SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y FOTÓNICOS

Daniel Villarroel Rodríguez

SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y FOTÓNICOS

Bohodón
Ediciones

Sistemas Electrónicos y Fotónicos

Primera edición: agosto de 2026
© De la obra: Daniel Villarroel Rodríguez

© Bohodón Ediciones™ S.L.
www.bohodon.es
Avenida Ensanche de Vallecas 42
28051, Madrid
e-mail: ediciones@bohodon.es

ISBN-13: 979-13-87719-80-7
ISBN E-book: 979-13-87719-81-4
Depósito legal: M-21509-2026

Printed in Spain

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo o por escrito del editor.
Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra

Índice

1. Medida de magnitudes eléctricas. Circuitos eléctricos en corriente continua 3
1. Magnitudes eléctricas 3
2. Circuito eléctrico 7
3. Ley de Ohm 8
4. Energía y trabajo 9
5. Análisis de circuitos eléctricos 10
6. Circuito "divisor de tensión" 15
7. Leyes de kirchoff 17
8. Resistores 17
9. Montaje de circuitos en placa de prototipos 20
10. Medida de magnitudes eléctricas con el multímetro 21
Comprueba tu aprendizaje 25
Ejercicios tema 1: medida de magnitudes eléctricas 27

2. Análisis y medida de señales en sistemas electrónicos 29
1. Análisis de señales senoidales 29
3.análisis de señales en el dominio de la frecuencia. Espectro 36
4. Comportamiento de los receptores pasivos en CA 44
5. Análisis de circuitos rlc en serie y paralelo 54
6. Resonancia. Circuitos sintonizados en serie y en paralelo 58
Comprueba tu aprendizaje 62
Ejercicios tema 2: análisis y medidas de señales en sistemas electrónicos 64

3. Filtros pasivos, rectificadores y circuitos de alimentación 67
1. Filtros pasivos 67
2. Filtros prácticos con elementos pasivos (R, L, C) 68
3. Circuitos rectificadores 76
4. Transformadores 81
5. Fuentes de alimentación 83
Comprueba tu aprendizaje 87
Ejercicios tema 3: filtros pasivos y sistemas de alimentación 89

4. Amplificadores 93
1. Amplificación 93
2. Atenuación de un circuito. Rendimiento de un sistema. 96
3. Medidas logarítmicas. El decibelio 98
4. Amplificadores con transistores 101
5. El amplificador operacional 106
6. Clasificación de los amplificadores 112
7. Ruido en amplificadores 115
Comprueba tu aprendizaje 120
Ejercicios tema 4: amplificadores 122

5.Osciladores y temporizadores. Circuitos de acoplamiento 125
1.Osciladores 125
2. Osciladores armónicos o senoidales 126
3. Circuitos temporizadores y generadores de pulsos 136
4. Circuitos de acoplamiento. Adaptación de impedancias 141
Comprueba tu aprendizaje 147
Ejercicios tema 5: osciladores y temporizadores 149

6. Sistemas digitales 151
1. Señales analógicas y señales digitales 151
2. Sistema binario 152
3. Álgebra de boole y puertas lógicas 154
4. Diseño de circuitos con puertas lógicas 160
5. Implementación de funciones con puertas NAND/NOR 165
6. Bloques combinacionales 167
7. Circuitos secuenciales 171
8. Arquitectura de un sistema programable 174
Comprueba tu aprendizaje 180
Ejercicios tema 6: sistemas digitales 182

7. Circuitos de instrumentación 185
1. Sistemas de adquisición de datos 185
2. Características de los sensores 186
3. Sensores resistivos 187
4. Sensores inductivos 194
5. Sensores capacitivos 198
6. Sensores optoelectrónicos 200
7. Otros sensores de temperatura 202
8. Circuitos acondicionadores 204
9. Conversión digital analógica 208
10. Conversores ADC 212
Comprueba tu aprendizaje 216
Ejercicios tema 7: circuitos de instrumentación 218

8. Componentes y circuitos fotónicos 219
1.Radiación electromagnética 219
2. Fibra óptica 222
3. Emisores ópticos 231
4. Receptores ópticos 237
5. Componentes ópticos 242
Comprueba tu aprendizaje 249
Ejercicios tema 8: circuitos fotónicos 251

TEMA 1

MEDIDA DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS. CIRCUITOS ELÉCTRICOS EN CORRIENTE CONTINUA

1. MAGNITUDES ELÉCTRICAS

Un **circuito eléctrico es un camino cerrado por donde pueden circular los electrones**. Todo circuito eléctrico queda definido por una serie de magnitudes eléctricas, como son la intensidad de corriente la resistencia, la diferencia de potencial o tensión, la fuerza electromotriz, la potencia y la energía.

De todas ellas podemos considerar tres magnitudes fundamentales: Resistencia intensidad y tensión.

1.1. Resistencia eléctrica (R)

Es la dificultad que presenta un material al paso de la corriente eléctrica. Se representa con la letra R y su unidad es el ohmio (**Ω**).

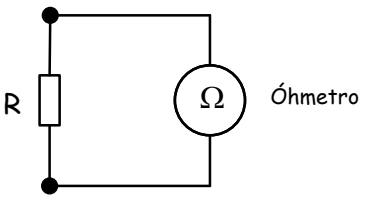
Unidad en el Sistema Internacional: Ohmio (**Ω**)

Múltiplos:

1 kiloohmio = 1.000 ohmios 1 KΩ $=10^3$ Ω

1 Megaohmio =1.000.000 ohmios 1 MΩ $=10^6$ Ω

Instrumento de medida: Óhmetro u Ohmímetro.



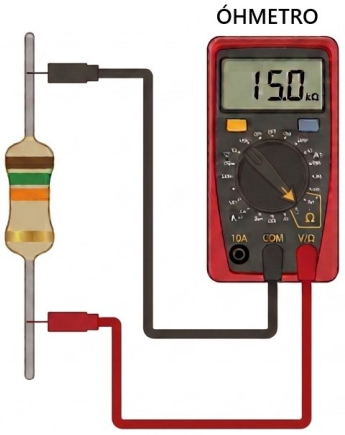


Figura 1.1

La medida de la resistencia se realiza entre extremos de la resistencia. Para medir resistencias no debe existir energía eléctrica conectada al circuito.

Resistividad (ρ)

Cada material posee una dificultad distinta al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad caracteriza a cada material y se conoce con el nombre de resistividad.

Se llama resistividad y se representa con la letra griega **ρ** (ro) a la resistencia específica que ofrece un conductor de un material determinado de 1**m** de longitud y 1 **mm²** de sección.

