



# **ELECTROSTÁTICA Y CORRIENTE ELÉCTRICA.-Tema 4**

**CURSO 2009-2010**

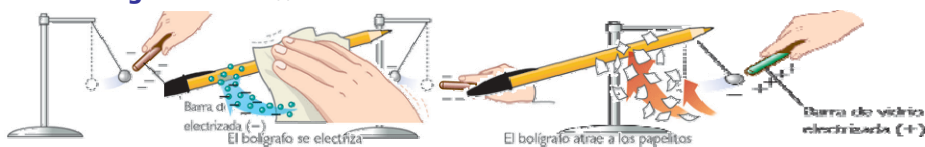
**Bases Físicas del Medio Ambiente  
2º de Ciencias Ambientales  
Profesor: Juan Antonio Antequera Barroso**



## **Electrostática**

### **INTRODUCCIÓN**

**Griegos: ámbar ⇔ elektron**



**Benjamin Francklin: "Todo objeto posee una cantidad 'normal' de electricidad y cuando dos objetos se frotan entre sí, parte de la electricidad se transfiere de un cuerpo a otro".**

**Átomo: protones, neutrones y electrones  $m_p \approx 1836m_e$**

$$Q = \pm Ne$$

$$m_n \approx 1839m_e$$

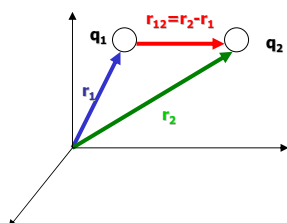
**LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CARGA**

$$|q_p| = |q_e| = e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

# Electrostática



## LEY DE COULOMB



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

## Principio de Superposición

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

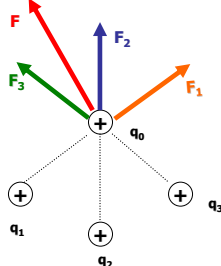
**Ejemplo.-** Tres cargas puntuales se encuentran sobre el eje X:  $q_1 = +25\text{nC}$  está situada sobre el origen,  $q_2 = -10\text{nC}$  está en  $x=2\text{ m}$  y  $q_0 = +20\text{nC}$  está en  $x=3,5\text{ m}$ . Determinar la fuerza neta ejercida por  $q_1$  y  $q_2$  sobre  $q_0$ .

**Ejemplo.-** La carga  $q_1 = +25\text{nC}$  está en el origen, la carga  $q_2 = -15\text{nC}$  está sobre el eje X en  $x=2\text{ m}$  y la carga  $q_0 = +20\text{nC}$  está en el punto  $x=2$  e  $y=2$ . Determinar la fuerza resultante sobre  $q_0$ .

3

# Electrostática

## CAMPO ELÉCTRICO



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

$q_0 \ll \ll$   
Unidades: N/C

$$\vec{E}_i = K \frac{q_i}{r_{io}^2} \hat{r}_{io}$$

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i = \sum_i K \frac{q_i}{r_{io}^2} \hat{r}_{io}$$

## Principio de Superposición

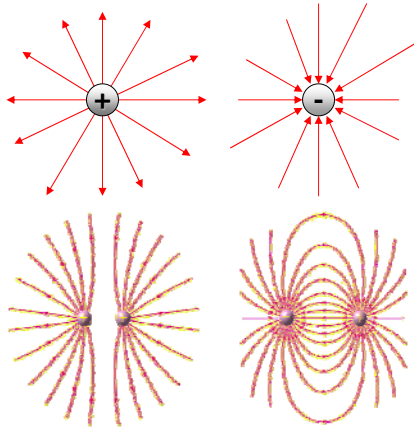
Cables Domésticos	$10^{-2}$
Ondas de Radio	$10^{-1}$
Atmósfera	$10^2$
En la Luz Solar	$10^3$
Bajo una nube tormentosa	$10^4$
Descarga de un Relámpago	$10^4$
Tubo de Rayos X	$10^6$
e en un átomo de Hidrógeno	$6 \times 10^{11}$
Superficie de un núcleo de Uranio	$6 \times 10^{21}$

