CAMPO ELÉCTRICO: ELECTROESTÁTICA

Cargas eléctricas en reposo

Ejemplo doméstico: Frotamos barra de plástico con piel y barra de vidrio con seda

Barras de vidrio se repelen entre sí. Ocurre lo mismo con las barras de plástico. Sin embargo las barras de plástico y vidrio se atraen entre sí. Cosas similares pasan con otros materiales

B. Franklin: Todo objeto posee una cantidad "normal" de electricidad que puede transferirse de un objeto a otro cuando se ponen en contacto. Esto deja a un objeto con exceso de carga y al otro con una deficiencia de carga en la misma cantidad

Según Franklin: vidrio (+) seda (−) piel (+) plástico (−)

Cargas del mismo signo se repelen mientras que de distinto signo se atraen

Materia constituida por átomos eléctricamente neutros. Pequeño (pesado) núcleo que contiene protones y neutrones. Protones son positivos. Número atómico Z: número de protones
Mismo número de electrones (carga negativa)

$$m_e = \frac{m_p}{2000} \quad , \quad |q_e| = |q_p|$$

$q_e = -e$

$q_p = +e$ $\qquad e \equiv$ unidad fundamental de carga

$$Q = \pm Ne \qquad N \equiv \text{número entero}$$

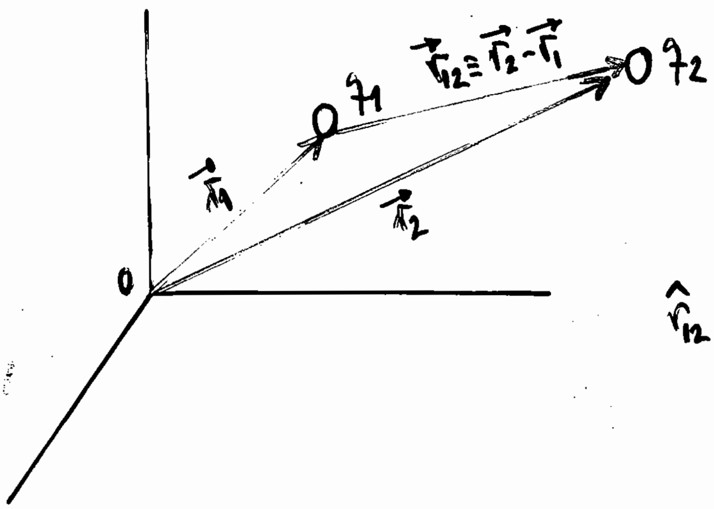
Carga de cualquier cuerpo está cuantizada. Generalmente, N es muy grande: distribución continua de carga

SI: coulomb (C): cantidad de carga que fluye a través de un cable en 1 seg cuando la corriente es de 1 ampere

$$e = 1{,}062177 \times 10^{-19}\ C$$

Ley de Coulomb (1875)

Fuerza ejercida por una carga sobre otra. Después de varios experimentos, dicha fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y directamente proporcional al producto de las cargas. Fuerza es repulsiva (atractiva) si las cargas son del mismo (distinto) signo



$$\boxed{\vec{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\, \hat{r}_{12}}$$

$\hat{r}_{12} = \dfrac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|} \equiv$ vector unitario que apunta desde q_1 a q_2

$K \equiv$ constante de Coulomb $= 8{,}99 \times 10^9 \ N m^2/C^2$

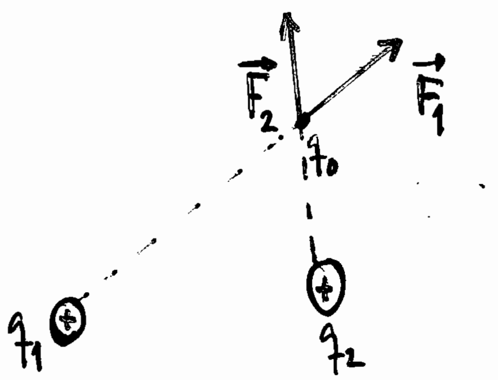
Fuerza ejercida por distribución discreta de cargas: Fuerza resultante sobre la carga debida a las fuerzas que ejercen las otras cargas

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i = \sum_{i=1}^{N} K \frac{q q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

