## Ley de Ohm puntual

En todo punto del conductor, el vector densidad de corriente de conducción es proporcional al campo eléctrico $\Rightarrow \vec{J} \approx \vec{E}$

La cte. de proporcionalidad será $\sigma$ llamada conductividad eléctrica $\Rightarrow \boxed{\vec{J} = \sigma \vec{E}}$ (*)

$$[\sigma] = \frac{\frac{A}{m^2}}{\frac{V}{m}} = \frac{A}{V.m} = \frac{1}{\Omega\, m} = \frac{S}{m}$$

Dada la conductividad eléctrica $\underset{\text{SIGMA}}{\sigma} \left[\frac{S}{m} = \frac{1}{\Omega m}\right]$: una propiedad del medio en cuanto a su capacidad de conducir I eléctrica; podemos razonar que $\frac{1}{\sigma} = \rho$: la inversa de la conductividad $\sigma$ es la RESISTIVIDAD $\rho \to$ RO

$\rho = \frac{1}{\sigma} [\Omega . m]$, quien también es sólo una propiedad del medio y modeliza su capacidad de oponerse a la circulación de la I

Como la R de un material óhmico no depende individualmente de V e I, ¿de quién dependerá?

Dependerá del material (Al, Cu, etc.) y de su geometría

$$R = \rho . \frac{l}{s}$$

# Resumen

- Resistencia eléctrica: **R [Ω]** es f (material, geo)
- Conductancia “ : **G [1/ Ω]** es f (material, geo)
- Resistividad “ : **ρ [Ω.m]** es f (material) **ρ**→Ro
- Conductividad “ : **σ [1/ Ω.m]** es f (material) **σ→**Sigma

$$R = \frac{V}{I} \quad G = \frac{1}{R} \quad \sigma = J/E \quad \rho = 1/\sigma$$

## Modelo de DRUDE

Una carga eléctrica (electrón) inmerso en un campo $\vec{E}$, experimenta una $\vec{F} = q\vec{E}$

Pero: $\vec{F} = m\vec{a}$ $\therefore$ $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

$$\vec{v}_f = \vec{v}_i + \underbrace{\frac{q\vec{E}}{m}\Delta t}_{a.\Delta t}$$

$v_i = 0$ xq' antes de la presencia de $\vec{E}$, el movimiento de los electrones en el cable es aleatorio

La $v_f = v_d$ y si hacemos $\Delta t = \tau$

**τ : intervalo de t promedio entre colisiones sucesivas.**

$$\vec{v}_d = \frac{q\vec{E}}{m}\tau$$

Vimos que $J = n\, v_d\, q$ $\therefore$ $J = n\,\frac{qE}{m}\,\tau\, q$

$J = \frac{n E q^2}{m}\tau$ y como $J = \sigma E$ $\therefore$

$$\boxed{\sigma = \frac{n q^2 \tau}{m}} \quad \boxed{\rho = \frac{m}{n q^2 \tau}}$$

Según Drude, si el cond. sigue la ley de Ohm $\Rightarrow$ ni σ, ni ρ dependen de E

## Dependencia de la resistividad $\rho$ de los metales con T

Las experiencias muestran que el $\rho$ de todas las sustancias varía con T, ya que la energía cinética de los átomos y moléculas que componen nuestro conductor bajo estudio aumenta con T ∴ aumenta la cantidad de choques de los electrones libres en la red cristalina por unidad de tiempo.

Para temperaturas no demasiado grandes, se puede escribir: $\rho = \rho_0 + aT$ siendo $\rho_0$ la resistividad a 0°C y $a$ = cte.

$$\rho = \rho_0 \left(1 + \frac{a}{\rho_0} T\right)$$ llamamos $\alpha = \frac{a}{\rho_0}$

con $[\alpha] = \frac{1}{K}$

$\alpha$ = coeficiente de variación de la resistividad $\rho$ con la temperatura. Es (+) para conductores y (−) para aisladores

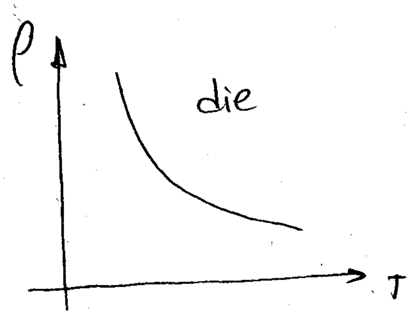
$$\boxed{\rho = \rho_0 (1 + \alpha T)}$$

