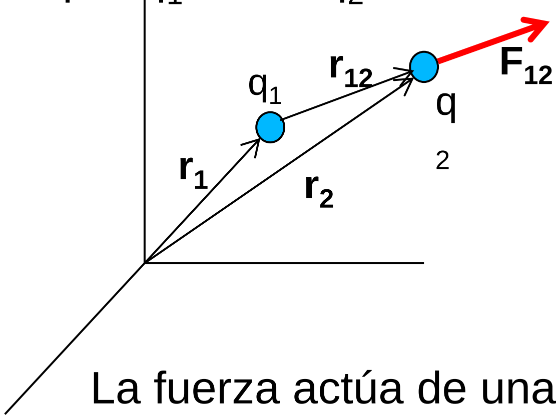
LEY DE COULOMB

La fuerza que una carga puntual ejerce sobre otra está dirigida sobre la recta que las une y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. Es repulsiva si son del mismo signo y atractiva si son de signo contrario. La F ejercida por q_1 sobre q_2 es



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

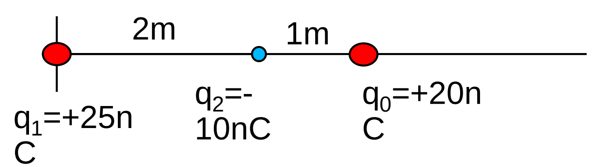
$$k = 8.99 \cdot 10^9\,\frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

La unidad de carga es el Culombio (C), que es la carga que fluye por un conductor por segundo cuando la intensidad de corriente es 1 A. La carga de un electrón es $e = 1.602177 \cdot 10^{-19}$ C.

La fuerza actúa de una carga sobre otra. Si hay varias cargas presentes, la fuerza sobre una de ellas es la **suma vectorial** de las que ejercen las otras sobre ella.

Varias cargas libres no pueden estar en equilibrio a menos que haya otras fuerzas que compensen las culombianas. P.e. los protones en el núcleo atómico.

•*calcula la fuerza resultante sobre q_0 debida a las otras cargas*



($F = -4.321 \cdot 10^{-7}$ N)

CAMPO ELÉCTRICO

Si hay presentes cargas, crean un ***campo*** en el espacio. Se evidencia si ponemos una carga de prueba q_0 en un cierto punto. Actúa sobre ella una fuerza F. Definimos la intensidad de campo eléctrico E en un punto como la fuerza que experimenta la unidad de carga situada en dicho punto.

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

Por tanto la fuerza sobre una carga q_0 en un campo es $\vec{F} = \vec{E} q_0$

La unidad de campo eléctrico será $\frac{N}{C}$

(se verá más adelante que es equivalente a V/m)

El **campo creado por una carga puntual** *q* a distancia *r* será

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

si se modifica la posición o el valor de las cargas que crean el campo, los cambios en el campo se propagan con la velocidad de la luz en ese medio.

https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_es.html

(experimentar con este simulador de campo creado por varias cargas)

Potencial eléctrico

Si colocamos una carga q en un campo E, el campo ejerce una fuerza F sobre ella $\vec{F} = q\vec{E}$

El cambio elemental de **energía potencial** al desplazarla *d**s*** es el trabajo necesario para moverla ***contra*** el campo sin aceleración (o sea con una fuerza –F)

$$dU = -\vec{F} \cdot d\vec{s} = -q\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

La ***energía potencial para una carga de prueba unidad*** es el **potencial eléctrico V**

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

La diferencia de potencial entre dos puntos a y b será entonces el trabajo necesario para llevar la unida de carga desde el punto *a* al b

$$V_b - V_a = \Delta V = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Unidades: **Voltio** (***V***)

$$V \equiv \frac{J}{C} = \frac{N \cdot m}{C}$$

El campo E ahora se puede medir también en V/m $\dfrac{V}{m} = \dfrac{N}{C}$

La ventaja del **potencial** es que **es un *escalar*** y se pueden superponer los potenciales creados por varias cargas o distribuciones de carga en un punto sumándolos algebráicamente (en cambio el campo hay que sumarlo vectorialmente).

