Recuerda que la resistencia equivalente, es aquella resistencia que hace el mismo trabajo que las resistencias que sustituye.

Las resistencias eléctricas no tienen polaridades, por tal motivo no hay cuidado en sus conexiones, como sucede con las pilas.

2-13 LEY DE OHM.- El investigador Simon Ohm, obtuvo como resultado de sus trabajos experimentales, que: la corriente eléctrica I que circula por un material dado, es directamente proporcional al voltaje aplicado en los extremos del material. Esta es la Ley de Ohm, cuya expresión de proporcionalidad está dada por:

$$I \propto V$$

Esta proporcionalidad se convierte en ecuación al introducir una constante de proporcionalidad: $\frac{1}{R}$, que resultó ser, el inverso de la resistencia del material, o sea:

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

Esta ecuación es más comunmente conocida en ésta otra forma:

$$V = I\,R \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2\text{-}12\text{-}4$$

V representa el voltaje, que no es otra cosa que, la diferencia de potencial aplicada entre los extremos del material, expresada en Volts.

I es la corriente que circula por el material. Las unidades de la corriente eléctrica en el sistema M.K.S. son los: Amperios o Amperes.

R es la resistencia eléctrica del material expresada en ohms.

Todo conductor eléctrico, sea un sólido, un líquido o un gas, que obedece la ecuación de ohm, recibe el nombre de: Conductor ohmico.

2-14 CIRCUITOS ELECTRICOS.- Un circuito eléctrico simple está constituído por: Una pila o una batería, un conductor eléctrico, un interruptor o switch y una carga eléctrica como lo es la resistencia de un foco o de una plancha. El siguiente esquema muestra un circuito eléctrico simple:

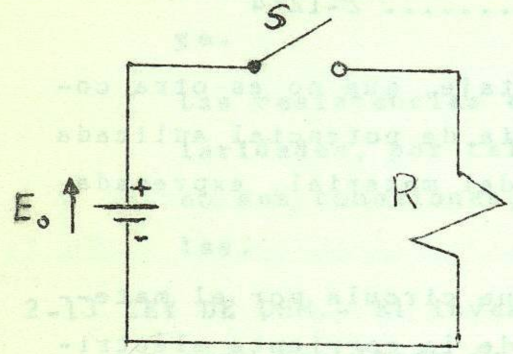


Fig. 2-14-1

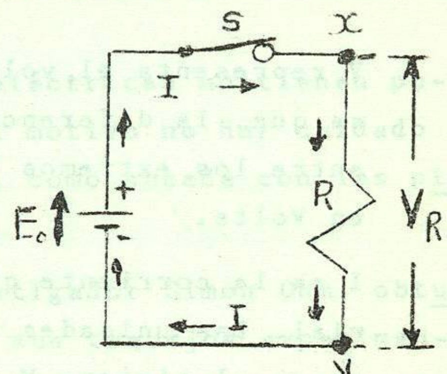


Fig. 2-14-2

En la primer figura el circuito está abierto, pués el interruptor S así lo demuestra. La pila está sin trabajar.

En la segunda figura, al cerrar el interruptor S, fluye la corriente I la cual sale del polo positivo dela pila, pasa por el interruptor y por la resistencia para regresar al polo negativo de la pila.

El paso de la corriente I por la resistencia R ocasiona un voltaje: V_R, dado por la ecuación de ohm:

$$V_R = I\,R$$

En el circuito simple, el voltaje en la resistencia es igual a la Fem de la pila o de la batería. Entonces:

$$V_R = E_o = \text{Fem}$$

El paso de la corriente eléctrica a través de cualquier resistencia produce un calentamiento en ella, es decir, hay una transformación de energía eléctrica a energía calorífica en la resistencia.