CAMPO ELÉCTRICO

Problema conceptual de "acción a distancia". Evitar concepto de interacción a distancia sin ningún intermediario
Se introduce concepto de campo eléctrico $\vec{E}$

Idea: carga produce $\vec{E}$ en cualquier punto del espacio y este campo ejerce fuerza sobre otra carga. El campo $\vec{E}$ se propaga a través del espacio a la velocidad de la luz c



Las cargas q_1 y q_2 producen $\vec{E}$ en cualquier pto. ¿Cómo medir $\vec{E}$?
Colocar carga testigo q_0 (carga pequeña positiva) en el punto y medir fuerza

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Moviendo q_0 podemos determinar $\vec{E}$ en cualquier punto del espacio (excepto punto ocupado por la carga que crea el campo)

$$\vec{F}_i = \frac{k q_i q_0}{r_i^2} \hat{r}_i$$

$$\vec{E}_i = \frac{k q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \longrightarrow \boxed{\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i = \sum_i \frac{k q_i}{r_i^2} \hat{r}_i}$$

Líneas de campo

Muestran la dirección de la fuerza sobre la partícula test de carga positiva

"Densidad" de líneas : información sobre la intensidad de $\vec{E}$

A medida que nos alejamos de la carga, $\vec{E}$ se vuelve más débil : menor densidad de líneas

$$\frac{N}{4\pi r^2} = \text{Número de líneas por unidad de área}$$

Si r aumenta, densidad de líneas disminuye como r^{-2}

Potencial eléctrico

Fuerza electrostática es conservativa, por lo que hay función de energía potencial U asociada a ella

$$dU = -\vec{F}\cdot\vec{dl} \qquad \vec{dl} \equiv \text{desplazamiento}$$

$$\vec{F} = q_0\vec{E}$$

Si movemos q_0 un $\vec{dl}$: $dU = -q_0\vec{E}\cdot\vec{dl}$

energía potencial electrostática

Diferencia de potencial

$$dV = \frac{dU}{q_0} = -\vec{E}\cdot\vec{dl}$$

$$\Delta V = V_b - V_a$$

$$= \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_a^b \vec{E}\cdot\vec{dl}$$

ΔV : trabajo realizado contra campo eléctrico $\vec{E}$ para mover carga q_0 desde a hasta b

$V(\vec{r}) \equiv$ potencial eléctrico

SI : voltio (V) $\qquad 1\,V = 1\,J/C$

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2}\,\hat{r}$$

Desplazamiento radial infinitesimal $\vec{dl} = dr\,\hat{r}$

$$dV = -\vec{E}\cdot\vec{dl} = -\frac{kq}{r^2}\,\hat{r}\cdot\hat{r}\,dr$$

$$= -\frac{kq}{r^2}\,dr$$

Integrando

$$V(r) = +\frac{kq}{r} + V_0$$ → constante de integración

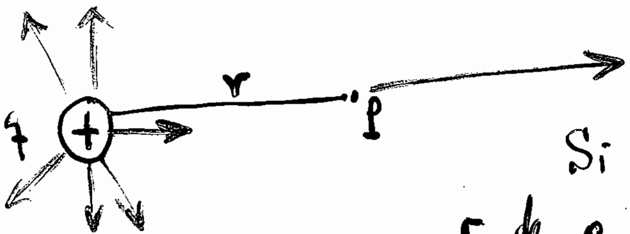
Si $V(r=\infty) = 0 \rightarrow V_0 = 0$

$$\boxed{\begin{array}{l} V(r) = \dfrac{kq}{r} \\ V(\infty) = 0 \end{array}}$$ Potencial de Coulomb

$V > 0$ si $q > 0$

$V < 0$ si $q < 0$

Energía potencial: $U = q_0 V = k\,\frac{q_0 q}{r}$



Si abandonamos q_0 a una distancia r de q: partícula será acelerada.