CAPACIDAD: es la carga que adquiere un conductor por unidad de potencial.

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

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

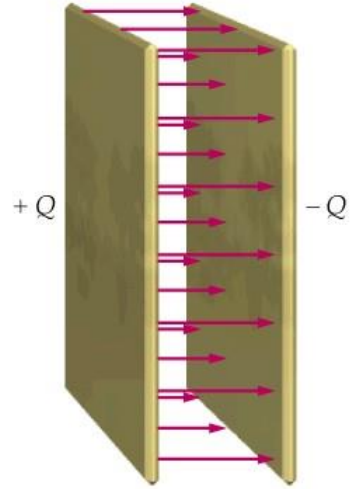
Unidad: faradio (F)=culombio/voltio

p.e para una esfera $V = \frac{kQ}{R}$ $\quad C = \frac{Q}{V} = \frac{R}{k} = 4\pi\varepsilon_0 R$

calcula el radio de una esfera metálica de capacidad 1F: ¡ unos 9 millones de km !

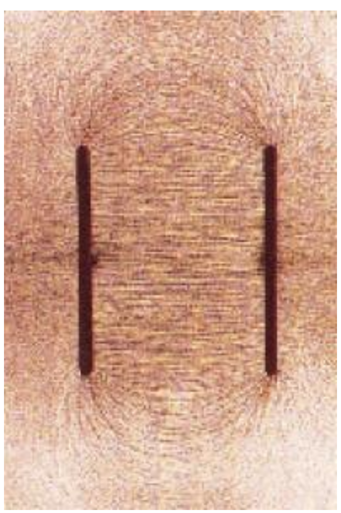
Un **condensador** es un sistema de dos conductores aislados entre sí, en los que la carga Q es igual y de signo opuesto. Su capacidad es

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



(a)

condensador de placas paralelas



el campo interior debido a cada una de las placas, consideradas indefinidas, es

$$E_p = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

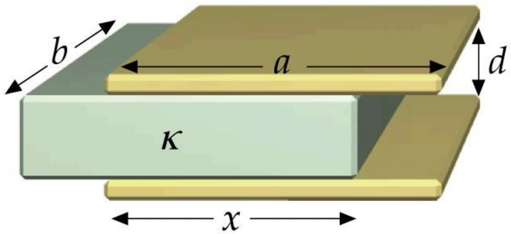
los dos en el mismo sentido

Luego el campo total es $E = 2E_p = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

$$\Delta V = E \cdot d = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} d = \frac{Qd}{A\varepsilon_0}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot A}{d}$$

DIELÉCTRICOS



Al introducir un aislante, C crece.

- si V=cte (está conectado a una fuente de tensión), Q crece
- si está desconectado, Q=cte y entonces V disminuye, para que C=Q/V aumente

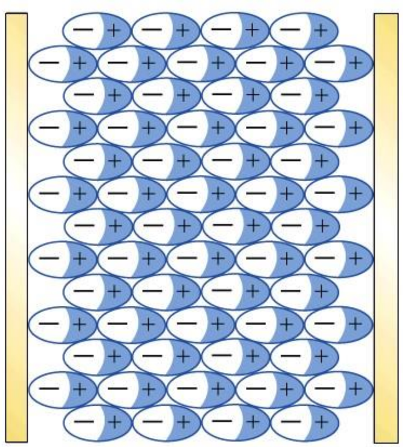
es porque el campo interior disminuye $E = \frac{E_0}{\kappa}$ $V = E \cdot d = \frac{E_0}{\kappa} \cdot d = \frac{V_0}{\kappa}$

