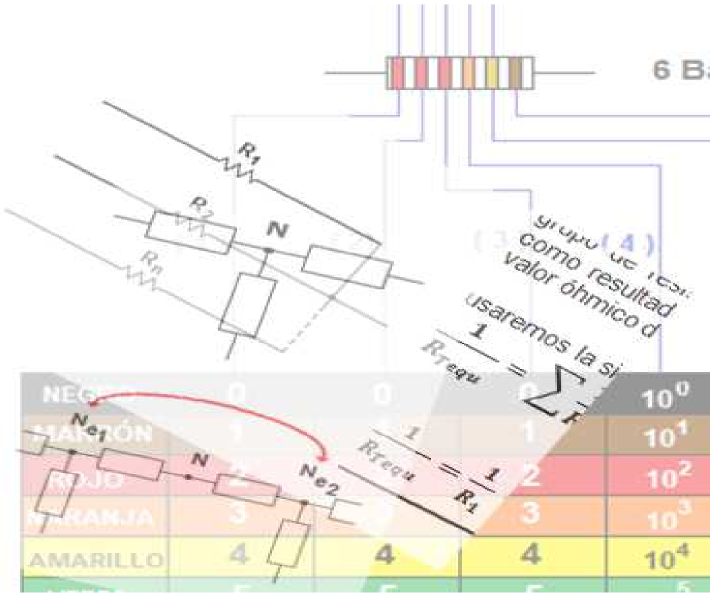
UCA Universidad de Cádiz



Introducción a los Dispositivos Electrónicos

Resistencias (1)

Dpto. en ingeniería en Automática, Electrónica, Arquitectura y Redes de Computadores

Agustín J Carmona Lorente

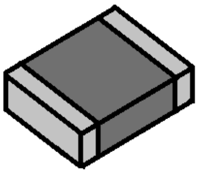
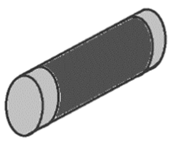
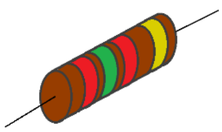
1.- Principios Básicos. Elementos pasivos

1.1 Resistencias Lineales.

Elemento que se usa en un circuito electrónico para establecer una resistencia eléctrica[1] de cierta magnitud. Su unidad es el ohmio (Ω) y sus múltiplos kilohmio (KΩ =1000Ω), megaohmio (MΩ =10^6Ω).

Formatos de fabricación

Según la tecnología de montaje, podemos encontrar resistencias fabricadas en diminutas capsulas, cúbicas o cilíndricas (en el caso de tecnología de montaje superficial SMT), o la más usuales usadas en tecnología de inserción, estas son normalmente cilíndricas y tienen unos terminales axiales en sus extremos.

		Cápsula cúbica, típica de montaje superficial
		Capsula cilíndrica para SMT denominada MELF (Metal electrode face bonding)
		Resistencia de carbón típica de la tecnología de inserción

Fiq 1: Diferentes formas de presentación de las resistencias lineales

[1] Oposición que ofrece un elemento al paso de la corriente eléctrica

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Simbología

La forma más usual de representar una resistencia es el símbolo rectangular, que sigue la normativa europea EN60617 y la norma española UNE_EN 60617-7 armonizada con la anterior.

El símbolo en forma de zig-zag aún se mantiene en algunos esquemas y literatura por haberse utilizado durante mucho tiempo.

UNE_EN 60617-4: 1996 componentes pasivos

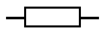
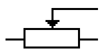
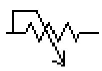
Código o número	Símbolo	Definición
4-01-01		Resistencia, símbolo general
4-01-07		Potenciómetro con contacto móvil
		Resistencia, símbolo usado tradicionalmente
		Potenciómetro, símbolo usado tradicionalmente

Fig 2: Simbología

Codificación

Para identificar el valor óhmico de estos dispositivos se usan diferentes métodos de codificación, siendo el más usual el utilizado en las resistencias para la tecnología de inserción (por bandas de color).

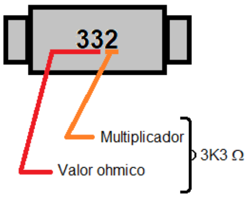
No obstante para resistencias usadas en montaje superficial (SMD) se utiliza una codificación alfanumérica.

Los más comunes son la codificación mediante tres cifras, cuatro cifras y para resistencias de muy alta precisión (1%) la codificación IEA – 96

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Codificación para resistencias de montaje superficial (SMD)

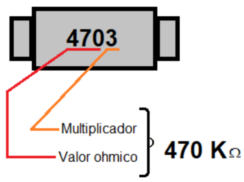
Código numérico de 3 cifras



De izquierda a derecha, las dos primeras cifras son el valor óhmico, la tercera es el coeficiente multiplicador 10^n (número de ceros).
Otros ejemplos:

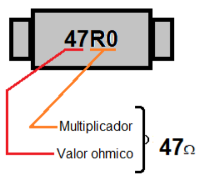
102 = 1KΩ
222 = 2K2Ω
643 = 64KΩ

Código numérico de 4 cifras



De izquierda a derecha, las tres primeras cifras son el valor óhmico, la tercera es el coeficiente multiplicador 10^n (número de ceros).
Otros ejemplos:

1023 = 102KΩ
2220 = 222Ω
1004 = 1MΩ



Para valores de resistencia comprendidos entre 0 y 99 Ω se inserta la letra R y se utiliza el mismo método que en el de 3 cifras

Tabla 1 : Codificación de resistencias para SMD

También existe el sistema de codificación EIA-96 para resistencias de muy alta precisión. Esto es, con una tolerancia del ± 1 %. Esta basada en la serie normalizada E96 para resistencias.

Haciendo un paréntesis, hay que entender la necesidad de normalización de los valores de resistencias desde el punto de vista de la fabricación. Por ello se han creado varias series normalizadas dependiendo de la tolerancia de estos dispositivos.

En primer lugar tengamos claro el concepto de tolerancia, será los valores máximo y mínimo que podrá tener una resistencia desde el valor nominal que nos indica el fabricante.

Pongamos por ejemplo una resistencia de la serie E24 (± 5 %), cuyo valor nominal esa de 10Ω ± 5 %. Sus valores reales oscilarán entre 9´5Ω y 10´5 Ω.

Basándonos este concepto se puede entender la necesidad de la normalización de los valores de las resistencias para facilitar al fabricante su construcción. Por ello y basándose en la tolerancia se han creado diferentes series de resistencias que se denominan con la letra E y un número, este indica el número de valores de resistencia que contiene en 1 y 10 (una década), así para la serie E6 hay 6 valores comprendidos entre 1 y 10Ω.

