

00.75.07

CNEA/AC-1/75

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

CENTRAL NUCLEAR EN ATUCHA

CURSO DE ELECTRICIDAD BASICA

Sr. O.A. Martinez

Buenos Aires-Argentina
-1975-

E-11.1- CARGA Y LEY DE COULOMB

Desde antiguo es conocida la presencia de la electricidad en la materia. Asimismo se conocen dos formas o componentes denominadas como electricidad positiva y electricidad negativa, a las que se les asignan signos + y - respectivamente.

El proceso mediante el cual se le entrega a un cuerpo un exceso de electricidad positiva o negativa se denomina electrificación del cuerpo.

La unidad de carga eléctrica es 1 coulombio (1 Cb). La unidad natural de carga negativa es la del electrón, cuya carga expresada en coulombios es:

$$1e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Cb}$$

La unidad natural de carga positiva es del protón, cuya carga expresada en coulombios es igual y negativa a la carga del electrón.

Dos cuerpos cargados crean efectos de fuerza en el espacio que los rodea. El espacio donde esos efectos se manifiestan, se denomina campo eléctrico. Si otro cuerpo cargado, se coloca en un campo eléctrico, sobre dicho cuerpo se manifestarán fuerzas que dependen de las propiedades del campo eléctrico y de la carga del cuerpo introducido. La dirección de la fuerza depende de la dirección del campo y el sentido de la polaridad de la carga. (Este segundo cuerpo introducido, puede denominarse cuerpo explorador o carga exploradora; debe ser de un pequeño valor de carga de modo que su campo propio no "perturbe" el campo que se quiere explorar).

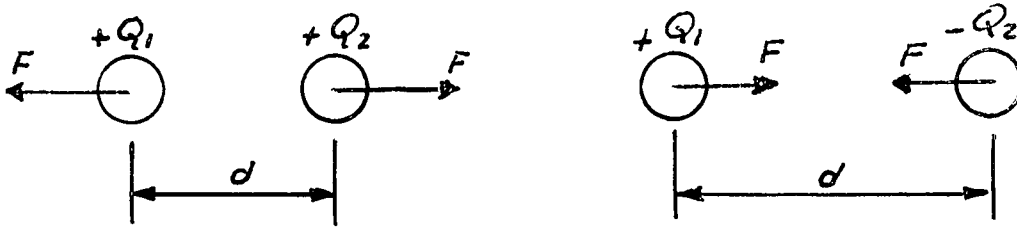
La fuerza de tipo eléctrico, ejercida entre dos cargas (dos cuerpos cargados) es proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa, esto también depende de la naturaleza del medio separador. Esta relación fué expresada por primera vez por Coulomb y en virtud de ella se denomina Ley de Coulomb

$$F = \frac{1}{k} \cdot \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

donde:

F : fuerza expresada en Newtons ejercida entre las dos cargas.
 Q_1 y Q_2 : valores de las cargas de cada cuerpo en coulombios Cb
 d : distancia entre los cuerpos en metros [m]
 k : constante que depende del medio que separa las cargas.

Además se cumple que cargas de igual signo se repelen y cargas de distinto signo se atraen. Esta situación queda explicada en las figuras:



1.2- INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTRICO

La intensidad del campo eléctrico en un punto cualquiera (E) puede determinarse colocando en dicho punto una carga exploradora y midiendo la fuerza que se ejerce sobre ella y dividiendo el valor de dicha pieza por el valor de la carga, es decir:

$$E = \frac{F}{Q}$$

Al colocar la carga de prueba debe tenerse cuidado que dicha carga no perturbe con su propio campo, el campo eléctrico que se desea explorar.

El campo debido a una carga única puede calcularse por la ley de Coulomb.

Si Q_G es la carga que genera el vapor, la intensidad del

mismo a una distancia d está dada por:

$$E = \frac{1}{k} \frac{Q_G}{d^2}$$

donde:

E : intensidad del campo en Newtons/Coulombio o en Voltios/metro

Q_G : carga que genera el campo

d : distancia donde se mide el campo

Se tiene entonces una intensidad de campo de $1 \frac{N_w}{Cb}$ o $1 \frac{V}{m}$ cuando sobre una carga de 1 Cl se ejerce una fuerza de 1 N_w .

1.3- POTENCIAL ELECTRICO

Si se multiplica la intensidad del campo en un punto por la distancia en la cual se lo mide, referida dicha distancia a un punto arbitrario cualquiera, se tiene:

$$V = E \times d = \frac{1}{k} \frac{Q}{d^2} \times d = \frac{1}{k} \frac{Q}{d}$$

donde:

V : potencial de la carga Q en voltios

d : distancia entre el punto arbitrario de referencia y la carga Q en metros.

A la diferencia de potenciales se la denomina voltaje.

EJEMPLO 1

Calcular la fuerza que se ejercen 2 cargas, una de $+5 \text{ Cb}$ y otra de -3 Cb situadas a 2 m de distancia una de otra. La constante universal k vale:

$$k = 4 \pi \epsilon \epsilon_0$$

$$\text{donde } \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{Cb^2}{Nw \times m^2}$$

y se denomina: permitividad absoluta.

y $\epsilon = 1$ se denomina: permitividad relativa en el vacío.

Como las cargas son de signos opuestos, la fuerza será de atracción.

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{K} \frac{Q_1 Q_2}{d^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \\
 &= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 1,885 \times 10^{-12} \frac{\text{Cb}^2}{\text{Nw} \cdot \text{m}^2}} \times \frac{5 (-3) \text{Cb}^2}{2^2 \text{m}^2} \\
 &= \frac{-15 \times 10^{12}}{4 \times 4 \times \pi \times 1,885} \text{Nw} \\
 &\cong -3,5 \times 10^{10} \text{Nw}
 \end{aligned}$$

luego $F \cong -3,5 \times 10^{10} \text{Nw}$ donde el signo menos indica que se trata de una fuerza de atracción.

EJEMPLO 2

Calcular la intensidad del campo eléctrico generado por una carga de $Q_1 = 5 \text{ Cb}$ a una distancia de 5 m de la misma:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \frac{1}{K} \frac{Q_1}{d^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q_1}{d^2} \\
 &= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 1,885 \times 10^{-12} \frac{\text{Cb}^2}{\text{Nw} \cdot \text{m}^2}} \frac{5 \text{Cb}}{25 \text{m}^2} \\
 &= \frac{5 \times 10^{12}}{4 \cdot \pi \cdot 1,885 \times 25} \frac{\text{Nw}}{\text{Cb}} \\
 &\cong 1,8 \times 10^9 \frac{\text{Nw}}{\text{Cb}}
 \end{aligned}$$

luego la intensidad del campo es de

$$E_1 \cong 1,8 \times 10^9 \frac{Nw}{Cb}$$

EJEMPLO 3

Calcular la intensidad del campo eléctrico a una distancia de 5 m de la carga $Q_2 = -3 \text{ Cb}$.

$$E_2 = \frac{Q_2}{d^2 4\pi \epsilon \epsilon_0}$$

$$= \frac{1}{4 \times \pi \times 8,85 \times 10^{-12} \frac{Cb^2}{Nw.m^2}} \times \frac{-3Cb}{25m^2}$$

$$\cong -1,07 \times 10^9 \frac{Nw}{Cb}$$

luego

$$E_2 \cong -1,07 \times 10^9 \frac{Nw}{Cb}$$

EJEMPLO 4

Los potenciales a la misma distancia se calculan con

$$V_1 = E_1 \times d \quad , \quad \text{además : } 1 \frac{Nw}{Cb} = 1 \frac{V}{m}$$

$$= 1,8 \times 10^9 \frac{V}{m} \times 5m$$

$$= 9 \times 10^9 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 V_2 &= E_2 \times d \\
 &= -1,07 \times 10^9 \frac{V}{m} \times 5m \\
 &= -5,35 \times 10^9 V
 \end{aligned}$$

y puede calcularse el voltaje entre las cargas Q_1 y Q_2 , es decir la diferencia de potenciales.

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 - V_2 \\
 &= 9 \times 10^9 V - (-5,35 \times 10^9) V \\
 &= (9 + 5,35) \times 10^9 V \\
 &= 14,35 \times 10^9 V
 \end{aligned}$$

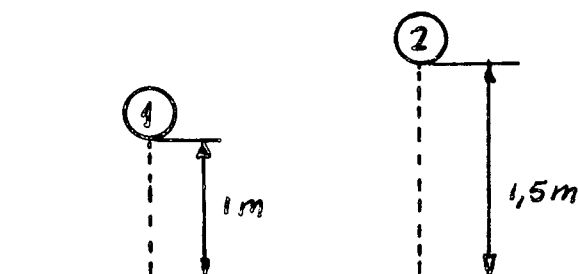
luego el voltaje es:

$$V = 14,35 \times 10^9 V$$

1.4- ENERGIA POTENCIAL

El término energía potencial se utiliza a menudo en mecánica para indicar la energía que posee un campo a causa de su posición.

Cuando un cuerpo es elevado, contra la fuerza de gravedad, adquiere energía potencial. El trabajo entregado para elevar el cuerpo es igual a la energía potencial ganada. (Ver fig 3).



El cuerpo 2 posee una energía potencial mayor que el 1.

Fig 3

En mecánica, la energía potencial de un cuerpo es igual al producto del peso del cuerpo (fuerza) por su altura. En el sistema internacional (S.I.) de medidas, el peso se expresa en newtons (Nw) y la altura en metros (m). Resulta la energía potencial expresado en joules (J).

Se tiene entonces:

$$W = F \times h$$

donde:

W : energía potencial en (J)

F : fuerza en (Nu)

h : altura en (m)

Un razonamiento similar puede utilizarse en electrostática

Una carga eléctrica, en un campo eléctrico pierde o gana energía potencial si se mueve de un punto a otro. Si la carga se mueve de un punto de menor potencial a otro de mayor potencial, se tiene una situación análoga al caso mecánico, como se indica en la figura 4.

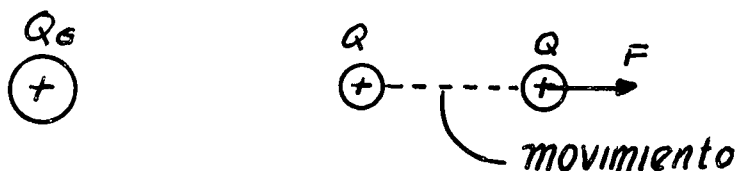


Fig. 4

El trabajo entregado a la carga Q para transportarla a una nueva posición se ha convertido en un aumento de energía potencial electrostática.

La diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico es el trabajo entregado para transportar una carga de 1 Cb de un punto al otro, es decir:

$$V = \frac{W}{Q}$$

donde: V : diferencia de potencial entre dos puntos en voltios

W : es el trabajo entregado o gastado, en joulios

Q : es la carga transportada, en coulombios

EJEMPLO 5

Si en una batería, de 6,2 V entre terminales, se hace circular una carga de 2,5 Cb a través de un circuito externo, el trabajo gastado por la batería para transportar esa carga es:

$$W = Q \times V$$

$$W = 2,5 \text{ Cb} \times 6,2 \text{ V} = 15,5 \text{ J}$$

$$W = 15,5 \text{ J}$$

EJEMPLO 6

El trabajo gastado para transportar 15 Cb desde un terminal de un generador al otro terminal, a través de un circuito externo es de 1.800 J.

La diferencia de potencial entre las terminales del generador será de:

$$V = \frac{W}{Q}$$

$$V = \frac{1.800 \text{ J}}{15 \text{ Cb}} = 120 \text{ V}$$

$$V = 120 \text{ V}$$

1.5 - MOVIMIENTO DE CARGAS - CORRIENTE ELECTRICA

La circulación (flujo) de cargas eléctricas a través de un conductor es una corriente eléctrica. La unidad de corriente eléctrica es el amperio (A). La milésima parte es el miliamperio (mA).

Se define al amperio como la corriente que circula a razón de 1 coulombio por segundo. Esto significa que por una sección de referencia del conductor para una carga de 1 coulombio durante 1 segundo. La corriente se designa con I y se tiene:

$$I = \frac{Q}{t}$$

donde:

I : intensidad de corriente en amperios (A)

Q : carga en coulombios (Cb)

t : tiempo en segundos (Seg.)

La circulación de cargas en el conductor es debida al movimiento de electrones dentro del mismo, debido a la influencia de un campo eléctrico. Es decir que los electrones irán desde el borne negativo hacia el positivo de la fuente según se muestra en la figura 5.

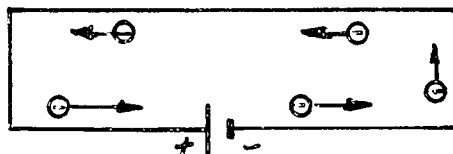


Fig. 5

Pero el sentido convencional de circulación de corriente, utilizada universalmente (tal vez porque era el sentido que se usaba aún antes de conocer la naturaleza del electrón) es desde el positivo al negativo, como se indica en la figura 6.

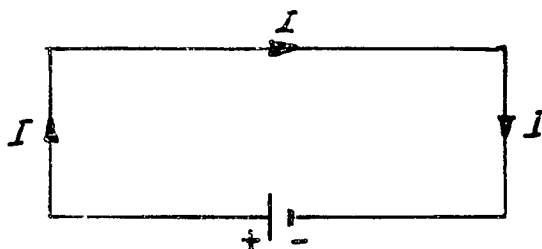


Fig. 6

Siempre se usará el sentido convencional de corriente.

EJEMPLO 7

Si la carga fluye en un conductor a razón de 5 coulombios por segundo entonces la corriente es:

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$I = \frac{5 \text{ Cb}}{1 \text{ seg}} = 5 \text{ A}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

EJEMPLO 8

Un electrón tiene una carga de $1,6 \times 10^{-19}$ Cb. Si la corriente en un conductor es de 80 A, calcular el número de electrones que fluyen por segundo.

$$I = \frac{Q}{t} \frac{Cb}{seg.}$$

$$1 e = 1,6 \times 10^{-19} Cb$$

$$\therefore 1 Cb = \frac{1}{1,6 \times 10^{-19}} e = \frac{10^{19}}{1,6} e$$

además

$$1 A = 1 \frac{Cb}{seg.}$$

$$\begin{aligned} 80 A &= 80 \frac{Cb}{seg.} \\ &= 80 \times \frac{10^{19}}{1,6} \frac{e}{seg.} \\ &= 50 \times 10^{19} \frac{e}{seg.} \end{aligned}$$

EJEMPLO 9

Si la carga fluye en un conductor a razón de 3 Cb cada 2 segundos, calcular la corriente.