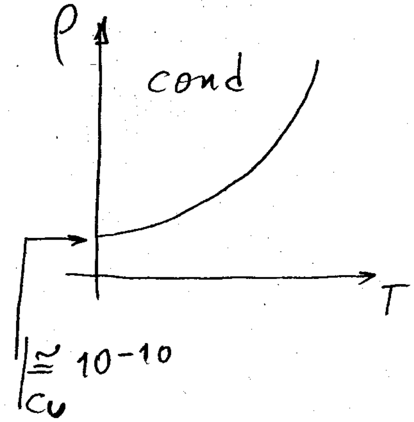
Como la R de un conductor es proporcional a $\rho$:

$$\boxed{R = R_0 (1 + \alpha T)}$$

$R_0 = R$ a $0°C$

$R = R$ a temp. $T$




## Energía y potencia eléctricas

Para sostener una I en un circuito, los portadores de Q deben de recibir U desde una fuente. A medida que los portadores de Q pasan por los conductores y resistencias, chocan con los átomos del material y pierden U.

Esta transferencia de U da como resultado un incremento en la T de los cond. y las R ⇒ la U eléctrica se transforma en U térmica y este proceso es irreversible.

Partiendo de la expresión de potencial eléctrico:

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{q}} \quad \left[\frac{\mathbf{J}}{\mathbf{C}} = \mathbf{V}\right]$$

La U ganada x una carga q en una fuente que tiene un potencial eléctrico V es: $U = qV$

La rapidez con que se pierde la U eléctrica en U térmica en un circuito está dada en términos de potencia eléctrica $P = \frac{U}{\Delta t} = \frac{qV}{\Delta t} = I\,V$

$$[P] = [I \cdot V] = A \cdot V = \frac{C}{s}\,\frac{J}{C} = \frac{J}{s} = W$$

Utilizando Ohm: $V = IR \Rightarrow P = \frac{V^2}{R} = I^2 R$

A la $P = I^2R$ se la conoce como ley de Joule o calentamiento Joule u óhmico, debido a las sucesivas colisiones de los electrones con la red que compone el material de la R.

Este análisis realizado para una I circulando a través de una R, es válido para corrientes en líneas de transmisión de U, quienes también sufren la disipación óhmica. Como $P = VI$, se acostumbra $\uparrow V$ para $I \downarrow$, de tal forma que el producto $VI = cte$, y transportar energía con mínima disipación.

## Fuerza electromotriz: fem ($e$ ó $\mathcal{E}$)

Para mantener una $I$, es necesario mantener un campo $\vec{E}$ (en un conductor). O sea, debe de haber un suministro contínuo de energía al conductor, que éste, debido a su $R$, la convierte en calor, y este es un proceso irreversible en sentido termodinámico.

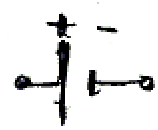
Vamos a considerar otro tipo de transformación energética reversible, que llamaremos fem.

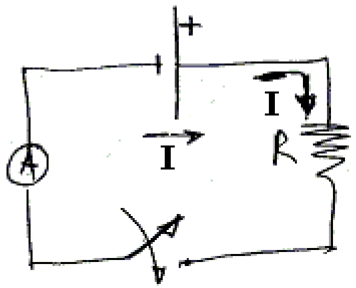
Definimos a la fem $e$ como un trabajo x unidad de carga:

$$[V] \quad e = \frac{dW}{dq}$$

Se observa que el uso de la palabra "fuerza" no es apropiado, ya que es un W x unidad de carga.

Una fem proporciona a los portadores de carga la energía eléctrica necesaria para que realicen su trayecto a través del circuito

Una fuente de fem común es una batería 




La batería establece una I estable x la R al mantener una $\Delta V$ cte.
El terminal que está a mayor potencial se lo llama ⊕.

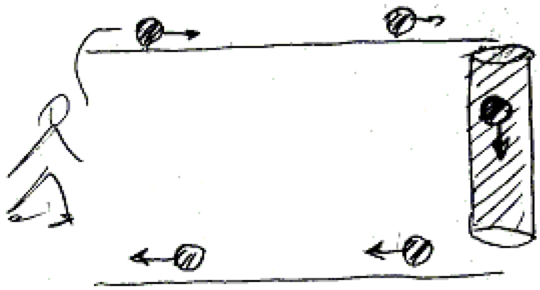
El sentido de la I que atraviesa la R va de ⊕ a ⊖
〃 〃 〃 〃 I 〃 〃 〃 batería 〃 〃 ⊖ a ⊕

La batería se caracteriza por su fem $\varepsilon$ y por su resistencia interna $r$
La fem $\varepsilon$ determina la energía que la batería proporciona a los portadores de carga y la $r$ interna es la propia de la batería.