En la tabla siguiente vemos los valores comprendidos por década para las series normalizadas E6, E12 y E24

E6 ±20 %.	1´0		1´5		2´2		3´3		4´7		6´8	
E12 ±10 %	1´0	1´2	1´5	1´8	2´2	2´7	3´3	3´9	4´7	5´6	6´8	8´2
E24 ±5 %	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

Tabla 2: Valores Normalizados

Serie	**Valores por década**	**Valores de tolerancia**
E6	6	±20 %
E12	12	±10 %
E24	24	±5 %
E48	48	±2´5 %
E96	96	±1 %
E192	192	±0´5 %

Tabla 3: Tolerancia según la serie

Para calcular un valor de cada una resistencia R_n en cada una de la series, se utiliza la siguiente expresión.

$$\boldsymbol{R_n(Serie) = 10^{\frac{N-1}{Serie}}}$$

- Donde **n** es el número de orden de la resistencia R_n en la serie que se trate

Por ejemplo el valor del la resistencia 30 de la serie E48

$$R_{30}(E48) = 10^{\frac{30-1}{48}} = 4'02\Omega$$

Continuando con el sistema de codificación EIA-96, diremos que su lectura está basado en el mismo formato que se utiliza para leer el código de 3 números (ver tabla 1), pero en este caso es alfanumérico. Los dos primeros números serán un código que indica el valor óhmico, en función de una tabla consensuada por los fabricantes. Acompañados por una letra que será el coeficiente multiplicador.

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica, Arquitectura y Redes de Computadores.

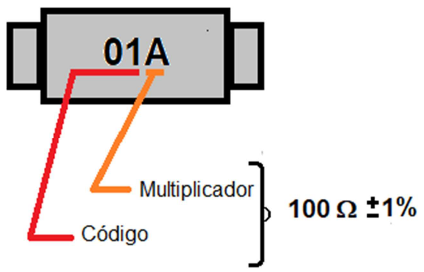


Fig 3: Ejemplo de codificación EIA-96

código	valor	código	valor	código	valor	código	valor	código	valor	código	valor
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	221	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787
08	118	24	174	40	255	56	374	72	549	88	806
09	121	25	178	41	261	57	383	73	562	89	825
10	124	26	182	42	267	58	392	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	402	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

Tabla 4: Códigos numéricos para EIA-96

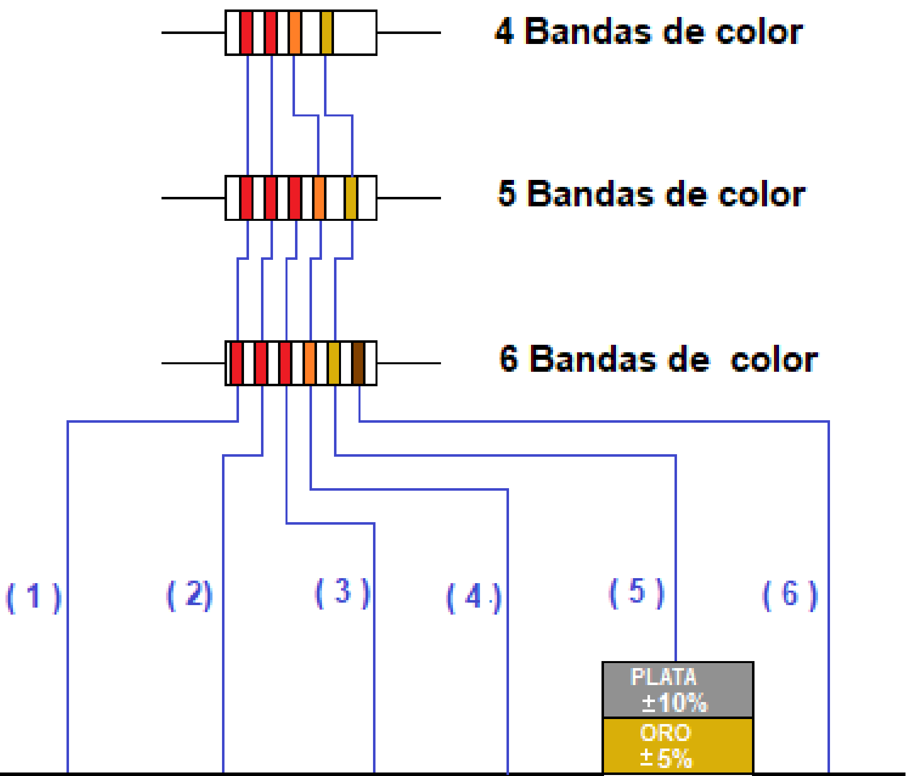
Código	Valor
Z	0'001
Y/R	0'01
X/S	0'1
A	1
B/H	10
C	100
D	1.000
E	10.000
F	100.000

Algunos ejemplos		
14A	---------	137 Ω
77S	---------	61'9 Ω
01D	---------	100 kΩ
69C	---------	51K1 Ω

Tabla 5: Código multiplicador para EIA-96

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

El sistema de codificación más conocido es el de bandas de color, usado en resistencias para tecnología de inserción. Las más usuales son las de la serie E12 y E24 para la codificación con 4 bandas de color y para la serie E48 y E96 para las de 5 y 6 bandas de color.



NEGRO	0	0	0	10^0		200 ppm/ºk
MARRÓN	1	1	1	10^1	± 1%	100 ppm/ºk
ROJO	2	2	2	10^2	± 2%	50 ppm/ºk
NARANJA	3	3	3	10^3		15 ppm/ºk
AMARILLO	4	4	4	10^4	ESPECIAL	25 ppm/ºk
VERDE	5	5	5	10^5	± 0'5%	
AZUL	6	6	6	10^6	± 0'25%	
VIOLETA	7	7	7	10^7	± 0'1%	
GRIS	8	8	8	10^8		
BLANCO	9	9	9	10^9		

Fig 4: Valores para la codificación por bandas de color

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

¿Qué significa cada banda?

Debido a su reducido tamaño sobre todo en resistencias de ¼ o ½ w (vatio), o las de 6 bandas de color, a veces es complicado saber en qué dirección y por qué banda de color empezar. Como regla general se empezara por la banda más pegada uno de los extremos, y después, en orden de izquierda a derecha.

Dicho esto, mirando la figura 4, veamos que significa cada banda de color.