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$I = \frac{3 Cb}{2 seg} = 1,5 A$$

$$I = 1,5 A.$$

EJEMPLO 10

Calcular la carga que ha circulado por un conductor durante 25 segundos si la corriente fue de 10 A.

$$Q = I \times t$$

$$Q = 10 \times 25 Cb = 250 Cb$$

$$Q = 250 Cb.$$

1.6. LEY DE OHM - RESISTIVIDAD

En los circuitos eléctricos se utilizan para conducir cargas, varios tipos de materiales, pero solamente algunos de ellos conducen las electrones fácilmente, otros presentan una "resistencia" definida con respecto a la circulación de electrones.

Los materiales "conductores" poseen entre los átomos de su estructura muchos "electrones libres", los que pueden desplazarse fácilmente a través de la estructura atómica. Los materiales "resistivos" requieren mayor trabajo para transferir la misma cantidad de electrones.

La ley básica que relaciona la diferencia de potencial a través del conductor, la corriente a través de él y su resistencia fue enunciada por George Ohm.

Dicha ley puede enunciarse así: "Para un conductor dado, a una dada temperatura, la corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial (V) entre los extremos del conductor".

Literalmente es:

$$\frac{V}{I} = \text{Constante}$$

donde:

V : es el voltaje (diferencia de potencial) en voltios

I : la corriente a través del conductor en amperios

la constante se denomina "RESISTENCIA" y se mide en "OHMIOS" (Ω).

se cumple que

$$\frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 1 \Omega$$

En consecuencia el Ohm se define como:

Un conductor tiene una resistencia de 1 Ohm (1Ω) cuando la corriente que lo circula, debido a una diferencia de potencial de 1 voltio (1 V), es 1 amperio (1 A).

Los materiales varían de uno a otro su posibilidad de de

jar circular corriente a través de ellos.

Para una dada longitud y sección de conductor, la oposición al paso de la corriente depende del material con que se ha construido el conductor. A la propiedad que poseen los distintos materiales de oponerse al paso de la corriente eléctrica se la denomina su "resistividad" y se simboliza con la letra griega ρ .

Además la resistencia del conductor depende de la longitud y de la sección, verificandose para distintos conductores de un mismo material, que la resistencia es directamente proporcional a la longitud e inversamente proporcional a la sección para una temperatura dada.

Todo lo dicho puede formularse como sigue:

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

donde:

ρ : resistividad que depende del material

L : longitud

A : sección

R : resistencia en Ohmios

Unidades:

$$(A) = m^2$$

$$(L) = m$$

$$(\rho) = \Omega \times m$$

$$\therefore (R) = \frac{\Omega \times \frac{m^2}{m} \times m}{m} = \Omega$$

además:

$$(\rho) = R \cdot \frac{A}{L} = \frac{\Omega \times m^2}{m} = \Omega \cdot m$$

En la siguiente tabla se dan valores de resistividad a 20°C de diferentes materiales.

Material	20°C (- m) x 10 ⁻⁸
Cobre	1,7
Aluminio	2,8
Plata	1,6
Oro	2,4
Platino	10,6
Acero	20 - 60
Manganino	48
Nichrome	112

TABLA

EJEMPLO 11

Un conductor tiene una resistencia de 2,5 Ω y la corriente que lo circula es de 4 A.

El voltaje a través de dicha resistencia es:

$$V = I \times R$$

$$V = 4 \text{ A} \times 2,5 \Omega = 10 \text{ V}$$

$$V = 10 \text{ V}$$

EJEMPLO 12

Un voltaje de 10 V aplicados a una resistencia causan una corriente de 5 A, entonces la resistencia vale:

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

$$R = \frac{10 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 2 \Omega$$

$$R = 2 \Omega.$$

EJEMPLO 13

Un cable posee una resistencia de $0,025 \Omega$, el voltaje máximo a través de toda la longitud del cable es 2,5 V, entonces su máxima corriente es:

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

$$I = \frac{2,5 \text{ V}}{0,025 \Omega} = 100 \text{ A}$$

$$I_{\text{máxima}} = 100 \text{ A}$$

EJEMPLO 14

La longitud de un conductor de cobre es de 100 m y su diámetro de 1m.m, su resistencia será:

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

$$\rho_{\text{cobre}} = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{de la tabla})$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{3,14 \times 1}{4} \times \text{m.m}^2$$

$$= 0,785 \text{ m.m}^2 =$$

$$= 7,85 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$L = 10^2 \text{ m.}$$

$$\therefore R = \frac{1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \cancel{\text{m}} \times 10^2 \cancel{\text{m}}}{7,85 \times 10^{-7} \cancel{\text{m}}^2} =$$

$$= \frac{1,7}{7,85} \times 10 \Omega .$$

$$= 2,37 \Omega$$

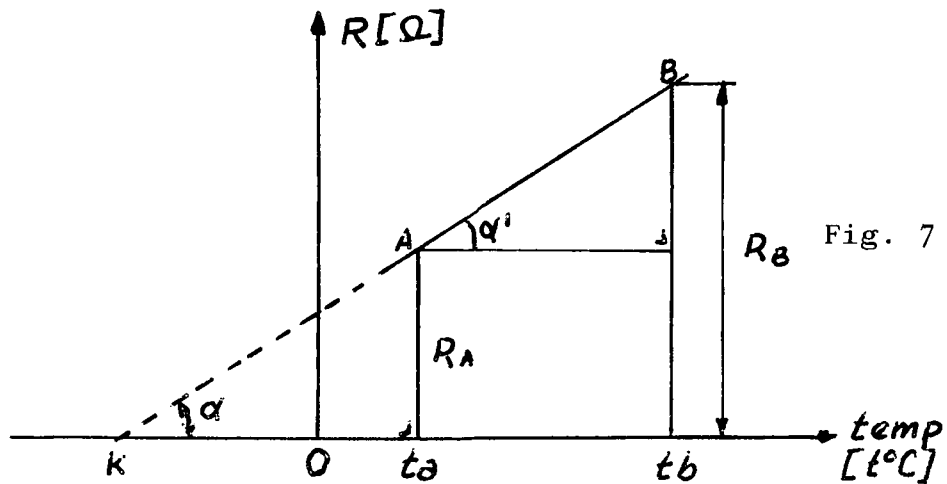
$$\underline{R = 2,37 \Omega}$$

1.7 - EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA

Un cambio de temperatura produce un cambio de la resistencia en casi todos los materiales conductivos. La resis-

cia de mayoría de los conductores, aumenta a medida que aumenta la temperatura. A los fines de un primer análisis puede suponerse que esta variación es lineal.

Entonces este paragrafo se dedica al estudio de como varía la resistencia con la variación de la temperatura y la obtención de una fórmula de utilidad práctica.



En la figura 7, R_A representa la resistencia del material a una temperatura t_a (en grados centígrados) y R_B la resistencia a la temperatura t_b .

Suponiendo que la variación es lineal, puede extrapolarse la línea AB hasta cortar el eje X en el punto K.

Se obtienen entonces dos triángulos:

$\triangle K A t_a$ y $\triangle A B A$ rectángulos

Los que resultan semejantes por el ángulo recto y el ángulo $\alpha = \alpha'$ por correspondiente entre las paralelas

$$\overline{K t_a} \parallel \overline{A A'}$$

y la transversal $\overline{KA}$

entonces:

$$\frac{\overline{BA}}{\overline{AA'}} = \frac{\overline{At_a}}{\overline{Ktb}} \quad (i)$$

además

$$\overline{BA'} = RB - Ra = \Delta R$$

$$\text{y } \overline{AA'} = tb - ta = \Delta t$$

$$Ata = R_A$$

$$\overline{K t a} = K + ta$$

y con (i) es:

$$\frac{RB - RA}{tb - ta} = \frac{RA}{K + ta}$$

$$RB - RA = \frac{RA (tb - ta)}{K + ta}$$

$$RB = RA + \frac{RA (tb - ta)}{K + ta}$$

$$= RA \left[1 + \frac{(tb - ta)}{(K + ta)} \right]$$

y si se denomina:

$$\alpha_{ta} = \frac{1}{K + ta} \quad : \text{coeficiente de temperatura}$$

se tiene:

$$RB = RA \left[1 + \alpha_{ta} (tb - ta) \right]$$

el factor K es una constante para cada material, en el caso del cobre vale:

$$K_{\text{cobre}} = 234,5^\circ \text{C}$$

El factor α_{ta} depende no solo de K sino de ta, pero los fabricantes acostumbran a tomar:

$$ta = 20^\circ \text{C}$$

luego para el cobre:

$$\begin{aligned}\alpha_{20^\circ} &= \frac{1}{234,5^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}} \\ &= \frac{1}{254,5} \quad \frac{1}{^\circ\text{C}} \\ \alpha_{20^\circ} (\text{cobre}) &= \frac{1}{254,5} \quad ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

Siendo este α_{t_a} ó $\alpha_{20^\circ\text{C}}$ un dato que puede encontrarse fácilmente en tablas para distintos materiales.

Material	$2)^\circ\text{C} \times 10^{-3} \quad \frac{1}{^\circ\text{C}}$
Cobre	4
Aluminio	3,9 - 4,1
Plata	4
Oro	3,5
Platino	3,6
Acero	4
Manganino	0,01
Nichrome	0,16

EJEMPLO 15

La resistencia de un conductor de cobre es a 20°C de $10 \, \Omega$, calcular la resistencia del mismo a 60°C .

$$R_B = R_A (1 + \alpha_{t_a} \Delta t)$$

con $t_a = 20^\circ\text{C}$

$$R_A = 10 \, \Omega$$

$$\Delta t = t_b - t_a = (60 - 20)^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{ta} = \alpha_{20^{\circ}} \text{ (cobre)} = 4 \times \frac{10^{-3}}{^{\circ}\text{C}} \quad (\text{de la tabla})$$

$$R_{60^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} \left[1 + \alpha_{20^{\circ}\text{C}} (60 - 20)^{\circ}\text{C} \right]$$

$$R_{60^{\circ}\text{C}} = 10 \Omega \left[1 + \frac{4 \times 10^{-3}}{^{\circ}\text{C}} (40)^{\circ}\text{C} \right]$$

$$= 10 \Omega \left[1 + 4 \times 40 \times 10^{-3} \right] =$$

$$= 10 \times \left[1 + 160 \times 10^{-3} \right] \Omega$$

$$= 10 \times 1,16 \Omega =$$

$$= 11,6 \Omega$$

Observar que:

$$\frac{1}{254,5} ^{\circ}\text{C}^{-1} \cong 4 \times 10^{-3} ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ para el Cobre a } 20^{\circ}\text{C}$$

EJEMPLO 16

Para el conductor del ejemplo anterior, ¿ a qué temperatura tendrá una resistencia de 15Ω ?

$$R_B = R_A \left[1 + \alpha_{ta} (tb - ta) \right] \longrightarrow tb = ?$$

$$\frac{R_B}{R_A} - 1 = \alpha_{ta} (tb - ta)$$

$$\therefore tb - ta = \frac{1}{\alpha_{ta}} \left(\frac{R_B}{R_A} - 1 \right)$$

$$tb = ta + \frac{1}{\alpha_{ta}} \left(\frac{R_B}{R_A} - 1 \right)$$

$$\text{con } R_B = 15 \, \Omega$$

$$R_A = 10 \, \Omega$$

$$t_a = 20^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{t_a} = \alpha_{20^\circ\text{C}}^{\text{cobre}} = 4 \times 10^{-3} \, \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

∴

$$t_b = 20^\circ\text{C} + \frac{1}{4 \times 10^{-3} \, ^\circ\text{C}} \left(\frac{15}{10} - 1 \right)$$

$$= 20^\circ\text{C} + \frac{1000}{4} \, ^\circ\text{C} \left(1,5 - 1 \right)$$

$$= 20^\circ\text{C} + 250 \times 0,5^\circ\text{C}$$

$$= (20 + 125)^\circ\text{C} = 145^\circ\text{C}$$

$$t_b = 145^\circ\text{C}$$

GUIA DE PROBLEMAS

- 1) Dos cargas:

$$Q_1 = + 0,5 \text{ Cb}$$

$$Q_2 = - 1 \text{ Cb}$$

están separadas a una distancia de 3 m una de otra. Si $\epsilon = 4$ calcular la fuerza de atracción.

- 2) La intensidad del campo eléctrico entre dos barras de salida de una estación generadora, para trolley-bus, es de $6000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$. Calcular cual será la fuerza sobre una carga de 1 Cb colocada en ese punto.
- 3) Imaginar una situación análoga a la de la figura 4, pero considerando la energía potencial de un resorte.
- 4) Si la carga + Q de la figura 4 es reemplazada por una carga - Q, en que sentido debería movérsela para que aumente su energía potencial.
- 5) La energía química gastada por una batería es de 20 J para transportar una carga de 5 Cb de un borne al otro. Calcular el voltaje de la batería.
- 6) La caída de voltaje (la diferencia) entre dos puntos de una línea de transmisión es de 0,125 V. El número de coulombios que circulan por la línea por segundo es $10 \frac{\text{Cb}}{\text{Seg}}$. Cual será, en 5 minutos, el trabajo total entregado para transportar la carga?
- 7) a) ¿Cuál es la relación entre carga y corriente eléctrica?
- b) ¿Cómo define la unidad de corriente eléctrica?
- c) Si en un circuito eléctrico se transfieren de un borne a otro 250 Cb en 35 seg. ¿Cuál es la corriente que cir-

cula?

- 8) ¿Qué cargas se transfieren de un borne a otro en un circuito? ¿Qué papel juegan los electrones en esto? ¿Cuál es la diferencia entre corriente convencional y corriente electrónica?
- 9) En un tubo de rayos catódicos, los electrones son emitidos por un "cañon de electrones". Estos recorren la longitud del tubo antes de chocar con la pantalla. ¿Puede esto considerarse una corriente de electrones? ¿Cuál es la convención usual de circulación de corriente?
- 10) Un electrón posee una carga $1,6 \times 10^{-19}$ Cb. ¿Cuál será la cantidad de electrones que circulan por segundo en un conductor de circuito si la corriente es:
- a) 10 A
 - b) 25 mA
 - c) 5 A
- 11) En un circuito transistorizado, la corriente de base de un transistor es de $7,5 \mu$ A. Calcular el número de electrones que circulan por el terminal de base.
- 12) ¿Cuántos coulombios se habrán sacado de una batería en 24 horas si durante ese tiempo suministró una corriente constante de 3 A?
- 13) ¿Puede denominarse al Coulombio como amperio-segundo?. En caso afirmativo. ¿Cuántos coulombios serán un amperio-hora?.
- 14) ¿Es la ley de Ohm válida para todo tipo de materiales me-tálicos y no metálicos?
- 15) Escribir la expresión de la ley de Ohm e indicar en que unidades se miden cada uno de los términos. ¿Cómo se defi

ne el Ohmio?