La rapidez con que se caliente una resistencia eléctrica con respecto al tiempo, se llama: Efecto de Joule o efecto de calentamiento de joule. Este efecto representa una potencia eléctrica, dada por las ecuaciones:

$$P = I^2 R \text{ .... } 2\text{-}14\text{-}1$$

$$P = \frac{V^2}{R} \text{ ...... } 2\text{-}14\text{-}2$$

Cuando I está dada en Amperes, V en Volts y R en ohms, las unidades de la potencia P serán los Watts. Recuerda, I es la corriente que circula por la resistencia R y V es el voltaje en la resistencia también llamado: Caida de Voltaje de la resistencia.

En el circuito simple de las figuras 2-14-1 y 2-14-2, se ha considerado que la pila no tiene resistencia en su interior. Esto es válido cuando la pila o la batería son nuevas. Sin embargo, durante su uso la resistencia interna va en aumento, dando lugar a que la diferencia de potencial entre los bornes de la pila o de la batería disminuya con el uso, quedando finalmente inservible. Sin embargo la Fem o E_o, no es afectada.

El siguiente circuito muestra a la pila con su resistencia interna r. El circuito ya no se considera simple, pués ya cuenta con dos resistencias, r y R: En serie con la pila.

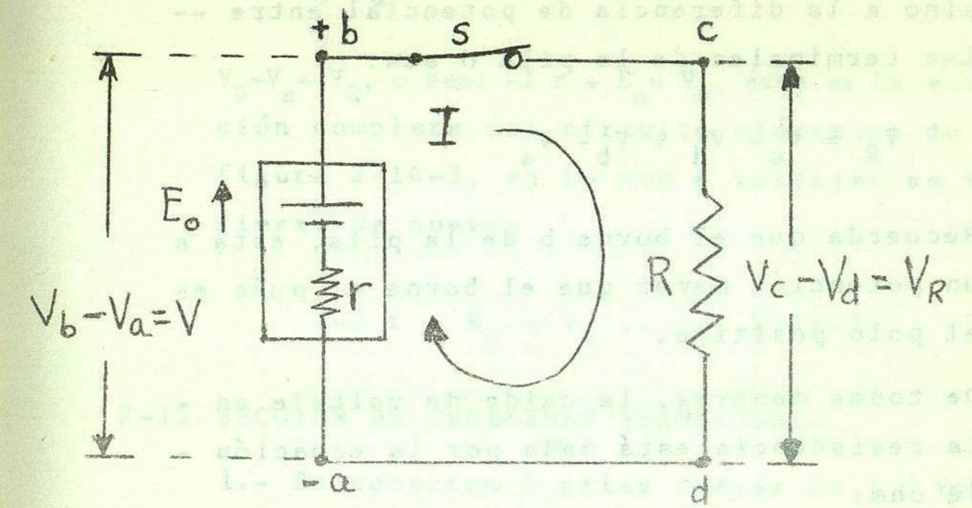


Fig. 2-14-3

Ahora, la corriente I que circula por todo el circuito a favor de las manecillas del reloj, pasa por el interior de la resistencia interna r de la pila y por la resistencia R del circuito.

Como se puede apreciar, el circuito se complicó por la presencia de la resistencia interna r de la pila.

Ahora, la caida de voltaje en la resistencia R ya no es igual a la Fem de la pila, sino a la diferencia de potencial entre -- Las terminales de la pila o sea:

$$V_R = V_c - V_d = V_b - V_a$$

Recuerda que el borne b de la pila, está a un potencial mayor que el borne a, pués es el polo positivo.

De todas maneras, la caida de voltaje en - la resistencia está dada por la ecuación - de ohm:

$$V_R = I\ R$$

Como la resistencia interna r de la pila - y su Fem están en serie, entonces sus voltajes se pueden sumar para obtener la diferencia de potencial entre sus polos, o --- sea:

$$-I\ r + E_o = V_b - V_a$$

$-I\ r$ es una caida de voltaje en la resis-- tencia interna de la pila y E_o es su Fem. $V_b - V_a$, nos dá la diferencia de potencial - entre los bornes de la pila.

