



El campo electrostático

F II

La carga eléctrica. Ley de Coulomb

Campo eléctrico. Teorema de Gauss

Potencial eléctrico. Energía potencial

El dipolo eléctrico

Conductores y dieléctricos

Polarización. Vector desplazamiento

Capacidad y energía electrostática

Corriente eléctrica. Ley de Ohm. Circuitos



La carga eléctrica

Localización en la materia

Fluido eléctrico (+) y (-)

Paralelismo con masa gravitatoria

Descubrimiento electrón

J. J. Thomson (1897)

Descubrimiento núcleo atómico

E. Rutherford (1911)

UCM



La carga eléctrica

F II

Localización en la materia

Electrones (-) y protones (+)

Cuantificación

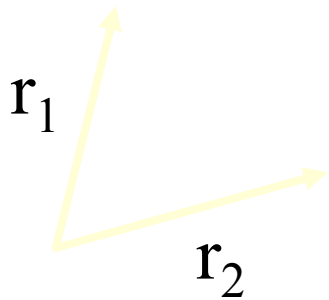
R. A. Millikan (1913)

Conservación



Ley de Coulomb (1785)

Ley experimental entre cargas puntuales



$$\mathbf{F}_{2,1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^3} (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

UCM



Principio de superposición

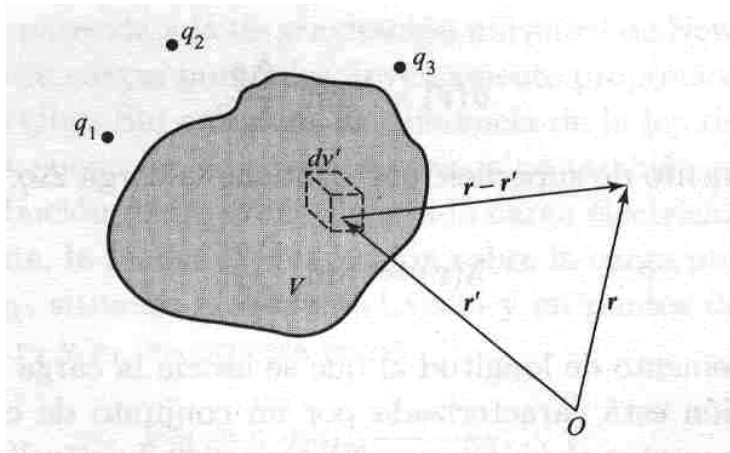
F II

- Insuficiencia ley entre cargas puntuales
- Consecuencia linealidad
- Generalización a distribuciones continuas



Campo eléctrico

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$$

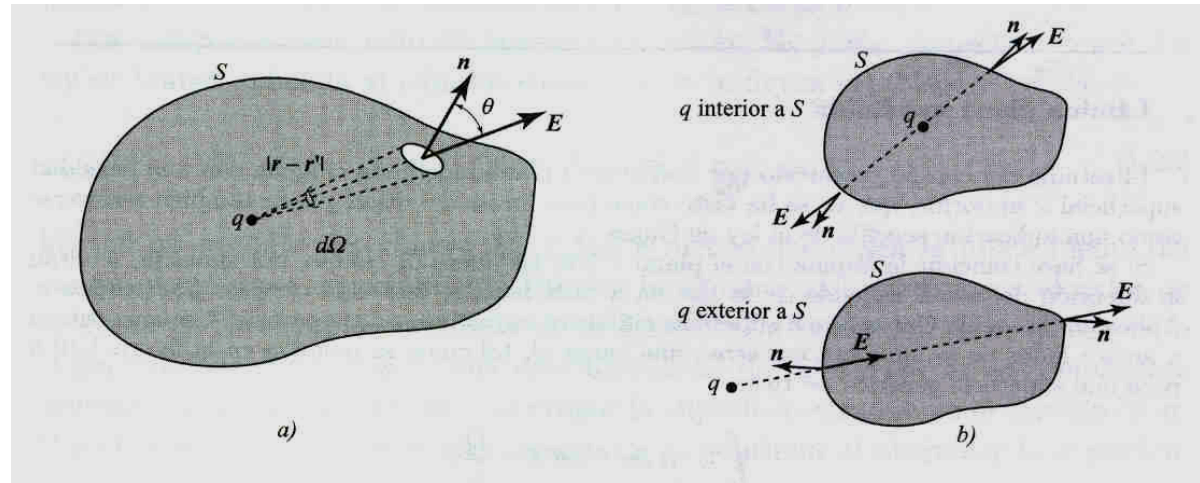


$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\sum \frac{q_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|^3} (\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) + \int \frac{\lambda d\mathbf{l}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} (\mathbf{r} - \mathbf{r}') \right] +$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\int \frac{\sigma da'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} (\mathbf{r} - \mathbf{r}') + \int \frac{\rho dv'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} (\mathbf{r} - \mathbf{r}') \right]$$



Teorema de Gauss

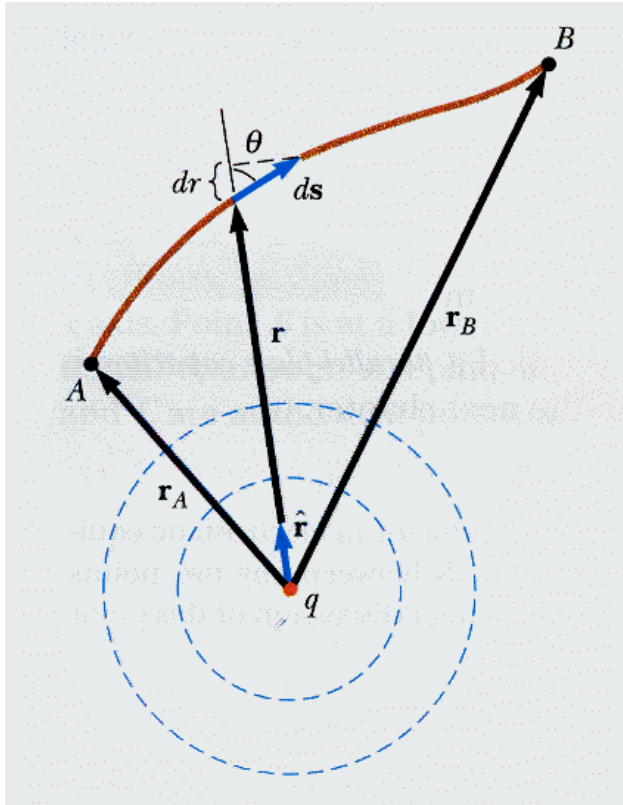


$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} da = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_S \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \cdot \mathbf{n} da = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \oint_S d\Omega = \frac{q}{\epsilon_0}$$



Potencial eléctrico

F II



$$-\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right] = V_B - V_A$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

El campo eléctrico es conservativo



Relación entre el campo y el potencial

F II

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz = -\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -(E_x dx + E_y dy + E_z dz)$$