**Ejemplo.-** Una carga positiva  $q_1 = +8\text{nC}$  se encuentra en el origen de coordenadas y una segunda carga positiva  $q_2 = +12\text{nC}$  está sobre el eje X a una distancia de 4 m. Determinar el campo eléctrico en: **a)** el punto  $P_1(x=7\text{m})$ , **b)**  $P_2(x=3\text{m})$  y **c)**  $P_3(x=0\text{m}, y=3\text{m})$

4

# Electrostática

## LÍNEAS DE CAMPO



- 1º) Las líneas de E comienzan en las cargas positivas y terminan en las negativas.
- 2º) Las líneas se dibujan simétricamente.
- 3º) El número de líneas es proporcional a la magnitud de carga.
- 4º) La densidad de líneas es proporcional al campo en dicho punto.
- 5º) A grandes distancias estarían equiespaciadas.
- 6º) No pueden cortarse dos líneas.

5

# Electrostática

## MOVIMIENTO DE CARGAS PUNTALES EN CAMPOS ELÉCTRICOS

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

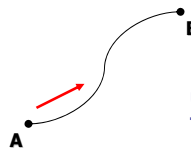
**Ejemplo.-** Un electrón se proyecta en un campo eléctrico uniforme  $E=(1000\text{N/C})\mathbf{i}$  con velocidad inicial  $v_0=(2 \times 10^6\text{m/s})\mathbf{i}$  en la dirección del campo. ¿Qué distancia recorrerá el  $e^-$  antes de detenerse?

**Ejemplo.-** Un electrón se proyecta en el interior de un campo eléctrico uniforme  $E=(-2000\text{N/C})\mathbf{j}$  con una velocidad  $v_0=(10^6\text{m/s})\mathbf{i}$  perpendicular al campo. **a)** Comparar la fuerza gravitatoria que existe sobre el electrón con la fuerza eléctrica ejercida sobre él. **b)** ¿Cuánto se habrá desviado el electrón si ha recorrido 1 cm en la dirección X?

6

# Electrostática

## POTENCIAL ELÉCTRICO



$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} d\vec{l}$$

La diferencia de potencial  $\Delta V$  es el trabajo realizado por unidad de carga por el campo eléctrico sobre una carga testigo positiva cuando está se desplace desde A hasta B.

Magnitud Escalar. Unidad: Julio/C = Voltio

$$dV = -\vec{E} d\vec{l} = -K \frac{q}{r^2} \hat{r} dr \hat{r} = -K \frac{q}{r^2} dr$$

$$\int dV = -\int K \frac{q}{r^2} dr \quad \rightarrow \quad V = K \frac{q}{r} + V_0$$

$r \rightarrow \infty \Rightarrow V_0 = 0$

$$V = K \frac{q}{r}$$

7

# Electrostática

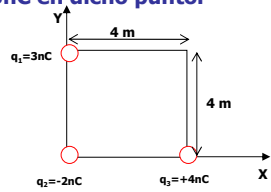
## POTENCIAL ELÉCTRICO

La energía potencial es:  $U = K \frac{q_0 q}{r} \quad U(r \rightarrow \infty) = 0$

Principio de Superposición  $V = \sum_i K \frac{q_i}{r}$

**Ejemplo.-** Dos cargas puntuales positivas e iguales de magnitud  $+5\text{nC}$  se encuentran sobre el eje X. Una se encuentra en el origen y la otra en  $x=8\text{cm}$ . Determinar el potencial **a)** en el punto  $P_1 (4,0)$  y **b)** en el punto  $P_2 (0,6)$ , **c)** el campo eléctrico en  $P_1$  y **d)** la fuerza que experimenta una carga testigo de  $3\text{nC}$  en dicho punto.

**Ejemplo.-** Calcular el valor del campo eléctrico y el potencial en el cuarto vértice de la distribución de la figura. Determinar también la fuerza que experimentaría una carga de  $-1\text{nC}$  situada en dicho punto.