- 16) a) Un conductor tiene una resistencia de $0,015 \Omega$ y la circula una corriente de 250 A, cual es el voltaje a través del conductor?
- b) La máxima caída de voltaje permitida en una cierta línea de tensión es de 5 V. Si la corriente que circulará es de 50 A, ¿cual es la máxima resistencia posible del cable?
- 17) ¿Qué se entiende por resistividad de un conductor? ¿Cuál es su símbolo? ¿Porqué la resistividad de un conductor hace intervenir la longitud y el diámetro?
- 18) La resistividad del cobre es de $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, ¿cuál será la resistencia de 100 m de cobre de 2 m.m de diámetro?
- 19) Encontrar la resistencia del cableado de una instalación domiciliaria. Estimar sección y longitud conveniente. Suponer la instalación con alambre de cobre y calcular la corriente si se conecta a la red de 220 V una resistencia igual a la calculada.
- 20) ¿Cuál es el significado del coeficiente de temperatura en una resistencia?
- 21) Si el coeficiente de temperatura del cobre es de $4 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, encontrar la variación de resistepcia en un conductor de cobre de 100 m de longitud y 1 mm^2 de sección cuando la temperatura varía de 10°C a 45°C .

EL-22.1- POTENCIA Y ENERGIA EN CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA

Se ha definido anteriormente, que se provoca una variación de energía potencial eléctrica, cuando una carga Q se mueve dentro de un campo eléctrico. El trabajo (energía) entregado es:

$$W = Q \times V \quad (1)$$

Cuando circula una corriente a través de un resistor, aparece una diferencia de potencial en bornes del mismo; la corriente, como circulación de cargas es:

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$\therefore Q = I \times t \quad (2)$$

Luego de las ecuaciones (1) y (2) se tiene:

$$\begin{aligned} W &= Q \times V \\ &= I \times t \times V \end{aligned}$$

$$\therefore W = V \times I \times t \quad (3)$$

Diagram illustrating the units for the equation $W = V \times I \times t$:

- W (trabajo) is in joulios (J)
- V (voltaje) is in voltios (V)
- I (corriente) is in ampers (A)
- t (tiempo) is in segundos (Seg.)

La potencia se define como el trabajo entregado en la unidad de tiempo, es decir:

$$P = \frac{W}{t} \quad (4)$$

Diagram illustrating the units for the equation $P = \frac{W}{t}$:

- P (potencia) is in watios (W)
- W (trabajo) is in joulios (J)
- t (tiempo) is in segundos (Seg.)

De las ecuaciones (3) y (4) se tiene:

$$P = V \times I \quad (W ; V ; A)$$

Se deduce entonces que para indicar el trabajo, puede usarse el Watt-segundo como unidad

$$W = P \times t$$

En forma alternativa

$$P = V \times I$$

$$P = I \times R \times I$$

$$P = I^2 \times R \quad (W ; I ; \Omega)$$

$$P = V \times I$$

$$P = V \times \frac{V}{R}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (W ; V ; \Omega)$$

Ejemplos

1. Una lámpara incandescente de 60 W se conecta a la red de 220 V. La corriente que fluye por el filamento de la lámpara es:

$$P = V \times I$$

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

$$I = \frac{60}{220} \cong 0,272 \text{ A}$$

$$I \cong 0,272 \text{ A}$$

La resistencia de la lámpara es:

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

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

$$R = \frac{220^2}{60} \cong 8,05 \times 10^2 \Omega$$

$$R \cong 805 \Omega .$$

2. Un cable de alimentación de un motor tiene una resistencia total de 0,25 Ohm. Por el motor circulan 10 Amperes, la potencia que se pierde en el cable es:

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

$$P = 0,25 \times 10^2 = 25 \text{ W}$$

$$P = 25 \text{ W}$$

3. Una unidad usual para medir el consumo de energía eléctrica es el Kilovatio-hora. (KWh)
Es la energía que consume un circuito de una potencia de 1 Kw durante una hora de uso.
La energía consumida por una serie de calefactores de 2 Kw, conectados durante 5 horas es:

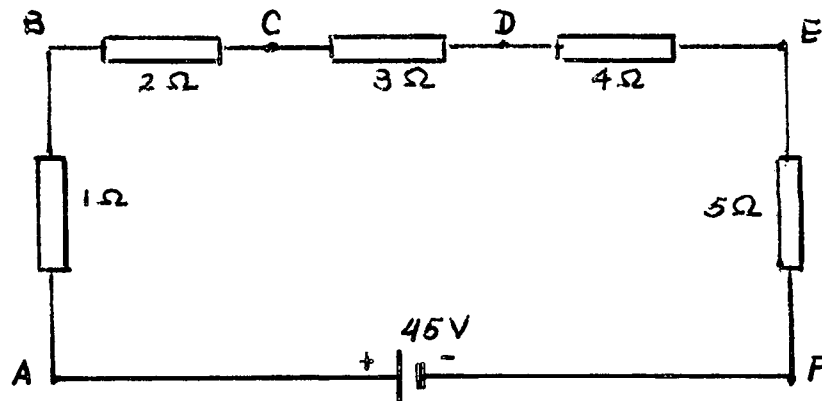
$$W = P \times t$$

$$W = 2 \times 5 = 10 \text{ Kw h}$$

$$W = 10 \text{ Kw h}$$

2.2- EJEMPLOS DE CONEXION SENCILLA DE ELEMENTOS EN SERIE

- 1) Cinco resistencias están conectadas como se indica en la Fig. 1, los valores de las mismas son 1 Ohm; 4 din y 5 Ohm respectivamente. El voltaje aplicado es de 45 V.



la resistencia total es:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$= 1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

$$= 15 \Omega$$

la corriente en el circuito es:

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

$$= \frac{45}{15} = 3 \text{ A}$$

$$\therefore I = 3 \text{ A}$$

La caída de potencial de A a C es:

$$R_{AC} = 1 + 2 = 3 \, \Omega$$

$$V_{AC} = I \times R_{AC}$$

$$= 3 \text{ A} \times 3 \, \Omega = 9 \text{ V}$$

$$\therefore V_{AC} = 9 \text{ V}$$

de B a F es:

$$R_{BF} = 2 + 3 + 4 + 5 = 14 \, \Omega$$

$$V_{BF} = I \times R_{BF}$$

$$= 3 \text{ A} \times 14 \, \Omega = 42 \text{ V}$$

$$\therefore V_{BF} = 42 \text{ V}$$

2) Dos baterías se conectan "en serie" como se indica en la Figura 2.

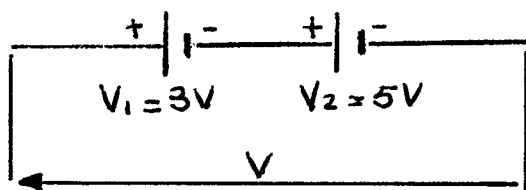


Fig. 2

El voltaje total es:

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = 3 + 5 = 8$$

$$\therefore V = 8 \text{ V}$$

3) Calcular I en el siguiente circuito (Fig. 3)

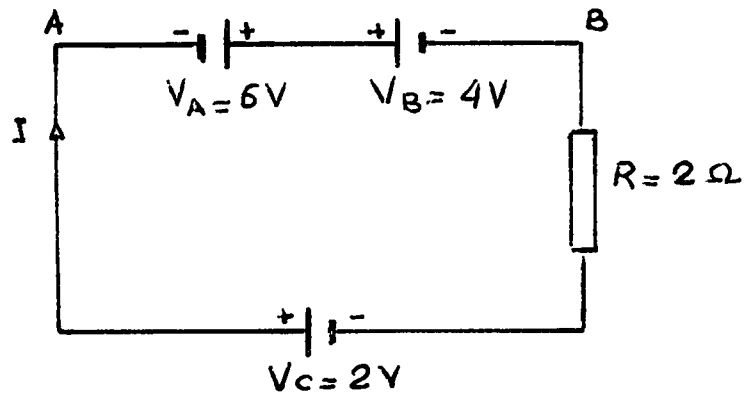


Fig. 3

El voltaje entre los puntos A y B es:

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

$$V_{AB} = 6 - 4 = 2 \text{ V}$$

$$V_{AB} = 2 \text{ V}$$

Las fuentes de tensión V_A y V_B pueden ahora reemplazarse por otra única fuente con un voltaje de 2 V, el terminal negativo queda sobre el lado A y el positivo sobre el B.

El voltaje entre los puntos B y C es:

$$\begin{aligned} V_{BC} &= V_{BA} + V_{AC} \\ &= 2 \text{ V} + 2 \text{ V} = 4 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{EC} = 2 \text{ V}$$

luego la corriente es:

$$I = \frac{V_{BC}}{R}$$

$$= \frac{4 \text{ V}}{2 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$\therefore = 2 \text{ A}$$

2.3- EJEMPLOS DE CONEXION SENCILLA DE ELEMENTOS EN PARALELO

1) Una batería de 10 V_{c.c.} se conecta a dos resistores "en paralelo" como se indica en la Figura 4.

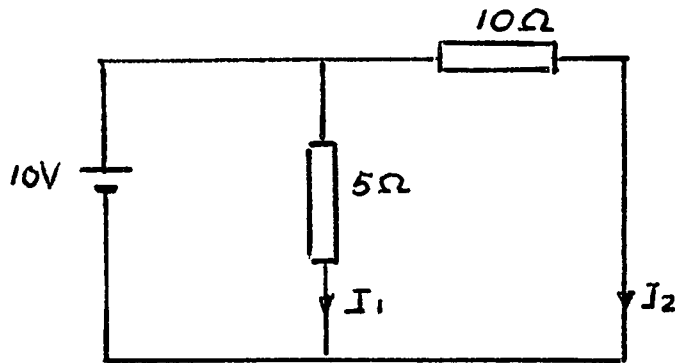


Fig. 4

la corriente que circula por el resistor de 5 Ω es:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{V}{R_1} \\ &= \frac{10 \text{ V}}{5 \Omega} = 2 \text{ A} \\ I_1 &= 2 \text{ A} \end{aligned}$$

la corriente que circula por el resistor de 10 Ω es:

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{V}{R_2} \\ &= \frac{10 \text{ V}}{10} = 1 \text{ A} \\ I_2 &= 1 \text{ A.} \end{aligned}$$

la corriente total es:

$$I = I_1 + I_2$$

31

$$= 2 + 1 = 3 \text{ A}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

la resistencia equivalente total es:

$$\frac{I}{R} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2}$$

$$\frac{I}{R} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 \times R_2}$$

$$\therefore R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad \left(\frac{\text{Producto}}{\text{Suma}} \right)$$

$$R = \frac{5 \times 10}{5 + 10} = \frac{50}{15} = 3,33 \, \Omega$$

$$R = 3,33 \, \Omega$$

Otro método:

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

$$R = \frac{10 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 3,33 \, \Omega$$

$$R = 3,33 \, \Omega$$

La conductancia del resistor R_1 es:

$$G_1 = \frac{1}{R_1}$$

$$G_1 = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ S} \quad (\text{S: Siemens})$$

$$G_1 = 0,2 \text{ S.}$$

La conductancia del resistor R_2 es:

$$G_2 = \frac{1}{R_2}$$

$$G_2 = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ S}$$

La conductancia total:

$$G = G_1 + G_2$$

$$G = 0,2 + 0,1 = 0,3 \text{ S}$$

$$G = 0,3 \text{ S}$$

y la resistencia total:

$$R = \frac{1}{G} \quad R = \frac{1}{0,3} = 3,33 \, \Omega$$

2.4- ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICION

Si dentro del campo magnético de un imán, se coloca un conductor y se hace circular una corriente por él, sobre dicho conductor se origina una fuerza que tiende a desplazarlo como indica la figura 5.

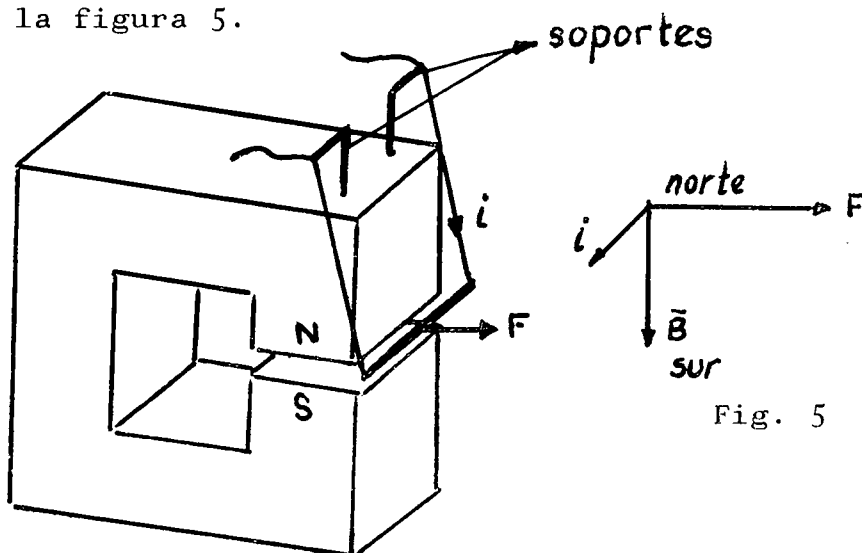


Fig. 5

La regla de los sentidos puede retenerse en forma gráfica con la mano izquierda, donde el dedo índice indicará el sentido de la inducción magnética B , el dedo mayor el sentido de la corriente i y el dedo pulgar el sentido de la fuerza F .

Además puede observarse experimentalmente que para un mis

mo imán, a medida que se aumenta la intensidad de corriente, se aumenta la fuerza.

Si se invierte el sentido de circulación de corriente se tiene la situación de la figura 6.