Unidad: $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

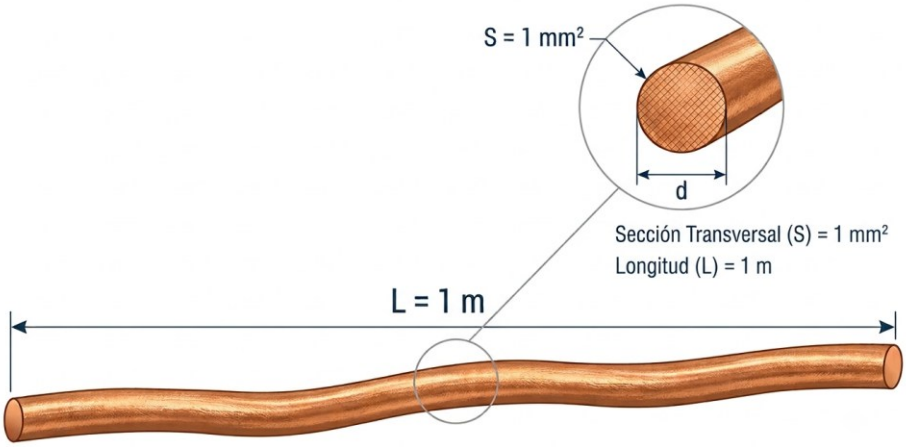


Figura 1.2

En definitiva, la **resistencia eléctrica** de un material de una longitud y sección determinadas, depende de **cuatro factores**:

- La resistividad (**ρ**), es decir, la naturaleza del material
- La longitud del conductor (**L**)
- La sección transversal del conductor (**S**)
- La temperatura (**T**)

Así, la resistencia (**R**) de un conductor depende directamente de su resistividad y longitud y es inversamente proporcional a su sección. Esto es, la resistencia de un conductor se calculará según la siguiente fórmula:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

R = resistencia (**Ω**) **ρ** = resistividad ($\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$)

L = longitud (m) **S** = sección (mm^2)

La siguiente tabla representa los valores de las resistividades de algunos materiales a 20° C:

Material	**Resistividad** ρ ($\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$)
Plata	**0,0164**
Cobre	**0,0178**
Oro	**0,0230**
Aluminio	**0,0278**
Estaño	**0,12**
Nicromo	**1**

Tabla 1.1. Resistividad de algunos materiales

ACTIVIDAD RESUELTA 1.1

Halla la resistencia de un conductor de cobre de 900 m de longitud y 1,5 mm^2 de sección.

Resolución:

Datos: L=900 m **S**=1,5 mm^2 material cobre ⇨ resisitividad: $\rho = 0{,}0172 \Omega \cdot mm^2/m$

El valor de la resistencia es:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0.0172\ \Omega \cdot mm^2/m \cdot \frac{900\,m}{1{,}5\,mm^2} = \frac{0.0172 \cdot 900}{1{,}5}\Omega = 10{,}32\ \Omega$$

1.2. Intensidad de corriente (I)

Es la cantidad de electrones que atraviesa un conductor en la unidad de tiempo (s). Matemáticamente se expresa:

$$I = \frac{Carga}{tiempo} \qquad I = \frac{Q}{t}$$

Unidades: la unidad de la intensidad es el amperio (**A**)

$$1\,Amperio = \frac{1\,Culombio}{1\,segundo} \qquad 1\,A = \frac{1\,C}{1\,s}$$

Submúltiplos: miliamperio, microamperio

1 miliamperio (mA) = 1 milésima de Amperio $1\ mA = 10^{-3}\ A = 0{,}001\ A$

1 microamperio (μ**A**)=1 millonésima de Amperio $1\ \mu A = 10^{-6}\ A = 0{,}000001\ A$

(**NOTA:** la unidad de carga es el culombio C).

Instrumento de medida: amperímetro.

Se debe intercalar el amperímetro en serie en el circuito cuya intensidad se desea medir.

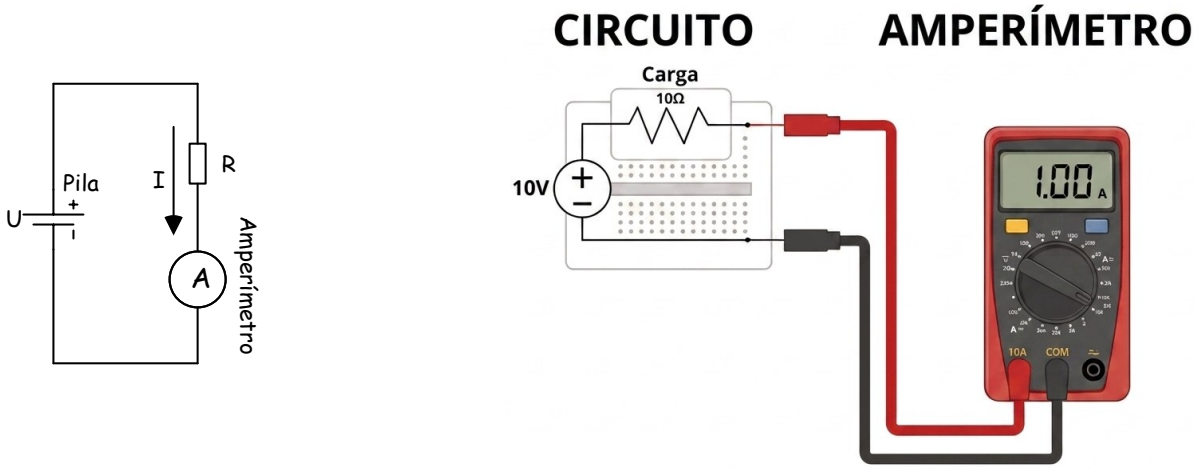


Figura 1.3

1.3. Diferencia de potencial o Tensión eléctrica (U)

Esta magnitud se conoce como **tensión eléctrica**, voltaje o **diferencia de potencial** (**ddp**) y se representa con la letra **U**. Se define como la energía por unidad de carga que hay que comunicar a una carga para que se desplace de un punto a otro del circuito.

Así, la **tensión entre dos puntos** de un circuito la podemos entender como la **diferencia de nivel eléctrico existente entre dos puntos de un circuito eléctrico** (similar a la diferencia de alturas entre dos puntos que hace que un objeto caiga desde el más alto al más bajo). En el caso de las pilas, estos dos puntos suele ser el polo positivo y el negativo.

Unidad: Su unidad en el sistema Internacional (**S.I.**) es el voltio (**V**).