$$V = \varepsilon - Ir$$

Si el interruptor está abierto ⇒ $I = 0$ ∴ la fem es la dif. de pot. entre bornes de la batería cuando x ella no circula I

<u>ANALOGÍA</u>

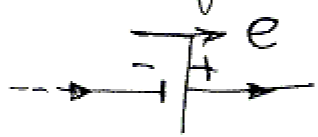


Podemos decir que la fem de una batería es la energía potencial eléctrica x unidad de carga dada a los portadores de carga cuando estos pasan de un terminal al otro x el interior de la batería.
Esta energía necesaria es el resultado de reacciones químicas (no es debida al campo electrostático).

En muchos casos, la $r << R_{circuito}$ ∴ se desprecia
Cuando el sentido de la $i$ en una batería es = al de su fem ⇒ la batería entrega energía al circuito externo (se está descargando).
Si la $i$ tiene sentido opuesto a la fem, la batería se está cargando; x lo tanto, en este proceso $V = \varepsilon + ri$

Si el campo E proviniera sólo de las cargas estáticas ∴ $\oint \vec{E} \cdot \vec{dl} = 0$, esto significa que $i = 0$

En un circuito eléctrico, la circulación del campo $\vec{E}$ es $\neq 0$; ∗ lo tanto, esta circulación se debe a las fuentes de tensión (o dif. de pot.) ∴ se dice que las fuentes tienen fem




Redefinimos al campo eléctrico en un circuito en dos términos:

- Debido a las cargas (en reposo) : $\vec{E}_s$
- 〃 〃 〃 fuentes : $\vec{E}_m$

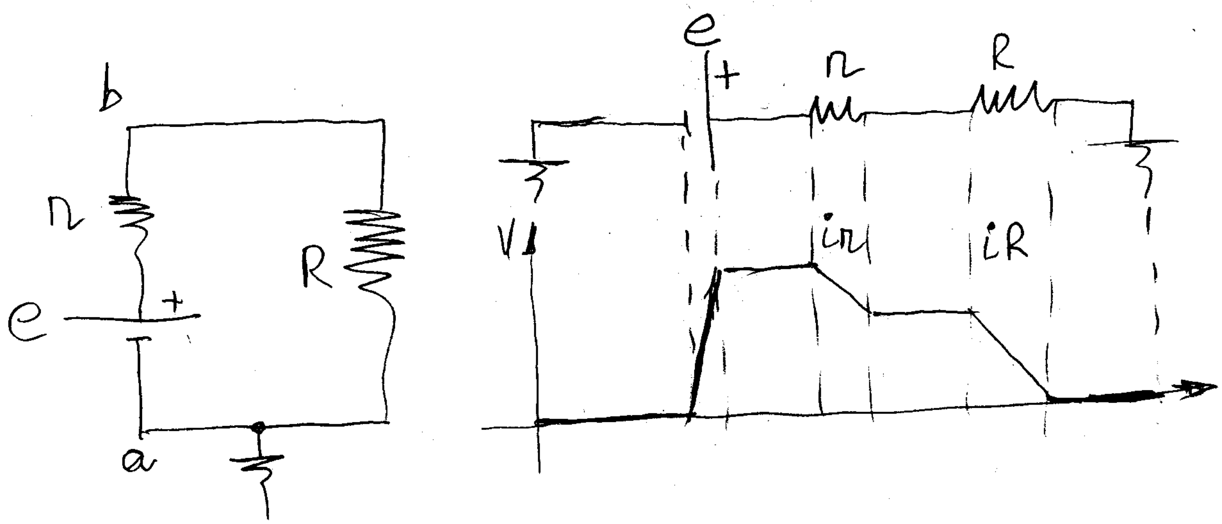
$$\left.\begin{array}{l} \vec{E}_s \\ \vec{E}_m \end{array}\right\} \quad \vec{E} = \vec{E}_s + \vec{E}_m$$

**Nótese que los circuitos eléctricos están compuestos por fuentes (dispositivos activos) más dispositivos pasivos, como R y C: allí conviven ambos campos eléctricos, el electrostático, quien nos modeliza cómo la fuente energiza a los portadores de carga y el electrodinámico, realizando W útil en los dispositivos pasivos R, C y en el futuro L.**