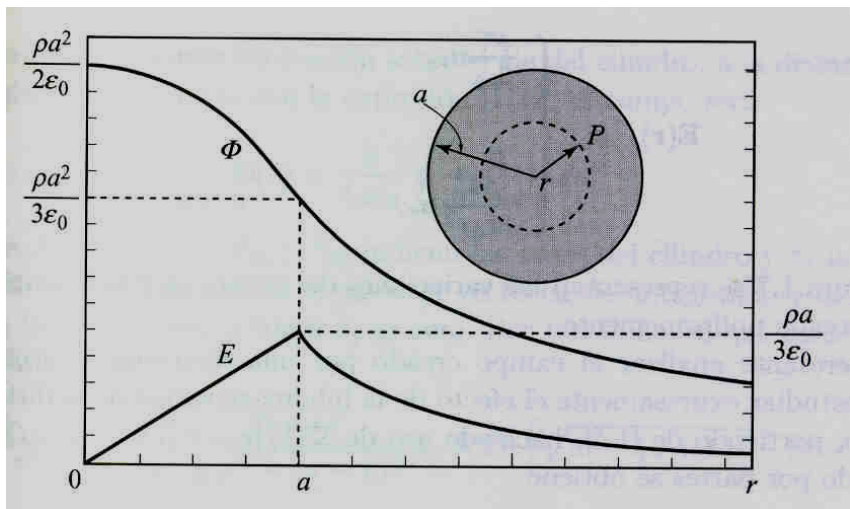
$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}; \mathbf{E} = -\nabla V$$

El campo es menos el gradiente del potencial

Cálculo de campos



F II Esfera uniformemente cargada



$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \mathbf{u}_r, r < a \\ \frac{\rho a^3}{3\epsilon_0 r^2} \mathbf{u}_r, r > a \end{cases}$$

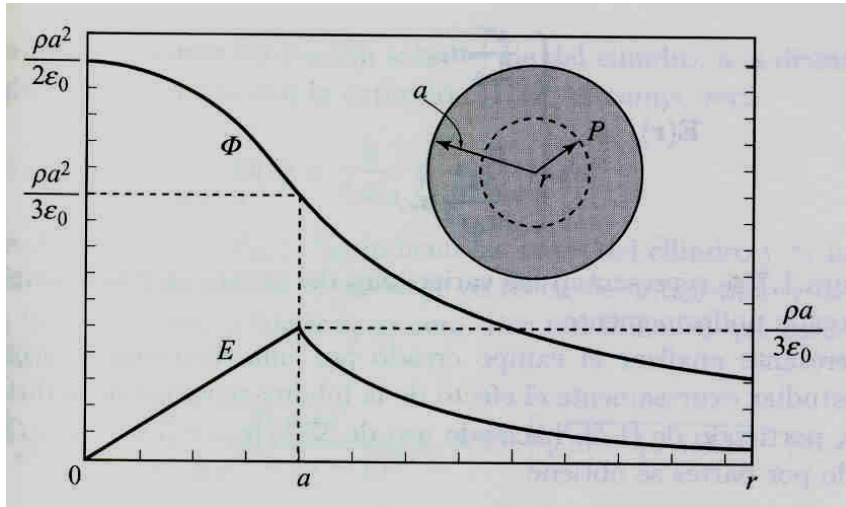
$$\Phi(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{\rho}{\epsilon_0} \left(\frac{a^2}{2} - \frac{r^2}{6} \right), r < a \\ \frac{\rho a^3}{3\epsilon_0 r}, r > a \end{cases}$$



Cálculo de potenciales

F II Esfera uniformemente cargada

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \mathbf{u}_r, r < a \\ \frac{\rho a^3}{3\epsilon_0 r^2} \mathbf{u}_r, r > a \end{cases}$$



$$\Phi(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{\rho}{\epsilon_0} \left(\frac{a^2}{2} - \frac{r^2}{6} \right), r < a \\ \frac{\rho a^3}{3\epsilon_0 r}, r > a \end{cases}$$

UCM



Representaciones gráficas

F II

Información cualitativa y cuantitativa de los campos

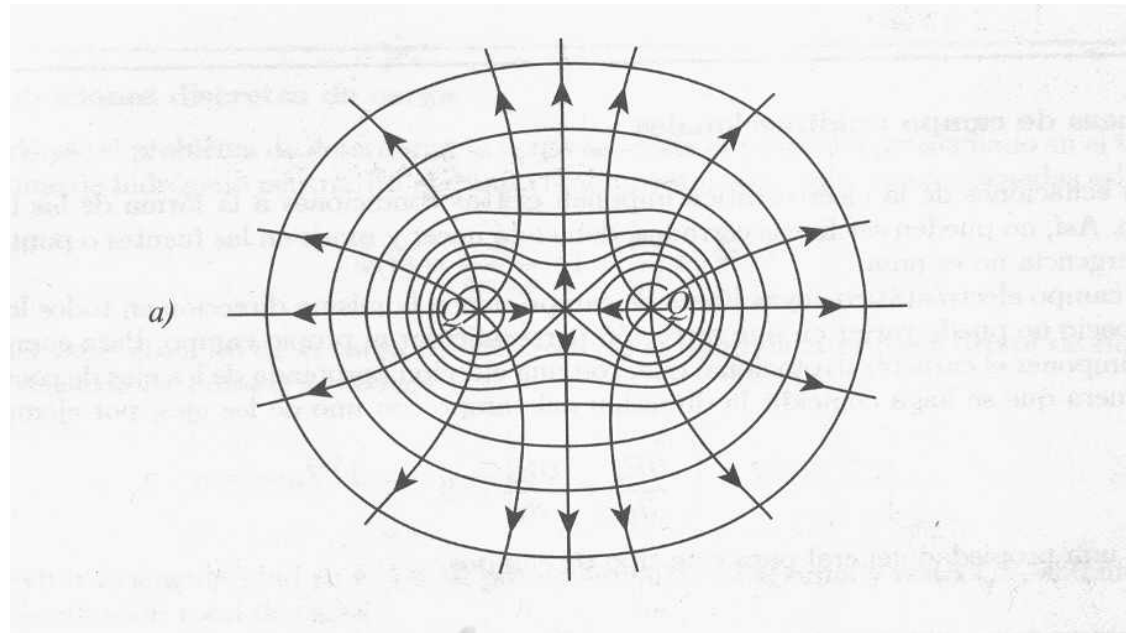
Información cualitativa y cuantitativa de potenciales y campos



Representaciones gráficas

F II

Dos cargas puntuales iguales



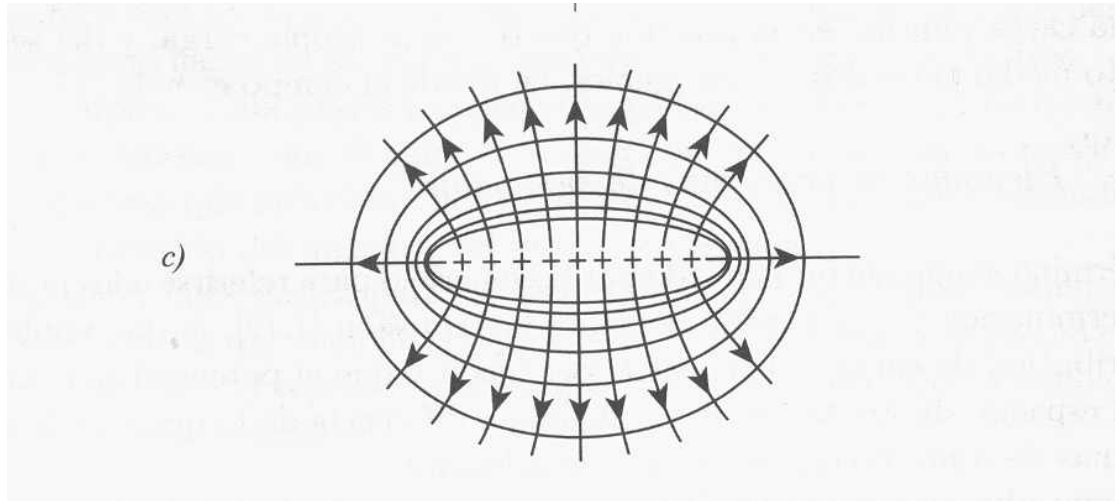
Equipotenciales y líneas de campo



Representaciones gráficas

F II

Línea cargada uniformemente



Equipotenciales y líneas de campo



Formulación integral del campo eléctrico

F II

1ª Ecuación

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

**Propiedad intrínseca del campo: conservativo
Fuerza central**

2ª Ecuación

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} da = \frac{q}{\epsilon_0}$$

