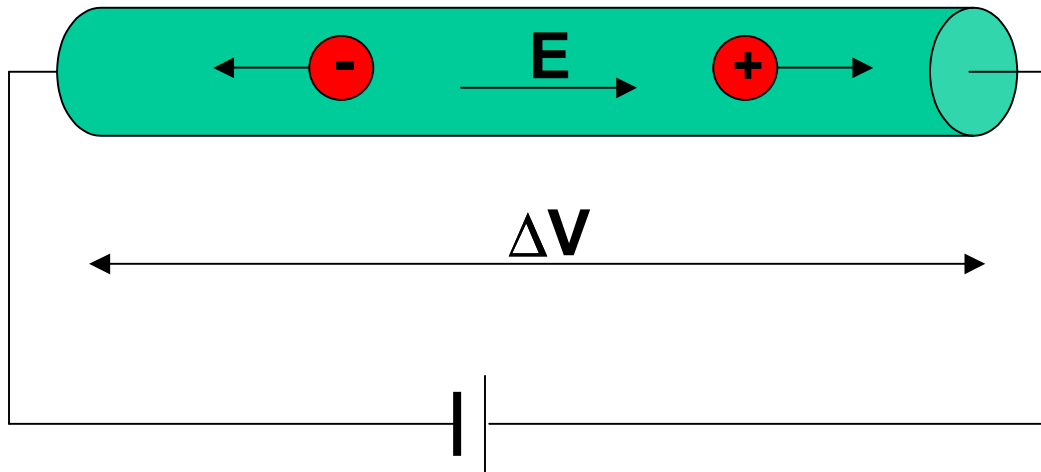


# ELECTROSTÁTICA

**Este capítulo constituye un pre-apunte (o sea, no llega a ser un apunte) cuya única función es facilitar la redacción de los apuntes en clase por parte del alumno. Contiene gráficos, formulas y explicaciones muy elementales de los contenidos que se dictan en la clase teórica a mi cargo, de forma que los participantes de la misma puedan completar en los espacios en blanco lo que consideren necesario. De ninguna manera reemplazan la bibliografía sugerida y se debe tener en cuenta que no han sido corregidos exhaustivamente**

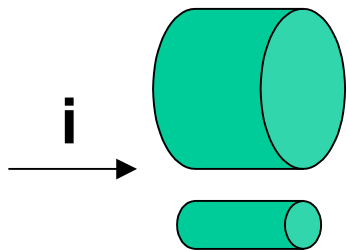
# Corriente eléctrica

Si entre extremos de un conductor aplicamos  $\Delta V \Rightarrow i$

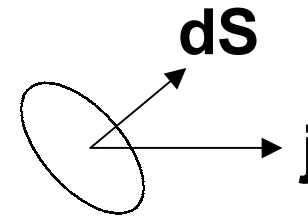


$$i = \frac{dq}{dt} \left[ \frac{C}{seg} = A (Ampere) \right]$$

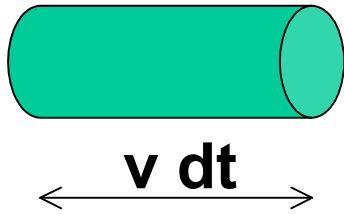
**definición: sentido de i sería el de las cargas +**



$$\vec{j} = \frac{di}{dS} \vec{i} \Rightarrow i = \iint \vec{j} \cdot d\vec{S}$$



# Como es el movimiento microscópicamente?



$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{n v dt S e}{dt} = n v S e \quad v = \frac{i}{n S e}$$

$$n = \frac{\rho}{P_A} N_A$$

suponiendo que cada átomo contribuye con un portador

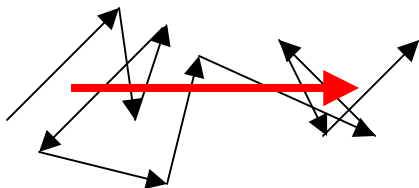
$$v = \frac{i P_A}{S e \rho N_A}$$

alambre de Cu

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ mm de diámetro} = 10^{-3} \text{ m} \\ \rho = 8,92 \text{ gcm}^{-3} = 8,92 \cdot 10^3 \text{ kgm}^{-3} \\ i = 1 \text{ A} \\ P_A = 63,54 \end{array} \right.$$

$$v = \frac{(1 \text{ A})(63,54 \cdot 10^{-3} \text{ Kgmol}^{-1})}{(\pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2)(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Coul})(8,92 \cdot 10^3 \text{ Kgm}^{-3})(6,022 \cdot 10^{23} \text{ at mol}^{-1})}$$

$$v = 0,23 \text{ cm seg}^{-1}$$



Velocidad de arrastre  $\sim \text{cm seg}^{-1}$

Velocidad de los electrones  $\sim 10^5 \text{ m seg}^{-1}$

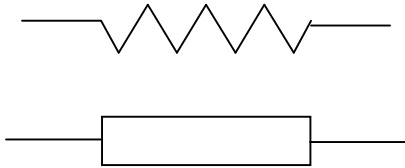
Velocidad de la señal eléctrica  $\sim 3 \cdot 10^8 \text{ m seg}^{-1}$