(1) P*rimera cifra significativa*. En nuestro ejemplo es rojo, por lo tanto le corresponde un valor de **2.**

(2) *Segunda cifra significativa*. En nuestro ejemplo es rojo, por lo tanto le corresponde un valor de **2.**

(3) *Tercera cifra significativa.* En este caso solo afectaría a las resistencias de 5 y 6 bandas de color (ver figura 4) En nuestro ejemplo es rojo, por lo tanto le corresponde un valor de **2**

(4) *Coeficiente multiplicador*. Es multiplicar por la potencia de 10 elevada al exponente que indica el color a los dos o tres dígitos anteriores (según el caso), o lo que es lo mismo el número de cero que llevará. En nuestro ejemplo es naranja, por lo tanto le corresponde un valor de **10^3.**

(5) *Tolerancia*. En nuestro ejemplo es oro, por lo tanto le corresponde un valor de $\pm 5\%$**.**

(6) *Coeficiente de temperatura*. Esta banda solo aparecen las resistencias con 6 bandas de color. . En nuestro ejemplo es marrón, por lo tanto le corresponde un valor de **100 ppm/ºk** (partes por millón por grado kelvin).

Entonces los valores de las tres resistencias de la figura 4 quedarían:

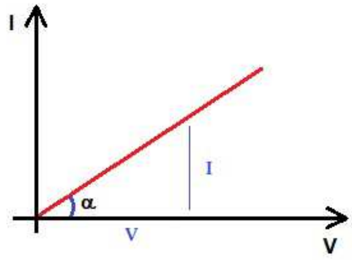
4 bandas de color 	Rojo (2) Rojo (2) Naranja (10^3) Oro ($\pm 5\%$.**)**	22KΩ $\pm 5\%$. (22000)
5 bandas de color 	Rojo (2) Rojo (2) Rojo (2) Naranja (10^3) Oro ($\pm 5\%$.**)**	222KΩ $\pm 5\%$. (222000)
6 bandas de color 	Rojo (2) Rojo (2) Rojo (2) Naranja (10^3) Oro ($\pm 5\%$.**)** Marrón 100 ppm/ºK	222KΩ $\pm 5\%$. (222000)

Tabla 6: Valores ejemplo

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Comportamiento lineal.

La curva característica de este tipo de resistencias es una línea recta, cuya pendiente es la inversa del valor de la resistencia (1/R). Y como la pendiente es constante la resistencia también lo será.
La ley de Ohm establece una relación lineal entre tensión y corriente mediante un factor, la resistencia, que se considera constante (V= R .I Para R = cte), por tanto a estas resistencias se les conoce como lineales u óhmicas.



$$\left.\begin{aligned} V = I \times R \quad \Longrightarrow \quad R = \frac{V}{I} \\ \tan\alpha = \frac{I}{V} \end{aligned}\right\} \Rightarrow R = \frac{1}{\tan\alpha}$$

Fig. 5: Curva característica de las resistencias lineales.

Asociación de resistencias

Para conseguir valores de resistencia distintos a los normalizados por razones de diseño, o bien para conseguir tensiones (divisor de tensión) o corrientes (divisor de corrientes) necesarias para un circuito podemos unir resistencias en serie, paralelo o de forma mixta (serie || paralelo.)

**Asociación de resistencias serie* → *Asociación de resistencias serie

El extremo final de un componente se une al extremo inicial del otro y la corriente que atraviesa a todos los elementos es la misma.

Calcular la resistencia total equivalente de un grupo de resistencias en serie, se obtiene como resultado de la suma algebraica del valor óhmico de todas las resistencias.

usaremos la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{R_{Teq} = \sum R_n \Longrightarrow}$$

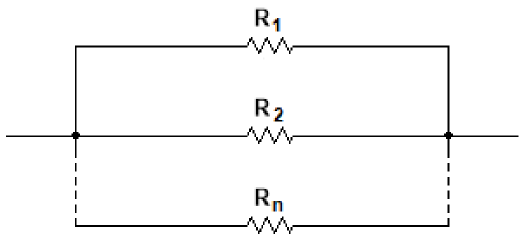
$$\underline{\boldsymbol{R_{Teq} = R_1 + R_2 + \cdots R_n}} \qquad (1)$$

Fig 6: Resistencia equivalente en serie

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Asociación de resistencias en paralelo

Los extremos iniciales de todos los componentes se unen en un punto y los extremos finales en otro punto diferente. En este caso, la tensión que afecta a todos los componentes es la misma.

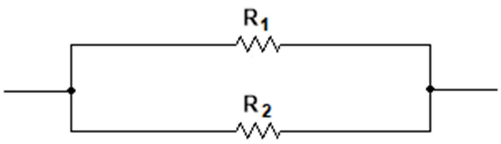


Calcular la resistencia total equivalente de un grupo de resistencias en paralelo, se obtiene como resultado de la suma de la inversa del valor óhmico de todas las resistencias.

usaremos la siguiente expresión:

$$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_{Tequ}}} = \sum \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_n}} \Rightarrow$$

$$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_{Tequ}}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_1}} + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_2}} \ldots + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_n}}$$



Para el caso particular de dos resistencia en paralelo, la resistencia total equivalente será:

$$\boldsymbol{R_1} \parallel \boldsymbol{R_2} = \frac{\boldsymbol{R_1} \times \boldsymbol{R_2}}{\boldsymbol{R_1}+\boldsymbol{R_2}}$$

Fig 7: Resistencia equivalente en paralelo

Asociación de resistencias de forma mixta

Se trata de un circuito formado por un grupo de resistencias unidas entre si de manera que forman conjuntos en serie y en paralelo. Para resolver la resistencia total equivalente, tendremos que aplicar las ecuaciones (1), (2) y (3) de las figuras 6 y 7 según correspondan.

Un procedimiento puede ser:

1.- Resolver todos los conjuntos en paralelo.

2.- Resolver los elementos en serie.

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Véase el siguiente ejemplo.