la nueva capacidad $C = \frac{Q}{V} = \frac{\kappa Q}{V_0} = \kappa C_0$

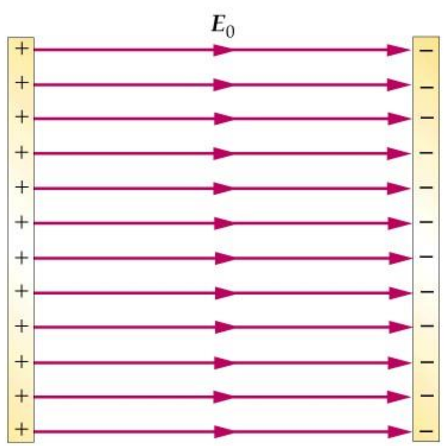
κ (kappa) es la **constante dieléctrica**

en un cond. plano, $C = \frac{\kappa \varepsilon_0 \cdot A}{d} = \frac{\varepsilon A}{d}$ con $\varepsilon = \kappa \cdot \varepsilon_0$

La razón de que esto ocurra

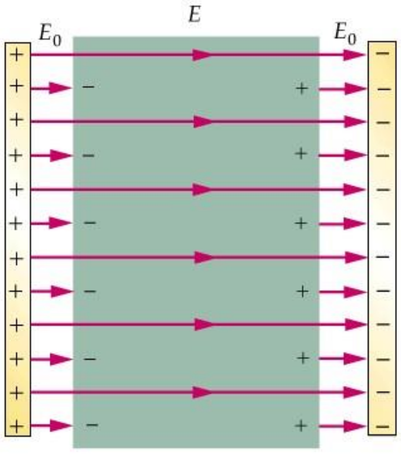


dieléctrico polarizado



(a)

sin dieléctrico



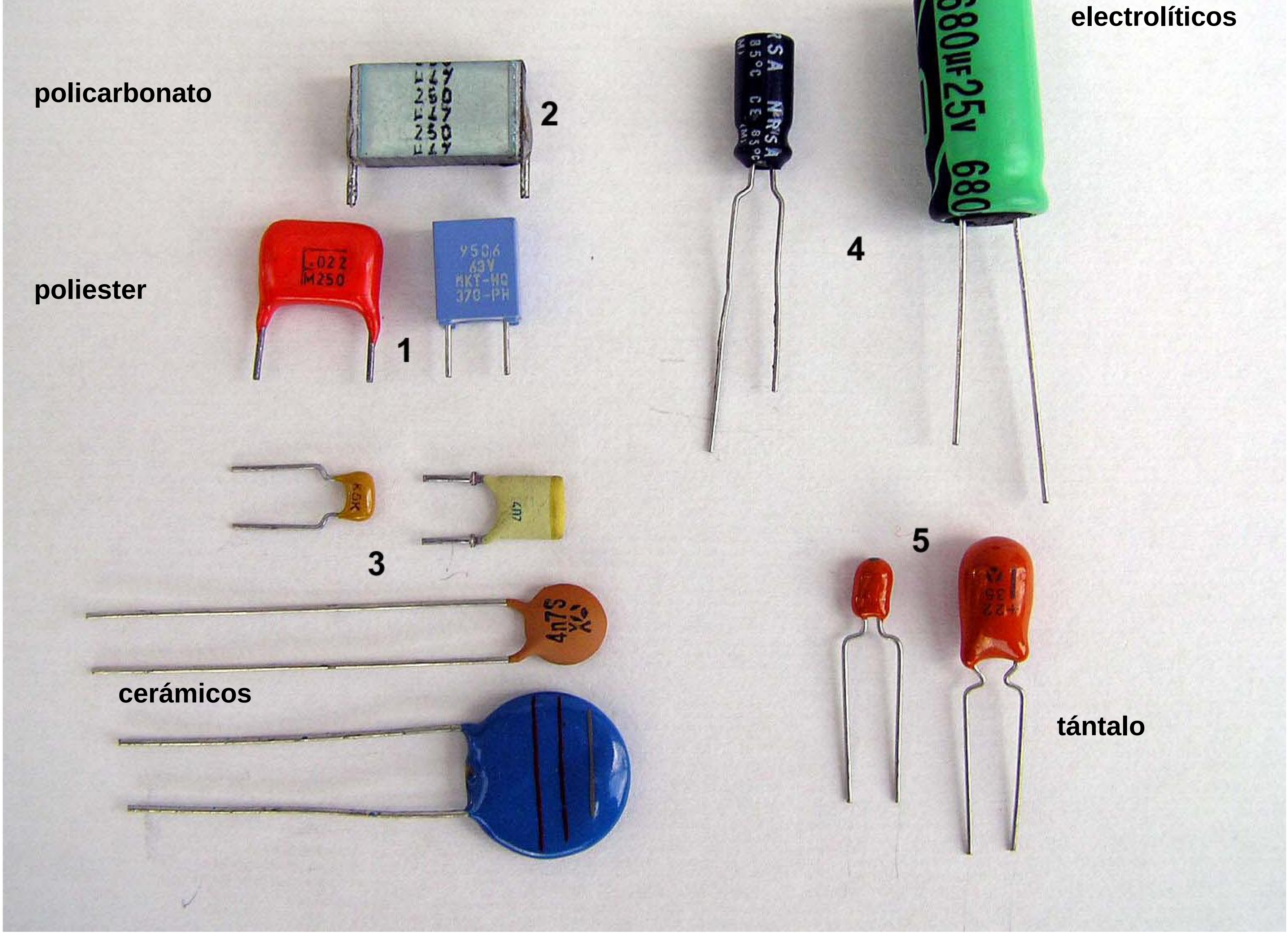
(b)

