

$$F_{12} = \frac{k q_1 q_2}{r_1^2} \quad \text{y} \quad F_{32} = \frac{k q_2 q_3}{r_2^2}$$

Como las dos fuerzas apuntan a la izquierda, la fuerza resultante será igual a la suma:

$$F_R = F_{12} + F_{32} = \frac{k q_1 q_2}{r_1^2} + \frac{k q_2 q_3}{r_2^2}$$

Sacando como factor común a  $k$  y  $q_2$ :

$$F_R = k q_2 \left( \frac{q_1}{r_1^2} + \frac{q_3}{r_2^2} \right), \text{ y sustituyendo:}$$

$$F_R = 9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-3} \left( \frac{4 \times 10^{-3}}{(.03)^2} + \frac{8 \times 10^{-4}}{(.06)^2} \right)$$

$$F_R = 45 \times 10^6 \left( \frac{4 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-4}} + \frac{8 \times 10^{-4}}{36 \times 10^{-4}} \right)$$

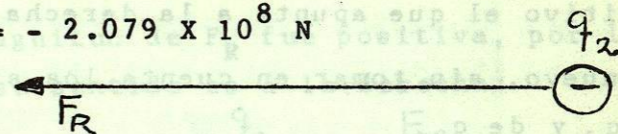
$$F_R = 45 \times 10^6 (.44 \times 10^1 + .22 \times 10^0)$$

$$F_R = 45 \times 10^6 \times 4.62 = 207.9 \times 10^6$$

$$F_R = 2.079 \times 10^8 \text{ N (Magnitud)}$$

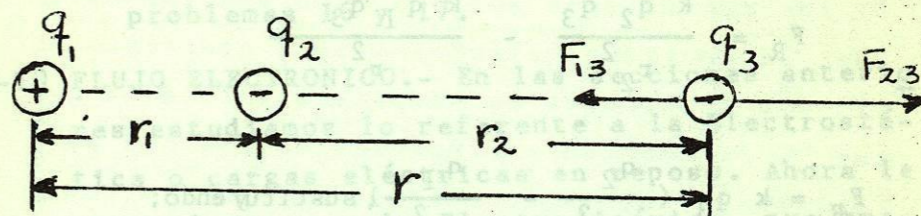
La dirección y sentido de la fuerza resultante será a la izquierda ( $F_R$  será negativa por esta razón):

$$F_R = - 2.079 \times 10^8 \text{ N}$$



17.- ¿Qué fuerza actuaría sobre la carga 3 -- del problema anterior?

Solución.- Ahora, la carga problema es  $q_3$ , y el diagrama vectorial de fuerzas es el siguiente:



$F_{13}$  apuntará a la izquierda, pues como  $q_1$  es positiva trata de atraer a  $q_3$  que es negativa, mientras que  $F_{23}$  apunta a la derecha porque  $q_2$  es negativa y trata de alejar a  $q_3$ .



Entonces la fuerza resultante será:

$F_R = F_{23} - F_{13}$ , recuerda que todo vector que apunta a la izquierda es negativo y positivo el que apunta a la derecha.

De nuevo, sin tomar en cuenta los signos de  $q_1$  y de  $q_2$ :

$$F_{23} = \frac{k q_2 q_3}{r_2^2} \quad \text{y} \quad F_{13} = \frac{k q_1 q_3}{r^2}$$

y sustituyendo en la ecuación de la fuerza resultante:

$$F_R = \frac{k q_2 q_3}{r_2^2} - \frac{k q_1 q_3}{r^2}$$

$$F_R = k q_3 \left( \frac{q_2}{r_2^2} - \frac{q_1}{r^2} \right), \text{ sustituyendo;}$$

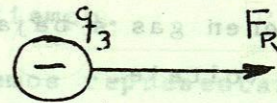
$$F_R = 9 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-4} \left( \frac{5 \times 10^{-3}}{(.06)^2} - \frac{4 \times 10^{-3}}{(.03 + .06)^2} \right)$$

$$F_R = 72 \times 10^5 \left( \frac{5 \times 10^{-3}}{36 \times 10^{-4}} - \frac{4 \times 10^{-3}}{81 \times 10^{-4}} \right)$$

$$F_R = 72 \times 10^5 (.138 \times 10^1 - .049 \times 10^1)$$

$$F_R = 72 \times 10^5 \times .089 \times 10^1 = 6.4 \times 10^6 \text{ N}$$

La magnitud de  $F_R$  fué positiva, por lo -- que su sentido es a la derecha:



Y, si te pidieran la fuerza resultante sobre la carga 1 del problema 16, ¿la encontrarás?. Inténtalo, siguiendo el razona-- miento aplicado en la solución de los --- problemas 16 y 17.

