dibujarse del siguiente modo:



<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

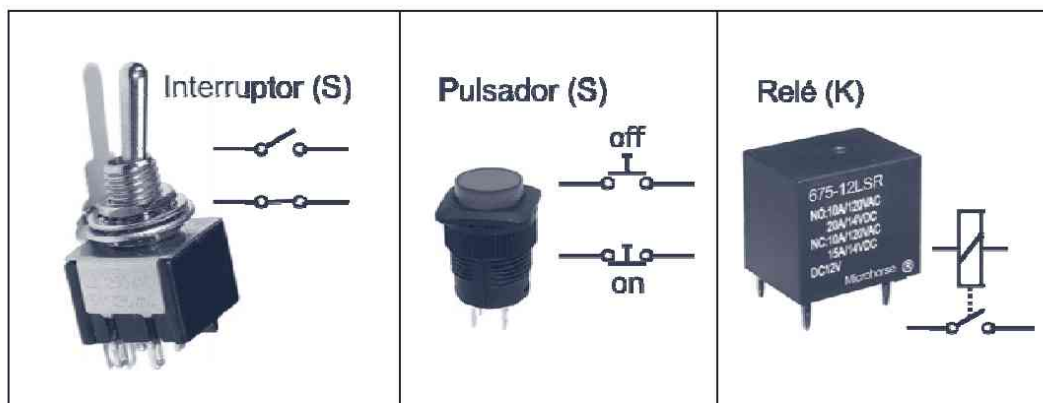
Capítulo 2



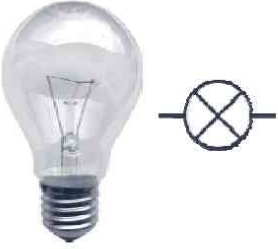
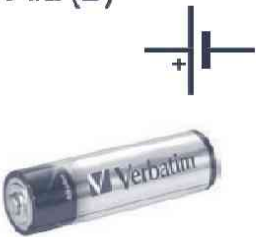

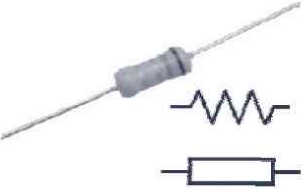
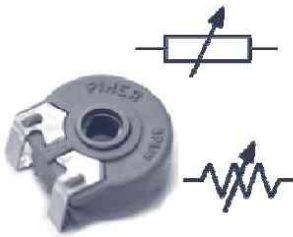
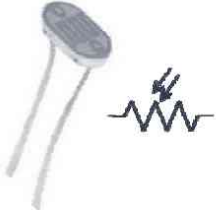
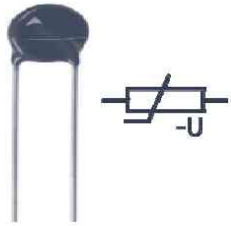
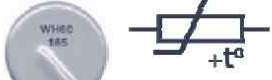
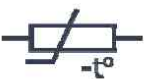


<https://yolibrospdf.com/electronica.html>






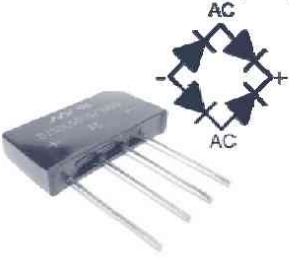

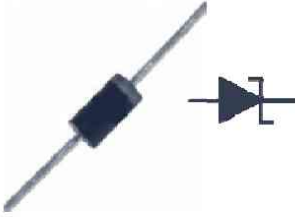
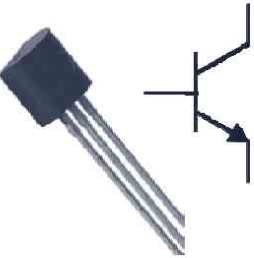
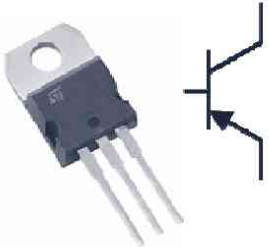
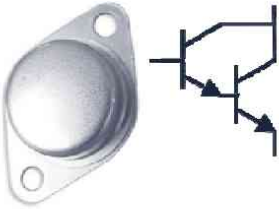
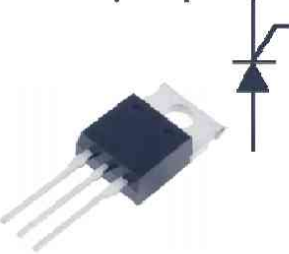
SIMBOLOGÍA ELECTRÓNICA

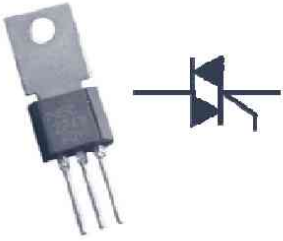
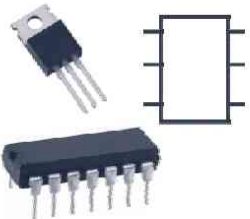
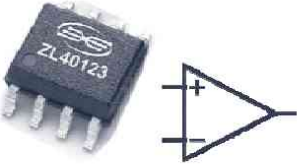

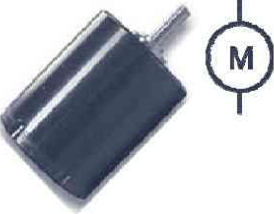

Debido a que los circuitos electrónicos son agrupaciones más o menos complejas de componentes, y puesto que sería bastante tedioso y poco práctico dibujarlos tal y como son en realidad, se estableció la necesidad de representarlos mediante un símbolo gráfico universal que facilitara el diseño, elaboración y reparación de todo circuito electrónico.

A continuación se muestra los principales componentes empleados en electrónica y su símbolo correspondiente. En general, la mayoría de símbolos tiene una geometría que representa en mayor o menor grado su función básica. Para alguno de ellos existe más de un símbolo internacionalmente aceptado, por lo que se recogen solamente los más habituales.



<p>Conector (J)</p> 	<p>Fusible (F)</p> 	<p>Bombilla (LMP)</p> 
<p>Pila (B)</p> 	<p>Batería (B)</p> 	<p>Resistencia fija (R)</p> 
<p>Potenciómetro (P)</p> 	<p>Fotorresistencia (LDR)</p> 	<p>Varistor (VDR)</p> 
<p>Termistor</p> <p>PTC</p>  <p>NTC</p> 	<p>Condensador fijo no polarizado (C)</p> 	<p>Condensador fijo polarizado (C)</p> 

<p>Condensador variable (C)</p> 	<p>Bobina fija (L)</p> 	<p>Bobina variable (L)</p> 
<p>Transformador núcleo de hierro (T)</p> 	<p>Diodo rectificador (D)</p> 	<p>Puente rectificador (BR)</p> 
<p>Diodo LED (LED)</p> 	<p>Diodo Zener (D)</p> 	<p>Transistor NPN (Q)</p> 
<p>Transistor PNP (Q)</p> 	<p>Transistor Darlington (Q)</p> 	<p>Tiristor (SCR)</p> 

<p>Triac (TR)</p> 	<p>Circuito integrado (IC)</p> 	<p>Amplificador Operacional (A)</p> 
<p>Altavoz (SPK)</p> 	<p>Motor (MOT)</p> 	<p>Zumbador (BZ)</p> 

2.1 REPRESENTACIÓN DE CIRCUITOS

Los circuitos eléctricos o electrónicos, como agrupación más o menos compleja de componentes que realizan una función dada, pueden representarse de tres formas prioritarias: mediante diagramas pictóricos, diagramas esquemáticos y diagramas de bloques. Veamos cada uno de ellos.

2.1.1 Diagramas pictóricos

Son una forma de representar los circuitos para transmitir información a personal generalmente no especializado como aficionados o simples usuarios, debido a la gran claridad que ofrecen las conexiones. Pueden o no suministrar información técnica sobre el funcionamiento del circuito. Los componentes se dibujan normalmente como son y este hecho hace que sean demasiado tediosos y complejos a la hora de dibujarlos (figura 2.1).

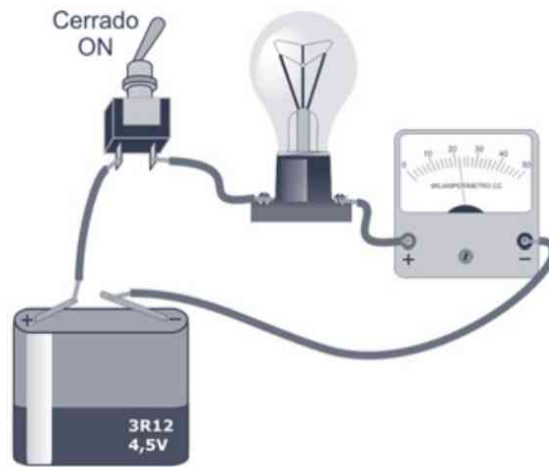


Figura 2.1. Diagrama pictórico de un circuito

Existen varios tipos de diagrama pictóricos, entre los que cabe destacar los siguientes:

2.1.1.1 DIAGRAMAS DE DESPIECE

Se emplean para mostrar cómo se une un determinado conjunto y obtener así una visión exacta del ensamblado (figura 2.2).

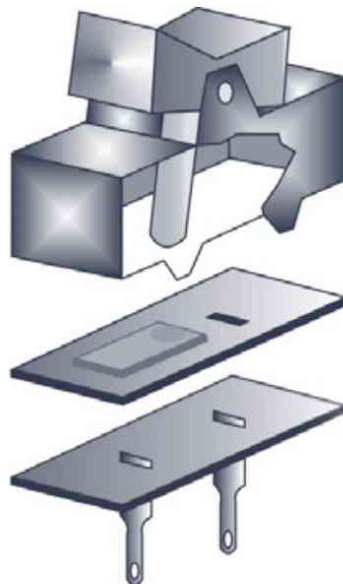


Figura 2.2. Diagrama de despiece de un interruptor de balancín

2.1.1.2 GUÍAS DE INSTALACIÓN

Representan generalmente los componentes serigrafiados sobre la placa del circuito impreso, PCB, bien por su forma física real o a través de su silueta (figura 2.3). También pueden mostrarse los componentes montados sobre el tablero de conexiones o protoboard (figura 2.4).

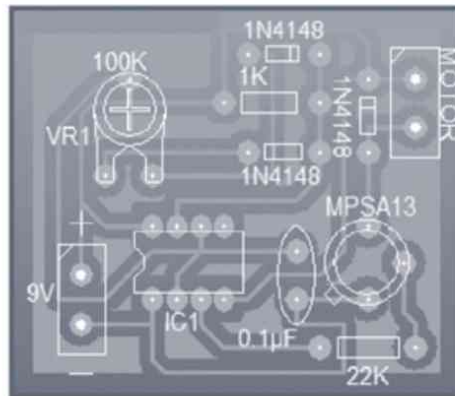


Figura 2.3. Diagrama pictórico de un PCB

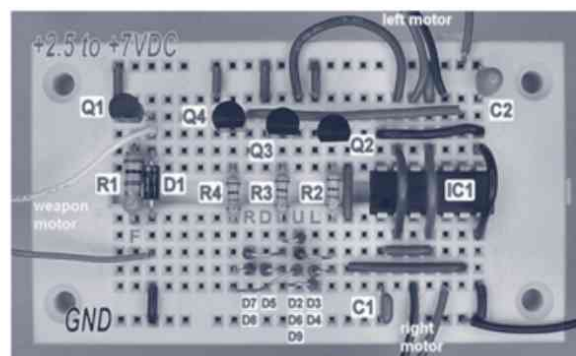


Figura 2.4. Guía de instalación sobre un tablero de conexiones

2.1.2 Diagramas de bloques

Representan de una manera muy sencilla cómo se relacionan los circuitos que componen un determinado sistema, obviando completamente su estructura interna. Se emplean para poner de manifiesto el modo en que funciona un determinado sistema y cuáles son los circuitos que lo conforman y el flujo de las diversas señales. El diagrama de bloques constituye el primer paso para el diseño de un proyecto.

Cada bloque representa un circuito o una etapa y se coloca de tal modo que el flujo de las señales sea de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Los bloques se unen por medio de líneas y el flujo de las señales se indica mediante flechas sobre ellas. Cada etapa, a su vez, se marca con la función que realiza (figura 2.5).

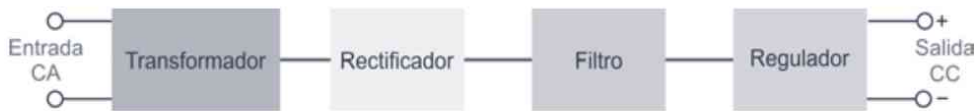


Figura 2.5. Diagrama de bloques de una fuente de alimentación

2.1.3 Diagramas esquemáticos

Constituyen el lenguaje internacional de comunicación en electrónica, ya que son muy explícitos, muy fáciles de dibujar y ocupan un espacio relativamente pequeño.

Para realizar estos diagramas los componentes deben representarse con su símbolo. Los conductores o las conexiones entre componentes se representan mediante líneas rectas horizontales o verticales. Si éstas están conectadas entre sí en algún nodo, se dibuja un punto en su intersección. Si simplemente se cruzan no se indica nada (figura 2.6).

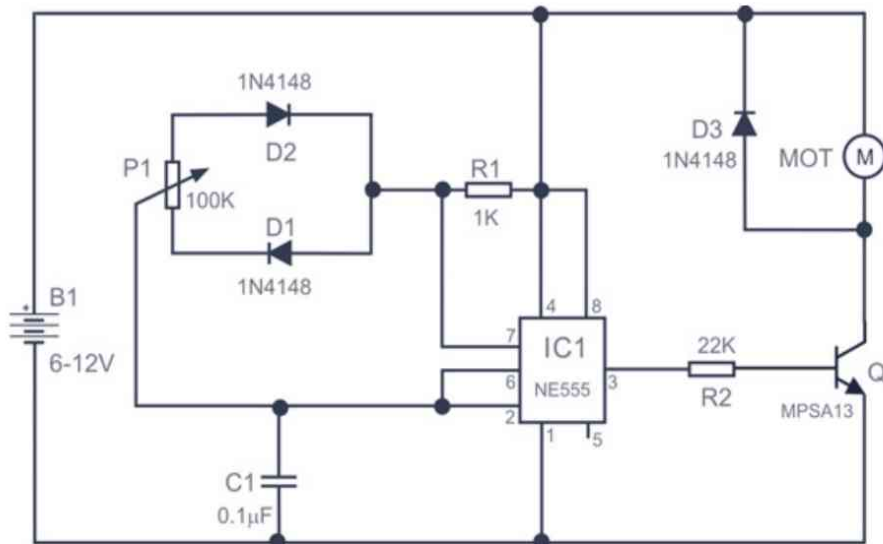


Figura 2.6. Esquema eléctrico de un circuito para el control de la velocidad de giro de un motor de CC

Los componentes se identifican por medio de un símbolo alfanumérico formado por una o varias letras que corresponden a su naturaleza y un número que individualiza cada componente. Así, es habitual que los transistores se definan en los esquemas eléctricos con la letra *Q*, los diodos con la *D*, las resistencias con la *R*, etc.; tal y como se recoge en la tabla inicial de símbolos. Por tanto, si en un esquema hay un transistor y dos resistencias, éstos aparecerán como *Q1*, *R1* y *R2* (figura 2.6).

Para finalizar, los diagramas deben ir acompañados de una lista de componentes en la que se relacionen los símbolos con su valor real. De este modo se evita saturar el diagrama, sobre todo si éste es lo suficientemente complejo.

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

Capítulo 3



INTERRUPTORES Y RELÉS

Los **interruptores** son elementos de mando en un circuito eléctrico, pues permiten, interrumpen o dirigen el paso de una señal eléctrica por un determinado punto de un circuito.

3.1 ¿QUÉ ES UN INTERRUPTOR?

Los interruptores están formados por dos superficies conductoras fijas y un contacto móvil que se conectan eléctricamente por un mecanismo de accionamiento, como una palanca, un cursor, un botón, etc. y que forman el **contacto** eléctrico (figura 3.1). La función de todo interruptor es permitir el paso de corriente de una a otra superficie fija con la mínima resistencia eléctrica posible. Cuando el interruptor se cierra (ON), el contacto móvil une los contactos fijos y cierra el circuito. Cuando se abre (OFF), los contactos fijos dejan de estar eléctricamente unidos y la corriente deja de pasar por el circuito que controla dicho interruptor.

3.1.1 Simbología

Los interruptores pueden ser de uno o varios **polos** (zona por la que entra la corriente al interruptor) y su acción, permanente o momentánea (figura 3.2).

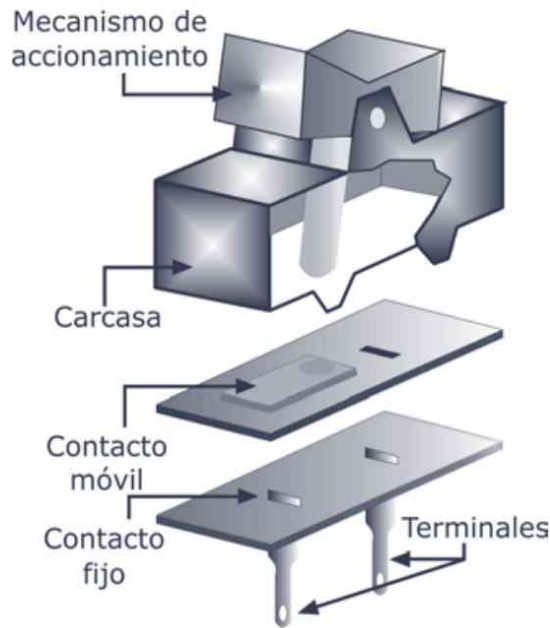


Figura 3.1. Estructura de un interruptor de balancín

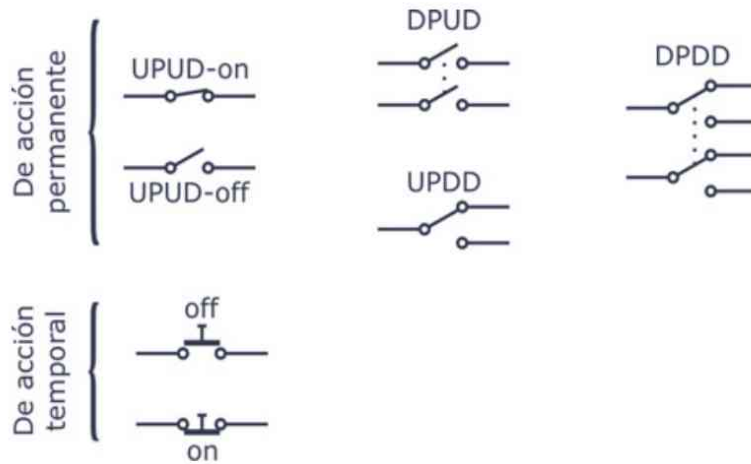


Figura 3.2. Simbología de distintos interruptores. Dentro de los de acción permanente se observa el UPUD, un polo y una dirección; el UPDD, un polo y dos direcciones; el DPUD, dos polos y una dirección y el DPDD, dos polos y dos direcciones. En cuanto a los de acción temporal, se muestra el símbolo del pulsador más corriente, el UPUD, en sus dos posiciones, ON y OFF

- Un interruptor es de un polo cuando controla un único circuito. La corriente llega al interruptor por un único punto.
- Un interruptor es de varios polos cuando controla varios circuitos independientemente.

- Un interruptor es de varias posiciones o direcciones cuando la corriente puede dirigirse por varias rutas alternativas hacia diferentes zonas de un circuito.
- Un interruptor es de acción permanente cuando después de ser accionado y liberado permanece en el último estado por tiempo indefinido.
- Un interruptor es de acción momentánea cuando cambia de estado sólo cuando se mantiene accionado por el usuario y vuelve al estado primitivo tras ser liberado. Se denominan generalmente **pulsadores**.

3.1.2 Clasificación

Dependiendo de su mecanismo de accionamiento, los interruptores se clasifican en varios tipos:

- **Deslizantes:** el accionamiento se hace de tal forma que una de las superficies se desliza sobre la otra. Este movimiento hace que los contactos se desgasten rápidamente por el rozamiento entre ellos (figura 3.3).



Figura 3.3. Interruptor deslizante

- **Palanca:** son interruptores más robustos y pueden manejar mayores corrientes. Se accionan mediante una palanca (figura 3.4).



Figura 3.4. Interruptor de palanca

- **Doble fila:** pueden tener desde uno a doce interruptores individuales. Se utilizan para controlar tensiones e intensidades muy bajas en circuitos donde no necesitan ser accionados continuamente. Se emplean generalmente en mandos electrónicos (figura 3.5).



Figura 3.5. Interruptor de doble fila

- **Balancín:** son interruptores robustos y de mayor complejidad, pero presentan un menor desgaste que los anteriores (figura 3.6).



Figura 3.6. Interruptor de balancín

- **Pulsador:** son interruptores que permiten el paso o interrumpen la corriente mientras son accionados. Cuando ya no se actúa sobre él vuelve a su posición de reposo (figura 3.7).



Figura 3.7. Pulsador

- **Relés:** son interruptores electromecánicos, controlados por la corriente eléctrica (figura 3.8). Cuando circula corriente por la bobina se genera un campo magnético que acciona los contactos del interruptor, que vuelven a su posición inicial cuando cesa la circulación de corriente. De este modo puede controlarse un segundo circuito.



Figura 3.8. Relé

En la figura 3.9 puede ver la estructura de un relé asociado a un interruptor UPUD.

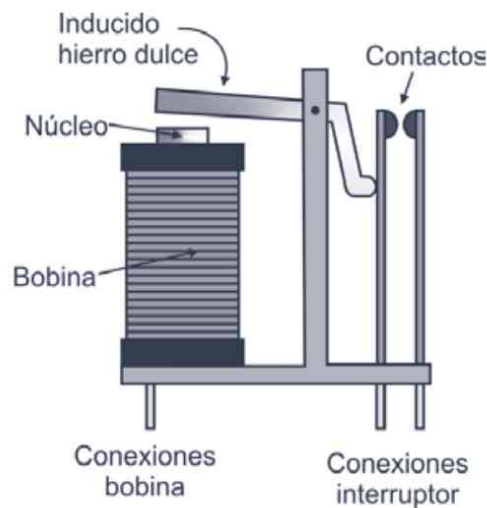


Figura 3.9. Estructura de un relé asociado a un interruptor UPUD

Cuando pasa corriente a través de los terminales de la bobina, el campo magnético generado atrae al inducido de hierro dulce hacia el núcleo (figura 3.10A), lo que provoca que los contactos del interruptor se aproximen y cierren el circuito de conmutación.

Cuando deja de pasar la corriente por el circuito de excitación, el núcleo se desmagnetiza y el inducido de hierro vuelve a su posición inicial, abriendo el circuito de conmutación (figura 3.10B).

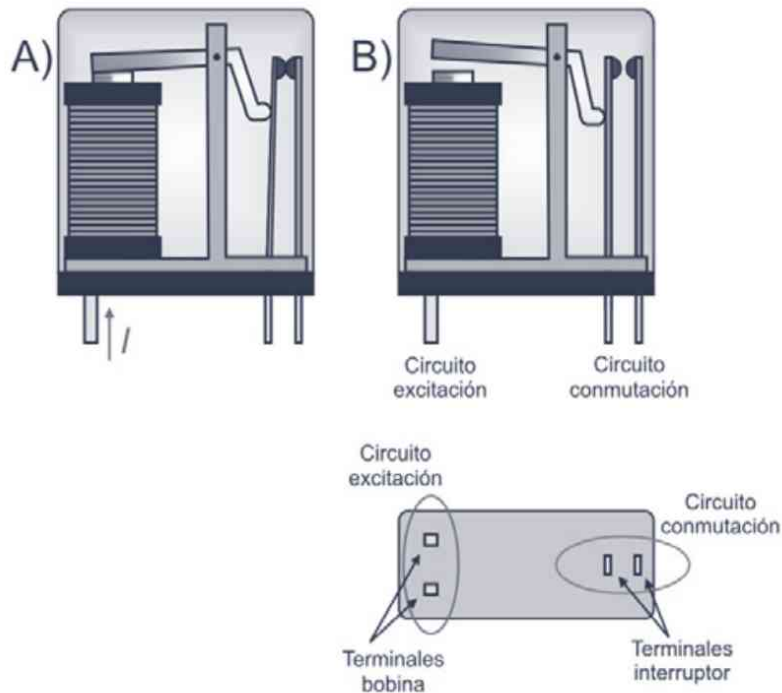
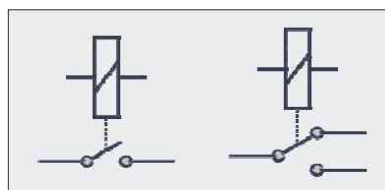


Figura 3.10. Funcionamiento de un relé

El símbolo de un relé es el de un electroimán asociado al del interruptor que forma parte del circuito de conmutación. A continuación tiene los símbolos de un relé asociado a un interruptor UPUD y a un interruptor UPDD.



Capítulo 4

FUSIBLES

Son componentes de protección de los circuitos y sistemas electrónicos en general. Básicamente los fusibles están formados por un alambre conductor que se funde por efecto *Joule* cuando la intensidad de corriente supere, bien por un cortocircuito o bien por un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o la destrucción de otros elementos del circuito. La longitud y sección del hilo fusible se calcula para que se funda sólo cuando circule por él una corriente mayor que aquella para la cual fue diseñado. Cuando ocurre esto, el circuito se abre y de este modo se impide el paso de la corriente.

En 1930 Wickmann desarrolló el primer fusible de 5 x 20 mm. Ahora siguen siendo inmensamente populares por su bajísimo coste y la enorme protección que otorgan a gran variedad de aplicaciones.

Los fusibles se caracterizan por la máxima corriente que puede atravesarlos sin que se fundan. Esta corriente viene impresa sobre el cuerpo del fusible (figura 4.1). Comercialmente se consiguen valores desde 10 mA a 600 A. Como norma general, estos componentes de protección se deben colocar lo más cerca posible de la entrada de alimentación del circuito que desea protegerse, lejos de materiales inflamables y en una zona de fácil acceso. Es por ello que se comercializan portafusibles tanto para instalarse sobre circuitos impresos como para chasis (figura 4.2).



Figura 4.1. Fusible de cristal con una capacidad nominal de 40 A

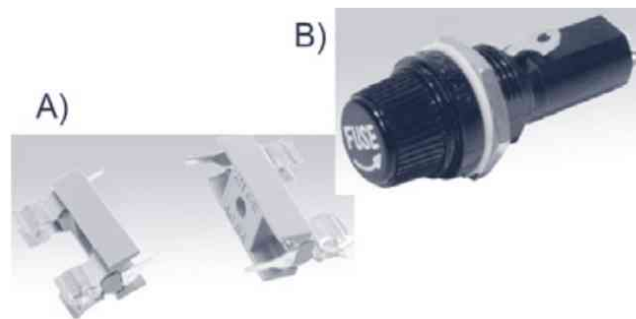
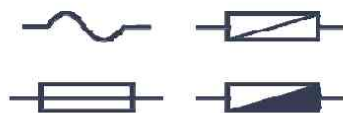


Figura 4.2. Tipos de portafusibles. A) Para circuito impreso. B) De chasis

Los símbolos más habituales que se emplean en los esquemas eléctricos o electrónicos para representar estos componentes se muestran a continuación:



4.1 ELECCIÓN DEL FUSIBLE

El primer paso para elegir el fusible que debe colocarse en el circuito que se trata de proteger es saber cuál es la máxima corriente que circula por el circuito. Una vez conocida se tomará un fusible de valor ligeramente superior, con el límite de referencia máximo del 15%. Por ejemplo, si en un determinado circuito la máxima corriente que va a circular es 85 mA, entonces, el fusible tendría que tener una capacidad nominal de $85 \times 1,15 = 97,8$ mA. Como comercialmente no existe este valor habría que seleccionar uno de la capacidad inmediatamente superior; en nuestro ejemplo, 100 mA.

Si no nos atenemos a esta sencilla regla pueden ocurrir dos cosas:

- Si la capacidad del fusible es menor o igual a la corriente nominal del circuito, aquél se quemará constantemente y de forma innecesaria.
- Si la capacidad del fusible es mucho mayor, podrá permitir el paso de corrientes elevadas que, en el peor de los casos, destruirán el propio circuito.

4.2 TIPOS DE FUSIBLES

Los fusibles se fabrican en diferentes tamaños, formas y capacidades; aunque lo único que cambia es la apariencia externa, pues internamente son relativamente parecidos.

4.2.1 Fusibles miniatura

Los fusibles miniatura, más conocidos como *fusibles de cristal*, son pequeños cilindros de vidrio con tapones metálicos en los extremos. En su interior poseen el hilo fusible según su capacidad de corte. Se emplean fundamentalmente en electrónica y son de dos tamaños: los cortos o de tipo europeo, de 5 x 20 mm y los largos, de 6,3 x 32 mm (figura 4.3).

En el campo de la electrónica se emplean hoy también fusibles de otras apariencias completamente distintas a los anteriores y que se suelen denominar *fusibles subminiatura*, como los que se muestran en la figura 4.4.



Figura 4.3. Fusibles de cristal



Figura 4.4. Distintos tipos de fusibles subminiatura

No sólo las aplicaciones electrónicas requieren el uso de estos componentes de protección; también se han de emplear en la protección de las instalaciones eléctricas de las viviendas y en todo tipo de máquinas y equipos eléctricos, donde se usan generalmente dos tipos de fusibles.

4.2.2 Fusibles tipo tapón

Está formado por un hilo fusible insertado en un receptáculo de porcelana dotado de una base metálica roscada en la que se aloja (figura 4.5). Se emplean en instalaciones que consumen hasta 30 A. A este grupo pertenecen los **fusibles de funcionamiento retardado**, que se emplean para controlar la corriente en los motores. Éstos permanecen inactivos cuando la sobrecarga tiene una corta duración, pero se queman de inmediato cuando la misma se produce por un cortocircuito.



Figura 4.5. Fusible tipo tapón de funcionamiento retardado

4.2.3 Fusibles tipo cartucho

Los fusibles de cartucho, o de tipo americano, están formados por un tubo de material aislante en el interior del cual se encuentra el conductor fusible. Son de dos tipos:

- De contacto por casquillo, con tapones metálicos en los extremos, que manejan corrientes de hasta 60 A (figura 4.6A).
- De contacto por cuchilla, que posee una cuchilla metálica en cada extremo del cartucho para hacer contacto con el hilo interior. Se utilizan en instalaciones industriales que manejan corrientes de entre 75 A y 600 A (figura 4.6B).

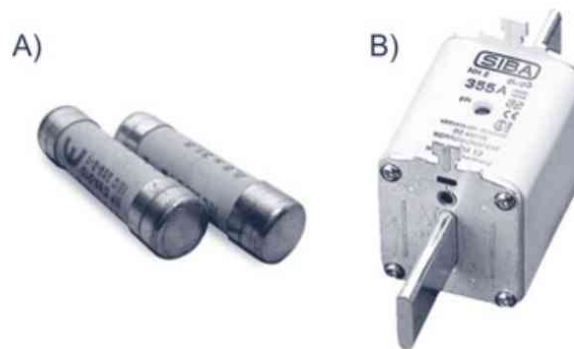


Figura 4.6. Fusibles de cartucho. A) De contacto por casquillo.
B) De contacto por cuchilla

4.3 ¿POR QUÉ SE QUEMAN?

Básicamente los fusibles se queman a consecuencia de una sobrecarga; es decir, cuando en un momento dado reciben una corriente por encima de su valor nominal. Ésta, por efecto Joule, calienta el hilo fusible y lo quema antes de que se dañen el resto de componentes del circuito; de ahí la importancia de que el conductor fusible tenga una temperatura de fusión inferior a la de aquéllos.

Las sobrecargas pueden producirse por:

- Tener demasiados aparatos conectados al circuito. Éstos demandan más corriente y el fusible se quema para proteger al resto de elementos.

- Por un cortocircuito, que a su vez puede ocasionarse por contactos entre cables desnudos o con objetos metálicos, humedad en los conductores o fallos en algún componente de un circuito.

Cuando se quema un fusible, por tanto, es necesario investigar cuál ha sido la causa del problema, ya que instalar uno nuevo sin conocer el origen podría resultar peligroso. Una vez encontrado el problema, habrá de instalarse un fusible idéntico en tamaño y capacidad al que se quemó. Nunca uno de mayor capacidad, como ya comentamos.

4.4 COMPROBACIÓN DE FUSIBLES

La forma más rápida y sencilla de comprobar si un fusible está o no fundido es con un polímetro digital en la función de óhmetro. De esta manera podemos medir si ofrece o no continuidad eléctrica; es decir, si la corriente puede o no circular sin interrupción alguna por el hilo fusible.

Para realizar la medida llevamos el selector a la escala más baja de resistencia y conectamos las puntas a los casquillos, terminales o cuchillas del fusible y verificamos el valor de la lectura. Si el fusible está en buen estado; es decir, que éste no ha sido el responsable de que el circuito deje de funcionar, el valor obtenido debe estar próximo a cero. Si no obtenemos una medida es porque el filamento fusible se ha quemado y el elemento está entonces inoperativo (figura 4.7).



Figura 4.7. Medidas de continuidad en un fusible. El fusible de la imagen de la izquierda se encuentra en perfecto estado, mientras que el de la derecha está fundido, pues no existe continuidad

Capítulo 5

RESISTENCIAS

Como ya conoce, todos los elementos conductores presentan una oposición al paso de la corriente eléctrica. Cuando se diseña y construye un circuito se necesita introducir entre algunos puntos del mismo valores conocidos de resistencia eléctrica. Con este fin se comercializan en el mercado los componentes electrónicos que se denominan **resistencias**.

Las resistencias se pueden clasificar fundamentalmente en dos grupos: **fijas** y **variables**, dependiendo de si su valor óhmico es fijo o puede modificarse de algún modo.

