

# Electromagnetismo

## Interacción Eléctrica

Unidad 1: Campo Eléctrico (Martes 09/01)



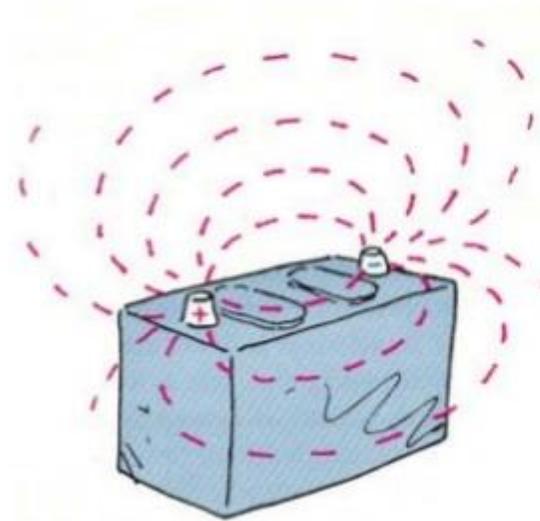
PROFESORES  
Claudia Delzón, René Contreras y Jorge Reyes

# Objetivos de hoy

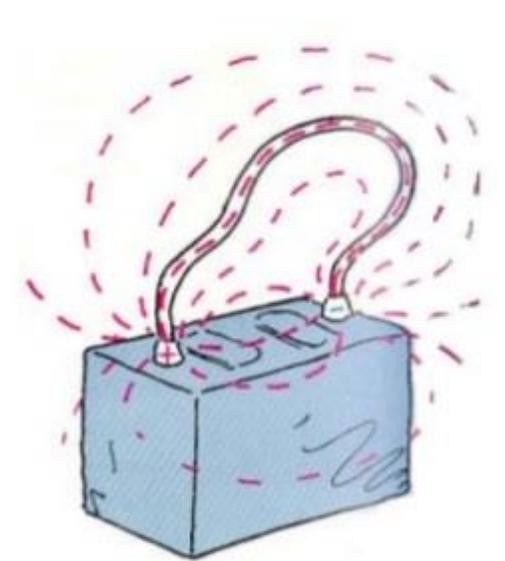
## En términos de conceptos

1. Concepto de campo eléctrico
2. Campo eléctrico de una carga puntual
3. Campo neto (Principio de Superposición)
4. Dipolo Eléctrico

CAMPO DIPOLAR GENERADO  
POR POLOS DE BATERIA



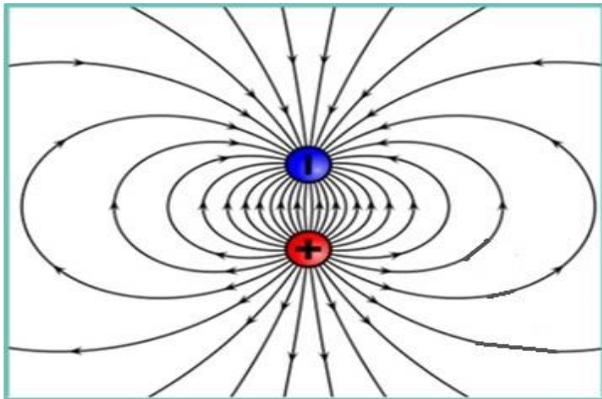
DISTORSION DEL CAMPO DIPOLAR  
POR EFECTOS DE CONDUCTOR



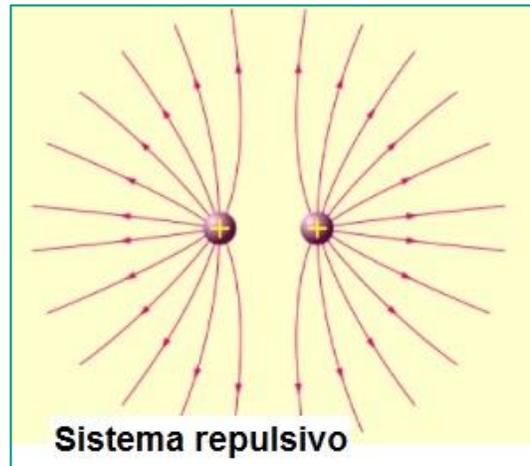
# Interacción Eléctrica

**Concepto:** El Campo Eléctrico en el punto P corresponde a la fuerza eléctrica por unidad de carga que siente una carga colocada en el punto P que actúa como sensor.

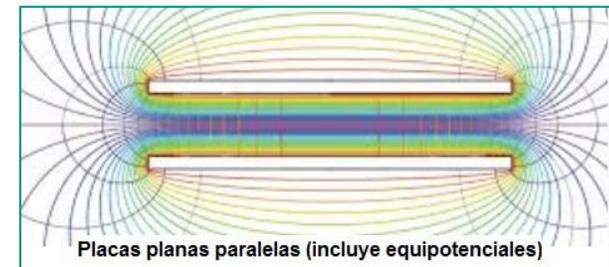
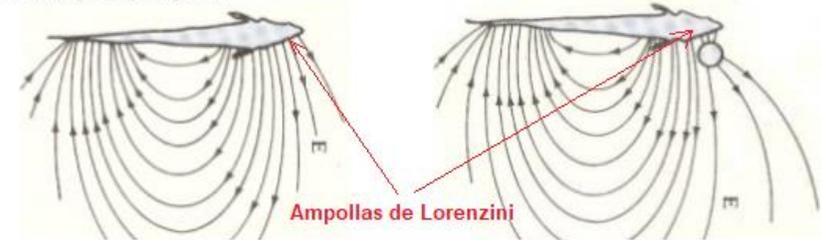
**Diversos campos eléctricos:**



**Dipolo eléctrico**  
**Molécula polar**



**SENTIDO ELECTRICO DEL TIBURON**  
Los tiburones generan campos electricos dipolares y son capaces de detectar cambios en el campo producidos por objeto(presa)



# Interacción Eléctrica

**Campo eléctrico de una carga puntual:**

$$\vec{E}(P) = \left( \frac{KQ}{r^2} \right) \hat{r}$$

**Principio de Superposición (campo neto):**

$$\vec{E}_N(P) = \sum_K \vec{E}_k(P)$$

## Aplicación

Se tiene tres cargas  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ . Los valores son:  $Q_1 = 2 \text{ C}$ ,  $Q_2 = 1.5 \text{ C}$  y  $Q_3 = -3 \text{ C}$ . Las posiciones son:  $\vec{r}_1 = (3, 5) \text{ m}$ ,  $\vec{r}_2 = (0, 4) \text{ m}$  y  $\vec{r}_3 = (6, 4) \text{ m}$ .

