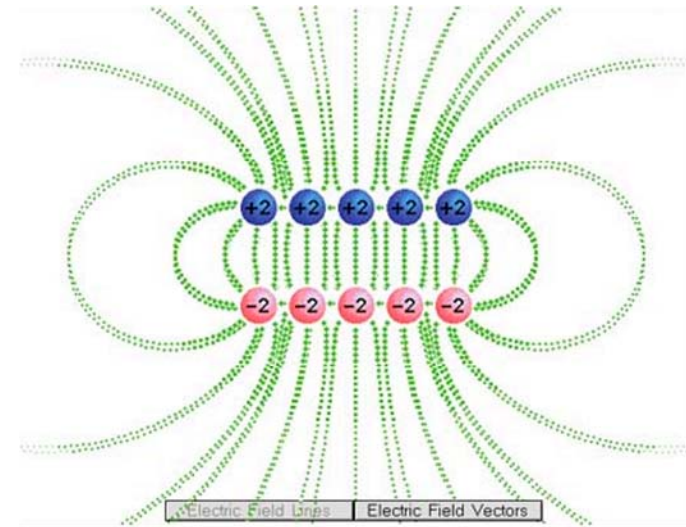


CAMPO ELÉCTRICO EN CONDICIONES ESTÁTICAS

Contenido

- 1.- Naturaleza del electromagnetismo.
- 2.- Ley de Coulomb.
- 3.- Campo eléctrico de carga puntual.
- 4.- Campo eléctrico de línea de carga.
- 5.- Potencial eléctrico diferencial.



Objetivo.- Al finalizar el tema, el estudiante será capaz de explicar la naturaleza del electromagnetismo e identificar las leyes fundamentales que describen el comportamiento de los campos eléctricos en condiciones estáticas.

Última modificación:
1 de agosto de 2010

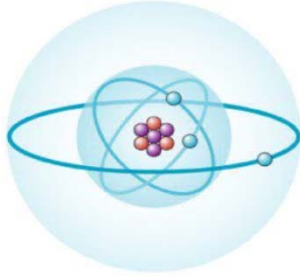
Tema 1 de
CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS
Edison Coimbra G.

1.- Naturaleza del electromagnetismo

El **Universo** está formado por 4 fuerzas.

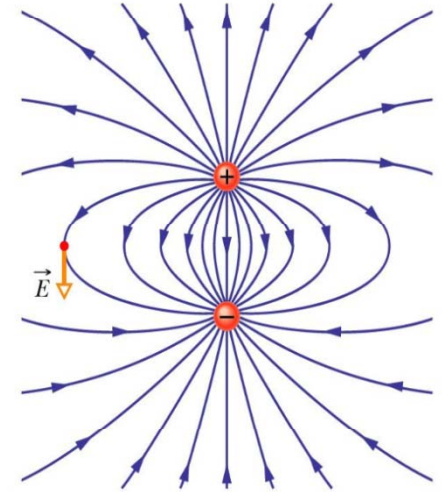
1

La **fuerza nuclear**. La más fuerte. Limitada al **núcleo** de los átomos.



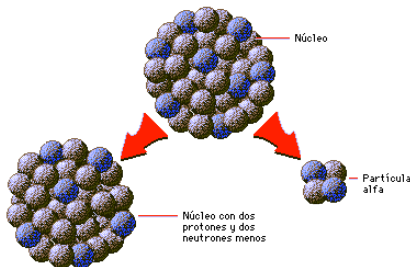
2

La **fuerza electromagnética** (eléctrica + magnética). 100 veces más débil que la nuclear. Dominante en sistemas microscópicos como **átomos** y **moléculas**.



3

La **fuerza de interacción débil**. Millones de veces más débil que la nuclear. Es la interacción responsable de la desintegración de **partículas radiactivas**.



© Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

4

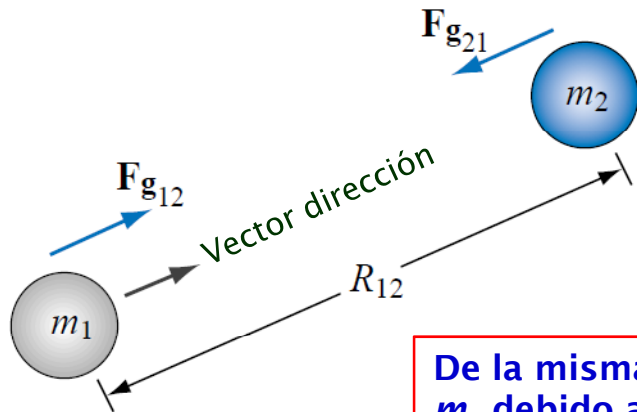
La **fuerza gravitacional**. Es la más débil de todas. Es la dominante en sistemas macroscópicos como el **sistema solar**.



Fuerza gravitacional

Una analogía útil

La **Ley de la Gravedad de Newton** establece que los objetos con masa experimentan entre sí una **fuerza de atracción** debido a la gravedad.



$$F_{g21} = -G \frac{m_1 m_2}{R_{12}^2}$$

De dirección contraria al vector dirección

F_{g21} = fuerza gravitatoria que actúa sobre m_2 debido a m_1 , en **N**.
 G = constante de gravitación universal, $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.
 m_1, m_2 = masas, en **kg**.
 R_{12} = distancia radial entre masas, en **m**.

De la misma forma, F_{g12} es la fuerza que actúa sobre la masa m_1 debido a la atracción gravitacional de la masa m_2

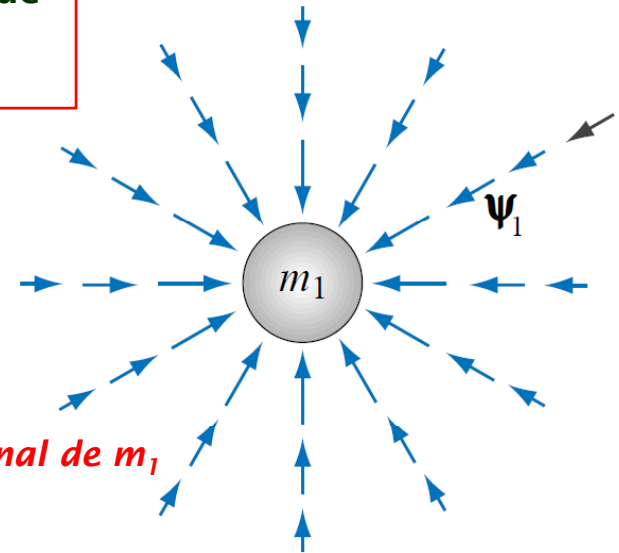
$$F_{g12} = -F_{g21}$$

2 objetos **no necesitan** estar en **contacto** para sentir la fuerza de atracción del otro; sino que es una acción directa a distancia. Este es el **concepto de campo**.

Un objeto de masa m_1 , induce un **campo gravitacional** ψ_1 que no proviene físicamente del objeto, pero su influencia existe en **todos los puntos del espacio**. Si se acerca otro objeto m_2 a una **distancia** R_{12} de m_1 , sentirá una **fuerza** F_{g21} actuando sobre él.

$$\psi_1 = \frac{F_{g21}}{m_2}$$

Campo gravitacional de m_1



2.- Ley de Coulomb

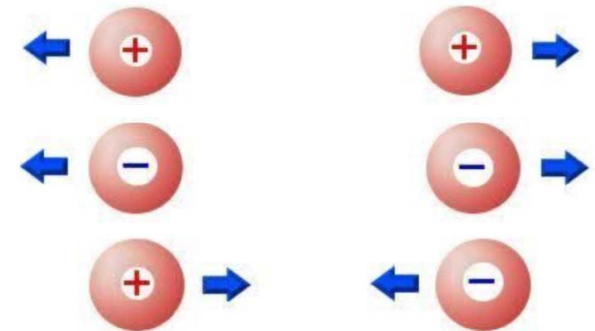
La **fuerza eléctrica** es similar a la **fuerza gravitacional**, con la diferencia de que la fuente del campo gravitacional es la masa y la del campo eléctrico es la **carga eléctrica**.