Múltiplos:

1 kilovoltio = 1.000 voltios $1\ kV = 10^{3}\ V$ (en alta tensión)

1 Megavoltio =1.000.000 voltios $1\ MV = 10^{6}\ V$ (en centrales eléctricas)

Submúltiplos:

1 milivoltio (mV) = 1 milésima de voltio $1\ mV = 10^{-3}\ V$ (en termopares, en la sinapsis)

1 microvoltio (μ**V**)=1 millonésima de voltio $1\ \mu V = 10^{-6}\ V$ (en ondas de radio (TV, Wifi))

Instrumento de medida: la tensión entre dos puntos de un circuito se mide con un **voltímetro**.

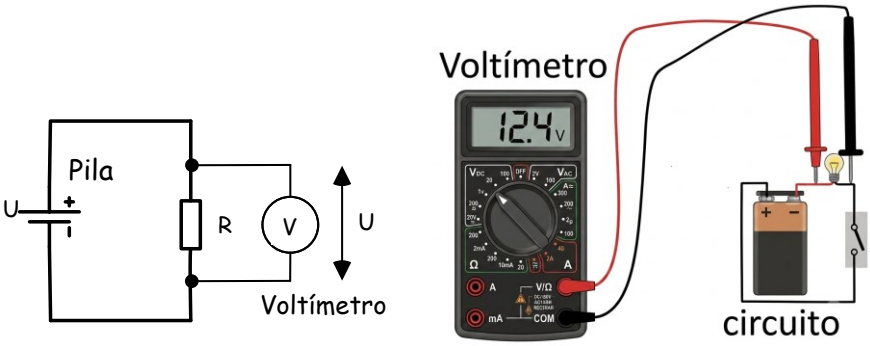


Figura 1.4

El **voltímetro** debe colocarse en paralelo con el circuito, entre los dos puntos cuya tensión se desea medir.

Fuerza electromotriz (fem)

La fem es la causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. La fem no es una fuerza sino que es la característica principal de cada generador eléctrico. Así, la fem de una pila o de un generador es la causa que origina el movimiento de los electrones en todo el circuito eléctrico. Su unidad es también el voltio (V) y se designa mediante la letra **E**.

1.4. Potencia eléctrica (P)

Es la cantidad de trabajo desarrollada al desplazar la corriente eléctrica a lo largo del conductor en la unidad de tiempo. Según esta definición, la expresión matemática de la potencia es:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{tiempo}} \qquad P = \frac{W}{t}$$

Esta expresión indica que cuanto mayor sea la potencia mayor será la cantidad de energía eléctrica que se transfiere al circuito por unidad de tiempo (segundo).

En un circuito eléctrico, interesa tener una expresión matemática que relacione la potencia con las otras magnitudes eléctricas. Así, podemos decir que la potencia eléctrica (**P**) es igual al producto de la tensión (**U**) por la intensidad (**I**).

$$\text{Potencia} = \text{Tensión} \times \text{Intensidad} \qquad \boxed{P = U \cdot I}$$

Unidad: Su unidad es el vatio (**W**).

$$1 \text{ vatio} = 1 \text{ voltio} \cdot 1 \text{ amperio} \qquad 1W = 1V \cdot 1A$$

Múltiplos del vatio (W) son: el kilovatio ($1\ kW = 10^3\ W$), el megavatio ($1\ MW = 10^6\ W$) y el gigavatio ($1\ GW = 10^9\ W$).

Submúltiplos son: el milivatio ($1\ mW = 10^{-3}\ W$) y el microvatio ($1\ \mu W = 10^{-6}\ W$).

Instrumento de medida: la potencia se mide con un dispositivo llamado vatímetro.

El vatímetro consiste en un par de bobinas fijas, llamadas «bobinas de corriente», y una bobina móvil llamada «bobina de tensión».

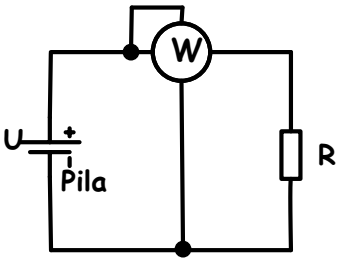


Figura 1.5

Las bobinas fijas se conectan en serie con el circuito, mientras la móvil se conecta en paralelo.

2. CIRCUITO ELÉCTRICO

El circuito **eléctrico es el camino cerrado a través del cual se desplazan los electrones**.
Los elementos de un circuito eléctrico son:
Generador: Es un elemento capaz de producir una diferencia de potencial entre dos puntos de circuito (por ejemplo, los polos positivo y negativo de una pila).

Así pues, el generador es el encargado de crear la diferencia de potencial (o diferencia de cargas), extrayendo los electrones del polo negativo para llevarlos al positivo.

Entre los ejemplos de dispositivos que pueden funcionar como generador podemos citar: pila, batería, acumulador (funcionan todos por acción química) y dinamos y alternadores (funcionan por inducción electromagnética).

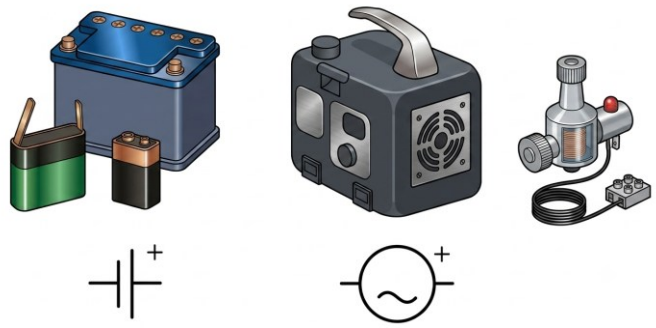


Figura 1.6

Asociada al elemento generador tenemos la magnitud llamada **fuerza electromotriz (fem)** que es la energía por unidad de carga necesaria para trasladar los electrones desde el polo negativo al positivo con el fin de crear la diferencia de potencial. La fem se mide en voltios (**V**).