Calcule:

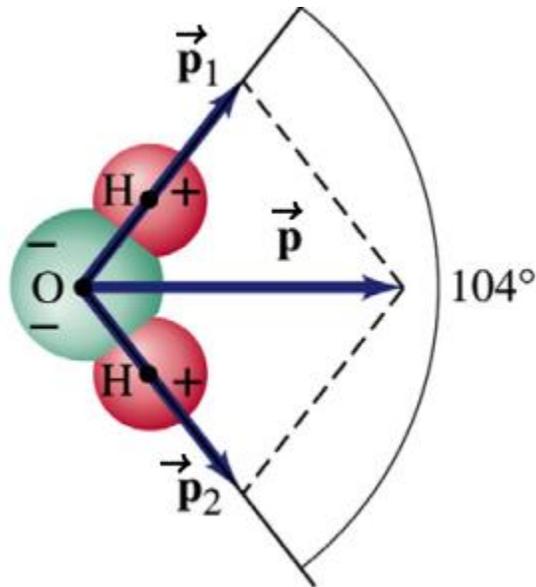
- El campo neto percibido por  $Q_3$ .
- Utilice (a) para encontrar la fuerza neta sobre  $Q_3$ .

**Respuestas:**

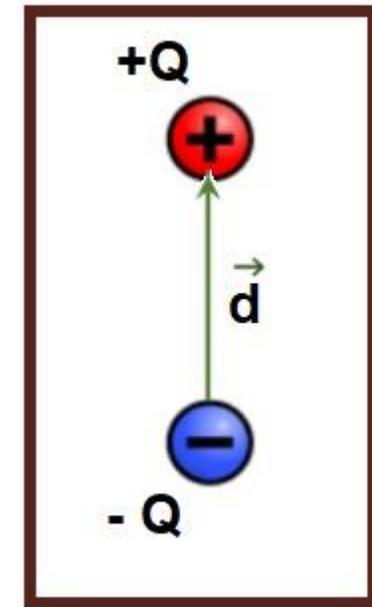
- $(2.09, -0.569) \times 10^9 \text{ N/C}$
- $(-6.27, 1.71) \times 10^9 \text{ N}$

# Dipolo Eléctrico

Una molécula será polar cuando su vector “momento dipolar eléctrico” neto sea distinto de cero:



$$\vec{p} = Q \vec{d} \text{ [Cm]}$$



# Dipolo Eléctrico

Cuando un dipolo eléctrico es afectado por un campo eléctrico externo, éste rotará para minimizar su energía potencial eléctrica, consiguiendo el equilibrio o estado de mínima energía cuando

$$\vec{p} \parallel \vec{E}$$

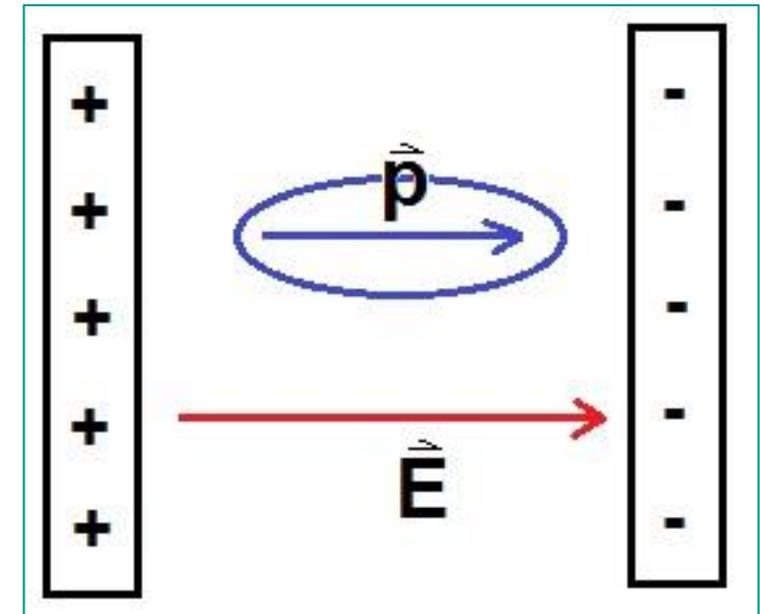
El torque que provoca el giro vale:

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

La energía potencial eléctrica del dipolo vale:

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

El estado de equilibrio es:



# Dipolo Eléctrico

## Aplicación

Se tiene una molécula polar caracterizada con  $Q = 2 \mu\text{C}$  y vector  $\vec{d} = (9, 7, 8) \times 10^{-9} \text{ m}$ . El campo eléctrico externo es igual a  $(5, 0, 7) \text{ N/C}$ .

## Calcule:

(a) El momento dipolar eléctrico, (b) El torque sobre la molécula, (c) La energía potencial de la molécula.