## Ley de Ohm

$$i \propto V$$

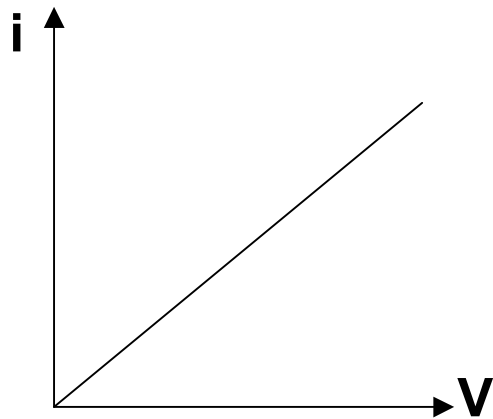
$$i = \frac{1}{R} V$$

R: resistencia eléctrica

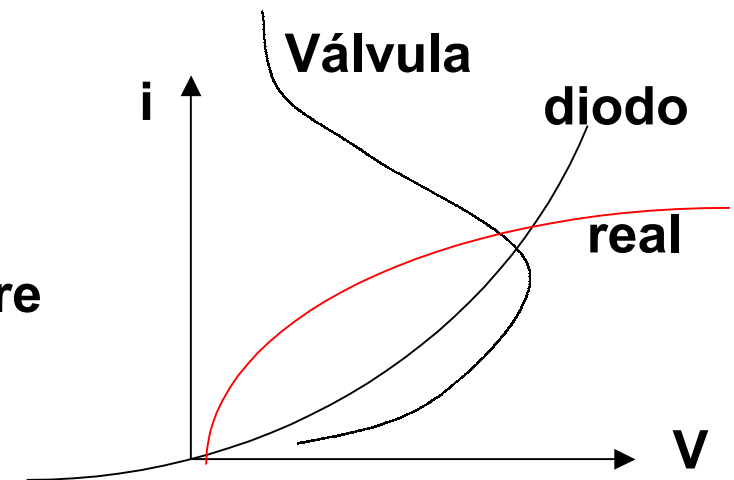


$$R = \frac{V}{i} \left[ \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} = \text{Ohm } (\Omega) \right]$$

En ciertos materiales (ohmicos) relación lineal entre V e i



No siempre



**R: Medida de la dificultad que tienen los portadores para moverse por la red debido a las interacciones coulombianas con los electrones de los átomos de la estructura**

## Otras magnitudes útiles

$$i = n e v S \quad \vec{j} = n e \vec{v}$$

En conductores metálicos,  $v$ : velocidad que adquieren los electrones entre "choques" sucesivos

$$v = v_0 + \frac{e E}{m} t \Rightarrow \bar{v} = \bar{v}_0 + \frac{e E}{m} \bar{t} \Rightarrow v = \frac{e E}{m} \tau$$

$$\vec{j} = n e \frac{e \vec{E} \tau}{m} \quad \sigma = \frac{n e^2 \tau}{m} \quad \text{conductividad}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{E} = \rho \vec{j}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

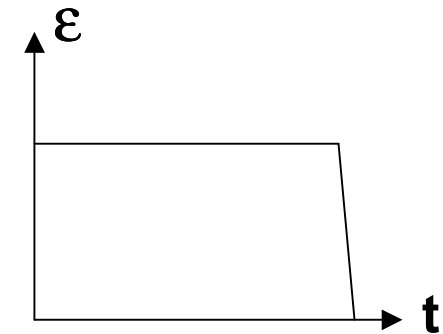
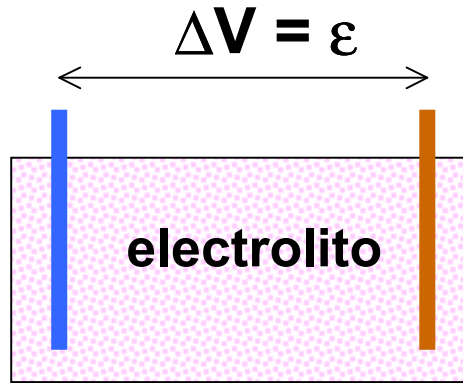
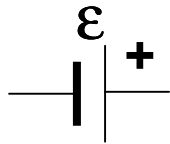
resistividad

$$\frac{V}{R} = i = j A = \frac{E}{\rho} A = \frac{V A}{l \rho}$$

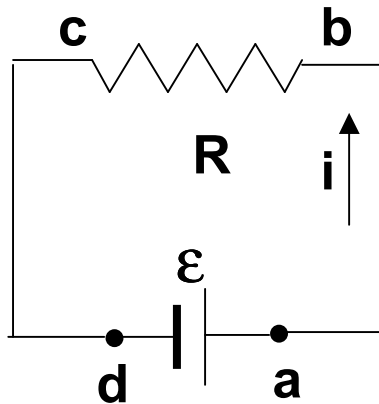
$$R = \rho \frac{l}{A}$$

	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	Coef.T (por $^{\circ}\text{C}$ )
Ag	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Cu	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Au	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Al	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Fe	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Const	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
.	$1,4 \cdot 10^{-5}$	
C	0,46	
Ge		<b>A 20<math>^{\circ}\text{C}</math></b>
Si	0,03	
Vidrio	$10^{10/14}$	
Cuarz	$7,5 \cdot 10^{17}$	