Receptor: son elementos que consumen energía eléctrica para transformarla en otro tipo de energía (térmica, luminosa, mecánica, …). Ejemplos de receptores son: resistencias, bobinas, condensadores, lámparas, motores, timbres, zumbadores, …

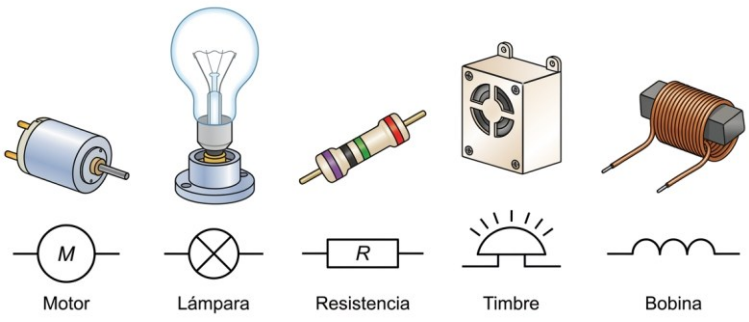
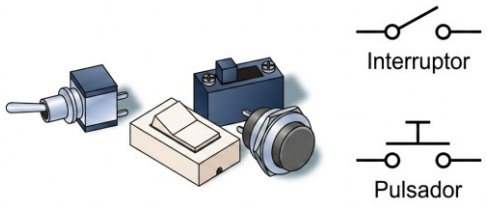


Figura 1.7

Elementos de maniobra: Permiten controlar el circuito eléctrico, dando paso a la corriente o desviándola. Entre los elementos de maniobra tenemos: Interruptores, conmutadores, pulsadores y otros.



Elementos de protección: protegen el circuito contra sobrecargas y cortocircuitos. Ejemplos: fusibles, diferenciales, magnetotérmicos, …

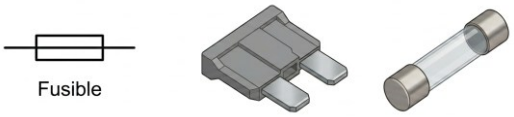


Figura 1.8

Conductores: son los elementos que conectan los generadores con los receptores, transportando las cargas de unos a otros. Por lo general, al realizar el análisis de circuitos se considera que los conductores son ideales (de resistencia eléctrica nula, $R=0$)

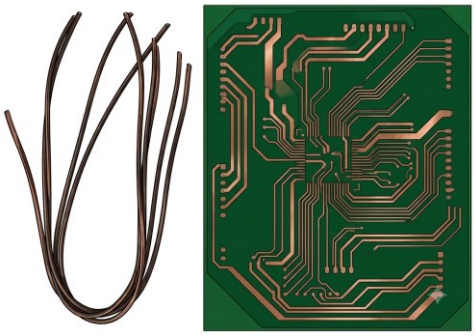


Figura 1.9

En total, el esquema del circuito eléctrico:

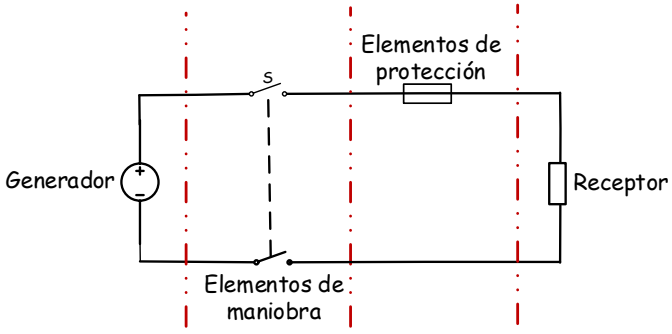


Figura 1.10. Elementos de un circuito eléctrico

3. LEY DE OHM

El famoso físico George Simon Ohm descubrió experimentalmente la relación que existe entre las tres magnitudes eléctricas fundamentales (intensidad, tensión y resistencia), estableciendo una ley que lleva su nombre y dice así:

"La intensidad de corriente que circula por un circuito eléctrico formado por resistencias puras es proporcional a la tensión que proporciona el generador e inversamente proporcional a la resistencia del circuito".

La expresión matemática de la ley de Ohm:

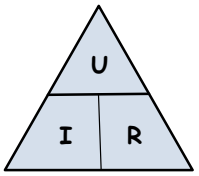
$$I = \frac{U}{R}$$

I= intensidad (A) U=Tensión en bornes del generador (V) R=Resistencia (Ω)

Fórmulas derivadas de la ley de Ohm:

$$I = U \cdot R \qquad R = \frac{U}{I} \qquad I = \frac{U}{R}$$

Representación gráfica de la ley de Ohm:



Además, si tenemos en cuenta la potencia eléctrica ($P = U \cdot I$), obtenemos otras expresiones:

$$P = R \cdot I^2 \qquad R = \frac{P}{I^2} \qquad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \qquad R = \frac{U^2}{P} \qquad U = \sqrt{P \cdot R}$$

$$P = U \cdot I \qquad I = \frac{P}{U} \qquad U = \frac{P}{I}$$

ACTIVIDAD RESUELTA 1.2.:

Hallar la intensidad de corriente que circula por un circuito si está sometido a una tensión de 220 V y ofrece una resistencia de 55 Ω (ohmios).

Datos: Tensión (ddp): U=220 V Resistencia: R=55 Ω

Resolución:

Intensidad de corriente: $I = \frac{U}{R} = \frac{220}{55} = 4A$

ACTIVIDAD RESUELTA 1.3.:

Hallar la potencia que consume un equipo eléctrico si tiene una resistencia de 15 Ω y circula una intensidad de corriente de 5 A (amperios)

Datos: Resistencia: R=15 Ω Intensidad: I=5 A

Resolución:

Método 1: Tensión: $U = I \cdot R = 5 \cdot 15 = 75V$ Potencia: $P = V \cdot I = 75 \cdot 5 = 375\,W$

Método 2: Potencia: $P = R \cdot I^2 = 15 \cdot 5^2 = 15 \cdot 25 = 375\,W$

4. ENERGÍA Y TRABAJO

En electricidad, el **trabajo eléctrico** es la energía necesaria para mover una carga entre dos puntos de un circuito. La **energía eléctrica** es la capacidad de realizar dicho trabajo. Ambas magnitudes se miden en julios (J) y están estrechamente ligadas a la potencia y al tiempo.

De esta manera, matemáticamente la energía tiene la misma definición que el trabajo, es decir, es la potencia por el tiempo transcurrido:

$$\text{Energía} = \text{Potencia x tiempo} \qquad E = P \cdot t$$

Unidad: Su unidad en el sistema internacional (**SI**) el julio (**J**).

1 julio=1 vatio·1 segundo $1J = 1W \cdot 1\,s$

El julio (que equivale a un vatio por segundo) es una unidad muy pequeña, por lo que se emplean otras de valor más elevado. La unidad de energía más usada en electricidad es el vatio-hora (**Wh**)

1 vatio-hora=1 vatio·1 hora 1Wh = 1W·1 h

Por tanto, 1 vatio-hora=3.600 julios 1 Wh=3.600 J

Un múltiplo del vatio-hora es el kilovatio-hora (**1 kWh=10³ Wh, 1 kWh=3.600.000 J**),

En la tabla se muestran otras expresiones importantes para la energía eléctrica que resultan de la definición de potencia:

Potencia	Energía
$P = U \cdot I$	$E = U \cdot I \cdot t$
$P = R \cdot I^2$	$E = R \cdot I^2 \cdot t$
$P = \frac{U^2}{R}$	$E = \frac{U^2}{R} \cdot t$

5. ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Un circuito eléctrico es un camino cerrado a través del cual se desplazan los electrones.