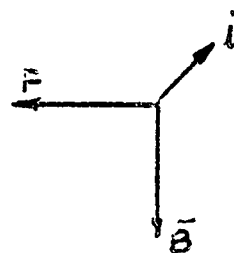
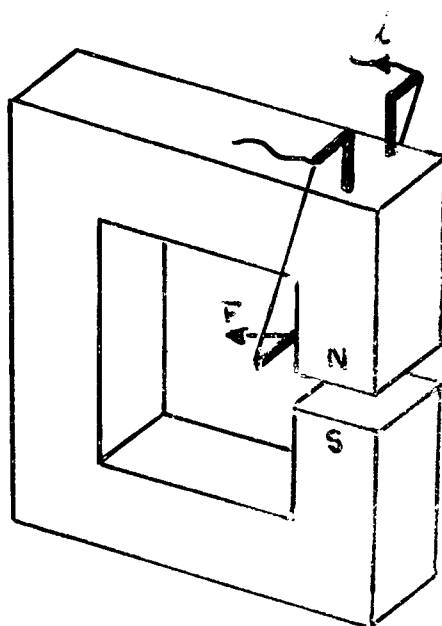
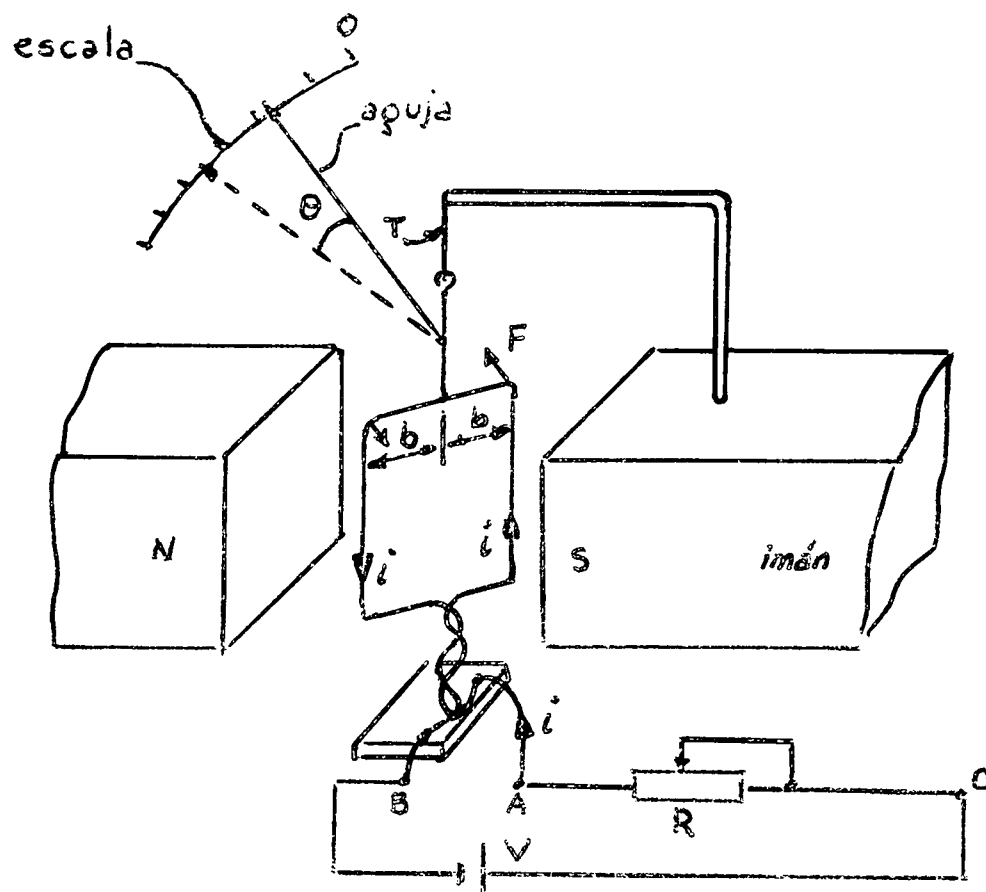


Fig. 6

Estos efectos se aplican en los instrumentos de medición siendo el más utilizado el denominado de bobina móvil cuyo esquema se ilustra en la figura 7.

El modo de funcionamiento puede esquematizarse como sigue: al circular una corriente i , se producen fuerzas sobre los conductores del cuadro móvil, dichas fuerzas provocan un par giratorio con respecto al eje de la bobina equidistante en "b" de ambos lados del cuadro móvil. Solidarse al eje se encuentra la aguja que se desplaza sobre la escala.

El elemento T, de recuperación mecánica, se tensiona al girar el cuadro, permitiendo el retorno del mismo a una posición inicial prefijada (cero) cuando se detiene la circulación de corriente.



El desplazamiento angular de la aguja resulta entonces proporcional a la corriente que circula por el cuadro móvil, puesto que se realiza un equilibrio entre el par de fuerzas inducidas en los conductores del cuadro móvil y el par mecánico provocado en el elemento T.

El dispositivo mide entonces corrientes, pero con resistencias de precisión puede usarse para medir tensiones, al agregarse dichas resistencias en serie con la resistencia del cuadro móvil.

En el esquema de la Fig. 7 se tiene:

$R_{BA} = R_{BM}$: Resistencia del cuadro móvil

$R_{AC} = R$: Resistencia a agregar

V : Tensión medida

La tensión V provoca a través de la serie de resistencias

$R_{BM} + R$ una corriente i que provoca la deflexión Θ

$$\Theta \Rightarrow i = \frac{V}{R_{BM} + R}$$

si $(R_{BM} + R)^{-1} = C$: constante

es:

$$\Theta \Rightarrow i = CV$$

Es decir se tiene un desplazamiento Θ que depende de la tensión. La variación adecuada de la resistencia R permitirá brindar distintos "alcances" o "rangos" de medición.

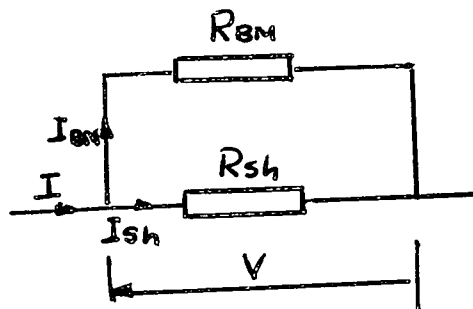
Con una calibración adecuada podrá grabarse la escala del instrumento de modo de poner en correspondencia las marcas del cuadrante con la tensión medida o la corriente medida.

Problema: Un amperímetro (instrumento que mide corriente) tiene una resistencia de $0,05 \Omega$ y con 1 A se consigue que su aguja alcance el "fondo de escala". Se desea extender el rango de medición a 20 A , usando un "Shunt" (Resistencia), en paralelo con la bobina móvil. Calcular el R_{Sh} necesario

$$R_{BM} = 0,05 \Omega$$

$$I_{BM} = 1 \text{ A}$$

$$I = 20 \text{ A}$$



Se tiene

$$I = I_{BM} + I_{Sh}$$

$$\therefore I_{Sh} = I - I_{BM} = 20 - 1 = 19 \text{ A}$$

Además

$$R_{Sh} = \frac{V}{I_{Sh}}$$

y
$$V = R_{BM} \times I_{BM} = 0,05 \, \Omega \times 1 \, A = 0,05 \, V$$

$$\begin{aligned} \therefore R_{Sh} &= \frac{0,05 \, V}{19 \, A} = \frac{50}{19} \times 10^{-3} \, \Omega \\ &= 2,63 \times 10^{-3} \, \Omega \end{aligned}$$

luego

$$R_{Sh} = 0,00263 \, \Omega$$

GUIA DE PROBLEMAS

- 1-a) Explicar como se relacionan potencial y carga en un circuito eléctrico. ¿En qué unidades se miden esas cantidades?
- b) En un circuito eléctrico, una batería conectada a un resistor, mantiene una diferencia de potencial de 50 V a través de él. La carga total que ha circulado a través del resistor es de 150 Cb en un minuto. ¿Cuál es la energía que ha suministrado la batería?
- 2-a) ¿Cómo se define la potencia eléctrica en términos de la diferencia de potencial, la carga y el tiempo?
- b) En el problema 1-b), ¿cuál es la potencia en el resistor?
- 3-a) Se conectan 20 calefactores a un determinado tanque, cada uno de 1,25 KW; 575 V ¿Cuál es la resistencia de cada calefactor cuando se conecta como carga máxima?
- b) Si los calefactores se conectan a 220 V, ¿Cuál será la potencia total de los calefactores suponiendo que la resistencia no cambia?
- 4 - ¿Cuál será el cambio en la potencia del calefactor si el voltaje cae de 575 V a un 95 % del mismo valor en el problema 3-a)?
- 5 - Un cable alimenta una carga de 5 KW, en bornes de la carga la tensión es de 220 V, siendo la resistencia total del cable de $0,5 \Omega$. ¿Cuál será la máxima resistencia que podrá tener el cable si la pérdida de potencia en el mismo queda restringida a 30 W.
- 6 - Un generador de 240 V entrega 75 KW a un horno eléctrico. ¿Qué corriente está suministrando el generador?
- 7 - ¿Qué corriente entrega la batería de un automóvil, de 12 V, cuando se aplica al motor de arranque de 2,5 Hp?
 $1 \text{ Hp} = 0,736 \text{ KW}$
- 8 - Una corriente de 3,5 A circula durante 1 hora a través de una resistencia de 100Ω ¿Cuál es la energía total

entregada? a) en Joules
b) en KWh

- 9-a) Una bomba es movida por un motor de corriente continua de 25 Hp; 600V; la eficiencia del motor es de 90 %
¿Cuál es la corriente tomada por el motor girando a plena carga?
- b) Si la bomba trabaja a plena carga 6 horas por día ¿Cuál es el consumo de energía en KWh?
- 10- La carga total de un acondicionador instalado en un edificio es de 10 KW ¿Cuál es la energía consumida si el aparato funciona en promedio de 3 horas/día durante todo un año? Expresar el resultado en Joules y en KWh?
- 11- Calcular el valor de potencia de una pava eléctrica, la cual hace hervir 2 litros de agua en 5 minutos si está a 22°C.
- 12- Se conectan "en serie" resistencias de $2,5\ \Omega$; $6\ \Omega$ y $10\ \Omega$, y se alimenta dicha conexión con una fuente de corriente continua de 12 V.
Calcular:
a) La corriente.
b) La caída de tensión en cada resistencia.
c) La potencia disipada en cada resistencia.
- 13- Un motor de c.c. V.c.c. se conecta en serie con un resistor de $5,2\ \Omega$ a la red de 220 V.c.c., la corriente a través del circuito es de 10 A ¿cuál es el voltaje a través de los terminales del motor?
¿Cual es la máxima potencia que disipa el resistor?
- 14- Veinte calefactores, cada uno de 1,25 KW y 575 V están conectados en paralelo en un tanque dosador. ¿Cuál es la resistencia que presentan los calefactores a la fuente de alimentación?
- 15- Un resistor de $7,5\ \Omega$ se utiliza en el circuito de armadura de un motor para controlar su velocidad ¿Qué resistencia debe colocarse en paralelo con la de $7,5\ \Omega$ para obtener una equivalente de $5\ \Omega$.

- 16- Un amperímetro de 5 A a fondo de escala posee una $R_{BM} = 0,025 \Omega$. ¿Cual será el valor del Shont necesario para ampliar el rango a 15 A?

3- INTRODUCCION A LAS LEYES DE LOS CIRCUITOS

Estudiando el comportamiento del pasaje de corriente por una resistencia, producido por una fuente de tensión, se saca como conclusión la Ley de Ohm:

$$V = I \times R$$

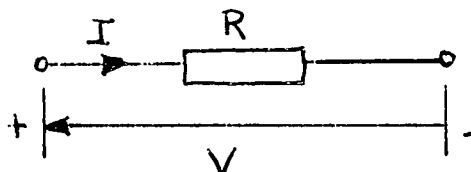


Fig 1

Generalmente los circuitos se presentan a la práctica compuestos por elementos de dos tipos diferentes:

- elementos activos o fuentes de energía;
- elementos pasivos o que no generan energía.

Los elementos activos del circuito lo componen las fuentes de tensión y las fuentes de corriente. Los elementos pasivos lo componen las resistencias (que disipan energía) y los condensadores e inductancias (que acumulan energía).

La diferencia que hay entre un circuito y otro cualquiera en general, está dada por la forma en que estos elementos se interconectan entre sí y por la cantidad de elementos que aparecen en cada uno de esos circuitos.

No obstante el circuito sea más o menos complejo, puede siempre ser llevado, mediante transformaciones sucesivas y adecuadas, a formas más simples, de modo que puede ser estudiado en detalle a través de dichas formas simples. Las formas simples de los circuitos son:

- el circuito serio;
- el circuito paralelo.

3.1.a- El circuito serie

Es aquél en que todos sus elementos están circulados por la misma corriente, y la suma de las tensiones de las fuentes de tensión es igual a la suma de las caídas de tensión

en los elementos pasivos. La corriente no tiene puntos de ramificación en este tipo de conexión.

Ejemplo: Sea el circuito de la fig 2.

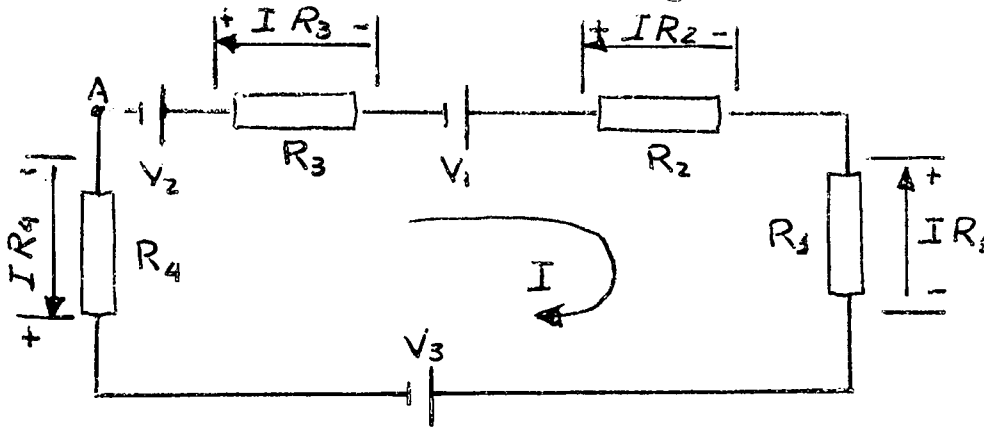


Fig 2

Donde se tiene:

V_1, V_2, V_3 , elementos activos

R_1, R_2, R_3, R_4 , elementos pasivos.