La **carga eléctrica** es una propiedad intrínseca en los **protones** y **electrones**. Se manifiesta mediante **atracciones** y **repulsiones**. La interacción entre partículas cargadas genera la **fuerza eléctrica**.

Por definición, los **protones** tienen carga **positiva** y los **electrones** **negativa**.

La **unidad de carga de un electrón** es:

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$



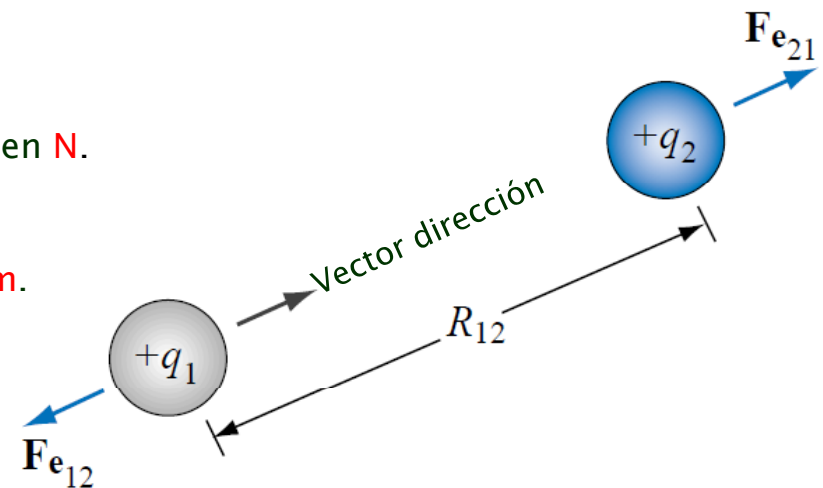
La **Ley de Coulomb** (*Charles Coulomb, 1776*) establece que una carga $+q_2$ a una distancia R_{12} de una carga $+q_1$, experimenta, en el espacio libre, una fuerza F_{e21} .

$$F_{e21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 R_{12}^2}$$

- F_{e21} = fuerza eléctrica que actúa sobre q_2 debido a q_1 , en N.
- q_1, q_2 = cargas eléctricas, en C.
- R_{12} = distancia radial entre cargas, en m.
- ϵ_0 = permitividad eléctrica en el vacío, $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$.

De la misma forma, F_{e12} es la fuerza que actúa sobre la carga $+q_1$ debido a la carga $+q_2$