Se dice que el circuito eléctrico está abierto cuando se hace actuar un interruptor que impida el paso de la corriente.

Se llama circuito eléctrico cerrado a aquél en el que la corriente eléctrica circula sin interrupción.

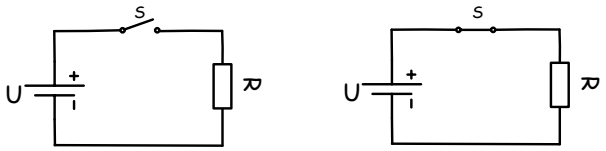


Figura 1.11.

Al trabajar con circuitos, se hace necesario en muchas ocasiones asociar diversos elementos mediante determinadas conexiones (serie, paralelo, estrella, triángulo,…) que nos permitan un adecuado aprovechamiento del circuito.

5.1. ASOCIACIÓN DE RESISTENCIAS EN SERIE

La asociación de elementos resistivos en SERIE consiste en conectar cada resistencia a continuación de la anterior.

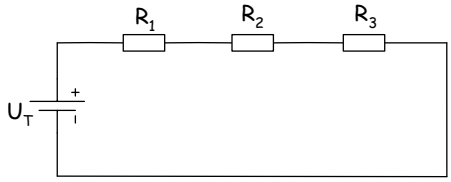


Figura 1.12.

Características:

a) Hay un único camino por el que circulan los electrones, luego hay **una sola intensidad** de corriente **I** común a todas las resistencias del circuito.

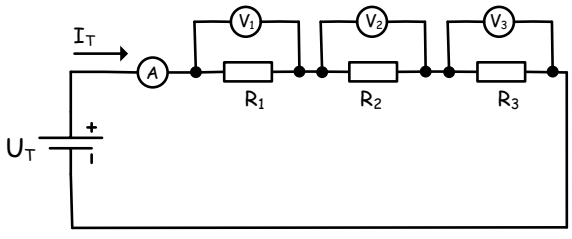


Figura 1.13.

b) **En cada resistencia existe una caída de tensión**. Esto es, hay una diferencia de potencial o tensión entre extremos de cada resistencia.

La caída de tensión entre extremos de cada resistencia se calcula por medio de la ley de Ohm aplicada a esa resistencia:

$$U_1=I\cdot R_1 \qquad U_2=I\cdot R_2 \qquad U_3=I\cdot R_3$$

La tensión total es igual a la suma de las caídas de tensión en cada resistencia:

$$U_T= U_1 +U_2 +U_3$$

c) Como consecuencia, la resistencia equivalente del circuito es igual a la suma de las resistencias:

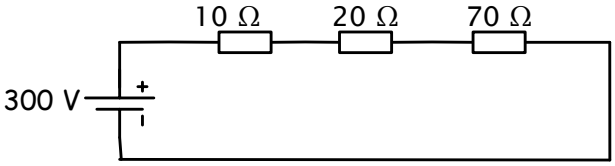
$$R_{eq}= R_1 +R_2 +R_3$$

OBSERVACIONES:

- La resistencia equivalente en un circuito serie es mayor que cualquiera de las resistencias parciales.
- En corriente continua, las tensiones parciales siempre son menores que la tensión total

ACTIVIDAD RESUELTA 1.4.:

En el circuito de la figura, CALCULA:



a) Resistencia equivalente del circuito
b) Intensidad en cada resistencia
c) Tensión en cada resistencia del circuito
d) Tensión total.

Resolución:

Datos: $R_1= 10\ \Omega$, $R_1= 20\ \Omega$, $R_1= 70\ \Omega$, $U=300$ V

La resistencia equivalente: $R_{eq}= R_1+R_2+R_3=10+ 20+70=100\ \Omega$

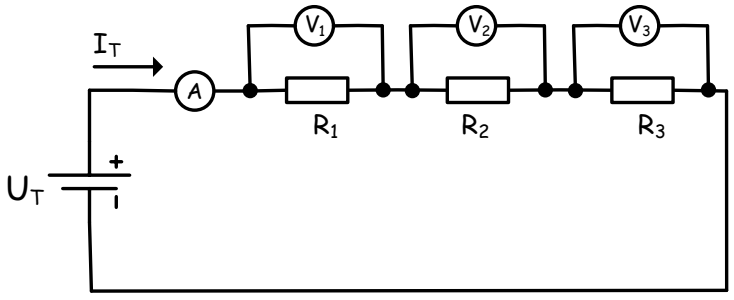
b)

En un circuito serie hay una sola intensidad de corriente que atraviesa las tres resistencias.

Usamos la ley de Ohm: $$I=\frac{U}{R_{eq}}=\frac{300V}{100\Omega}=3A$$

b) Tensión entre extremos de cada resistencia: Usamos la ley de Ohm: $U=I\cdot R$

$$U_1=I\cdot R_1=3\ A\cdot 10\ \Omega= 30\ V$$
$$U_2=I\cdot R_2=3\ A\cdot 20\ \Omega= 60\ V$$
$$U_3=I\cdot R_1=3\ A\cdot 70\ \Omega= 210\ V$$



d) Tensión total del circuito: es la suma de las tensiones entre extremos de cada resistencia

$U_T= U_1+U_2+U_3=30\ V+ 60\ V+210\ V=300\ V$, coincide con la tensión de la batería.

5.2. ASOCIACIÓN DE RESISTENCIAS EN PARALELO

La asociación de elementos en PARALELO consiste en conectar los extremos de TODAS las resistencias a 2 PUNTOS COMUNES.

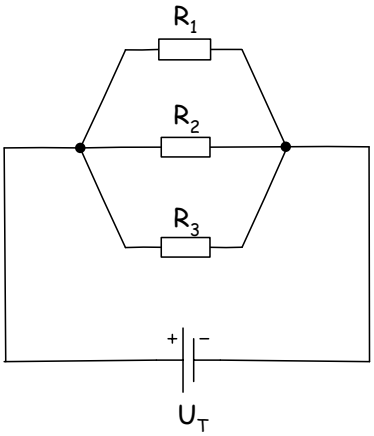


Figura 1.14.