Igualando el voltaje de la resistencia R -

con $V_b - V_a$, tenemos:

$V_b - V_a = V_R$, o sea: $-I\ r + E_o = V_R$, ésta es la ecuación completa del circuito eléctrico de la figura 2-14-3, en lo que a voltajes se refiere. De nuevo:

$$-I\ r + E_o = V_R \text{ ...... } 2\text{-}14\text{-}3$$

2-15 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- Se conectan 5 pilas nuevas de 1.5 Volts cada una, en serie. Calcular la Fem de la batería resultante:

Solución.- Como la Fem resultante de - una batería formada por pilas en se--- rie, es igual a la suma escalar de las Fem de cada una de ellas; entonces:

Fem = 1.5+ 1.5+ 1.5+ 1.5+1.5=7.5 Volts

2.- Se tienen dos baterías, una de 6 Volts y otra de 9 Volts, ¿Qué voltaje o Fem de salida, se tendrá al conectarse en serie?

Solución.- De nuevo:

$$Fem = (Fem)_1 + (Fem)_2 = 6 + 9 = 15 \text{ Volts}$$

3.- ¿Qué resistencia eléctrica tendrá un alambre de aluminio cuya longitud es de 50 metros, con un diámetro de 0.5 cm a 20^oC?

Solución.- Los datos son: ℓ=50M D=0.5 cm, y acudiendo a la tabla 2-12-1, encontramos que la resistividad ρ del Alumínio a 20^oC es: $2.8 \times 10^{-8}\ \Omega$ - M.

Podemos aplicar la ecuación: $R = \rho \frac{\ell}{A}$

pero antes, hemos de convertir los centímetros del diámetro a metros, o sea: D= .5 cm = 5×10^{-3} M, pués recuerda que solamente trabajaremos con el sistema M.K.S., en todos los problemas.

Ahora calcularemos el área A de flujo eléctrico. Como se nos dá un diámetro, quiere decir que el área A es circular, por lo tanto, el área de un círculo está dado por: $A = \frac{\pi D^2}{4}$ y sustituyendo:

$$A = \frac{3.1416\ (5X10^{-3})^2}{4} = 1.963 \times 10^{-5}\ M^2$$

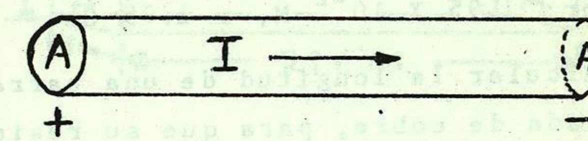
y empleando la ecuación: $R = \rho \frac{\ell}{A}$, sustituyendo:

$$R = 2.8 \times 10^{-8}\ \frac{50}{1.963X10^{-5}} = 7.132X10^{-2}\Omega,$$

o bién, $R = .07132\ \Omega$

Esta será la resistencia del alambre de Aluminio. Como se puede notar, es una resistencia muy pequeña.

El alambre puede representarse así, haciendo resaltar su área de flujo A, por la cual circula la corriente eléctrica:



4.- ¿Qué diámetro ha de tener un alambre de hierro de 300 metros, para que su resistencia sea de 0.10 ohms a 20^oC?.

Solución.- Datos: ℓ = 300 M, R = .10 Ω, la resistividad ρ del hierro de acuerdo con la tabla 2-12-1, es: $\rho = 1X10^{-7}\ \Omega$ -M., usando la ecuación: $R = \rho \frac{\ell}{A}$ y despejando el área A de flujo: $A = \frac{\rho \ell}{R}$

y sustituyendo:

$$A = \frac{1 \times 10^{-7} \times 300}{0.10} = 3 \times 10^{-4}\ M^2$$

El área de un circulo es: $A = \frac{\pi D^2}{4}$, despejando; $4A = \pi D^2$, $\frac{4A}{\pi} = D^2$, ---------

$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$, y sustituyendo:

$$D = \sqrt{\frac{4\ (3 \times 10^{-4})}{3.1416}} = 3.82 \times 10^{-4} = 1.95 \times 10^{-2}\ M$$

El diámetro del alambre de hierro ha de --- ser: 1.95×10^{-2} M, o 1.95 Cm.