Se observa además que no hay ninguna ramificación en el circuito es decir que la misma corriente circula por todos los elementos. Para poder analizar el circuito se le asigna a la corriente un sentido arbitrario como el indicado por la flecha, y además se elige un punto de partida como el A por ejemplo, y se comienza a "recorrer" el circuito en el sentido elegido para la flecha de la corriente.

La idea básica para el análisis de los circuitos en serie es que, si se parte de un punto y se recorren todos los elementos del circuito en forma sucesiva, sumando o restando las tensiones según corresponda al sentido elegido, al llegar de nuevo al mismo punto, se tiene que la suma (con su signo) de todas las tensiones es cero porque el potencial del punto escogido es único y constante.

Comenzando entonces a recorrer el circuito desde A se encuentra:

- El primer elemento, la fuente de tensión V_2 , como en el sentido que se recorre el circuito el potencial de V_2 aumenta se le asigna en la suma el signo más.
- El segundo elemento, el resistor R_3 , de acuerdo a la ley de Ohm, si la corriente I circula de ese modo (de la flecha) la polaridad de dicho resistor es como se indica en la figura, quiere decir que a medida que se recorre el circuito, el potencial en R_3 baja por eso se le asigna el signo menos.

- Tercer elemento, la fuente de tensión V_1 , va con signo más.
- Cuarto elemento, el resistor R_2 , su caída de tensión aparece en la suma total con signo menos (lo mismo pasa con R_1).
- Sexto elemento, la fuente de tensión V_3 , ésta aparece con signo menos.
- Séptimo elemento, el resistor R_4 , aparece en la suma con signo menos. Es decir que la suma (con su signo) algebraica de todas las caídas de potencial del circuito serie del ejemplo es:

$$V_2 - IxR_3 + V_1 - IxR_2 - IxR_1 - V_3 - IxR_4 = 0$$

Dejando las caídas debidas a las fuentes de tensión de un lado del signo igual y las debidas a las caídas en las resistencias del otro se tiene:

$$V_2 + V_1 - V_3 = IxR_1 + IxR_2 + IxR_3 + IxR_4$$

Lo que puede interpretarse en esta transformación es que se han agrupado por un lado las fuentes de tensión o elementos activos y por otro lado se agruparon los elementos pasivos como se muestra en la fig 3. El circuito es el mismo exactamente, lo único que se distribuyeron de otra manera fueron los elementos. Recordar que el orden de los sumandos no altera la suma.

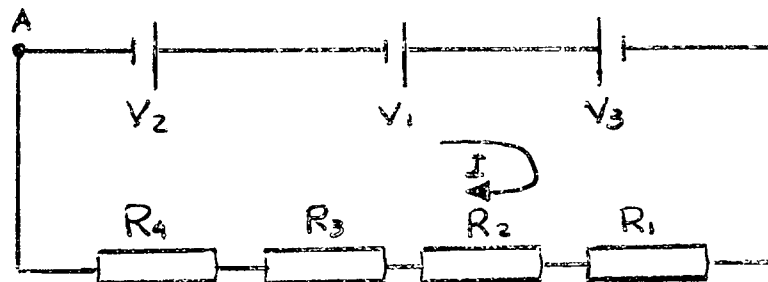


Fig 3

Este circuito aun admite otra simplificación más: Por un lado sumamos todas las fuentes de tensión y se las reemplaza por una fuente única de tensión cuyo valor sea igual a la suma algebraica de las otras tres.

Por otro lado se suman todas las resistencias en serie y se las reemplaza por una equivalente (que sea suma de las cuatro), se obtiene así el circuito más simple de la fig 4 donde:

$$V = V_1 + V_2 - V_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

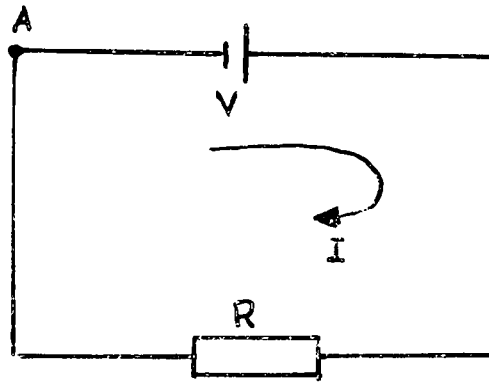


Fig 4

Observar la similitud con el de
la fig 1

3.1.b- El circuito paralelo

Es aquél en que todos sus elementos están sometidos a la misma tensión. La suma de las corrientes de cada uno de los elementos pasivos es igual a la suma de las corrientes producidas por los elementos activos. El circuito presenta puntos de ramificación.

Ejemplo: sea el circuito de la fig 5

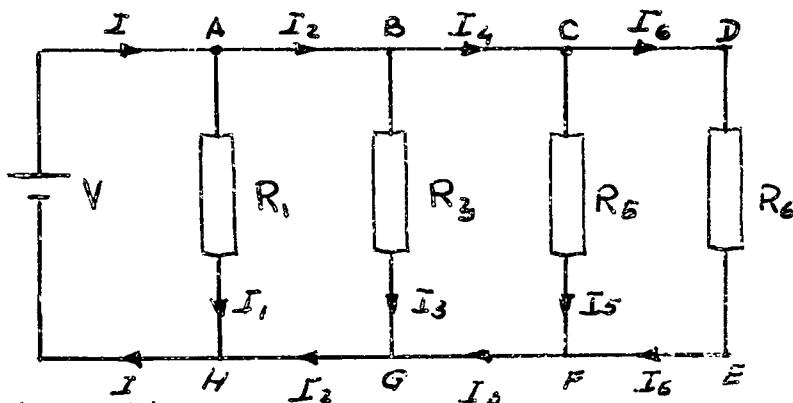


Fig 5

Donde se tiene:

V , elemento activo

R_1 , R_3 , R_5 , R_6 , elementos pasivos

Se observa que existen puntos de ramificación de la corriente tales como el A, B, C, F, G y H. Se observa además que existen "ramas" por las que circula corriente, por ejemplo la rama AH que contiene el elemento R_1 y la rama CF que contiene al R_5 , etc.

El punto donde confluyen las corrientes se denomina

nudo. La idea del análisis de los circuitos en paralelo es estudiar el comportamiento de las corrientes en los nudos, y a partir de este análisis tratar de simplificar el circuito.

Sea por ejemplo el nudo A. En él, según los sentidos elegidos para las flechas de corrientes se tiene que la corriente total I que produce la fuente, se bifurca en dos caminos, uno por la rama AH al que se le asigna la denominación I_1 , y el otro camino es el conductor AB circulado por I_2 . Recurriendo a que la corriente que entra debe ser igual a la que sale (porque un punto del circuito no puede acumular ni generar cargas eléctricas) se tiene que:

$$I = I_1 + I_2$$

Puesto que I es la corriente que entra al nudo e I_1 e I_2 son las que salen. En forma análoga, para los nudos B y C puede escribirse:

$$I_2 = I_3 + I_4 \quad (i)$$

$$I_4 = I_5 + I_6 \quad (ii)$$

reemplazando la (i) en $I = I_1 + I_2$ se tiene:

$$I = I_1 + I_3 + I_4 \quad (iii)$$

reemplazando (ii) en (iii) se tiene:

$$I = I_1 + I_3 + I_5 + I_6 \quad (iv)$$

Lo que indica que la corriente generada en la fuente de tensión es la suma de las corrientes que consuman cada uno de los elementos pasivos del paralelo. A su vez esta expresión sugiere que no es necesario el cálculo de las corrientes I_2 e I_4 para obtener la corriente total.

Además, considerando que entre los puntos A y B, B y C, C y D por un lado, y entre los puntos E y F, F y G, G y H por otro lado, no hay elementos que produzcan caídas de tensión, se tiene entonces que los puntos A, B, C y D están a un mismo potencial que es el del positivo de la fuente de tensión V . Por la otra parte los puntos E, F, G y H están también a un mismo potencial que es igual al negativo de la fuente de tensión. Todo esto puede resumirse en el circuito de la fig 6. Aquí se observa que tanto para el nudo superior como para el inferior se cumple la misma ley: la corriente que entra es igual a la que sale. Se ve también con más claridad que todos los elementos del paralelo están sometidos a la misma

tensión.

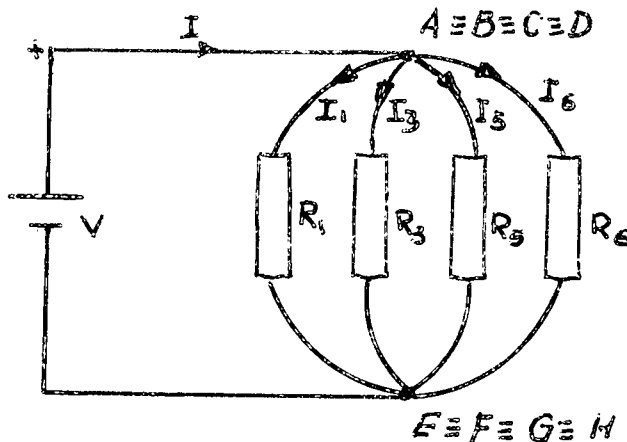


Fig 6

Aplicando la ley de Ohm a cada una de las ramas se obtiene:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_3 = \frac{V}{R_3} \quad I_5 = \frac{V}{R_5} \quad I_6 = \frac{V}{R_6}$$

Reemplazando cada una de éstas en las (iv) se tiene:

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_3} + \frac{V}{R_5} + \frac{V}{R_6} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \right)$$

y haciendo uso de la resistencia equivalente de un paralelo de resistencias, donde:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}$$

Por lo tanto, al igual que el caso del circuito serie, puede llegarse a una forma simple de circuito que es totalmente equivalente al circuito de partida:

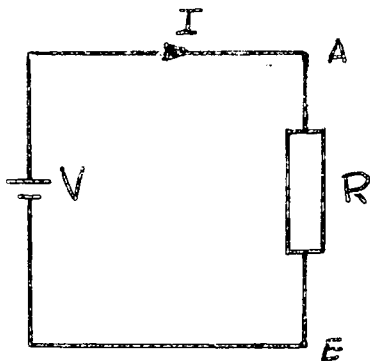


Fig 7

Obsérvese la similitud con el circuito de la fig 1.

3.2- LA FUENTE DE TENSION COMO ELEMENTO DE CIRCUITO

Al tratar de analizar los circuitos eléctricos es necesario recurrir a ciertas simplificaciones, que obligan a alejarse un poco de la realidad de los fenómenos, pero que facilitan la comprensión conceptual de los mismos.

En el caso de los generadores de tensión o corriente es necesario conocer algunos conceptos tales como "resistencia interna" y punto de trabajo del mismo, así como características límites de funcionamiento.

Supóngase el esquema de la fig 8. La tensión entre los puntos A y B está dada por la fuente de tensión V que hace circular una corriente I por el circuito exterior a dicha fuente. Se supone que esta tensión no varía para cualquier valor de la corriente que se le consuma al generador. Sin embargo, la realidad demuestra que un generador de tales características es imposible de conseguir. Como ejemplo, si se considera una pila de linterna, la misma en vacío (sin consumo) presenta un valor de tensión de algo más de 1,5 voltios, pero apenas le conectamos un resistor o un foquito, ese valor de tensión cae. Debe admitirse entonces la existencia real de una resistencia dentro del generador de modo que al circular la corriente por el mismo, es a resistencia interna, produce una caída que se resta al valor de la tensión nominal del generador en sus bornes.

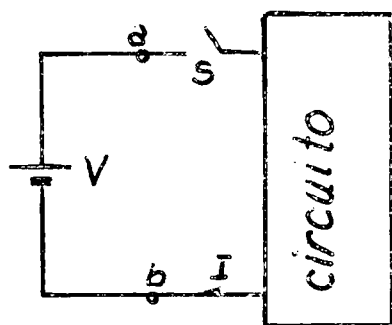


Fig 8

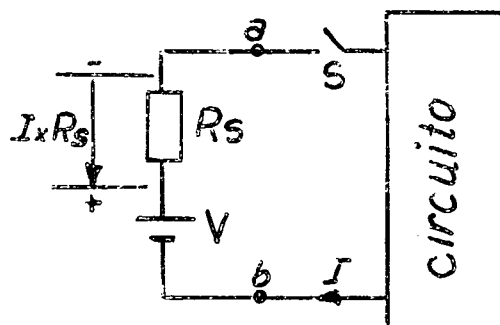
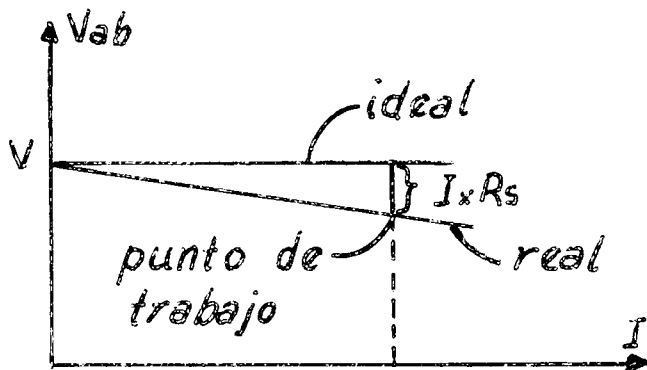


Fig 9

La fig 9 representa al generador real en el que se considera la R_s (resistencia interna del mismo) entonces aparece la explicación del porque la caída del valor de tensión nominal cuando se cierra el interruptor S. En estas condiciones la tensión entra a y b es:

$$V_{a-b} = V - I \times R_s$$

En el gráfico de la fig 10 se muestra el comportamiento real de un generador de tensión, a medida que se le aumenta el consumo de corriente se observa que la tensión efectiva



en los bornes a y b disminuye. Se concluye además que si la resistencia interna R_s fuese nula el factor $I \times R_s$ sería cero, es decir que se comportaría como una fuente "ideal" de tensión aquella fuente con resistencia interna nula.

Fig 10

El punto de trabajo del generador está definido por los valores de la tensión (en voltios) y la corriente (en amperios) a los cuales el generador está funcionando.

Conclusiones: Al generador real de tensión, se lo idealiza diciendo entonces que se compone de:

- una fuente ideal de tensión de valor V ;
- una resistencia en serie de valor R_s ,

tal cual se lo indica en la fig 9.

La fuente ideal de tensión es aquella cuya resistencia interna vale cero, lo que le permite dar cualquier valor de corriente sin variar su tensión en bornes.