$E_{cinética} = kq_0q/r$ o bien, este es el trabajo contra $\vec{E}$ para llevar q_0 desde ∞ hasta r

Potencial eléctrico creado por cargas puntuales q_i

$$V = \sum_i \frac{k q_i}{r_i}$$

CONDENSADOR. CAPACIDAD

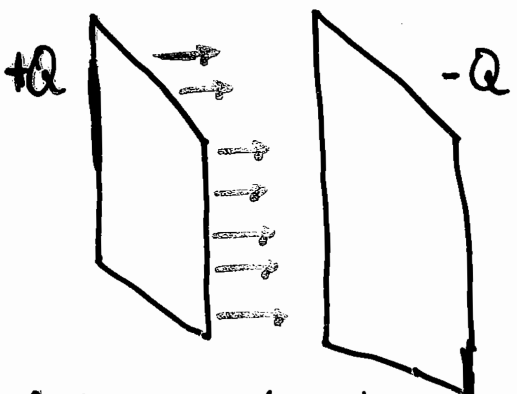
El potencial de un conductor simple aislado portador de carga Q es proporcional a Q y depende de su forma y tamaño

Capacidad $\quad C = \dfrac{Q}{V}$

Esta magnitud mide la "capacidad" de almacenar carga a una determinada diferencial de potencial

SI: 1 Faraday = 1 C/V

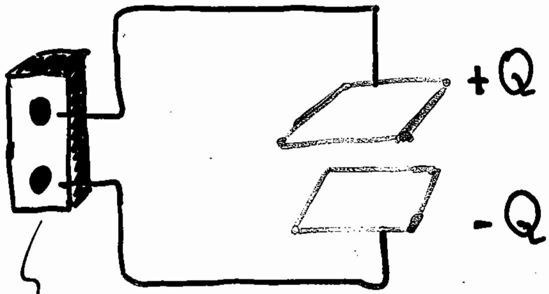
Condensador: sistema de dos conductores portando igual carga pero de signos opuestos



Condensador de placas paralelas

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

V = Diferencia de potencial entre los conductores



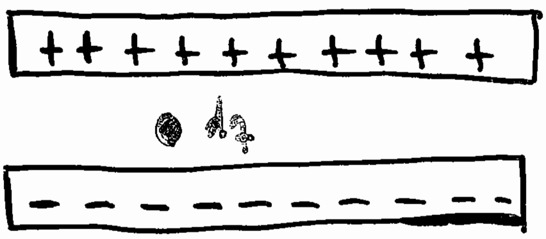
Batería: dispositivo que almacena y suministra energía eléctrica y mantiene constante su diferencia de potencial entre sus terminales

Condensador se conecta a batería: Transferencia de carga de un conductor a otro hasta que su dif. potencial entre los dos conductores iguala la dif. potencial entre terminales de batería

Cantidad de energía transferida $Q = CV$

Almacenamiento de la energía eléctrica

Al cargar condensador: transferencia de carga positiva desde conductor cargado negativamente al cargado positivamente



Se debe hacer trabajo: parte del mismo puede almacenarse como energía potencial electrostática

Sea q carga transferida durante proceso de carga al cabo de cierto tiempo

$$V = q/C$$

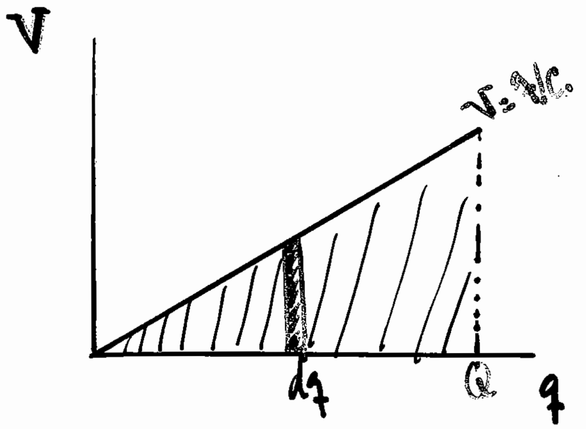
Si se transfiere dq a potencial V, la energía potencial de la carga aumenta

$$dU = V\,dq = \frac{q}{C}\,dq$$

Incremento total de energía potencial

$$U = \int dU = \int_0^Q \frac{q}{C}\,dq = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2$$