5.- Calcular la longitud de una barra cuadrada de cobre, para que su resistencia sea de $0.05\ \Omega$ a $20^{o}C$, si su área de flujo tiene 1 Cm de lado.

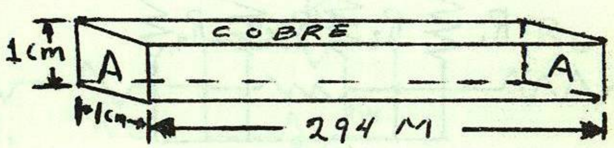
Solución.- Datos: $R = 0.05\ \Omega$, la resistividad ρ del cobre a $20^{o}C$ es de ------ $1.7 \times 10^{-8}\ \Omega$-M, de acuerdo con la tabla 2-12-1, como el área de flujo es cuadrada, la fórmula del área de un -- cuadrado es: $A = l^2$ siendo l la longitud de uno de sus lados, entonces: -

$$A = l^2 = (1\ Cm)^2 = 1\ Cm^2 = 1 \times 10^{-4}\ M^2$$

Usando la ecuación, $R = \rho \frac{l}{A}$, y despejando $l = \frac{RA}{\rho}$ y sustituyendo:

$$l = \frac{.05 \times 1 \times 10^{-4}}{1.7 \times 10^{-8}} = .0294 \times 10^{4}\ M = 294\ M$$

es decir, la barra de cobre debe tener una longitud de 294 M., su representación es:



6.- **Se tienen 4 resistencias eléctricas: - $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 60\ \Omega$, $R_3 = 100\ \Omega$ y - $R_4 = 40\ \Omega$. Encontrar la resistencia equivalente al conectarse (a) En serie (b) En paralelo.**

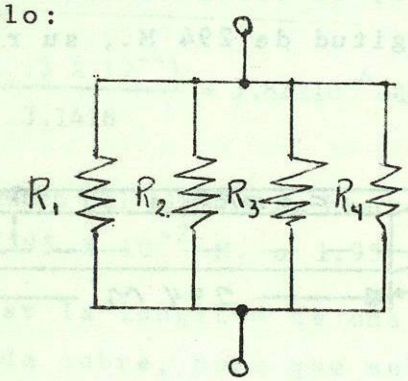
Soluciones: (a) Como las resistencias - están en serie, se aplicará la ecua---

ción 2-12-2:

$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$, y sustituyendo:

$$R_{eq} = 10 + 60 + 100 + 40 = 210\ \Omega$$

(b) Al conectarse las cuatro resistencias en paralelo:



usaremos la ecuación 2-12-3:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$ y sustituyendo:

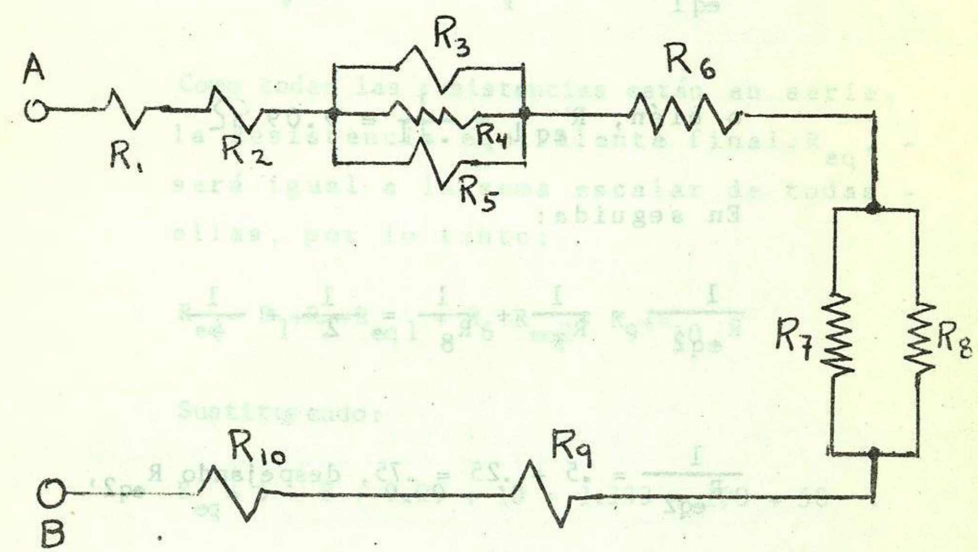
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{60} + \frac{1}{100} + \frac{1}{40}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = 0.10 + .0166 + .010 + .025$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = .1516,$$ despejando R_{eq};