3.3- LA FUENTE DE CORRIENTE COMO ELEMENTO DE CIRCUITO

En forma análoga a lo que sucede con la fuente de tensión, este tipo de fuente idealmente debe ser capaz de mantener constante la corriente que entrega independientemente de cual sea la tensión que aparece en sus bornes. No obstante al cargar una fuente de corriente, se observa que la corriente es menor que la nominal, es decir que debe admitirse que existe una resistencia en paralelo con el generador que deriva la parte de la corriente nominal que la fuente no entrega en sus bornes.

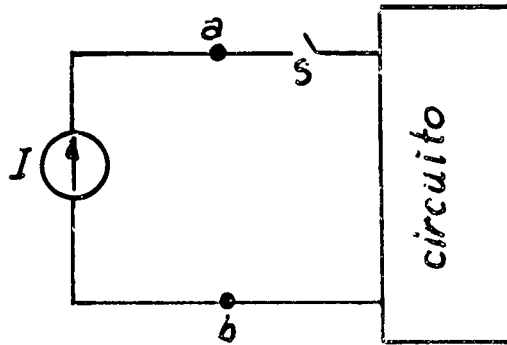


Fig 11

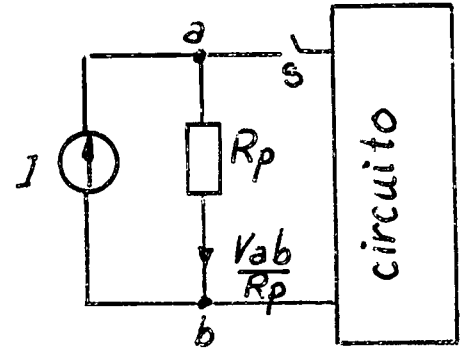


Fig 12

La fig 11 muestra el generador de corriente ideal, y la fig 12 el generador real con su resistencia interna R_p de manera que se cumple:

$$I_a = I - \frac{V_{a-b}}{R_p}$$

La fig 13 muestra el comportamiento de la fuente de corriente a medida que se eleva la tensión. Al elevarse ésta, la corriente que escapa por R_p es mayor. Si se pretende acercarse más a las condiciones de generador de corriente ideal, esta R_p debe ser lo más grande posible, de manera de lograr que por R_p se drene la menor cantidad de corriente posible debido a su alto valor.

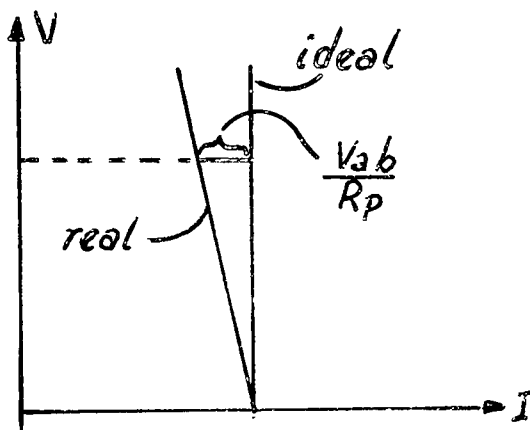


Fig 13

Se deduce además que si la R_p fuese infinitamente grande, entonces el cociente V_{a-b}/R_p sería cero, la fuente de corriente tendría entonces un comportamiento de tipo ideal.

El punto de trabajo se define por los valores de tensión y de corriente a los cuales el generador está funcionando.

Conclusiones: Al generador real de corriente se lo idealiza

mediante dos elementos:

- un generador ideal de corriente;
- una resistencia en paralelo con éste de valor R_p en la forma en que se indica en la fig 12.

El generador ideal de corriente es aquél cuya resistencia interna R_p es de valor infinito, lo que le permite trabajar a cualquier tensión sin que cambie la corriente que entrega en sus bornes.

3.4- LEYES DE KIRCHOFF

Son leyes de aplicación general que sirven para resolver los circuitos de tipo ramificado, en el que aparecen combinaciones de serie y paralelo.

3.4.a- Ley de tensiones de Kirchhoff

Si en un circuito ramificado se elige arbitrariamente un camino cerrado, y se parte de un punto y se lo recorre en un sentido, la suma de las caídas de tensión, con su signo, a lo largo de dicho camino cerrado es cero.

Ejemplo: Sea el circuito de la fig 14, en el cual se han supuesto polaridades arbitrarias. Se ha escogido un camino cerrado y un sentido de recorrido. La ley de tensiones da:

$$V_1 - V_{R4} + V_{R6} + V_{R7} - V_7 + V_{R8} + V_{R11} + V_{R3} = 0$$

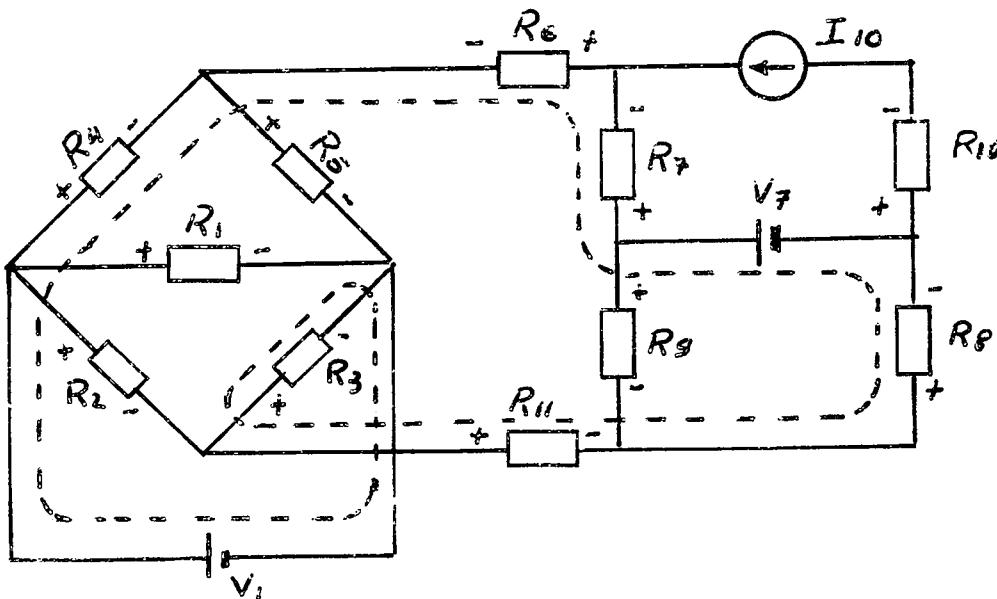


Fig 14

3.4.b- Ley de corrientes de Kirchhoff

Si en un circuito ramificado se considera un punto donde concurren dos o más ramas (o el punto donde estén conectados dos o más elementos), ese punto no puede ni generar ni acumular carga eléctrica, es decir que la carga eléctrica que entra al punto en cuestión debe salir de él. La ley se expresa diciendo que la suma total de las corrientes de un nudo es cero. O sea que el balance entre las que entran y las que salen es nulo.

Ejemplo: sea el circuito de la fig 15. El conductor ABC forma un nudo conectado a masa que se explicita a la derecha, para el que se cumple

$$I_{e1} + I_{e2} + I_{h1} + I_{h2} - I_{o1} - I_{o2} - I = 0$$

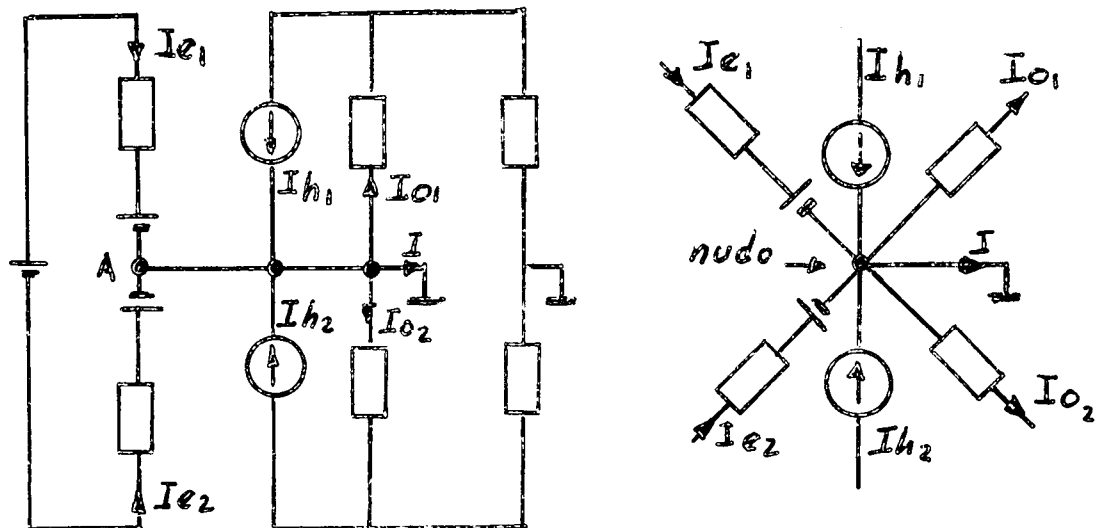


Fig 15

3.5- LEY DE LA SUPERPOSICION

Cuando en un determinado circuito hay presentes dos o más elementos activos interesa conocer el efecto total sobre un solo elemento pasivo, la incidencia sobre el mismo puede calcularse aplicando uno por vez los elementos activos y luego sumando sus efectos. Un ejemplo aclarará mejor este concepto.

Ejemplo: Sea el circuito de la fig 16 donde hay presentes dos fuentes de tensión que suponemos ideales. Interesa calcular la corriente I_3 que circula por la rama AB. Las resistencias están en Ohms y las tensiones en voltios.

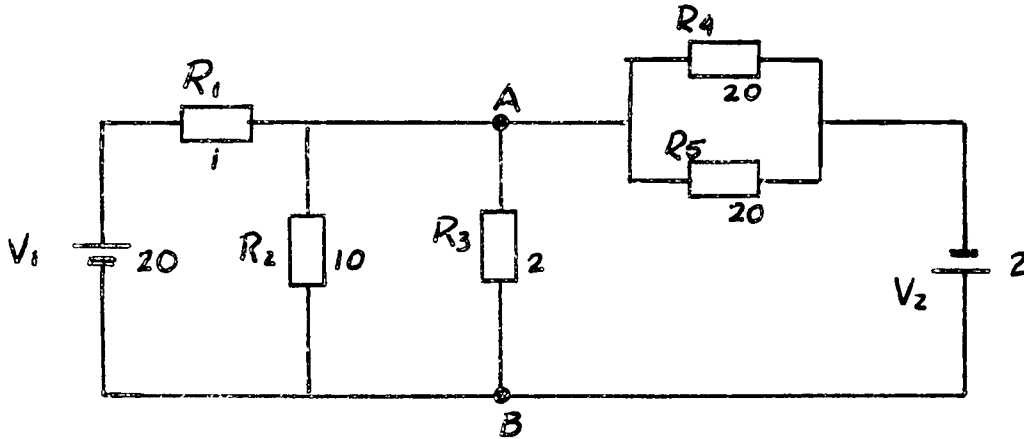


Fig 16

Para resolver se supone primero que se "pasiva la fuente V_2 ", para ello se reemplaza la fuente por su resistencia interna, que como se la supuso ideal vale cero. O sea para pasivar la fuente se le saca su parte activa de generación de tensión y se deja únicamente su parte pasiva o sea su resistencia interna. Luego queda un circuito de combinación de resistencias que se resuelve con las técnicas de serie-paralelo con una única fuente como se muestra en la fig 17.

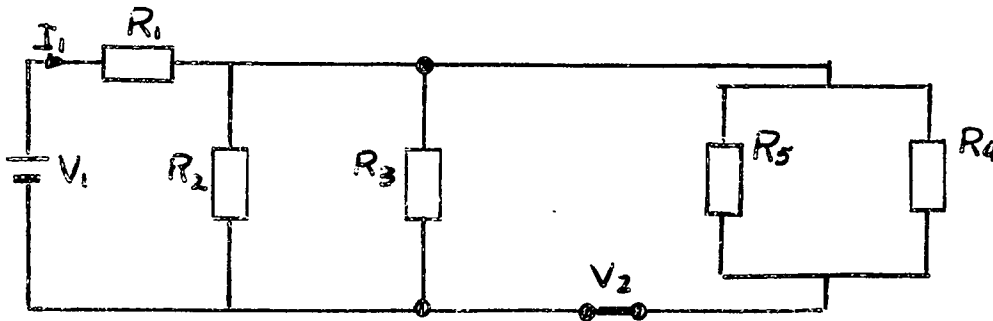


Fig 17

Se comienza resolviendo los paralelos:

$$\frac{R_4 \times R_5}{R_4 + R_5} = \frac{20 \times 20}{40} \frac{\Omega^2}{\Omega} = \frac{400}{40} \Omega = 10 \Omega = R'$$

$$\frac{R' \times R_2}{R' + R_2} = \frac{10 \times 10}{20} \Omega = \frac{100}{20} \Omega = 5 \Omega = R''$$

$$\frac{R'' \times R_3}{R'' + R_3} = \frac{5 \times 2}{7} \Omega = \frac{10}{7} \Omega \approx 1,43 \Omega = R'''$$

Ya se puede calcular la corriente total que cede la fuente V_1 :

$$I_1 = \frac{V_1}{R''' + R_1} = \frac{20 \text{ V}}{2,43 \Omega} = 8,23 \text{ A}$$

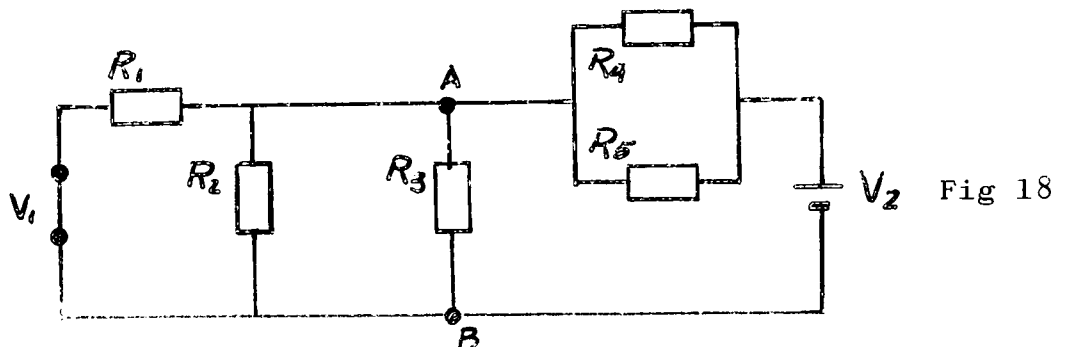
La resistencia R_3 está sometida a la tensión del paralelo R''' :

$$V_{AB} = I_1 \times R''' = 8,23 \text{ A} \times 1,43 \Omega = 11,77 \text{ V}$$

$$I_{(AB)_1} = \frac{V_{AB}}{R_3} = \frac{11,77 \text{ V}}{2 \Omega} = 5,88 \text{ A}$$

que es la contribucion de la fuente V_1 en la rama AB. La corriente va desde A a B debido a esta fuente.