## Fuerza electromotriz



## Circuito eléctrico: camino conductor cerrado



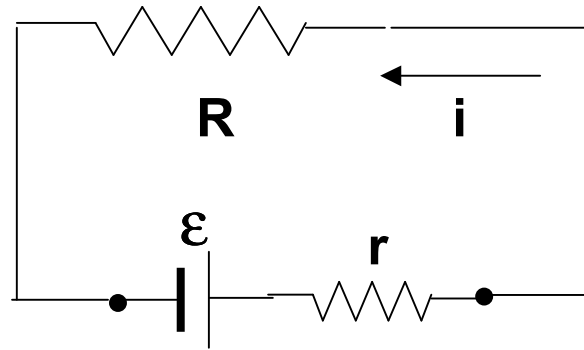
$$\varepsilon = V_b - V_c = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} - \int_b^c \vec{E} \cdot d\vec{l} - \int_c^d \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

**E: no conservativo**  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \neq 0$

Se considera que los conductores tienen  $R=0$  (Aproximación muy razonable: Cu de 2 mm de diam. y 1 m tiene  $R \approx 0,02 \Omega$ )

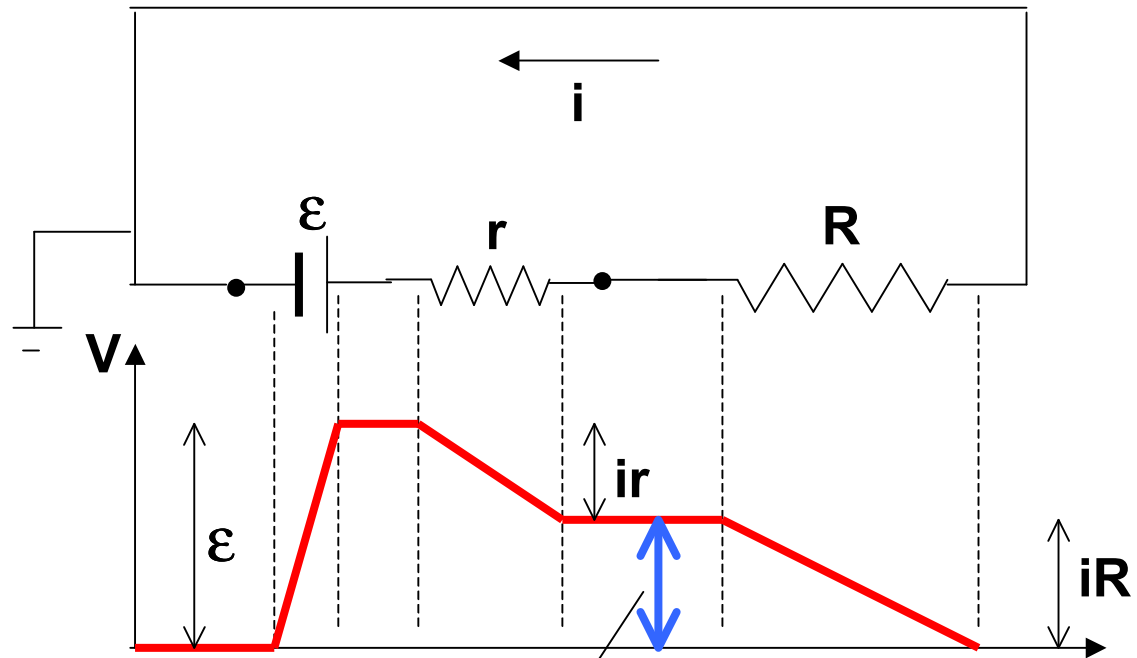
$$\varepsilon = i R \Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R}$$