**Relación campo-fuentes
Ley inversa cuadrado de la distancia**



Energía potencial eléctrica

F II

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

.

$$\int_A^B q' \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = q'(V_A - V_B) = U_A - U_B$$

$$U = qV$$



Energía potencial eléctrica

F II

▪

$$U = \sum_i \frac{1}{2} q_i V_i + \frac{1}{2} \int_L \lambda V dl + \frac{1}{2} \int_A \sigma V da + \frac{1}{2} \int_V \rho V dv$$

Energía localizada en las cargas



Conductores en equilibrio electrostático

F II

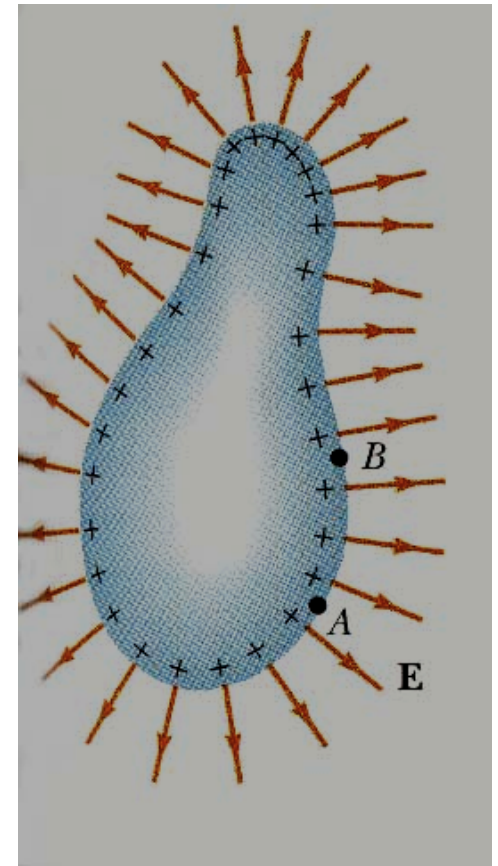
Campo nulo en su interior

Carga neta sobre superficie

Volumen equipotencial

Campo en sus proximidades

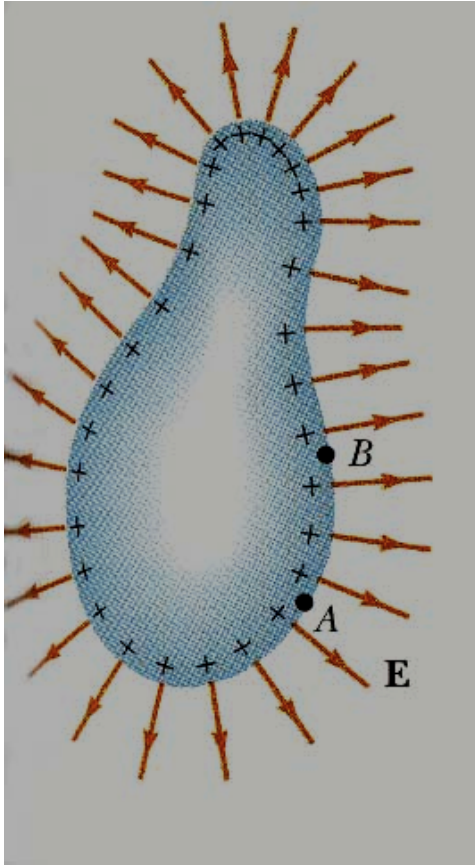
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$



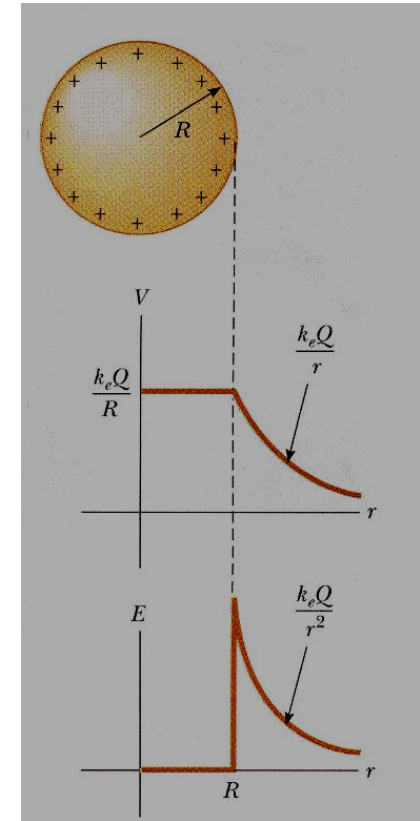


Conductores

F II



Conductor arbitrario



Esfera conductora



Capacida y energía

F II

Capacidad de un conductor

Esfera de radio a

$$C = \frac{q}{V} = 4\pi\epsilon_0 a$$

Capacidad de un condensador: dos conductores con

+Q y -Q a los potenciales V y 0

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

Energía de un condensador

$$U = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

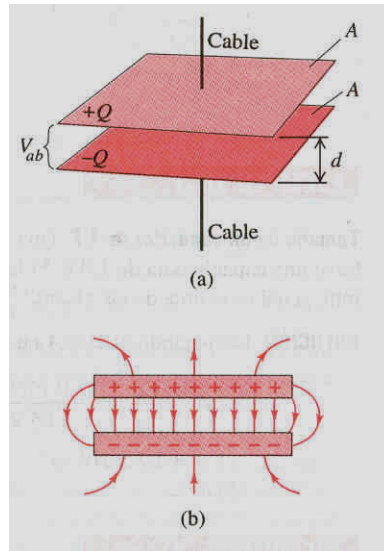
Energía “localizada” en las cargas



Condensadores

F II

Plano



$$V = Ed = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\sigma S}{V} = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{A}{d} E^2 d^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 Ad$$

$$w = \text{densidad volúmica de energía} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