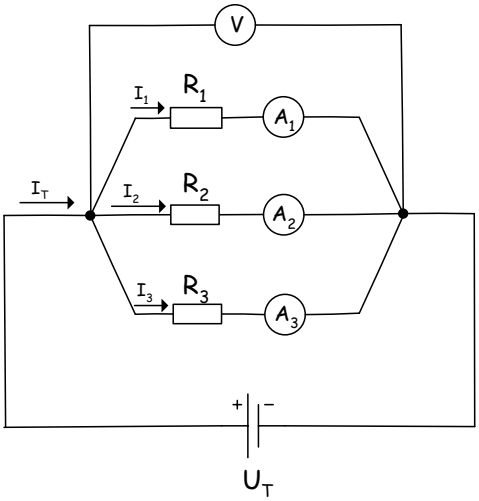


Figura 1.15.

Características:

a) Hay una sola TENSIÓN U_T en el circuito común a todas las resistencias, que coincide con la tensión conectada a la pila. Así, existe la misma tensión $\mathbf{U_T}$ entre extremos de todas las resistencias del circuito.

b) **En cada resistencia hay una intensidad de corriente**. Como siempre, la intensidad que circula por cada cada resistencia se calcula por medio de la ley de Ohm aplicada entre los extremos de esa resistencia:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \qquad I_2 = \frac{U}{R_2} \qquad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

La intensidad total $\mathbf{I_T}$ es igual a la suma de las intensidades en cada resistencia:

$$\boxed{I_T = I_1 + I_2 + I_3}$$

c) Como consecuencia, la inversa de la resistencia equivalente del circuito es igual a la suma de las inversas de las resistencias:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad \text{o también:} \qquad R_{eq} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1}$$

Observaciones:

- La resistencia equivalente en un circuito paralelo es MENOR que cualquiera de las resistencias parciales.
- En corriente continua, las intensidades parciales siempre son menores que la intensidad total.

Fórmulas especiales:

- Cuando sólo hay **dos resistencias en paralelo**, la fórmula de la resistencia equivalente queda:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

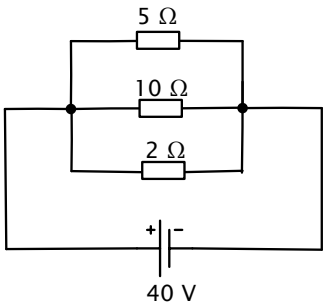
- Si todas las **resistencias** conectadas en paralelo son **iguales**:

$$R_{eq} = \frac{R}{\text{Nº de Resistencias}}$$

ACTIVIDAD RESUELTA 1.5.:

En el circuito de la figura, CALCULA:

a) Resistencia equivalente del circuito
b) Intensidad en cada resistencia
c) Tensión en cada resistencia del circuito
d) Intensidad total.



Resolución:

Datos: $R_1=5\Omega$ $R_2=10\ \Omega$ $R_3=2\ \Omega$ $U=40$ V

a) Resistencia equivalente del circuito:

$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$, sustituimos valores: $\frac{1}{R_T}=\frac{1}{5}+\frac{1}{10}+\frac{1}{2}=\frac{2+1+5}{10}=\frac{8}{10}$

Resistencia equivalente: $R_T=\frac{10}{8}=1{,}25\ \Omega$

b) Intensidad en cada resistencia: En un circuito paralelo, la intensidad de cada rama es distinta pero todas se calculan mediante la ley de Ohm:

$I_1=\frac{U}{R_1}=\frac{40}{5}=8\,A$ $I_2=\frac{U}{R_2}=\frac{40}{10}=4\,A$ $I_3=\frac{U}{R_3}=\frac{40}{2}=20\,A$

c) Tensión en cada resistencia del circuito

Como las resistencias están en paralelo, todas tienen la misma tensión:

$$U_1=U_2=U_3=40\ V$$

d) Intensidad total: es la suma de las intensidades parciales:

$$I_T=I_1+I_2+I_3=8\ A+4\ A+20\ A=32\ A$$

5.3. ASOCIACIÓN MIXTA DE RESISTENCIAS

El circuito mixto es aquél en el que encontramos resistencias asociadas en paralelo y en serie. Para resolver el circuito utilizaremos el siguiente procedimiento:

1. Reducimos a su circuito equivalente aquellas partes del circuito que estén claramente acopladas, bien en serie o bien en paralelo
2. En segundo lugar, dibujamos los nuevos circuitos equivalentes, indicando las magnitudes (conocidas y desconocidas).
3. Calculamos las magnitudes desconocidas empezando por los circuitos equivalentes más reducidos y terminando en el circuito original.

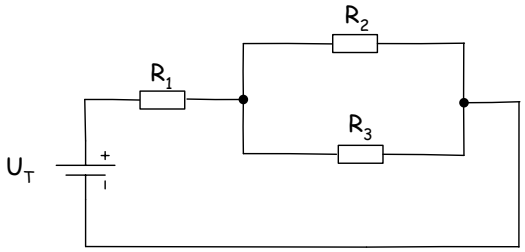


Figura 1.16.

Para comenzar a resolver el circuito anterior, dibujamos las intensidades y tensiones que aparecen:

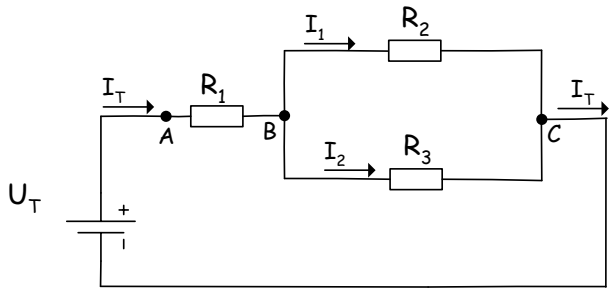


Figura 1.17.

Paso 1: resolvemos las partes del circuito claramente acopladas. En este caso, se observa que R_2 y R_3 están conectadas en paralelo. Así, calculamos la resistencia equivalente correspondiente a esta conexión a la que llamamos R_P:

$$R_P = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

Paso2: Dibujamos los circuitos equivalentes, indicando las magnitudes. En este primer circuito equivalente, R_P indica la resistencia equivalente de las conectadas en paralelo.

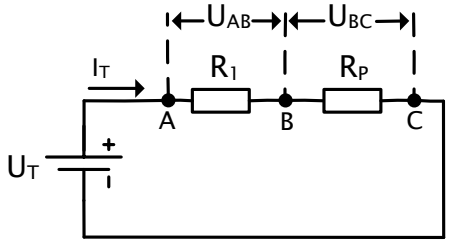


Figura 1.18.

En este circuito se observa que hay dos resistencias conectadas en serie, luego el nuevo circuito equivalente es:

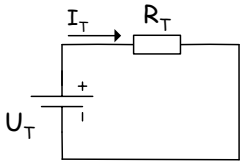


Figura 1.19.