## En realidad las baterías tienen resistencia interna



$$\epsilon = i r + i R$$

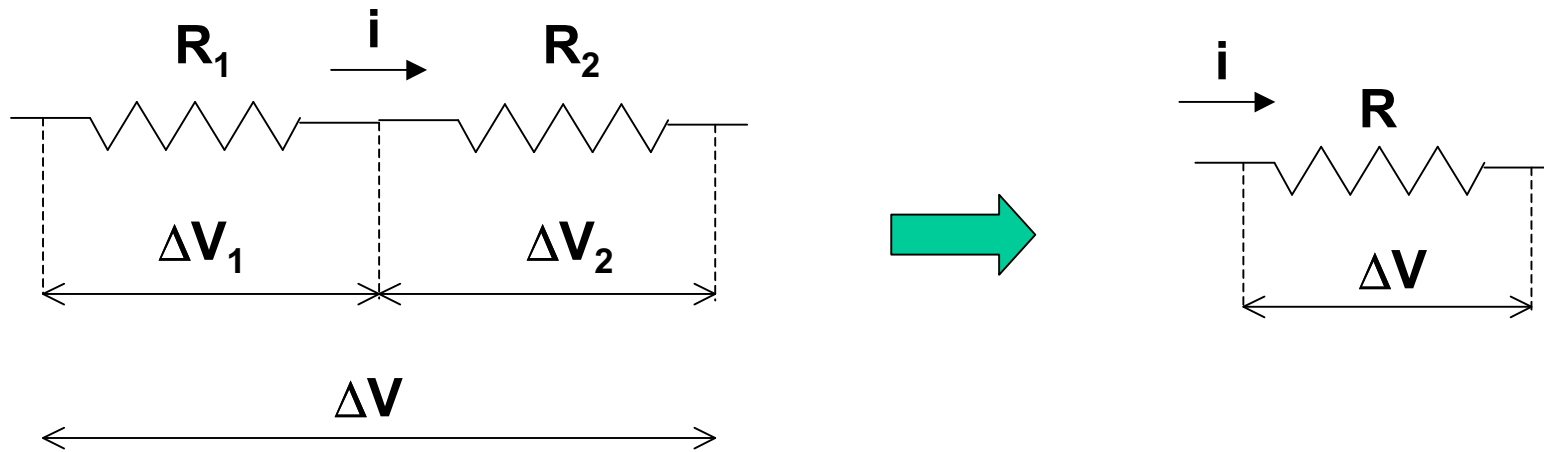
$$i = \frac{\epsilon}{r + R}$$



fem ( $\epsilon$ : fuerza electromotriz) de una batería es la diferencia de potencial entre sus bornes a circuito abierto

Esta es la  $\Delta V$  que se ve entre los bornes cuando circula corriente

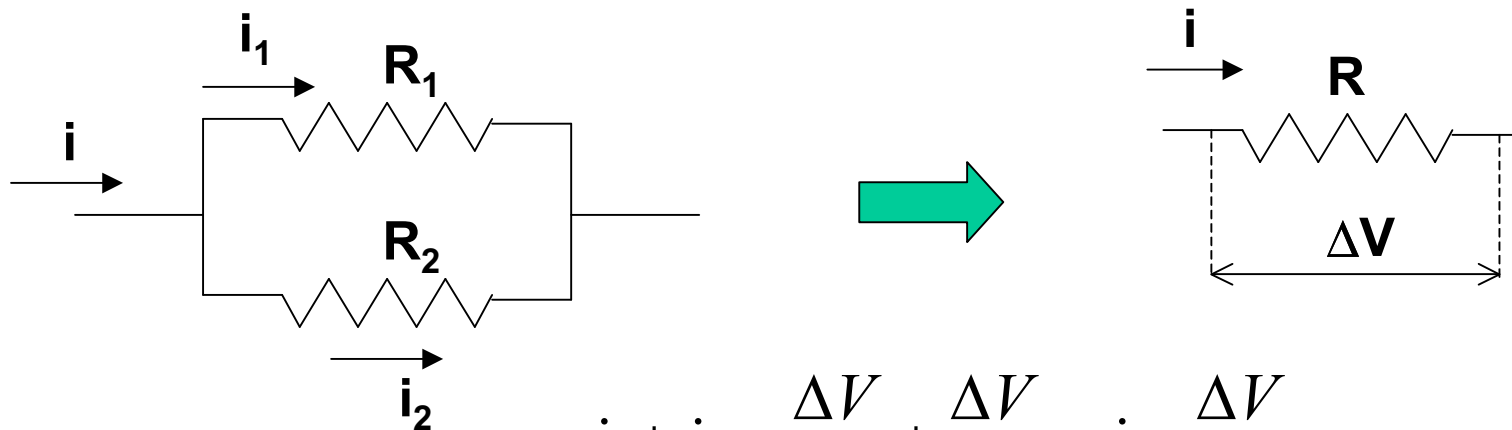
## Conexiones de resistencias en serie



$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = i R_1 + i R_2 = i (R_1 + R_2) = i R$$

$$R = \sum_j R_j$$

## Conexiones de resistencias en paralelo

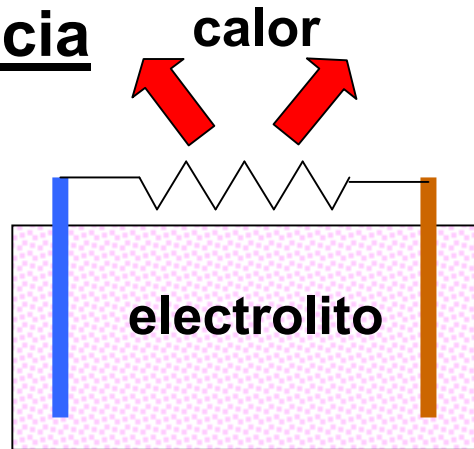


$$i_1 + i_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = i = \frac{\Delta V}{R}$$

$$\frac{1}{R} = \sum_j \frac{1}{R_j}$$



## Potencia



$\varepsilon$  : energía potencial por unidad de carga entre bornes, o sea energía que entrega la batería cuando 1 C va de + a - por R