5.1 RESISTENCIAS FIJAS

Son resistores fijos aquéllos que presentan un valor único de resistencia entre sus terminales. Los símbolos que se utilizan en electrónica son:



5.1.1 Clasificación

Las resistencias fijas se clasifican, a su vez, en varias categorías dependiendo de:

- El material con el que se fabrican, que depende del uso específico que se da a cada una de ellas. Las resistencias de **potencia** (>2 W) se fabrican con aleaciones metálicas. El alambre resistivo se enrolla alrededor del cilindro de cerámica (figura 5.1). Las resistencias **pirolíticas**, las más usuales, se fabrican con carbón. Se depositan en forma de espiral pequeñas cantidades de este elemento sobre un cilindro de cerámica, al que se unen sus terminales mediante dos casquillos metálicos (figura 5.2).



Figura 5.1. Resistencia de potencia. El valor óhmico y la potencia se marcan directamente en el cuerpo de la misma

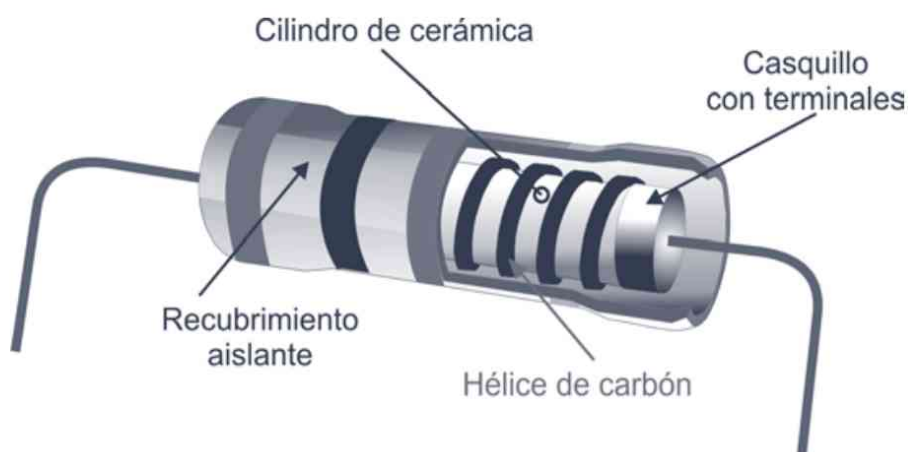


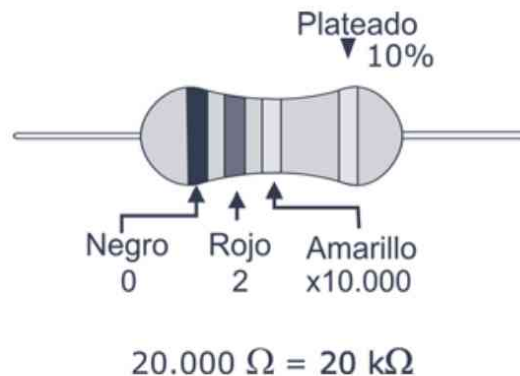
Figura 5.2. Resistencia pirolítica de lámina de carbón

- También pueden clasificarse dependiendo del método de instalación en los circuitos: por inserción o para montaje superficial.

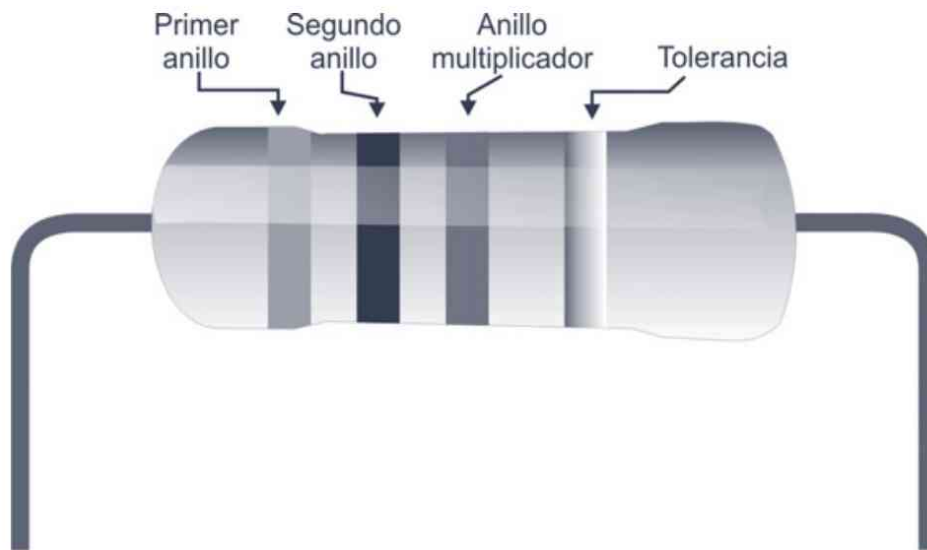
5.1.2 Características

Tres son las características básicas de toda resistencia: su valor óhmico, su tolerancia y la potencia que puede disipar. Veamos qué representa cada uno de ellos:

- **Valor nominal.** En las resistencia de potencia se serigrafian sus valores óhmicos y la potencia máxima que pueden disipar. En las pirolíticas, por otro lado, y debido a su pequeño tamaño, su valor se indica mediante cuatro o cinco anillos de colores que se leen de izquierda a derecha comenzando por el que está más próximo al extremo. A cada color se le asigna un número. En las resistencias de 4 anillos, que es la de uso más común, la primera banda representa la primera cifra, la segunda banda es la segunda cifra y la tercera es el multiplicador; es decir, el número de ceros que siguen a la segunda cifra. La cuarta banda, generalmente de color dorado o plateado, indica la tolerancia (figura 5.3, página siguiente). Observe el siguiente ejemplo para ver cómo se interpreta el código de colores:



Los **valores** de las resistencias se han **normalizado** sólo con ciertos valores, ya que sería técnicamente imposible construir todos. Existen dos series básicas de valores comerciales, la **E12** y la **E24**, con 12 y 24 valores, respectivamente (tabla 5.1).



Negro	0	0	X1	
Marrón	1	1	x10	±1%
Rojo	2	2	x100	±2%
Naranja	3	3	x1.000	
Amarillo	4	4	x10.000	
Verde	5	5	x100.000	
Azul	6	6	x1.000.000	
Violeta	7	7		
Gris	8	8		
Blanco	9	9		
Oro			x0,1	±5%
Plata			x0,01	±10%

Figura 5.3. Código de colores en las resistencias pirolíticas

E24	E12	E24	E12
10	10	33	33
11		36	
12	12	39	39
13		43	
15	15	47	47
16		51	
18	18	56	56
20		62	
22	22	68	68
24		75	
27	27	82	82
30		91	

Tabla 5.1. Valores comerciales de las resistencias

Las dos cifras de la serie E12 o de la serie E24 se multiplican por múltiplos o submúltiplos de 10 y éstos son los valores que se comercializan. Por ejemplo, si tomamos el valor 15 de la Tabla 5.1 y aplicamos los multiplicadores, se obtienen: 0,15 Ω ; 1,5 Ω ; 15 Ω ; 150 Ω ; 1,5 k Ω ; 15 k Ω ; 150 k Ω y 1,5 M Ω . Es habitual en la escritura de los valores decimales en las resistencias emplear el multiplicador en vez de el punto decimal (.) con el fin de eliminar posibles errores de interpretación y ahorrar espacio. Así, escribimos 4K7 en vez de 4,7 k Ω para referirnos a un resistor de 4.700 Ω .

- **Potencia.** La potencia es el trabajo que desarrolla la corriente eléctrica al atravesar la resistencia en la unidad de tiempo. Se pone de manifiesto por la emisión de calor y se expresa en vatios. En las resistencias de potencia su valor viene expresado en el propio cuerpo de la misma, mientras que en las pirolíticas su valor está en concordancia con su tamaño físico. Así, a mayor tamaño, más potencia pueden disipar (figura 5.4). Para elegir correctamente qué resistencia debe colocarse en un punto de un circuito, debe seleccionarse la inmediatamente superior al cálculo teórico de la potencia que debe disipar ($P = I^2 \cdot R$), para evitar que el sobrecalentamiento queme el componente.

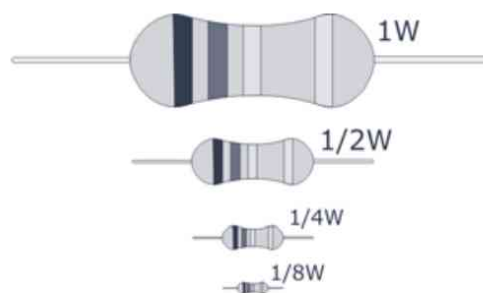


Figura 5.4. Tamaños relativos de las resistencias pirolíticas en función de su potencia

- **Tolerancia.** Este parámetro nos indica los márgenes de valores que el fabricante nos garantiza para la resistencia en cuestión. Se indica como un porcentaje de su valor nominal. Por ejemplo, una resistencia de 100 Ω de valor nominal con una tolerancia del 2% tendrá un valor real comprendido entre 98 Ω y 102 Ω . La tolerancia se indica como un anillo de color en el cuerpo de la resistencia (figura 5.3).

5.2 RESISTENCIAS VARIABLES

Se denominan resistencias variables a aquéllas que pueden modificar su valor resistivo mediante la acción de algún agente externo: por medios mecánicos, **potenciómetros**; la luz, **fotorresistencias**; la temperatura, **termistores**; el voltaje, **varistores**, etc.

A continuación veremos con más detalle los tipos más habituales de resistencias variables presentes en los circuitos electrónicos.

5.2.1 Potenciómetros

Los **potenciómetros** son resistencias que modifican su valor resistivo mediante la acción mecánica de un brazo o cursor sobre un elemento resistivo. Poseen tres terminales. Los dos de los extremos son fijos y el tercero se encuentra unido a un brazo móvil o cursor que puede girar a lo largo del material resistivo (figura 5.5).

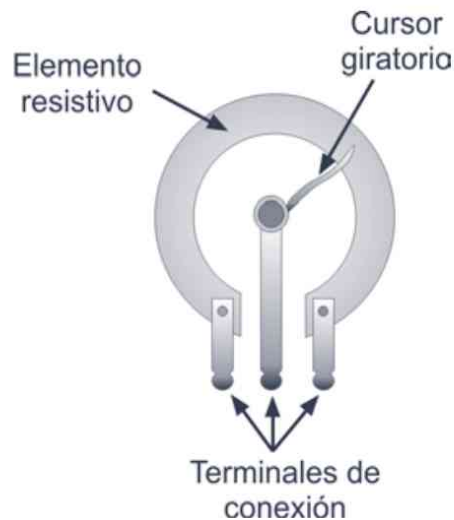


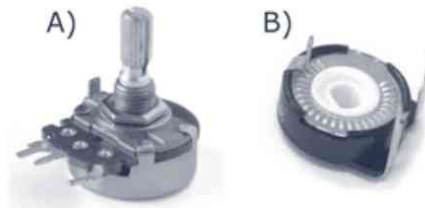
Figura 5.5. Estructura de un potenciómetro

Los símbolos más usados en los esquemas eléctricos para referirnos a un potenciómetro son:



Los potenciómetros se clasifican de varias formas:

- De acuerdo a la forma de instalación, pueden ser para **chasis** o para **circuito impreso** (figura 5.6).



*Figura 5.6. Tipos de potenciómetros. Potenciómetro para chasis (A).
Para circuito impreso (B)*

- En función del material con el que se fabrican, pueden ser de **carbón** o de **hilo metálico**.
- Según la forma en la que varía su resistencia, son **lineales**, cuando la resistencia varía proporcionalmente al ángulo de giro y **logarítmicas**, cuando la variación no es proporcional.

5.2.2 Fotorresistencias

Las **fotorresistencias**, **resistencias variables con la luz** o **LDR**, son unos componentes electrónicos cuyo valor resistivo varía de acuerdo con la intensidad de la luz a la que están expuestos (figura 5.7). A medida que aumenta el nivel de luz que reciben, disminuyen su resistencia.



Figura 5.7. Fotorresistencia o LDR

Los símbolos más usuales de una LDR en los esquemas eléctricos son los siguientes:



5.2.3 Termistores

Las **resistencias variables** con la **temperatura**, también conocidas como **termistores**, son componentes que tienen la particularidad de modificar su resistencia eléctrica al variar la temperatura a la que trabajan. Existen dos tipos de termistores: las **NTC** y las **PTC**.

- **NTC**: un termistor NTC es una resistencia variable en la que la resistencia eléctrica disminuye cuando aumenta la temperatura (figura 5.8). Son resistencias de coeficiente negativo de temperatura, de ahí su nombre en inglés.

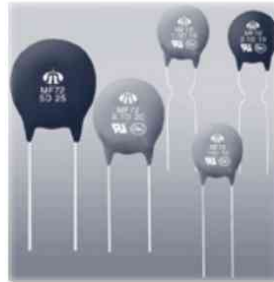


Figura 5.8. Termistores NTC

A continuación puede ver el símbolo electrónico para una NTC:

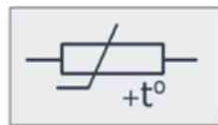


- **PTC**: un termistor PTC es una resistencia variable en la que la resistencia eléctrica aumenta cuando aumenta la temperatura (figura 5.9). Son resistencias de coeficiente positivo de temperatura y tienen muchísimas aplicaciones técnicas, como limitadores de corriente, sensores de temperatura, protectores contra calentamientos de equipos electrónicos, etc.



Figura 5.9. Termistor PTC

A continuación puede ver el símbolo que más se suele utilizar en los esquemas eléctricos para una PTC.



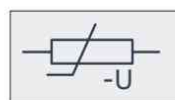
5.2.4 Varistores

Las **resistencias variables con la tensión, VDR** o **varistores**, son resistencias no lineales cuya resistividad disminuye al aumentar la tensión. Aprovechan esta característica para proteger elementos del circuito, a los que se unen en paralelo, contra picos de tensión. En la figura 5.10 puede observar un grupo de varistores.



Figura 5.10. Varistores

El símbolo que se emplea en los esquemas eléctricos para las VDR es el siguiente:



Capítulo 6

CONDENSADORES

Los condensadores son componentes empleados por su capacidad para almacenar carga eléctrica y, por tanto, energía. Están formados por dos placas conductoras metálicas, llamadas **armaduras**, separadas por un material aislante, denominado **dieléctrico** (figura 6.1), que puede ser papel, cerámica, mica, cuarzo, etc.

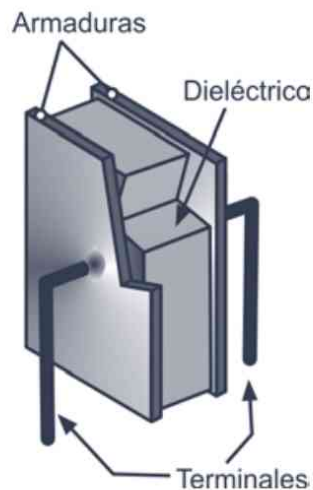


Figura 6.1. Estructura interna de un condensador

Se caracterizan por la cantidad de carga que pueden almacenar al aplicar una tensión entre sus terminales, magnitud que recibe el nombre de **capacidad (C)**. La capacidad de un condensador depende del tamaño de

las armaduras, de la separación entre ellas y del tipo de dieléctrico empleado en su fabricación. La unidad de capacidad en el Sistema Internacional es el **faradio (F)**. Como 1 F es una unidad muy grande, en la práctica se emplean sus submúltiplos:

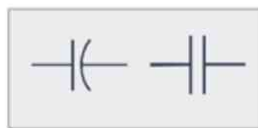
- microfaradio (μF), 10^{-6} F.
- nanofaradio (nF), 10^{-9} F.
- picofaradio (pF), 10^{-12} F.

6.1 CLASIFICACIÓN

Los condensadores, al igual que las resistencias, pueden clasificarse fundamentalmente en **fijos** y **variables**, dependiendo de si su capacidad es fija o puede modificarse. Además, en el caso de los condensadores, pueden ser **polarizados** o no **polarizados**, dependiendo de si deben conectarse en una posición específica en el circuito.

6.1.1 Condensadores fijos

Son aquéllos que presentan un valor constante de su capacidad, sin posibilidad de ser modificada por ningún agente exterior. A continuación puede ver cuáles son los símbolos más empleados en los esquemas eléctricos:



Es interesante que conozca que existen varias categorías de condensadores según el material dieléctrico empleado en su construcción:

1. Condensadores cerámicos

Están formados por un disco cerámico que, además de actuar como dieléctrico, sirve de soporte. Las dos caras del disco están recubiertas de plata, sobre las que se sueldan los dos terminales. Toda esta estructura se recubre con un material aislante (figura 6.2).

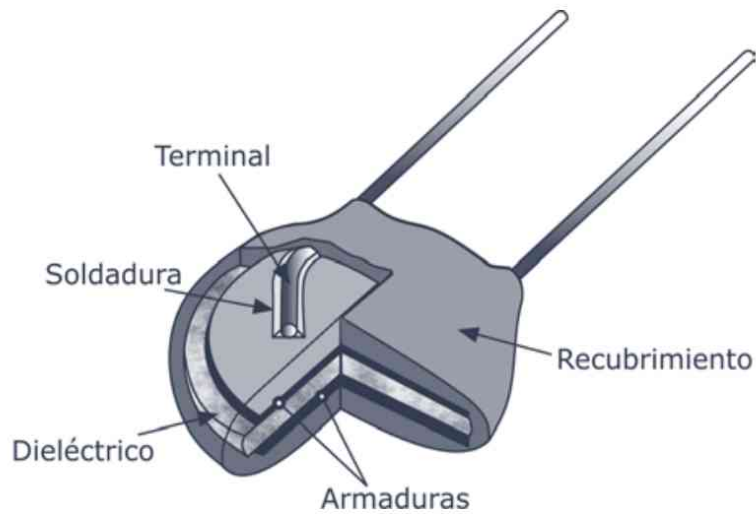


Figura 6.2. Estructura interna de un condensador cerámico

2. Condensadores de película plástica

Son los condensadores más utilizados en los circuitos impresos y se caracterizan por sus vivos colores, generalmente rojo, amarillo y azul (figura 6.3).



Figura 6.3. Aspecto externo de un condensador de película plástica

Se denominan de película plástica por tener un dieléctrico formado por dos cintas finas de material plástico: policarbonato, poliéster, poliestireno, etc., separadas por láminas de aluminio que constituyen las armaduras. Tras enrollarse sobre sí mismas, se unen los terminales a cada una de las láminas metalizadas (figura 6.4).

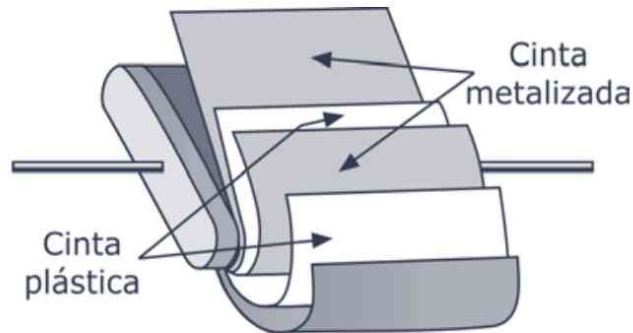


Figura 6.4. Estructura interna de un condensador de película plástica

3. Condensadores de papel

Su dieléctrico es de papel parafinado y sus armaduras de aluminio. Internamente su estructura es como la mostrada en la figura 6.4, pero donde las cintas plásticas se sustituyen por el papel parafinado que constituye el dieléctrico. Son de reducido volumen y gran estabilidad.

4. Condensadores de mica

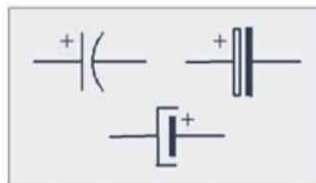
Reciben este nombre porque su dieléctrico es de mica. Son usados donde se necesitan grandes voltajes.

Todos los condensadores descritos anteriormente no son polarizados; es decir, los dos terminales de las armaduras son equivalentes. Existe, sin embargo, un tipo de condensador fijo polarizado: el **condensador electrolítico**.

5. Condensadores electrolíticos

Se denominan así a aquellos condensadores que deben conectarse en una posición definida en el circuito. El terminal identificado con el signo (+) debe conectarse a un nivel de potencial mayor que el terminal marcado con el signo (-).

La simbología utilizada en los esquemas electrónicos para estos condensadores es la siguiente:



Pueden ser de dos tipos:

- **Aluminio:** están formados por una capa de aluminio conectada al terminal positivo, recubierta de una capa de óxido de aluminio que actúa de dieléctrico. Sobre ésta se coloca una capa de papel humedecido en un electrolito y finalmente otra lámina de aluminio que se conecta al terminal negativo. Estas capas se enrollan y se introducen en un tubo de aluminio (figura 6.5).

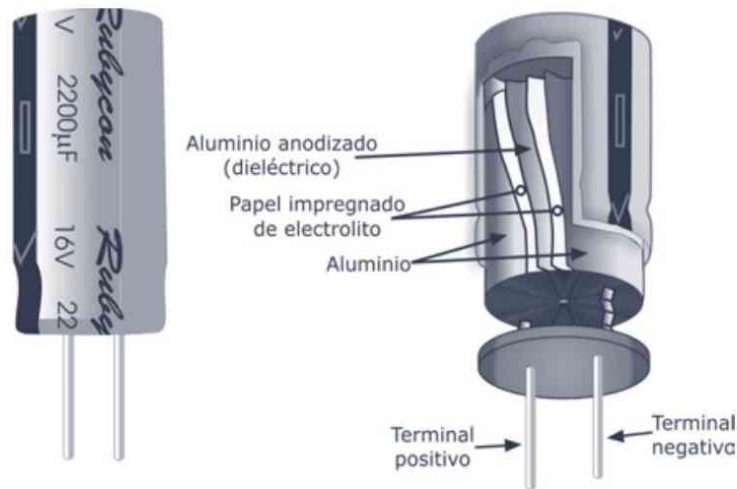


Figura 6.5. Aspecto exterior y estructura interna de un condensador electrolítico de aluminio

Se utilizan frecuentemente como filtros. Sobre su cuerpo aparece su capacidad, el voltaje máximo de trabajo y su polaridad, marcada con un signo (-) en una franja sobre el terminal negativo.

- **Tántalo:** su estructura interna es parecida a la de los de aluminio, con la diferencia de que usan tántalo en vez de aluminio. Se fabrican fundamentalmente en forma de gota, por lo que poseen un tamaño más reducido (figura 6.6).



Figura 6.6. Condensador electrolítico de tántalo

6.1.2 Condensadores variables

Son condensadores que pueden modificar su capacidad mediante la acción de medios mecánicos. Si se diseñan para variar constantemente su capacidad se denominan **variables** (figura 6.7A) y si se disponen en el circuito para ajustar su capacidad a un valor determinado sin que vaya a modificarse a posteriori, **ajustables** o **trimmers** (figura 6.7B).

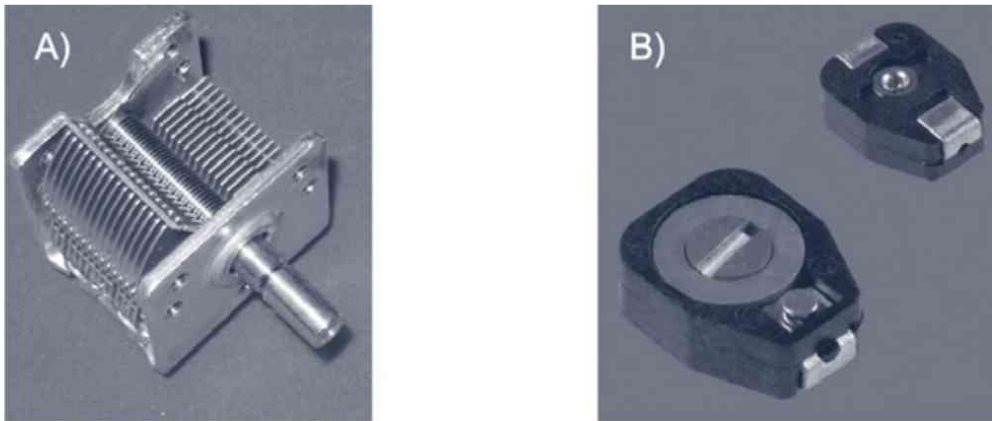
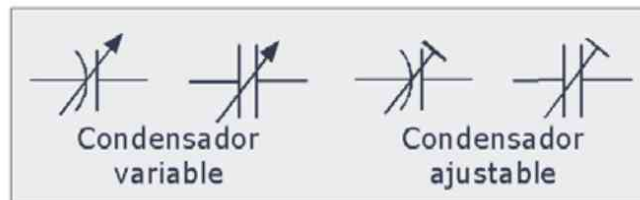


Figura 6.7. Condensador variable de aire (A). Trimmer para montaje superficial (B)

Sus símbolos en los esquemas electrónicos son:



6.2 CARACTERÍSTICAS DE UN CAPACITOR

Tres son las características básicas que deben tenerse en consideración a la hora de seleccionar un determinado condensador: su capacidad, su tolerancia y el voltaje de trabajo. Veamos cada una de ellas:

- **Capacidad:** la capacidad de un condensador es la cantidad de carga que puede almacenar por unidad de voltaje aplicado entre sus terminales. Es un valor que depende de la superficie de las

armaduras, de la distancia entre ellas y del tipo de dieléctrico empleado. Su unidad es el faradio, como ya conoce.

- **Tolerancia:** indica, como en el caso de las resistencias, el margen de error que garantiza el fabricante.
- **Voltaje de trabajo:** es la tensión máxima a la que puede trabajar un condensador sin que se perfora el dieléctrico.

6.3 IDENTIFICACIÓN DE UN CONDENSADOR

Hasta no hace demasiado tiempo, la capacidad de los condensadores se indicaba usando un código de colores equivalente al de las resistencias. Hoy en día el valor de su capacidad se indica bien directamente sobre el cuerpo del capacitor o mediante una combinación de letras y números. La identificación de la capacidad de estos últimos sigue las normas industriales japonesas (JIS).

A continuación tiene un ejemplo de cómo se utiliza este código y qué significan los caracteres alfanuméricos (figura 6.8).

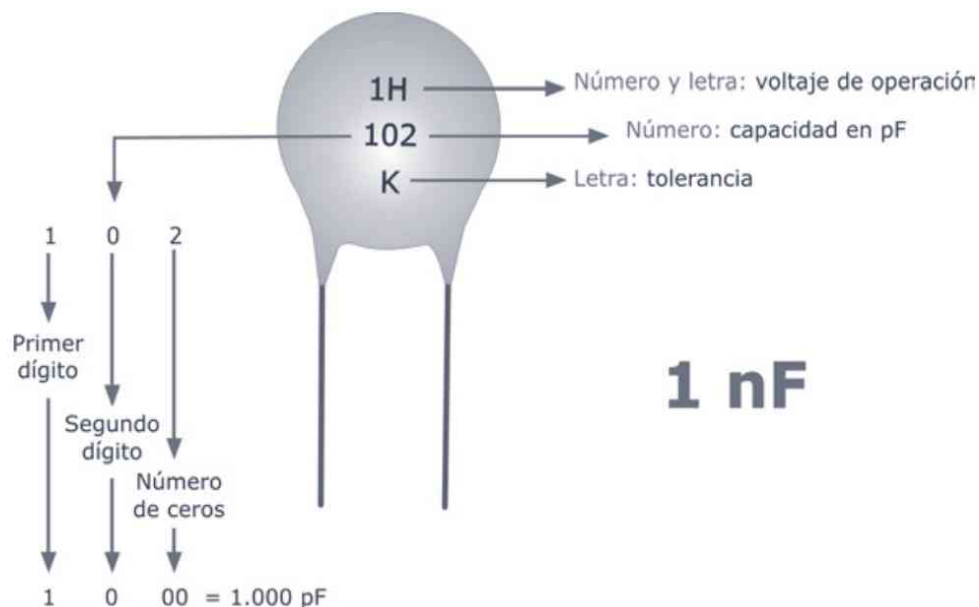


Figura 6.8. Código JIS de identificación de un condensador

El primer número y la letra hacen referencia al voltaje máximo de operación; los tres números siguientes indican la capacidad del condensador

en pF: los dos primeros números se corresponden con sendas cifras de la capacidad y el tercero indica la cantidad de ceros que hemos de añadir a la derecha. En la tabla 6.1 se recoge la codificación para el voltaje máximo de trabajo.

VOLTAJE MÁXIMO DE TRABAJO	
Código	Equivalencia
1H	50 V
2A	100 V
2T	150 V
2D	200 V
2E	250 V
2G	400 V
2J	630 V

Tabla 6.1. Codificación del voltaje máximo de trabajo

Como en las resistencias, los fabricantes nos indican el error máximo que cabe esperar en la capacidad de un condensador mediante su tolerancia, entre el 1% y el 20%. En la tabla 6.2 se recoge la codificación de la tolerancia de los condensadores según las normas JIS.

TOLERANCIA	
Letra	Equivalencia
F	1%
G	2%
H	3%
J	5%
K	10%
M	20%

Tabla 6.2. Tolerancias

Comercialmente no es posible conseguir todas las capacidades durante la fabricación de un condensador. Por ello se ha normalizado una serie de valores, las series: E-3, E-6 y E-12. En la tabla 6.3 puede ver el valor normalizado de los condensadores de la E-12, la serie más común.

SERIE E-12	
1	3,3
1,2	3,9
1,5	4,7
1,8	5,6
2,2	6,8
2,7	8,2

Tabla 6.3. Valores normalizados de la serie E-12

6.4 FUNCIONAMIENTO DE UN CAPACITOR

6.4.1 Corriente continua

Mientras un condensador no está conectado a ninguna fuente de alimentación, no posee ninguna carga almacenada en el mismo. Al aplicar una tensión continua entre las armaduras, no existirá paso de corriente a través del mismo, debido a la presencia del dieléctrico; sin embargo, se va produciendo una acumulación de cargas eléctricas en las armaduras. Así, en la armadura unida al terminal negativo de la batería habrá una acumulación de electrones y en la armadura unida al borne positivo se producirá una disminución de ellos. Lo mismo ocurrirá en las dos caras del dieléctrico, pues se encuentra en contacto con las armaduras (figura 6.9).

El proceso de **carga** continúa hasta que el voltaje del condensador iguala al de la fuente de alimentación, ya que en ese momento la tensión aplicada no es capaz de movilizar más electrones libres por los conductores. Durante este proceso la corriente está circulando por todo el circuito. El tiempo, en segundos, durante el cual ocurre esto viene dado por la expresión:

$$t = 5 \cdot R \cdot C$$

Donde R es el valor de la resistencia, en ohmios, a través de la que se carga o descarga el condensador de capacidad C , en faradios.

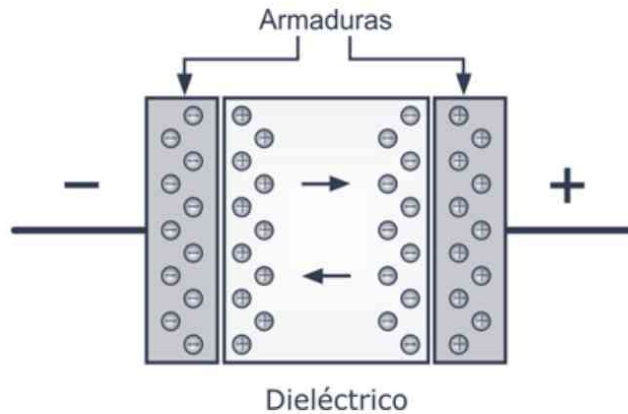


Figura 6.9. Distribución de cargas durante el proceso de carga de un condensador

Si se suspende el suministro de corriente continua, la carga acumulada se mantiene. Para **descargar** un condensador basta con cortocircuitar sus terminales. El tiempo de descarga es tan rápido como el de carga.

6.4.2 Corriente alterna

Cuando se aplica corriente alterna a un condensador, se le somete a una corriente continua durante medio ciclo y a la misma corriente, pero de sentido contrario, durante el medio ciclo siguiente. Esto hace que se cargue y descargue periódicamente (figura 6.10).

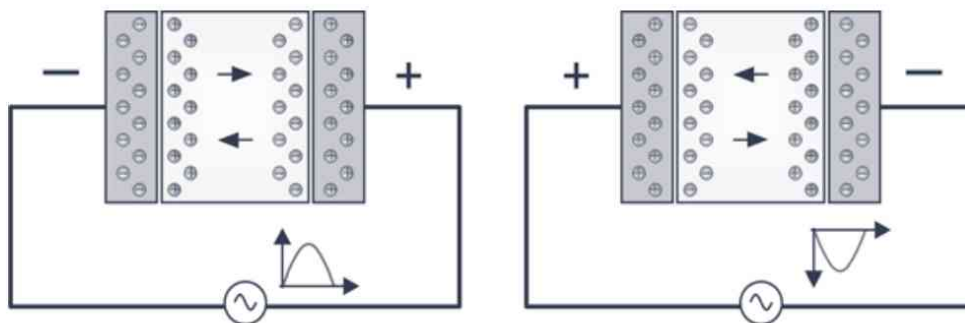


Figura 6.10. Funcionamiento de un condensador en corriente alterna

Primero el condensador se carga con una determinada polaridad. Al cambiar el ciclo de corriente alterna, el condensador se descarga para

volver a cargarse con la polaridad opuesta. De tal modo que cuando un condensador se conecta a una corriente alterna, una corriente del mismo tipo fluye a través del circuito. Por tanto, puede decirse que:

Un condensador impide el paso de corriente continua (CC) y permite la circulación de corriente alterna (CA).

El dieléctrico debe soportar los mismos cambios de polaridad que la corriente. Si la frecuencia aumenta, el dieléctrico puede no seguir los cambios al mismo ritmo. Por ello, a medida que aumenta la frecuencia de la corriente, disminuye su capacidad, razón por la que existen condensadores específicos para altas frecuencias.

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

Capítulo 7



<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

BOBINAS Y TRANSFORMADORES

Las bobinas o inductores, junto con las resistencias y condensadores, forman el grupo más importante de componentes pasivos en electrónica. Están formadas por varias vueltas de alambre esmaltado sobre un núcleo. Pueden almacenar temporalmente energía eléctrica en forma de corriente y oponerse a los cambios de la misma, fenómeno que se denomina **inductancia**, del que hablaremos más adelante. Como esta propiedad sólo se presenta en corrientes alternas, no posee efecto alguno cuando por ellas circula una corriente continua.