2-10 FLUJO ELECTRONICO.- En las secciones anteriores estudiamos lo referente a la Electrostática o cargas eléctricas en reposo. Ahora le toca el turno a la Electrodinámica, que trata sobre las cargas eléctricas en movimiento.

Comenzaremos por dar el concepto de corriente eléctrica en su sentido más amplio, diciendo: Es el movimiento de los portadores de carga eléctrica.



Decimos en su sentido más amplio, porque los portadores de carga pueden ser: electrones, protones, iones positivos o iones negativos. Todos los portadores de carga mencionados, forman la corriente eléctrica dentro de tubos que contienen gas a baja presión, sometidos a un alto voltaje.

En el caso de soluciones electrolíticas, los iones positivos o cationes y los iones negativos o aniones, integran la corriente eléctrica, así como en las sales fundidas.

En los conductores sólidos como son los metales, la corriente eléctrica está constituida por electrones en movimiento, de aquí que, a la corriente eléctrica en sólidos se le llame: Flujo Electrónico, de acuerdo con la teoría electrónica.

Nuestro estudio versará precisamente sobre el flujo electrónico a través de conductores sólidos, como son: alambres y cables.

Hay dos tipos de corriente eléctrica: La corriente directa y la corriente alterna.

La corriente directa consiste en; el movi-

miento de portadores de carga en un solo sentido.

La corriente alterna consiste en: el movimiento de portadores de carga en un sentido y en otro, es decir, que el sentido cambia con respecto al tiempo.

Graficamente podemos representar los dos conceptos anteriores de la siguiente manera:

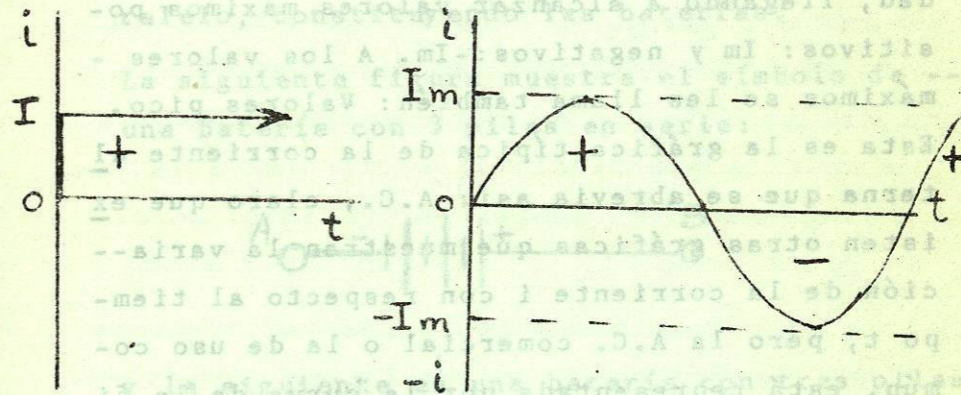


Fig. 2-10-1

Fig. 2-10-2

En las figuras; 2-10-1 y 2-10-2, en el eje Y se ha colocado la  $i$  que representa a la corriente instantánea y en el eje X al tiempo  $t$ .

Se puede apreciar en la figura 2-10-1, que  $i$  adquiere un solo valor;  $I$ , el cual no cam-



bia de valor y polaridad a través del tiempo, viajando en un solo sentido como lo indica la flecha. Esta es la gráfica característica de la corriente directa, la cual se abrevia así: C.D.

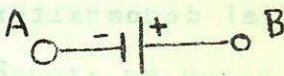
En la gráfica de la figura 2-10-2, se puede apreciar que la corriente  $i$  está cambiando continuamente de valor y de signo o polaridad, llegando a alcanzar valores máximos positivos:  $I_m$  y negativos:  $-I_m$ . A los valores máximos se les llama también: Valores pico. Esta es la gráfica típica de la corriente alterna que se abrevia así: A.C., claro que existen otras gráficas que muestran la variación de la corriente  $i$  con respecto al tiempo  $t$ , pero la A.C. comercial o la de uso común, está representada por la curva de la figura 2-10-2.