## Respuestas:

(a)  $(1.8, 1.4, 1.6) \times 10^{-14} \text{ Cm}$

(b)  $(9.8, -4.6, -7) \times 10^{-14} \text{ J}$

(c)  $- 2.02 \times 10^{-13} \text{ J}$

### Ejercicio 1

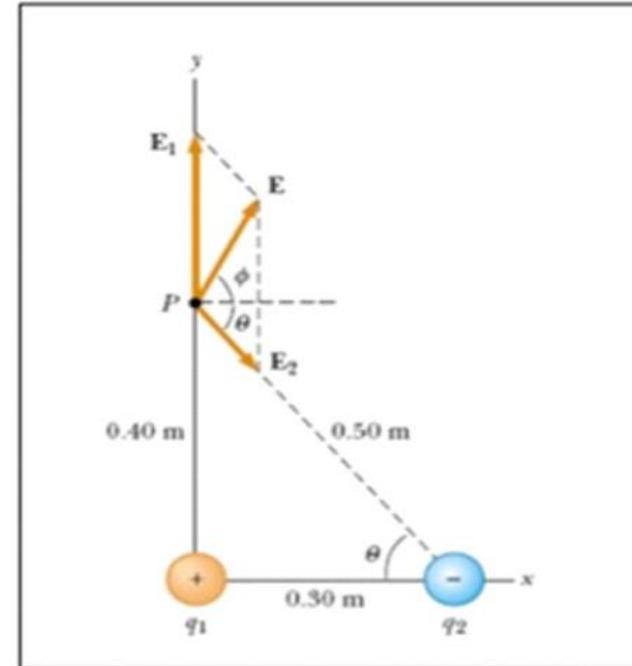
Para cierto axón neuronal polarizado, el campo eléctrico en el punto  $P(x, y)$  se expresa como  $\mathbf{E}(P) = \mathbf{E}(x, y) = (3x+y, -xy^2)$  N/C. En la posición  $(9, 5) \times 10^{-7}$  m se encuentra un ión  $\text{Cl}^-$ . Determine la fuerza eléctrica que ejerce el axón neuronal polarizado sobre el ión  $\text{Cl}^-$ .

#### Respuesta:

$$\vec{F} = (-5.12 \times 10^{-25}, 3.6 \times 10^{-38}) \text{ [N]}$$

### Ejercicio 2

Una carga  $q_1$  de  $7 \text{ [}\mu\text{C]}$  se ubica en el origen, mientras que una segunda carga  $q_2$  de  $-5 \text{ [}\mu\text{C]}$  se ubica en el eje  $x$  a  $0.3 \text{ [m]}$  del origen. Encuentre el campo eléctrico en el punto  $P$  de coordenadas  $(0, 0.4) \text{ [m]}$



#### Respuesta:

$$\vec{E}(P) = (1.08, 2.49) \cdot 10^5 \text{ [N/C]}$$

### Ejercicio 3

El momento dipolar eléctrico de cierta molécula es  $(p_x, 0, p_z)$  Cm y el campo eléctrico externo es igual a  $(E_x, E_y, 0)$  N/C.

Calcule:

- El torque sobre el dipolo
- La energía potencial eléctrica del dipolo.

#### Solución

$$\text{a) } \vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ p_x & 0 & p_z \\ E_x & E_y & 0 \end{vmatrix} = (-p_z E_y, p_z E_x, p_x E_y) [J]$$

$$\text{b) } U = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -(p_x, 0, p_z) \cdot (E_x, E_y, 0) = -(p_x E_x) [J]$$

#### Ejercicio 4

En una solución se tiene dos iones A y B que interactúan eléctricamente para posteriormente formar una molécula.

La fuerza eléctrica de A sobre B es igual a  $(v, 2v)$  [N].

Determine:

- El versor de la fuerza.
- La magnitud de la fuerza actual sobre B.
- La magnitud de la fuerza sobre B, si  $Q_A$  se duplica y  $Q_B$  se triplica.
- La nueva fuerza sobre B si  $Q_A$  se duplica y  $Q_B$  se triplica.

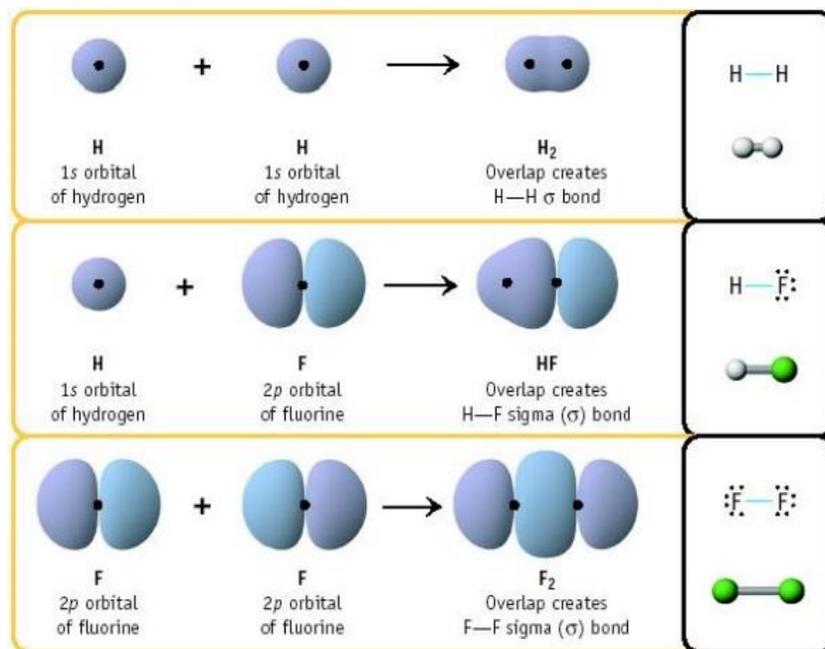
#### Respuestas

- $(0.45, 0.89)$
- $2.24 v$  [N]
- $13.4 v$  [N]
- $(6v, 12v)$  [N]

# Electromagnetismo

## Interacción Eléctrica

Potencial Eléctrico, Conductividad y Teoría de Bandas (Miércoles 10/01)