Es la energía almacenada en el condensador



Trabajo realizado por batería para cargar condensador es

$$W = U = QV$$

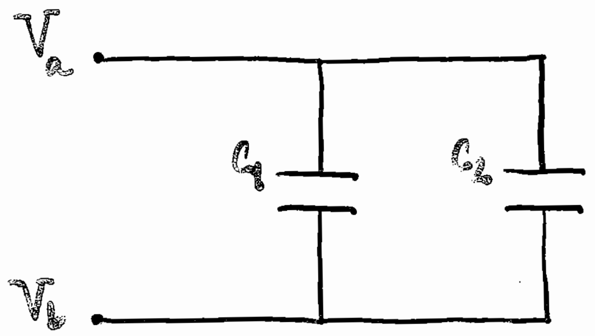
Trabajo necesario para cargar condensador

$$W = \int_0^Q V\,dq = \frac{1}{2}Q\,\frac{Q}{C}$$

Combinación de condensadores

a) En paralelo

Conectados a la misma diferencia de potencial



Puntos (a, b) conectados a batería que mantiene constante la diferencia de potencial. Sean (Q_1, Q_2) las cargas almacenadas en las placas del condensador

$$V \equiv V_a - V_b$$

$$Q_1 = C_1 V$$

$$Q_2 = C_2 V$$

$\Longrightarrow$ carga total almacenada

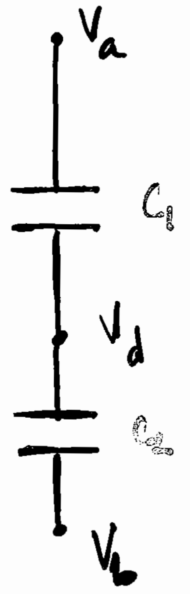
$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)\, V$$

El papel que juegan ambos condensadores se puede sustituir por uno cuya capacidad equivalente C sea tal que se almacene la misma carga a la misma diferencia de potencial

$$C = \frac{Q}{V} = C_1 + C_2 \quad , \qquad \boxed{C = \sum_{i=1}^{n} C_i}$$

b) En serie

Almacenan idéntica carga pero conectados a distinta diferencia de potencial



$$V \equiv V_a - V_b$$

$$V_1 \equiv V_a - V_d = \frac{Q}{C_1}$$

$$V_2 \equiv V_d - V_b = \frac{Q}{C_2}$$

$$V = V_1 + V_2 \equiv V_a - V_b$$

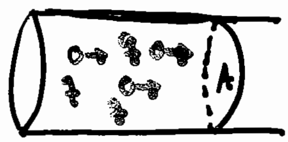
$$= \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$$

Capacidad equivalente

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow V = \frac{Q}{C} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\boxed{\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i}}$$

CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITOS ELÉCTRICOS



Filamento de material conductor. Se aplica diferencia de potencial entre sus extremos con lo que circula por él una corriente eléctrica

corriente eléctrica: flujo de carga eléctrica que atraviesa área transversal A

Intensidad $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ SI: Amperio (A)

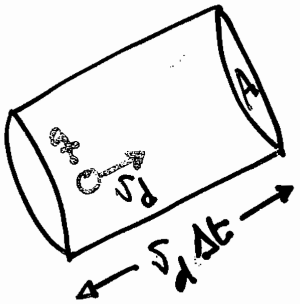
$1A = 1C/seg$

Por convención, dirección de corriente es la dirección de flujo de carga positiva. Sin embargo, electrones (e^-) son los que se mueven en el hilo conductor de ahí que se muevan en dirección opuesta a dirección de corriente

Movimiento complejo de los e^-. Si $\vec{E}=0$, e^- libres se mueven aleatoriamente ($v \sim 10^6 m/s$) de modo que su velocidad media es nula.