Las unidades de la corriente en el sistema M.K.S. son los amperes, ya sea C.D. o A.C.

Las fuentes o manantiales de la corriente directa son: Las pilas secas, las baterías secas, los acumuladores, los generadores y los alternadores con rectificador.

A las pilas secas y baterías secas se les llama también: Pilas y baterías primarias, respectivamente.

A los acumuladores que están constituidos por una o más pilas húmedas se les llama: Pilas secundarias.

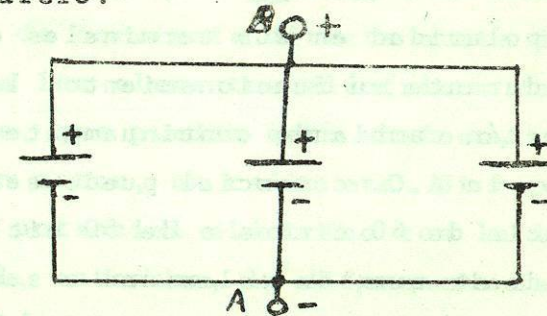
El símbolo de una pila es: 

Las pilas pueden conectarse en serie o en paralelo, constituyendo las baterías.

La siguiente figura muestra el símbolo de una batería con 3 pilas en serie:



y la siguiente es una batería con tres pilas en paralelo:




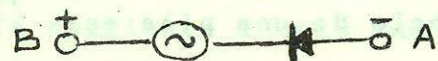
Los símbolos anteriores pueden representar a




las pilas y baterías secas, y húmedas.

Los extremos A y B de cada símbolo, son las conexiones también llamadas: contactos, terminales o bornes.

El símbolo de un generador es:  y el de un alternador con rectificador es: ---



Otro nombre muy común que reciben las terminales de; una pila, batería, generador o alternador con rectificador, es el de: Polos, y así se habla de un polo positivo como B y de un polo negativo como A, por eso a la corriente directa también se le llama: corriente polarizada.

La corriente alterna se obtiene de Máquinas electromecánicas llamadas: Alternadores, cuyo símbolo es: , los cuales no tienen polaridad en sus terminales o bornes, porque durante su funcionamiento, las polaridades están cambiando continuamente. Por ejemplo, la A.C. comercial puede ser de una frecuencia de 60 ciclos o de 50 ciclos, esto quiere decir que, la polaridad o sentido de la corriente cambia 60 veces cada segundo o

50 veces cada segundo. La obtención de corriente directa a partir de estos alternadores, se logra conectándoles uno o más dispositivos llamados: Rectificadores.

El estudio del flujo electrónico se reducirá exclusivamente a la corriente directa.

2-11 FUERZA ELECTROMOTRIZ Y DIFERENCIA DE POTENCIAL.- Se dijo que las fuentes de corriente directa, sean pilas o baterías, cuentan con dos bornes o polos, uno positivo y el otro negativo, pues bien, se ha establecido que el borne positivo está a un potencial eléctrico superior al potencial eléctrico del borne negativo.

Quando la pila o la batería están en uso, entre sus bornes existe una diferencia de potencial eléctrico, gracias a la cual, la fuente de corriente directa surte de electricidad a los elementos eléctricos conectados a ellos, que pueden ser: un foco, una plancha, un motor, un radio etc. Si representamos al potencial eléctrico con la letra V en general, entonces, la diferencia de potencial eléctrica se puede expresar así:  $V_b - V_a$  o

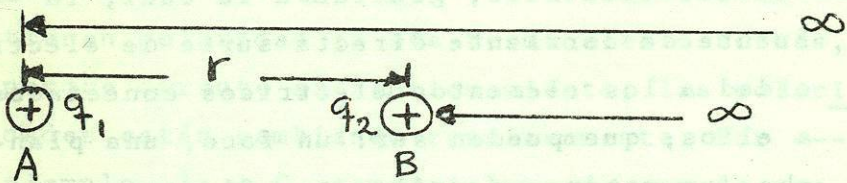


o bien  $V_a - V_b$ , indicando a y b, a los bornes - positivo o negativo.

La fuerza electromotriz, es el nombre especial que se le dá a la diferencia de potencial eléctrico de una pila o batería, cuando no está en operación o en funcionamiento. La fuerza electromotriz la representaremos así: Fem y  $E_o$ .