8

# Electrostática

## CAPACIDAD.- CONDENSADOR

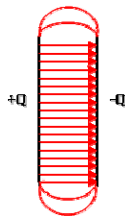
$$C = \frac{Q}{V}$$

Depende de la forma y del tamaño del conductor

Unidad: Faradio (F)

Para un conductor esférico:  $C = 4\pi\epsilon_0 R$

**Condensador:** Un sistema de dos conductores portadores de carga iguales y opuestas.



### Condensador de Placas Plano Paralelas

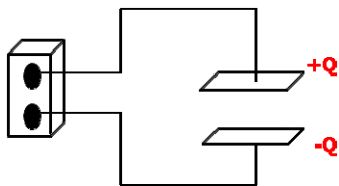
Las placas son láminas muy finas metálicas separadas y aisladas una de otra por una lámina fina de plástico. Este conjunto se enrolla.

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

9

# Electrostática

## CAPACIDAD.- CONDENSADOR



**Batería:** dispositivo que almacena y suministra energía y mantiene la diferencia de potencia entre sus terminales

### Condensador Cilíndrico

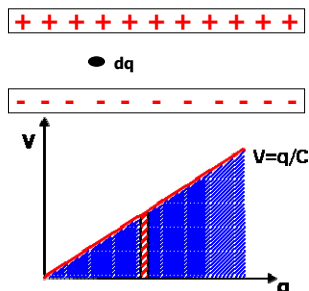
Consta de un pequeño cilindro o alambre conductor de radio  $r_1$  y una corteza cilíndrica de mayor radio  $r_2$ . Ejem.- Cable coaxial de TV.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

10

# Electrostática

## ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA



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

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2$$

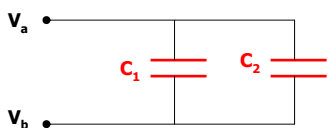
**Ejemplo.-** Un condensador de placas plano paralelas cuadradas de lado 14 cm y separadas 2 mm se conecta a una batería y se carga a 12 V. Se desconecta entonces la batería del condensador y la separación se incrementa a 3,5 mm. **a)** ¿Cuál es la carga del condensador? **b)** ¿Cuánta energía se almacenó originalmente en el condensador? **c)** ¿En cuánto se incrementó la energía al modificar la separación entre placas?

11

# Electrostática

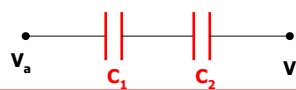
## COMBINACIÓN DE CONDENSADORES

### PARALELO



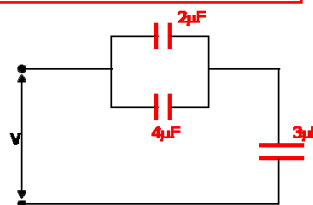
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$$

### SERIE



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

**Ejemplo.- a)** Determinar la capacidad equivalente del circuito formado por tres condensadores como los de la figura. **b)** Determinar la carga sobre cada condensador y la d.d.p. a su través cuando el sistema se conecta a una batería de 6V.



12

# Electrostática

## DIELÉCTRICOS

Un material no conductor (plástico, madera, vidrio,...).

La capacidad del condensador aumenta  $\Rightarrow$  Se debilita el campo (Faraday).

$$C = \kappa C_0$$

Para un condensador de placas plano paralelas

$$C = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon A}{d}$$

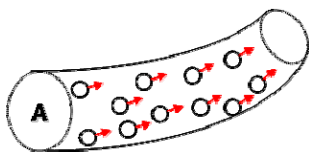
Permitividad del dieléctrico

**Ejemplo.-** Un condensador plano tiene placas cuadradas de lado 10 cm y tiene una separación de 4 mm. Un bloque dieléctrico de constante  $\kappa=2$  tiene la misma área que las placas. **a)** ¿Cuál es la capacidad del condensador con y sin dieléctrico? **b)** ¿Cuál es la capacidad si el bloque de dieléctrico llena el espacio de 3 mm mientras que la separación entre placas es de 4 mm?

13

# Electrostática

## CORRIENTE ELÉCTRICA



Flujo de cargas  $\Leftrightarrow$  corriente eléctrica

Cuando dirección de la corriente no varía decimos que la corriente es continua (c.c.)

Corriente eléctrica: flujo de carga por unidad de tiempo y de área transversal que atraviesa.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Unidad: Amperio (A)

El sentido de la corriente es el de las cargas positivas, aunque los electrones son los que se mueven.