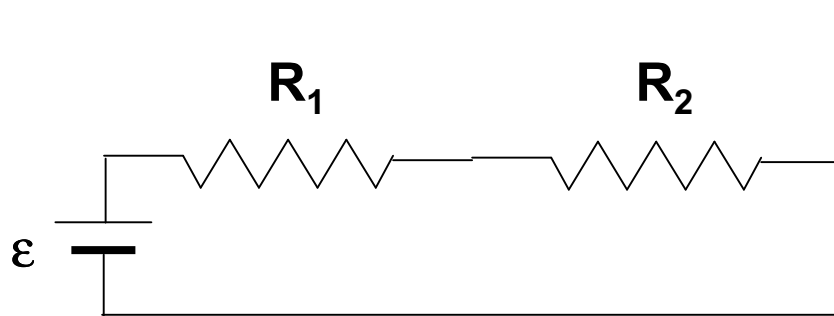
$\varepsilon q$  energía total

$\frac{\varepsilon q}{t} = \varepsilon i$  potencia

$$\varepsilon = i R \Rightarrow \varepsilon i = i^2 R$$

$\varepsilon i$  : potencia suministrada por la batería cuando se establece  $i$

$i^2 R$ : potencia disipada en la resistencia R



$$i = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} \quad \varepsilon i = \frac{\varepsilon^2}{R_1 + R_2} \quad \text{Potencia entregada}$$

$$i^2 R = \frac{\varepsilon^2}{R_1 + R_2} \quad \text{Potencia disipada}$$

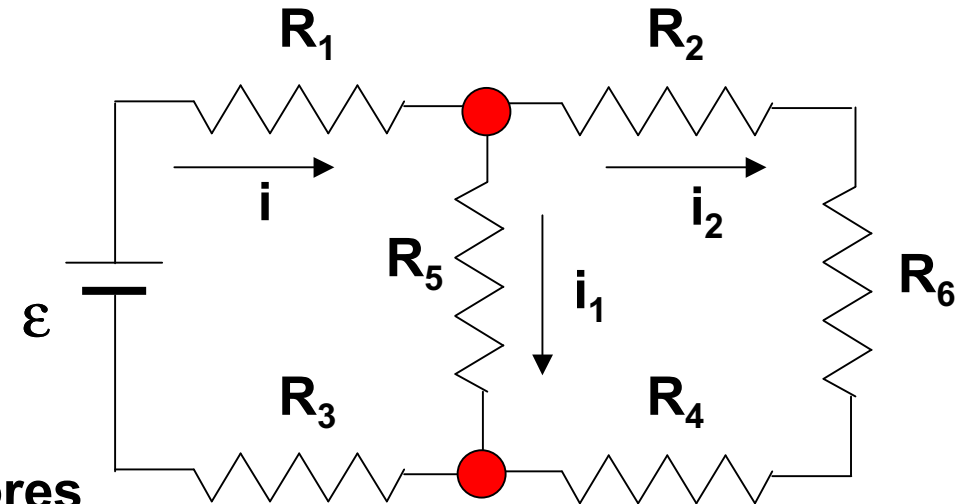
$$i^2 R_j \quad \text{Potencia disipada en resistencia } R_j$$

# Leyes de Kirchoff

Nodo: punto donde convergen 3 o más conductores

Rama: tramo entre nodos

Malla: camino cerrado de conductores



En nodos  $\sum i = 0$  (conservación de la carga)

En mallas  $\sum \varepsilon - \sum i R = 0$

$$i - i_1 - i_2 = 0 \quad i_1 + i_2 - i = 0$$

$$\varepsilon - i(R_1 + R_3) - i_1 R_5 = 0$$

$$-i_2(R_2 + R_6 + R_4) + i_1 R_5 = 0$$

$$\varepsilon - i(R_1 + R_3) - i_2(R_2 + R_6 + R_4) = 0 \quad \text{Linealmente dependiente}$$

3 ecuaciones con tres incógnitas

$$\begin{aligned}
i & & -i_1 & & -i_2 & & = 0 \\
-i(R_1 + R_3) & & -i_1 R_5 & & & & = -\varepsilon \\
& & i_1 R_5 + i_2 (R_2 + R_6 + R_4) & & & & = 0
\end{aligned}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -(R_1 + R_3) & -R_5 & 0 \\ 0 & R_5 & (R_2 + R_6 + R_4) \end{vmatrix}$$

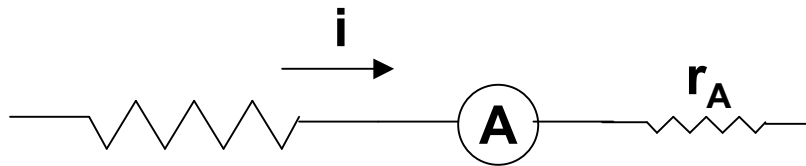
$$i = \frac{\begin{vmatrix} 0 & -1 & -1 \\ -\varepsilon & -R_5 & 0 \\ 0 & R_5 & (R_2 + R_6 + R_4) \end{vmatrix}}{\Delta} \qquad i_1 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -(R_1 + R_3) & -\varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & (R_2 + R_6 + R_4) \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$i_2 = i - i_1$$

# Mediciones

Corriente: es un caudal (de cargas)  $\Rightarrow$  medidor (Amperímetro) intercalado en la rama donde se la quiere medir, o sea conectado en serie