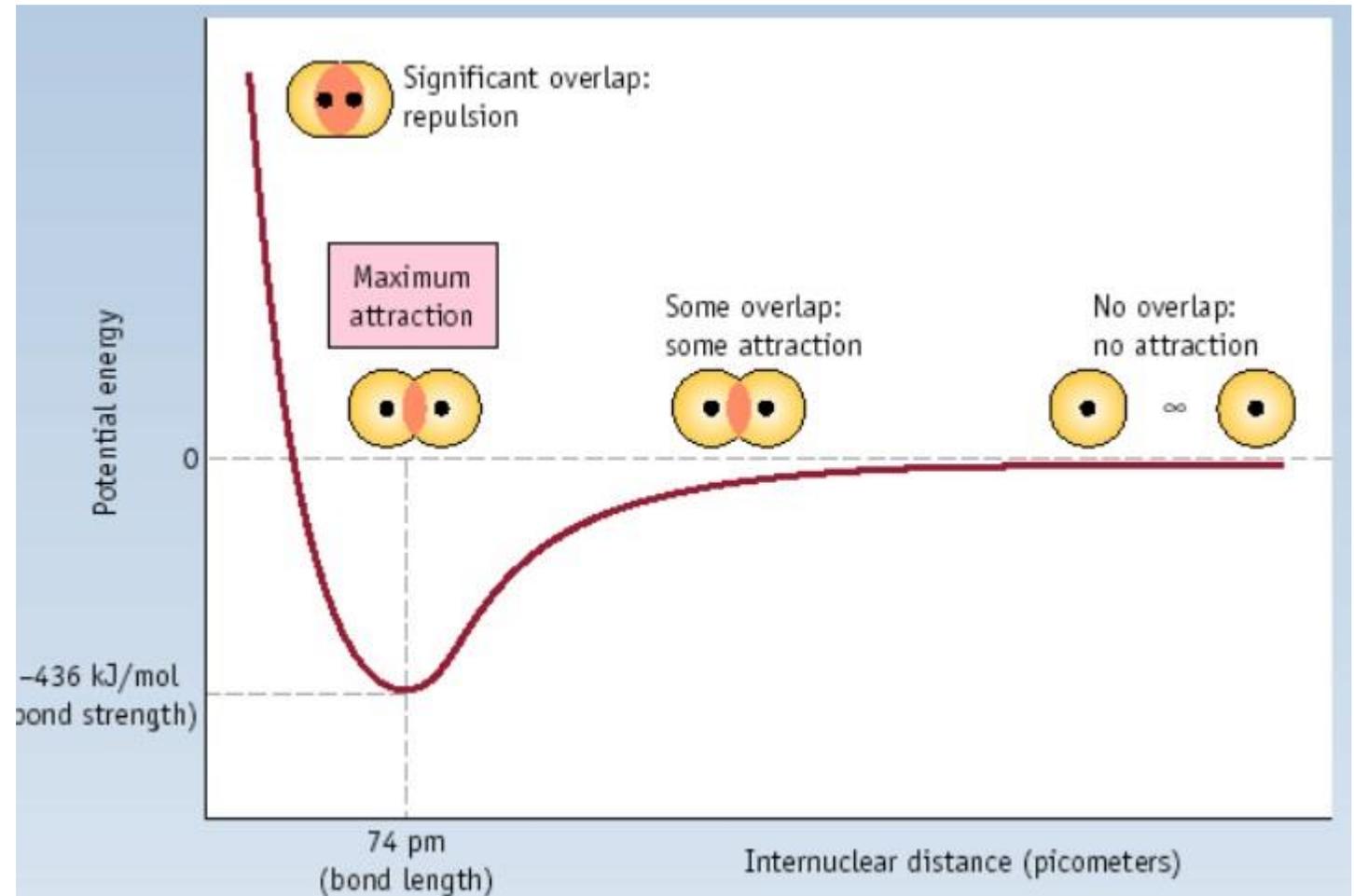
PROFESORES

Jorge Reyes - jorgrey@uchile.cl, René Contreras – rene.contreras@ciq.uchile.cl

# Objetivos de hoy

## En términos de conceptos

1. Potencial Eléctrico
2. Conductividad
3. Teoría de Bandas



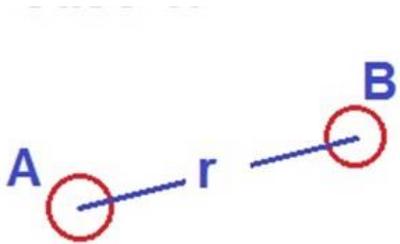
## Potencial Eléctrico, conductividad y Teoría de Bandas Sección Cátedra

El potencial eléctrico (medido en Voltios) generado por una carga puntual ubicada en (0, 0, 0) m y medido en P: (x, y, z) es igual a:

$$V(P) = \frac{KQ}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = \frac{KQ}{r}$$

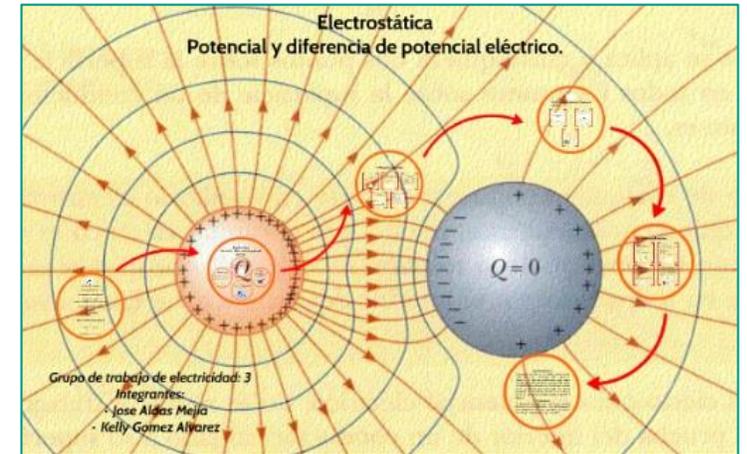
U = Energía Potencial Eléctrica (Joules).