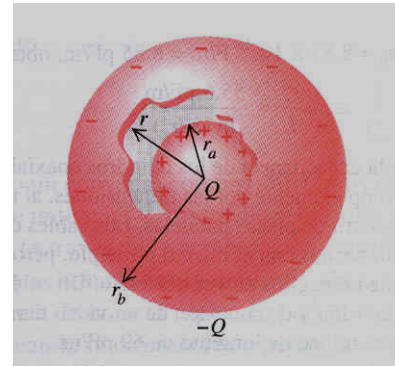
Energía localizada en el campo



Condensadores

F II

Esférico



$$V = \int_a^b \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

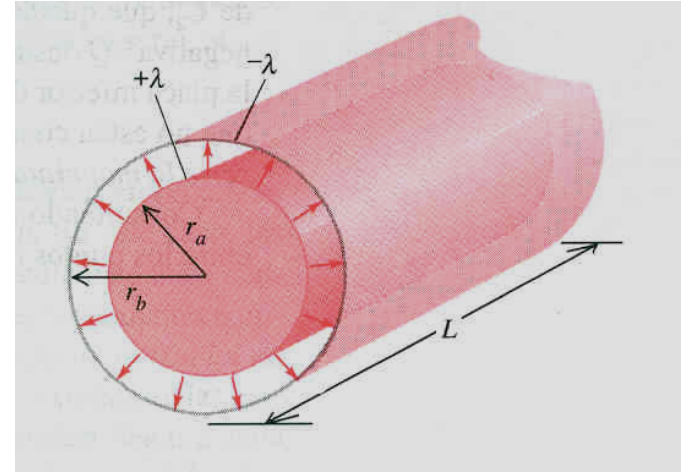
$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a}$$



Condensadores

F II

Cilíndrico



$$V = \int_a^b \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{b}{a}$$

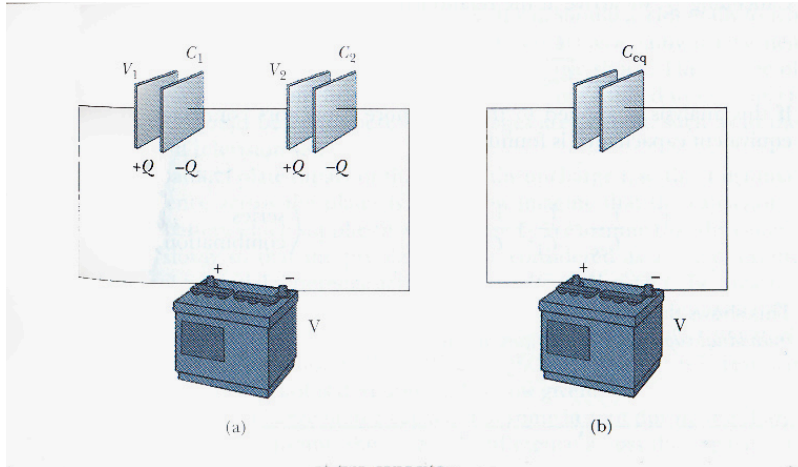
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\lambda l}{V} = 2\pi\epsilon_0 \frac{l}{\ln \frac{b}{a}}$$



Asociación de condensadores

F II

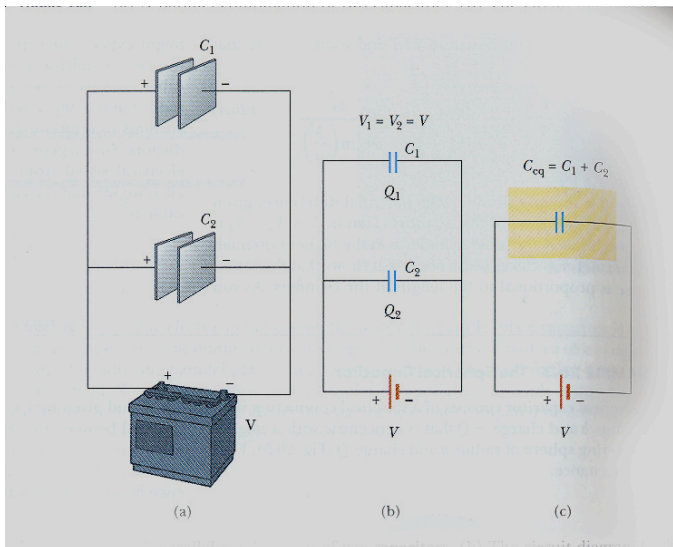
➤ Serie



Comparten carga

Distribuyen tensión

➤ Paralelo



Comparten tensión

Distribuyen carga



Asociación de condensadores

F II

➤ Serie

$$\frac{1}{C_T} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

➤ Comparten carga

➤ Distribuyen tensión

➤ Paralelo

$$C_T = \sum_i C_i$$

➤ Comparten tensión

➤ Distribuyen carga



Movimiento de cargas en un campo eléctrico

F II

Típico problema de dinámica

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m} = \frac{q}{m} \mathbf{E}$$

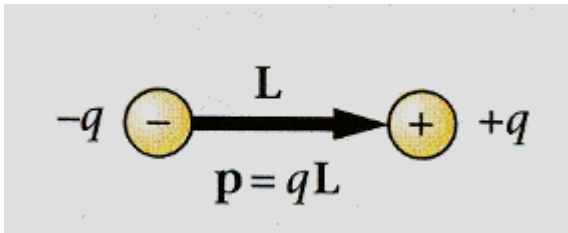
Leyes de conservación

$$qV_A = qV_B + \frac{1}{2}mv^2$$

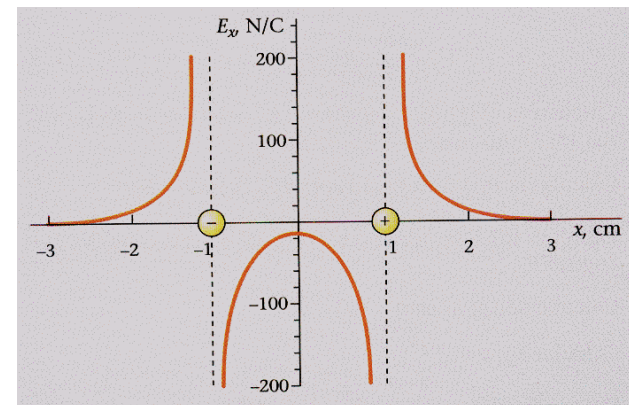
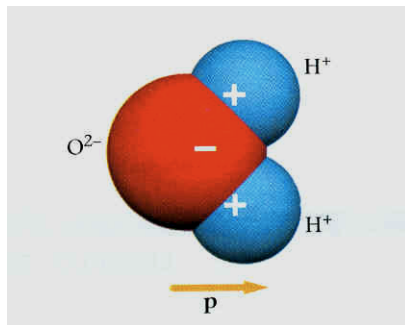