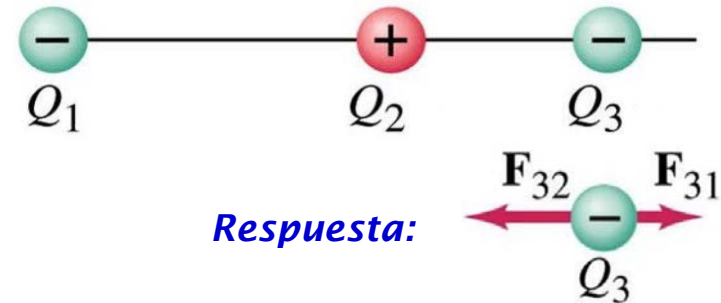
$$F_{e12} = -F_{e21}$$



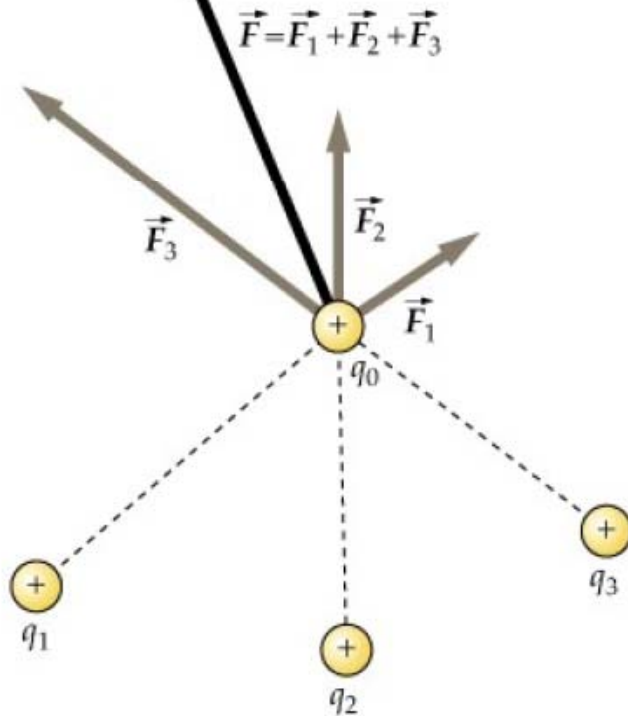
El principio de superposición

La **fuerza neta** sobre cualquier carga es la **suma vectorial** de todas las fuerzas que actúan sobre ella.

Ejemplo 1.- ¿Cuál es la **fuerza neta** sobre Q_3 producida por Q_1 y Q_2 ?



Ejemplo 2.- Fuerza neta F sobre q_0 producida por q_1 , q_2 y q_3 .



Prefijos de múltiplos y submúltiplos

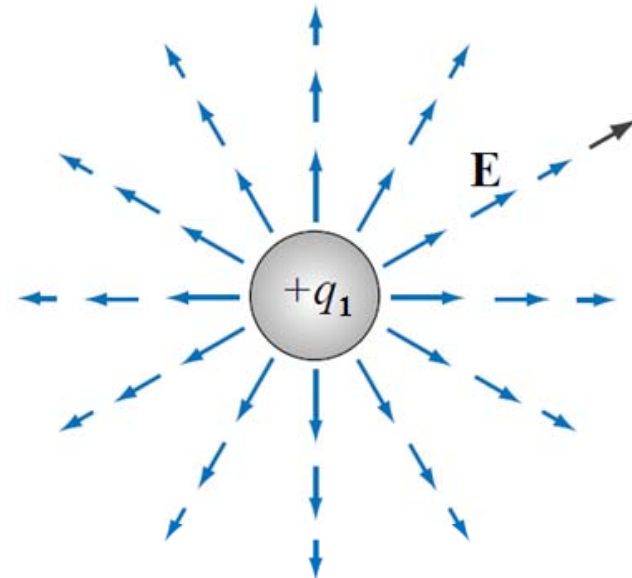
Prefix	Symbol	Magnitude
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

3.- Campo eléctrico de carga puntual

En forma similar al campo gravitacional, se dice que existe un **campo eléctrico E** en la región del espacio que rodea a un objeto cargado.

La existencia del **campo E** es una propiedad de su fuente. Se puede decir que **cada electrón** "viene" con su **propio campo E** .

Cuando otro objeto cargado $+q_2$ ingresa al campo eléctrico E de $+q_1$, una fuerza eléctrica F_{e21} actúa sobre él.



Campo eléctrico de $+q_1$

Esta relación se expresa así:

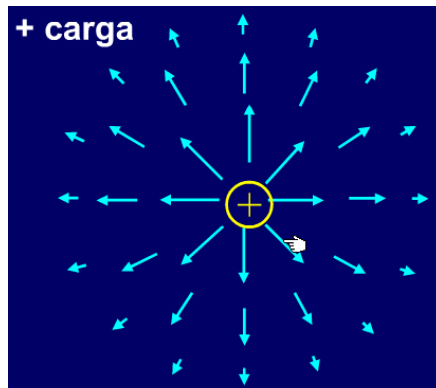
$$E = \frac{F_{e21}}{q_2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_{12}^2}$$

E = campo eléctrico generado por q_1 , en N/C ó V/m.
 F_{e21} = fuerza eléctrica que actúa sobre q_2 debido a q_1 , en N.
 q_1, q_2 = cargas eléctricas, en C.
 R_{12} = distancia radial entre cargas, en m.
 ϵ_0 = permitividad eléctrica en el vacío, $8,85 \times 10^{-12}$ F/m.