La energía potencial eléctrica almacenada por un sistema es igual a la energía mínima necesaria para colocar las cargas en las posiciones finales, partiendo desde el infinito.



$$U = Q_A V_B = Q_B V_A$$

$$U = \frac{KQ_A Q_B}{r}$$



# Electromagnetismo

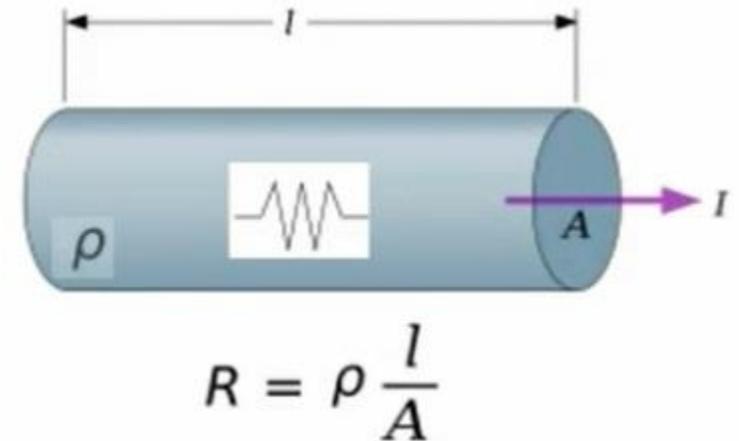
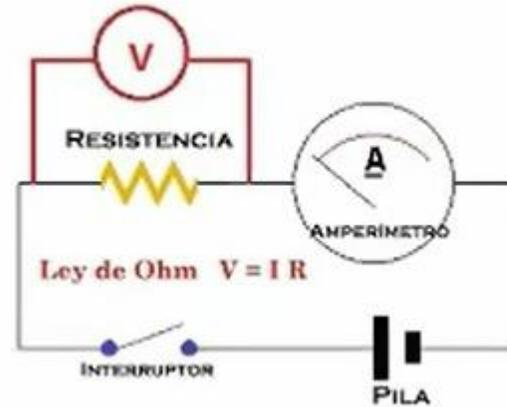
## Potencial Eléctrico, conductividad y Teoría de Bandas

### Términos clave:

$i$  = intensidad de corriente en Amperes ( $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ )

$V$  = Diferencia de potencial en Voltios ( $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$ )

$R$  = Resistencia en Ohm  
( $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$ )



Ley de Ohm: La relación entre  $V$  e  $i$  es lineal para los materiales óhmicos:

$V = \text{Pendiente} \times i = R \times i$

**Efecto Joule:**  $P = V i$  (En Watt)

$\rho$  = Resistividad en  $\Omega\text{m}$   
 $\sigma = \rho^{-1}$  = Conductividad en  $(\Omega\text{m})^{-1}$

# Electromagnetismo

## Potencial Eléctrico, conductividad y Teoría de Bandas

### Teoría de Orbitales Moleculares

Una Banda está formada por niveles de energía redistribuidos de modo que la diferencia de energía entre niveles consecutivos es del orden de  $10^{-22}$  eV (un valor que puede tomarse como igual a cero).

Luego, los electrones más externos podrán estar en dos bandas de energía:

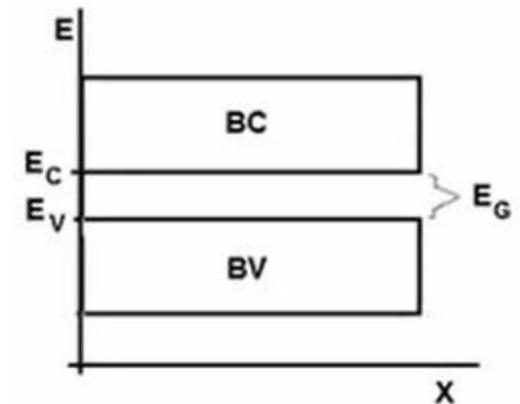
\* **Banda de Valencia (BV):** Banda o intervalo de energía donde están los electrones que no participan en la conducción o flujo de corriente. Estos electrones de la última capa participan en la formación de enlaces en los átomos del cristal.

\* **Banda de Conducción (BC):** Banda o intervalo de energía donde están los electrones libres (desligados de los átomos originales) y que sí participan en la conducción o flujo de corriente.

$E_C$  = Energía mínima de la Banda de Conducción

$E_V$  = Energía máxima de la Banda de Valencia

$E_G$  = Energía del Gap  
 $= E_C - E_V$



### Ejercicio 01

Un protón se encuentra en el origen y un ión  $C^{+2}$  se encuentra en  $P:(2, 1,3) \times 10^{-9}$  [m].

Calcule:

- El potencial que genera el protón en el punto P.
- La energía potencial contenida por el sistema.

### Respuestas

- 0.385 V
- $1.23 \times 10^{-19}$  J

### Solución – Ej 02

I es falsa porque el electrón ya está en el estado de mínima energía.

II es verdadera porque debido a su estructura electrónica, el cristal formará una banda de valencia (con los orbitales s) y una banda de conducción (con los orbitales p), y evidentemente la separación entre s y p es pequeña (de hecho, hay traslapo). Los electrones de la banda de conducción transmitirán bien la electricidad y también la energía calórica.

III es verdadero (la resistencia es alta, pero la resistividad de un metal conductor siempre es baja)

IV es falsa (el valor -13.6 eV es el valor correcto para el hidrógeno en el nivel base)

V es verdadera (ya justificado)

VI es falso (la resistencia crece al aumentar la longitud)

### Ejercicio 02

Se tienen las siguientes situaciones experimentales:

Situación 1:

Un átomo de Litio hidrogenoide en el nivel  $n=1$ .

Situación 2:

Un cristal de sodio (metal alcalino) a 300 K (Sodio =  $[\text{Ne}] 3s^1$ ).

Situación 3:

Un cable de cobre de 1 Km de largo y  $1 \text{ cm}^2$  de sección transversal.

Al respecto podemos realizar las siguientes afirmaciones:

- En la situación 1, el electrón tenderá espontáneamente a saltar de nivel.
- En la situación 2, el cristal de sodio conducirá muy bien el calor.
- En la situación 3, el cable de cobre tiene una resistividad baja.
- En la situación 1, la energía del átomo es igual a -13.6 eV.
- En la situación 2, los orbitales atómicos 3s formarán una banda de valencia semillena que se traslapará con los 3p.
- En la situación 3, la resistencia se incrementa al reducir la longitud del cable.