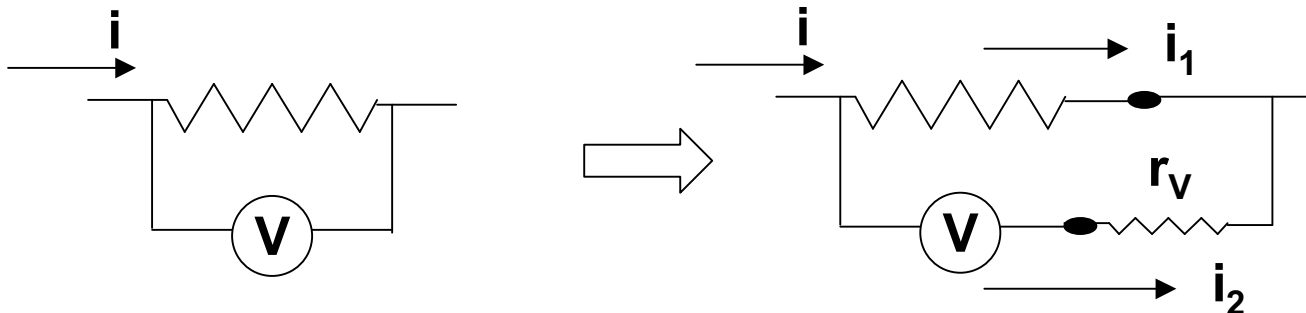
Amperímetro tiene resistencia interna  $r_A \Rightarrow$  modifica circuito



Amperímetro ideal  
 $r_A \rightarrow 0$

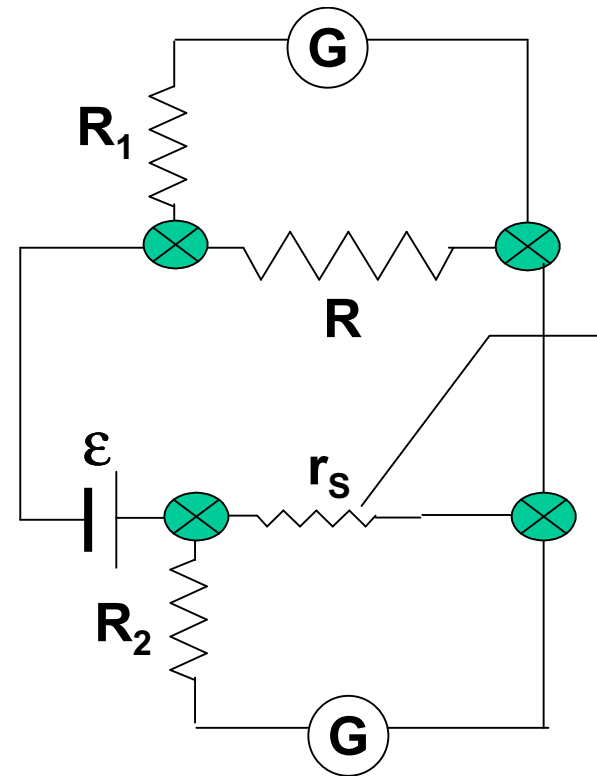
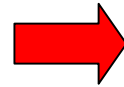
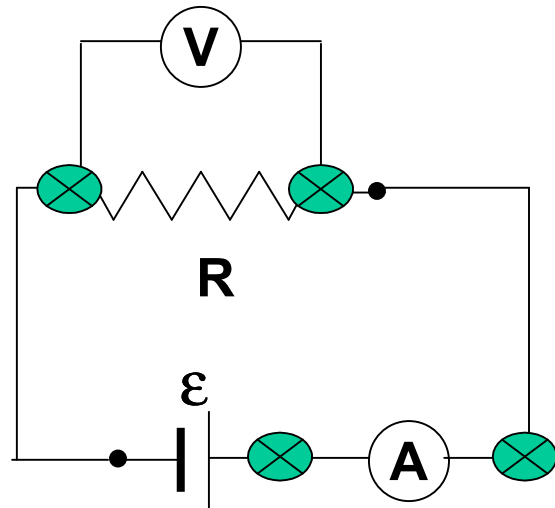
Voltaje: es una ddp entre dos puntos  $\Rightarrow$  medidor (Voltímetro) conectado entre esos puntos, o sea en paralelo con elemento donde se mide ddp

Voltímetro tiene resistencia interna  $r_V \Rightarrow$  modifica circuito



Voltímetro ideal  $r_V \rightarrow \infty$

## Ejemplos



Resistencia  
de  
derivación

- G Galvanómetro:** dispositivos en el que la corriente que circula por una espira produce una deflexión en la aguja del medidor proporcional a esa corriente (efecto magnético). **Sencibilidad  $10^{-8} A$**

Valores posibles:  $R = 1 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2 = 35 \Omega$ ,  $r_s = 1 \Omega$ ,  $R_1 = 10^5 \Omega$

$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{35} + \frac{1}{1} \Rightarrow R_A = 0,97 \Omega \quad i = \frac{220}{1000} = 0,22 A \quad V_R = 0,22 \cdot 1000 = 220 V$$