El dipolo eléctrico

Campo y potencial de un dipolo



$$V \propto \frac{p}{r^2}, \quad E \propto \frac{p}{r^3}$$

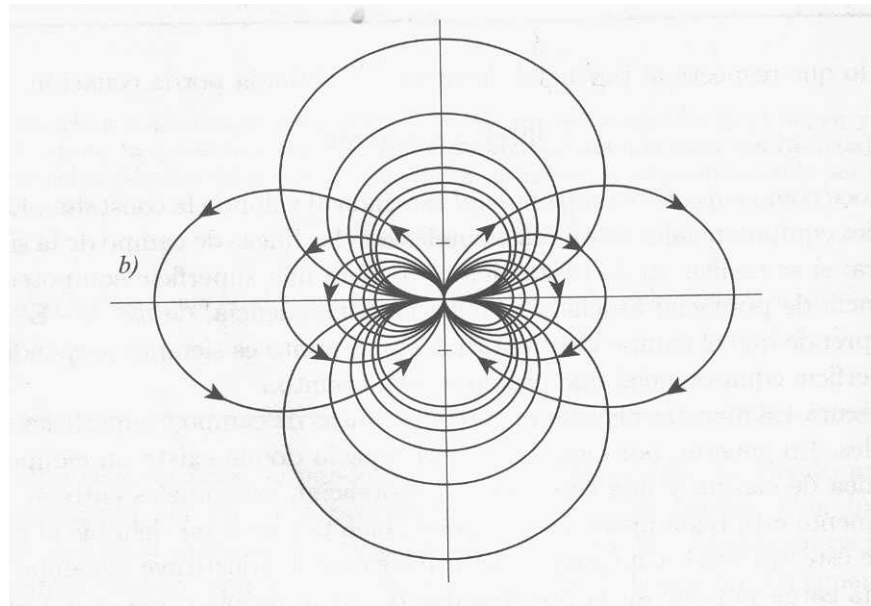




Representaciones gráficas

F II

Dipolo puntual

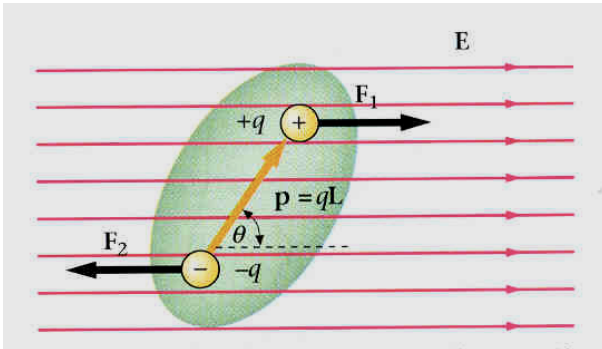


Equipotenciales y líneas de campo



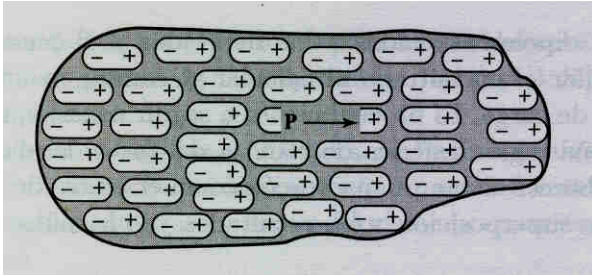
El dipolo eléctrico

Interacción campo-dipolo



$$\boldsymbol{\Gamma} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$$

$$U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E} = -pE \cos \theta$$



$$\mathbf{p} = \alpha \mathbf{E}$$

$$\mathbf{P} = \frac{d\mathbf{p}}{dv} = \epsilon_0 \chi_e \mathbf{E}$$

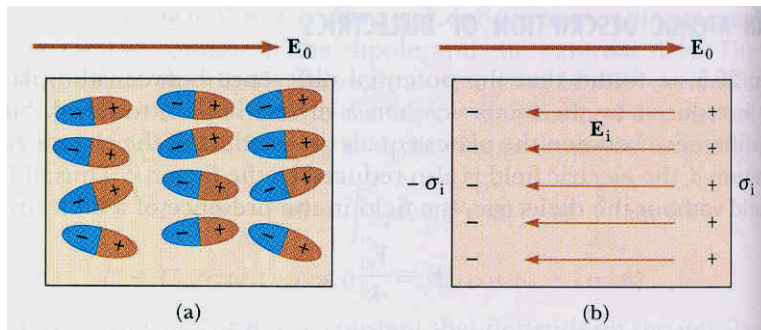
Dieléctricos

- Estructura atómica-molecular de la materia
 - Centros carga positiva y negativa
- El dipolo eléctrico como ente puntual en aislantes
- Respuesta de un dieléctrico a un campo \mathbf{E} . Polarizabilidad α
- Vector polarización \mathbf{P}
- Susceptibilidad eléctrica χ_e



Extensión del vacío a dieléctricos

F II Condensador plano-paralelo



- Dato experimental: $C_0 \Rightarrow \epsilon_r C_0$
- Equivalencia en carga al estado de polarización

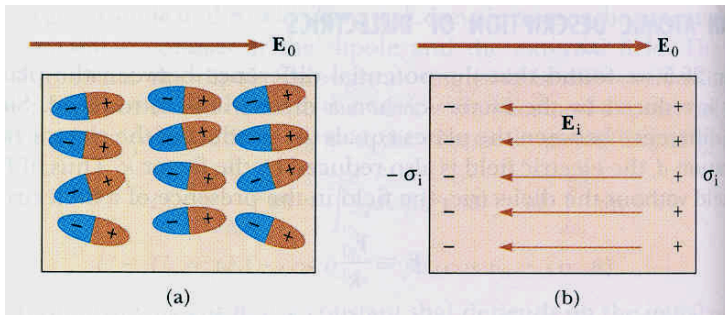
$$\sigma_P = \mathbf{P} \cdot \mathbf{n}, \quad E = \frac{\sigma + \sigma_P}{\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0(1 + \chi_e)} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{E_0}{\epsilon_r}$$

$$\epsilon_r = 1 + \chi_e, \text{ permitividad relativa} \quad \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r, \text{ permitividad absoluta}$$

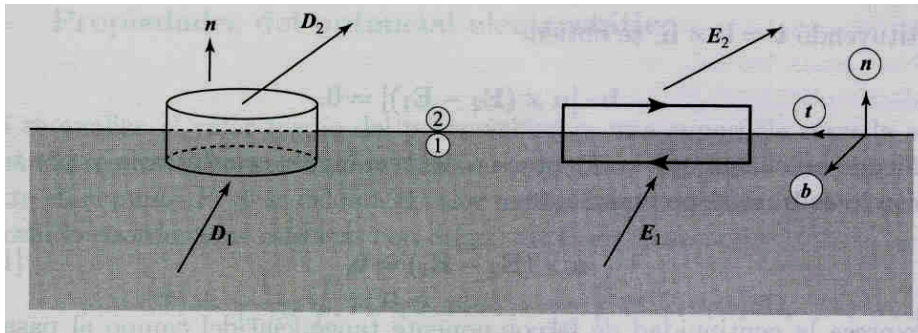


Fronteras entre dieléctricos

F II



$$\mathbf{P} = \frac{d\mathbf{p}}{dv} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}, \quad \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} = \sigma \mathbf{n}$$