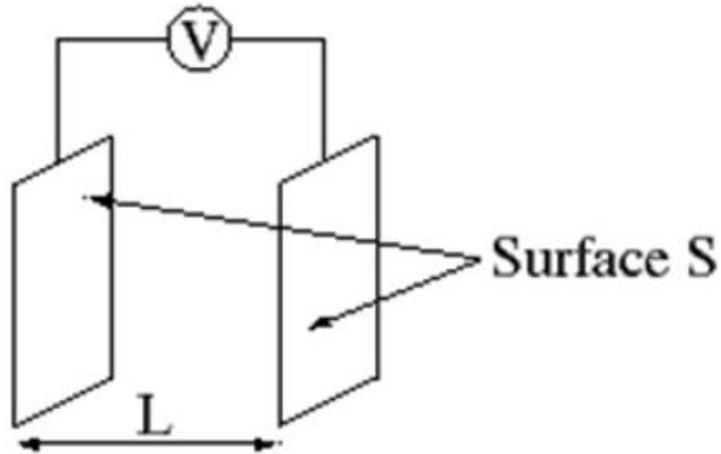
Indique si las afirmaciones son verdaderas o falsas.

Justifique su respuesta.

### Ejercicio 03

#### Conductividad Eléctrica

Para medir la salinidad de una muestra acuosa se dispone de un arreglo de electrodos separados por una distancia de  $L=0.75$  [mm] con una superficie  $S = 30$  [mm<sup>2</sup>]



Al medir cinco veces se obtienen las siguientes resistencias medidas en  $\Omega$ : 4.7, 4.9; 5.0; 5.1 y 5.3

Indique:

- La resistividad de la muestra
- La conductividad de la muestra
- La conductancia de la porción en la que circula la corriente (la conductancia es el inverso de la resistencia)
- La resistencia que debería tener la muestra al usar electrodos con  $S=7.5$  mm<sup>2</sup> y  $L= 0.375$  mm

#### Solución.

$$a) \rho = R_{\text{prom}} / (\ell / s) = 0.2 \Omega\text{m}$$

$$b) \sigma = 1/\rho = 5 (\Omega\text{m})^{-1}$$

$$c) G = 1/R = 0.2 \Omega^{-1}$$

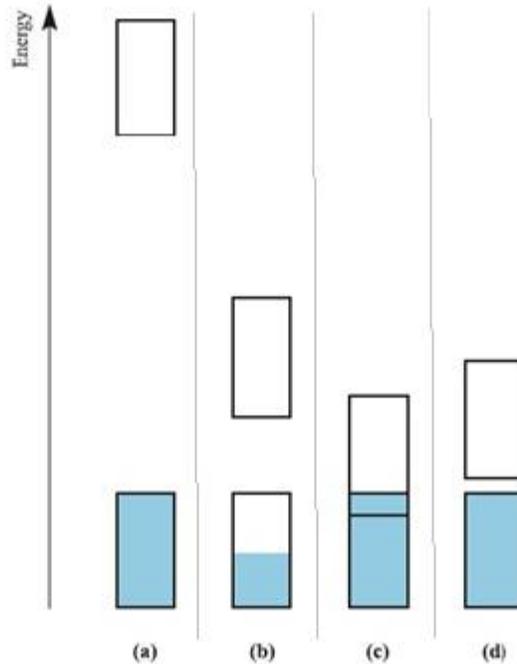
$$d) R = \rho \times (\ell / s) = 0.2 \times (0.375 \times 10^{-3} / (7.5 \times 10^{-6})) = 10 \Omega$$

## Ejercicio 04

## Seminario – Miércoles 10/01

### Teoría de Bandas

El siguiente diagrama de energía muestra cuatro distribuciones de las bandas de conducción de materiales en estado sólido:



Identifique:

- ¿Cuál/es de ellas corresponde a un material aislante?
- ¿Cuál/es de ellas corresponden a materiales conductores?
- ¿Cuál/es de ellas corresponden a materiales semiconductores?

### NOTA:

- \* Una banda es realmente una agrupación de niveles de energía tan juntos que no se detecta la separación entre éstos.
- \* En azul, niveles de energía llenos. En blanco, niveles de energía disponibles.

### Solución.

- Solo A. Se caracteriza por una separación energética considerable entre las bandas de conducción .
- B ya que posee orbitales moleculares disponibles en la primera banda para que los electrones de esa banda puedan moverse y C porque la primera banda de conducción se superpone con la segunda, que dispone de orbitales vacíos
- Solo D. Se caracteriza por una pequeña separación entre las bandas de conducción que puede reducirse al incrementar la temperatura.

# Electromagnetismo

## Interacción Eléctrica

Circuitos de Resistencias (Jueves 11/01)



PROFESORES  
Jorge Reyes - [jorgrey@uchile.cl](mailto:jorgrey@uchile.cl), René Contreras – [rene.contreras@ciq.uchile.cl](mailto:rene.contreras@ciq.uchile.cl)