Campo eléctrico de cargas puntuales

Formas de visualizar el campo E:

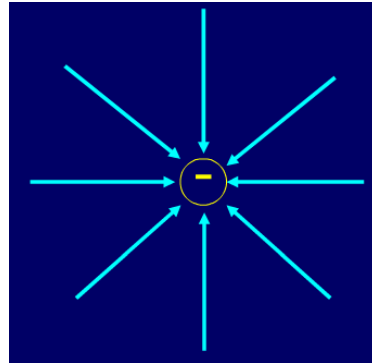
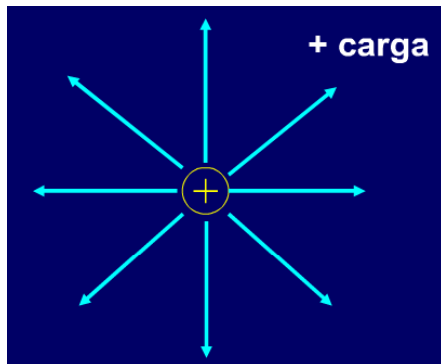
Mapa vectorial



La **dirección** de la flecha indica la **dirección** del campo en cada punto en el espacio.

La **longitud** de la flecha es proporcional a la **intensidad** del campo en cada punto en el espacio.

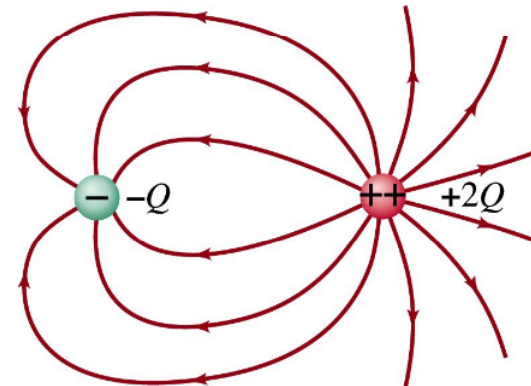
Líneas de campo



Las líneas **salen** de las cargas **positivas** y **entran** a las **negativas**.

El **número de líneas** que salen/entran a una carga es **proporcional** a la cantidad de **carga**.

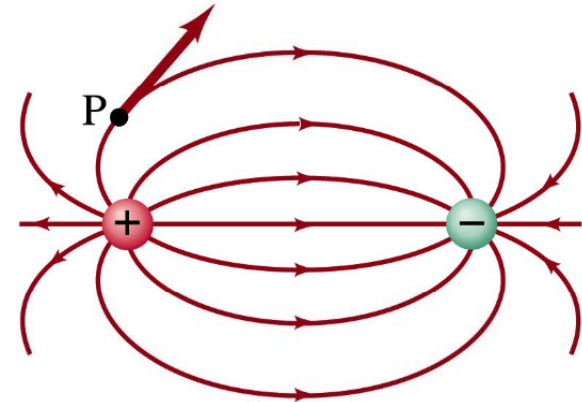
Las líneas de campo nunca se cruzan



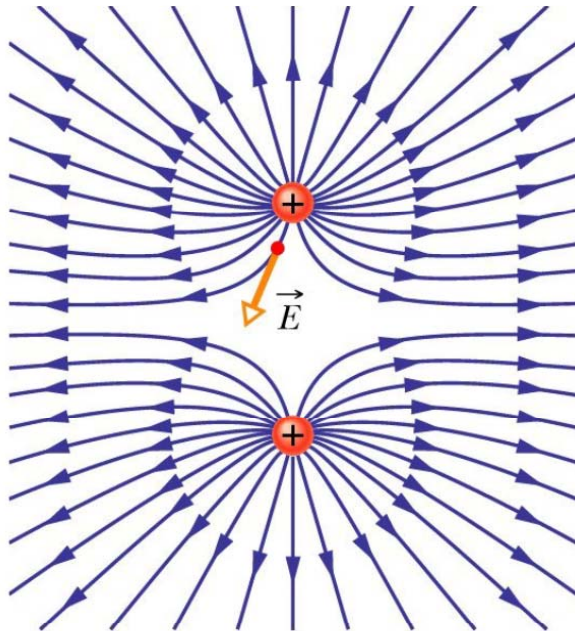
Campo eléctrico de par de cargas puntuales

La **tangente** a una línea de campo es la **dirección** del campo eléctrico en cada punto.