La resistencia equivalente de todo el circuito es R_T. Puesto que R_1 y R_P están conectadas en serie, la resistencia equivalente del circuito total se calcula:

$$R_T = R_1 + R_P$$

Paso 3: Calculamos las magnitudes desconocidas empezando por los circuitos equivalentes más reducidos. En el **circuito equivalente final** calculamos la intensidad total:

$$I_T = \frac{U}{R_T}$$

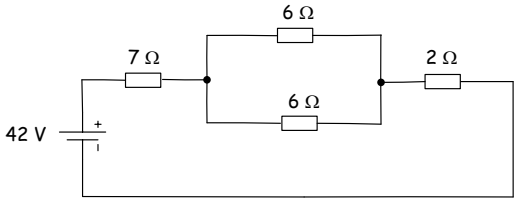
En el **circuito equivalente intermedio** calculamos las TENSIONES parciales U_{AB} y U_{BC}:

$$U_{AB} = I_T \cdot R_1 \qquad U_{BC} = I_T \cdot R_P$$

En el **circuito inicial** calculamos las intensidades que circulan por cada resistencia:

- Por R_1 circula la intensidad total ya conocida: $I_T = \frac{U}{R_T}$ (o también: $I_T = \frac{U_{AB}}{R_1}$)
- Por R_2 circula una intensidad parcial que hemos llamado I_1: $I_1 = \frac{U_{BC}}{R_2}$
- Por R_3 circula una intensidad parcial que hemos llamado I_2: $I_2 = \frac{U_{BC}}{R_3}$

ACTIVIDAD RESUELTA 1.6: En el circuito de la figura, CALCULA:



a) Resistencia equivalente del circuito
b) Intensidad en cada resistencia
c) Tensión en cada resistencia del circuito
d) Potencia consumida en resistencia de 6 Ω

Resolución:

Datos: $R_1=7\Omega$ $R_2=6\Omega$ $R_3=6\Omega$ $R_4=2\Omega$ $U=42$ V

a) El valor de la resistencia correspondiente a la asociación en paralelo de R_2 y R_3:

$R_P = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6 \cdot 6}{6+6} = \frac{36}{12} = 3\Omega$, al ser las resistencias iguales, la resistencia en paralelo vale la mitad.

La resistencia equivalente del circuito: $R_{eq}=R_1+R_p+R_4 = 7+ 3+ 2=12\ \Omega$

La intensidad total del circuito la hallamos mediante la ley de Ohm: $I_T = \frac{U}{R_T} = \frac{42V}{12\Omega} = 3{,}5\ A$

c) Tensión en cada resistencia del circuito:

$U_{R1} = I_T \cdot R_1 = 3{,}5 \cdot 7 = 24{,}5\ V$

$U_{RP} = I_T \cdot R_p = 3{,}5 \cdot 3 = 10{,}5\ V$

$U_{R4} = I_T \cdot R_4 = 3{,}5 \cdot 2 = 7\ V$

d) Tensión total: $U = U_{R1} + U_{RP} + U_{R4} = 24{,}5 + 10{,}5 + 7 = 42\ V$

b) Intensidad en cada resistencia: la hallamos mediante la ley de Ohm:

$$I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{24{,}5V}{7\Omega} = 3{,}5\ A$$

$$I_{R4} = \frac{U_{R4}}{R_4} = \frac{7V}{2\Omega} = 3{,}5\ A$$

$$I_{R2} = \frac{U_{RP}}{R_2} = \frac{10{,}5V}{6\Omega} = 1{,}75\ A$$

$$I_{R3} = \frac{U_{RP}}{R_3} = \frac{10{,}5V}{6\Omega} = 1{,}75\ A$$

d) Potencia consumida en la resistencia de 6 Ω: con los resultados anteriores es sencillo hallar la potencia disipada en cada resistencia ($P=R \cdot I^2$). La potencia disipada en $R_3 = 6\Omega$ es:

$$P_{R3} = R_3 \cdot I_{R3}^2 = 6 \cdot 1{,}75^2 = 6 \cdot 3{,}0625 = 18{,}375\ W$$

6. CIRCUITO "DIVISOR DE TENSIÓN"

El circuito divisor de tensión tiene múltiples aplicaciones en la electrónica. Su finalidad es reducir la tensión que proporciona la pila o batería disponible, de forma que podamos alimentar, **con una tensión más pequeña**, otro dispositivo que necesite una tensión menor.

Así, por ejemplo, nos sirve cuando queramos hacer que funcione una calculadora, que necesita una pila de 3 voltios, cuando disponemos de una pila de 9 voltios. Para ello, basta con construir un divisor de tensión, que convierta los 9 voltios de la pila en los 3 voltios que necesita la calculadora. Las aplicaciones de este circuito aparecen en todos los equipos electrónicos: ordenadores, televisores, amplificadores, instrumentos de medida, etc.

El circuito **divisor de tensión** es una configuración de circuito eléctrico que reparte la tensión de una fuente entre dos o más resistencias conectadas en serie.

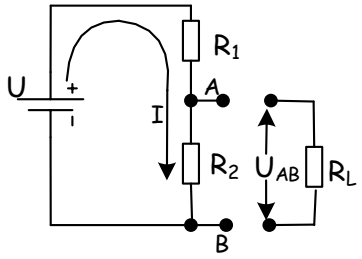


Figura 1.20.

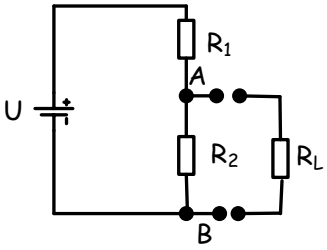
Puesto que las dos resistencias R_1 y R_2 forman un circuito serie, la intensidad que atraviesa el circuito es:

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

La tensión entre extremos de R_2 (es decir, entre los puntos **A** y **B**) del divisor de tensión se calculará por la ley de Ohm:

$$U_{AB} = I \cdot R_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

Así, para calcular la tensión entre extremos de la resistencia R_2 empleamos la fórmula:

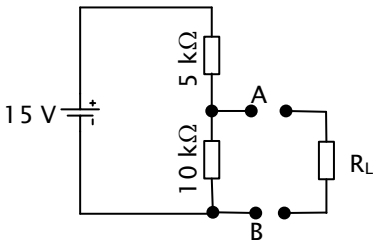


$$\boxed{U_{AB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U}$$ (cuando $R_L >> R_2$)

La fórmula sólo es válida cuando circula una corriente muy pequeña (que podamos despreciar) por la resistencia de carga R_L; para ello debe cumplirse que sea mucho mayor que las resistencias en serie R_1 y R_2 .