Las bobinas pueden asociarse entre sí en serie o paralelo para obtener distintos valores de inductancia. Se utilizan en los circuitos asociadas con resistencias y condensadores.

7.1 LA INDUCTANCIA

Cuando se aplica una corriente alterna a una bobina, se genera en sus alrededores un campo magnético que varía en el tiempo en función de los ritmos de cambio de la corriente. El flujo magnético generado por una bobina depende de sus características constructivas, del material que forma su núcleo y de la intensidad de corriente que circula por ella.

Como vimos en el capítulo sobre magnetismo en el libro *Electricidad básica*, una corriente alterna provoca un campo magnético variable en el

tiempo y éste, a su vez, induce una fuerza electromotriz en la bobina. Esta corriente se opone a los cambios de dirección de la misma. Así pues, se denomina inductancia, L , a la relación que existe entre el flujo magnético provocado por la corriente variable y la intensidad de la misma, I :

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

Esta definición es de poca utilidad porque es difícil determinar el flujo abrazado por un conductor. La aplicación de la ley de inducción de Faraday a una bobina de N espiras proporciona una expresión mucho más fácil de interpretar:

$$V = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

De acuerdo con el Sistema Internacional de Medidas, si el flujo se expresa en weber y la corriente en amperios, la inductancia vendrá en **henrios** (H), en honor al físico norteamericano Joseph Henry. Un henrio es, por tanto, la inductancia que posee una bobina que es capaz de inducir una fem de 1 V cuando la corriente que la atraviesa cambia con una velocidad de un amperio por segundo. Un henrio es una unidad muy grande, por lo que en la práctica se emplean bobinas con inductancias del orden de mH o μ H.

La inductancia de una bobina depende, como dijimos, de sus características constructivas (figura 7.1):

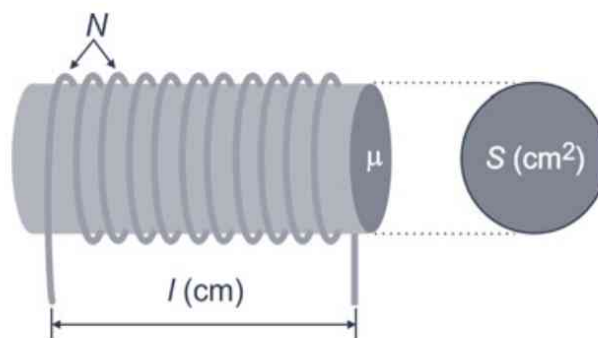


Figura 7.1. Parámetros físicos constructivos de una bobina

- **El diámetro:** cuando se aumenta el diámetro de una bobina, la inductancia se incrementa proporcionalmente a la sección, S , cubierta por el núcleo.

- **El número de vueltas:** la inductancia aumenta proporcionalmente con el cuadrado del número de espiras, N^2 . Así, si duplicamos el número de vueltas sin modificar el resto de parámetros, la inductancia aumenta cuatro veces.
- **La longitud:** si aumentamos la longitud de una bobina sin modificar el resto de parámetros, el resultado es que las espiras están más separadas y, en consecuencia, se produce una menor concentración del campo magnético, con lo que la inductancia disminuye. Por tanto ésta es inversamente proporcional a la longitud de la espira, l .
- **La permeabilidad magnética del núcleo:** la inductancia es directamente proporcional a la facilidad con la que el núcleo de la bobina puede ser atravesado por el campo magnético. A medida que aumente la permeabilidad, μ , también lo hará la inductancia en la misma proporción.

Como resumen, la inductancia teórica de una bobina puede aproximarse con la expresión:

$$L(\mu H) = 1,257 \cdot \mu \cdot \frac{N^2 \cdot S}{100 \cdot l}$$

Donde:

- N es el número de espiras.
- S es la sección, en cm^2 , cubierta por el núcleo.
- l es la longitud, en cm , de la espira.
- μ es la permeabilidad del núcleo respecto de la del aire.

Así, la inductancia teórica de una bobina con núcleo de ferrita ($\mu = 10$) de 90 espiras, una longitud de 10 mm y un diámetro de 8 mm, sería:

$$L = 1,257 \cdot 10 \cdot \frac{90^2 \cdot \pi \cdot 0,4^2}{100 \cdot 1} \approx 510 \mu H$$

7.2 REACTANCIA INDUCTIVA

Una bobina puede considerarse como un cortocircuito para una corriente continua y como una resistencia para la corriente alterna. Esta oposición a la corriente se llama reactancia inductiva, X_L , y se mide en ohmios. Su valor se halla mediante la siguiente expresión:

$$X_L = 2\pi f \cdot L$$

Donde f es la frecuencia de la corriente, en Hz y L la inductancia de la bobina, en H.

Evidentemente, este comportamiento es ideal, ya que supone que la bobina no posee resistencia alguna; Como no es el caso, se considera en la práctica la resistencia del alambre como una resistencia en serie con la bobina. Surge así el concepto de **impedancia**. La impedancia, término acuñado por Oliver Heaviside en 1886 es una magnitud que establece la relación entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, la tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico. La parte real de la impedancia es la resistencia y su parte imaginaria es la reactancia. El concepto de impedancia generaliza, por tanto, la ley de Ohm en el estudio de circuitos de corriente alterna.

7.3 CLASIFICACIÓN DE LAS BOBINAS

Las bobinas, como resistencias y condensadores, pueden clasificarse en dos grupos: fijas y variables, dependiendo de cómo sea su inductancia. Tanto unas como otras pueden subdividirse a su vez en otras categorías, en función de varios factores; entre otros:

- **Material del núcleo.** Los principales núcleos que se emplean para las bobinas son los de aire, hierro y ferrita.
 1. *Bobinas con núcleo de aire:* son aquéllas que no tienen ningún núcleo en su interior (figura 7.2). Poseen una baja inductancia y se emplean en circuitos donde se manejan señales de alta frecuencia, como radio, televisión, etc.



Figura 7.2. Bobinas rectas con núcleo de aire

2. *Bobinas con núcleo de hierro:* se emplean cuando se desea un valor alto de inductancia, pues la permeabilidad relativa del hierro es bastante superior a la del aire. Los núcleos están formados por delgadas láminas en forma de E o de I.
3. *Bobinas con núcleo de ferrita:* son las más empleadas en electrónica, ya que se combinan una elevada inductancia y un tamaño reducido (figura 7.3). Se emplean en circuitos de altas frecuencias.

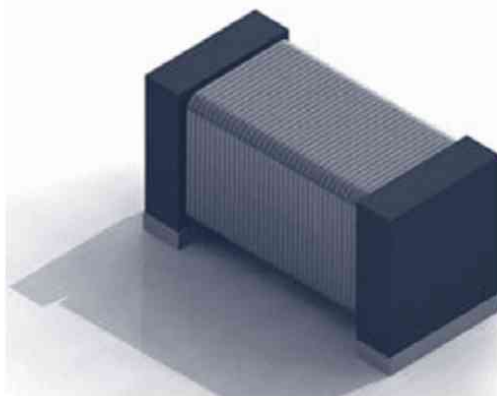


Figura 7.3. Bobina recta con núcleo de ferrita

- **Forma del núcleo.** Según la geometría que posea el material que conforma el núcleo, las bobinas pueden ser rectas (figuras 7.2 y 7.3) o toroidales (figura 7.4).



Figura 7.4. Bobina toroidal para montaje por inserción

- **Tipo de montaje.** Las bobinas pueden ser, en función de cómo se instalan en los circuitos electrónicos, de montaje por inserción, a través de taladros sobre el circuito impreso, (figura 7.4) o de montaje superficial, SMD (figura 7.5).

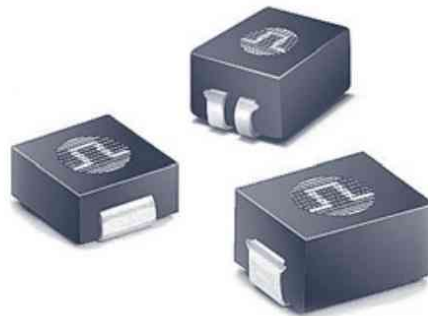


Figura 7.5. Bobinas para montaje superficial

7.4 IDENTIFICACIÓN

Las bobinas generalmente no poseen ningún tipo de identificación sobre su valor. Si se desea conocerlo ha de usarse un instrumento conocido como inductómetro o por medio de un polímetro que posea dicha función. Comercialmente se distribuyen bobinas encapsuladas que se identifican con un código de colores análogo al de las resistencias (figura 7.6), o con un código numérico como el de los condensadores. Su valor viene expresado en μH . De este modo, si tenemos una bobina que se identifica por medio del código numérico 101 sobre su cuerpo, tendrá una inductancia de $100 \mu\text{H}$. Ya sabemos que el primer y segundo dígitos se corresponden con sendas cifras y el tercero con el número de ceros que sigue a éstas.



Figura 7.6. Inductores axiales encapsulados

7.5 SIMBOLOGÍA DE LAS BOBINAS

Los símbolos con los que las bobinas se identifican en los esquemas eléctricos recogen sus características constructivas y su clasificación (figura 7.7).

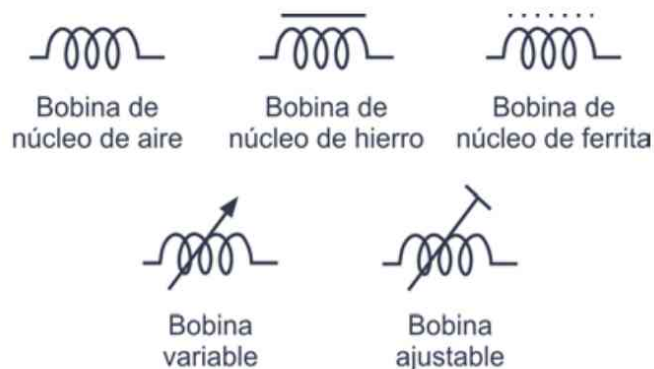


Figura 7.7. Símbolos de las bobinas más usuales

7.6 INDUCTANCIA MUTUA

Al igual que una corriente al circular por una bobina genera un campo magnético alrededor de la misma, si se introduce una bobina en un campo magnético variable, se inducirá una tensión en los extremos de la misma. Estos dos fenómenos pueden combinarse sometiendo a una bobina al campo magnético generado por otra. Si observamos la figura 7.8, la bobina L1 está conectada a una fuente de corriente alterna. La bobina L2 no está conectada eléctricamente ni a la fuente ni a la bobina L1; sin embargo, sus espiras están unidas a través del campo magnético generado por L1. Así pues, cualquier cambio en la corriente que circule por L1, inducirá un voltaje en L2. Como la corriente en L1 es alterna, el voltaje en L2 también

será alterno. La principal aplicación de la inductancia mutua es el **transformador**.

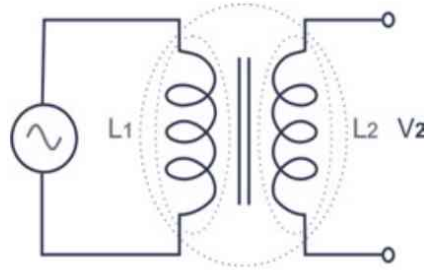


Figura 7.8. Inductancia mutua

7.7 TRANSFORMADORES

El transformador es un componente electromagnético formado por dos o más bobinas de cobre enrolladas alrededor de un núcleo. El devanado que se conecta a la entrada del transformador se llama **primario** y el que proporciona la corriente de salida, **secundario**.

7.8 FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR

Un transformador funciona por inducción electromagnética. Cuando circula una corriente alterna por el primario se produce un campo magnético variable en el tiempo que induce en las espiras del secundario una tensión alterna (figura 7.9).

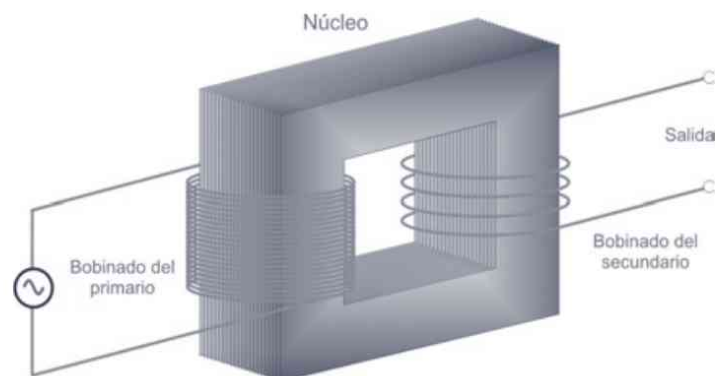


Figura 7.9. Funcionamiento de un transformador. El campo magnético variable del primario induce en el devanado secundario una tensión y corriente alternas cuyas magnitudes dependen de la relación de espiras en ambos bobinados

Los transformadores se utilizan para aumentar o disminuir tensión y corriente en los sistemas electrónicos.

La simbología de los transformadores depende del tipo de núcleo y de cómo se unen las bobinas, así como de si los transformadores son fijos o variables. Los símbolos más habituales en los esquemas eléctricos se recogen en la figura 7.10.

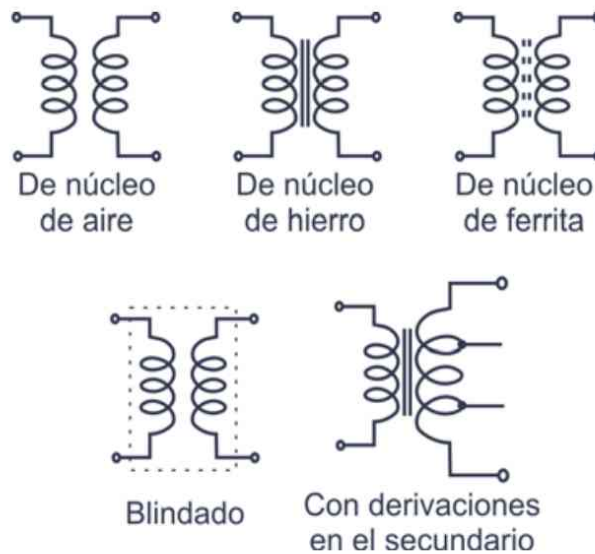


Figura 7.10. Símbolos de los transformadores más empleados

7.9 CLASIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES

Los transformadores pueden clasificarse atendiendo a distintos criterios en función de sus aplicaciones y frecuencia de trabajo:

1. Transformadores de potencia

Son los más habituales y se diseñan para ser conectados a la red eléctrica y adaptar la señal a las necesidades del circuito en el que se vayan a utilizar. Si se necesitan varias corrientes en el circuito el transformador puede tener varios secundarios (figura 7.11). En función de la tensión inducida en el secundario, se clasifican en transformadores **elevadores** y **reductores**. Si en el secundario el número de espiras del bobinado es mayor que en el primario, el voltaje se eleva; en caso contrario, se reduce.



Figura 7.11. Transformador de potencia reductor

2. Transformadores de corriente

Se utilizan para convertir una corriente elevada en una más pequeña, para poder medirla sin dificultad o para diseñar circuitos de protección de sobrecorriente. Su núcleo es de aire y su forma generalmente circular (figura 7.12).



Figura 7.12. Transformador de corriente

3. Transformadores de radiofrecuencia

Son una clase de transformadores que funcionan a una frecuencia muy superior a la de la gama de audio, aunque realizan esencialmente las mismas funciones que los transformadores de frecuencia de audio, si bien trabajan con potencias bastante menores.

4. Transformadores de pulsos

Son un tipo especial de transformador que presenta una respuesta muy rápida (baja autoinducción) y que se emplea para trabajos en régimen de pulsos.

7.10 ESTRUCTURA BÁSICA

Los transformadores de potencia, los más empleados, están formados por un **núcleo** y las **bobinas** del **primario** y **secundario**. El núcleo se fabrica con láminas de hierro-silicio o con algún compuesto de ferrita y las bobinas con alambre de cobre esmaltado según los diámetros recogidos en el sistema AWG (American Wire Gauge). Además encontramos la base, donde se embobinan los devanados, conocida como **formaleta**, y la **carcasa**, que compacta el núcleo (figura 7.13).



Figura 7.13. Partes de un transformador

7.11 IDENTIFICACIÓN

Los transformadores de potencia llevan especificada su tensión en el primario y secundario, así como la potencia o corriente del secundario (figura 7.14).

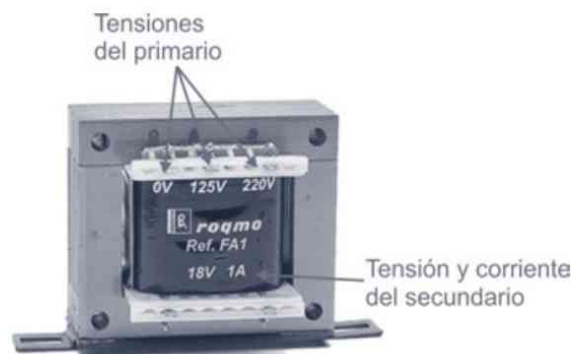


Figura 7.14. Identificación de un transformador de entrada. Se muestra un transformador de potencia con una salida de 18 V y 1 A

7.12 RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

La relación de transformación de un transformador, rt , es el cociente entre las tensiones del primario y del secundario y dependerá del número de vueltas de cada bobina o devanado. Por tanto, podemos escribir dicha relación como función de las tensiones o del número de espiras según las siguientes ecuaciones:

$$rt = \frac{V_p}{V_s}; \quad rt = \frac{N_p}{N_s}$$

Donde V_p es el voltaje en el primario, V_s el voltaje en el secundario, N_p el número de espiras del primario y N_s el número de espiras del secundario.

7.13 RELACIÓN DE POTENCIA

Los transformadores, idealmente, modifican la tensión e intensidad de corriente de una señal alterna manteniendo constante la potencia. Puesto que $P = V \cdot I$, entonces,

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

Si se despeja V_p / V_s , resulta:

$$rt = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

7.14 LEYES BÁSICAS

De las relaciones anteriores se derivan las tres leyes fundamentales de los transformadores:

1. Los voltajes son directamente proporcionales al número de espiras.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

2. Los voltajes son inversamente proporcionales a las intensidades de corriente.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

3. Las intensidades de corriente son inversamente proporcionales al número de espiras.

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

7.15 PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES

Se ha dicho que en un transformador ideal no se producen pérdidas de potencia; sin embargo, en realidad, sí ocurren, debido a diferentes factores, tales como la dispersión del flujo magnético en el núcleo o las corrientes parásitas de Foucault.

Capítulo 8

DIODOS

Antes de proceder a la descripción de los elementos semiconductores, como el diodo o el transistor, es necesario comprender la estructura de los materiales con los que se fabrican. Los materiales pueden clasificarse en aislantes, conductores y **semiconductores**. Estos últimos pueden comportarse como aislantes o conductores en función de los estímulos externos que se les apliquen: luz, calor, tensión eléctrica, etc.

Todos los materiales se caracterizan por su estructura atómica. Desde el punto de vista eléctrico sólo nos interesan los **electrones de valencia** de los átomos que forman la estructura del material. Estos electrones son los que se encuentran en la capa más externa, la capa de valencia y son los que determinan la conductividad eléctrica del material.

Los elementos semiconductores, como el **silicio** (Si) y el **germanio** (Ge), se caracterizan por tener cuatro electrones de valencia (figura 8.1). Éstos crean enlaces covalentes (comparten sus electrones) con los electrones de valencia de otros átomos vecinos para llegar a tener ocho partículas en su última capa y conseguir de este modo un estado de equilibrio y generar una estructura tridimensional que llamamos **crystal** (figura 8.2).

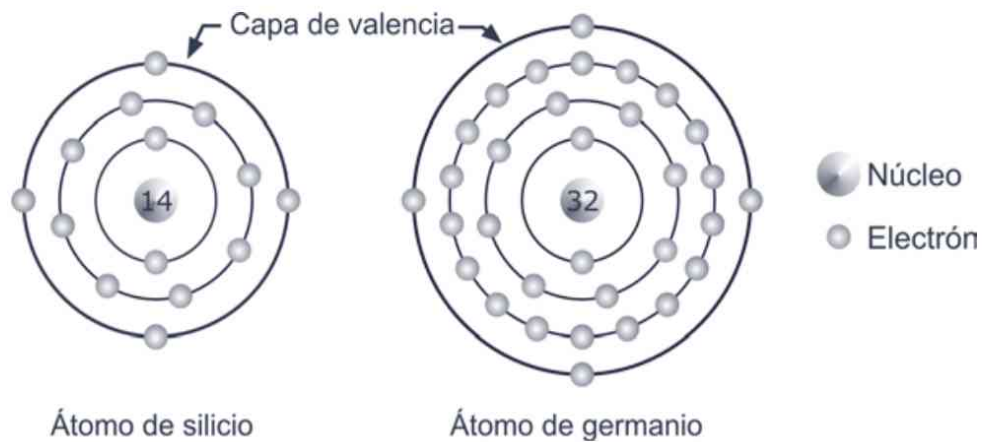


Figura 8.1. Estructura atómica del Si y Ge. Observe que ambos poseen cuatro electrones en la capa de valencia

Un cristal semiconductor totalmente puro, como el de la figura 8.2, se comporta como un aislante a bajas temperaturas. No obstante, a medida que sube ésta, aumenta la vibración y consigue que algunos electrones de valencia rompan sus enlaces y que aparezca una corriente eléctrica.

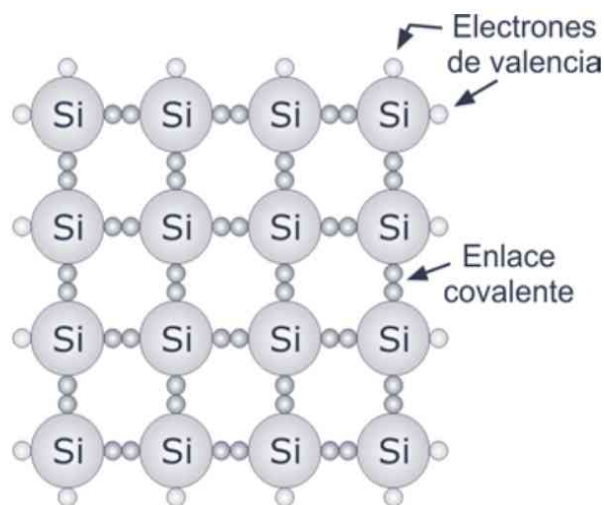


Figura 8.2. Estructura de un cristal puro de silicio semiconductor

Cuando sale un electrón deja siempre un **hueco** que será ocupado por otro electrón libre de la corriente o por un electrón de valencia de otro átomo vecino. Por tanto, podemos decir que en un semiconductor por el que circula corriente, existe un movimiento de huecos y electrones en sentidos opuestos.

8.1 SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS

En electrónica prácticamente no se usan los cristales semiconductores puros, **semiconductores intrínsecos**, porque existen en él muy pocos electrones libres para generar una corriente eléctrica. En el día a día se emplean cristales **dopados**, que contienen cantidades muy pequeñas de impurezas, que son las que determinan sus características eléctricas. Estos semiconductores se denominan **extrínsecos**.

Dopar un semiconductor significa introducir en su estructura cristalina otros elementos químicos. Esto se hace para que cuando se formen los enlaces químicos queden electrones libres o, por el contrario, queden huecos electrónicos; es decir, que falten electrones. Como *Si* y *Ge* poseen cuatro electrones de valencia, es necesario inyectar átomos con cinco electrones, como el fósforo, *P*; arsénico, *As* y el antimonio, *Sb* o átomos con tres electrones en la capa de valencia, como el boro, *B*; el aluminio, *Al*; el galio, *Ga* o el Indio, *In*.

Los semiconductores dopados con impurezas pentavalentes se denominan **semiconductores tipo N** y se caracterizan porque de los cinco electrones de valencia de la impureza, sólo cuatro forman enlaces covalentes con los átomos del cristal puro. El electrón que sobra tiene completa libertad para moverse a través de la estructura tridimensional (figura 8.3).

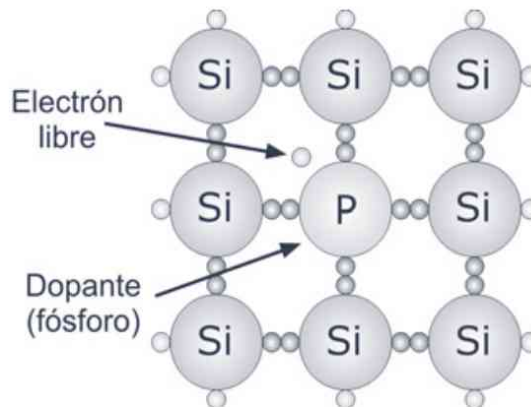


Figura 8.3. Semiconductor tipo N

Los semiconductores dopados con impurezas trivalentes se denominan **semiconductores tipo P** y se caracterizan porque en ellos los electrones del átomo dopante formarán enlaces con los átomos del cristal

puro, pero se habrá formado un hueco electrónico en la estructura, que se comporta como una carga positiva y es capaz de atraer un electrón externo. Podemos decir, por tanto, que un semiconductor tipo P es un aceptor de electrones (figura 8.4).

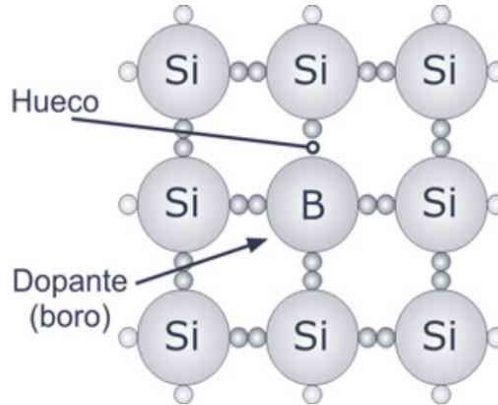


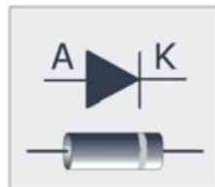
Figura 8.4. Semiconductor tipo P

Un semiconductor tipo N tiene más electrones libres que huecos y un semiconductor tipo P más huecos que electrones libres.

Los materiales semiconductores por sí solos son de poca utilidad. Para que sean realmente útiles deben unirse en dos o más capas formando uniones de diferente tipo. Es así como se fabrican los componentes activos como diodos y transistores.

8.2 EL DIODO

Es el elemento semiconductor más sencillo y más importante. Gracias a su principio de funcionamiento se han fabricado transistores y circuitos integrados. A continuación puede ver cuál es el símbolo general que se emplea en los esquemas eléctricos y su aspecto exterior.



8.3 TIPOS DE DIODOS

Existen diferentes tipos de diodos que se diferencian en el modo de fabricación, su funcionamiento y características eléctricas. Los más comunes son los diodos **rectificadores**, los **LED** y los **Zener**. Existen, sin embargo, otros menos usuales, como el láser, túnel y Schottky (figura 8.5).

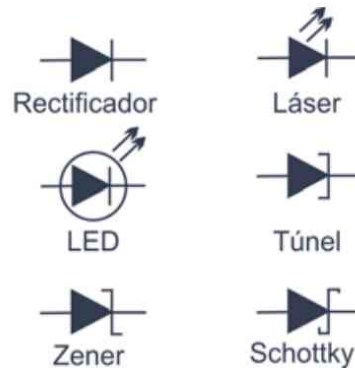


Figura 8.5. Símbolos de los diodos más habituales

8.4 FUNCIONAMIENTO

Para entender el funcionamiento de los diferentes tipos de diodos es suficiente con comprender cómo trabaja un diodo rectificador, en cuyo principio de funcionamiento se basan los demás.

Un diodo puede entenderse como un elemento que deja pasar la corriente eléctrica en un único sentido. Si la corriente se aplica en sentido contrario, el diodo no conduce. Su funcionamiento es la base de toda la electrónica actual. Un transistor está formado por dos diodos y un circuito integrado puede contener desde unos pocos hasta varios cientos de millones de transistores. Por ello el diodo es el elemento constructivo básico de toda la electrónica moderna.

8.5 LA UNIÓN PN

Un diodo es básicamente la unión de un material semiconductor tipo P con otro material semiconductor tipo N, de ahí que se conozca aquella como **unión PN**. El material P se denomina *ánodo*, y se representa con la letra **A**. El material tipo N se conoce como *cátodo* y se representa con las letras **C** o **K**. (figura 8.6).

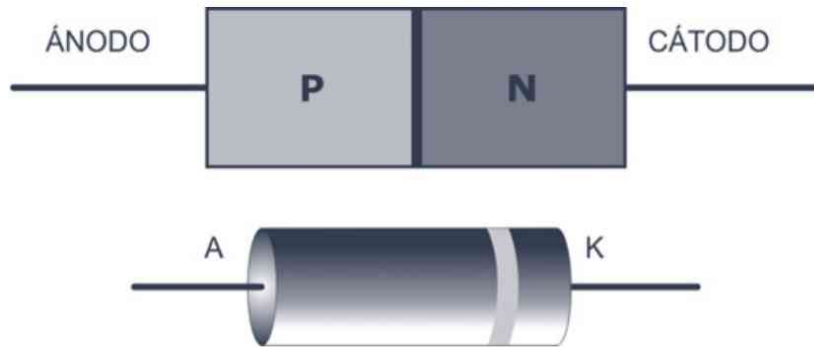


Figura 8.6. Estructura y aspecto exterior de un diodo

En una unión PN hay, inicialmente, un exceso de electrones en el lado N y de huecos en el lado P. Por lo tanto, algunos electrones del lado N se verán atraídos por algunos huecos del lado P y viceversa, mediante un proceso de difusión idéntico al que tiene lugar cuando se abre un frasco de perfume en una habitación. Este proceso se repite hasta que se forma una barrera de potencial que impide el paso de un número importante de portadores mayoritarios de un lado a otro. Esta barrera se denomina **zona de agotamiento**. (figura 8.7).

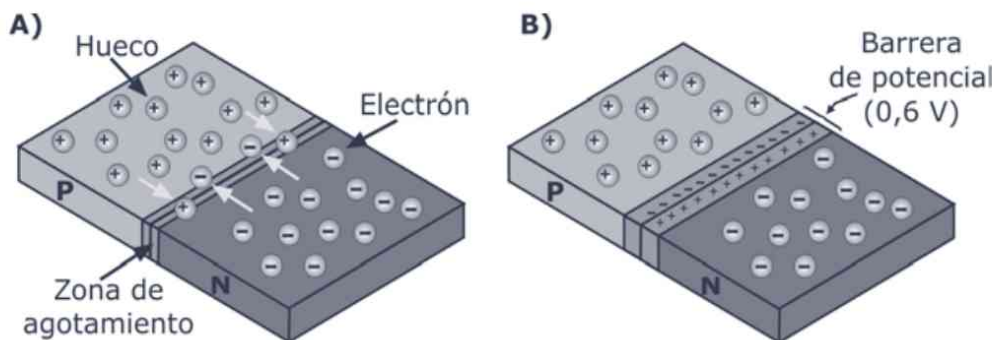


Figura 8.7. Barrera de potencial en la unión PN. Barrera en formación (A). Barrera de potencial completamente formada (B)

En el límite de la frontera, el material tipo N queda cargado positivamente y el material tipo P negativamente, lo que crea una barrera de potencial de unos 0,6-0,7 V en un diodo de Si y 0,2-0,3 V en uno de Ge. Mediante la aplicación de una tensión externa pueden controlarse las características de la zona de agotamiento.

Al aplicar una tensión continua a un diodo puede hacerse de dos formas: si el voltaje positivo se aplica al cátodo (N) se dice que está en **polarización inversa**; en caso contrario, cuando la tensión positiva se aplica al ánodo (P) del diodo, se establece una **polarización directa**.

8.5.1 Polarización inversa

Si se polariza inversamente un diodo; es decir, si se aplica un voltaje externo tal que el polo positivo se una al cátodo (lado N) el efecto barrera se intensifica, debido a que el terminal positivo de la fuente atrae a los electrones del material tipo N y el polo negativo del generador a los huecos del material tipo P (figura 8.8). De este modo, la zona de agotamiento se ensancha y aumenta enormemente la resistencia al paso de corriente eléctrica, comportándose como un **aislante**. Si se sigue aumentando la tensión eléctrica puede provocarse la destrucción del diodo.

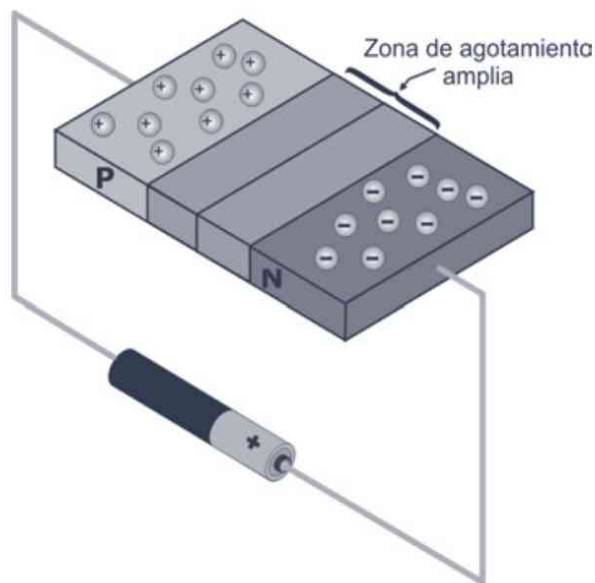


Figura 8.8. Polarización inversa de un diodo

8.5.2 Polarización directa

Si se aplica una tensión continua de forma directa (figura 8.9), la barrera de potencial disminuye, pues el polo positivo del generador repele los huecos del material tipo P, el ánodo y lo mismo ocurre con los electrones en el lado N. De este modo se logra que una corriente eléctrica atraviese la unión PN. El diodo se comporta como un **conductor**.

Aunque hemos dicho que en polarización inversa el diodo no conduce y que cuando se polariza directamente no ofrece resistencia eléctrica al paso de la corriente, esto no es del todo cierto. En un diodo real, cuando se polariza inversamente, existe una pequeña corriente de fuga y conduce completamente, incluso provocando la destrucción del diodo, a una

tensión inversa que se conoce como **voltaje de ruptura** o de **avalancha**. En polarización directa el diodo comienza a conducir cuando se supera la barrera de potencial (0,6 V en el Si).