$$R_{eq} = \frac{1}{.1516} = 6.596\ \Omega$$

7.- Simplificar el siguiente circuito de resistencias en serie-paralelo:



$R_1 = 5\,\Omega$, $R_2 = 8\,\Omega$, $R_3 = 20\,\Omega$, $R_4 = 50\,\Omega$, $R_5 = 25\,\Omega$

$R_6 = 10\,\Omega$, $R_7 = 2\,\Omega$, $R_8 = 4\,\Omega$, $R_9 = 100\,\Omega$, y --

$R_{10} = 50\ \Omega$

Solución.- Primero se calculan las resistencias equivalentes de los circuitos de resistencias en paralelo:

$$\frac{1}{R_{eq\,1}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{20} + \frac{1}{50} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{R_{eq\,1}} = .05 + .02 + .04 = .11$$

o bién, $R_{eq\,1} = \frac{1}{.11} = 9.09\ \Omega$

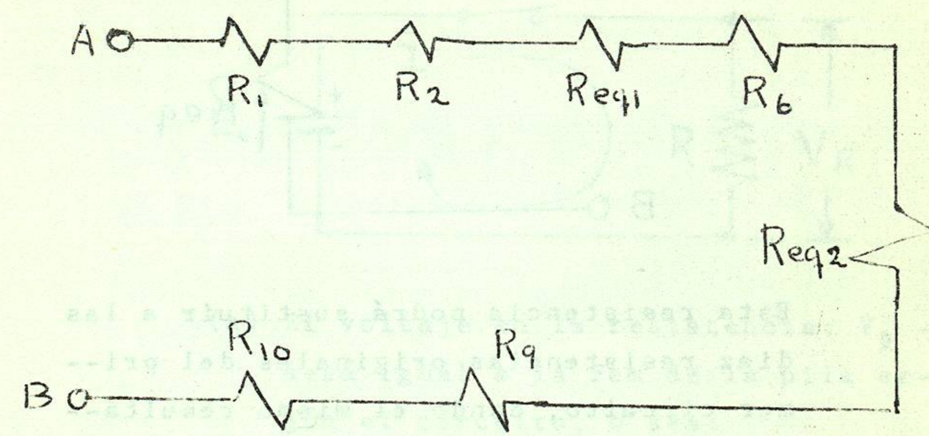
En seguida:

$$\frac{1}{R_{eq2}} = \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4}$$

$\frac{1}{R_{eq2}} = .5 + .25 = .75$, despejando R_{eq2},

$$R_{eq2} = \frac{1}{.75} = 1.333\ \Omega$$

El circuito original se simplificará así:



Como todas las resistencias están en serie, la Resistencia equivalente final: R_{eq}, - será igual a la suma escalar de todas - ellas, por lo tanto:

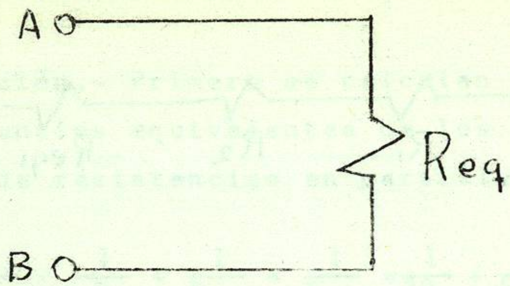
$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_{eq\,1} + R_6 + R_{eq2} + R_9 + R_{10}$,