Ahora se aplica el segundo paso. Se calculará el efecto de la fuente V_2 suponiendo pasivada la V_1 . Queda entonces otro tipo de configuración serie-paralelo que permitirá calcular en forma análoga al paso anterior la incidencia de esta fuente sobre el resistor R_3 . El circuito es el de la fig 18.



Se comienza de nuevo por los paralelos:

$$\frac{R_4 \times R_5}{R_4 + R_5} = 10 \Omega = R^1 \quad \text{Calculado anteriormente.}$$

$$\frac{R_2 \times R_1}{R_2 + R_1} = \frac{10 \times 1}{11} \Omega = \frac{10}{11} \Omega \approx 0,99 \Omega = R^2$$

$$\frac{R^2 \times R_3}{R^2 + R_3} = \frac{0,99 \times 2}{0,99 + 2} = \frac{1,818}{2,99} \Omega = 0,608 \Omega = R^b$$

La corriente total, ahora de la fuente V_2 es:

$$I_2 = \frac{V_2}{R^b + R^1} = \frac{2 \text{ V}}{10,608 \Omega} = 0,188 \text{ A}$$

La tensión del paralelo R^b a la que está sometida ahora R_3 es:

$$V_{BA} = I_2 \times R^b = 0,188 \text{ A} \times 0,608 \Omega = 0,114 \text{ V}$$

$$I_{(BA)_2} = \frac{V_{BA}}{R_3} = \frac{0,114 \text{ V}}{2 \Omega} \approx 0,057 \text{ A}$$

Pero esta corriente la circula a R_3 en sentido contrario a la que le producía la fuente V_1 .

$$I_{(BA)_2} = -I_{(AB)_2}$$

Entonces por superposición de efectos la corriente total en R_3 es la debida a ambas fuentes, es decir que se suman algebraicamente los efectos, debiendo la corriente total en R_3 ser del signo (o del mismo sentido) que la mayor de las dos calculadas, que en este ejemplo es la que proviene de V_1 :

$$\begin{aligned} I_{AB} &= I_{(AB)_1} - I_{(AB)_2} = \\ &= 5,88 \text{ A} - 0,057 \text{ A} = \\ &= 5,823 \text{ A} \end{aligned}$$

4.1- TEOREMA DE THEVENIN

Mediante la aplicación del teorema, pueden lograrse simplificaciones en la resolución de circuitos eléctricos. El enunciado puede resumirse de la siguiente manera: cuando en una red eléctrica, compuesta por elementos activos y pasivos, interesa conocer solamente la tensión o corriente en una rama determinada, puede eliminarse dicha rama y calcularse el valor de tensión que aparece en los bornes de la misma, y la resistencia "vista" en dichos bornes cuando se pasivan los elementos activos; luego se forma el "circuito equivalente de Thévenin" compuesto por una fuente de tensión de valor igual a la tensión calculada, en serie con una resistencia igual a la obtenida; a continuación se conecta a este circuito equivalente sencillo la rama que se había retirado y se le calcula el parámetro deseado.

Si por el bloque de la figura 1, se representa una red más o menos compleja

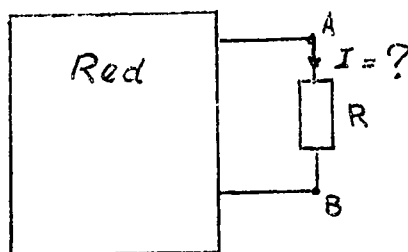


Fig. 1

y con R una resistencia de dicha red, de la cual interesa saber la corriente que la circula, se abre entonces el circuito en A y en B y se calcula E_{Th} (Figura 2)

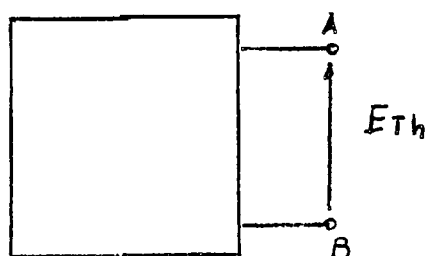


Fig. 2

luego se pasiva la red y se calcula R_{Th} (Figura 3)

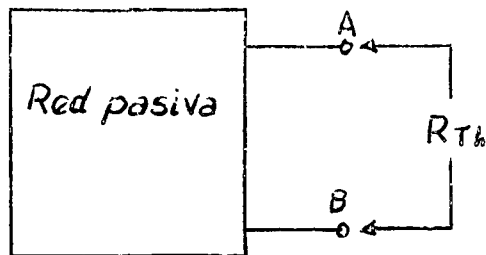
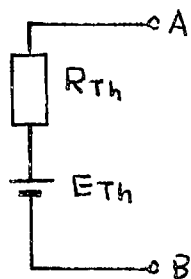


Fig. 3

Luego se forma el circuito equivalente de Thévenin que reemplaza a la red, en cuanto a su comportamiento con respecto a R. (Figura 4)



Circuito equivalente de Thévenin

Fig. 4

finalmente se recupera R pero a este circuito y se calcula I (Figura 5)

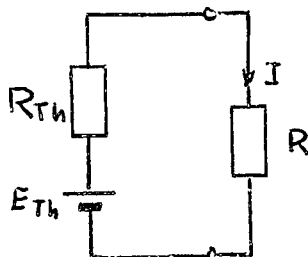


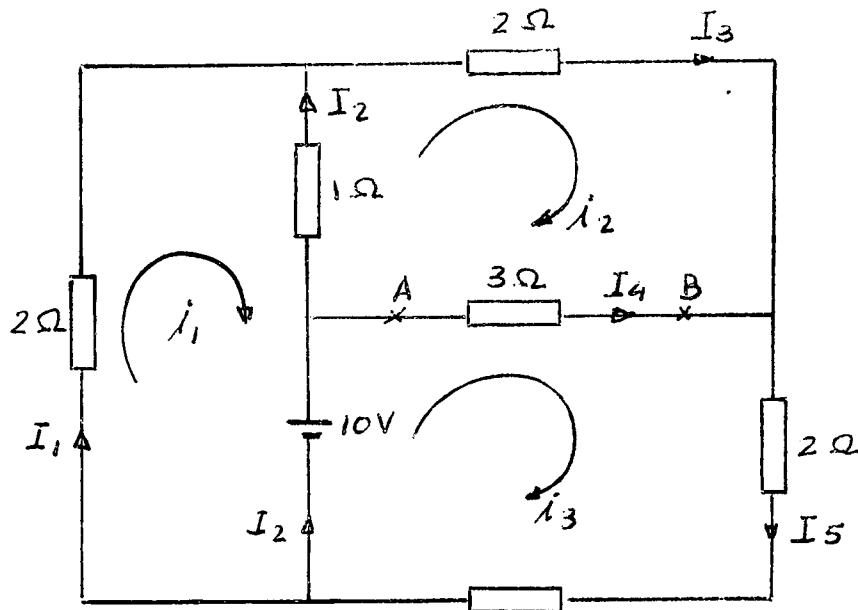
Fig. 5

$$I = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R}$$

EJEMPLOS DE APLICACION:

Ejemplo 1:

Sea el circuito de la figura 6, en el cual interesa conocer el valor de la corriente I_4 .



Para poder comparar mejor las ventajas del método de Thévenin, se resolverá primero por el método clásico.

Aplicando técnicas convencionales, puede resolverse la red por el método de las mallas, se fijan entonces los sentidos de circulación de mallas i_1 , i_2 e i_3 y luego se aplica la ley de tensiones de Kirchhoff teniendo en cuenta, que al recorrer i_1 , aparecen con signo positivo las caídas de tensión de la malla considerada y con signo negativo las caídas de tensión provocadas por la circulación de otras mallas sobre resistencias comunes.

Es decir, para la malla i_1 se tiene:

$$(2 + 1) i_1 - 1 i_2 + 10 \text{ V} = 0$$

$$\therefore 3 i_1 - i_2 = -10 \text{ V} \quad \text{ecuación a}$$

para la malla i_2 es:

$$(2 + 3 + 1) i_2 - 3 i_3 - 1 i_1 = 0 \text{ V}$$

$$\therefore 6 i_2 - 3 i_3 - i_1 = 0 \quad \text{ecuación b}$$

para la malla i_3 es:

$$(3 + 2 + 6) i_3 - 3 i_2 - 10 \text{ V} = 0$$

$$\therefore 11 i_3 - 3 i_2 = 10 \text{ V} \quad \text{ecuación c}$$

Luego con a, b y c se forma el sistema de ecuaciones, que ordenado para las incógnitas queda:

$$\begin{cases} 3 i_1 - i_2 = -10 \text{ V} \\ -i_1 + 6 i_2 - 3 i_3 = 0 \\ -3 i_2 + 11 i_3 = 10 \text{ V} \end{cases}$$

y pueden calcularse entonces las corrientes de mallas, por cualquier método que resuelva el sistema, por determinantes por ejemplo es:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -1 & 0 \\ -1 & 6 & -3 \\ 0 & -3 & 11 \end{vmatrix}$$

$$= 3 \times 6 \times 11 + (-1) (-3) \times 0 + (-1) (-3) \times 0 - 0 \times 6 \times 0 -$$

$$- (-3) (-3) 3 - (-1) (-1) 11 =$$

$$= 198 - 27 - 11 = 160$$

$$\Delta = 160$$

$$i_1 = \frac{\Delta_{i_1}}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} -10 & -1 & 0 \\ 0 & 6 & -3 \\ 10 & -3 & 11 \end{vmatrix}}{160} = \frac{-660 + 30 - 90}{160}$$

$$= - \frac{720}{160} = - 4,5 \text{ A}$$

$$\therefore \boxed{i_1 = - 4,5 \text{ A}}$$

$$i_2 = \frac{\Delta i_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -10 & 0 \\ -1 & 0 & -3 \\ 0 & 10 & 11 \end{vmatrix}}{160} = \frac{90 - 10}{160} = - \frac{20}{160} = - 0,125 \text{ A}$$

$$\therefore \boxed{i_2 = - 0,125 \text{ A}}$$

$$i_3 = \frac{\Delta i_3}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -1 & -10 \\ -1 & 6 & 0 \\ 0 & -3 & 10 \end{vmatrix}}{160} = \frac{180 - 30 - 10}{160} = \frac{140}{160} = 0,875$$

$$\boxed{i_3 = 0,875 \text{ A}}$$

finalmente, inspeccionado los signos arbitrariamente asignados, las corrientes de rama en función de las de malla resultan:

$$I_1 = i_1 = - 4,5 \text{ A} \quad \therefore I_1 = - 4,5 \text{ A}$$

$$I_2 = i_2 - i_1 = - 0,125 - (-4,5) = 3,375 \text{ A}$$

$$\therefore I_2 = 3,375 \text{ A}$$

$$I_3 = i_2 = -0,125 \text{ A} \quad \therefore I_3 = 0,125 \text{ A}$$

$$I_4 = i_3 - i_2 = 0,875 - (-0,125) \\ = 1,000 \text{ A}$$

$$\therefore I_4 = 1 \text{ A}$$

$$I_5 = i_3 = 0,875 \text{ A}$$

$$\therefore I_5 = 0,875 \text{ A}$$

$$I_6 = i_3 - i_1 = 0,875 - (-4,5) \\ = 5,375 \quad \therefore I_6 = 5,375 \text{ A}$$

En particular resultó:

$$I_4 = 1 \text{ A}$$

que era el valor que interesaba calcular.

Resolución por Thévenin

Abriendo el circuito en A y en B de la figura 6, se tiene:

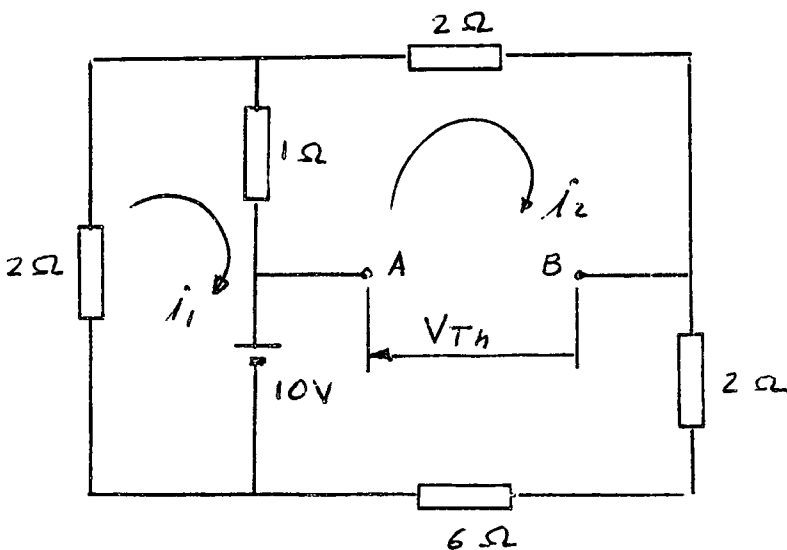


Fig. 7

Para calcular V_{Th} es necesario ahora solo un sistema de dos ecuaciones de mallas en i_1 e i_2 .