14

# Electrostática

## CORRIENTE ELÉCTRICA

- Si  $E=0$  N/C los  $e^-$  libres se mueven en direcciones aleatorias con una  $v \sim 10^6$  m/s de modo que la velocidad promedio es nula.
- Si  $E \neq 0$  N/C los  $e^-$  experimentan una fuerza  $F_e$  adquieren una velocidad adicional, un aumento de energía que se disipa rápidamente debido a los choques con los iones pesados fijos  $\Rightarrow$  velocidad de desplazamiento.

$$\Delta Q = nv_d \Delta t A q \quad \longrightarrow \quad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nv_d A q$$

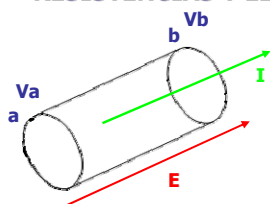
$n$ : nº de partículas libres portadoras por unidad de volumen = densidad numérica de los portadores de carga.  
 $v_d$ : velocidad de desplazamiento  
 $A$ : área transversal  
 $q$ : carga de los portadores libres

**Ejemplo.-** ¿Cuál es la velocidad de desplazamiento de los  $e^-$  en un alambre de cobre típico de radio 0,815 mm que transporta una corriente de 1 A. suponiendo que existe un  $e^-$  libre por átomo? (Datos:  $\rho_{Cu}=8.93$  g/cm<sup>3</sup> y  $Pm=63,5$  g/mol)

15

# Electrostática

## RESISTENCIAS Y LEY DE OHM



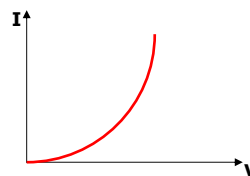
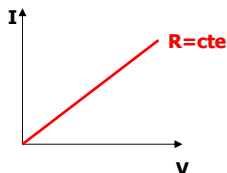
$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

LEY DE OHM

UNIDAD: OHMIO ( $\Omega$ )

**MATERIALES OHMICOS:** No depende de  $\Delta V$  ni de  $I$ . Por ejemplo: metales. Relación lineal entre  $I$  y  $\Delta V$ .

**MATERIALES NO OHMICOS:** Relación no lineal entre  $I$  y  $\Delta V$ .

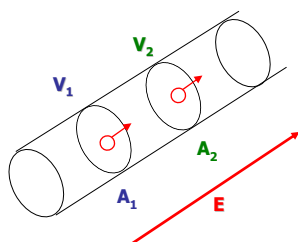


16



# Electrostática

## ENERGÍA EN LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS



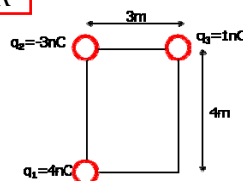
**Efecto Joule:** El incremento de la energía interna del conductor da lugar a un aumento de la temperatura

$$P = IV$$

Usando la ley de Ohm

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

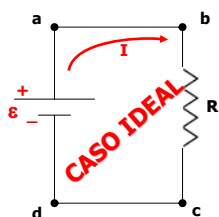
**Ejemplo.-** Determinar **a)** el campo eléctrico, **b)** el potencial en el cuarto vértice de la figura. Además, **c)** calcular la fuerza que experimentaría una carga de  $-3\text{nC}$  situada en dicho punto y **d)** el trabajo realizado para trasladar dicha carga desde ese punto hasta el centro del rectángulo.



17

# Electrostática

## FUERZA ELECTROMOTRIZ Y BATERIAS

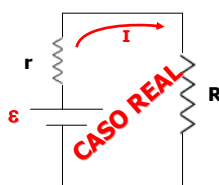


Un aparato o dispositivo que suministra energía eléctrica recibe el nombre de **FUERZA ELECTROMOTRIZ** O fem ( $\varepsilon$ ).  
Ejemplo: pila

Una batería mantiene constante la ddp entre a y d y entre b y c

$$V_b - V_c = \varepsilon = IR$$

$$P = \frac{\varepsilon \Delta Q}{\Delta t} = \varepsilon I$$

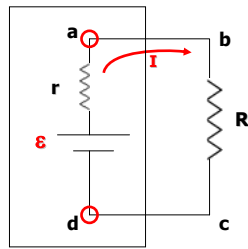


En una batería real la ddp entre los bornes no es la fem. Si midiésemos la tensión en los bornes al variar la corriente con la resistencia R vemos una disminución de la misma. Esto da lugar a una disminución de la ddp a medida que aumenta I.