ACTIVIDAD RESUELTA 1.7:

En el circuito de la figura, CALCULA la tensión entre extremos de **A** y **B**:



Resolución:

Datos: R1=5 kΩ R2=10 kΩ U=15 V

Tensión entre extremos de A y B:

$$U_{AB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{10k\Omega}{5\ k\Omega + 10k\Omega} \cdot 15V = 10V$$

7. LEYES DE KIRCHOFF

1º Ley de Kirchhoff

La suma algebraica de las corrientes entrantes en un nudo es igual a cero:

$$\sum I_n = 0$$

$$I_1+I_3+I_4-I_2-I_5=0$$

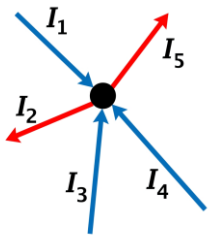


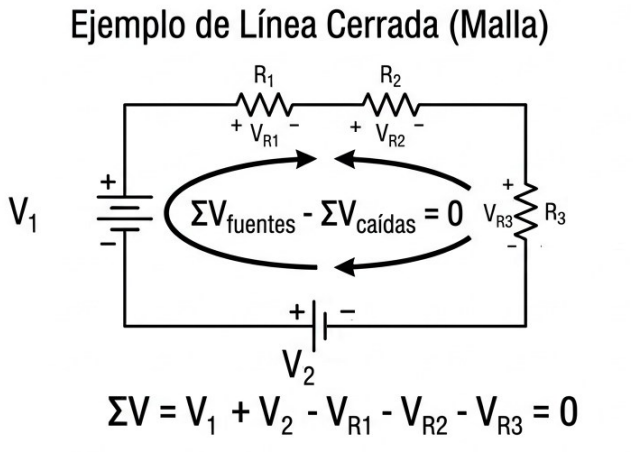
Figura 1.21.

2º Ley de Kirchhoff

La suma de las tensiones a lo largo de cualquier línea cerrada en un circuito es siempre igual a cero.

Las líneas cerradas de un circuito reciben el nombre de **mallas**.

Figura 1.22.



8. RESISTORES

Los **componentes electrónicos** son aquellos dispositivos que forman parte de un circuito electrónico. Se suelen encapsular, generalmente en un material cerámico, metálico o plástico, y terminar en dos o más terminales o patillas metálicas. Se diseñan para ser conectados entre ellos, normalmente mediante soldadura, en un circuito impreso. Según su funcionamiento podemos clasificarlos en:

- **Componentes Activos**: proporcionan excitación eléctrica, ganancia o control.
- **Componentes Pasivos**: son los encargados de la conexión entre los diferentes componentes activos, asegurando la transmisión de las señales eléctricas o modificando su nivel (disipando energía). Los principales componentes pasivos son resistores, condensadores y bobinas.

La **Resistencia** es la cualidad que tienen algunos materiales o sustancias de ofrecer cierta dificultad al paso de la corriente eléctrica.

El **resistor** es el componente electrónico diseñado para presentar una resistencia; es decir, los resistores son componentes electrónicos que tienen la propiedad de oponerse al paso de la corriente eléctrica. Por abuso de lenguaje, a veces también se llama **resistencia** al **resistor**.

El valor de una resistencia depende de la forma en que haya sido construida y de la temperatura a la que esté sometida.

Valor del resistor según sus características constructivas

Según sabemos el valor de la resistencia depende de la naturaleza del material (la resistividad, **ρ**), es directamente proporcional a la longitud que tenga e inversamente proporcional a su sección transversal. La fórmula que expresa dicha dependencia:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Por tanto, el valor del resistor sólo depende de cómo se haya construido.

NOTA: El valor de la resistencia también depende de la temperatura, como veremos más adelante.

8.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS RESISTORES

Resistencia nominal

Es el valor teórico que se espera que tenga el resistor al terminar el proceso de fabricación.
Los resistores se fabrican con determinados valores. Existen unas series de valores normalizados, dependiendo de la tolerancia que se precise. De esta forma, los valores óhmicos comerciales vienen dados por series normalizadas: E6 (tolerancia =20%), E12 (tolerancia =10%), E24 (tolerancia =5%), E48 (tolerancia =2%), E96 (tolerancia =1%).

Serie E6	1.0				1.5				2.2				3.3				4.7				6.8			
Serie E12	1.0		1.2		1.5		1.8		2.2		2.7		3.3		3.9		4.7		5.6		6.8		8.2	
Serie E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
Serie E48	1.0		1.05		1.1		1.15		1.21		1.27		1.33		1.40		1.47		1.54		1.62		1.69	
	1.78		1.87		1.96		2.05		2.15		2.26		2.37		2.49		2.61		2.74		2.87		3.01	
	3.16		3.32		3.48		3.65		3.83		4.02		4.22		4.42		4.64		4.87		5.11		5.36	
	5.62		5.90		6.19		6.49		6.81		7.15		7.50		7.87		8.25		8.66		9.09		9.53	

Tolerancia

Es la diferencia entre la desviación superior e inferior sobre la resistencia nominal. La tolerancia se expresa en porcentaje. El valor teórico que indica la **resistencia nominal** y el de la **tolerancia** se marcan en el cuerpo del resistor mediante un código llamado **CÓDIGO DE COLORES**, el cual consiste en unas bandas que se imprimen en el componente y que nos sirven para saber el valor óhmico de éste. Hay resistores de 4, 5 y 6 anillos de color, siendo los de 4 y 5 bandas los más usados. En la figura, se da la tabla de los colores normalizados:

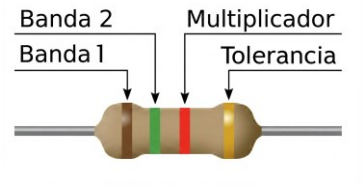


Figura 1.23.

Color	Banda 1 1ª cifra	Banda 2 2ª cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro	--	0	$10^0=1$	--
Marrón	1	1	$10^1=10$	±1%
Rojo	2	2	$10^2=100$	±2%
Naranja	3	3	$10^3=1.000$	--
Amarillo	4	4	$10^4=10.000$	--
Verde	5	5	$10^5=100.000$	--
Azul	6	6	$10^6=1000.000$	--
Violeta	7	7	10^7	--
Gris	8	8	10^8	--
Blanco	9	9	10^9	--
Oro	--	--	$10^{-1}=0,1$	±5%
Plata	--	--	$10^{-2}=0,01$	±10%
Ninguno			--	±20%