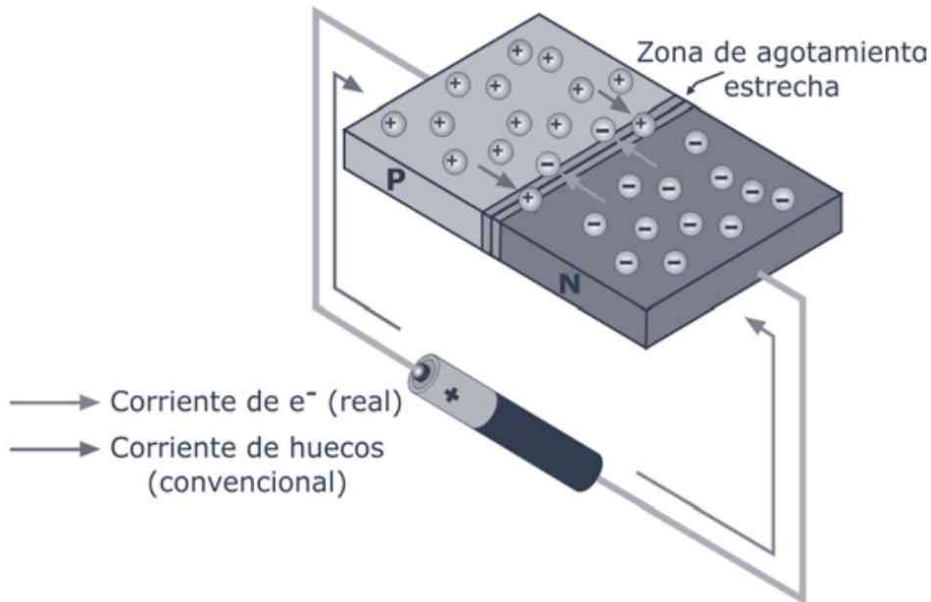


Figura 8.9. Polarización directa de un diodo

En la figura 8.10 se muestra la curva tensión/corriente típica del comportamiento real de un diodo de silicio.

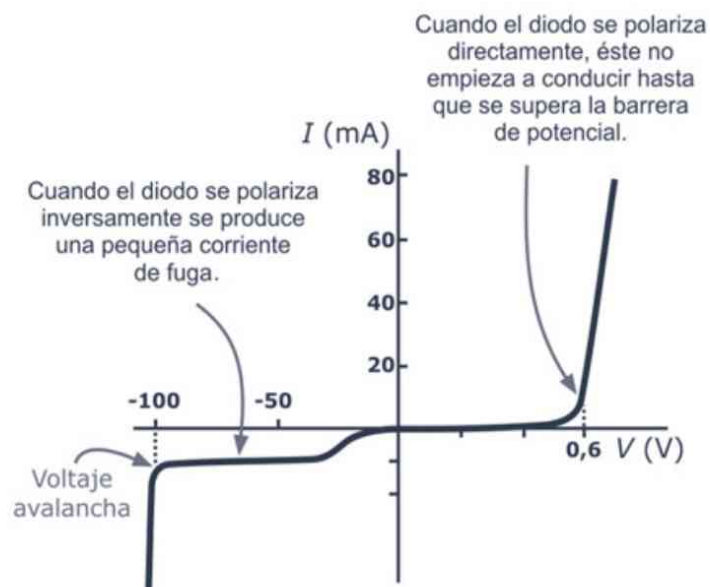


Figura 8.10. Comportamiento real de un diodo de silicio

8.6 TIPOS DE DIODOS

Como ya dijimos, existen varios tipos de diodos, que pueden clasificarse de acuerdo a sus características eléctricas y aplicaciones principales. Entre ellos, cabe centrarse en los siguientes:

8.6.1 Diodos rectificadores

A este grupo pertenecen todos aquellos diodos que han sido construidos con el objetivo principal de convertir la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC). Este proceso de conversión se denomina **rectificación** y lo describiremos con detalle en el capítulo 14.

Los diodos rectificadores se clasifican a su vez en **diodos de señal** y **diodos de potencia**. Los primeros trabajan con corrientes inferiores a 1 A y su encapsulado es plástico. En los diodos de potencia, por el contrario, el encapsulado es metálico y debe ofrecer la posibilidad de conectarlo a un disipador de calor (figura 8.11).

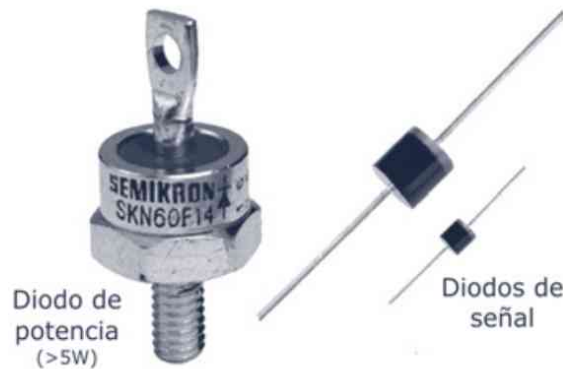


Figura 8.11. Diodos rectificadores

Existe un tipo especial de diodo rectificador que se comercializa en un encapsulado que contiene cuatro diodos que forman un **punteo rectificador** de onda completa; lo que facilita la construcción de circuitos rectificadores (figura 8.12). El símbolo que se utiliza en los esquemas electrónicos para el puente rectificador es el siguiente:

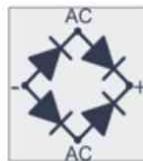




Figura 8.12. Puentes rectificadores

Todos los diodos se identifican, en general, mediante una referencia de letras y números. En el sistema europeo se utilizan dos letras y tres cifras para aquéllos que se emplean en aplicaciones de audio, radio y televisión o de tres letras y dos números para diodos usados en aplicaciones industriales. La primera letra indica el material semiconductor del que está hecho (A = Ge, B = Si, etc.) y la segunda el tipo de componente (Y = rectificador, Z = Zener, etc.). Así, un componente marcado como BY254 será un diodo rectificador de silicio. Estas reglas, no obstante, no siempre se cumplen, pues muchos fabricantes emplean sus propias referencias.

8.6.2 Diodos Zener

Son diodos diseñados especialmente para trabajar en la zona de ruptura. Cuando se polarizan directamente se comportan como diodos rectificadores y en polarización inversa, como regulador de tensión. Su principal aplicación es, por tanto, polarizado inversamente como regulador de voltaje. Como ya vio en el capítulo 2, el símbolo para un diodo Zener es:



Si se observa la curva tensión/intensidad típica de un diodo de este tipo, cuando se polariza inversamente, la corriente que circula es prácticamente despreciable, hasta que el voltaje inverso alcanza un valor conocido como **voltaje zener**, V_Z . Al llegar a esta tensión, el diodo entra en

conducción. A partir de este instante la tensión entre sus terminales permanece prácticamente constante e igual a V_Z para un amplio margen de corriente (figura 8.13). Es esta la propiedad que nos permite utilizarlos como reguladores de voltaje.

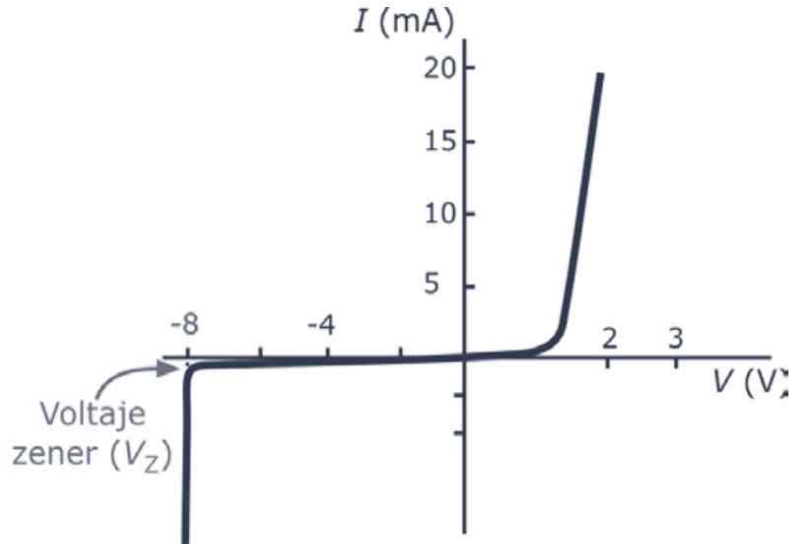


Figura 8.13. Curva característica de un diodo Zener

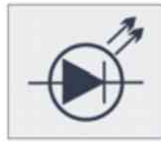
Estos diodos se comercializan con encapsulados plásticos y de vidrio y se especifican por su voltaje Zener (figura 8.14). Por ejemplo, un componente BZ079-5V1 es un diodo Zener de silicio con un $V_Z = 5,1$ V.



Figura 8.14. Distintos encapsulados de diodos Zener de baja potencia

8.6.3 Diodos LED

Son diodos emisores de luz (Light Emitting Diodes). Se fabrican generalmente de arseniuro de galio, y tienen la particularidad de emitir luz, de forma continua o intermitente, cuando se polarizan directamente. Se utilizan fundamentalmente como indicadores y su luz puede ser roja, amarilla, naranja, verde o azul. El símbolo que utilizamos en los esquemas electrónicos para un LED es el siguiente:



Estos diodos emiten luz porque los electrones, al combinarse con los huecos, pasan de un nivel energético superior a uno inferior, liberando radiación visible. En la figura 8.15 puede ver cuál es el aspecto físico de un LED y su estructura interna.

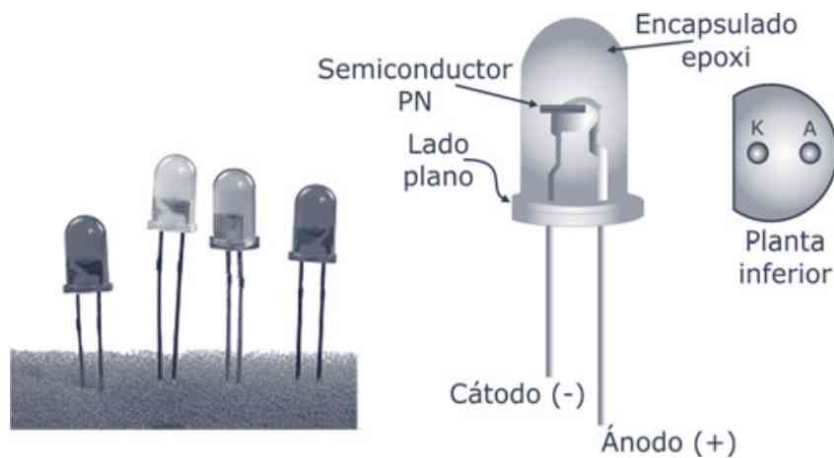


Figura 8.15. Aspecto físico y estructura interna de un LED

Los LED se comercializan por el color de la luz emitida (roja, amarilla, anaranjada, verde o azul), la caída de tensión admisible (1,7-4 V), la máxima corriente directa (20-50 mA) y su intensidad de luz (0,5-4.000 mcd). A continuación se presenta una tabla orientativa con la tensión directa de trabajo según el color de la luz emitida (tabla 8.1).

Color	V_F
Rojo	1,7 V
Naranja	2,0 V
Amarillo	2,5 V
Verde	2,5 V
Azul	4,0 V

Tabla 8.1. Tensión directa de trabajo

Cuanto mayor sea la corriente, sin quemarlo, que circula por el LED, mayor será el brillo. Es por ello que siempre se protegen los LED con una resistencia en serie que limita la corriente y asegura que la tensión de trabajo del diodo no sobrepase la recogida en la tabla 8.1 (figura 8.16). Los LED deben también protegerse contra voltajes inversos excesivos. De hecho, un voltaje inverso superior a 5 V causa su destrucción inmediata.

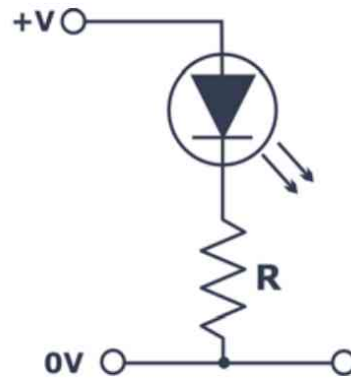


Figura 8.16. Protección de un LED

Capítulo 9

TRANSISTORES

Como ya se dijo en capítulos anteriores, los componentes semiconductores revolucionaron la electrónica: primero fueron los **diodos**, luego los **transistores** y, por último, los **circuitos integrados**, con los que se consolidó la electrónica moderna.

La palabra **transistor** es un acrónimo de *transfer* y *resistor* y designa, de forma general, a un componente semiconductor de tres terminales cuya resistencia entre dos de ellos depende del nivel de corriente que circula por el tercero. Se fabrican no sólo como elementos discretos, sino también como componentes incorporados dentro de los circuitos integrados.

Los transistores son componentes **activos**; es decir, que pueden **amplificar** potencia y entregar más de la que reciben, extrayéndola de la fuente de alimentación.

9.1 TIPOS DE TRANSISTORES

Existen dos grandes grupos de transistores: los **bipolares**, también llamados de unión y controlados por corriente y los de efecto campo o **FET**, controlados por tensión (figura 9.1).

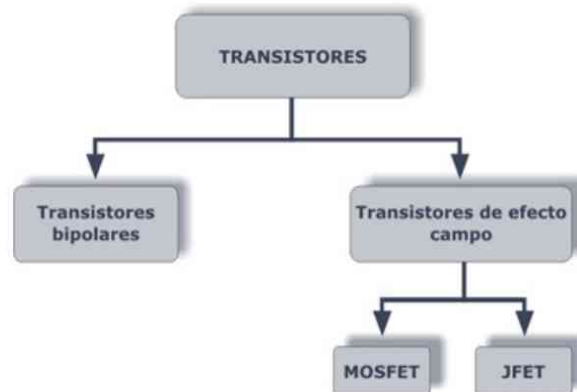
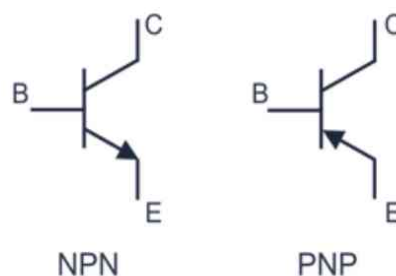


Figura 9.1. Tipos de transistores

9.2 TRANSISTORES BIPOLARES

Son elementos semiconductores de tres terminales formados por una zona delgada de material tipo N entre dos más amplias de tipo P, o una de tipo P entre dos de tipo N. En el primer caso hablamos de un transistor PNP y en el segundo de un transistor NPN. La zona central se denomina base (B) y las de los extremos emisor (E) y colector (C), respectivamente (figura 9.2). Los símbolos que se emplean en los esquemas electrónicos para estos transistores son los siguientes:



9.2.1 Polarización y funcionamiento

Debido a cómo se alternan los materiales tipo N y P en un transistor, existen dos uniones PN: una entre emisor y base (EB) y otra entre base y colector (BC). Estas uniones deben polarizarse de tal modo que la unión EB se polarice directamente y la unión BC inversamente (figura 9.3).

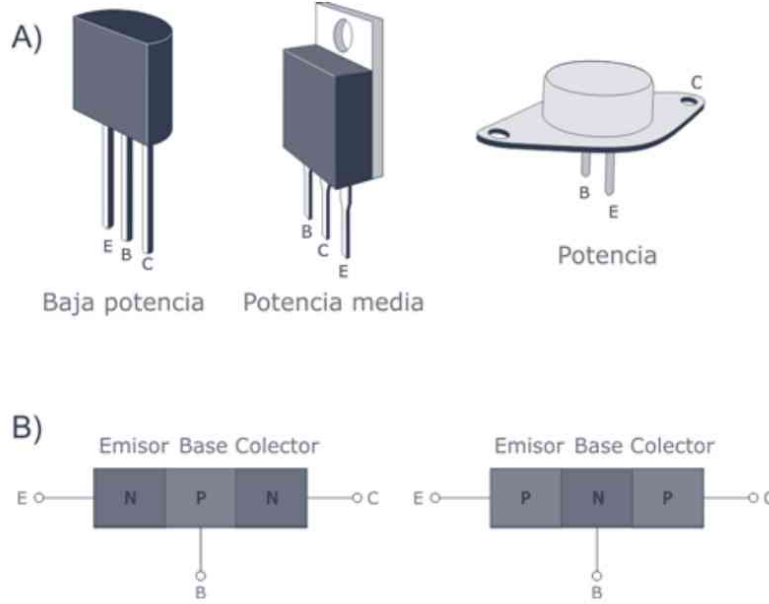


Figura 9.2. Transistores bipolares. Se muestra el aspecto físico de los principales tipos de transistores bipolares (A) y su estructura interna (B)

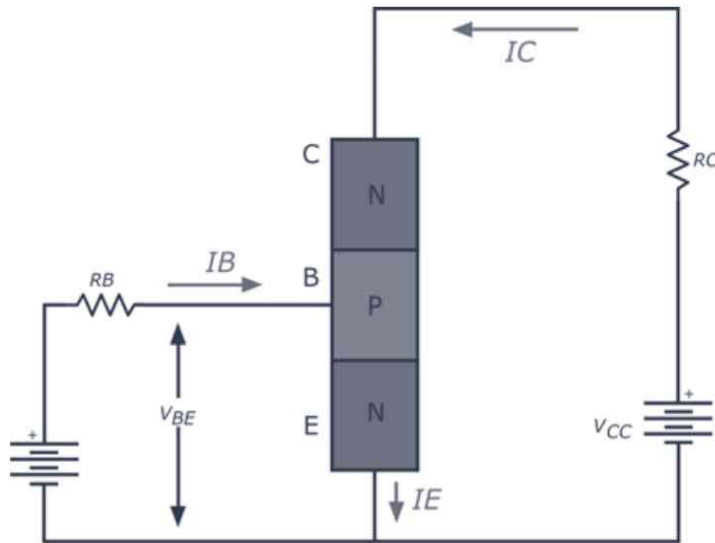


Figura 9.3. Polarización de un transistor bipolar NPN. Se muestran los sentidos convencionales para las corrientes de emisor, base y colector.

Como resultado de la polarización se producen tres corrientes en un transistor: la corriente de base (I_B), la del emisor (I_E) y la del colector (I_C). Debido a que la unión EB está polarizada directamente, los portadores mayoritarios de ambas regiones se combinan mutuamente. Esto significa que en un transistor NPN, por ejemplo, se produce una corriente de base relativamente pequeña, ya que sólo entre el 1 y el 5% de los electrones suministrados por el emisor se combinan con los huecos disponibles en la base. Los electrones restantes son atraídos fuertemente por el colector, lo que genera una corriente de colector I_C muy intensa (figura 9.4).

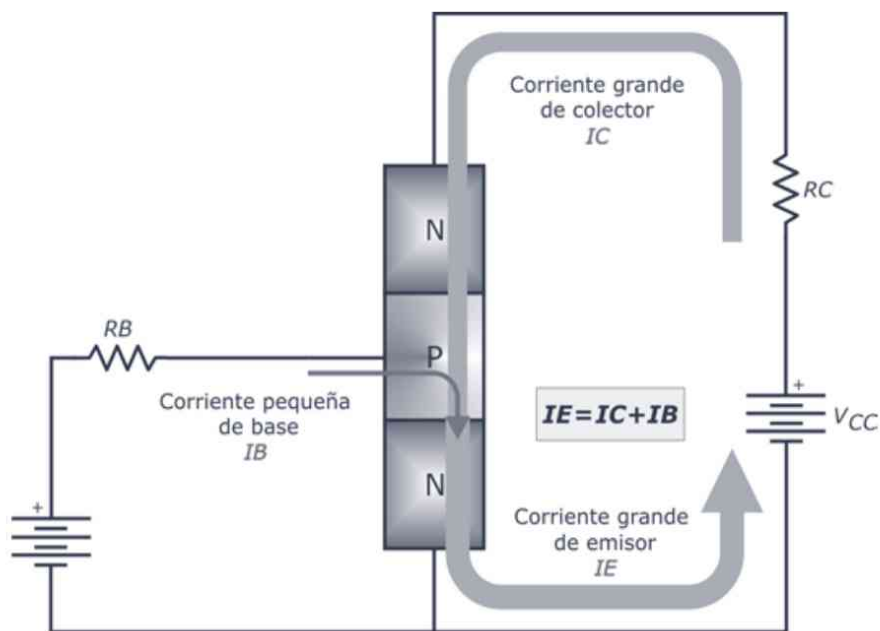


Figura 9.4. Corrientes en un transistor. Se muestran las tres corrientes: I_B , I_E e I_C

Las corrientes de base y colector están relacionadas mediante la fórmula siguiente:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Donde β se denomina **ganancia de corriente**.

Esta expresión significa que un transistor puede amplificar una corriente, fenómeno esencial en la electrónica moderna.

9.3 ENCAPSULADOS

Los transistores se fabrican industrialmente en serie a partir de una misma oblea de material semiconductor. A continuación se cortan y encapsulan para que el transistor propiamente dicho se vea protegido frente a la contaminación ambiental. El encapsulado, además, actúa como disipador de calor y como soporte de los tres terminales del componente. Su forma y tamaño dependen en gran medida de la potencia de trabajo y están normalizados. Los más habituales se muestran en la figura 9.5.



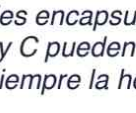







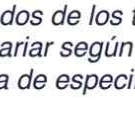


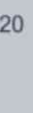


NOMBRE	ASPECTO	VISTA INFERIOR	NOMBRE	ASPECTO	VISTA INFERIOR
T0-92			T0-220		
T0-5			T0-202		
T0-202			T0-3P		
T0-220			T0-3		

Figura 9.5. Principales encapsulados de los transistores. En todos los transistores la disposición de E, B y C pueden variar según el fabricante. Por ello debe consultarse siempre la hoja de especificaciones del mismo

9.4 IDENTIFICACIÓN DE TRANSISTORES

Los transistores, al igual que otros componentes semiconductores, se identifican con referencias que se serigrafían sobre el encapsulado. Estas referencias están formadas por letras y números de acuerdo a tres sistemas: el *americano*, el *europeo* y el *japonés*. El primero de ellos, el **sistema americano**, asigna a los transistores el número 2 seguido por la letra N y luego otro número entre 100 y 9999. Así, un componente marcado como 2N1613 sería un transistor.

En el **sistema europeo** se utiliza primero la letra A o B, si es de Ge o Si, seguido de otra letra según su potencia de trabajo (C, D, F, L y U) más otra según su uso (W, X, Y y Z) y por último un número entre 100 y 9999. Así, los componentes BC140 o AD1202 son transistores.

No obstante, muchos fabricantes emplean sus propios sistemas de numeración para hacer énfasis en su marca o para evitar la copia de sus productos.

9.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS

La mejor forma de conocer cómo funciona un transistor es a partir del análisis de sus **curvas características**. La **curva característica de entrada** muestra qué corriente circula por la base en función de la tensión base-emisor, V_{BE} (figura 9.6). La gráfica es la misma que la de un diodo rectificador; es decir, que no comienza a circular corriente hasta que la tensión alcanza el valor de barrera, que como sabe, es del orden de 0,6-0,7 V para el silicio. A partir de entonces la tensión base-emisor crece muy lentamente, por lo que en la práctica se toma constante, con un valor de 0,7 V. La corriente de base (I_B) es función de la tensión V_{BB} y de la resistencia R_B y puede calcularse con la expresión:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{V_{BB} - 0,7}{R_B}$$

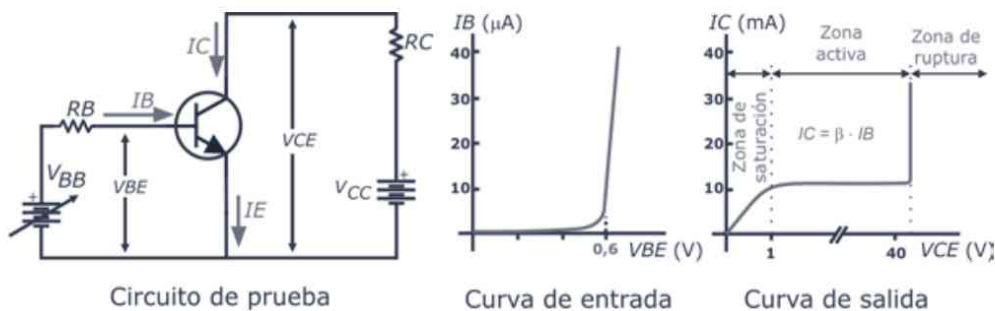


Figura 9.6. Curvas características de entrada y salida de un transistor en configuración de emisor común

La **curva característica de salida** muestra el comportamiento de la corriente de colector, I_C , en función del voltaje colector-emisor, V_{CE} , para un valor dado de corriente de base, I_B (figura 9.6). Observe que para valores de V_{CE} entre 0 y un determinado valor, la I_C crece rápidamente.

Esta parte de la curva se denomina **zona de saturación**. A partir de ese momento V_{CE} se mantiene constante hasta un valor máximo. Esta región se conoce como **zona activa**. Por encima de dicho valor el transistor se destruye. Es la **región de ruptura**.

La zona activa es muy importante en el funcionamiento de un transistor. En ésta, los cambios en la tensión V_{CE} no influyen en la corriente I_C . Es donde trabajan los amplificadores. Existe, así mismo, una cuarta región que no se muestra en la anterior figura y que se denomina **zona de corte**, que se presenta cuando $I_B = 0$. Bajo estas condiciones el transistor no conduce y se comporta como un interruptor abierto. En la zona de saturación el transistor actúa como un interruptor cerrado. Estas dos regiones son las que emplean los circuitos digitales, como los microprocesadores de los ordenadores, núcleo central de toda la informática.

El voltaje V_{CE} lo establecen V_{CC} y la resistencia R_C . Así pues, debe cumplirse que,

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot R_C$$

Por tanto, la corriente de colector será:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

Si se determinan los valores de I_C y V_{CE} para diferentes valores de I_B , se obtiene una familia de **curvas características de salida** (figura 9.7, página siguiente). Éstas son muy importantes para analizar y diseñar distintos circuitos con transistores.

9.6 RECTA DE CARGA

Las curvas características de salida de un transistor se pueden utilizar también para saber cómo se va a comportar un transistor bajo cualquier condición de carga. Para ello se emplea la que se conoce como **recta de carga**, que como su nombre indica, es una línea recta sobre las curvas de salida, donde se muestran todos los valores posibles que pueden adoptar I_C y V_{CE} para diferentes valores de I_B bajo determinadas condiciones de V_{CC} y de R_C . Dependiendo del valor de la resistencia de base, la I_B puede variar desde 0 hasta un valor máximo. Cuando $I_B = 0$, el

transistor está en corte, no conduce y, entonces, $V_{CE} = V_{CC}$ e $I_C = 0$. Estos valores definen el extremo inferior de la recta de carga (Figura 9.8). A medida que aumenta la corriente de base, llega un momento en el que el transistor comienza a trabajar en saturación, el transistor conduce al máximo y, por ello, $V_{CE} = 0$ e $I_C = V_{CC}/R_C$. Estos valores constituyen el extremo superior de la recta de carga. Para valores intermedios de I_B , el transistor conduce parcialmente e I_C y V_{CE} adoptan valores definidos por las intersecciones de la recta de carga con las curvas de salida. En el ejemplo de la figura 9.8, cuando $I_B = 30 \mu\text{A}$, $V_{CE} = 6 \text{ V}$ e $I_C = 2,8 \text{ mA}$.

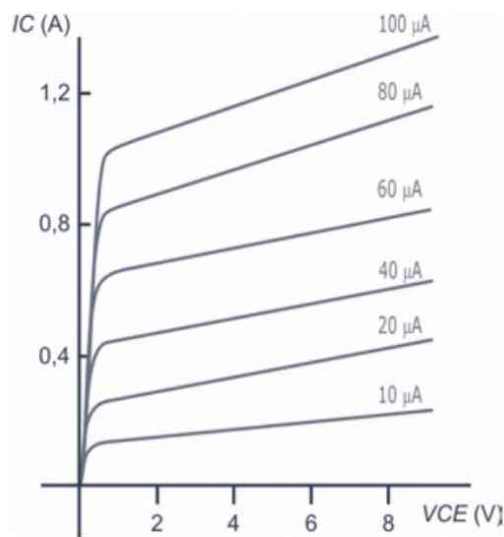


Figura 9.7. Curvas características de salida en configuración de emisor común

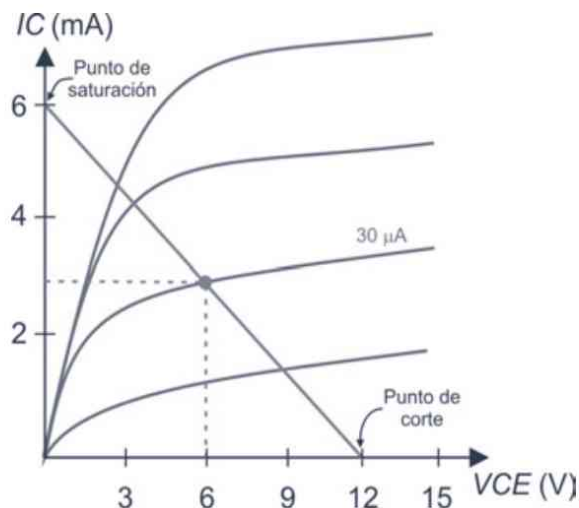


Figura 9.8. Recta de carga y curvas de salida de un transistor con $V_{CC} = 12 \text{ V}$ y $R_C = 2,1 \text{ k}\Omega$.

El punto superior de la recta de carga se denomina **punto de saturación**. Del mismo modo, el punto inferior, se llama **punto de corte**. Indican, respectivamente, la máxima corriente de colector y la máxima tensión colector-emisor que puede alcanzar el transistor, 6 mA y 12 V en el ejemplo de la figura 9.8. Para un circuito en configuración de emisor común los valores de $I_{C_{max}}$ y $V_{CE_{max}}$ se calculan con las siguientes fórmulas:

$$I_{C_{max}} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$V_{CE_{max}} = V_{CC}$$

9.7 PUNTO DE TRABAJO

El hecho de trazar las rectas de cargas es para permitir visualizar de forma directa los posibles **puntos de trabajo** de un transistor y elegir el más adecuado para una aplicación específica. Cada pareja de valores (V_{CE} , I_C) asociados a un valor de I_B concreto es un posible punto de trabajo, **Q**.

En las aplicaciones en las que los transistores se van a emplear como **amplificadores** de pequeñas señales, la mejor posición del punto de trabajo es el **centro** de la recta de carga. De este modo se asegura que el transistor trabaje siempre en la zona activa (figura 9.9).

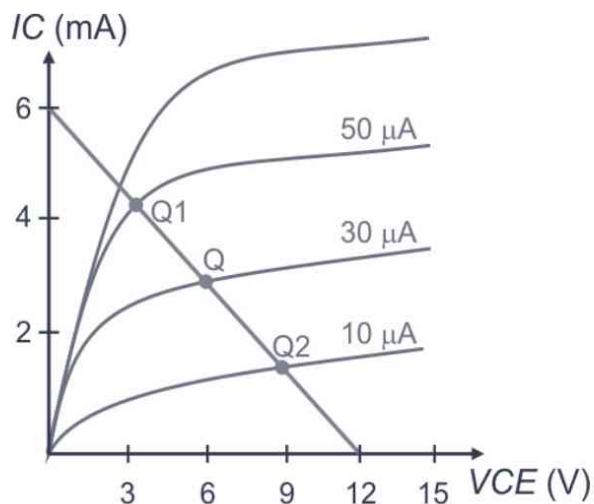


Figura 9.9. Puntos de trabajo para un transistor en emisor común con $V_{CC} = 12\text{ V}$ y $R_C = 2,1\text{ k}\Omega$. Q , $Q1$ y $Q2$ son puntos de trabajo posibles, pero si se emplea el transistor como amplificador el mejor de ellos es Q .

La corriente de base, la de colector y la tensión colector-emisor asociadas a un punto de trabajo de un amplificador se designan como IB_Q , IC_Q y VCE_Q . Para un circuito en emisor común, dichos valores se calculan con las siguientes expresiones:

$$IB_Q = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$
$$IC_Q = \beta \cdot IB_Q$$
$$VCE_Q = V_{CC} - IC_Q \cdot R_C$$

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

Capítulo 10

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Los amplificadores operacionales (AO u op-amp), introducidos en el mercado a mediados de la década de 1960, son dispositivos de estado sólido extremadamente versátiles que se usan como bloques constructivos básicos en gran variedad de circuitos electrónicos, tanto analógicos como digitales.

Un AO es, básicamente, un amplificador de voltaje de una elevada ganancia. Estos dispositivos poseen dos líneas de entrada (V_+ , V_-), dos líneas de alimentación (V_{S+} , V_{S-}) y una línea de salida (V_o) que amplifica la diferencia entre las tensiones de entrada; es decir:

$$V_o = G \cdot (V_+ - V_-)$$

donde:

G es la ganancia del circuito, en la práctica, del orden de 10^5 .

V_+ es la entrada no inversora.

V_- es la entrada inversora.

En la figura 10.1 se muestra el símbolo empleado en los esquemas eléctricos para representar un amplificador operacional.

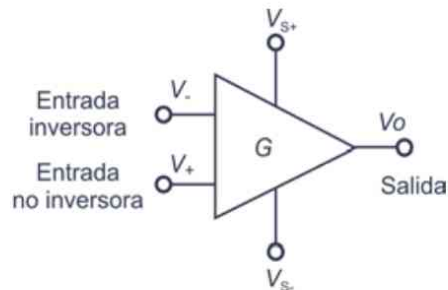


Figura 10.1. Símbolo de un amplificador operacional

Si se aplica una tensión positiva a la entrada no inversora (+), el voltaje de salida es positivo, mientras que si se suministra un voltaje positivo a la entrada inversora (-), en la salida se obtiene una tensión negativa.

Los amplificadores operacionales son muy utilizados en los circuitos analógicos debido a que se comportan como amplificadores prácticamente ideales. Entre otras cosas, es capaz de amplificar, controlar o generar todo tipo de formas de onda sobre un amplio margen de frecuencias. Además, son capaces de efectuar todo tipo de operaciones matemáticas: suma, resta, producto, cociente, derivación e integración de señales.