# Objetivos de hoy

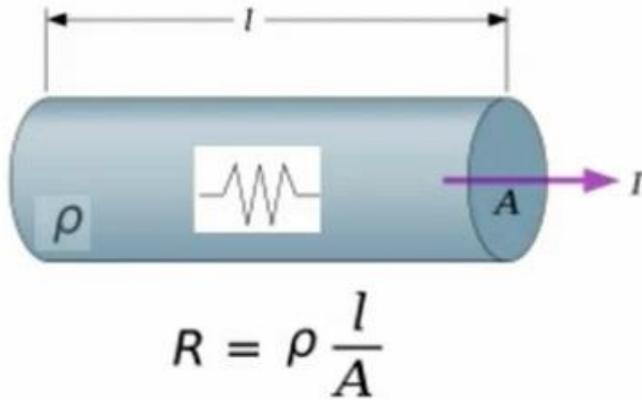
## En términos de conceptos

1. Resistencias en serie
2. Resistencias en paralelo
3. Leyes de Kirchhoff



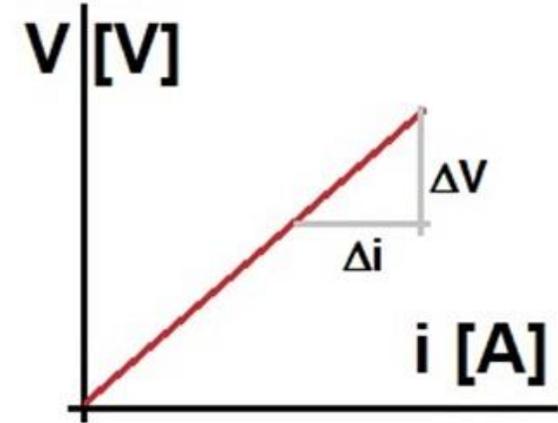
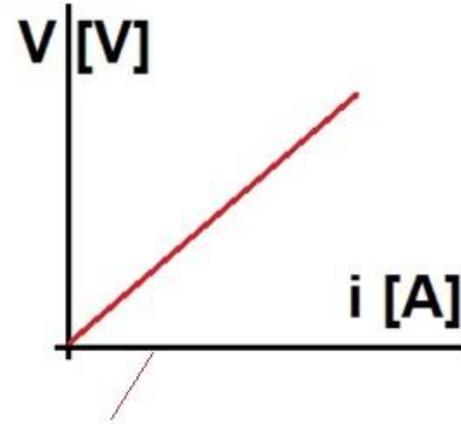
# Circuitos de Resistencias

## Sección Cátedra



$\rho$  = Resistividad en  $\Omega\text{m}$

$\sigma = \rho^{-1}$  = Conductividad en  $(\Omega\text{m})^{-1}$

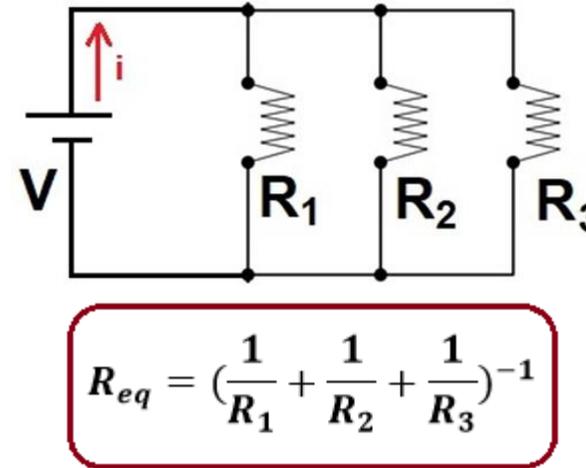
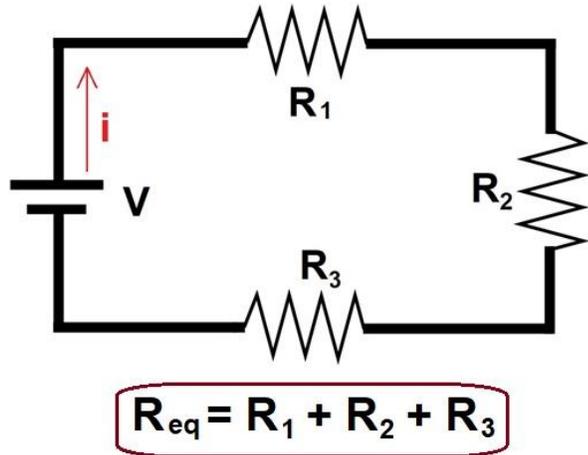


Para una resistencia óhmica esto es independiente del tiempo  $\Rightarrow R =$  pendiente del gráfico  $V$  vs  $i$

\* Efecto Joule: Potencia =  $V i = (iR) i = V \left(\frac{V}{R}\right)$

# Circuitos de Resistencias

## Sección Cátedra



- En un circuito en serie:  $R_{eq}$  = suma de las resistencias individuales
- En un circuito en paralelo:  $R_{eq}$  = inverso de la suma de los inversos de cada resistencia individual.

# Leyes de Kirchhoff

## Sección Cátedra

### Primera Ley – Ley de los Nodos

La ley de los Nodos de Kirchhoff afirma que la suma de todas las corrientes que ingresan a un nodo es igual a la suma de todas las corrientes que salen de ese nodo:

$$\sum_k i_K (\text{entran}) = \sum_k i_K (\text{salen})$$

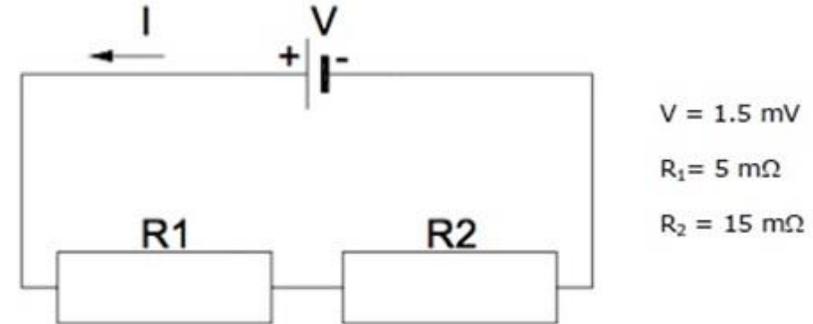
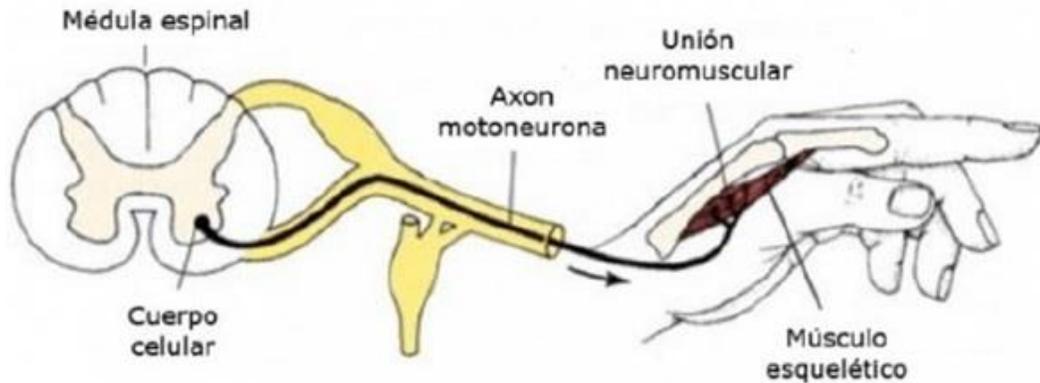
### Segunda Ley – Ley de las Mallas