Calcular la resistencia total equivalente del circuito de la figura

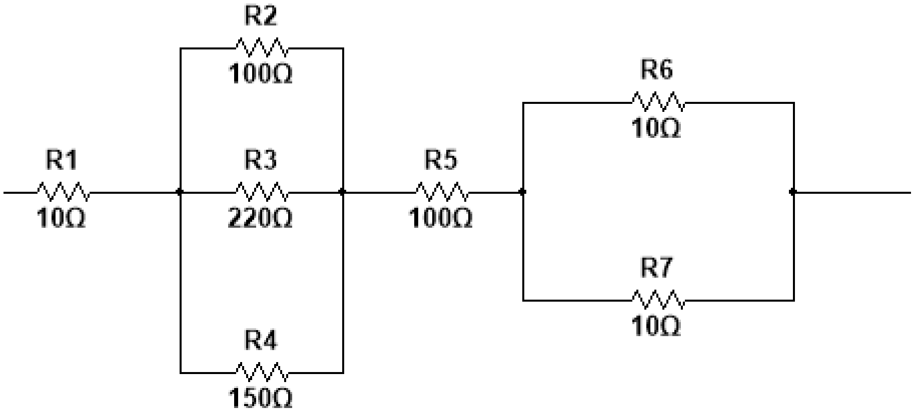


Fig 8: Montaje de resistencias configuración mixta

1 Calcular primero los dos grupos en paralelo (R_2 || R_3 || R_4) y (R_6 || R_7)

a.- *R_2 || R_3 || R_4*

$$\frac{1}{R_{par1}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{100} + \frac{1}{220} + \frac{1}{150} = \frac{33}{3300} + \frac{15}{3300} + \frac{22}{3300} = \frac{7}{330}$$

$$\boldsymbol{R_{eqpar1}} = \frac{\mathbf{330}}{\mathbf{7}} = \underline{\mathbf{47.142\Omega}}$$

b.- *R_6 || R_7*

$$\frac{1}{R_{par2}} = \frac{R_6 \times R_7}{R_6 + R_7} = \frac{10 \times 10}{10 + 10} = \frac{100}{20}$$

$$\boldsymbol{R_{eqpr2}} = \underline{\mathbf{5\Omega}}$$

El circuito queda ahora como muestra la figura 9

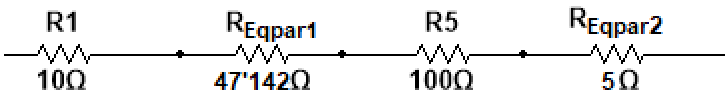


Fig 9: Circuito mixto con los paralelos resueltos

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

2 calcular ahora el circuito en serie, para obtener la resistencia total equivalente.

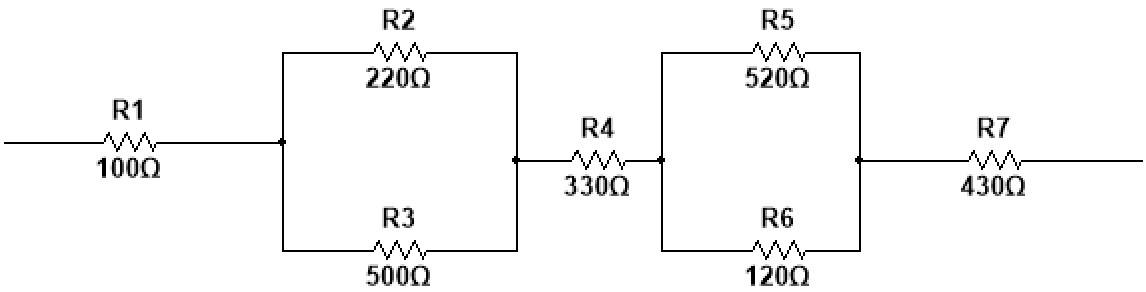
$$R_{Teq} = R_1 + R_{par1} + R_5 + R_{par2} = 10 + 47'142 + 100 + 5$$

$$\boldsymbol{R_{Teq}} = \underline{\mathbf{162'142\Omega}}$$

<u>Ejercicios propuestos</u>

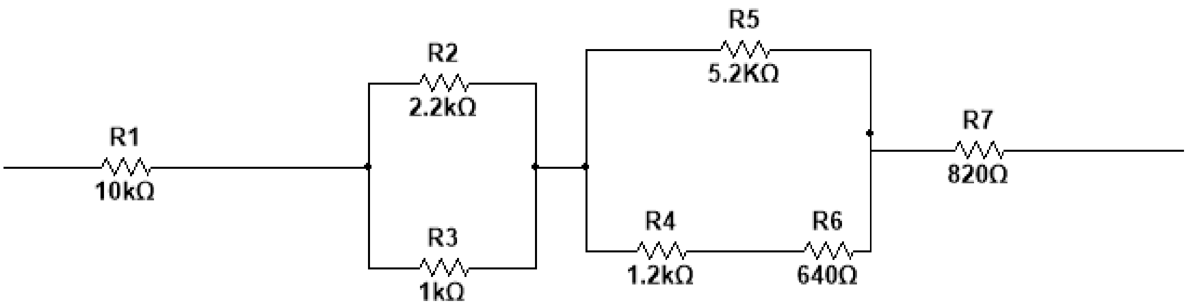
1. *Calcula la resistencia total equivalente del circuito de la figura*

(sol: 1'11 KΩ)



2. *Calcula la resistencia total equivalente del circuito de la figura*

(sol: 12'867 KΩ)

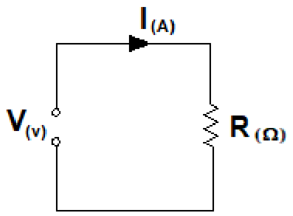


Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Ley de ohm

Esta ley establece la relación entre voltaje o diferencia de potencial, intensidad de corriente y resistencia eléctrica.

En su formulación generalizada expone que*: la corriente eléctrica que circula por un circuito es directamente proporcional al voltaje que se aplica en sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia al paso de dicha corriente que ofrece el circuito.*



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

Fig 10: Ley de Ohm generalizada

Donde:

I es la corriente que atraviesa el circuito medida en Amperios (A). Sus submúltiplos miliamperios **–mA-** microamperios (10^{-3} Amperio), -**μA-** (10^{-6} Amperios), o su múltiplo kiloamperios **-KA**– (10^{3} Amperios) . Se define como *la cantidad de electrones que circulan por la sección de un conductor en la unidad de tiempo. Por tanto* $I = q/t$

V es la tensión o voltaje que se le aplica al circuito medida en Voltios (V). Sus submúltiplos milivoltios **–mV-** (10^{-3} Voltios), microvoltios -**μV-** (10^{-6} Voltios), o su múltiplo kilovoltio **-KV**– (10^{3} Voltios) , . Se define como *El trabajo realizado para desplazar una carga eléctrica entre dos puntos a diferente potencial unidos por un conductor.*

R es la resistencia eléctrica que ofrece el circuito medida en Ohmios (Ω). O sus múltiplos kilohmios **-KΩ**– (10^{3} Ohmios) , megaohmios **-MΩ**– (10^{6} Ohmios) y en raras ocasiones sus submúltiplos miliohmios **-mΩ**– (10^{-3} Ohmios) .

Ejemplo de aplicación (1). En el circuito de la figura calcule la corriente total $\mathbf{I_o}$.