Las unidades del potencial eléctrico, de la diferencia de potencial eléctrico o de la -- Fem, son los Voltios o Volts, en el sistema M.K.S.

El potencial eléctrico se define como: La -- energía gastada para traer una carga unidad positiva desde el infinito hasta un punto de terminado del espacio. Por ejemplo;



La carga  $q_1$  está a un potencial eléctrico --  $V_A$  y la carga  $q_2$  está a otro potencial eléctrico  $V_B$ . Las dos cargas fueron traídas des-

de el infinito:  $\infty$

Entre las cargas  $q_1$  y  $q_2$ , existe una diferencia de potencial eléctrico dada por:  $V_A - V_B$ . Naturalmente que  $V_A - V_B$  se hará más pequeña -- a medida que la distancia  $r$  que las separa, se hace cada vez menor de modo que:  $V_A - V_B = 0$ , cuando  $q_1$  y  $q_2$ , coinciden o se empalmen.

La energía gastada en cada carga para traerla desde el infinito hasta el punto A o B, -- se puede expresar en términos del trabajo mecánico empleado para traerlas, dividido entre el valor de la carga, o sea:

$$V = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Carga}} = \frac{\text{Energía}}{\text{Unidad de Carga}}$$

Si operamos en el sistema M.K.S., las unidades del trabajo mecánico serán los joules y de la carga serán los Coulombs, de modo que las unidades del potencial eléctrico en dicho sistema serán:  $\frac{\text{Joules}}{\text{Coul}}$ , estableciéndose que:

$$1 \frac{\text{Joule}}{\text{Coul}} = 1 \text{ Volt}$$

La Fem de una batería construída con pilas -- en serie, es igual a la suma de las Fem de --



cada una de las pilas, o sea:  
 $Fem = (Fem)_1 + (Fem)_2 + (Fem)_3 + \dots$  2-11-1

La siguiente figura muestra una batería con dos pilas en serie y sus Fem:

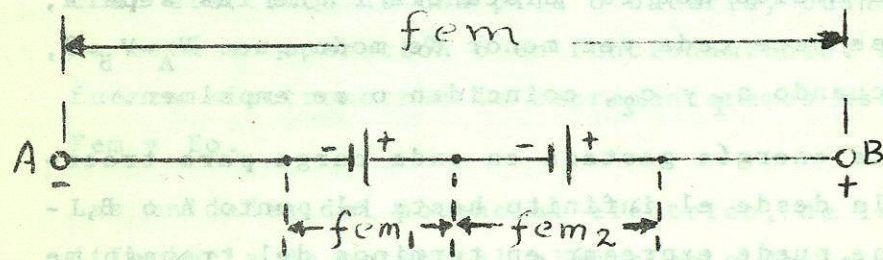


Fig. 2-11-1

Quando se conectan 2 o más pilas en paralelo, deberán de ser de la misma Fem, de tal manera que la Fem de la batería resultante será la misma que la Fem de cualesquiera de las pilas:

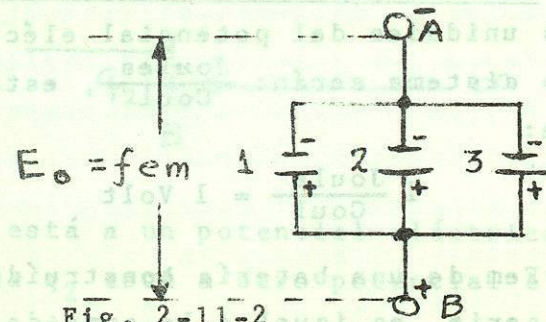


Fig. 2-11-2

En ésta figura:  $Fem = (Fem)_1 = (Fem)_2 = (Fem)_3$ , siendo la Fem, la fuerza electromotriz de la batería con sus pilas en paralelo.

Al conectar las pilas en serie es con el fin de obtener mayor Voltaje de salida o mayor Fem.

Al conectar las pilas en serie es con el fin de aumentar o contar con suficiente suministro de electricidad o energía eléctrica.

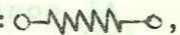

Recuerda que la Fem o  $E_0$ , es el Voltaje de una pila o de una batería, sin operar o sin trabajar., y que la diferencia de potencial:  $V_B - V_A$  representa la diferencia de potencial o Voltaje entre los bornes de la pila o de la batería en operación.