La ley de las Mallas afirma que las caídas de potencial de las baterías son utilizadas en alimentar a las resistencias:

$$\sum_k \varepsilon_k + \sum_k i_k R_k = 0$$

# Circuitos de Resistencias APLICACIÓN

## MOTONEURONA:

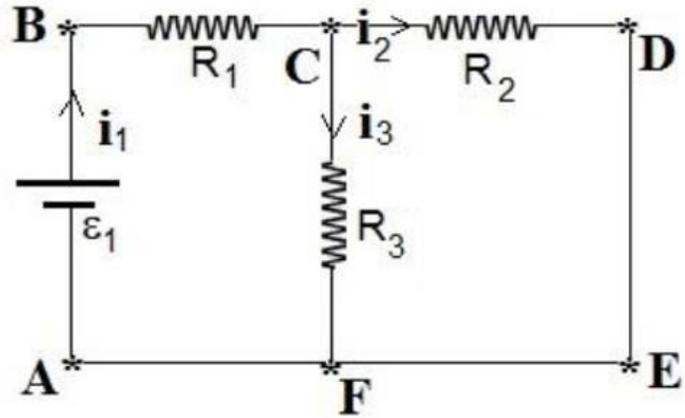


- Calcule la resistencia equivalente de la motoneurona.
- Calcule la intensidad  $i$  del impulso eléctrico que atraviesa la motoneurona.
- Calcule la diferencia de potencial en los extremos del generador (bomba  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATP asa)
- Calcule la diferencia de potencial en los extremos de cada uno de los nodos de Ranvier (resistencias) junto con el valor de la intensidad del impulso.

**Respuestas: (a)  $20 \text{ m}\Omega$ , (b)  $0.075 \text{ A}$ , (c)  $1.5 \text{ mV}$ , (d)  $V_1 = 0.375 \text{ mV}$ , (e)  $V_2 = 1.125 \text{ mV}$**

### Ejercicio 01

Dado el siguiente circuito:



Datos:

$$\varepsilon_1 = 12 \text{ mV}$$

$$R_1 = 50 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 47 \text{ K}\Omega$$

$$R_3 = 15 \text{ K}\Omega$$

Calcule:

a) La resistencia equivalente.

b) El valor de  $i_1$ .

c) Los valores de  $i_2$  e  $i_3$ .

### Respuestas

a)  $61371 \Omega$

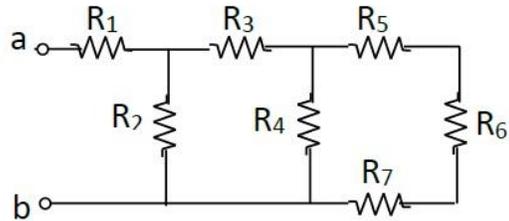
b)  $0.196 \mu\text{A}$

c)  $i_2 = 0.046 \mu\text{A}$ ,  $i_3 = 0.15 \mu\text{A}$

**Ejercicio 02**

En la combinación de resistencias de la figura se tiene:

- $R_1 = 7\Omega$
- $R_2 = 3\Omega$
- $R_3 = 3\Omega$
- $R_4 = 6\Omega$
- $R_5 = 4\Omega$
- $R_6 = 5\Omega$
- $R_7 = 4\Omega$ .



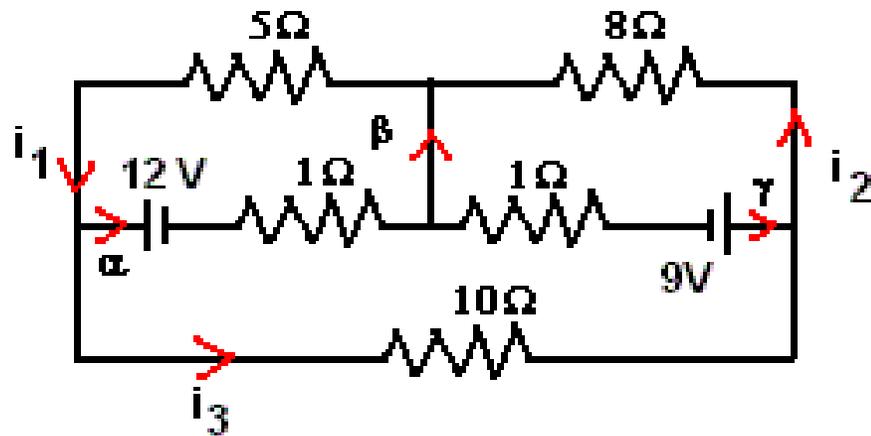
- a) Determine la resistencia equivalente entre los puntos a y b.
- b) Si la intensidad de corriente en la resistencia  $R_6$  es  $I_6 = 1\text{ A}$ , encuentre la diferencia de potencial entre los puntos a y b.

**Respuestas**

- a)  $9.1\Omega$
- b)  $\Delta V = 97.1\text{ V}$

**Ejercicio 03**

Encuentre las corrientes que circulan en el siguiente circuito:



**Respuestas**

$$i_1 = - 1.92 \text{ A}$$

$$i_2 = 1.06 \text{ A}$$

$$i_3 = 0.498 \text{ A}$$

# Créditos / Bibliografía

Tippens, P. E. (2011). Física, conceptos y aplicaciones. Editorial Mc Graw Hill.

Young, H., Freedman, R., & Ford, A. Sears and Zemansky's university physics.