10.1 ESTRUCTURA INTERNA

La estructura interna general de todo amplificador operacional consta de un amplificador diferencial, una etapa de compensación de *offset* y un seguidor de emisor complementario de salida. Todos estos bloques constructivos se integran sobre una pastilla semiconductora y se encapsula para su presentación final. El amplificador diferencial puede estar diseñado con transistores bipolares o FET, lo que determina la alta impedancia de entrada y la fabulosa ganancia de voltaje del circuito. La etapa de compensación de *offset* polariza el sistema de modo que la tensión de salida sea 0 V cuando la señal diferencial de entrada sea 0 V.

Como puede ver en la figura 10.2, en la página siguiente, la estructura interna es muy compleja, pero desde luego no necesita comprenderla para poder emplear eficientemente este dispositivo.

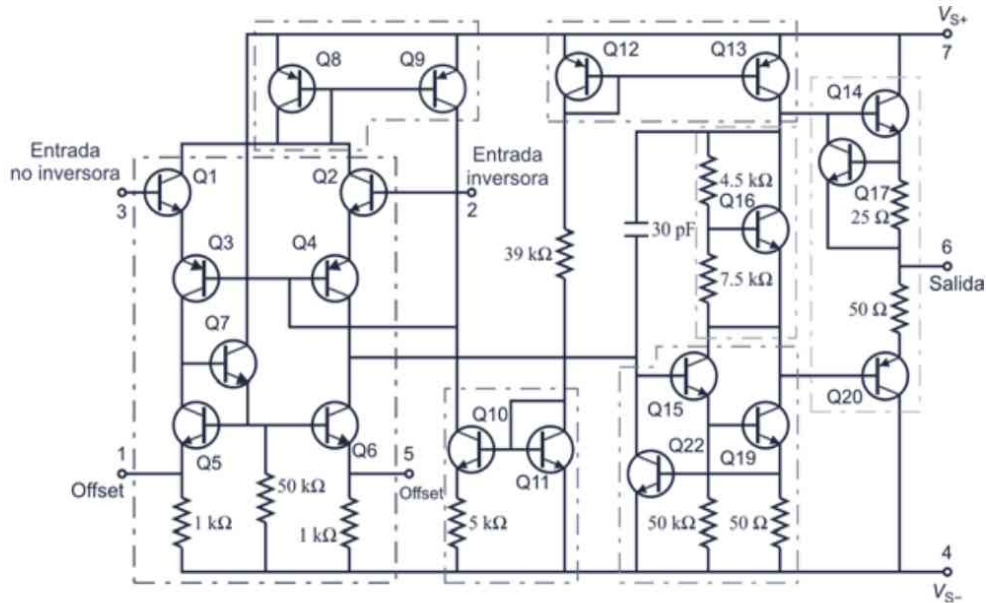


Figura 10.2. Circuito interno del amplificador operacional LM741 y sus bloques constructivos

Los amplificadores operacionales son operados generalmente por una fuente de alimentación de doble polaridad que proporciona las tensiones simétricas V_{S+} , V_{S-} y la referencia común a tierra (GND). Esto permite que el amplificador pueda adoptar a su salida cualquier valor entre ambos, incluido el cero. Algunos amplificadores pueden operar con una única fuente de alimentación.

10.2 ENCAPSULADOS

El amplificador operacional se fabrica en un microcircuito de silicio y se encapsula en un receptáculo adecuado de metal, plástico o cerámico. En la figura 10.3 se muestran los encapsulados más comunes para los amplificadores operacionales. El encapsulado metálico, TO-5 (o su similar TO-99), está disponible con 3, 5, 8, 10 y 12 terminales. Mediante una lengüeta se identifica el terminal 8. El resto se numera en sentido contrario a las agujas del reloj si se ve el encapsulado metálico desde arriba.

Los encapsulados conocidos como doble en línea (DIP), plásticos o cerámicos, se comercializan fundamentalmente con 8 y 14 terminales. Vistos desde arriba una muesca o punto identifica el terminal 1; el resto se numeran en sentido contrario a las agujas del reloj.

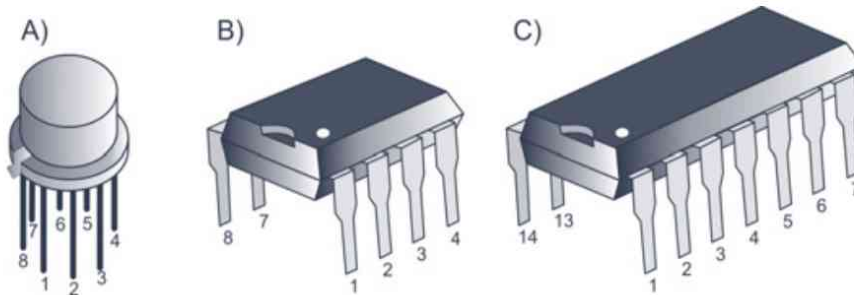


Figura 10.3. Encapsulados comunes para los amplificadores operacionales. Los tres encapsulados más habituales son el metálico, en A) y los encapsulados dobles en línea, DIP, de 8 y 14 terminales, en B) y C)

Los encapsulados de 8 terminales pueden contener uno o dos amplificadores operacionales, mientras que los de 14 terminales generalmente contienen cuatro unidades independientes (figura 10.4).

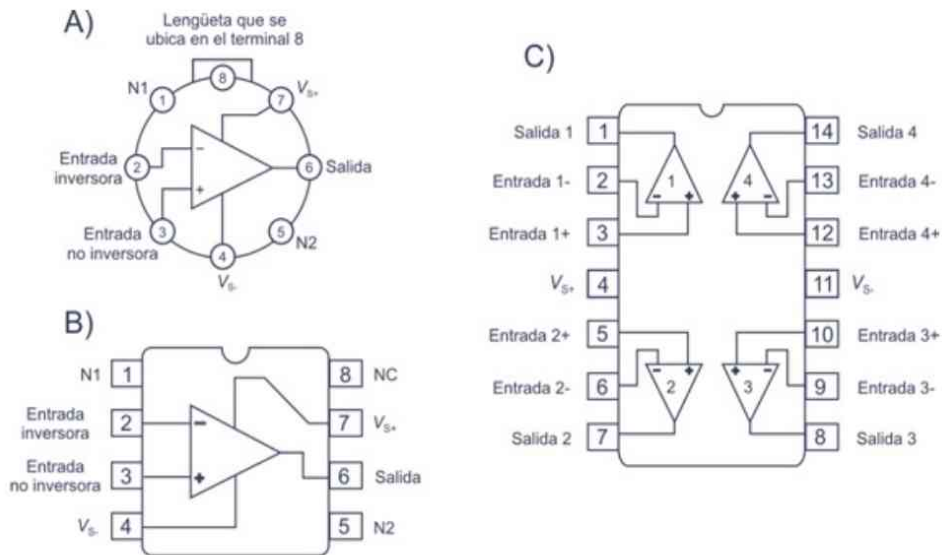


Figura 10.4. Diagrama de conexión para encapsulados típicos de amplificadores operacionales. A) Encapsulado metálico de 8 terminales TO 99. B) Encapsulado doble en línea de 8 terminales. C) Encapsulado DIP de 14 terminales. La abreviatura NC significa "no hay conexión"

La mayor parte de los AO simples, además de las líneas de entrada (V_+ , V_-), de salida (V_o) y de alimentación (V_{S+} , V_{S-}), poseen dos terminales adicionales de anulación de *offset*, o ajuste del voltaje de desvío ($N1$, $N2$) que permiten fijar la salida en cero cuando la señal de entrada es cero. Normalmente esto se consigue colocando un potenciómetro entre los terminales 1 y 5 y enviando el cursor al terminal negativo de la fuente de alimentación.

10.3 OPERACIÓN EN LAZO ABIERTO

Un amplificador operacional puede emplearse de dos formas básicamente: en **lazo abierto** o en **lazo cerrado**. Cuando un AO opera en lazo abierto no existe **realimentación**; es decir, no existe conexión externa entre la salida y las entradas y el dispositivo trabaja con su máxima ganancia. Generalmente la operación en lazo abierto se emplea para comparar voltajes.

En la figura 10.5 se muestra el esquema de un comparador de tensión básico sin histéresis con amplificador operacional. En este circuito, un voltaje de referencia fijo (V_2) se aplica a la entrada inversora (-) y un voltaje de muestra variable (V_1) a la entrada no inversora (+).

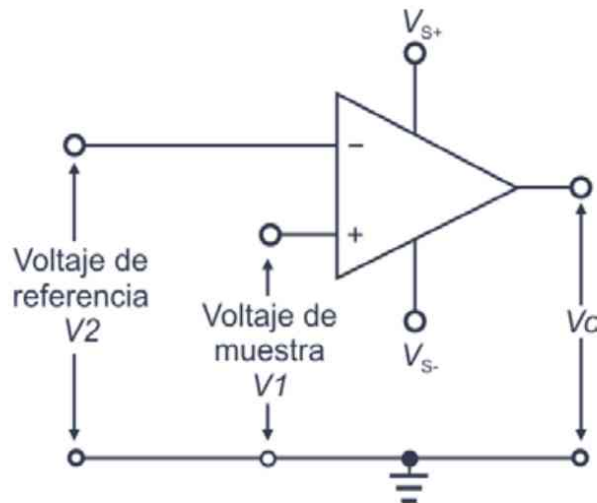


Figura 10.5. Comparador de voltaje sin histéresis con amplificador operacional

Debido a las altas ganancias de los amplificadores operacionales, del orden de los 100 dB, cualquier variación, por mínima que sea, entre V_1 y V_2 , causa que la salida se sature y V_o alcance un valor próximo al de alimentación ($V_{S\pm}$). Estrictamente hablando, se cumplirá que:

$$V_o = V_{S+} \text{ si } V_1 > V_2$$

$$V_o = V_{S-} \text{ si } V_1 < V_2$$

Los comparadores son muy utilizados en sistemas digitales para convertir determinadas señales analógicas en señales digitales, que sólo pueden adoptar uno de sus dos valores posibles.

10.4 OPERACIÓN EN LAZO CERRADO

El segundo modo de emplear un amplificador operacional es en **lazo cerrado**. En este caso el dispositivo trabaja como un amplificador **realimentado**. La realimentación consiste básicamente en tomar una muestra de la señal de salida y enviarla nuevamente a la entrada junto con la señal original (figura 10.6). La realimentación podrá ser positiva o negativa, dependiendo de si la muestra está en fase o fuera de fase respecto de la señal de entrada. La **realimentación negativa** es la más usada, debido a las mejores características que presenta.

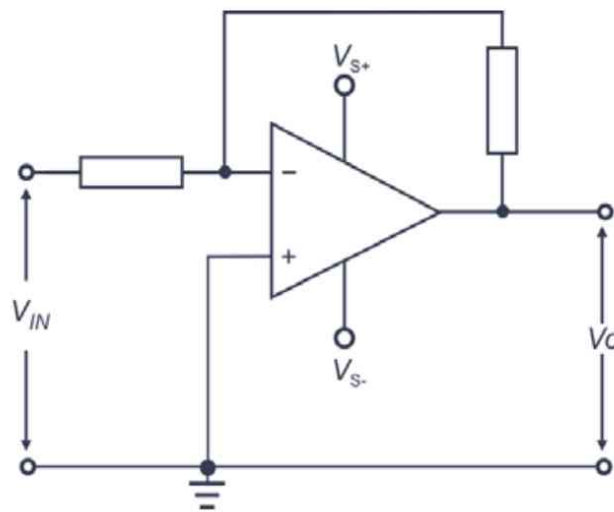


Figura 10.6. Amplificador operacional en lazo cerrado

Un amplificador operacional puede conectarse en lazo cerrado como un amplificador inversor o no inversor. En el primer caso la señal de salida está desfasada 180° con respecto a la de entrada, mientras que en el segundo las dos señales están en fase. Prácticamente todos los montajes prácticos con amplificadores operacionales se fundamentan en estas dos configuraciones.

10.5 PARÁMETROS REALES

Idealmente un amplificador operacional debería tener una ganancia infinita en lazo abierto, una impedancia de entrada también infinita y una impedancia de salida cero. Sin embargo, los amplificadores reales poseen una ganancia del orden de 100 dB, una impedancia de entrada de entre 1 y 10^6 M Ω y una impedancia de salida de varios cientos de ohmios.

Además de estos valores los fabricantes incluyen en las hojas de especificaciones otros parámetros que permiten evaluar en la práctica el comportamiento de estos dispositivos. Entre éstos, podemos citar:

- **Corriente de polarización de entrada (I_B).** Hace referencia a la corriente media que circula por las entradas del circuito en ausencia de señal. Idealmente debería ser cero; sin embargo, en la práctica, suele rondar el orden de los picoamperios (pA).
- **Voltaje offset de entrada (V_{io}).** Se refiere a la tensión que debe aplicarse entre los terminales de entrada para obtener un voltaje de salida cero. Aunque idealmente debería ser cero, en la práctica es del orden de unos pocos mV. Si no se aplica esta corrección, el voltaje Offset de entrada interno, una vez amplificado, podría llegar a ser suficiente para saturar la salida e impedir el funcionamiento adecuado del amplificador operacional.
- **Rapidez de respuesta (SR).** Es la relación entre la variación de la tensión de salida máxima y la variación del tiempo. El amplificador será mejor cuanto mayor sea este parámetro. Se mide en V/ μ s.

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

Capítulo 11

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

ELECTRÓNICA DIGITAL

Los **circuitos digitales** son aquéllos que trabajan con señales de tensión o de corriente que sólo adoptan valores **finitos** o **discretos**, a diferencia de los circuitos analógicos, que trabajan con señales continuas; es decir, que pueden adoptar infinitos valores (figura 11.1). Las señales que adoptan valores discretos se denominan digitales o lógicas, para distinguirlas de las analógicas. El estudio de los circuitos y de las señales digitales compete a **la electrónica digital**.

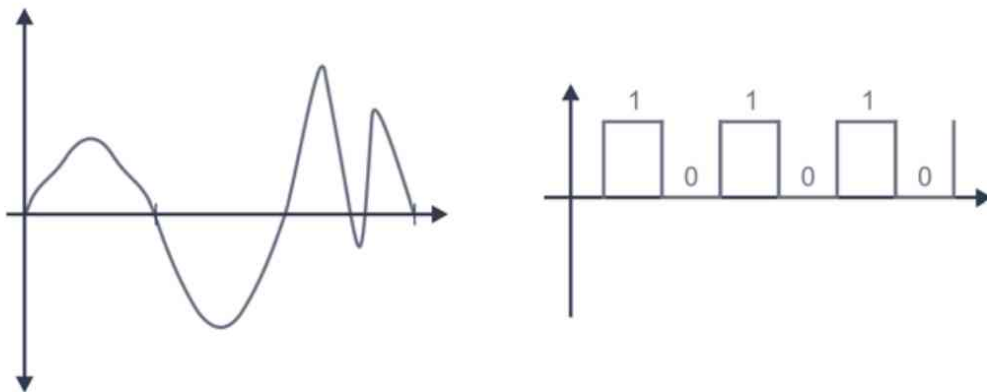


Figura 11.1. Señales analógicas y digitales. Las analógicas (izquierda) varían de forma continua. Las digitales (derecha) lo hacen de forma discreta

Veamos un ejemplo sencillo con el que comprender mejor las diferencias entre los circuitos analógicos y digitales. Observe atentamente la

figura 11.2. La batería, el potenciómetro y la bombilla son componentes de naturaleza analógica, pero, la existencia del interruptor en el circuito de la izquierda hace que su funcionamiento sea de naturaleza *digital*. Ello se debe a que el interruptor sólo puede adoptar dos estados: **cerrado** (deja pasar corriente) o **abierto** (no deja pasar corriente). Es decir, que la tensión o la corriente adoptan también dos estados. En el caso del circuito de la derecha, por otro lado, la presencia del potenciómetro hace que los valores de tensión y de corriente puedan variar de forma infinita desde 0 hasta su valor máximo. Decimos, entonces, que es un circuito analógico.

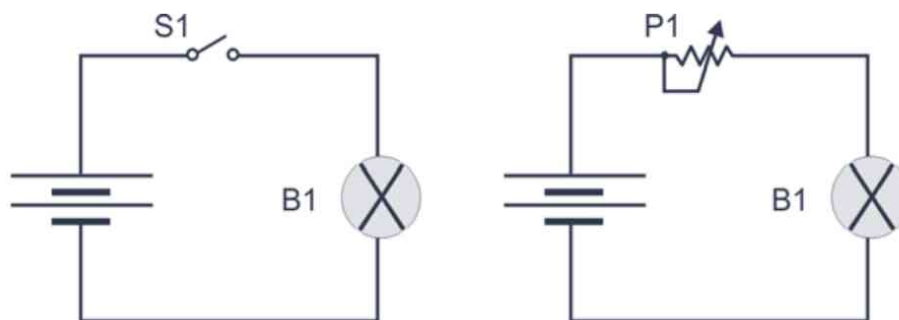


Figura 11.2. Comparación entre un circuito de comportamiento analógico, derecha y uno de comportamiento digital, izquierda

Así pues, las señales digitales podemos cuantificarlas con números, al ser discretas. Por ello, y dependiendo del número de estados finitos, podemos hablar de señales binarias (2 estados), ternarias (3 estados), etc. Es necesario, entonces, conocer los diferentes sistemas de numeración y cómo transformar unos en otros.

En electrónica digital, y por extensión en informática, los sistemas de numeración más empleados son el **binario**, el **octal** y el **hexadecimal**. En esta obra trataremos exclusivamente del primero de ellos, el más sencillo pero no por eso el menos importante.

11.1 SISTEMA BINARIO

La razón de emplear este sistema es porque es muy fácil construir circuitos electrónicos que puedan discriminar entre dos estados: encendido, apagado; positivo, negativo, etc.

La información almacenada por un ordenador, entonces, se puede representar más fácilmente mediante **dos dígitos: 0 y 1**; es decir, mediante un dígito binario o **bit** (*binary digit*). Los dos valores pueden asociarse a

lleguemos a ese punto. En ese caso el proceso se sigue hasta alcanzar la precisión indicada. Fíjese en los siguientes ejemplos en los que vamos a convertir a binario los números decimales 0,25 y 13,31:

$$\begin{array}{ll}
 0,25 \times 2 = 0,50 & 13,31 = 13 + 0,31 \\
 0,50 \times 2 = 1,00 & 13_{10} = 1101_2 \\
 & 0,31 \times 2 = 0,62 \\
 0,25_{10} = 0,01_2 & 0,62 \times 2 = 1,24 \\
 & 0,24 \times 2 = 0,48 \\
 & \dots \\
 & 13,31_{10} = 1101,010\dots_2
 \end{array}$$

11.1.2 Conversión binario-decimal

Tenemos, como en el caso anterior, dos situaciones:

- **Números binarios enteros.** Para transformar un número binario sin decimales al sistema decimal, aplicamos la ecuación:

$$\sum_{i=0}^{n-1} \text{dígito}_i \cdot 2^i$$

Donde i es la posición del dígito y n el número de dígitos. Observe cómo convertimos el número binario 101101 a decimal:

$$\begin{array}{cccccc}
 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1
 \end{array}
 = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 =$$

$$= 1 + 0 + 4 + 8 + 0 + 32 = 45_{10} \checkmark$$

- **Números binarios fraccionarios.** Para transformar un número binario fraccionario al sistema decimal se aplica la anterior expresión a las dos partes del número (la parte entera y la parte decimal), pero ha de tener en cuenta que en la parte fraccionaria los dígitos se enumeran de izquierda a derecha empezando en el -1. Mire el siguiente ejemplo en el que transformamos al sistema decimal el número binario 1101,011:

$$\begin{aligned}
 & \overset{3}{1} \overset{2}{1} \overset{1}{0} \overset{0}{1}, \overset{-1}{0} \overset{-2}{1} \overset{-3}{1} = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} = \\
 & = 1 + 0 + 4 + 8 + 0 + 1/4 + 1/8 = 13,375_{10} \checkmark
 \end{aligned}$$

11.2 LÓGICA DIGITAL Y ÁLGEBRA BOOLEANA

La mayor parte de los circuitos digitales operan con componentes y señales de naturaleza binaria: **1, estado alto** y **0, estado bajo**. Los bits pueden representar, por tanto, diferentes niveles de información en los circuitos digitales: números, datos, decisiones, etc. Los **números** se representan con el **sistema binario**, que ya conoce; los **datos**, con diversos tipos de **códigos**; y las **decisiones**, mediante el uso de las reglas de la **lógica digital**, agrupadas en lo que se conoce como el **álgebra de Boole**.

Los conceptos lógicos del tipo *verdadero/falso, sí/no, alto/bajo...*, así como las decisiones del tipo “*Si...entonces*” pueden representarse también con bits. Vayamos de nuevo al circuito de la izquierda de la figura 11.2. Podemos interpretar que... **si** el interruptor está cerrado, **entonces** la bombilla lucirá; es decir, **si** S1 es 1, **entonces** B1 es 1.

El álgebra de Boole, dentro de la lógica, emplea conceptos de tipo verdadero/falso. Las expresiones lógicas se pueden asignar a **variables lógicas** o **booleanas**. Cada variable booleana representa una situación o condición que puede adoptar uno de los dos estados (0 = *falso*, 1 = *verdadero*).

Las variables lógicas pueden combinarse matemáticamente mediante los operadores del álgebra de Boole para formar expresiones que se llaman **funciones lógicas**. Una función lógica, al igual que cualquier variable, sólo puede adoptar los valores 0 y 1. Si n es el número de variables de la función, existirán 2^n posibles combinaciones de entradas. Se puede entonces realizar una tabla que contenga todas las combinaciones de entrada y las salidas para cada una de ellas; su **tabla de verdad**.


11.3 FUNCIONES Y PUERTAS LÓGICAS

El álgebra de Boole usa los operadores *suma, producto y negación*, así que son tres las funciones lógicas básicas: **AND**, **OR** y **NOT**. Además de éstas, existen otras tres derivadas de las anteriores: **NAND**, **NOR** y **XOR**.

En la práctica cualquier función lógica básica o derivada es llevada a cabo por un circuito electrónico que se denomina **puerta lógica**. Veamos ahora una a una las funciones lógicas arriba mencionadas y el símbolo de la puerta (circuito) que implementa dicha función:

- **AND:** esta es la función producto lógico; es decir, hace el producto lógico de dos o más variables booleanas ($f = A \cdot B$). La tabla de verdad de la función y el símbolo de su puerta son los siguientes:

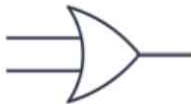
	<i>B</i>	0	1
<i>A</i>	0	0	0
1	0	0	1



Fíjese que sólo cuando todas las entradas son 1, la salida es 1.

- **OR:** esta es la función suma lógica; es decir, la que hace la suma lógica de dos o más variables booleanas ($f = A + B$). El símbolo de la puerta y la tabla de verdad de la función son los siguientes:

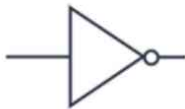
	<i>B</i>	0	1
<i>A</i>	0	0	1
1	0	1	1



Observe cómo únicamente cuando todas las entradas son 0, la salida es 0

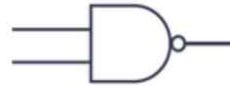
- **NOT:** esta es la función negación; es decir, realiza la negación lógica de la variable booleana ($f = \bar{A}$). El símbolo de la puerta y la tabla de verdad de la función son los siguientes:

<i>A</i>	\bar{A}
0	1
1	0



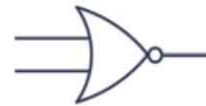
- **NAND:** esta es la función negación del producto lógico; es decir, $f = A \cdot B$. El símbolo de la puerta y la tabla de verdad de la función son:

A \ B	0	1
0	1	1
1	1	0



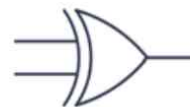
- **NOR:** es la función negación de la suma lógica; es decir, $f = A + B$. El símbolo de la puerta y la tabla de verdad de la función son los siguientes:

A \ B	0	1
0	1	0
1	0	0



- **XOR:** es la función O-exclusiva. Realiza la función booleana $f = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$. Esta operación lógica suele escribirse como $A \oplus B$. El símbolo de la puerta y la tabla de verdad para la función XOR son:

A \ B	0	1
0	0	1
1	1	0



Dese cuenta de que es muy fácil memorizar esta tabla, pues da 1 cuando las entradas son diferentes y 0 cuando son iguales.

11.4 SIMPLIFICACIÓN DE FUNCIONES

Las funciones lógicas se han de simplificar antes de implementarse en un circuito electrónico digital para disminuir así la complejidad y el coste de fabricación del mismo. Uno de los métodos más empleados de

simplificación de funciones de hasta *cuatro* variables es el que se conoce como **método de Karnaugh** y que vamos a desarrollar ahora.

Antes de empezar debe aprender que cualquier tabla de verdad puede representarse mediante una matriz que denominamos mapa de Karnaugh. En la figura 11.3 le presentamos los mapas correspondientes para 2, 3 y 4 variables.

	<i>B</i>		
<i>A</i> \	0	1	
0			
1			

	<i>BC</i>				
<i>A</i> \	00	01	11	10	
0					
1					

	<i>CD</i>				
<i>AB</i> \	00	01	11	10	
00					
01					
11					
10					

Figura 11.3. Mapas de Karnaugh para dos, tres y cuatro variables

Una vez dibujadas las matrices correspondientes se trasladan a las casillas en blanco adecuadas los estados altos (1) que aparezcan como salida en la tabla de verdad. Llegado este momento ha de procederse a agruparlos en conjuntos que cumplan las siguientes **reglas de agrupamiento**:

1. Las agrupaciones sólo pueden hacerse en horizontal y vertical. *¡nunca en diagonal!*
2. Los conjuntos tienen que tener 2^n elementos. Es decir, que sólo podrán contener 1, 2, 4, 8, ... unos (1).
3. Cada grupo ha de ser tan grande como sea posible. Esto significa que hemos de realizar el menor número de grupos con el mayor número de unos.
4. Pueden existir solapamientos de grupos.

5. Los grupos pueden realizarse con las celdas extremas de la tabla. Es decir, que la parte inferior de la tabla se puede agrupar con la superior y la izquierda con la de la derecha.

Cuando existan, tras haber seguido las normas anteriores, distintas posibilidades de agrupamiento, deberemos proceder del siguiente modo:

1. Localizar los rectángulos más grandes posibles agrupando todos los unos. Estos rectángulos se llaman **implicantes primos**.
2. Si alguno de los rectángulos anteriores contiene algún elemento que no aparece en otro rectángulo, entonces es un **implicante primo esencial** y debe aparecer en el resultado final de forma obligatoria.

Una vez que se hayan realizado correctamente los agrupamientos, debe procederse de acuerdo a la siguiente **metodología**:

- a) Cada rectángulo será un sumando de la función lógica simplificada.
- b) Cada sumando se obtiene de forma simplificada eliminando la variable que cambia su valor lógico. Dicho con otras palabras, el sumando está formado por las variables comunes en cada agrupamiento. Para ello debe saber que el contenido de cada celda en el mapa de Karnaugh se obtiene escribiendo las variables que tienen valor 1 (A, B, C, D, \dots) y su valor complementario si tienen valor 0 ($\overline{A}, \overline{B}, \overline{C}, \overline{D}, \dots$). Estas últimas variables también suelen escribirse, por comodidad, como A', B', C', D', \dots . En la figura 11.4 le presentamos los mapas completos para 2 y 3 variables.

	B	0	1
A		$A'B'$	$A'B$
0		$A'B'$	$A'B$
1		AB'	AB

	BC	00	01	11	10
A		$A'B'C'$	$A'B'C$	$A'BC$	$A'BC'$
0		$A'B'C'$	$A'B'C$	$A'BC$	$A'BC'$
1		$AB'C'$	$AB'C$	ABC	ABC'

Figura 11.4. Mapas de Karnaugh completos para dos y tres variables

11.5 EL TRANSISTOR COMO INTERRUPTOR

Ahora, tras haber estudiado los transistores en el capítulo 9, vamos a profundizar un poco más en la electrónica digital para comprender cuál es la base de todo circuito digital. Como ya conoce, los transistores pueden

funcionar no sólo en su región activa amplificando la corriente, también pueden trabajar en **corte** y **saturación**. En el primer caso no hay corriente *Emisor-Colector* y el transistor no conduce; se comporta como un interruptor abierto, al que se le asocia el estado binario 0. En el segundo caso, cuando trabaja en saturación, circula toda la corriente disponible y funciona como un interruptor cerrado; le asociamos el estado alto, 1.

Estas características de los transistores hacen que puedan usarse, junto con los diodos, para efectuar todas las funciones lógicas anteriormente descritas. Como ejemplo fíjese cómo el circuito de la figura 11.5 implementa la función **NOT**. La aplicación de un nivel **alto** (1) en la entrada *A*, causa que circule toda la corriente por el transistor, con lo que el voltaje en la salida *S* es prácticamente 0 V, lo que se corresponde con el nivel **bajo** (0). Por otro lado, si se aplica un nivel **bajo** (0) en la entrada, no hace circular corriente por la base, con lo que el transistor trabaja en corte y, por tanto, la tensión de salida *S* es de +5 V, nivel **alto** (1).

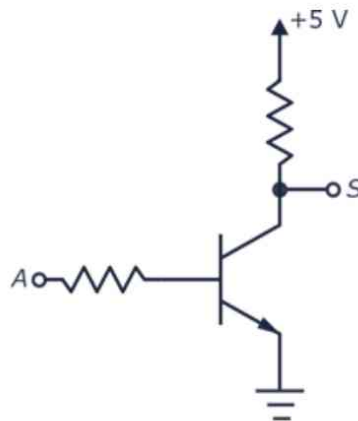


Figura 11.5. Implementación de la función NOT con transistores

Es importante, por tanto, que recuerde que con diodos y transistores pueden llevarse a cabo en la práctica todas las funciones lógicas básicas y derivadas y, combinándolas, todas las funciones lógicas que la mente pueda imaginar.

11.6 FAMILIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITALES

A pesar de que las generalidades sobre los circuitos integrados (CI) se verán con detalle en el próximo capítulo, resulta interesante en este momento indicar un par de notas sobre estos circuitos digitales.

Según el diseño de fabricación pueden ser **bipolares** o **MOS**, dependiendo del tipo de transistor utilizado en su construcción (bipolares o MOSFET). Dentro de cada tipo de tecnología, a su vez, existen diferentes familias. Una **familia** es un conjunto de circuitos que comparten un diseño común y son eléctricamente compatibles.

En lo que respecta a la tecnología **bipolar**, la familia más empleada es la **TTL** (Transistor-Transistor Logic) y en la tecnología **MOS**, la familia **CMOS** (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). En general, **TTL** se caracteriza por su alta velocidad y **CMOS** por su bajo consumo eléctrico.

Independientemente de la tecnología o familia que se emplee, los estados lógicos **bajo** (0) y **alto** (1) se corresponden con estados de tensión eléctrica, generalmente 0 V y +5 V, respectivamente.

11.7 CIRCUITOS DE PULSOS

La mayoría de los circuitos digitales que se emplean en la práctica usan señales que modifican su estado con el tiempo. Estas señales con las que trabajan los circuitos las llamamos **pulsos**. Decimos que un pulso es **monoestable** cuando la señal pasa de un estado lógico a otro y regresa al inicial en un cierto intervalo de tiempo. Un pulso será **astable**, o también llamado **tren de pulsos**, cuando las señales varían su estado lógico de forma continuada y periódica; es decir, que pasan de un estado bajo a uno alto y luego de nuevo a uno bajo, y así sucesivamente (figura 11.6).

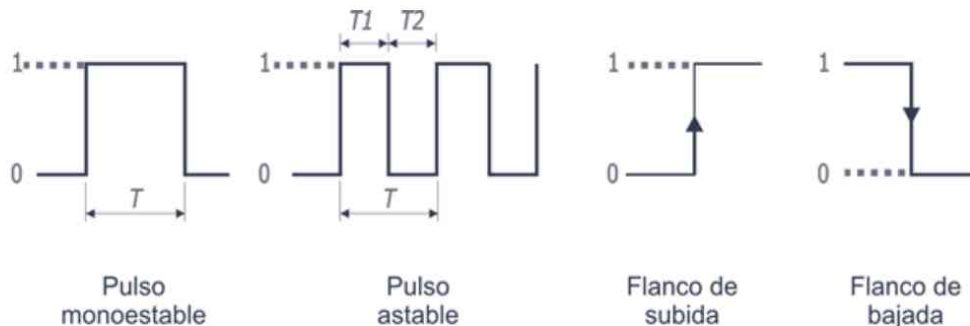


Figura 11.6. Pulsos comunes empleados en los circuitos digitales

Uno de los circuitos integrados más conocidos en la producción de pulsos monoestables y astables es el **CI 555**, que veremos a continuación.

11.8 CIRCUITO INTEGRADO 555

El CI 555 es un **circuito multivibrador** o **temporizador** capaz de producir pulsos monoestables y astables. En modo *monoestable* el tiempo está controlado con precisión por una resistencia, R_a , y un condensador, C . En modo *astable*, por el contrario, la frecuencia se controla mediante dos resistencias, R_a y R_b , y un condensador.

El CI 555 presenta 8 terminales e, independientemente del encapsulado, su distribución es la de la figura 11.7.