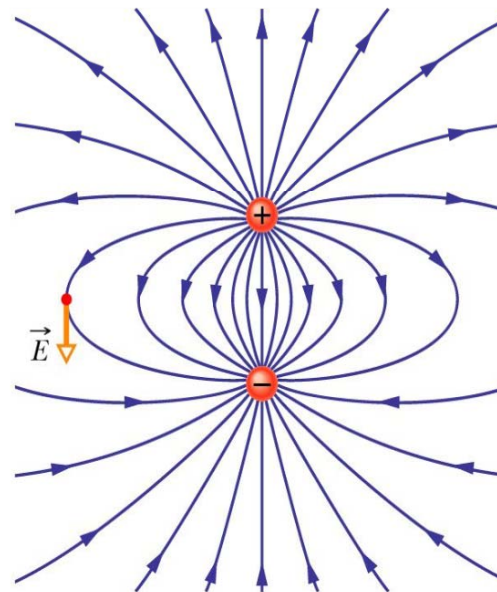
La **densidad** local de las líneas de campo es proporcional a la **intensidad** del campo eléctrico en cada punto.



Cargas Iguales (++)



Cargas Opuestas (+ -)



Este es un
dipolo
eléctrico

4.- Campo eléctrico de línea de carga

El campo eléctrico producido por una línea que tiene una carga distribuida de manera uniforme, se calcula de acuerdo a los siguientes principios.

- Se supone que la línea es **larga**.
- Tiene un **densidad** lineal de carga:

$$\rho_L = \frac{\text{carga}}{\text{unidad de longitud}} \quad [\text{C/m}]$$

Para calcular el campo E en un punto P

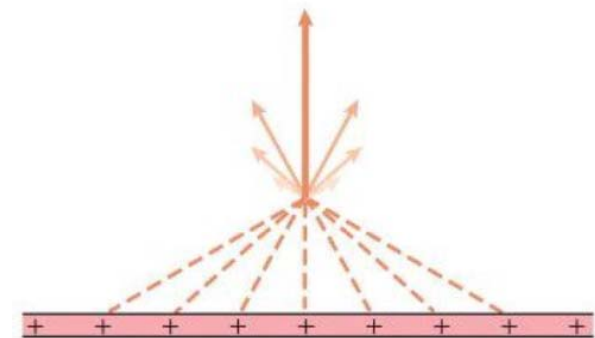
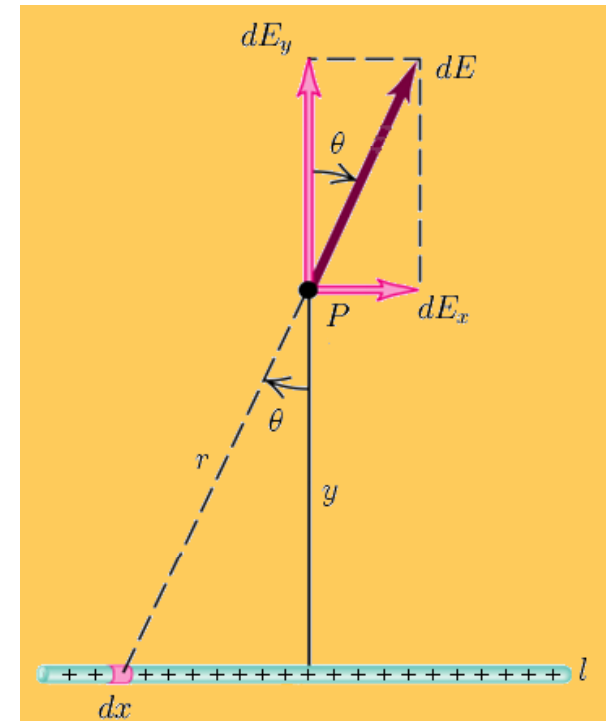
- ▶ Se divide la carga en cargas infinitesimales: $dq = \rho_L dx$
- ▶ Se calcula el campo dE que produce cada carga dq .