Si $\vec{E} \neq 0$, $-\frac{e\vec{E}}{m}$ es la aceleración que adquieren. Velocidad adicional opuesta al campo. Colisionan con iones (pesados), disipan energía y son acelerados por el campo eléctrico

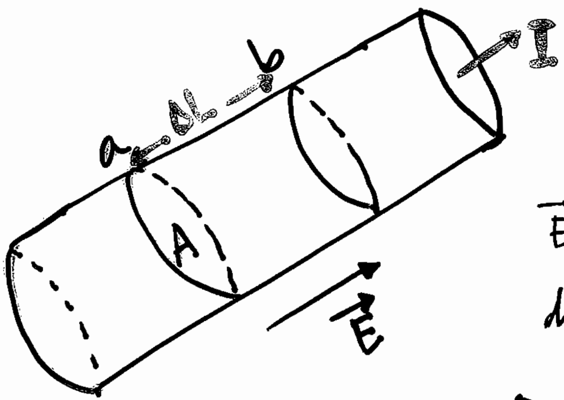
$n \equiv$ número de partículas libres portadoras de carga por unidad de volumen (densidad numérica)



$$\Delta Q = \underbrace{n v_d \Delta t A}_{\text{volumen}} q$$

$$\boxed{I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = q n A v_d}$$

Ley de Ohm



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$\vec{E}$ apunta en la dirección de disminución del potencial : $V_a > V_b$

$$V \equiv V_a - V_b = E \Delta L$$

Resistencia del segmento : $R = \dfrac{V}{I}$

S.I. : 1 ohmio $\equiv 1\,\Omega = 1\,V/A$

Materiales ohmicos

$$\boxed{V = IR \;,\; R \text{ constante}}$$ Ley de Ohm

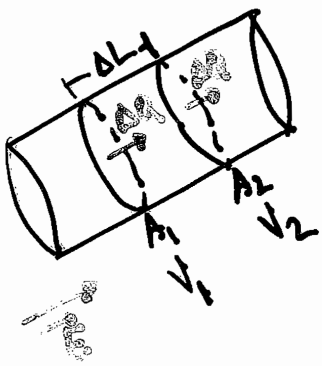
Materiales no ohmicos : $R(I)$, V no es proporcional a I

Energía en circuitos eléctricos

Modelo de "gas de electrones": Aumento de Energía cinética debido a $\vec{E}$. Este aumento se disipa en forma de energía térmica debido a colisiones con iones de la red.

Aumento en energía térmica: calor de Joule

Segmento de longitud ΔL. En Δt, cantidad de carga ΔQ entra en A_1 en V_1 y sale en A_2 con V_2



cambio en la energía potencial de la carga al pasar através de ΔL

$V_1 > V_2 \qquad V \equiv V_1 - V_2$

$$\Delta U = \Delta Q (V_2 - V_1) = -(\Delta Q) V$$ energía potencial perdida

Potencia disipada

$$-\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} V = I V$$

$$\boxed{P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}}$$

watios

Energía disipada por unidad de tiempo: energía térmica

Fuerza electromotriz. Baterías

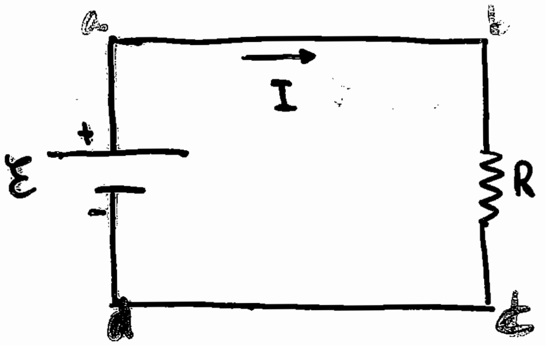
Mantener corriente "estacionaria": suministrar energía
Realizar trabajo sobre cargas para aumentar su energía potencial

Dispositivos para ello: Baterías, generadores, ...

Fuente de fuerza electromotriz (emf)

Trabajo por unidad de carga $\mathcal{E}$ (voltio)

Batería ideal: Mantiene constante la diferencia de potencial entre sus dos terminales con independencia del flujo de cargas entre ellas



$V_a > V_d$

emf mantiene constante la dif. de potencial entre a y d

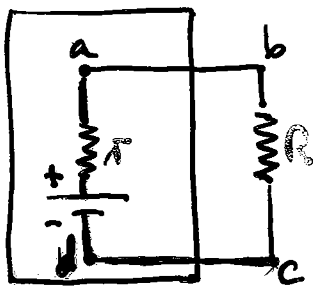
$V_b - V_a \simeq 0 \qquad V_d - V_c \simeq 0$