Ahora ; $\oint \vec{E} \cdot \vec{dl} = iR$

y como : $\oint \vec{E_s} \cdot \vec{dl} = 0$ $\therefore$ $\oint \vec{E_m} \cdot \vec{dl} = iR$

o sea : $e = iR$

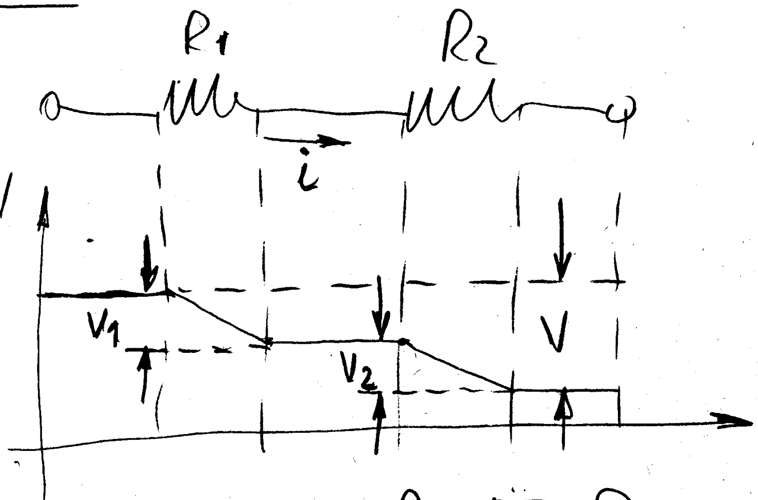



$$e = i(r+R) \quad ; \quad V_{ba} = e - ir$$

## Resistencias en serie y en ||

La R equiv. de una combinación de R es el valor de una única **R** que reemplazado x la combinación produce el mismo efecto externo; o sea, debe transportar la misma corriente que la combinación cuando la diferencia de potencial entre sus extremos es la misma.

Serie:




$$V = V_1 + V_2$$

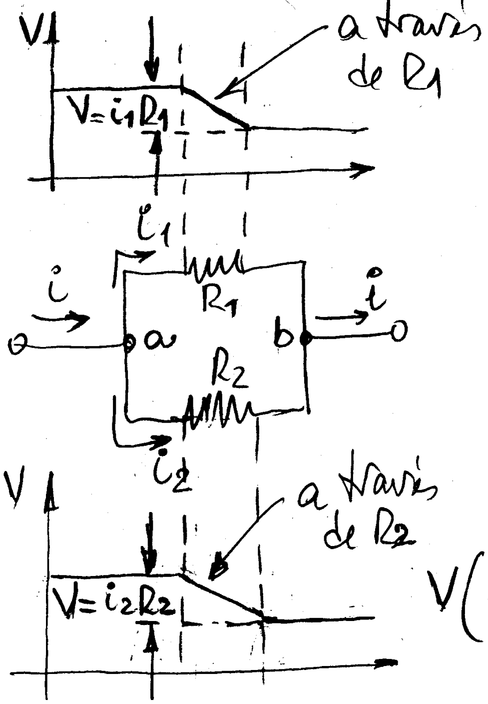
$$V = iR_1 + iR_2$$

$$V = i(R_1 + R_2)$$

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

$$R = \sum_i R_i$$

//:




$$V = V_1 = V_2$$

$$i = i_1 + i_2$$

$$V = i_1 R_1 \; ; \; V = i_2 R_2$$

$$\therefore i_1 = \frac{V}{R_1} \qquad i_2 = \frac{V}{R_2} \therefore i = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \frac{i}{V} = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

**Instrumentos de medición eléctrica**

Existen analógicos y digitales
Los analógicos son aquellos en que la presentación del valor de la medición efectuada se exhibe en un instrumento que posee una escala con graduaciones y una aguja que pivota en un eje.
El instrumento analógico x excelencia es el GALVANÓMETRO, capaz de medir I y/o V con suma precisión.
Los galvanómetros son instrumentos diseñados para medir valores pequeños de I y V (mA y mV).
En los digitales, la presentación de la información se realiza en una pantalla (display) en los que se observan 3 ó + dígitos.
Los amperímetros, que miden I, deben de utilizarse en serie con los componentes del circuito, ya que el material de su medición son las Q.
Se desea que tengan una R int. muy pequeña para que la medición no sea alterada apreciablemente: $R_A \downarrow$
Los voltímetros, que miden V, deben de utilizarse en // con el componente que desea medir (ya que su función es medir dif. de potencial (o tensión) de un componente del circuito).
Se desea que tenga R int muy alta para no alterar el valor de la medición: $R_V \uparrow$