$$\mathbf{n} \cdot (\mathbf{D}_2 - \mathbf{D}_1) = \sigma,$$

$$\mathbf{t} \cdot (\mathbf{E}_2 - \mathbf{E}_1) = 0$$



Corriente eléctrica

Densidad de corriente \mathbf{j} . Ley de Ohm

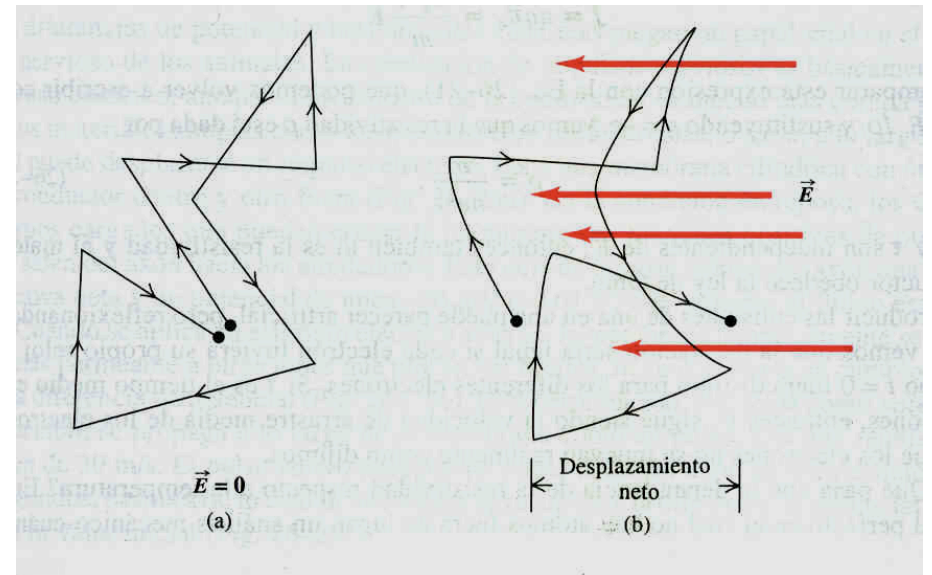
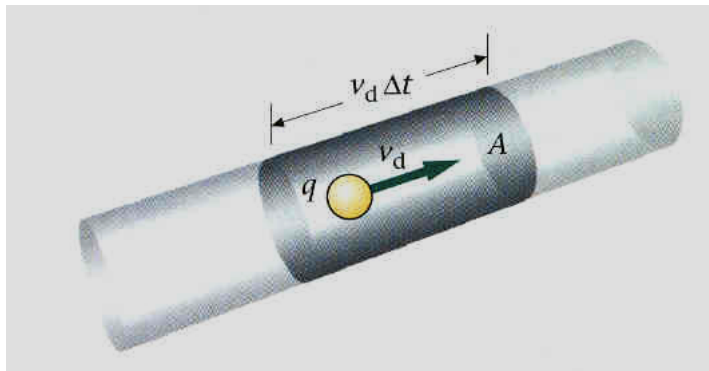
$$\mathbf{j} = nq\mathbf{v}_d = \sigma\mathbf{E}$$

Intensidad de corriente I

$$I = \int_A \mathbf{j} \cdot \mathbf{n} da$$



Corriente eléctrica

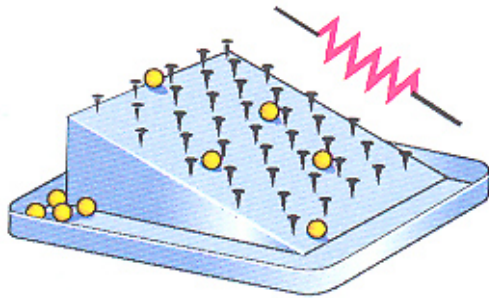




Fuerza electromotriz

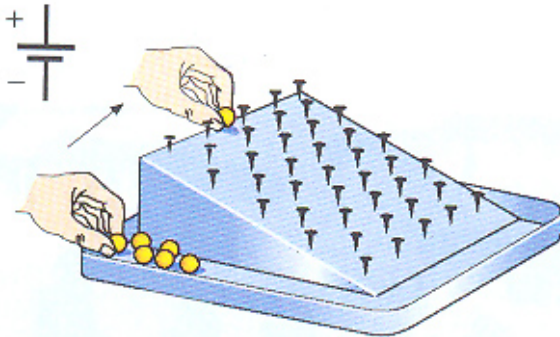
F II

Analogía mecánica R y \mathcal{E}



(a)

Resistencia



(b)

Fuerza electromotriz



Corriente eléctrica

Fuerza electromotriz

$$\mathcal{E} = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

Resistencia de una barra conductora

$$\Delta V = RI, \text{ con } R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{A}$$

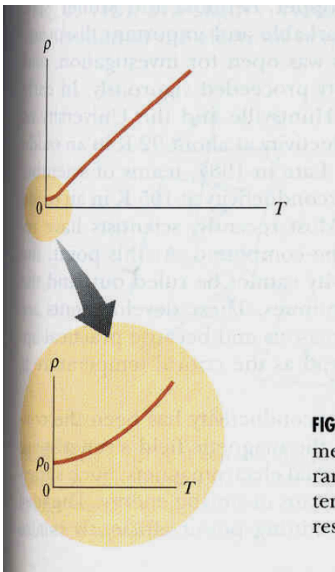
Ley de Ohm macroscópica



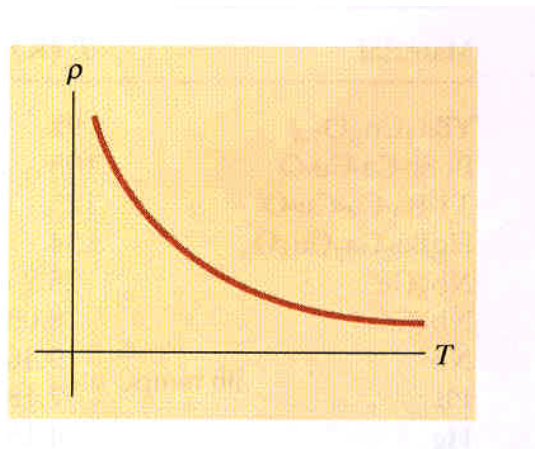
Comportamiento con la temperatura

F II

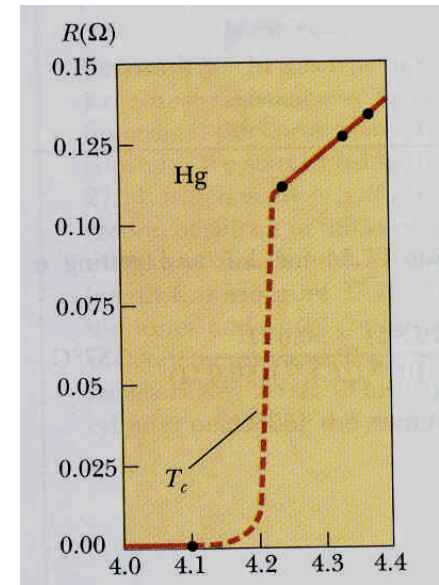
$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$



Conductor



Semiconductor



Superconductor

Propiedades eléctricas



F II

Configuración electrónica

Estructura cristalina

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Table of Selected Radioactive Isotopes

Table of Selected Radioactive Isotopes																	
Selected Radioactive Isotopes																	
Naturally occurring radioactive isotopes are designated by a mass number in blue (although some are also manufactured). Letter in parentheses indicates an isomer of another isotope of the same mass number. Half-lives follow in parentheses, where a, min, h, d, and y stand respectively for seconds, minutes, hours, days, and years. The table includes only the longer-lived radioactive isotopes; many others have been prepared isotopes known to be radioactive but with half-lives exceeding 10 ¹⁰ y have not been included. Symbols describe the principal mode for modes of decay are as follows (these processes are generally accompanied by gamma radiation):																	
a alpha particle emission b beta particle (electron) emission p positron emission EC orbital electron capture IT isomeric transition from upper to lower isomeric state or spontaneous fission																	
I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX	
GROUP IA		IIA		IIIA		IVA		VA		VIA		VIIA		VIIIA		IIB	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

The A & B subgroup designations, applicable to elements in rows 4, 5, 6, and 7, are those recommended by the International Union of Pure and Applied Chemistry. It should be noted that some authors and organizations use the opposite convention in distinguishing these subgroups.