Sustituyendo:

$$R_{eq} = 5 + 8 + 9.09 + 10 + 1.333 + 100 + 50$$

$$R_{eq} = 183.423\ \Omega$$

El circuito anterior se podrá representar ahora:



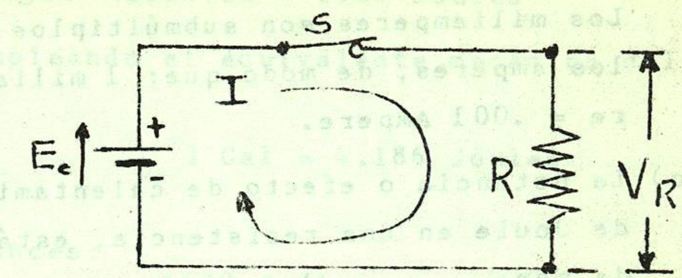
Esta resistencia podrá sustituir a las diez resistencias originales del primer circuito, dando el mismo resultado.

8.- Una resistencia de 20 ohms se conecta a una pila seca de 1.5 Volts constituyendo un circuito simple.

Calcular (a) El voltaje en la resistencia, (b) la corriente que circula por la resistencia (c) la potencia de la resistencia (d) la energía calorífica transmitida por la resistencia durante 4 horas.

Solución.- Como se trata de un circuito simple, no se considerará la resistencia interna r, de la pila, o sea, -

el circuito será:



(a) El voltaje en la resistencia: V_R - será igual a la Fem de la pila según el circuito, o sea:

$$V_R = E_o = 1.5 \text{ Volts}$$

(b) Para calcular la corriente que pasa por la batería, usaremos la --- ecuación de ohm: V = I R, y despejando: I, y sustituyendo:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.5}{20} = .075 \text{ Amperes},$$

o también I = 75 miliamperes

Recuerda que en el sistema M.K.S. - la unidad de corriente eléctrica --

son los Amperes.

Los miliamperes son submúltiplos de los amperes, de modo que: 1 miliampere = .001 Ampere.

(c) La potencia o efecto de calentamiento de Joule en una resistencia, está dada por:

$P = I^2 R$ o bién, $P = \frac{V^2}{R}$, se puede usar cualquiera de las dos fórmulas, pués tenemos los datos necesarios, dando el mismo resultado.

Pués bién, se usará la primera y sustituyendo:

$$P = (.075)^2 (20) = .1125 \text{ Watts}$$

Recuerda que la corriente debe estar expresada en Amperes.

(d) Como la potencia en general está dada por: $P = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{Energía Mecánica}}{\text{Tiempo}}$, entonces despejamos Energía Mecánica:

Energía Mecánica = P tiempo, el tiempo debe estar en segundo, sustituyendo:

$$\text{Energía mecánica} = Pt = .1125 \times 4 \times 3600$$

$$\text{Energía mecánica} = 1620 \text{ Joules}$$

y empleando el equivalente mecánico del calor:

$$1 \text{ Cal} = 4.186 \text{ Joules}$$

entonces:

$$\frac{1620 \text{ Joules}}{4.186 \frac{\text{Joules}}{\text{Cal}}} = 387 \text{ Cal}$$

Por lo tanto, la Energía Mecánica transformada a energía calorífica en la resistencia será igual a: 387 calorías.

9.-Una batería seca y usada cuya Fem es de 6 Volts, hace circular por una resistencia externa de 11 ohms, una corriente de 0.5 Amperes. Determinar el valor de su resistencia interna así como la potencia total gastada por la batería.

Soluciones.- Datos: $E_o = 6$ Volts, $R = 11\Omega$, $I = 0.5$ Amp. usando la ecuación 2-14-3: $-Ir + E_o = V_R$, y despejando r: $-Ir = V_R - E_o$, $Ir = E_o - V_R$, $r = \frac{E_o - V_R}{I}$, pero $V_R = IR$, en