con dieléctrico el campo interior disminuye

Valores típicos de la constante dieléctrica de algunos materiales

Material	κ	Campo ruptura kV/mm
Aceite de transformador	2.24	12
Aire	1.00059	3
Baquelita	4.9	24
Mica	5.4	10-100
Neopreno	6.9	12
Papel	3.7	16
Parafina	2.1-2.5	10
Plexiglás	3.4	40
Poliestireno	2.55	24
Porcelana	7	5.7
Vidrio (Pyrex)	5.6	14

Algunos tipos de condensador



Tema 9. Corriente eléctrica

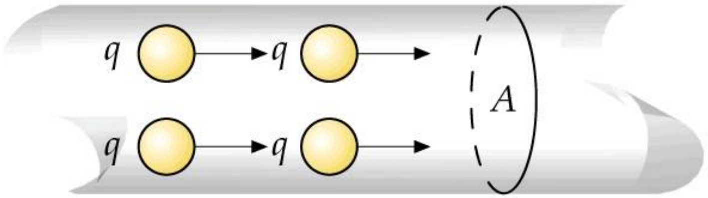
-En un campo *electrostático*, las cargas libres de un conductor se reordenan de modo que en el interior del conductor el campo sea *nulo*. Ese proceso tiene lugar casi instantáneamente y después las cargas quedan en reposo.

-Si ***con una fuente de energía*** se mantiene un campo no-nulo *E*, aparece una fuerza sobre cada carga *q* de valor $\vec{F} = q\vec{E}$ a la que llamamos *fuerza de arrastre.*

El movimiento de cada partícula cargada **en un conductor** no es libre: colisiona continuamente con las partículas fijas del conductor, a las que comunica buena parte de su energía cinética, haciéndoles vibrar (las calienta) y vuelve a acelerar por la fuerza de arrastre.

La ***intensidad de corriente*** eléctrica a través de un área en un conductor se define como *la carga neta que fluye a través de dicha área por unidad de tiempo.* Es una magnitud escalar.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$



Conductividad y resistividad. ***Ley de Ohm***

La densidad de corriente J depende del campo E y de las propiedades del material. Para *muchos* materiales, particularmente los metales, se observa que **son proporcionales.**

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

La constante σ es la ***conductividad***, que depende del material. Esta **ley**, que no es universal, pero es un modelo válido en muchos casos, es debida a **Ohm**.