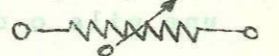

2-12 RESISTENCIA ELECTRICA.- Todos los materiales presentan cierta oposición al paso de la corriente eléctrica, unos más que otros, pero no existe un material que a condiciones ordinarias permita el paso libre a la electricidad. Sin embargo, a muy bajas temperaturas se ha observado este fenómeno: El mercurio - abajo de  $4^\circ K$ , permite el paso libre de la corriente eléctrica, por lo que se dice que



actúa como un superconductor.

La resistencia eléctrica es una propiedad general de la materia, que se define así: Es la oposición al paso de la corriente eléctrica.

La resistencia eléctrica se representa con la letra R y su símbolo general es: , aunque también se usa éste otro: .

Cualesquiera de los dos símbolos representa a una resistencia fija, es decir, cuyo valor no cambia. Este otro símbolo:  o éste otro: , representan a una resistencia variable, es decir, una resistencia cuyo valor puede cambiarse, según las necesidades.

Las unidades de la resistencia eléctrica en el sistema M.K.S., es el ohm, representándose con la letra griega omega:  $\Omega$ .

La resistencia específica llamada: Resistividad, se representa con la letra griega  $\rho$ , siendo sus unidades: ohm-metro. Esta resistencia varía su valor con la temperatura, de una manera apreciable, es decir, que la tem-

peratura influye notablemente en su valor, de ahí la necesidad de mencionar la temperatura en que se hace la medición de una resistencia. Por lo general, la resistividad aumenta con la temperatura, por lo que, también aumentará la resistencia.

En esta unidad no trataremos el caso del cambio de la resistencia con la temperatura.

La siguiente tabla, muestra los valores de la resistividad eléctrica  $\rho$ , de diferentes materiales a 20°C.

T A B L A 2-12-1

MATERIAL	RESISTIVIDAD: $\rho$ ohm - metro
Aluminio .....	$2.8 \times 10^{-8}$
Cobre .....	$1.7 \times 10^{-8}$
Hierro .....	$1.0 \times 10^{-7}$
Manganina .....	$4.4 \times 10^{-7}$
Niquel .....	$7.8 \times 10^{-8}$
Plata .....	$1.6 \times 10^{-8}$
Acero .....	$1.8 \times 10^{-7}$
Tungsteno .....	$5.6 \times 10^{-8}$

La resistencia eléctrica de un conductor ---



eléctrico depende de: su longitud, de su resistividad y de su área de flujo eléctrico, o sea;

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots 2-12-1$$

En el sistema M.K.S., R estará expresada en ohms,  $l$  en metros y A en metros cuadrados.

Las resistencias pueden conectarse en serie o en paralelo, como las pilas.

a) Resistencias en serie: Se colocan una --- tras otra, según la siguiente figura:

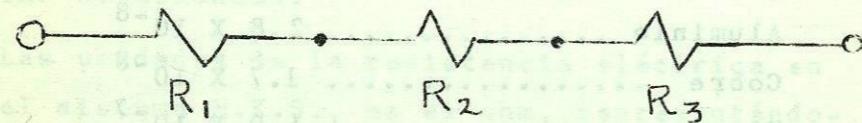


Fig. 2-12-1

Las tres resistencias pueden ser substituidas por una sola, llamada: Resistencia equivalente. Esta resistencia equivalente debe trabajar igual que las tres resisten

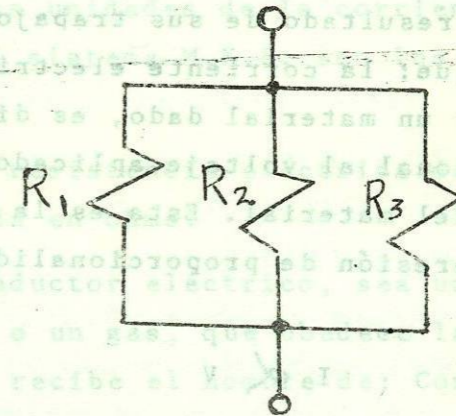
cias que substituye.

La resistencia equivalente en serie está dada por la ecuación:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots\dots 2-12-2$$

Esta es una suma escalar.

b) Resistencias en Paralelo: Se colocan ---- igual que las pilas en paralelo, según la siguiente figura:



La ecuación para encontrar el valor de la resistencia equivalente de dos o más resistencias en paralelo es:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots\dots 2-12-3$$