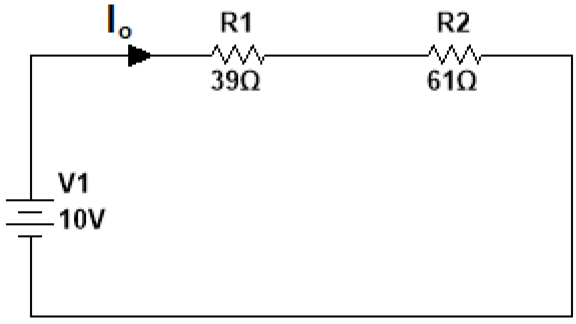


Fig. 11 Aplicación de la ley de ohm

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Lo primero que haremos será calcular la resistencia total equivalente **R_{Tequ}**, que al ser en serie será:

$$R_{Teq} = \sum R_n = R_1 + R_2 = 39 + 61 = \underline{100\ \Omega}$$

Una vez conocido el valor de la resistencia total equivalente, para calcular el valor de **I_0** aplicaremos la ley de Ohm generalizada:

$$I_0 = \frac{V}{R} = \frac{10}{100} = 100\ mA$$

$$I_0 = \underline{100mA}$$

Potencia

Potencia eléctrica la podemos definir como la cantidad de energía que absorbe o entrega un dispositivo por unidad de tiempo y se mide en vatios (W) o en sus múltiplos KW (10^3 W) o submúltiplos mW (10^{-3} W). En una resistencia eléctrica esta potencia absorbida se disipa en forma de calor.

En corriente continua la potencia es directamente proporcional al producto entre la tensión y la corriente que atraviesa o entrega un dispositivo, esto es:

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} \Longrightarrow \underline{P = V \times I}$$

Para el ejemplo de aplicación anterior (Fig 11), podremos calcular ahora la potencia total absorbida por ambas resistencias, aplicando la ecuación 5.

$$P = V \times I = 10 \times 0'1 = \underline{1\ W}$$

En el caso de que el dispositivo consumidor de potencia sea una resistencia lineal y aplicando la ley de Ohm (4), podremos calcular la potencia absorbida aplicando las siguientes ecuaciones:

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Por la ley de Ohm $I = \frac{V}{R} \Longrightarrow \quad V = I \times R \quad \Rightarrow \quad R = \frac{V}{I}$; y la potencia será también

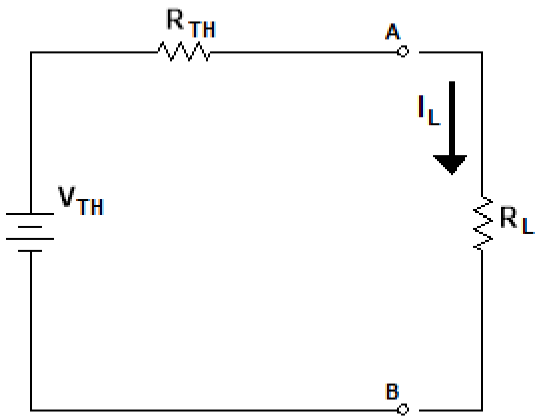
$$P = V \times I$$

Sustituyendo una en la otra, podremos escribir que la potencia en función a la resistencia será:

$$P = R \times I^2$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Para un circuito de corriente continua C.C. se producirá la máxima transferencia de potencia hacia la carga, cuando el valor resistivo de esta carga sea igual a la resistencia interna del generador



Según la ley de Ohm:

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L}$$

Además

$$P_{RL} = I_L^2 \times R_{TH}$$

Para que se produzca la máxima transferencia de energía

$$R_L = R_{TH}$$

Por tanto

$$P_{RL}max = \frac{V_{TH}^2}{4 \times R_L}$$

Fig 12: Máxima transferencia de energía

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

1.2 Fuente eléctrica

Es un dispositivo eléctrico activo, que suministra una tensión o una corriente para el funcionamiento de otros circuitos de los que forma parte o no. En la figura 13 vemos una posible clasificación de las fuentes eléctricas.

- *Fuentes electricas*
  - *Ideales*
    - *Independientes*
      - *De Tensión*
      - *De Intensidad*
    - *Dependientes*
      - *De Tensión*
        - *Controlada por Tensión*
        - *Controlada Por intensidad*
      - *De Intensidad*
        - *Controlada por Tensión*
        - *Controlada Por intensidad*
  - *Reales*
    - *De Tensión*
    - *De Intensidad*

Fig 13: Clasificación de las fuentes eléctricas

Fuentes ideales

Son aquellas que ofrecen una tensión constante al circuito. La fuente de tensión ideal tiene una resistencia interna igual a cero. En la realidad este tipo de fuente no existe ya que todas tienen una cierta resistencia interna. En la figura 13 vemos una comparativa entre una fuente de tensión real e ideal.

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

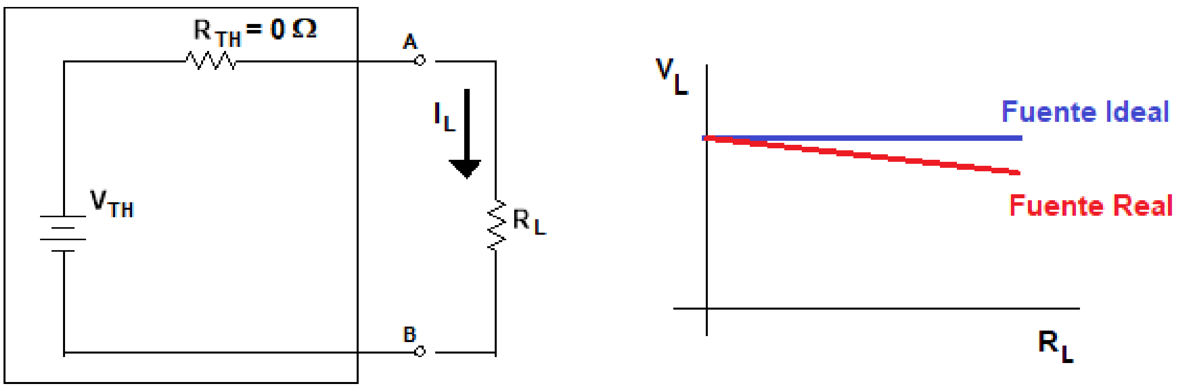


Fig 14: Comparativa entre fuentes de tensión

En la figura 14 se representan los símbolos de una fuente de tensión tanto para corriente continua como para corriente alterna.