La inversa de la conductividad es la **resistividad** ρ

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \qquad \vec{J} = \frac{\vec{E}}{\rho}$$

En los metales, **ρ depende de la temperatura** aproximadamente como

$$\rho = \rho_0[1+\alpha(T-T_0)]$$

Donde T es la temperatura y ρ_0 es la resistividad a la temperatura de referencia T_0.
α se llama *coeficiente de temperatura de la resistividad*.

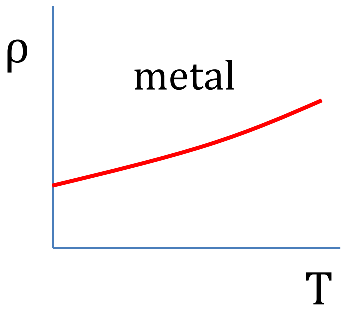
Conductividad σ de algunos materiales conductores

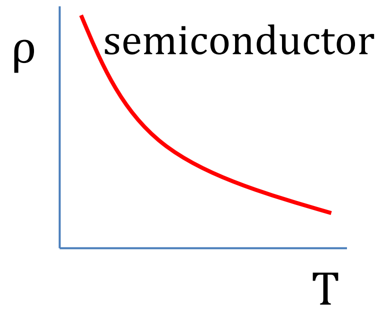
Las unidades son siemens/m = $\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$. Su inversa es la resistividad ρ ($\Omega\cdot m$)

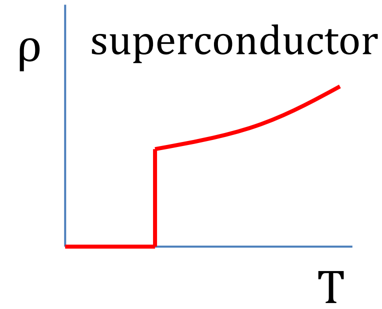
Conductores	Conductividad Eléctrica ($S\cdot m^{-1}$)	Temperatura(°C)
Grafeno	$9{,}60 \times 10^{7}$	20
Plata	$6{,}30 \times 10^{7}$	20
Cobre	$5{,}96 \times 10^{7}$	20
Cobre Recocido	$5{,}80 \times 10^{7}$	20
Oro	$4{,}55 \times 10^{7}$	20-25
Aluminio	$3{,}78 \times 10^{7}$	20
Wolframio	$1{,}82 \times 10^{7}$	
Hierro	$1{,}53 \times 10^{7}$	

El mejor conductor que se conoce a temperatura ambiente es el grafeno (nanotubos de carbono)

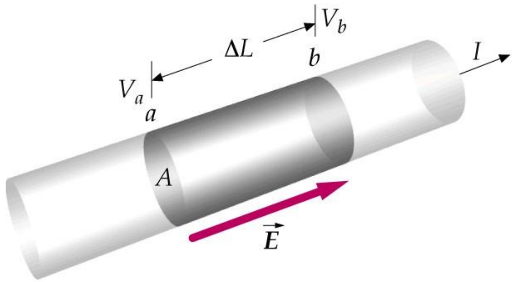
Tres comportamientos típicos:







Los materiales en los que ρ es "constante" (no depende de *E)* se llaman ***óhmicos***.
Si consideramos un trozo de conductor de longitud ΔL y sección A por el que circula una corriente I.