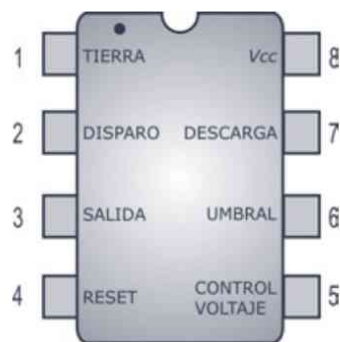


Figura 11.7. Distribución de pines en el CI 555. V_{cc} es la tensión de alimentación, entre 4,5 y 16 V

Cuando el 555 funciona en **modo monoestable** (figura 11.8) y una vez que se haya producido la señal de disparo, la salida se mantendrá en estado alto, V_{cc} , durante un tiempo determinado por la ecuación:

$$t = 1,1 \cdot R_a \cdot C$$

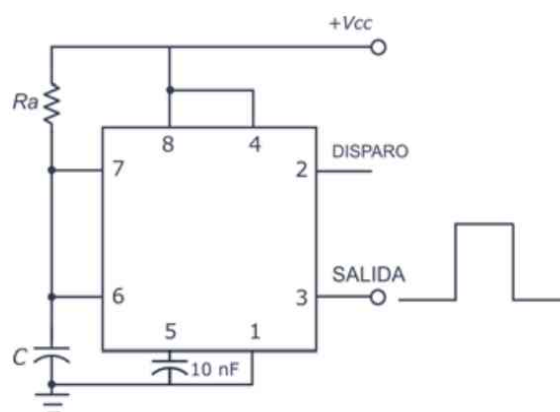


Figura 11.8. Aplicación del CI 555 en funcionamiento monoestable

Cuando el CI 555 funciona en **modo astable** (figura 11.9) genera una onda cuadrada periódica que tendrá como valor alto aproximadamente V_{cc} y como valor bajo, 0 V. El tiempo que permanece la salida en el valor alto es:

$$t_a = 0,693 \cdot (R_a + R_b) \cdot C$$

Y en el valor bajo:

$$t_b = 0,693 \cdot R_b \cdot C$$

Así pues, la frecuencia de la onda cuadrada generada a la salida del circuito integrado será:

$$f = \frac{1,44}{(R_a + 2R_b) \cdot C}$$

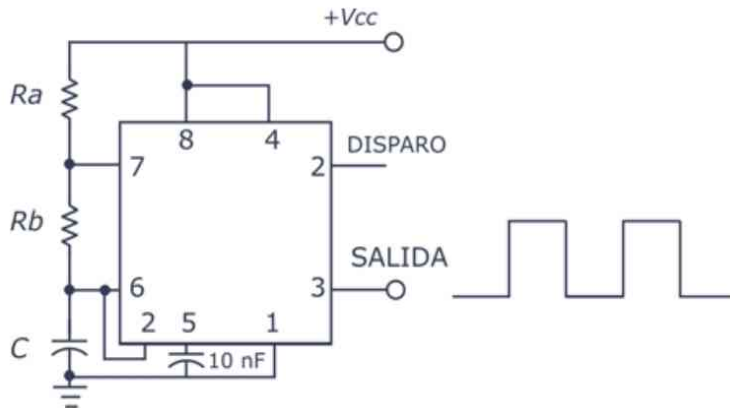


Figura 11.9. Aplicación del CI 555 en funcionamiento astable

Capítulo 12

CIRCUITOS INTEGRADOS

Los **circuitos integrados** (CI), son seguramente los componentes electrónicos más importantes y versátiles de la electrónica actual. Un CI es un circuito electrónico completo que puede tener desde varios cientos hasta decenas de millones de transistores en un único y diminuto encapsulado.

Popularmente se denominan *chips* y a ellos les debemos el grado de desarrollo tecnológico que hemos alcanzado. Teléfonos móviles, lectores de DVD, televisores TFT, LED o de plasma e incluso los ordenadores, no podrían existir tal como los conocemos hoy sin la existencia de los circuitos impresos e integrados. En estos componentes electrónicos todos los elementos que los constituyen, como resistencias, condensadores, diodos, transistores y las pistas conductoras se organizan completamente sobre una oblea semiconductora de silicio muy pequeña (figura 12.1).

En unos cuantos cm^2 pueden aparecer hasta varios millones de transistores y componentes que realizan funciones especializadas; muchas de ellas únicas. Una vez realizado el circuito integrado, la pastilla se encapsula en un recubrimiento plástico o cerámico que contiene las conexiones, terminales o **pines**, a través de los cuales el chip interactúa con el resto de componentes electrónicos que pudieran existir en el circuito impreso (figura 12.2).

La tecnología actual sigue logrando miniaturizaciones cada vez más minúsculas, lo que hace que los CI sean más y más pequeños, económicos y rápidos.

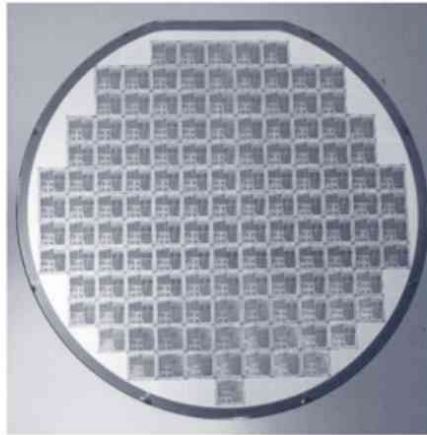


Figura 12.1. Oblea semiconductor de silicio

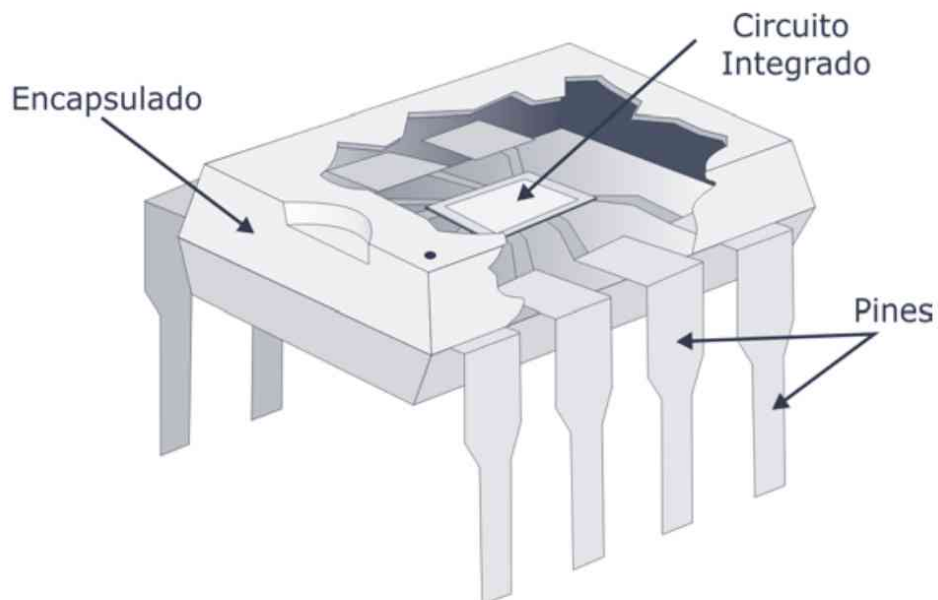


Figura 12.2. Estructura de un chip. Se observa el circuito integrado propiamente dicho, el encapsulado y los pines o conexiones eléctricas

12.1 HISTORIA DE LOS CI

La invención del proceso planar en 1959 por Jean Hoerni, de Fairchild Semiconductors, en Silicon Valley, abrió la posibilidad de integrar en una única pastilla de silicio un circuito de componentes miniaturizados con una fabricación de precisión. El paso decisivo en la microelectrónica se

dio entre 1958 y 1959 con la invención del circuito integrado por Jack Kilby, ingeniero de Texas Instruments y Robert Noyce, de Fairchild Semiconductors.

El primer circuito integrado comercial fue fabricado por Fairchild en 1961 y desató una explosión tecnológica: en sólo tres años, entre 1959 y 1962, los precios de los semiconductores cayeron un 85% y en los diez años siguientes la producción se multiplicó por veinte, el 50% de la cual fue para usos militares.

El principal objetivo de los circuitos integrados es aumentar la densidad de componentes dentro del mismo. A fecha de hoy los procesadores Quad-Core (cuatro núcleos), de Intel, poseen más de 800 millones de transistores y para el 2011 se esperan microprocesadores con más de 1.000 millones de transistores (figura 12.3).



Figura 12.3. Los microprocesadores son los CI más avanzados hasta la fecha

12.2 TIPOS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Los circuitos integrados, dependiendo de su función, del tipo de señales que manejan y la tecnología de fabricación, pueden ser de varios tipos. La complejidad de un chip depende en gran medida del número de componentes que lo componen. Cuanto mayor sea el número de componentes integrados, mayor habrá de ser el *nivel de integración*. Desde este punto de vista los CI podrán ser:

- De pequeña escala de integración (SSI).
- De mediana escala (MSI).
- De alta escala (LSI).

- De muy alta escala (VLSI).

Dependiendo del tipo de señal que manejan, los CI podrán ser:

- **Analógicos o lineales:** como los amplificadores operacionales y los reguladores de tensión, que trabajan con señales analógicas.
- **Digitales:** como los biestables, puertas lógicas, memorias de ordenadores o microprocesadores, que operan con señales digitales.
- **Mixtos:** como los convertidores analógicos/digitales, los sintetizadores de sonidos, etc.

En función del método de fabricación los CI pueden ser monolíticos o híbridos. Los **monolíticos** se caracterizan por poseer todos sus componentes electrónicos asociados e interconectados entre sí de forma inseparable (figura 12.4A). Es la tecnología más empleada en la producción industrial de circuitos integrados.

Los **híbridos**, por otro lado, se caracterizan porque reúnen en el mismo encapsulado componentes integrados con componentes discretos; pero cada uno de ellos conserva su propia identidad; es decir, es separable del resto. En muchos casos la cápsula no está *moldeada*, sino que simplemente consiste en una resina epoxi que protege el circuito (figura 12.4B). En la práctica la mayor parte de los CI híbridos se destinan a tareas específicas, como módulos de RF, fuentes de alimentación, circuitos de encendido para automóvil, etc.

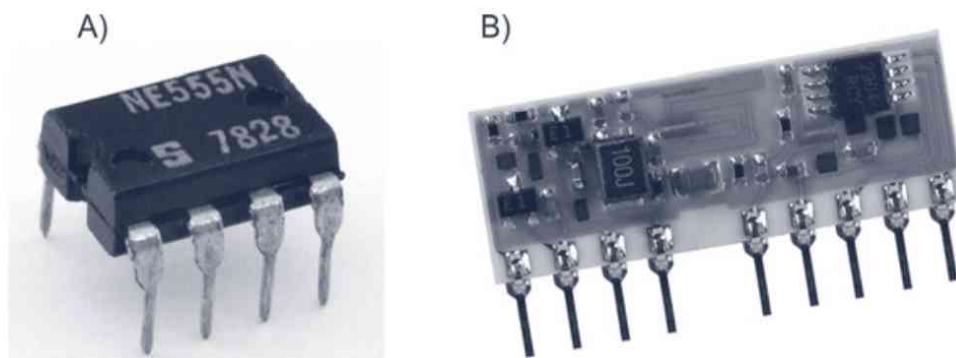


Figura 12.4. Circuitos integrados según su método de fabricación.
Monolítico (A). Híbrido (B)

12.3 ENCAPSULADOS E IDENTIFICACIÓN

El encapsulado de los CI constituye otra forma de clasificación. Existen dos grupos fundamentales:

- Montaje por inserción.
- Montaje superficial.

Los CI de montaje por inserción son aquéllos cuyos pines pasan a través de los orificios del circuito impreso y se sueldan por el lado de las pistas (figura 12.4A). Estos chips suelen presentar un encapsulado tipo **DIP** (*Dual In-line Package*) o de doble fila, en los que el terminal número 1 se identifica mediante un punto marcado en la parte superior del encapsulado. Los demás pines se cuentan en forma de *U* siguiendo el sentido antihorario. Los más comunes son los encapsulados de 6, 8, 14, 16, 20, 24, 40 y 64 pines (figura 12.5). Actualmente, debido al enorme número de pines necesarios, han surgido nuevos encapsulados (figura 12.6).

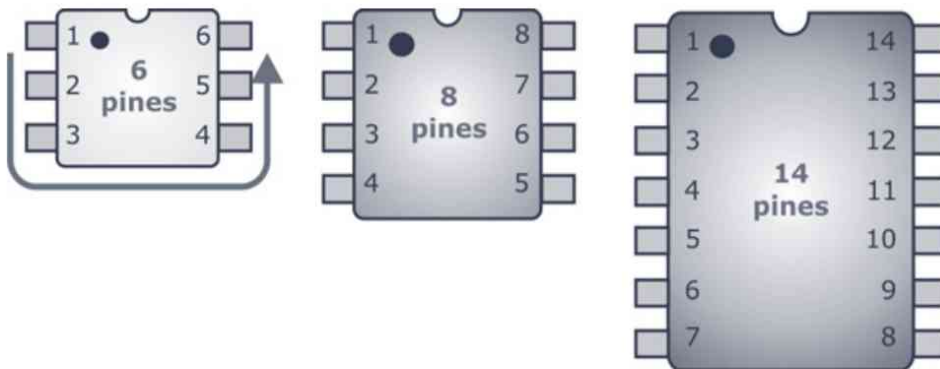


Figura 12.5. Algunos ejemplos de encapsulados tipo DIP (Dual in Line Package). Observe que los pines de los CI se numeran en forma de U



Figura 12.6. Encapsulado de un microprocesador

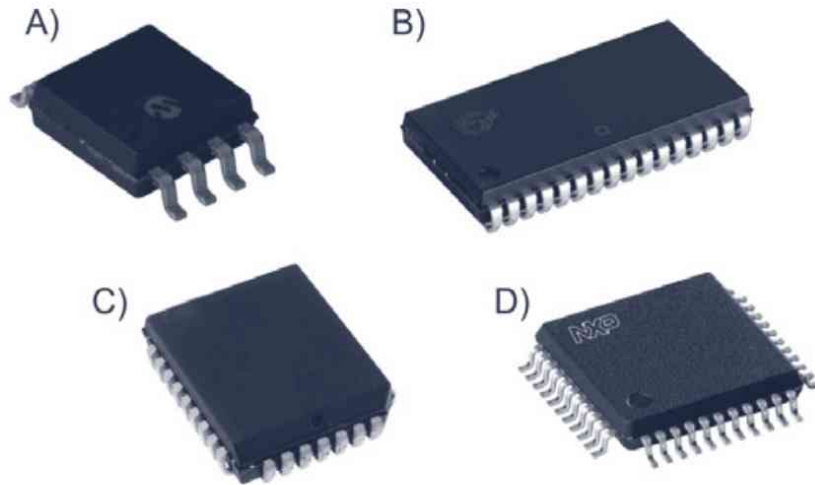
Los CI de montaje superficial se sueldan directamente a la superficie del circuito impreso, puesto que en esta tecnología no existen taladros en los mismos. Tienen un tamaño mucho más pequeño que los anteriores, lo que hace que cada vez sean más utilizados para conseguir nuevas miniaturizaciones.

En la actualidad existe un gran número de encapsulados para dispositivos SMD (figura 12.7):

- **SOIC (Small Outline Integrated Circuit):** es similar al DIP pero exactamente con la mitad de su tamaño. Hay un encapsulado especial para circuitos integrados grandes llamado SOLIC (Small Outline Large Integrated Circuits). Se pueden conseguir con terminales *ala de gaviota* en sus dos lados para lograr un máximo aprovechamiento de su superficie para CI con menos de 20 terminales.
- **SOJ (Small Outline J-leaded):** con terminales en J; se usa habitualmente para encapsular memorias DRAM. En el caso del SOJ los terminales están solamente en dos lados. Este encapsulado presenta numerosas variaciones de tamaño.
- **TSOP (Thin Small Outline Package):** tienen de 20 a 48 terminales en ala de gaviota. Surgieron por la necesidad de poseer un encapsulado para circuitos integrados que se pudiese implantar tan fácilmente como un SOIC pero con un cuerpo aún más pequeño.
- **PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier):** posee los terminales doblados por debajo del cuerpo en forma de J. Son mayoritariamente cuadrados, con el mismo número de pines en cada uno de los cuatro lados, excepto los de 22, 28 y 32 terminales, que son rectangulares.
- **QFP (Quad Flat Pack):** son encapsulados de paso especialmente pequeño. Se desarrolló a finales de los 80 como solución a los circuitos integrados que excedían los límites del PLCC. El tipo de terminal de éstos es en ala de gaviota.

Los CI se identifican por una referencia de números y letras impresa sobre el encapsulado, además de la marca del fabricante y otros datos identificativos. Como ejemplo podemos citar LM7805, LM555, AD597, ICL7611, etc. Las letras identifican generalmente al fabricante. Así, LM

corresponde a National Semiconductor, AD a Analog Devices, MC a Motorola, ICL a Intersil, etc.



*Figura 12.7. Encapsulados habituales en circuitos integrados de montaje superficial.
A) SOIC. B) SOJ. C) PLCC. D) QFP*

Es en la actualidad tal la cantidad de circuitos integrados y fabricantes que sólo a través de los manuales de cada empresa o de Internet, podemos saber la función de un determinado circuito y su diagrama de pines.

12.4 CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES

Estos son uno de los principales tipos de circuitos integrados y sus máximos representantes son los amplificadores operacionales, de los que hablamos en el capítulo 10 y los reguladores de voltaje.

12.4.1 Reguladores de voltaje

Los CI reguladores de voltaje cumplen dos labores fundamentales: entregan un voltaje constante de corriente continua a la salida de las fuentes de alimentación y evitan el rizado del voltaje que entrega el rectificador, como veremos en el capítulo 14. Existen diferentes tipos de reguladores integrados. Se comercializan en versiones con salida positiva o negativa y sus principales características son la tensión de CC de salida y la máxima corriente que pueden manejar.

Los valores de voltaje más utilizados por los circuitos integrados reguladores de tensión fijos son: 5, 6, 10, 12, 15, 18 y 24 V y se fabrican con valores nominales de corriente de 100 mA, 500 mA, 1 A, 3 A y 10 A. En cuanto a los variables los hay entre los 1,2 y 37 V con corrientes de entre 100 mA y 5 A. Los principales encapsulados son el TO-3, TO-39, TO-92 y TO-220.

Los circuitos integrados reguladores con salida fija más usuales son los de la serie 78XX (tensiones positivas) y 79XX (tensiones negativas), donde las dos últimas cifras indican la tensión de salida regulada.

12.5 CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITALES

Estos son los circuitos más importantes en la electrónica moderna, pues han sido los cerebros de calculadoras, relojes digitales, ordenadores, sistemas de audio y vídeo digitales, sistemas de control, etc.

El encapsulado que presentan es similar al de otros circuitos integrados, pero su funcionamiento es completamente diferente. Estos chips trabajan con niveles altos (1) y bajos (0) de tensión, como ya vimos en el fundamento de la electrónica digital en el capítulo 11. De forma genérica podemos decir que un CI digital es un componente al que llegan señales digitales y devuelve a su salida otro conjunto de señales digitales. Las salidas y entradas se relacionan a través de la función o funciones lógicas que el circuito implementa.

12.5.1 Tipos de CI digitales

Como ya se comentó en el capítulo 11, los circuitos integrados digitales se clasifican en dos grandes familias: TTL y CMOS, en función del tipo de transistores que se emplee en el proceso de fabricación. No obstante lo anterior, la clasificación más importante se hace según la función que realizan, y así distinguimos: puertas lógicas, codificadores y decodificadores, multiplexores, multivibradores (monoestables y biestables o *flip-flops*), sumadores, comparadores, memorias, microprocesadores, etc. En la figura 12.8 se muestran los diagramas de algunos de los circuitos integrales digitales más habituales. Circuitos más complejos, como microcontroladores o memorias, se representan en los esquemas por medio de un rectángulo con sus terminales numerados de entradas y salidas con sus respectivos nombres abreviados.

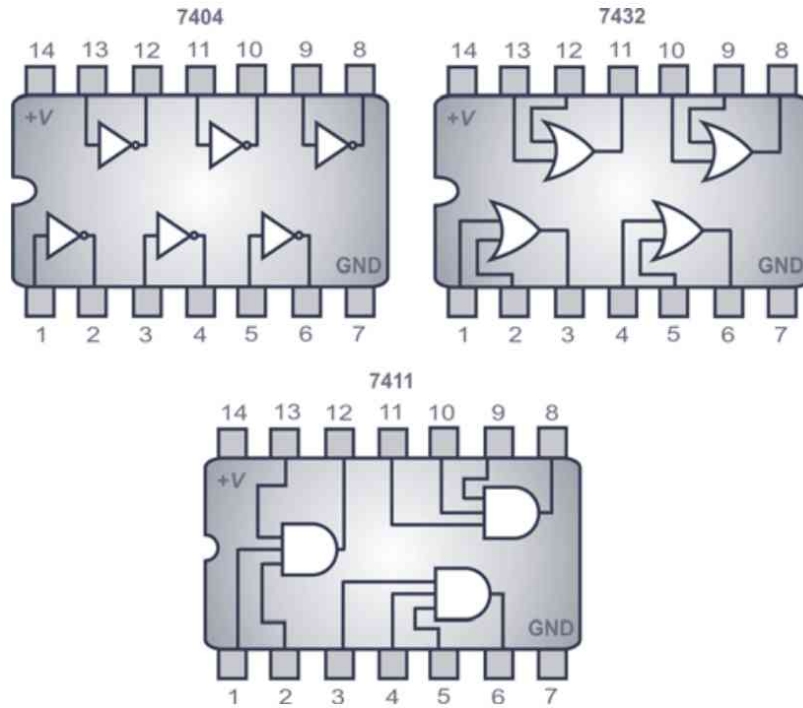


Figura 12.8. Diagramas de algunos tipos de CI digitales habituales. Se observa el CI 7404, formado por 6 puertas NOT; el CI 7432, con 4 puertas OR y el CI 7411, con sus 3 puertas AND de 3 entradas

Capítulo 13

CIRCUITOS IMPRESOS

Los **circuitos impresos** forman una parte importante dentro del conjunto de componentes electromecánicos y se encuentran presentes en todas las aplicaciones de la electrónica moderna. Gracias a ellos se consiguió eliminar la gran maraña de cableado que formaba parte de los antiguos circuitos electrónicos al interconectar directamente los componentes. Los circuitos impresos y los circuitos integrados, que acabamos de ver en el capítulo 12, han conseguido revolucionar la ciencia de la electrónica hasta tal punto de que es prácticamente imposible encontrar una aplicación que no posea uno o varios circuitos impresos e integrados en su interior. Permiten, asimismo, que aficionados, estudiantes o profesionales de la electrónica puedan fabricar, incluso con una gran calidad, sus propios circuitos impresos, como veremos más adelante.

13.1 ¿QUÉ ES UN CIRCUITO IMPRESO?

Un circuito impreso, que verá casi siempre escrito con las iniciales **PCB (Printed Circuit Board)**, es una placa de material aislante sobre la que aparecen unas delgadas líneas de cobre por una o las dos caras y que reciben el nombre de **pistas**. Éstas actúan de igual forma que lo haría un cableado físico. Los extremos de estas pistas de cobre presentan unos orificios a través de los cuales se insertan y sueldan los terminales de los diferentes elementos que forman el circuito (figura 13.1).

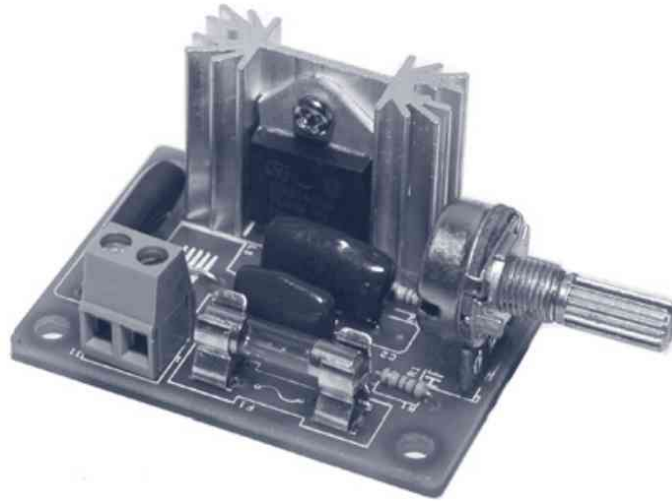


Figura 13.1. Componentes montados sobre un circuito impreso

Las ventajas fundamentales de trabajar con circuitos impresos son las siguientes:

- Favorece el ensamblado y reparación.
- Facilitan las uniones y evita los errores de conexión.
- Permite lograr mayores miniaturizaciones en las aplicaciones.

13.2 TIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS

Los **circuitos impresos** pueden ser **rígidos** o **flexibles** y se clasifican en función del número de capas conductoras que presentan. Tanto unos como otros pueden ser de una cara, dos caras o multicapa, según posean una, dos o varias caras conductoras.

Los de tipo rígido de una sola cara son los más empleados en circuitos sencillos y ellos son los que aprenderemos a diseñar más adelante. Para aplicaciones más complejas, en las que se requieran varios CI, como las memorias de ordenador, se requieren PCB de doble cara (figura 13.2) y en circuitos de una enorme complejidad, como una placa base de ordenador, son necesarios circuitos impresos multicapa.

En la figura 13.3 puede observar un circuito impreso flexible de doble cara con tecnología de montaje superficial.

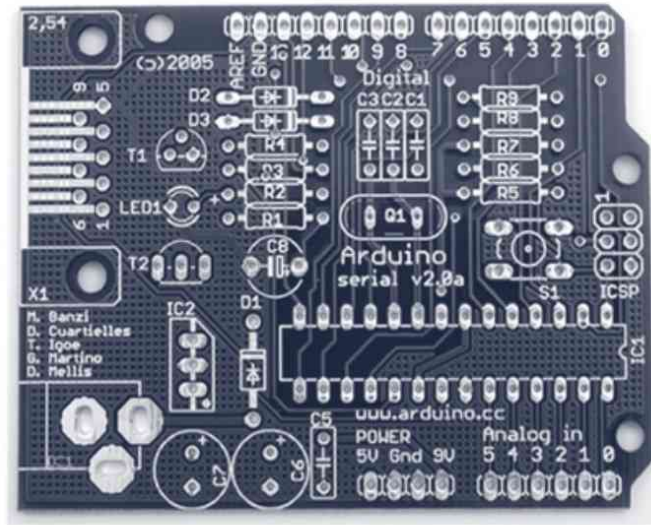


Figura 13.2. Circuito impreso rígido de doble cara

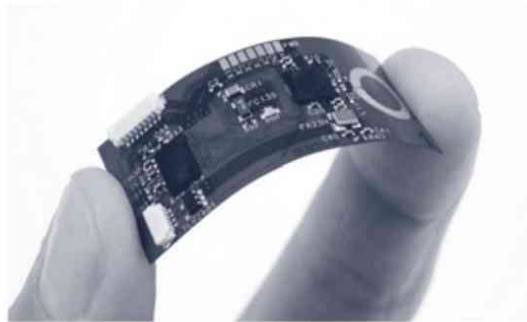


Figura 13.3. PCB flexible de doble cara con tecnología de montaje superficial

Existe un tipo especial de circuitos impresos que llamamos *universales*, diseñados a partir de la estructura básica de la placa de pruebas, tablero de conexiones o protoboard (capítulo 2). Permiten construir cualquier circuito, ya que poseen una serie de orificios pasantes para montar los componentes (figura 13.4) y presentan líneas de conexión prefabricadas (figura 13.5).

Los circuitos impresos universales (UPCB) presentan ventajas de un protoboard y de un circuito impreso en la misma placa; es igual de versátil que el primero y posee la misma facilidad de colocación de los componentes y la sencillez de soldadura de los segundos. Esta placa permite realizar cualquier conexión, ya que pueden usarse cables para realizar cruces entre sí que no se podrían realizar en un circuito impreso.

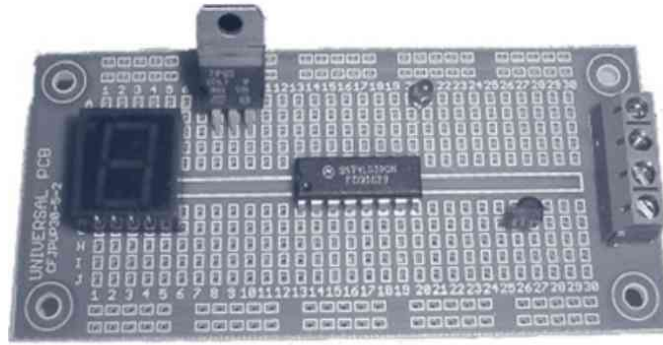


Figura 13.4. Circuito impreso universal visto desde la cara de los componentes

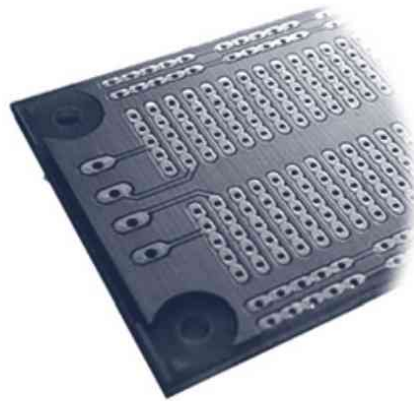


Figura 13.5. Detalle de la cara de las soldaduras de un UPCB

13.3 ESTRUCTURA DE UN PCB

La fabricación de un circuito impreso comienza con una lámina aislante de fibra de vidrio o baquelita. Sobre una o las dos caras, dependiendo del tipo de PCB, se deposita, mediante un proceso químico denominado electrolisis, una finísima capa de cobre. El espesor nominal suele tener 35 micras (figura 13.6).

Los circuitos de baquelita se emplean en circuitos de corriente continua y en aquéllos que manejan señales de baja frecuencia. Las placas de fibra de vidrio, más costosas, presentan unas características inmejorables de aislamiento, incluso en altas frecuencias y con condiciones climáticas extremas de humedad y temperatura. Tiene, además, una mayor resistencia mecánica y no tiende a fracturarse con el tiempo como la baquelita.

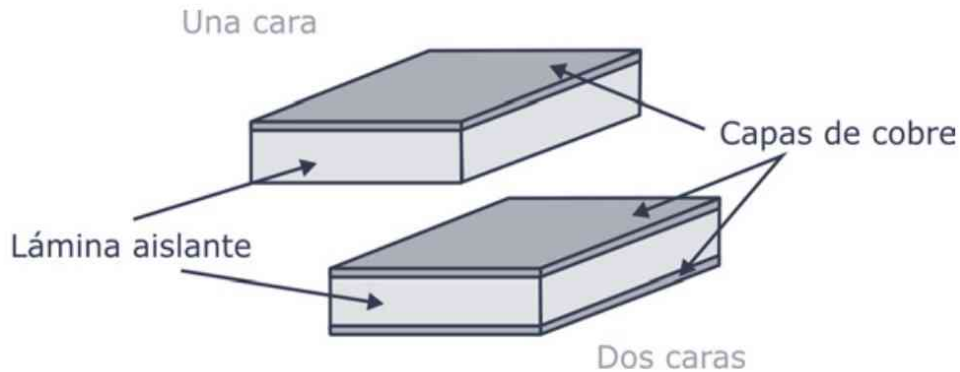


Figura 13.6. Plaquetas para la fabricación de circuitos impresos de una o dos caras

13.4 BREVE HISTORIA DE LOS PCB

En 1903, Albert. Hanson, presentó una patente de un modelo cercano a lo que son ahora los circuitos impresos. En este proceso se adherían conductores a un material aislante con el objetivo de utilizarse en los sistemas telefónicos de la época. Entre 1923 y 1939 se registran varias patentes para usar diferentes métodos para hacer conexiones impresas sobre láminas aislantes.

Antes de esta tecnología, las interconexiones entre los distintos elementos de un circuito se hacían por medio de cables, lo que resultaba un proceso muy engorroso y complejo; no sólo a la hora de interconectar los componentes, sino también, y aún más, en los procesos de reparación y mantenimiento.

El 6 de septiembre de 1936 se registró una patente de un medio para "la producción de aparatos y componentes electrónicos de corriente débil". Su aprobación se otorgó en 1948 como un "proceso basado en la impresión de la representación de un material conductor". Se considera al doctor Paul Eisler, un científico austriaco residente en Londres, como el inventor de los circuitos impresos.

Durante los primeros años de la segunda guerra mundial, la necesidad de fabricar aparatos electrónicos muy pequeños para las comunicaciones y especialmente la urgencia de fabricar dispositivos como la espoleta de proximidad, que hacía estallar las bombas, fueron los acontecimientos que impulsaron el desarrollo de los circuitos impresos.

13.5 ¿CÓMO SE DISEÑA UN PCB?

Cuando se desarrolla un proyecto, la primera prueba de funcionamiento, tras el análisis del circuito por ordenador, se realiza sobre el tablero de conexiones o portoboard. Después de validarse se debe construir el circuito impreso, que permitirá disponer de forma sencilla todos los componentes de manera segura.

Un circuito impreso tiene una serie de círculos o pads con una perforación por donde se insertan y sueldan los terminales de los componentes y una serie de trazos de cobre que forman las pistas que constituyen las conexiones que completan el circuito (figura 13.7).

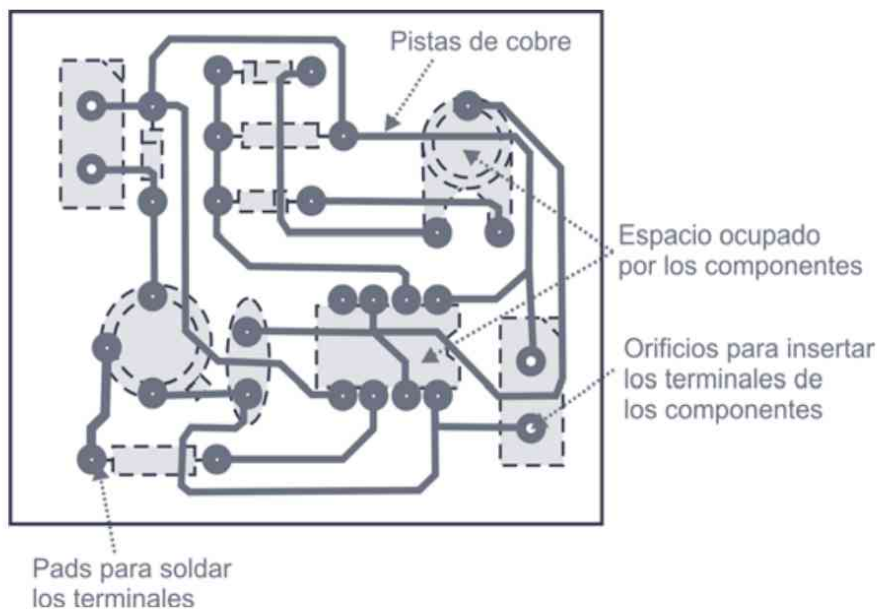


Figura 13.7. Vista inferior de un circuito impreso

El diseño de un PCB tiene dos aspectos principales. El primero es ubicar ordenadamente los diferentes componentes que lo conforman en una superficie que debe de tener un tamaño óptimo; es decir, ni demasiado grande ni demasiado pequeño. El segundo aspecto es conectar entre sí los diferentes terminales de los componentes de forma que queden impresas en el cobre todas las conexiones necesarias. El diseño es una labor relativamente laboriosa. Se han de conocer la forma y tamaño de los componentes y tener la habilidad de disponerlos de modo ordenado y en el menor espacio posible. El diseño acaba con un dibujo a escala 1:1 que se transfiere a la lámina de cobre en un proceso que explicaremos en breve.