Para i_1 es:

$$(2 + 1) i_1 - 1 i_1 + 10 \text{ V} = 0$$

$$\therefore 3 i_1 - i_2 = -10 \text{ V} \quad \text{ecuación a'}$$

y para i_2 es:

$$(1 + 2 + 2 + 6) i_2 - 1 i_1 - 10 \text{ V} = 0$$

$$\therefore 11 i_2 - i_1 = 10 \text{ V} \quad \text{ecuación b'}$$

Con a' y b' se forma el sistema y se resuelve:

$$\begin{cases} 3 i_1 - i_2 = -10 & \text{a'} \\ -i_1 + 11 i_2 = 10 & \text{b'} \end{cases}$$

de a':
$$i_1 = \frac{-10}{3} + \frac{i_2}{3}$$

en b':
$$- \left(-\frac{10}{3} + \frac{i_2}{3} \right) + 11 i_2 = 10$$

$$11 i_2 - \frac{i_2}{3} = 10 - \frac{10}{3}$$

$$i_2 \frac{33 - 1}{3} = \frac{30 - 10}{3}$$

$$i_2 = \frac{\frac{20}{3}}{\frac{32}{3}} = \frac{20}{32} \text{ A}$$

$$\therefore \boxed{i_2 = \frac{20}{32} \text{ A}}$$

Además

$$V_{AC} = 10 \text{ V}$$

$$V_{BC} = \frac{20}{32} \text{ A} \times (6 + 2) =$$

$$= \frac{20}{32} \times 8 \text{ V}$$

$$= 5 \text{ V}$$

$$\text{y } V_{Th} = V_{AC} - V_{BC} = V_{AB}$$

$$\therefore \boxed{V_{Th} = 10 \text{ V} - 5 \text{ V} = 5 \text{ V}}$$

Para calcular ahora R_{Th} se recurre a rápidas y cómodas transformaciones detalladas en la figura 8, recordando que pasivar una fuente de tensión es colocar un corto-circuito en su lugar:

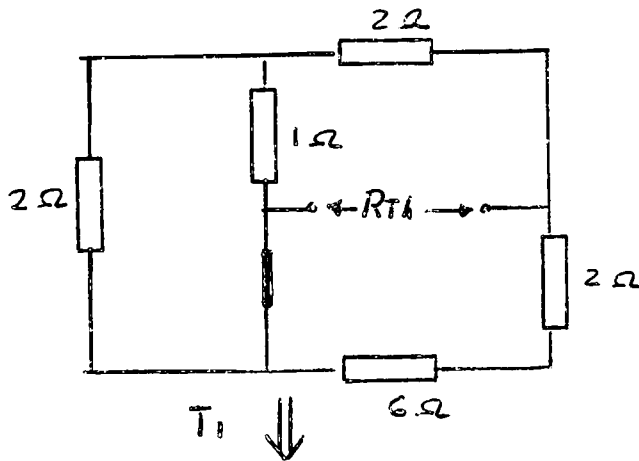


Fig. 8 A

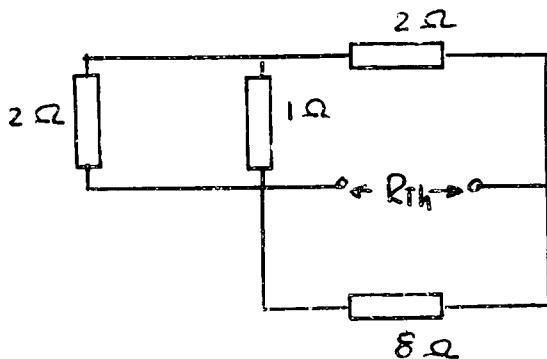


Fig. 8 B

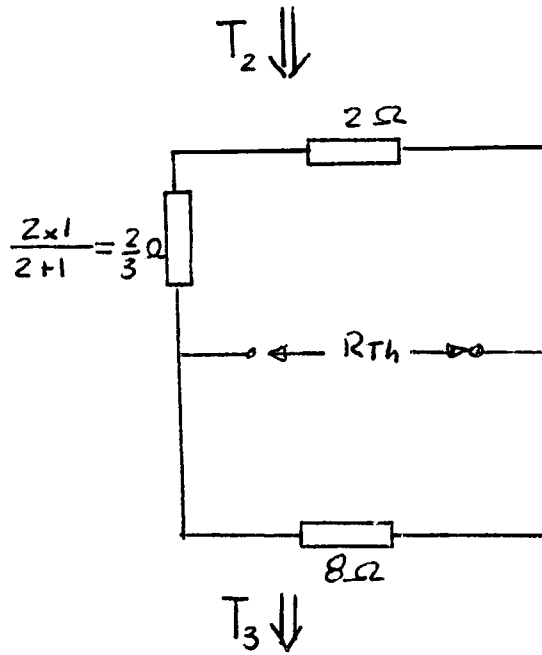


Fig. 8 C

$$\frac{2}{3} + 2 = \frac{8}{3} \Omega$$

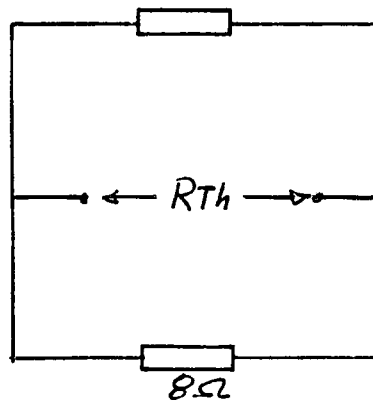


Fig. 8 D

$$\therefore R_{Th} = \frac{8 \times \frac{8}{3}}{8 + \frac{8}{3}} = \frac{\frac{64}{3}}{\frac{24 + 8}{3}} = \frac{64}{32} \Omega$$

$$\boxed{R_{Th} = 2 \Omega}$$

Luego el equivalente de Thévenin es:

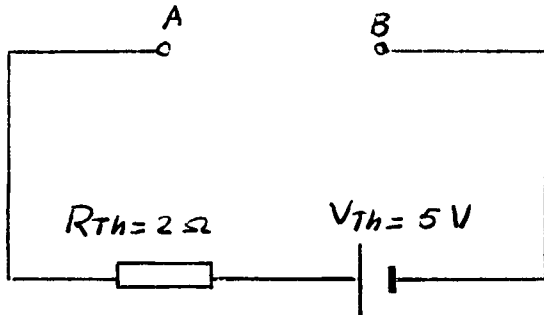


Fig. 9

Si ahora se coloca $R = 3 \Omega$ en AB se tiene el circuito que permite calcular I_4 :

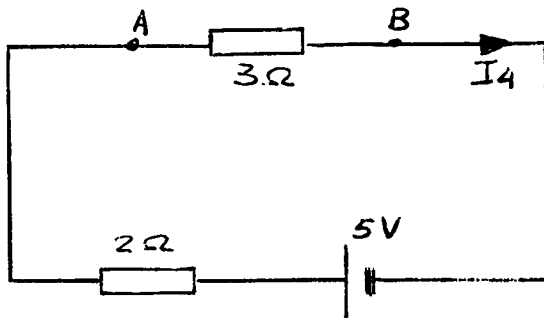


Fig. 10

$$\therefore I_4 = \frac{5 \text{ V}}{(2 + 3) \Omega} = \frac{5 \text{ V}}{5 \Omega} = 1 \text{ A}$$

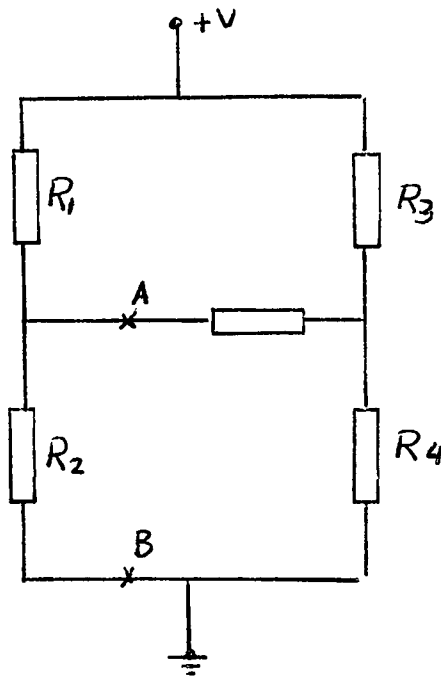
$$I_4 = 1 \text{ A}$$

Resultado que coincide con el obtenido por el otro método como era de esperar.

Comparando los métodos, se observa que el mecanismo de Thévenin prevee un cálculo más rápido y seguro, en primer lugar porque se disminuye el nº de ecuaciones del cálculo y en segundo lugar porque el valor de la R_{Th} se deduce de simples configuraciones serie-paralelo de resistencias.

Ejemplo 2:

Sea el circuito de la figura 11, en el cual se desea reemplazar los elementos situados a la izquierda de A y B por su equivalente de Thévenin



$$R_1 = 33 \text{ K } \Omega$$

$$R_2 = 15 \text{ K } \Omega$$

$$R_3 = 5 \text{ K } \Omega$$

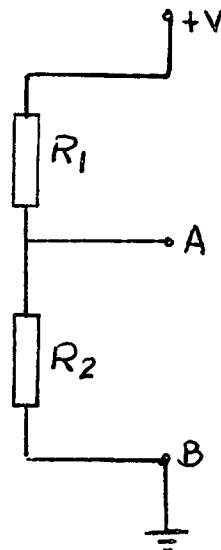
$$R_4 = 0,8 \text{ K } \Omega$$

$$R_5 = 1 \text{ K } \Omega$$

$$V = 12 \text{ V}_{CC}$$

Fig. 11

El circuito de la izquierda de A y B es:



donde $V_{Th} = V_{cc} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

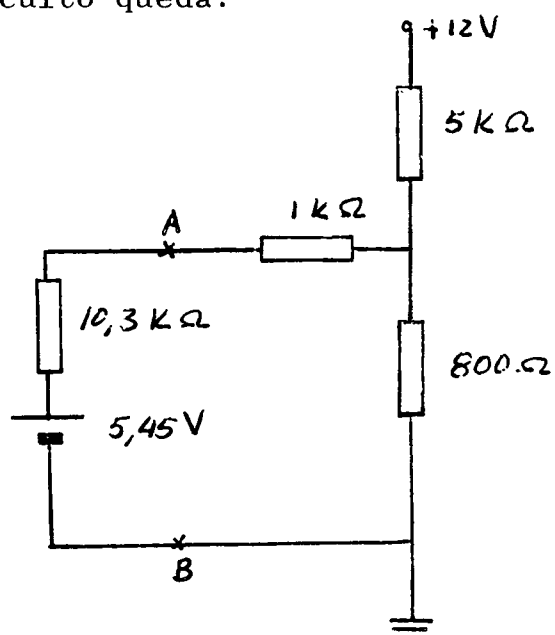
y $R_{Th} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2}$

O sea:

$$V_{Th} = 12 \text{ V} \times \frac{15 \text{ K}\Omega}{33 \text{ K}\Omega} = 5,45 \text{ V}$$

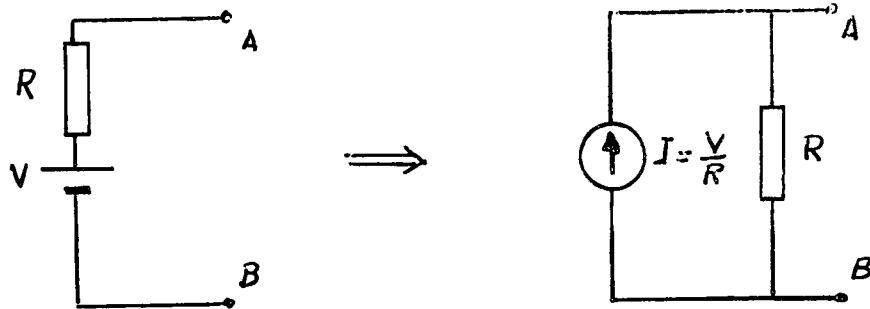
y $R_{Th} = \frac{15 \times 33}{48} \text{ K}\Omega = 10,3 \text{ K}\Omega$

y el circuito queda:



4.2 - TEOREMA DE NORTON

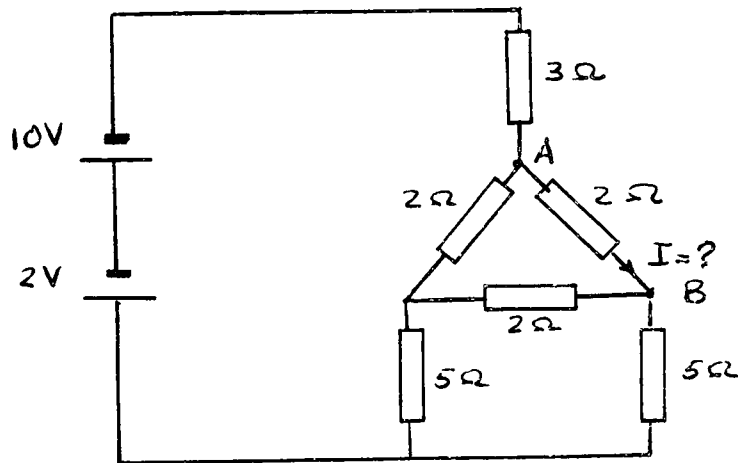
Algunas veces puede resultar conveniente lograr un circuito equivalente, en las mismas condiciones que en el caso del Thévenin, pero con fuente de corriente en lugar de fuente de tensión. En este caso se tiene la siguiente configuración totalmente equivalente al de Thévenin, pero entonces se denomina equivalente de NORTON.



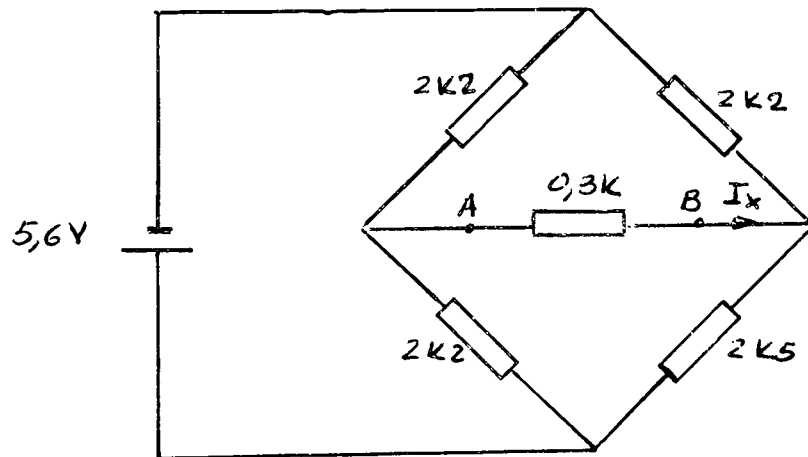
La fuente de corriente entrega en bornes A y B la misma corriente que entrega la fuente de tensión de valor V , y en ambos circuitos la resistencia "vista" desde A y B es la misma e igual a R (Recordar que una fuente de corriente privada es un circuito abierto).

GUIA DE PROBLEMAS

- 1) Calcular el valor de la corriente I aplicando el Teorema de Thévenin de:



- 2) Dibujar un circuito con el equivalente de NORTON del problema anterior.
- 3) Para el circuito de la figura, encontrar $I_x = ?$



- 4) Reemplazar a la izquierda de la línea de puntos por el equivalente de Thévenin.