* Estimated Values

ATOMIC NUMBER	ATOMIC WEIGHT (2)	BOILING POINT, K	MELTING POINT, K	DENSITY at 300K (3) (g/cm ³)	KEY	SYMBOL (1)	NAME	OXIDATION STATES (Bold most stable)	ELECTRON CONFIGURATION
30	65.38	1180	692.73	7.14	★	Zn	Zinc	+2	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²
58	140.12	3071	1099	8.70	★	Ce	Cerium	+3, +4	[Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ²
59	140.907	3275	1204	8.77	★	Pr	Praseodymium	+3	[Xe]4f ³ 6s ²
60	144.24	3241	1280	7.00	★	Nd	Neodymium	+3, +4	[Xe]4f ⁴ 6s ²
61	140.907	3785	1262	6.475	★	Pm	Promethium	+3	[Xe]4f ⁵ 6s ²
62	150.4	2064	1280	7.54	★	Sm	Samarium	+2, +3	[Xe]4f ⁶ 6s ²
63	151.96	1670	1280	5.93	★	Eu	Europium	+2, +3	[Xe]4f ⁷ 6s ²
64	157.25	939	1025	7.89	★	Gd	Gadolinium	+2, +3	[Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ²
65	158.9254	2490	1280	8.27	★	Tb	Terbium	+3	[Xe]4f ⁹ 6s ²
66	162.50	2295	1280	8.54	★	Dy	Dysprosium	+2, +3	[Xe]4f ¹⁰ 6s ²
67	164.9303	2268	1280	8.80	★	Ho	Holmium	+3	[Xe]4f ¹¹ 6s ²
68	167.26	2220	1280	9.04	★	Er	Erbium	+2, +3	[Xe]4f ¹² 6s ²
69	168.9348	2220	1280	9.2	★	Tm	Thulium	+2, +3	[Xe]4f ¹³ 6s ²
70	173.04	1467	1097	9.51	★	Yb	Ytterbium	+2, +3	[Xe]4f ¹⁴ 6s ²
71	174.967	3068	1204	9.59	★	Lu	Lutetium	+3	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²
90	232.0381	5001	2020	11.7	★	Th	Thorium	+3, +4	[Rn]6d ² 7s ²
91	231.0369	4407	1405	15.4	★	Pa	Protactinium	+3, +4	[Rn]5f ² 6d ¹ 7s ²
92	238.0289	5041	1120	19.3	★	U	Uranium	+3, +4	[Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ²
93	237.0482	5041	1120	19.3	★	Np	Neptunium	+3, +4	[Rn]5f ⁴ 6d ¹ 7s ²
94	244	2803	1120	19.3	★	Pu	Plutonium	+3, +4	[Rn]5f ⁶ 7s ²
95	244	2803	1120	19.3	★	Am	Americium	+3, +4	[Rn]5f ⁷ 7s ²
96	244	2803	1120	19.3	★	Cm	Curium	+2, +3	[Rn]5f ⁸ 7s ²
97	247	2803	1120	19.3	★	Bk	Berkelium	+3	[Rn]5f ⁹ 7s ²
98	247	2803	1120	19.3	★	Cf	Californium	+2, +3	[Rn]5f ¹⁰ 7s ²
99	251	2803	1120	19.3	★	Es	Einsteinium	+2, +3	[Rn]5f ¹¹ 7s ²
100	257	2803	1120	19.3	★	Fm	Fermium	+2, +3	[Rn]5f ¹² 7s ²
101	259	2803	1120	19.3	★	Md	Mendelevium	+2, +3	[Rn]5f ¹³ 7s ²
102	259	2803	1120	19.3	★	No	Nobelium	+2, +3	[Rn]5f ¹⁴ 7s ²
103	260	2803	1120	19.3	★	Lr	Lanthanum	+3	[Rn]5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²

NOTES:
 (1) Black — solid; Red — gas; Blue — liquid; Outline — synthetically prepared.
 (2) Based upon carbon-12. (.) indicates most stable or best known isotope.
 (3) Entries marked with asterisks refer to the gaseous state at 273 K and 1 atm and are given in units of g/l.
 * Copyright Sargent-Welch Scientific Company 1978. All Rights Reserved. No portion of this work may be reproduced in any form or by any means without express prior written permission from Sargent-Welch Scientific Company.
 SARGENT-WELCH SCIENTIFIC COMPANY
 7300 NORTH LINDER AVENUE, SKOKIE, ILLINOIS 60077
 Catalog Number S-18806
 Side 1



Relaciones energéticas

F II

**Potencia suministrada
por una batería**

$$P_b = \mathcal{E}I$$

**Potencia disipada por
una resistencia**

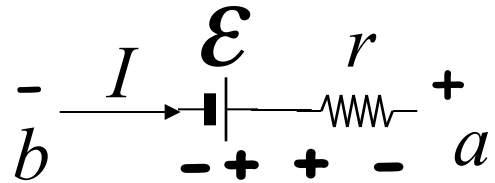
$$P_R = \Delta VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$



Generadores/Motores

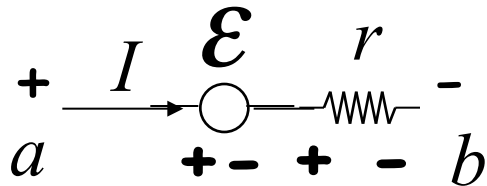
F II

Bateria: energía química \longrightarrow energía eléctrica



$$V_a - V_b = \mathcal{E} - rI$$

Motor: energía eléctrica \longrightarrow energía mecánica

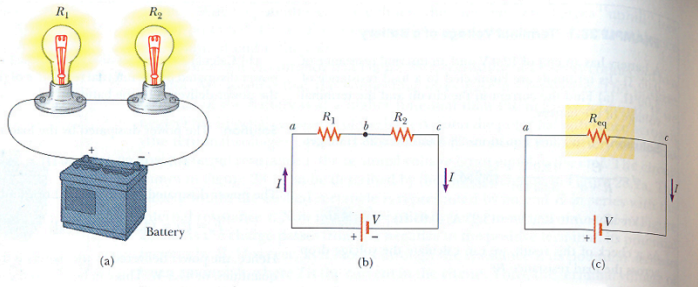


$$V_a - V_b = \mathcal{E} + rI$$



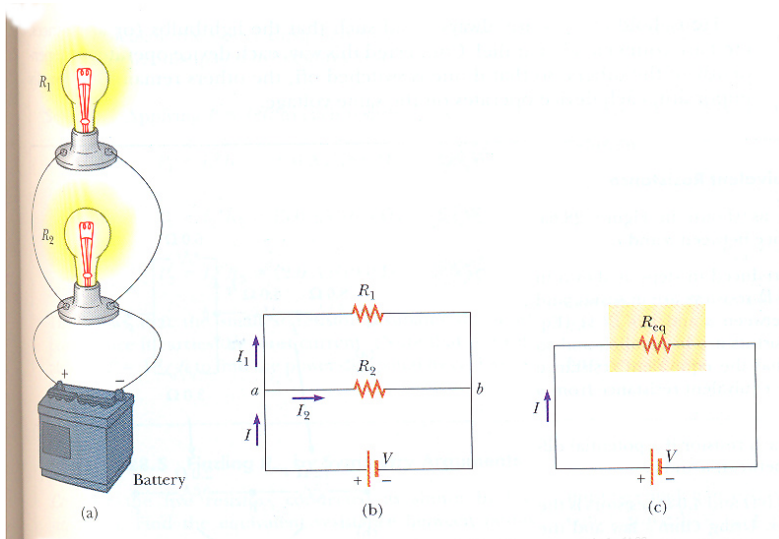
Asociación de resistencias

F II



➤ Serie

- Comparten corriente
- Distribuyen tensión



➤ Paralelo

- Comparten tensión
- Distribuyen corriente



Asociación de resistencias

F II

$$R_T = \sum_i R_i$$

➤ Serie

- Comparten corriente
- Distribuyen tensión

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

➤ Paralelo

- Comparten tensión
- Distribuyen corriente



Circuitos de c.c.