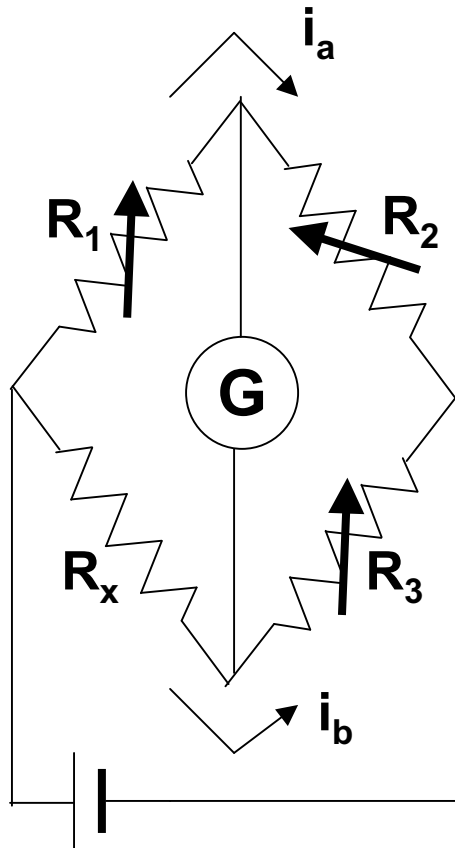
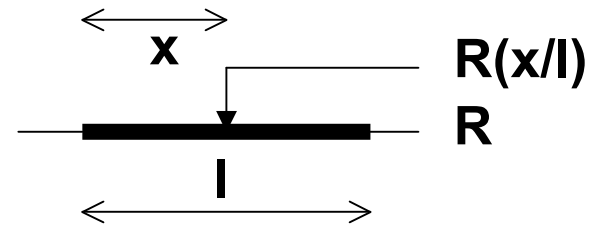
$$V_{Amp} = 0,97 \cdot 0,22 = 0,21 V \quad i_{G2} = \frac{0,21}{35} = 0,3 \text{ mA} \quad i_{G1} = \frac{220}{10^5} = 0,0022 A$$

Resistencia: se mide V y A y se saca R

Óhmetro: Pila y un Amperímetro (elemento a medir desconectado)

Puente de Weastone (>precisión)

Resistencia variable



**G** Galvanómetro: ~amperímetro con 0 al medio

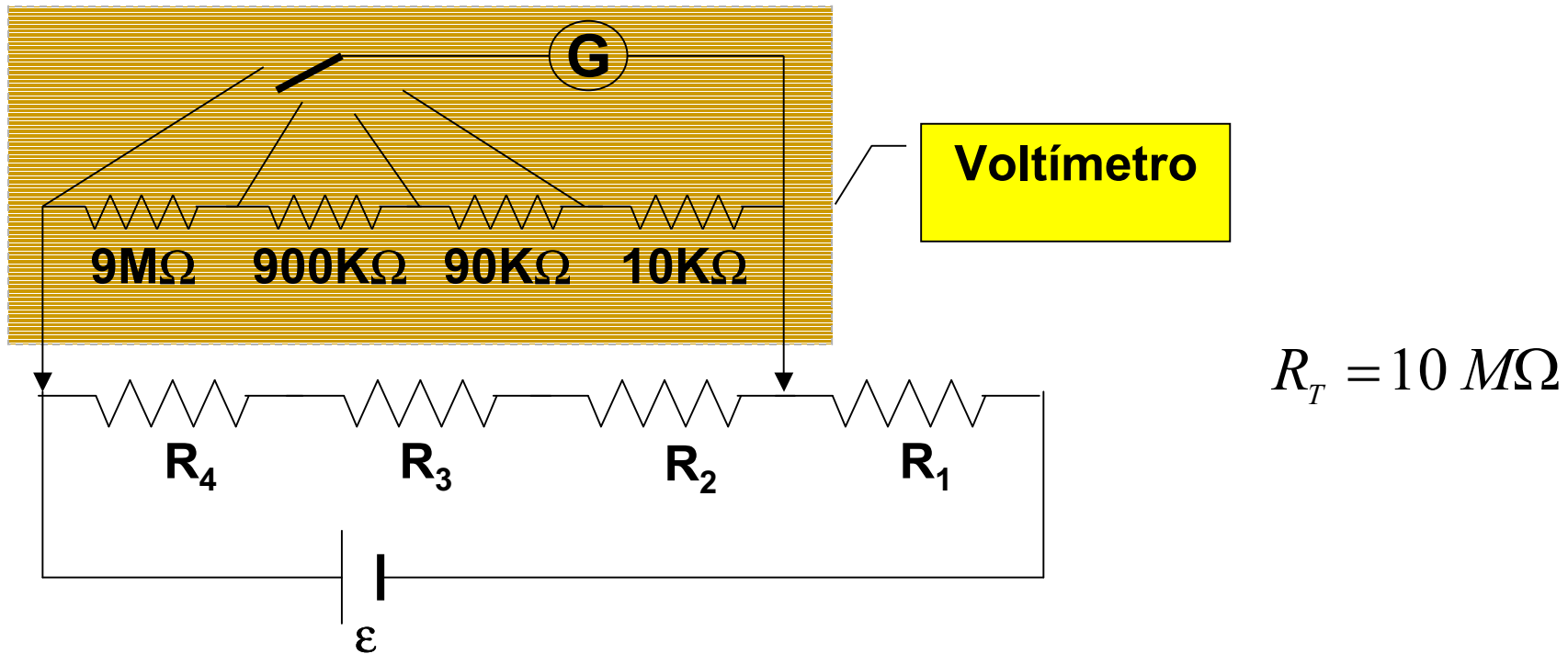
Se ajustan  $R_j$  hasta que G marca 0

$$i_a R_1 = i_b R_x$$

$$i_a R_2 = i_b R_3$$

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

**Voltímetros modernos usan componentes semiconductores de estado sólido con R interna muy grandes ( $\sim 10^{12} \Omega$ ), pero solo aguantan ddp de 1 o 2 V => necesidad de divisores de tensión**