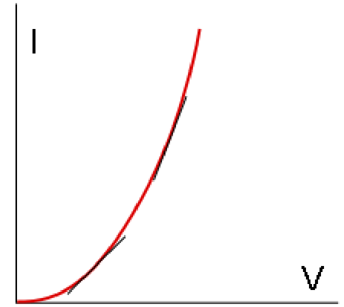
Si E es uniforme, la diferencia de potencial será

$$V_b - V_a = -E \cdot \Delta L \qquad \text{pero} \qquad \vec{J} = \frac{\vec{E}}{\rho} \qquad E = J\rho = \frac{I\rho}{A}$$

$$V_a - V_b = \rho \frac{\Delta L}{A} I \qquad \text{O bien} \qquad \boxed{\Delta V = RI} \qquad \text{con} \qquad \boxed{R = \rho \frac{\Delta L}{A}}$$

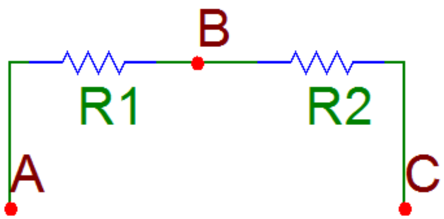
La relación entre la corriente y la diferencia de potencial es la forma elemental de la **Ley de Ohm.**

En materiales no óhmicos, por ejemplo semiconductores, la relación entre ΔV e I no es lineal , pero se puede definir una *resistencia dinámica* como la inversa de la pendiente de la curva característica I-V en cada punto



Asociación de resistencias

serie

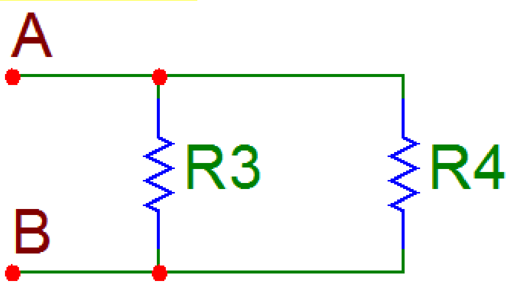


La **corriente I es la misma** en las dos resistencias **en serie**

$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC} = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) = IR_s$$

La resistencia equivalente es $R_s = R_1 + R_2$

paralelo



En este caso **es común a ambas la caída de tensión** V_{AB}

$$I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3} \qquad I_4 = \frac{V_{AB}}{R_4}$$

$$I = I_3 + I_4 = V_{AB}\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right) = \frac{V_{AB}}{R_p}$$

La resistencia equivalente paralelo R_p cumple

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{R_3 + R_4}{R_3 R_4}$$

La inversa es la suma de las inversas

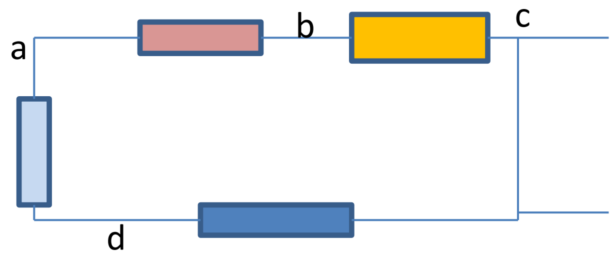
Cuando son solo dos, la resistencia paralelo es, pues, el producto partido por la suma

$$R_p = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

Reglas de Kirchhoff

1- Al recorrer una malla cerrada, la suma de las caídas de tensión (o diferencias de potencial) en los elementos debe ser nula.

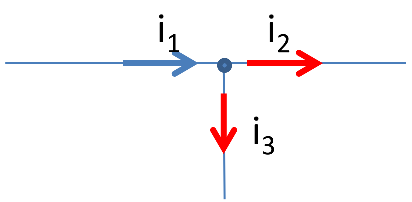
Es claro que $(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + \ldots + (V_K - V_A) = 0$. Esto es consecuencia de que el campo eléctrico es conservativo: el cambio de potencial en un recorrido cerrado es nulo.



$$V_a - V_b + V_b - V_c + V_c - V_d + V_d - V_a = 0$$

2- La suma algebraica de las corrientes que concurren en un nudo debe ser nula.