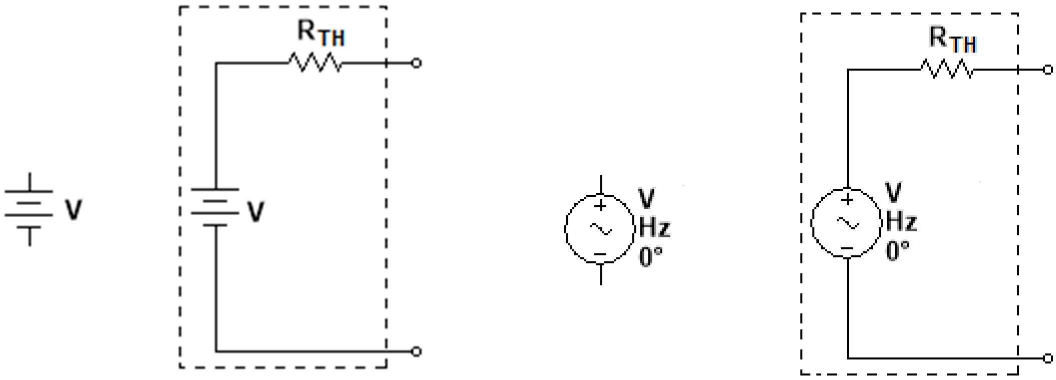


Fig 15: Símbolos para una fuente independientes de tensión

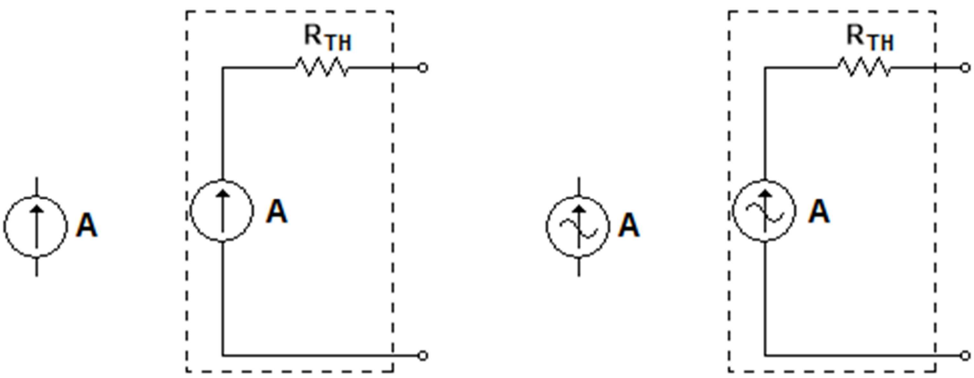
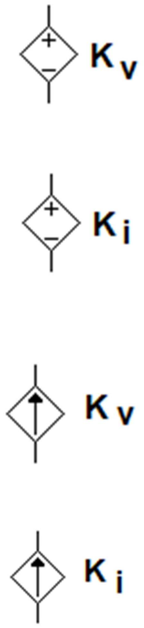


Fig 16: Símbolos para una fuente independientes de corriente

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Fuentes de tensión dependientes

Este tipo de fuentes, son aquellas que suministraran una tensión o una corriente y cuyo valor dependerá de otra variable del circuito.



Fuente de tensión controlada por tensión

Fuente de tensión controlada por corriente

Fuente de corriente controlada por tensión

Fuente de corriente controlada por corriente

Fig17: Simbología de las fuentes controladas o dependientes

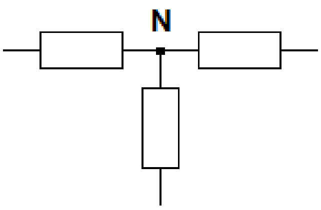
Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

2. Análisis de circuitos Métodos

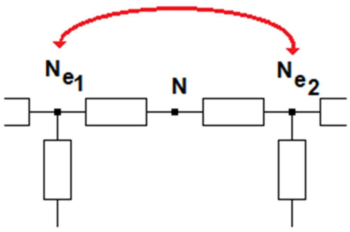
2.1 Leyes de Kirchhoff

Gustav R. Kirchhoff fue un físico que realizó estudios en óptica, también aplicó métodos de análisis espectrográfico, intentando determinar la composición del sol. En el campo de la electricidad en 1845 enunció lo que en la actualidad se conoce como las leyes de Kirchhoff. Se baso en el principio de conservación de la energía y en la ley de Ohm.

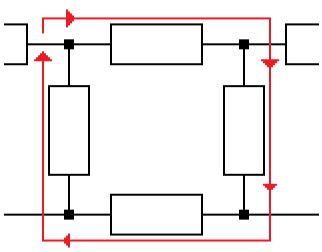
Antes de analizar las leyes de Kirchhoff, definamos algunos conceptos básicos:



Nudo o Nodo: Punto donde se conectan dos o más elementos de un circuito. Se denominan **nudos esenciales** los que tienen tres o más elementos conectados



Rama: Es el camino que recorre la corriente entre dos nudos esenciales



Malla: Es el camino cerrado que recorre la corriente, empezando en un nudo y terminando en el mismo, sin pasar dos veces por la misma rama.

1ª ley de Kirchhoff o ley de las corrientes

Esta ley está basada en la imposibilidad de acumulación de cargas eléctricas en un nudo. Por tanto *La suma de las corrientes que entran en un nudo debe de ser igual a la suma de las corrientes que salen de él.*

Por convenio, en un Nodo $\mathcal{N}$, se consideran positivas las corrientes que entran y negativas las que salen de él.

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

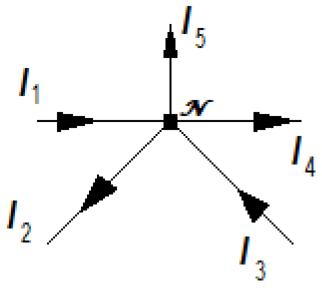


Fig. 18: Corrientes en un nudo

Por tanto La suma algebraica que concurre en un nudo $\mathcal{N}$ debe de ser igual a 0.

$$\sum_{K=1}^{n} I_k = I_1 + I_2 + I_3 \ldots + I_n = 0$$

De la figura, y siguiendo el convenio,

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

2ª Ley de Kirchhoff o ley de las tensiones

Surge como consecuencia del principio de conservación de la energía, dado que una carga eléctrica que sale de una fuente, al completar una malla no ha ganado ni perdido energía.

Por tanto la suma de todas las fuentes de tensión en una malla será igual a 0

Por convenio, elegir un camino e ir poniendo todas las tensiones que vayamos encontrando, de forma que V será positiva si entra por el lado positiva y V será negativa si lo hace por el lado negativo.