$$\frac{10^7}{10^7} = 1$$

$$\frac{10^6}{10^7} = 10^{-1}$$

$$\frac{10^5}{10^7} = 10^{-2}$$

$$\frac{10^4}{10^7} = 10^{-3}$$

# Potenciómetro: para mediciones precisas de voltaje

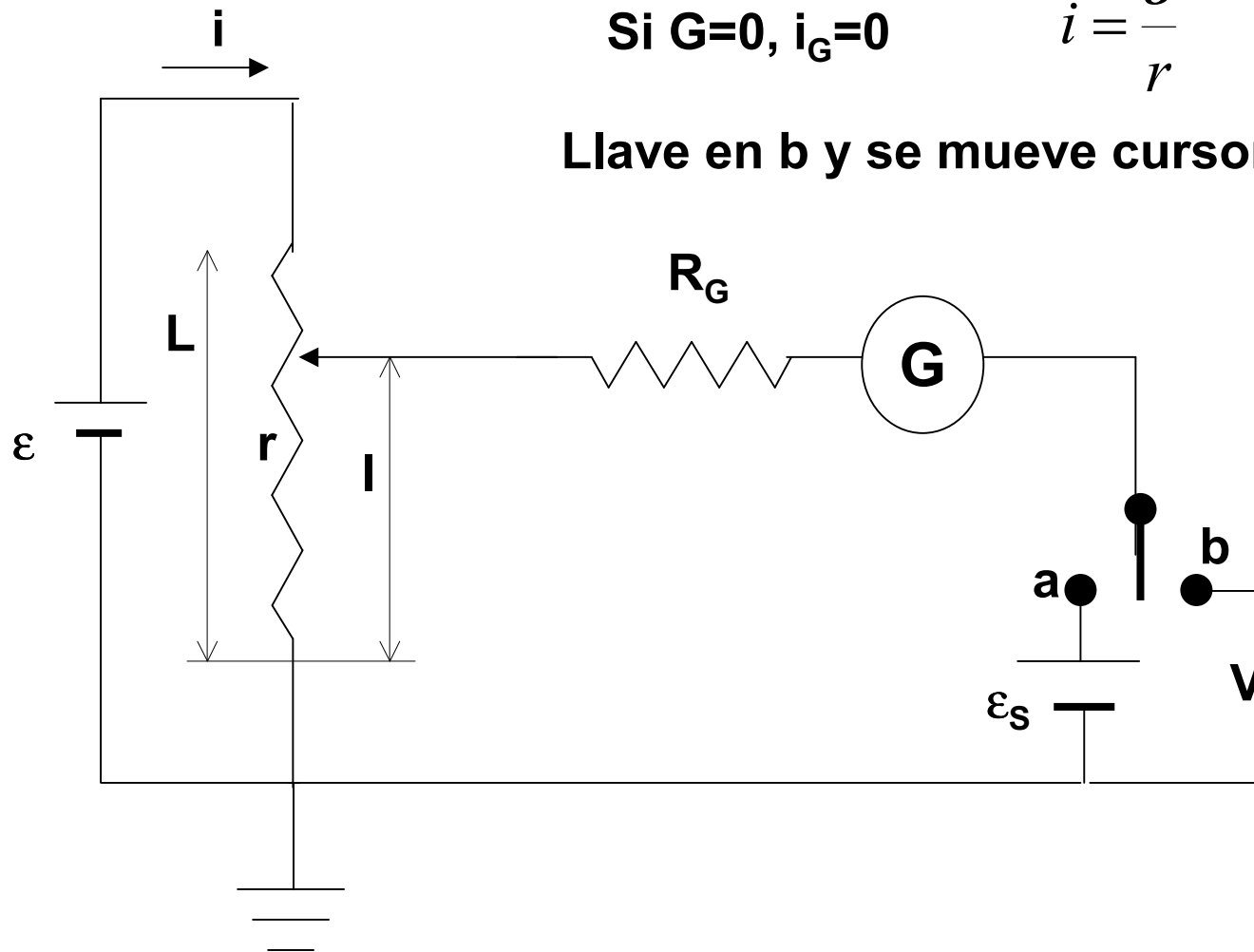
**V**: incógnita;  $\varepsilon_s$  fem patrón;

Llave en a y se mueve cursor hasta que  $G=0$ ,  $I_s$

Si  $G=0$ ,  $i_G=0$        $i = \frac{\varepsilon}{r}$        $i \frac{l_s}{L} r = \varepsilon_s$

Llave en b y se mueve cursor hasta que  $G=0$ ,  $I_x$

$$i \frac{l_x}{L} r = V$$



$$V = \varepsilon_s \frac{l_x}{l_s}$$