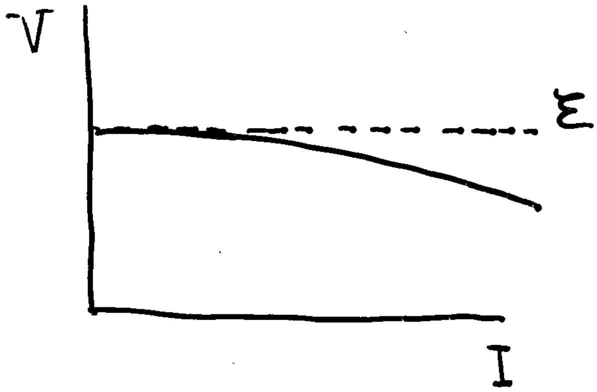
$$V_b - V_c = IR = \mathcal{E} \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Dentro de la fuente de emf, carga fluye desde región de bajo potencial a región de alto potencial. La Energía potencial de la carga es aumentada en $(\Delta Q)\,\mathcal{E}$. Después carga atraviesa resistencia donde esta energía se disipa en forma de energía térmica

$$P = \frac{\Delta Q \, \mathcal{E}}{\Delta t} = I \mathcal{E}$$

Batería real: Diferencia de potencial entre terminales no coincide con $\mathcal{E}$. Es como si hubiera una pequeña resistencia interna





$$V_a = V_d + \mathcal{E} \underbrace{- Ir}_{}$$

pequeña caída de potencial debida a r

$$V_b - V_c = IR = V_a - V_d = \mathcal{E} - Ir$$

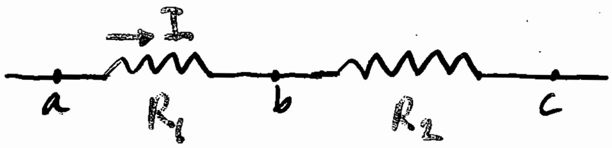
$$\boxed{I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}}$$

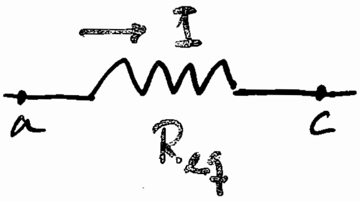
Combinación de resistencias

Simplificar análisis de circuitos. La idea es reemplazar dos o más resistencias por una equivalente que haga el mismo papel en el circuito que los originales.

a) Resistencias en serie

Misma intensidad de corriente pero distinta diferencia de potencial





$$V = V_a - V_c = V_a - V_b + V_b - V_c$$

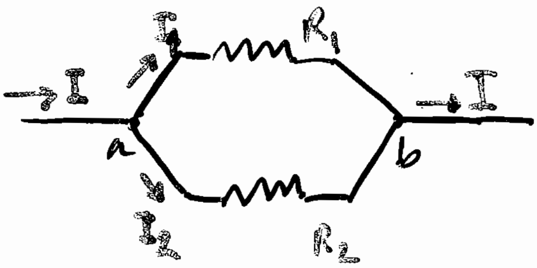
$$= IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

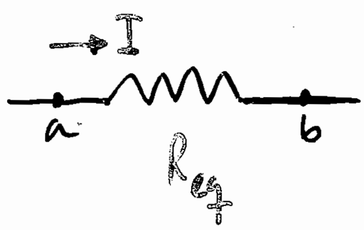
$$V = I R_{eq} = I(R_1 + R_2) \longrightarrow R_{eq} = R_1 + R_2$$

$$\boxed{R_{eq} = \sum_{i=1}^{N} R_i}$$

b) Resistencias en paralelo

Misma diferencia de potencial pero distinta intensidad de corriente





$$I = I_1 + I_2$$

$$V = V_a - V_b = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

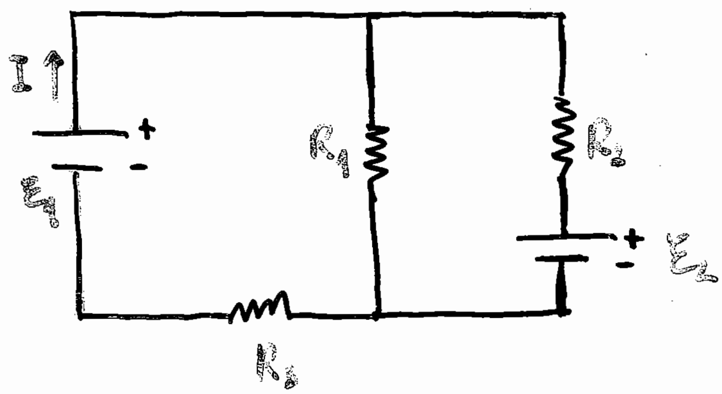
$$R_{eq} = \frac{V}{I} \Rightarrow I = \frac{V}{R_{eq}} = I_1 + I_2$$