13.5.1 Pasos para elaborar un PCB

Todo diseño de un circuito impreso comienza siempre con el diagrama esquemático del circuito (figura 13.8). Con esta información hemos de llegar a elaborar la plaqueta donde se montarán y soldarán los componentes (figura 13.9).

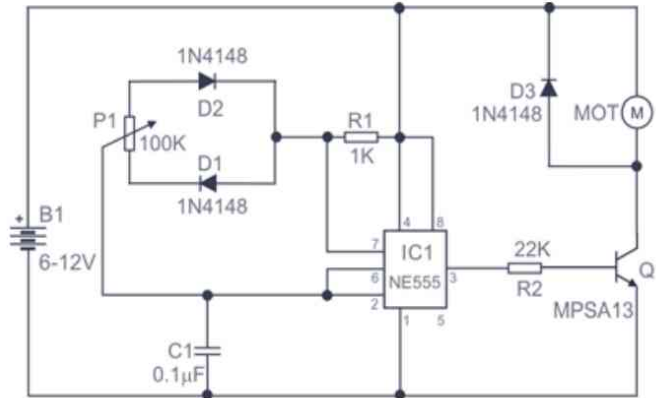


Figura 13.8. Diagrama esquemático de un circuito. Éste constituye el primer paso en el diseño de todo PCB

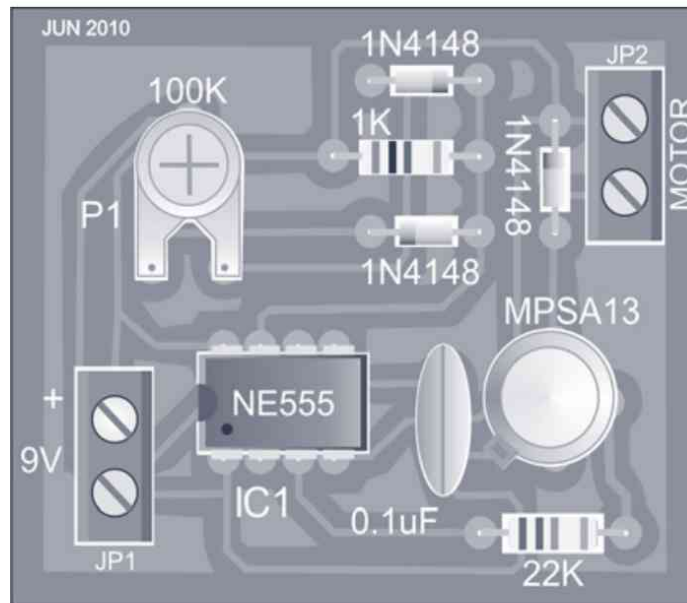


Figura 13.9. Circuito impreso con los componentes ubicados en sus respectivas localizaciones

El diagrama debe ser lo más claro posible y poseer el valor exacto de sus componentes, bien sea de forma directa; por ejemplo 22K para una resistencia, o indicados con referencias C1, D1, etc., y que exista una lista completa de materiales con todos los datos necesarios. Lo más recomendable antes de diseñar el PCB definitivo es poseer todos los componentes en mano, pues su forma y tamaño pueden variar de fabricante en fabricante.

Para fabricar un circuito impreso casero que podamos usar en nuestros propios diseños con total garantía, debemos seguir los siguientes pasos:

1. Diseñar, a mano o por ordenador, todos los trazos que constituirán las pistas que conecten los componentes según indique el diagrama esquemático.
2. Trasladar el diseño a la superficie de la lámina de cobre.
3. Eliminación del cobre sobrante para que únicamente queden en el circuito las pistas conductoras.
4. Perforación de los orificios para los terminales de los componentes.

En la figura 13.10 se muestra un circuito impreso una vez eliminado el cobre sobrante y realizado los taladros para los terminales.

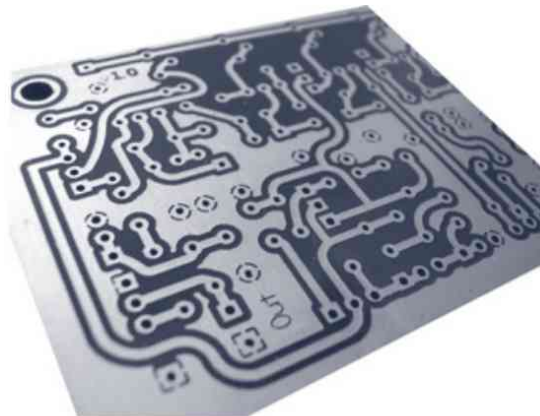


Figura 13.10. Detalle de las pistas de un PCB una vez eliminado el excedente de cobre y realizado los taladros para los terminales

La parte más importante de todo este proceso es el propio diseño de las pistas del circuito impreso y los círculos o pads donde se ubicarán los terminales de los componentes del circuito para su posterior soldadura. La transferencia del diseño a la lámina virgen de cobre se puede realizar por diferentes métodos: mediante un rotulador de tinta resistente al ácido (Edding, Staedtler lumocolor, etc.), empleando láminas de transferencia de tóner para impresoras láser o fotocopadoras o mediante insolación UV de plaquetas fotosensibles. Aquí nos ocuparemos de los dos primeros por ser más sencillos y económicos.

La eliminación del cobre sobrante se hace sumergiendo la lámina sobre la que ya está dibujado el diseño de pistas y *pads* en una disolución acuosa corrosiva que ataca el metal y lo disuelve, como explicaremos más adelante.

Para finalizar, los taladros para los terminales de los componentes del circuito permiten el montaje de los elementos que irán sobre la cara de la plaqueta que no tiene cobre. Sus terminales se soldarán en los *pads* correspondientes del lado de las pistas.

13.6 TÉCNICAS DE DISEÑO DE UN PCB

Existen diferentes métodos para diseñar circuitos impresos, como ya hemos comentado. Según los conocimientos y destrezas que poseamos podemos usar métodos manuales o por ordenador.

13.6.1 Diseño manual

Es el método más empleado por los aficionados. Su conocimiento resulta esencial para avanzar en métodos más complejos que nos permitan realizar circuitos cada vez más profesionales. El diseño manual consiste en elaborar con los elementos comunes del dibujo técnico: lápiz, reglas, plantillas, etc., el dibujo correspondiente a las pistas del circuito impreso.

El primer paso es dibujar un borrador con las medidas aproximadas, partiendo de la ubicación de los componentes según el diagrama eléctrico. A continuación se va completando y corrigiendo las líneas hasta lograr un diseño aceptable. Una vez corregido se pasa a tinta y de ahí se hace un positivo o negativo fotográfico para fabricar el PCB en serie.

13.6.2 Diseño manual con ordenador

Este proceso es intermedio entre el anterior y el diseño asistido por ordenador, con *software* específico para realizar circuitos impresos (Eagle, ExpressPCB, FreePCB, Merlin PCB, Orcad, PCBelegance, etc.). En el caso que nos ocupa se reemplazan las herramientas manuales del dibujo técnico por las de un programa de dibujo por ordenador: CorelDraw o Autocad, entre el *software* propietario o QCAD, de RibbonSoft, que posee versiones gratuitas para los diferentes sistemas operativos.

El proceso es exactamente el mismo, salvo que en este caso dibujamos sobre la pantalla del ordenador los diferentes elementos del circuito: pistas, pads y perforaciones. El empleo de estos programas de dibujo vectorial permite generar líneas muy delgadas así como puntos de conexión pequeños y próximos que resultaría muy difícil de realizar a mano. Podemos borrar y repetir cuantas veces sea necesario y hacer modificaciones de una manera mucho más sencilla que a lápiz y tinta. Una vez finalizado el diseño se imprime con una impresora de chorro de tinta o láser.

13.6.3 Diseño asistido por ordenador (CAD)

En los métodos anteriores el trazado de las pistas y la ubicación de los componentes se hacen manualmente, aunque se emplee un ordenador. En el caso del diseño asistido por ordenador existen programas específicos, como los indicados en el punto anterior, que guían al usuario paso a paso hasta obtener el PCB definitivo, tenga una cara conductora, dos o varias.

Independientemente del *software* empleado, el proceso comienza realizando en el mismo programa el esquema eléctrico del circuito. Luego, el propio ordenador, genera una lista de componentes y conexiones. Con ésta se van ubicando uno por uno, de forma manual o automática, los componentes en un área definida. A continuación, el propio ordenador dibujará las pistas y conexiones.

La gran utilidad de este método reside en la realización de circuitos muy complejos. Para PCB que todo aficionado desee realizar para sus pequeños proyectos, basta con conocer los rudimentos del diseño manual, con o sin ordenador y por ello es el que vamos a ver en detalle.

13.7 DISEÑO MANUAL DE UN PCB

Como acabamos de ver en el punto anterior, el primer paso para el diseño, una vez verificado su funcionamiento en un tablero de conexiones según su diagrama esquemático, consiste en tener físicamente todos los componentes, ya que de su forma, medidas y configuración de los terminales depende el diseño del circuito.

Después se debe establecer la forma física general del aparato para determinar cómo se montan y distribuyen los distintos elementos externos, como interruptores, potenciómetros, cables de alimentación, etc. Esto determina los puntos de conexión de éstos con los componentes electrónicos del circuito. Veamos detalladamente los pasos que habremos de dar para diseñar manualmente, con o sin ordenador, un circuito impreso.

13.7.1 Puntos de soldadura (*pads*)

Estos puntos, denominados también *pads*, son los que están dedicados a los taladros por donde se insertan los terminales de los componentes para su posterior soldadura.

En la figura 13.11 se recogen las formas más comunes: círculos, cuadrados, óvalos y otras formas compuestas para transistores, circuitos integrados, conectores, etc. El tamaño de los puntos depende del tipo de terminal que se va a insertar y soldar sobre él.

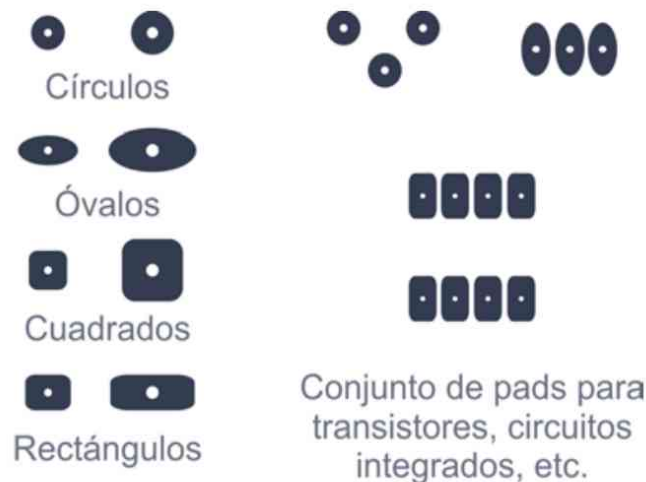


Figura 13.11. Formas más usadas para los puntos de conexión o pads en el diseño de los circuitos impresos

13.7.2 Componentes electrónicos

En todo diseño, para que pueda afrontarse con éxito, se requiere un buen conocimiento sobre la forma, tamaño, medida de los componentes y tipos de terminales; por lo que es necesario que en la fase de diseño tengamos a mano todos los componentes que formarán el circuito. También es importante conocer el orden de magnitud de las corrientes que circularán por las distintas líneas del circuito, pues de ello depende el grosor de las pistas y la separación entre ellas.

13.7.2.1 MEDIDAS DE LOS COMPONENTES

El tamaño de los circuitos impresos depende de las medidas de sus componentes. Por ello debemos conocer la forma, tamaño y la cantidad de terminales, disposición y separación. Cada terminal debe ir a un punto de conexión. En algunos componentes existe, además, una separación entre su cuerpo y los *pads*. En las resistencias, diodos y condensadores de tipo axial, por ejemplo, debemos dejar al menos un milímetro entre su cuerpo y el punto en donde se dobla el terminal (figura 13.12).

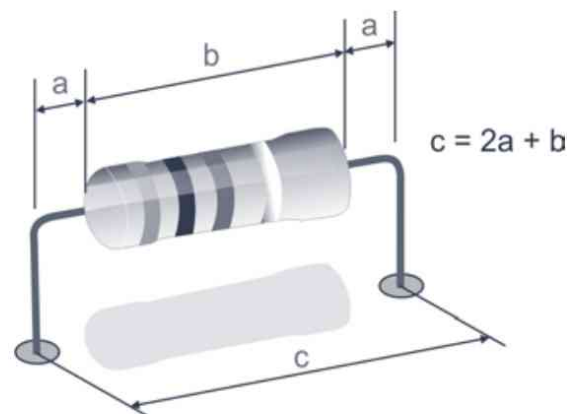


Figura 13.12. Medidas para el espacio que ocupa por un componente axial

En los transistores, cuya separación entre terminales es muy pequeña, los puntos de conexión se pueden separar hasta permitir que éstos tengan la disposición adecuada para poder realizar el taladro (figura 13.13A). En los circuitos integrados, por su parte, las medidas de los puntos de conexión son fijas, ya que sus terminales son muy cortos y rígidos y por tanto no se pueden desplazar de su localización original (figura 13.13B).

Las medidas de los elementos electrónicos se expresan generalmente en décimas de pulgada; lo que no tiene la mayor importancia, pues puede convertirse a milímetros sin problemas. No obstante, en el caso

de los circuitos integrados la tarea no es tan sencilla, pues la separación entre pines consecutivos es de una décima de pulgada (2,54 mm) y la anchura de los mismos suele ser un múltiplo de dicha unidad. Este es el motivo por el que es bastante recomendable emplear programas de dibujo por ordenador, pues facilita mucho la labor para colocarlos con exactitud en el diseño (figura 13.14).

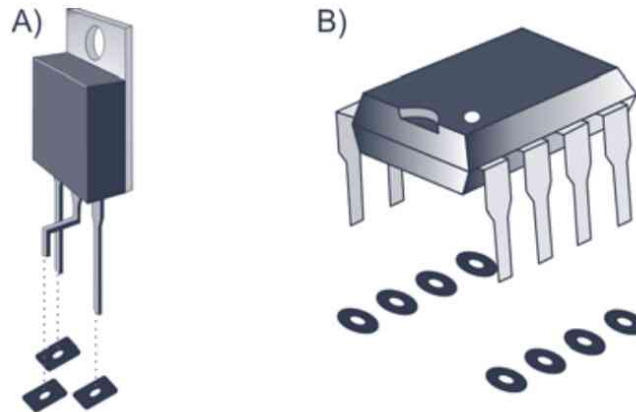


Figura 13.13. Configuración de los puntos de conexión.
A) Transistores. B) Circuitos integrados

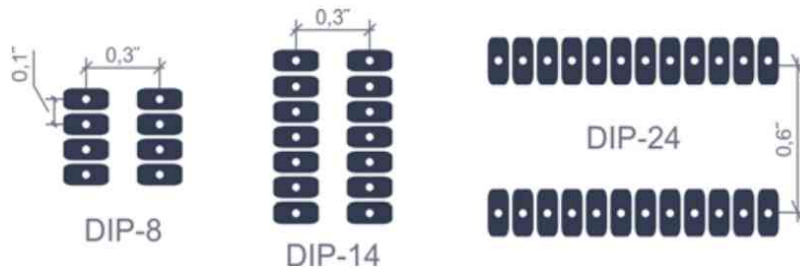


Figura 13.14. Separación de los puntos de conexión en algunos CI

13.7.3 Trazado de las pistas

Las líneas que unen los puntos de conexión en los circuitos impresos deben cumplir con ciertos requisitos en cuanto a anchura y grosor. Si trazamos pistas muy estrechas puede que en el rebajado químico desaparezcan determinadas zonas y por el contrario, si son demasiado gruesas, dejan poco espacio para otras líneas. Es más, la anchura de las pistas determina la intensidad de corriente máxima que pueden soportar esas líneas (a semejanza de las secciones de los cables conductores). En general, para circuitos de baja potencia son suficientes líneas de 1 mm de grosor.

13.7.4 Consejos para el diseño del circuito

Aunque no existen recetas mágicas para alcanzar un diseño funcional y elegante en un circuito impreso, sí es bueno tener una serie de consejos que nos facilitarán dicha labor.

Estudie con detenimiento el diagrama eléctrico. Es muy posible que le surjan varias ideas de cómo distribuir los componentes.

Trabaje en primer lugar con lápiz, ya que es seguro que tengamos que corregir el diseño varias veces antes de acabarlo.

El PCB debe tener el menor tamaño posible, sin que dificulte el ensamblaje y conexión de otros componentes.

Los componentes se deben colocar de forma paralela o perpendicular a los bordes de la plaqueta.

Los elementos que disipan calor, como resistencias, diodos, transistores y CI de potencia, transformadores, etc., necesitan un espacio libre, incluyendo los disipadores, para que no afecten al funcionamiento del resto de componentes.

Tenga especial cuidado en la orientación de los pines de los componentes polarizados (diodos y condensadores electrolíticos) o que tienen una disposición única de los mismos (transistores y circuitos integrados).

Si existe algún componente que necesite un ajuste mecánico, como potenciómetros, condensadores variables, trimmer, etc., se debe dejar un espacio suficiente para manipularlo. Es usual colocarlos cerca del borde del PCB.

13.8 FABRICACIÓN DE UN PCB

Una vez obtenido en el papel el arte final con las medidas reales; bien mediante el método puramente manual, bien ayudados por programas informáticos de dibujo técnico, o incluso utilizando *software* específico de diseño de circuitos impresos, hemos de proceder a trasladar aquél a la lámina de cobre. Veamos a continuación los dos métodos más sencillos y empleados para obtener un circuito impreso que podamos utilizar con éxito en todos los proyectos caseros que se nos ocurran.

13.8.1 Método del rotulador indeleble

Este es el método más recomendado para los que se inician en la electrónica práctica. Es un proceso rápido, sencillo y muy barato.

El método consiste en dibujar sobre la cara de cobre de la plaqueta el arte final o diseño obtenido en el papel. Para ello se emplea un rotulador de tinta indeleble resistente a los ácidos, como Edding o Staedtler lumocolor. Una vez dibujado el diseño sobre la placa virgen se introduce en una solución corrosiva que elimina el cobre no protegido por el rotulador. Todos los elementos que necesitamos para este procedimiento son, por tanto: un granete, un rotulador indeleble, una placa virgen y el compuesto corrosivo.

13.8.1.1 CORTE DE LA PLACA DE COBRE

En función del diseño definitivo, marque sobre la cara de baquelita o fibra de vidrio el tamaño del circuito impreso para, a continuación, realizar el corte con una segueta a las medidas adecuadas. Lije suavemente para eliminar las asperezas que pudieran quedar tras el corte.

13.8.1.2 TRASLADO DEL DISEÑO AL COBRE

Después de haber obtenido la placa con sus medidas adecuadas, hemos de transferir el diseño a la cara del cobre. Para ello hemos de asegurarnos de tener sobre el papel el diseño del circuito visto por abajo (figura 13.7) con unos márgenes de unos dos centímetros por fuera de cada borde del diseño.

Coloque este papel sobre la placa por el lado del cobre y doble los márgenes hacia el lado de la baquelita o fibra de vidrio con el objeto de que no se mueva el dibujo. Puede emplear cinta adhesiva si lo cree necesario.

Con el granete marcamos ahora los puntos correspondientes a los taladros por donde pasarán los terminales de los componentes. Una vez que nos hemos asegurado de que todos los puntos han quedado marcados, retiramos la hoja de papel que nos sirvió de patrón.

Ahora es el momento de proceder a la limpieza minuciosa de la cara de cobre de la placa. Esta labor puede realizarse con lana de acero fina, hasta que el cobre quede bien brillante. Con este paso conseguimos eliminar el óxido que se había depositado sobre la lámina. A continuación limpie con alcohol la superficie para eliminar todo rastro de grasa sobre la

misma. ¡Tenga cuidado de no volver a poner los dedos desnudos sobre el cobre a lo largo de todo el proceso!

Con el rotulador dibujamos a continuación círculos de unos 3 mm de diámetro sobre cada marca del granete. Dejamos secar un momento y repetimos la operación. Una vez marcados los pads, con el mismo rotulador y siguiendo el diseño original, rotulamos las pistas, bien a mano alzada o con una regla. Al igual que con los puntos de conexión, volvemos a repintar suavemente las pistas para cubrir bien el cobre (figura 13.15).

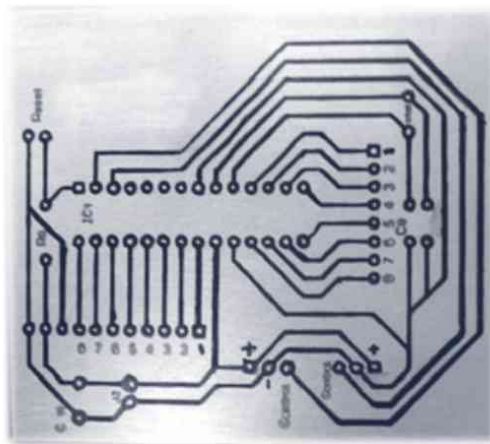


Figura 13.15. Circuito impreso una vez rotuladas las pistas

Una vez la plaqueta se encuentre en la situación recogida en la figura anterior, es el momento de proceder a la eliminación del cobre no cubierto por el rotulador. Este proceso se denomina **rebajado** y se puede efectuar en una cubeta de plástico de tamaño adecuado. El dibujo y rebajado del cobre ha de hacerse en el mismo día, pues el cobre recién pulido se oxida rápidamente.

Para el rebajado se emplean productos químicos que disuelvan el cobre metálico. Son varias las opciones que tenemos para ello:

- Una disolución acuosa de percloruro férrico. Cuando se compra viene preparado para añadir directamente agua hasta una marca impresa sobre el bote.
- Una disolución acuosa de agua fuerte y agua oxigenada al 30% (110 volúmenes) en una proporción 1:2:1. Se prepara en el momento de su uso. Se conoce como atacador rápido líquido.

- Una disolución de ácido clorhídrico y perborato sódico. Estos compuestos se venden comercialmente por unos 11 € con el nombre de *atacador rápido* (figura 13.16).



Figura 13.16. Atacador rápido para el proceso de rebajado. Está formado por un reactivo líquido (ácido clorhídrico al 16%) y uno sólido (perborato sódico)

Una vez elegido el atacador que usaremos, verteremos en la cubeta una cantidad suficiente como para que la placa quede completamente sumergida en la disolución. **Es muy importante que lleve gafas de seguridad y guantes y que realice el proceso en un lugar muy bien ventilado**, pues se producen gases muy tóxicos durante el rebajado. Lista la solución, y después de removerla suavemente, se coloca la placa de circuito impreso en la batea con la cara de cobre hacia arriba y se sigue agitando suavemente hasta finalizar el proceso. Poco a poco observará que la disolución desprende gases y se va tornando verdosa a medida que se disuelve el cobre (figura 13.17A). Cuando vea que queda únicamente el trazado del circuito impreso saque con unas pinzas de plástico la placa y sumérjala en agua en otra bandeja (figura 13.17B). Con ello conseguimos detener la reacción química. Deje secar la placa por evaporación y elimine el rotulador con un poco de alcohol o acetona (figura 13.18). Si ha empleado percloruro férrico o atacador rápido puede guardar el líquido sobrante para otra vez. Cuando vaya a eliminarlo, no lo arroje al desagüe, llévelo a un punto limpio.

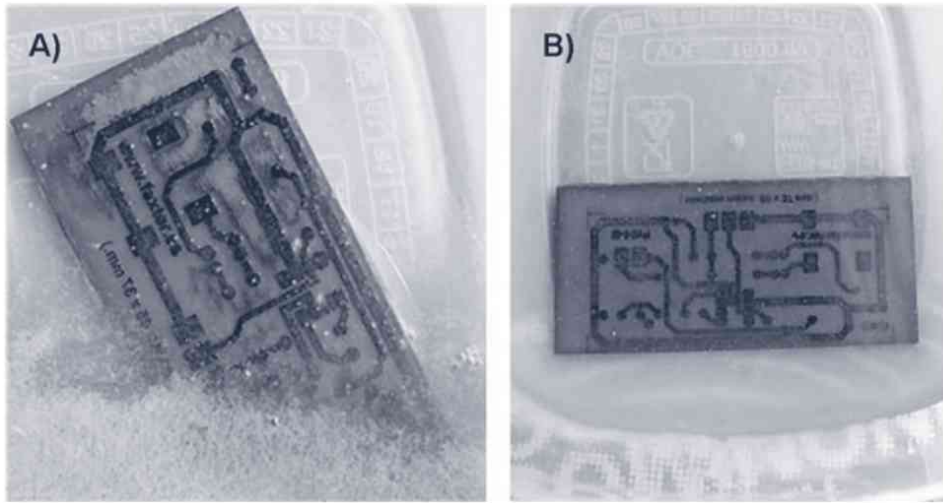


Figura 13.17. Rebajado del cobre con atacador rápido. En A) se observa el circuito prácticamente rebajado. Una vez finalizado el proceso, se sumerge la placa en una batea con agua para detener la reacción química B)

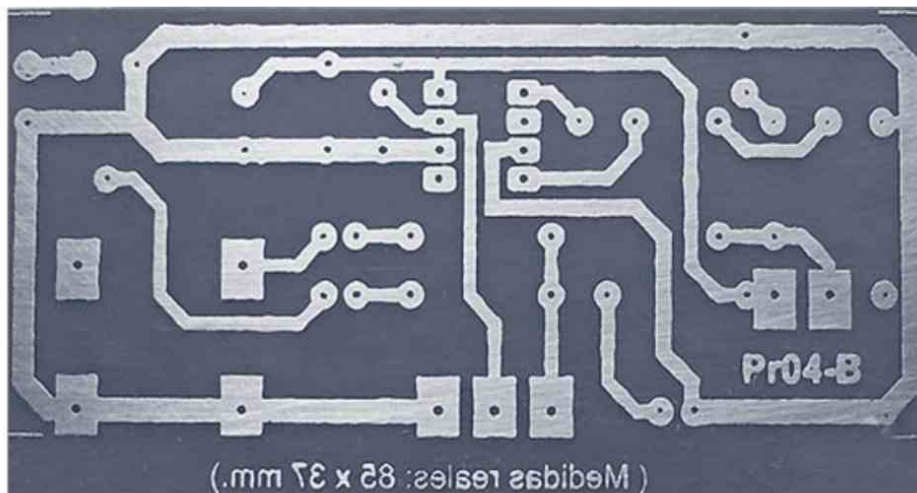


Figura 13.18. Circuito impreso a falta de los taladros para los terminales de los componentes

El último paso para completar el circuito impreso es realizar los taladros para insertar los terminales de los componentes. Utilice una broca de 1 mm para todos los orificios y, si es necesario, amplíe con una broca de 1,25 o 1,50 mm las perforaciones donde se van a soldar componentes con terminales más gruesos.

También es necesario realizar los taladros por donde pasarán los tornillos de sujeción del PCB en el chasis con una broca de 3,5 mm. Con

estos taladros queda listo el circuito impreso para el siguiente paso: la inserción y soldadura de los componentes.

13.8.2 Método de la transferencia de tóner

Este proceso es semejante al anterior pero, al emplear un programa de dibujo por ordenador (Autocad, Qcad, CorelDraw, etc.), nos permite acabados más profesionales, ya que conseguimos transferir íntegramente el diseño obtenido a la placa virgen de cobre. Incluso, como veremos, nos posibilita serigrafiar la forma de los componentes en la cara de baquelita o fibra de vidrio.

El primer paso consiste, por tanto, en dibujar a escala 1:1 el diseño del circuito impreso en algún programa de dibujo. A continuación procedemos a imprimir el diseño con una impresora láser a la mayor resolución posible (1.200 x 600 dpi, mínimo) y bastante cargado de tóner. El papel que sorprendentemente da mejores resultados es el satinado o brillante de revista. Es un papel bastante fino y el tóner se transfiere muy bien a la lámina de cobre (figura 13.19). No importa que la hoja esté ya escrita, las tintas que se usan en la impresión de revistas no interferirán en el proceso.



Figura 13.19. Diseño de un circuito impreso en papel satinado de revista

Con el lado del cobre de la placa hacia la vista, colocamos y estiramos el papel de forma que el dibujo con el tóner quede en contacto con el cobre (figura 13.19). Recuerde que el cobre debe estar limpio de óxido y grasas.

El paso siguiente consiste en transferir el diseño del circuito a la lámina de cobre. Esta transferencia se realiza mediante el calor seco suministrado por una plancha doméstica. El planchado ha de hacerse de forma uniforme dando todo el calor que sea necesario para el correcto fijado del tóner al cobre, pero evitando que éste pueda despegarse o dañarse por un exceso de calor (figura 13.20). Es importante mantener siempre una temperatura alta y uniforme y evitar enfriamientos pronunciados. En cuanto al tiempo y temperatura necesarios tendrá que realizar varias pruebas antes para saber las condiciones más óptimas, pero en general bastará con un tiempo de entre 4 y 6 minutos a la temperatura más alta.

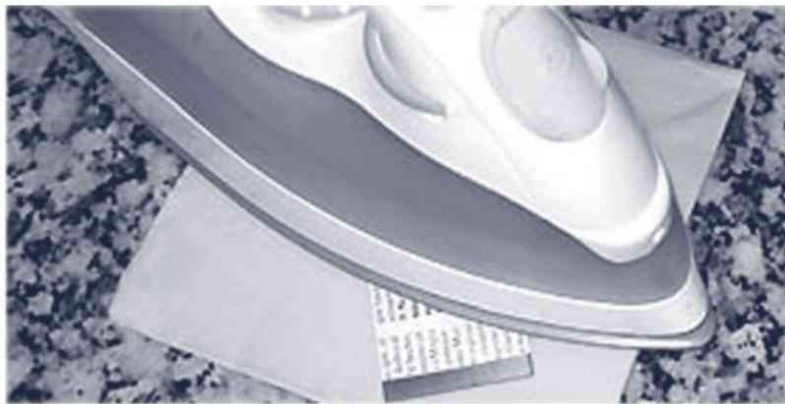


Figura 13.20. Transferencia del diseño a la lámina de cobre

Una vez acabado debemos dejar enfriar completamente la placa con el papel. A continuación sumergimos la misma en una batea con agua a temperatura ambiente durante unos 5 minutos para que reblandezca el papel. Poco a poco iremos quitando el papel pasando los dedos por encima del mismo (figura 13.21).



Figura 13.21. Eliminación del papel

Puede ayudarse para esta labor con un cepillo de dientes suave. Una vez eliminado el papel sólo quedará sobre el cobre el tóner de la impresora. Si observa alguna pista defectuosa puede retocarla con un rotulador indeleble (figura 13.22).

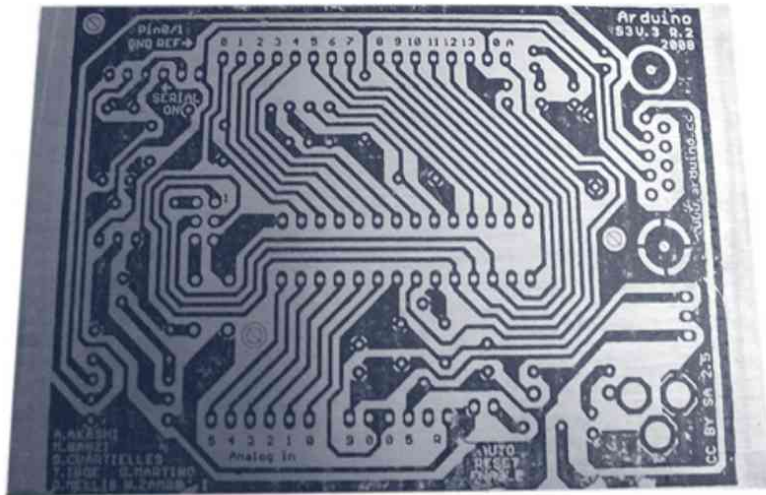


Figura 13.22. Aspecto del circuito impreso tras eliminar el papel

El siguiente paso es el rebajado del cobre, que se hace del mismo modo que hemos comentado en el punto anterior. Para eliminar el tóner una vez seca la placa, puede emplearse una gasa mojada en acetona. Si no saliera bien, podría lijarse de nuevo con lana de acero del número 000.

Con este método podemos realizar proyectos mucho más complejos que trazando las pistas directamente sobre el cobre. Además, como veremos a continuación, el método de la transferencia de tóner nos permite serigrafiar los componentes sobre la placa.

En primer lugar debemos lijar con lana de acero muy fina la cara de baquelita o fibra de vidrio para que el tóner se adhiera mejor. Después la limpiaremos con alcohol para que quede perfectamente limpia.

Una vez que hemos sacado con la impresora láser el diseño del lado de los componentes en la hoja de transferencia, colocaremos el papel impreso, con el dibujo con el tóner en contacto con la superficie de baquelita o fibra de vidrio, sobre la placa y le pasaremos la plancha del mismo modo que acabamos de explicar para el lado de las pistas.

A partir de aquí el proceso es exactamente el mismo que el explicado, salvo que no existe el proceso de rebajado, como es lógico.

Después de dejar enfriar la placa con el papel y de retirar este último, obtendremos la serigrafía de los componentes, como se muestra en la figura 13.23.