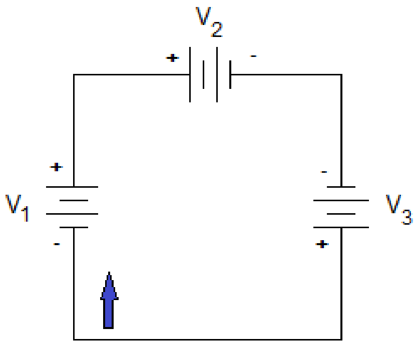


Fig. 19: tensiones en una maya

Por tanto la suma algebraica de todas las tensiones que forman parte de una maya será igual a 0

$$\sum_{k=1}^{n} V_k = V_1 + V_2 + V_3 \cdots + V_N$$

De la figura y siguiendo el convenio. Partiendo de la flecha:

$$-V_1 + V_2 - V_3 = 0$$

<u>Ejemplo de aplicación 1</u>: Partiendo de la montaje de la figura, determine V_{x++} e I_x.

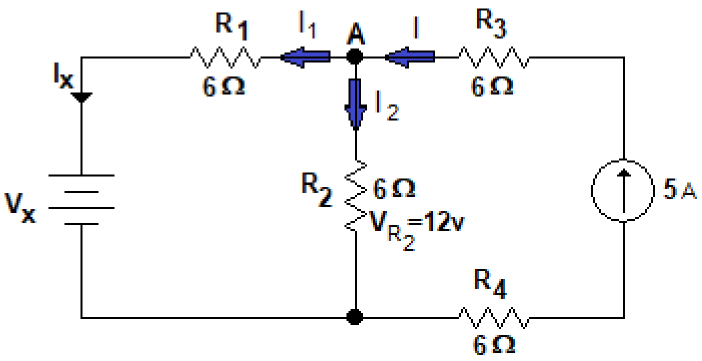


Fig. 20: Ejemplo de aplicación

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

1º Observando el circuito, **I_2** la podremos calcular de manera inmediata utilizando la ley de Ohm.

$$I_2 = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{12v}{6\Omega} = 2A$$

2º Aplicando la primera ley de Kirchhoff sobre el Nudo A, determinaremos La corriente **I_X**.

$I_1 = I_x$.

$$I = I_x + I_2 \Rightarrow I_X = I - I_2 = 5 - 2 = 3A$$

$$\underline{I_x = 3A}$$

3º Aplicando la 2ª ley de Kirchhoff y partiendo del punto A determinaremos la tensión **V_x**.

$$6I_x + V_x - V_{R_2} = 0$$
$$V_x = -6I_X + 12 = -18 + 12 = -6v$$

$$\underline{V_x = -6v}$$

<u>Ejemplo de aplicación 2</u>: Partiendo de la montaje de la figura, determine V_x e I_x.

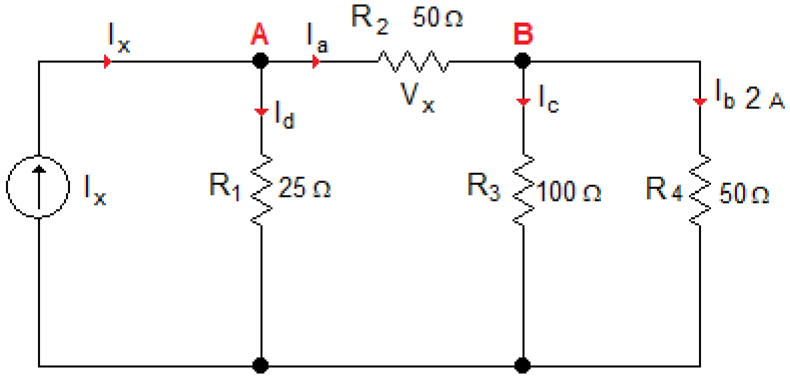


Fig. 21: Ejemplo de aplicación

1º Aplicando la ley de Ohm sobre R_4, para calcular V_{R4}.

$$V_{R_4} = I_b \times R_4 = 2 \times 50$$

$$\underline{V_{R_4} = 100v}$$

2º Al estar en paralelo R_3 y R_4, $V_{R_3} = V_{R_4}$ se puede calcular I_c:

$$I_c = \frac{V_{R_3}}{R_3} = \frac{100}{100} = 1A$$

$$\underline{I_c = 1A}$$

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

3º Aplicando la 1ª ley de Kirchhoff en el nudo B, para calcula **I_a**.

$$I_a - I_b - I_c = 0$$
$$I_a = I_b + I_c = 2 + 1 = 3A$$

$$\underline{I_a = 3A}$$

4º Para calcular **V_x** Aplicamos la ley de ohm en R_2.

$$V_x = R_2 \times I_a = 50 \times 3 = 150\,V$$

$$\underline{V_x = \quad 150\,V}$$

5º Aplicando la segunda ley de Kirchhoff y partiendo del punto A, calcularemos **V_{R1}**.

$$V_{R_x} + V_{R_3} - V_{R_1} = 0$$
$$V_{R_1} = V_{R_X} + V_{R_3} = 150 + 100 = 250\,V$$

$$\underline{V_{R_1} = \quad 250\,V}$$

6º Calculamos la **I_d** aplicando la ley de ohm en R_1.

$$I_d = \frac{V_{R_1}}{R_1} = \frac{250}{25} = 10A$$

$$\underline{I_d = \quad 10\,A}$$

7º Aplicando la 1ª ley de Kirchhoff hallaremos **I_x**.