$$= \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Longrightarrow \boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i}}$$

Reglas de Kirchhoff

Existen circuitos simples que no pueden analizarse simplemente reemplazando combinación de resistencias por una equivalente.



R_1 y R_2 no están en serie: No llevan la misma intensidad

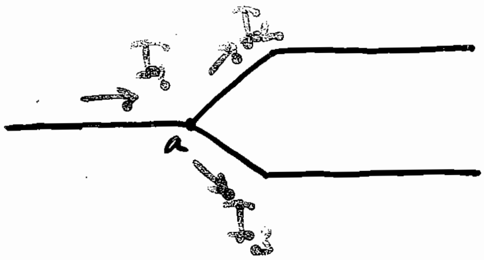
R_1 y R_2 no están en paralelo: la presencia de $\mathcal{E}_2$ hace que no tengan la misma caída de potencial

Dicho circuito no puede analizarse simplemente por resistencias equivalentes.

Reglas de Kirchhoff

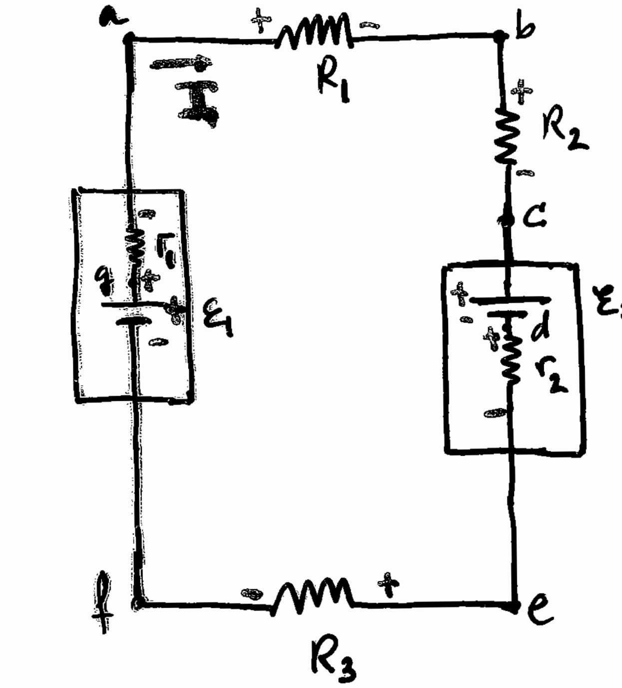
1) En cualquier punto de separación (nudo) donde la corriente se divide, la suma de las corrientes a la entrada debe ser igual a la suma de las corrientes a la salida

CONSERVACIÓN DE LA CARGA



$$I_1 = I_2 + I_3$$

2) Cuando cualquier circuito cerrado (malla) es recorrido, la suma algebraica de los cambios de potencial debe ser cero. CONSERVACIÓN DE ENERGÍA



Cambios de potencial

$a \to b$	caída	IR_1
$b \to c$	caída	IR_2
$c \to d$	caída	$\mathcal{E}_2$
$d \to e$	caída	Ir_2
$e \to f$	caída	IR_3
$f \to g$	subida	$\mathcal{E}_1$
$g \to a$	caída	Ir_1

Malla abcdefga

$\Downarrow$ 2ª regla de Kirchhoff

$$-IR_1 - IR_2 - \mathcal{E}_2 - Ir_2 - IR_3 + \mathcal{E}_1 - Ir_1 = 0$$

$$\boxed{I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2}}$$

Si $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1 \Rightarrow I < 0$, o sea, sentido de I es opuesto al supuesto

Si $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$: batería 2 se está cargando. Se almacena energía