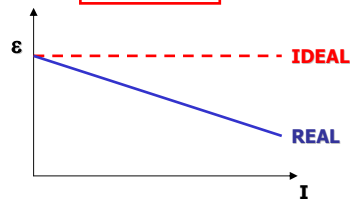
18

# Electrostática

## FUERZA ELECTROMOTRIZ Y BATERIAS



$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$



**Ejemplo.-** Una resistencia de  $11\Omega$  se conecta a través de una batería de fem  $6V$  y resistencia  $1\Omega$ . Determinar **a)** la intensidad de corriente, **b)** la tensión en los bornes de la batería, **c)** la potencia suministrada por la batería, **d)** la potencia suministrada por la resistencia externa y **e)** la potencia disipada por la resistencia interna de la batería. **f)** Si la capacidad de la batería es de  $150\text{ A h}$ , ¿cuánta energía almacena?

19

# Electrostática

## RESISTENCIAS



**Ejemplo.**



**Resultado:**

**220  $\Omega$**

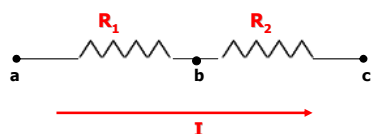
COLOR DE LA BANDA	VALOR 1ª CIFRA	2ª CIFRA	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA
Black	—	0	1	
Brown	1	1	10	$\pm 1\%$
Red	2	2	100	
Orange	3	3	1000	
Yellow	4	4	10000	
Green	5	5	100000	$\pm 0.5\%$
Blue	6	6	1000000	
Purple	7	7	—	
Grey	8	8	—	
White	9	9	—	
Gold			0.1	$\pm 5\%$
Silver			0.01	$\pm 10\%$
NINGUNO				

20

# Electrostática

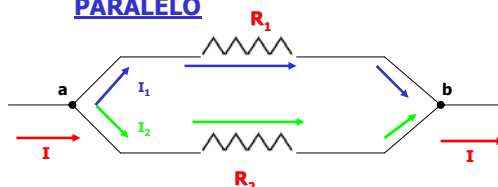
## COMBINACIÓN DE RESISTENCIAS

### SERIE



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_i R_i$$

### PARALELO

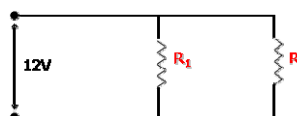


$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

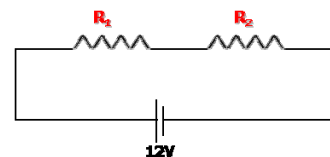
21

# Electrostática

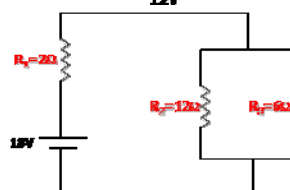
**Ejercicio.-** Una resistencia de  $R_1=4\Omega$  y otra de  $R_2=6\Omega$  se conectan en paralelo como indica la figura y a una ddp de 12V. Determinar **a)**  $R_{eq}$ , **b)**  $I$ , **c)**  $I_1$  e  $I_2$ , **d)**  $P_1(W)$  y  $P_2(W)$  disipada y **e)** Potencia suministrada por la batería.



**Ejercicio.-** Una resistencia de  $R_1=4\Omega$  y otra de  $R_2=6\Omega$  se conectan en serie como indica la figura y a una ddp de 12V. Determinar **a)**  $R_{eq}$ , **b)**  $I$ , **c)**  $V_1$  e  $V_2$ , **d)**  $P_1(W)$  y  $P_2(W)$  disipada y **e)** Potencia suministrada por la batería.




**Ejercicio.-** En el circuito de la figura se pide determinar **a)** la resistencia equivalente del circuito, **b)** la intensidad total de la fem, **c)** la caída de potencial a través de cada resistencia y **d)** la intensidad transportada por cada resistencia.