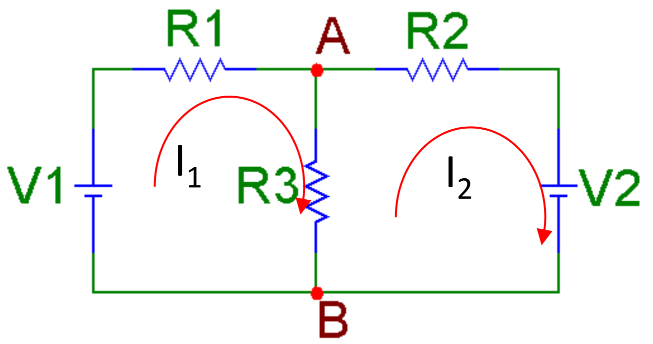
Ya que la carga no se acumula en un nudo, la carga que entra debe ser igual a la que sale por unidad de tiempo: es decir la corriente que entra es igual a la que sale.



$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

Con estas reglas y la Ley de Ohm, se pueden resolver las incógnitas en los circuitos

Resolución de circuítos



Analizamos este circuito de dos mallas. Considerando el nudo A, es claro que la corriente que pasa por R3 debe ser $I_3=I_1-I_2$. Recorriendo las mallas en el sentido asignado a las corrientes, por la 1ª regla de K.,

$$-V_1 + I_1R_1 + (I_1 - I_2)R_3 = 0$$

$$V_2 + I_2R_2 - (I_1 - I_2)R_3 = 0$$

con $\quad (I_1 - I_2)R_3 = V_{AB}$

Reordenando las ecuaciones,

$$I_1(R_1 + R_3) - I_2R_3 = V_1$$
$$-I_1R_3 + I_2(R_2+R_3) = -V_2$$

Se puede escribir en forma matricial como

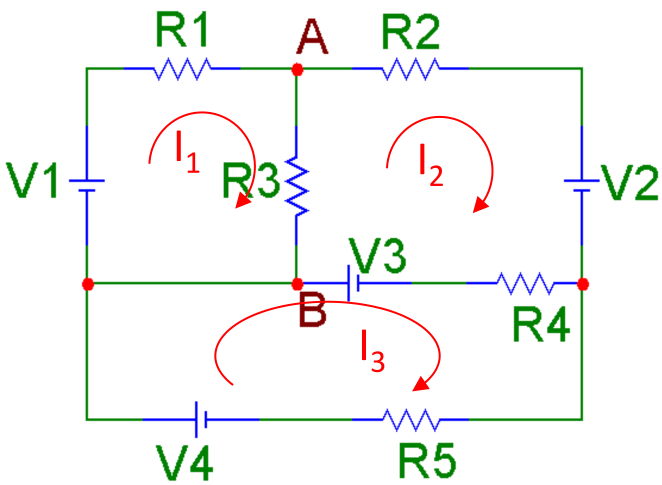
$$\begin{pmatrix} R_1 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_2 + R_3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1 \\ -V_2 \end{pmatrix}$$

Los elementos de la matriz R son:
-elementos ii : suma de las resistencias en la malla i (comunes y no-comunes)
-elementos ij : resistencias comunes a las mallas i y j con signo negativo

Los de la matriz V: voltajes en cada malla con signo + si la corriente le sale por el polo +, negativo en caso contrario *(los voltajes están en la derecha de la ecuación, por eso el signo es contrario al seguido en la primera regla*).

Este ***método de las mallas*** nos sirve también para 3 o más mallas.

Otro ejemplo:



$$\begin{pmatrix} R_1+R_3 & -R_3 & 0 \\ -R_3 & R_2+R_3+R_4 & -R_4 \\ 0 & -R_4 & R_4+R_5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1 \\ -V_2+V_3 \\ V_4-V_3 \end{pmatrix}$$

Falta resolver ese sistema para las intensidades (o para las incógnitas que haya).

Por supuesto, la corriente real que pasa por las ramas compartidas es la diferencia entre la de las mallas que la comparten: por R3 pasa I_1-I_2 en el sentido de I_1 y por R4 pasa I_2-I_3 en el sentido de I_2 (si el valor sale negativo, será en realidad el sentido contrario).