F II

Leyes de Kirchhoff

1ª Ley de los nudos

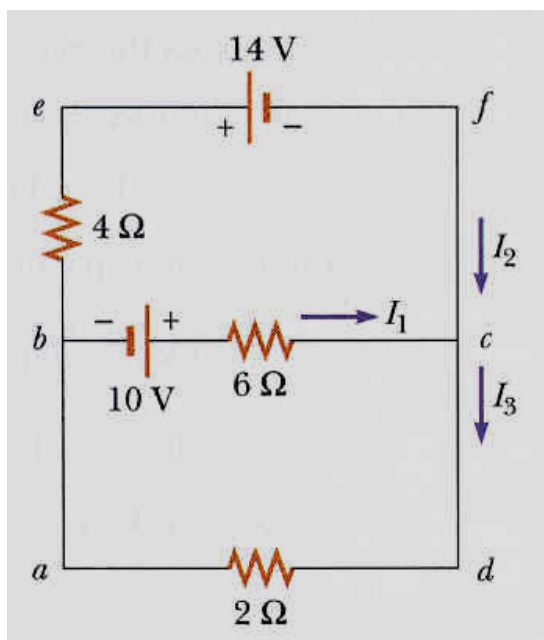
$$\sum_j I_j = 0$$

2ª Ley de las mallas

$$\sum \Delta V = 0$$



Circuitos de c.c.



$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$10 - 6I_1 - 2I_3 = 0$$

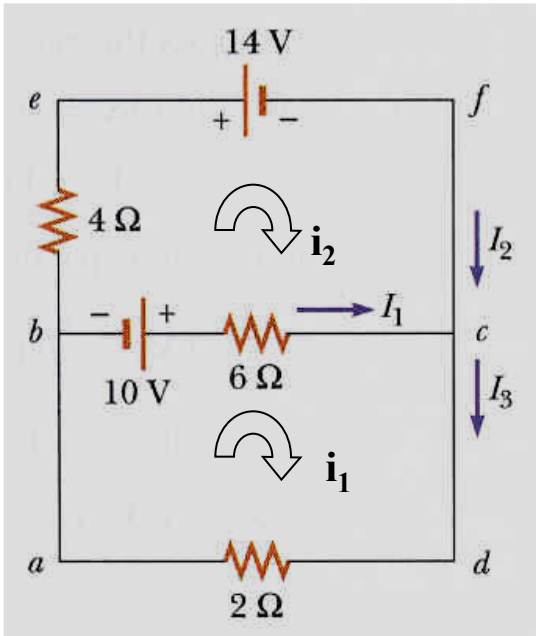
$$-14 - 10 + 6I_1 - 4I_2 = 0$$

$$I_1 = 2A, I_2 = -3A, I_3 = -1A$$



Método de Mallas

F II



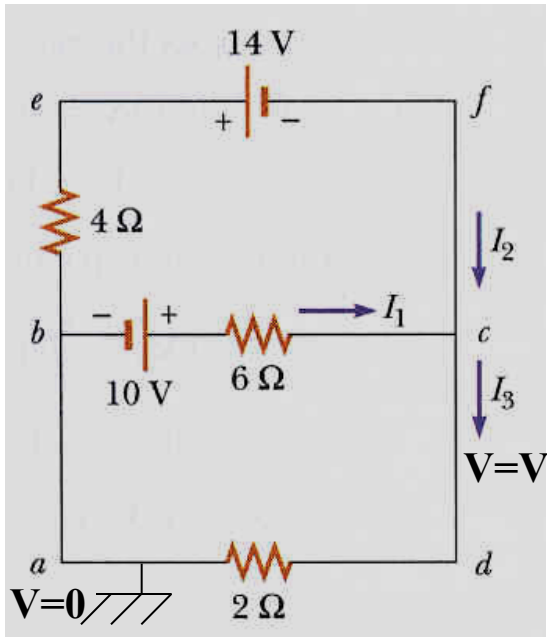
$$10 = 8i_1 - 6i_2$$
$$-24 = -6i_1 + 10i_2$$

$$i_1 = -1A, \quad i_2 = -3A$$



Método de Nudos

F II

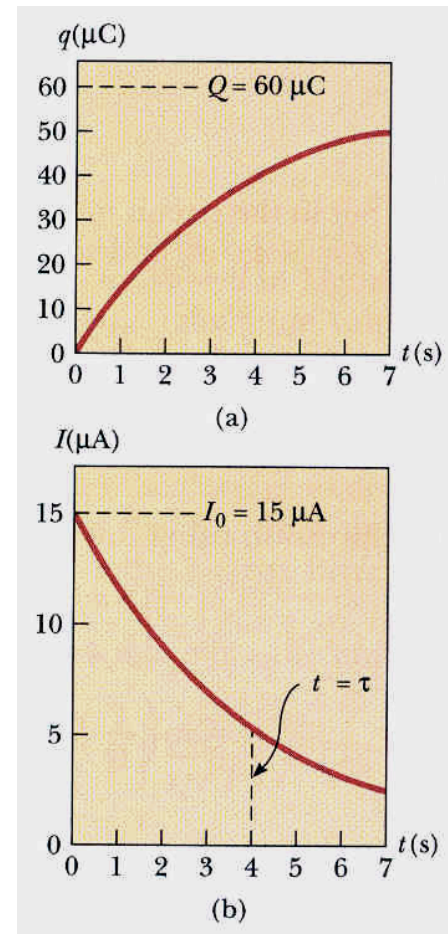
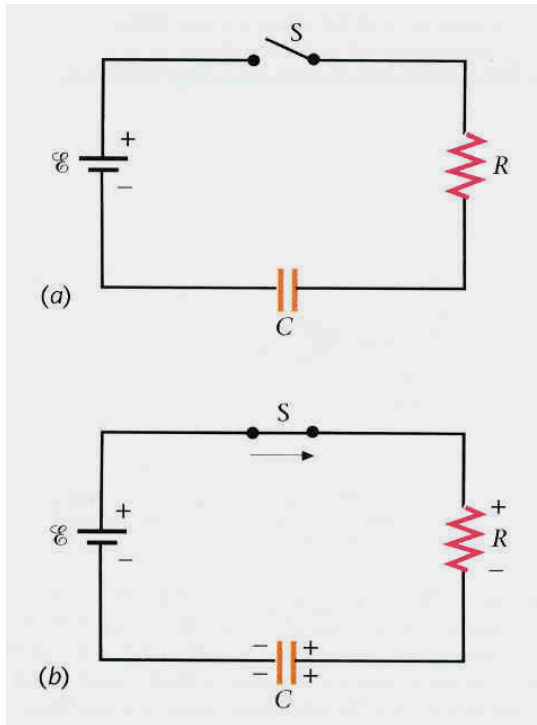


$$\frac{V + 14}{4} + \frac{V - 10}{6} + \frac{V}{2} = 0$$

$$V = -2 \text{ Voltios}$$



Circuitos R-C





Circuitos R-C

FF II

Ley de las mallas

$$\mathcal{E} - \frac{q}{C} - IR = 0, \quad \frac{dq}{dt} + \frac{q}{RC} = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Solución ec. diferencial

$$q(t) = C\mathcal{E}\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC}$$