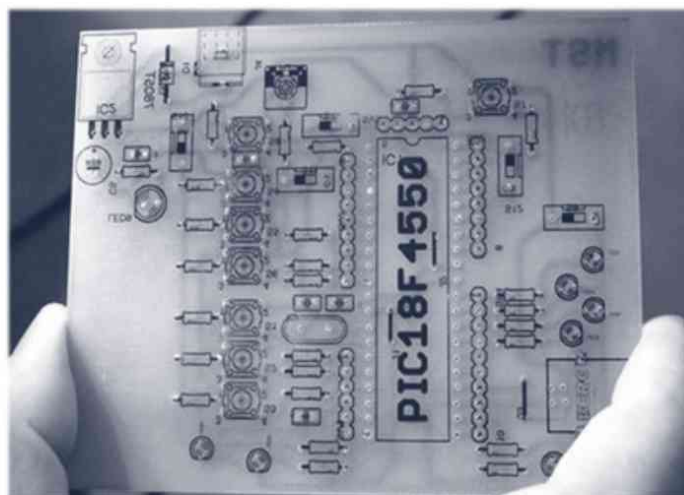


Figura 13.23. Serigrafía de los componentes en un circuito impreso por el método de la transferencia de tóner

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

Capítulo 14

FUENTES DE ALIMENTACIÓN

La mayoría de los circuitos electrónicos trabajan con corriente continua. Lo normal es que ésta sea suministrada por pilas o baterías, pero para las situaciones en la que esto no es posible o es más cómodo por no tener que reemplazar constantemente las pilas, se recurre a las fuentes de alimentación como generadores de corriente continua para alimentar los circuitos a ellas conectados.

Una fuente de alimentación es, básicamente, un adaptador que convierte una corriente alterna en una continua. De este modo, recibe en su entrada una corriente alterna de 220 V de la red pública y la adaptan a la tensión continua necesaria. Existen **fuentes de alimentación de voltaje**, que proporcionan una tensión continua y **fuentes de corriente**, que proporcionan a su salida una corriente continua constante. En este capítulo haremos hincapié únicamente en los conceptos relativos a las fuentes de alimentación de tensión.

Idealmente, una fuente de alimentación debería entregar a su salida una tensión de corriente continua constante, con independencia de las variaciones de tensión que se produjeran en la entrada y de la corriente consumida por el circuito eléctrico que alimenta. En la práctica existe un límite a la cantidad de corriente que puede entregar una fuente de alimentación y el voltaje de salida sólo es constante dentro de un cierto intervalo de tensiones de entrada.

14.1 ESTRUCTURA DE UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Una fuente de alimentación toma una tensión alterna de entrada de la red pública para, con un **transformador**, reducirla al valor más adecuado según las necesidades de la carga. El voltaje obtenido a la salida del transformador alimenta a un **punto rectificador**, que convertirá la señal en una CC pulsante. Aunque ya es una corriente continua, presenta enormes variaciones de amplitud, por lo que a continuación se **filtra** para conseguir una tensión más uniforme. El voltaje de salida puede ya aplicarse a la carga de forma directa o a través de un **regulador de tensión**, que no es más que un circuito que mantiene constante la tensión independientemente de las variaciones de voltaje de entrada. Las fuentes que poseen un regulador se denominan **reguladas**.

14.2 TIPOS DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Las fuentes de alimentación pueden ser **reguladas** y **no reguladas**, dependiendo de si utilizan o no un regulador de tensión (figura 14.1). En este último capítulo examinaremos con detalle las fuentes reguladas, pues son las que más se diseñan y comercializan.

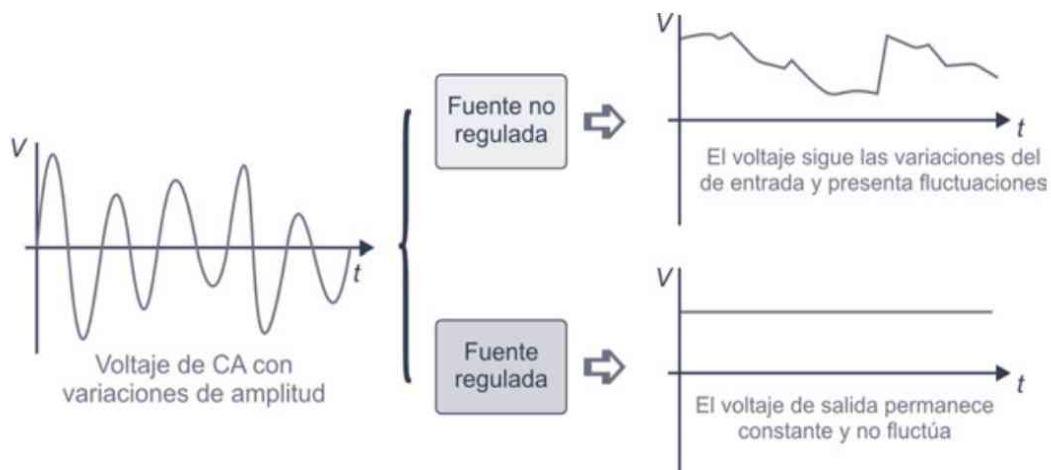


Figura 14.1. Tipos de fuentes de alimentación. Pueden ser reguladas, cuando emplean un regulador de tensión que proporciona una tensión constante sin fluctuaciones, y no reguladas, cuando el voltaje de salida sigue las variaciones del de entrada y presenta fluctuaciones

14.3 FUENTES REGULADAS

Las fuentes de tensión **reguladas** son aquéllas que mantienen **constante** el voltaje de salida independientemente de las variaciones en la tensión de entrada o en la corriente de la carga.

Las fuentes reguladas, básicamente, constan de un transformador, un rectificador, un filtro y un regulador (figura 14.2).



Figura 14.2. Elementos constitutivos de una fuente de alimentación regulada

En el estudio de las fuentes de alimentación reguladas procederemos de una manera sistemática analizando por separado cada una de las etapas que las componen. En general, una fuente regulada completa comprende los siguientes bloques constructivos:

- Un circuito de entrada, formado por un fusible, un supresor de picos y un interruptor general.
- Un transformador.
- Un rectificador.
- Un filtro.
- Un regulador.
- Un circuito de salida, que normalmente lo integran un diodo LED y su correspondiente resistencia limitadora.

14.4 EL CIRCUITO DE ENTRADA

La función básica de este circuito es llevar la corriente alterna desde la red pública de 220 V hasta el primario del transformador. También cumple funciones de protección y control con la presencia del fusible y del interruptor general.

Es muy común que las líneas que nos distribuyen la corriente eléctrica presenten **picos** elevados de **voltaje**, que podrían llegar a dañar de forma importante los circuitos que se alimentan de ella. Para proteger estos circuitos de los potenciales picos de tensión se emplean los **varistores** (figura 14.3A). Estos componentes conducen cuando la tensión alcanza un cierto valor límite; con lo que absorbe dichos picos impidiendo que el exceso de tensión alcance el resto del circuito. Los varistores se conectan en paralelo con el cable de alimentación tras el fusible (figura 14.3B).

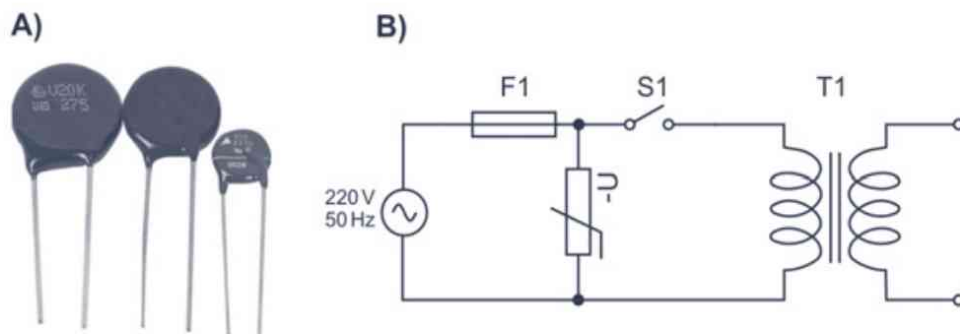


Figura 14.3. Varistores y circuito de entrada de una fuente de alimentación con un supresor de picos

14.5 EL TRANSFORMADOR

Como ya conoce del capítulo 7, la función de un transformador es la de convertir una CA en otra con distintos valores de tensión y corriente sin pérdidas de potencia, al menos, teóricamente.

En la totalidad de las fuentes de alimentación tendremos **transformadores** de entrada **reductores**, pues los requerimientos de tensión en los circuitos prácticos son bastantes más bajos de los 220 V de la red pública.

14.6 EL CIRCUITO RECTIFICADOR

Esta segunda etapa de trabajo de una fuente de alimentación de voltaje tiene por objetivo **convertir la tensión alterna** entregada por el secundario del transformador en una **corriente continua pulsante**. Este proceso de rectificación es posible gracias a la utilización de los **diodos**.

Como ya comentamos en el capítulo 8, un diodo conduce cuando se polariza directamente y deja de hacerlo cuando se polariza inversamente.

Los rectificadores pueden ser de media onda o de onda completa, dependiendo de si usan uno o ambos semiciclos de la CA. Nosotros vamos a estudiar el circuito rectificador de onda completa con un puente de diodos.

El rectificador de onda completa con puente de diodos permite obtener una **CC pulsante** a partir de la tensión de salida del secundario del transformador (figura 14.4).

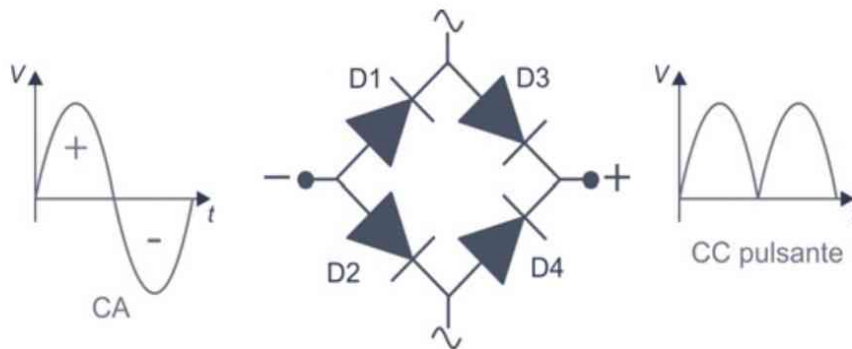


Figura 14.4. Rectificador de onda completa con puente de diodos. Observe cómo transforma una tensión alterna en una continua pulsante

Su funcionamiento es sencillo de comprender. Durante el semiciclo positivo de la CA sólo los diodos D2 y D3 conducen y, durante los semiciclos negativos, sólo lo hacen los diodos D1 y D4. El resultado es una señal de CC pulsante de igual amplitud que la señal alterna de entrada pero del doble de frecuencia (figura 14.5).

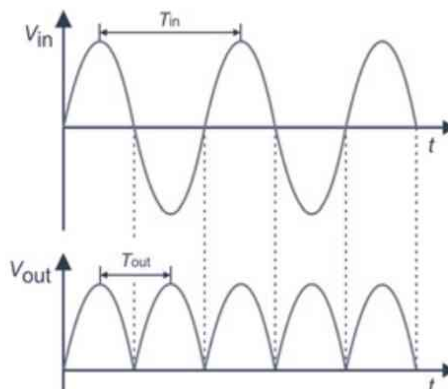


Figura 14.5. Onda rectificada por un puente de diodos. Observe que el período de la CC pulsante es la mitad del de la CA

Si se mide con un voltímetro de CC la tensión de salida en el puente de diodos se obtendrá un valor dado por la expresión:

$$V_{CC} \approx \frac{2V_p}{\pi} - 1,4$$

Donde V_p es el valor pico de la tensión de CA entregada por el secundario del transformador.

14.7 FILTRO

La siguiente etapa de funcionamiento de una fuente de alimentación es el **filtrado** de la CC pulsante obtenida a la salida del rectificador. Esta señal, aunque posee una polaridad única no es adecuada para alimentar un circuito, puesto que su corriente no se mantiene constante como la que proporciona una batería. Para ello, se emplea uno o varios **condensadores electrolíticos**. Cuando los dos diodos polarizados directamente comienzan a conducir, el condensador se cargará hasta la máxima tensión, que coincidirá con el valor pico de la tensión rectificada. Cuando la tensión comienza a disminuir el condensador empieza a descargarse lentamente hasta que de nuevo la tensión de entrada recarga el condensador. El resultado es una señal de CC casi ideal, excepto por una pequeña variación periódica que puede aproximarse a una onda triangular y que denominamos **rizado** (figura 14.6). En la práctica debe buscarse que la amplitud del rizado sea lo más pequeña posible. Como regla general puede tomarse que la capacidad del condensador electrolítico de filtro es de unos 2 mF por amperio de corriente suministrada por la fuente y su tensión máxima 10 V por encima de la entregada por el secundario del transformador.

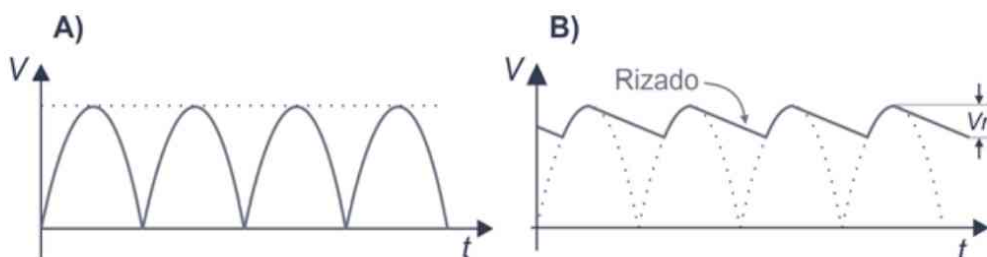


Figura 14.6. Formas de onda de un rectificador de onda completa con filtro de condensador electrolítico. A) Señal de salida del puente de diodos. B) Tensión de salida del filtro de condensador. En la práctica debe buscarse que el rizado, V_r , sea inferior al 10%

14.8 REGULADOR

El rizado en la tensión de salida puede reducirse, teóricamente, a cualquier nivel empleando un condensador electrolítico suficientemente grande. No obstante esto no nos garantiza que el voltaje permanezca constante. De hecho, puede fluctuar por variaciones en el voltaje de CA de entrada o por cambios en la resistencia de carga (figura 14.1). La mejor solución para obtener un **voltaje** verdaderamente **constante** es emplear un **regulador** a la salida del filtro. El regulador puede conectarse en serie o en paralelo con la carga y actúa básicamente como una resistencia variable.

Los reguladores de tensión se basan en el empleo de elementos activos, como los **diodos Zener**, los **transistores** y los circuitos integrados. Estos últimos, conocidos como **reguladores monolíticos**, son quizá los más empleados por su bajo coste. Veamos cómo trabaja cada uno de estos elementos.

14.8.1 Regulador de tensión con diodo Zener

Como ya conoce del capítulo 8, los diodos Zener se caracterizan por mantener un voltaje constante entre sus terminales cuando se polarizan inversamente. Para evitar que una corriente inversa excesiva destruya el diodo, se emplea una resistencia en serie con él, R_s . (figura 14.7).

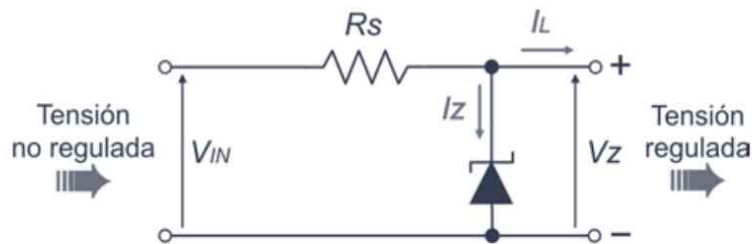


Figura 14.7. Regulador con diodo Zener

El valor de la resistencia puede aproximarse con la siguiente expresión:

$$R_s \approx \frac{V_{IN} - V_Z}{I_L + I_Z}$$

Donde V_{in} es la tensión de entrada al regulador, que procede del filtro, V_Z es la tensión Zener, I_L la corriente de carga máxima e I_Z la corriente que atraviesa el diodo, que se escoge entre el 10% y el 20% de I_L .

14.8.2 Regulador de tensión con diodo Zener y transistor

Un Zener sólo proporciona regulación dentro de un rango limitado de tensiones. Esto se debe a que la corriente que atraviesa el diodo presenta un límite máximo. Si se requieren altas corrientes es necesario acoplar al diodo un transistor bipolar (figura 14.8).

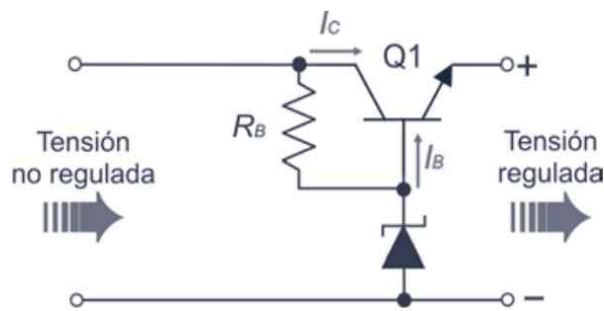


Figura 14.8. Regulador con diodo Zener y transistor bipolar

En este caso el transistor actúa como una resistencia variable en serie con la carga y controlada por la corriente de base (I_B). La tensión de salida, V_o , es igual a la diferencia de tensiones en el diodo Zener y en los terminales Emisor-Base del transistor; es decir, $V_o = V_Z - 0,7$.

14.8.3 Regulador de tensión con circuitos integrados

A día de hoy la mayoría de las fuentes de alimentación se construyen con reguladores de tensión integrados o **monolíticos**, que se asemejan externamente a un transistor. Tienen, al igual que aquél, tres terminales, que se denominan **entrada (E)**, **salida (S)** y **tierra (T)** (figura 14.9). Pueden proporcionar corrientes de entre 100 mA y 3 A. De los diferentes tipos de reguladores monolíticos, vamos a centrarnos en la familia de reguladores fijos positivos **78XX**. Éstos se caracterizan porque la diferencia de potencial entre los terminales *salida* y *tierra* es de +XX voltios sin rizado. Existen reguladores de esta serie para las siguientes tensiones: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18 y 24 V con una corriente máxima de 1 A. Estos

integrados monolíticos se comercializan en un encapsulado plástico TO-220 con disipador de calor.

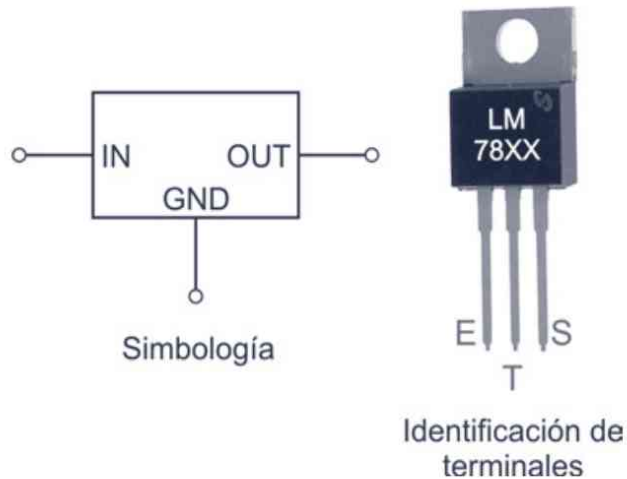


Figura 14.9. Simbología e identificación de pines en los reguladores monolíticos de la familia 78XX

14.9 FUENTES DE ALIMENTACIÓN REGULADAS FIJAS

Cuando se utiliza un regulador monolítico de tres terminales en una fuente de alimentación, se ha de tener la precaución de emplear a la entrada y a la salida del mismo unos pequeños condensadores que actúen como filtros de desacople. Sus valores típicamente están en el rango de 0,1 a 1 μF (figura 14.10).

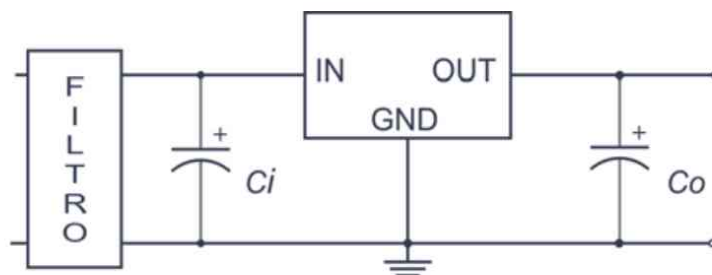
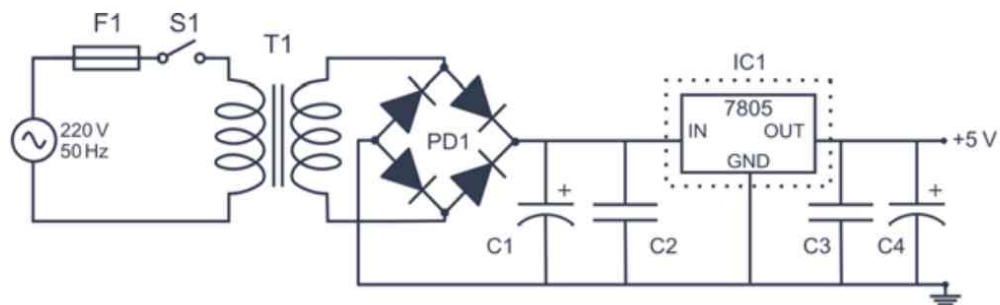


Figura 14.10. Regulador de tensión monolítico de tres terminales con sus condensadores de desacople C_i y C_o

En la figura 14.11 se muestra el proyecto de una fuente de alimentación completa de +5 V/250 mA con un regulador monolítico

LM7805. Las líneas punteadas alrededor del mismo indican que debe llevar un disipador de calor.

Como regla práctica, el valor de la tensión en el secundario del transformador debe ser, como mínimo, 3 V mayor que la tensión de salida deseada en la fuente de alimentación (9 V frente a 5 V para este proyecto). Asimismo, la capacidad del condensador $C1$ debe escogerse de modo que sea del orden de los 2.000 - 2.200 μF por cada amperio de salida. $C2$ y $C3$ actúan de filtros de desacople de ruido del integrado monolítico.



COMPONENTES

T1	220/9V	250 mA
C1	470 μF	25 V, electrolítico
C2	220 nF	Plástico
C3	100 nF	Cerámico de disco
C4	100 μF	16 V, electrolítico
PD1		Puente de diodos
IC1	LM7805	Regulador positivo
		Radiador para IC1

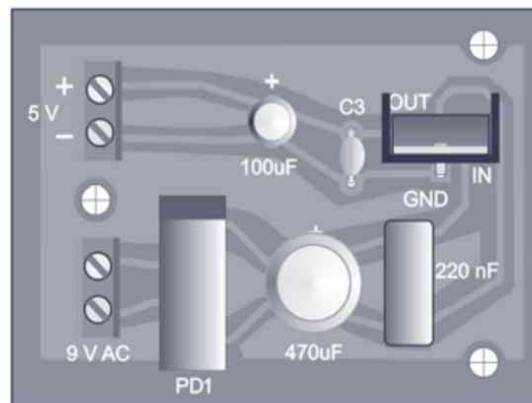


Figura 14.11. Fuente de alimentación regulada a 5 V/250 mA. Se observa el esquema eléctrico, la lista de componentes y el diagrama pictórico de su PCB a escala natural

ÍNDICE ALFABÉTICO

A

Acero, lana.....	151, 157
Activa, zona	101, 103, 122
Agotamiento, zona.....	86
Agrupamiento, reglas	120
Agua	
Fuerte	152
Oxygenada.....	152
Alcohol.....	151
Alimentación, fuentes	159
Circuito de entrada.....	161
De corriente.....	159
De voltaje	159
Estructura.....	160
Reguladas	160, 161
Reguladas fijas.....	167
Aluminio	83
Condensador.....	59
Amplificador	95, 98, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 110
Diferencial	106
Inversor	110
No inversor	110
Operacional.....	Véase AO
Analog Devices (AD)	133

AND.....	118
Anillos, colores	47
Ánodo, diodo	85
Antimonio	83
AO	106, 107, 109, 110, 111
Encapsulados	107
Estructura interna	106
Símbolo.....	106
Armadura ...	55, 56, 57, 58, 61, 63
Arsénico	83
Atacador rápido	
Líquido	152
Sólido.....	153
Avalancha, voltaje	88
AWG.....	77

B

Base	96, 98
Biestable	130, 134
Binario, sistema.....	114, 117
Bit.....	114, 117
Bobina	
Fija	70
Identificación.....	72
Núcleo de aire.....	70

Núcleo de ferrita	71
Núcleo de hierro	71
Recta	71
Simbología	73
SMD	72
Toroidal	71
Variable	70
Boole, álgebra.....	117
Boro	83
Brocas, diámetros.....	154

C

Campo magnético..	67, 68, 69, 73
Capacidad, condensador.....	55
Carbón	46
Carcasa, transformador	77
Carga	
Condensador.....	63
Recta	101, 102, 103
Tiempo	63
Cátodo, diodo	85
Cerámica	46
Chip	Véase CI
CI	122, 129, 131, 132
555	123, 124, 125
7404	135
7411	135
7432	135
Analógicos.....	130
Digitales.....	130
Encapsulados.....	Véase Encapsulado
Híbridos	130
Identificación	132
Mixtos	130
Monolíticos	130, 165
Circuitos	
Conmutación	37, 38
De pulsos	123
Digitales.....	113
Excitación	38
Familia.....	123
Impresos.....	Véase PCB
Integrados.....	Véase CI
Rectificadores	162
Representación.....	28
Temporizador.....	Véase CI 555
Teoría de	15, 20
Clorhídrico, ácido	153
CMOS, familia.....	123, 134
Cobre, rebajado	152, 153
Colector	96, 98
Comparador	109, 134
Condensador	
Ajustable	60
Cerámico	56
Codificación	62
De mica.....	58
De papel	58
Electrolítico	58, 59, 164
Fijo	56
Plástico	57
Polarizado.....	56
Variable.....	60
Contacto.....	33
Conversión	
Binario-decimal	116
Decimal-binario.....	115
Corriente	
Alterna	162, 164
Continua	162
De base	98, 100, 102, 104
De colector.....	98, 100, 101, 103, 104
De emisor	98
De fuga	87
De polarización de	
entrada	111
Ganancia	98
Corte	102, 122
Punto	103
Zona.....	101
Cortocircuito	39, 44
Cristal.....	81, 82, 84
Dopado	83
Curvas características.....	100
Entrada	100
Salida.....	100, 101

D

Descarga	<i>Véase</i> Carga
Diagramas	
Bloques	30
Despiece	29
Esquemáticos.....	31
Pictóricos.....	28
Dieléctrico	55, 56, 57, 58, 59, 61, 63, 65
Digital	
Electrónica.....	114
Lógica.....	117
Dígito binario.....	<i>Véase</i> bit
Diodo	84, 162
Identificación	90
LED	91
Puente rectificador	89, 160
Rectificador	89
Símbolos	85
Zener	90, 165

E

Eisler, Paul.....	141
Emisor.....	96, 98
Común.....	100, 102, 103, 104
Encapsulado	
Amplificador operacional..	107, 108
Diodos	89, 91
DIP (CI)	131
PLCC (CI)	132
QFP (CI)	132
SOIC (CI).....	132
SOJ (CI)	132
Transistor	99
TSOP (CI).....	132
Entrada	
Inversora	105, 106, 109
No inversora	105, 106, 109

F

Fairchild Semiconductors.....	128
Faraday, ley de inducción	68
Faradio	56
Filtro	161, 164
Flip-Flop	134
Flujo magnético.....	67, 68, 79
Formaleta	77
Fósforo	83
Fotorresistencia.....	52
Foucault, corrientes parásitas..	79
Fusible.....	39
Capacidad nominal.....	40
Cartucho	43
Comprobación	44
Cuchilla	43
Elección	40
Funcionamiento retardado...	42
Miniatura o de cristal	41
Símbolos.....	40
Subminiatura.....	41
Tapón.....	42

G

Galio	83
Ganancia.....	<i>Véase</i> Corriente
Germanio	81
Granete	151

H

Hanson, Albert Parker.....	141
Heaviside, Oliver	70
Henrio.....	68
Hoerni, Jean.....	128
Hueco electrónico	82, 86

I

Impedancia.....	70, 106, 110
Implicante primo	121
Inductancia.....	67, 68, 69, 70

Mútua	73
Inductor..... Véase Bobina	
Instalación, guías de.....	30
Integración, nivel.....	129
Interruptor	33
Acción permanente	35
Acción temporal	35
Balancín	36
Deslizante.....	35
Doble fila	36
Palanca	35
Símbolos.....	34
Intersil (ICL)	133

J

JIS.....	61
----------	----

K

Karnaugh	
Mapa	120, 121
Método	120
Kilby, Jack.....	129
Kirchhoff	
Primera ley	16
Segunda ley	17

L

Láser, impresora.....	155, 157
Lazo	
Abierto	109, 110
Cerrado	109, 110
LDR..... Véase Fotorresistencia	
LM78XX.....	166
Lógica	
Digital	Véase digital
Función.....	117
Puerta.....	118, 130, 134
Variable	117

M

Malla.....	16
Mica, condensador.....	58
Microprocesador	129, 130, 134
Motorola (MC)	133
Multiplicador.....	47
Multivibrador.....	124, 134

N

NAND	119
National Semiconductor(LM) .	133
Nodo..... Véase nudo	
NOR	119
Norton	
Circuito equivalente	22
Teorema de	22
NOT.....	118, 122
Noyce, Robert.....	129
Nudo.....	16, 17, 18

O

Offset.....	106, 108, 111
Ohm, ley de.....	15
OR.....	118

P

<i>Pads</i>	142, 145
PCB.....	137, 142
Diseño CAD	146
Diseño manual.....	145, 147
Diseño manual con	
ordenador	146
Estructura	140
Fabricación	150
Flexibles.....	138
Pads.....	147
Puntos de soldadura.....	147
Rígidos.....	138
<i>Software</i>	146
Universal.....	139

Perborato sódico..... 153
 Percloruro férrico..... 152
 Pin..... Véase terminales
 Pistas, PCB.... 137, 142, 145, 149
 Polarización
 Directa 86, 87, 88, 96
 Inversa..... 86, 87, 96
 Transistor bipolar 97
 Polo..... 33, 34
 Portafusibles 39
 Potencia 50
 Pérdidas 79
 Relación de 78
 Potenciómetro..... 51
 Primario, devanado..... 74, 77
 Protoboard 30, 139, 142
 Puente rectificador... Véase Diodo
 Puertas
 Lógicas Véase Lógica
 Pulsador..... 35, 36
 Pulso..... 123
 Astable 123
 Monoestable..... 123
 Tren de 123

R

Rama 16, 17
 Reactancia inductiva 70
 Realimentación 109, 110
 Negativa 110
 Rectificación 89, 162
 Rectificador..... Véase Diodo,
 puente
 Regulador 161, 165
 Con CI monolíticos 166
 Con Zener 165
 Con Zener y transistor..... 166
 Fijo..... Véase LM78XX
 Relé 37
 Símbolo 38
 Resistencia 45
 De potencia 46
 Fija..... 45

Norton 23
 Pírolítica 46
 Thévenin 20
 Valor nominal..... 47
 Variable..... 51
 Resistor Véase Resistencia
 Respuesta, rapidez 111
 Rizado 164, 165
 Rotulador indeleble, método .. 151
 Ruptura, región 101

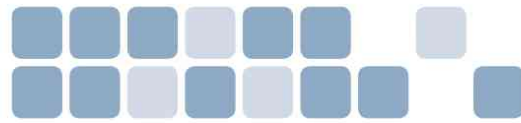
S

Saturación 102, 122
 Punto 103
 Zona..... 101
 Secundario, devanado 74, 77
 Semiconductor 81, 82
 Extrínseco..... 83
 Intrínseco 83
 Tipo N 83, 85
 Tipo P 83, 85
 Señal
 Analógica 113
 Digital..... 113, 114
 Serie
 E12 47, 49
 E24 47, 49
 E3 63
 Silicio 81
 Oblea 127, 128
 Silicon Valley..... 128
 Simbología 25
 Sobrecarga..... 43

T

Tablero, conexiones..... Véase
 Protoboard
 Tántalo, condensador 59
 Tensión Véase Voltaje
 Terminales
 AO..... 107, 108
 CI 124, 127, 131

- En ala de gaviota 132
 - En J 132
 - Separación en CI 149
 - Termistor..... 53
 - NTC 53
 - PTC 53
 - Texas Instruments 129
 - Thévenin
 - Circuito equivalente..... 20
 - Teorema de 20
 - Tolerancia
 - Condensador..... 60, 61, 62
 - Resistencia..... 47, 50
 - Tóner, método 155
 - Trabajo, punto..... 103, 104
 - Transformación, relación 78
 - Transformador 74, 160, 161, 162
 - De corriente..... 76
 - De potencia 75
 - De pulsos 76
 - De radiofrecuencia 76
 - Elevador 75
 - Identificación 77
 - Reductor..... 75, 162
 - Simbología 75
 - Transistor..... 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 121, 127, 129, 134, 165
 - Bipolar 95, 96, 106
 - FET..... 95, 106
 - Identificación 99
 - NPN..... 96, 97, 98
 - PNP 96
 - Polarización 96, 98
 - Trimmer 60
 - TTL, familia 123, 134
- U**
- Unión PN..... 85, 96
- V**
- Valencia
 - Capa 81
 - Electrones..... 81, 82
 - Varistor 54, 162
 - VDR..... Véase Varistor
 - Verdad, tabla..... 117
 - Voltaje
 - De avalancha..... Véase avalancha
 - Offset de entrada..... 111
 - Reguladores 133, 160
 - Zener 90, 166
 - Voltímetro 164
- W**
- Weber..... 68
 - Wickmann 39
- X**
- XOR 119



ELECTRÓNICA BÁSICA

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

Este libro es una introducción a la electrónica y está dirigido a estudiantes que van a iniciar sus estudios universitarios o de formación profesional y a todos aquellos aficionados interesados en la materia. Su contenido puede agruparse en tres bloques temáticos.

En el primer bloque, que se corresponde con el capítulo 1, el lector encontrará las técnicas más elementales del análisis de circuitos para comprender su comportamiento.

El segundo bloque se dedica a presentar las características de los principales componentes electrónicos (capítulos del dos al doce).

El último bloque (capítulos trece y catorce) se dedica a presentar de forma eminentemente práctica al lector cómo puede diseñarse sus propios circuitos impresos y, como parte final, se le propone un proyecto completo de fabricación de una fuente de alimentación a 5 V para alimentar cualquier circuito digital que pueda construir.

<https://yolibrospdf.com/electronica.html>