$$I_x - I_a - I_d = 0$$
$$I_x = I_a + I_d = 10 + 3 = 13A$$

$$I_x = \quad 13\,A$$

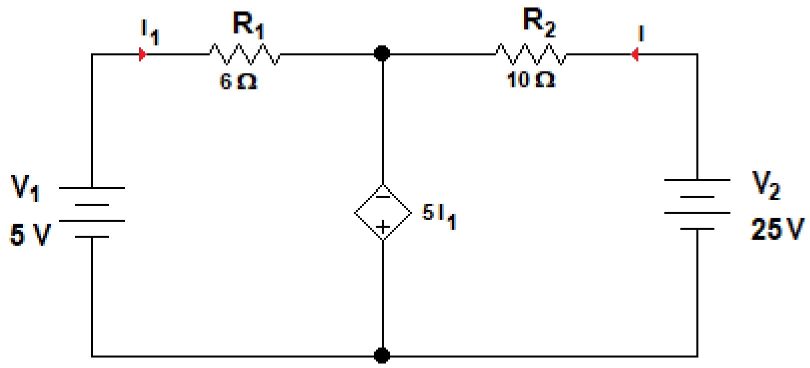
Por tanto **V_x = 150 V e I_x = 13 A**

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Ejercicios propuestos

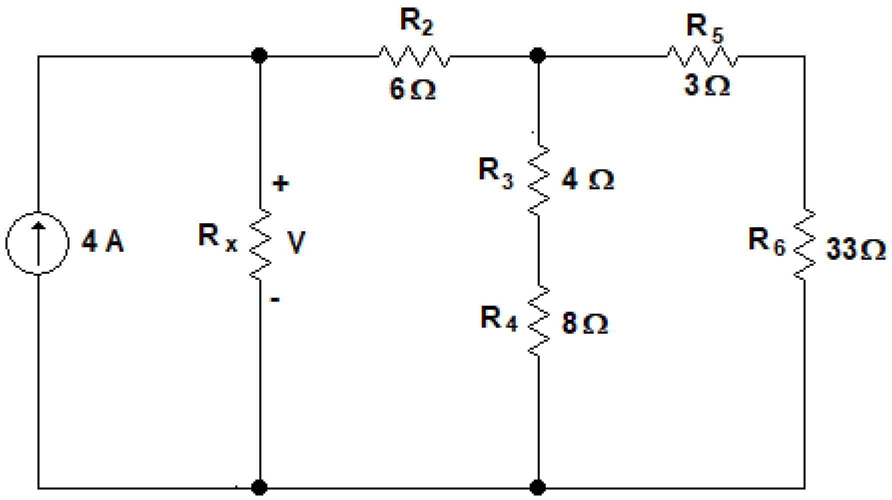
*1 Del circuito de la figura, calcule **I** e **I_1**.*

(Solución I= 5A, I_1= 5A)



*2. Del circuito de la figura calcule **R_x** para V= 48v.*

(Solución R_X=60Ω)



Divisor de tensión.

Este tipo de montaje, sencillo, es muy utilizado en electrónica, para conseguir tensiones diferentes y más reducidas a la que ofrece la fuente de tensión. El principio básico de este circuito es que al alimentar un circuito formado normalmente por resistencias la corriente que las atraviesa es igual para todas y por lo tanto se producirá una caída de tensión en cada una de ellas en función al valor óhmico que tengan y la suma de todas estas caídas de tensión debe de ser igual a la ofrecida por la fuente. Segunda ley de Kirchhoff (la suma de todas las caídas de tensión en una maya debe de ser igual a 0).

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

Analicemos el circuito de la figura 22. Supongamos que tenemos una tensión V y que necesitamos alimentar un dispositivo con una tensión V_n.

Aplicando la 2ª ley de Kirchhoff

$$-V + V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} = 0$$

Como: $V = I \times R_{eq}$ entonces $I = \frac{V}{R_1+R_2+R_n}$

$$Sustituyendo\ I\ para\ saber\ V_{R_n}$$

$$\left.\begin{array}{l} V_1 = I \times R_1 \\ V_2 = I \times R_2 \\ V_n = I \times R_N \end{array}\right\} \qquad V_{R_n} = \frac{V \times R_n}{R_1 + R_2 + R_n}$$

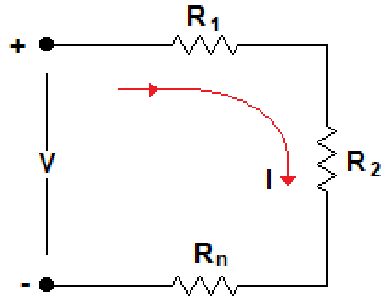


Fig. 22: Divisor de corriente

Divisor de corriente

Igual que en el apartado anterior, este montaje esta formado normalmente por una asociación de resistencias, esta vez en paralelo.

Como ya se ha visto, un grupo de elementos en paralelo están sometidos al mismo voltaje y la corriente que los atraviesa cada rama, dependerá del su valor óhmico (Primera ley de Kirchhoff). Por tanto, la corriente total con que alimentemos este circuito será igual a la suma de las corrientes de todas las ramas que lo formen.

Para empezar definamos el concepto de *Conductancia eléctrica* **(G)**. Es la propiedad inversa a la resistencia eléctrica, por tanto se entiende como la facilidad que tiene un material al paso de la corriente. Se mide en Siemes **(S)** o también en Moh **(℧).**

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

Analicemos el circuito de la figura 23. Donde una corriente I_t al llegar a un nudo se divide en tres I_1, I_2, I_3. Aplicando la primera ley de Kirchhoff.

$$I_t - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Y también

$$\frac{1}{R_{Teq}} = G_{Teq} \Rightarrow G_{Teq} = G_1 + G_2 + G_3$$

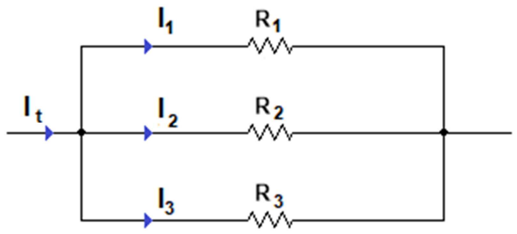


Fig. 23: Divisor de corriente

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.

En general

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \frac{V}{R_1} \Longrightarrow I_1 = V \times G_1 \\ I_2 &= \frac{V}{R_2} \Longrightarrow I_2 = V \times G_2 \\ I_n &= \frac{V}{R_n} \Longrightarrow I_n = V \times G_n \end{aligned}\right\} \begin{gathered} I_t = V \times G_1 + V \times G_2 \ldots + V \times G_n \\ I_t = V \times (G_1 + G_2 \ldots + G_n) \\ \\ V = \frac{I_t}{G_1 + G_2 \ldots + G_n} \end{gathered}$$

Sustituyendo

$$I_1 = V \times G_1 = \frac{I_t \times G_1}{G_1 + G_2 \ldots + G_n}$$

$$I_2 = V \times G_2 = \frac{I_t \times G_2}{G_1 + G_2 \ldots + G_n}$$

$$I_n = V \times G_n = \frac{I_t \times G_n}{G_1 + G_2 \ldots + G_n}$$

Por tanto, para conocer la corriente en cualquier rama

$$\mathrm{I_i} = \frac{\mathrm{I_t} \times \mathrm{G_i}}{\sum_{\mathrm{I}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{G_n}}$$

Cuando solo hay dos ramas

$$I_1 = \frac{I_t \times G_1}{G_1 + G_2} = \frac{I_t \times \frac{1}{R_1}}{\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}}$$

Simplificando

$$I_1 = \frac{I_t \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Agustín José Carmona Lorente
Dpto. de Ingeniería en Automática, Electrónica,
Arquitectura y Redes de Computadores.