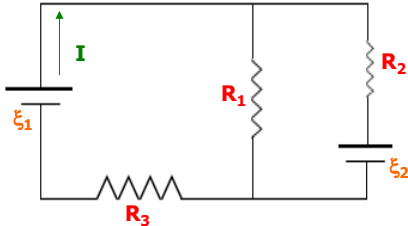


22

# Electrostática



## LEYES DE KIRKCHHOFF

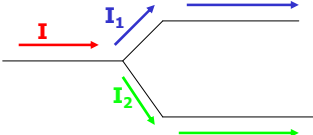


**Primera Ley:** En cualquier punto de separación (nudo) donde la corriente se divide, la suma de las corrientes a la entrada tiene que ser igual a la suma de las corrientes de salida.

**CONSERVACIÓN DE LA CARGA**


**Segunda Ley:** Cuando cualquier circuito cerrado (malla) es recorrido, la suma algebraica de los cambios de potencial deber ser nula.

**CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA**

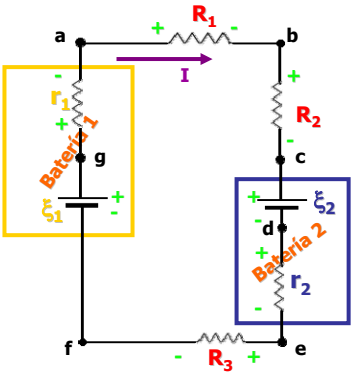


23

# Electrostática



## LEYES DE KIRKCHHOFF.- EJEMPLO

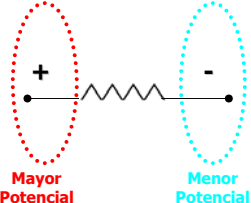


Analizamos las diferentes caídas de potencial.

- a->b Caída IR<sub>1</sub>
- b->c Caída IR<sub>2</sub>
- c->d Caída ξ<sub>2</sub>
- d->e Caída Ir<sub>2</sub>
- e->f Caída IR<sub>3</sub>
- f->g Caída ξ<sub>1</sub>
- g->a Caída Ir<sub>1</sub>


Aplicando la segunda ley de Kirkchhoff

$$I = \frac{\xi_1 - \xi_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2}$$



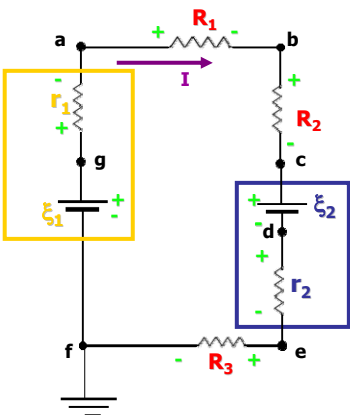
24

# Electrostática




## LEYES DE KIRKCHHOFF.- EJEMPLOS

**Ejemplo.-** Supongamos que los elementos que se presentan en la figura toman los siguientes valores:  $\xi_1=12V$ ,  $\xi_2=4V$ ,  $r_1=r_2=1\Omega$ ,  $R_1=R_2=5\Omega$  y  $R_3=4\Omega$ . Encontrar **a)** el potencial en los puntos (desde a hasta g) asumiendo que el potencial en el punto f es cero, **b)** la potencia suministrada y la potencia disipada por el circuito.



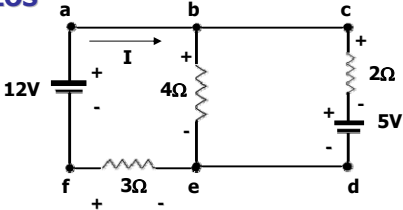
25

# Electrostática

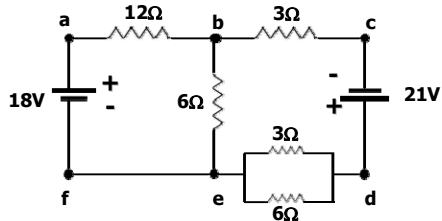


## LEYES DE KIRKCHHOFF.- EJEMPLOS

**Ejemplo.-** Encontrar **a)** la corriente en cada parte del circuito mostrado en la figura y **b)** la energía disipada por la resistencia de  $4\Omega$  en 3 segundos



**Ejemplo.-** Encontrar **a)** la corriente en cada parte del circuito mostrado en la figura, **b)** dibujar el sentido de las corrientes en cada parte del circuito y **c)** asignando  $V=0$  al punto c y calcular el potencial en cada punto.



26