# Reglas o leyes de Kirchhoff (1824 - 1887)

**Mallas** (camino cerrado)

La $\Sigma$ de los cambios de pot. encontrados en el recorrido de cualq. malla es nula

$$\sum V = 0$$

Veremos que, al recorrer una malla, el potencial al pasar x algunos componentes aumenta, mientras que al pasar x otros disminuye

**Nodos** (punto del circ. donde confluyen + de 2 conduct.)

La $\Sigma$ de las corrientes que llegan a un nodo es = a $\Sigma$ de las corrientes que salen de él.

$$\sum i_{entr.} = \sum i_{sal.}$$

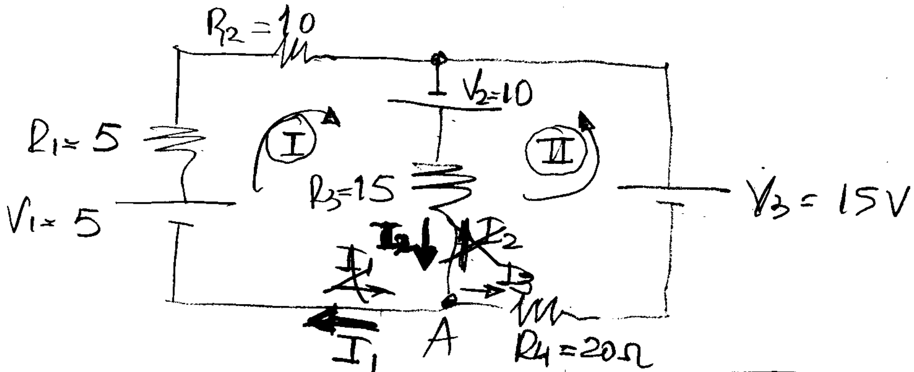
## Reglas para obtener el signo de los términos que aparecen en las ecuaciones de mallas

* Si pasamos por una R en el sentido de la $i$, la diferencia de potencial entre extremos de la R se escribe $(-iR)$.
  Si atravesamos la R en sentido opuesto, escribiremos $(iR)$.

* Si pasamos por una fuente de fem siguiendo el sentido de la fem, la dif. de potencial entre los terminales de la fem se escribe $(\mathcal{E})$. Si la atravesáramos a la fuente en el sentido contrario a la fem, la dif. de pot entre los terminales la escribiríamos $(-\mathcal{E})$.

**Importante**:

La resolución de un circuito (hallar todas las I y V) requiere la solución de ecuaciones: EL NÚMERO DE ECUACIONES INDEPENDIENTES QUE SE NECESITAN ES IGUAL AL NÚMERO DE CORRIENTES del circuito.




Ec. de nodo (A): $\boxed{I_1 = I_2 + I_3}$ (1)

Ec. de malla (I):

$$5 + 5I_1 + 10I_1 + 10 + 15I_2 = 0$$

$$\boxed{15 + 15I_1 + 15I_2 = 0} \quad (2)$$

Ec. de malla (II):

$$-20I_3 + 15 + 10 + 15I_2 = 0$$

$$\boxed{25 + 15I_2 - 20I_3 = 0} \quad (3)$$

La (1) en la (2):

$$15 + 15(I_2 + I_3) + 15I_2 = 0$$

$$15 + 15I_2 + 15I_3 + 15I_2 = 0$$

$$15 + 30I_2 + 15I_3 = 0 \quad (4)$$

la (3) × 2 − (4):

$$\begin{array}{r} 50 + 30I_2 - 40I_3 = 0 \\ - \quad 15 + 30I_2 + 15I_3 = 0 \\ \hline 35 - 55I_3 = 0 \end{array} \Rightarrow \boxed{I_3 = 0{,}636\,A}$$

!

$I_3 = 0{,}636A$ en (4): $15 + 30I_2 + 15 \cdot 0{,}636 = 0 \Rightarrow \boxed{I_2 \cong -0{,}818A}$

Hay que cambiar el sentido de $I_2$

reformulamos la (1): $I_3 = I_1 + I_2$ !

$$I_1 = I_3 - I_2 = 0{,}636 - 0{,}818 \Rightarrow \boxed{I_1 \cong -0{,}182A}$$

Hay que cambiar el sentido de $I_1$
y reformular definitivamente la ①:

$$I_2 = I_1 + I_3$$

siendo: $\boxed{I_3 = 0{,}636A \;;\; I_2 = 0{,}818A \;;\; I_1 = 0{,}182A}$

$$0{,}818 = 0{,}636 + 0{,}182 \checkmark$$

Se debe reemplazar los valores de $I_1$; $I_2$ e $I_3$ en TODAS las ecs. de mallas para verificar.