Por simetría, los componentes en x deben ser 0, porque toda carga a la izquierda de la perpendicular que une P con la línea, tiene una carga correspondiente a la derecha, de modo que **se anulan mutuamente**.

El **campo eléctrico resultante** apunta exactamente en la dirección de las y .

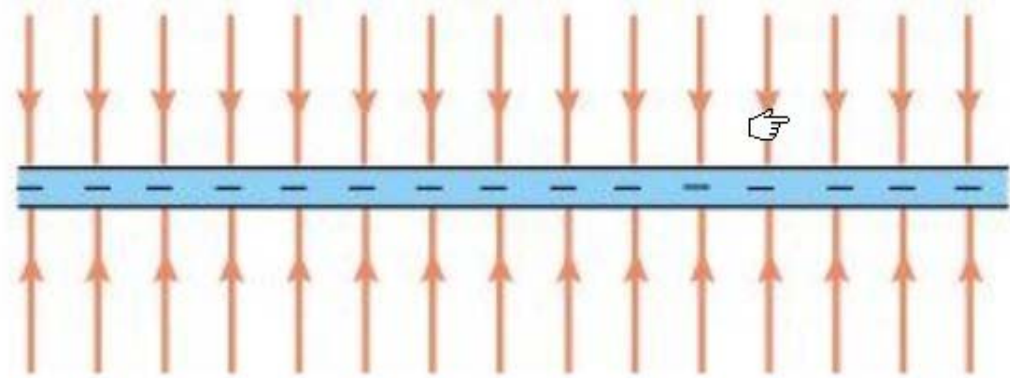
Por tanto, el **campo eléctrico E** generado por una línea de carga de **densidad lineal ρ_L** , a una **distancia R** , se escribe:

$$E = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 R} \quad [\text{V/m}]$$

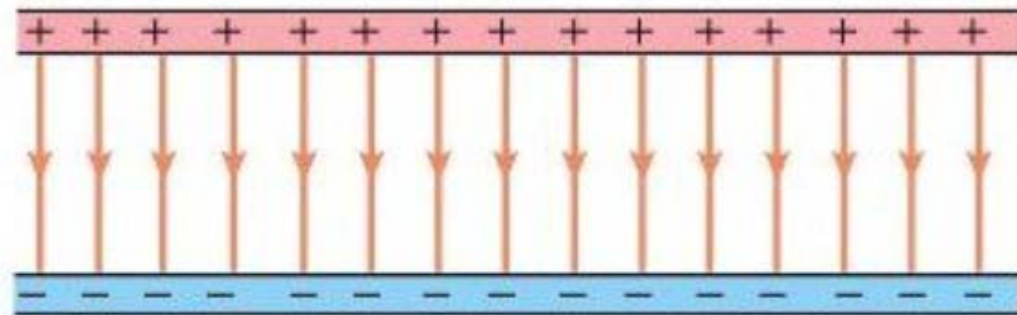


Ejemplos de líneas con carga

Líneas de campo eléctrico para una distribución uniforme en una **línea con carga negativa**.



Líneas de campo eléctrico para una **línea de transmisión de dos conductores**.



En una línea de transmisión, los conductores tienen cargas de polaridades opuestas.

5.- Potencial eléctrico diferencial

En circuitos eléctricos se trabaja con voltajes y corrientes, y no se consideran los campos presentes en ellos, pero, en verdad, la existencia de un campo E entre 2 puntos origina la existencia de voltaje entre ellos; p. ej. entre los terminales de un resistor o un capacitor.

Trabajo para mover la carga q

■ El campo E de la carga referencial ejerce una fuerza F_e sobre la carga de prueba q en dirección de $-y$.

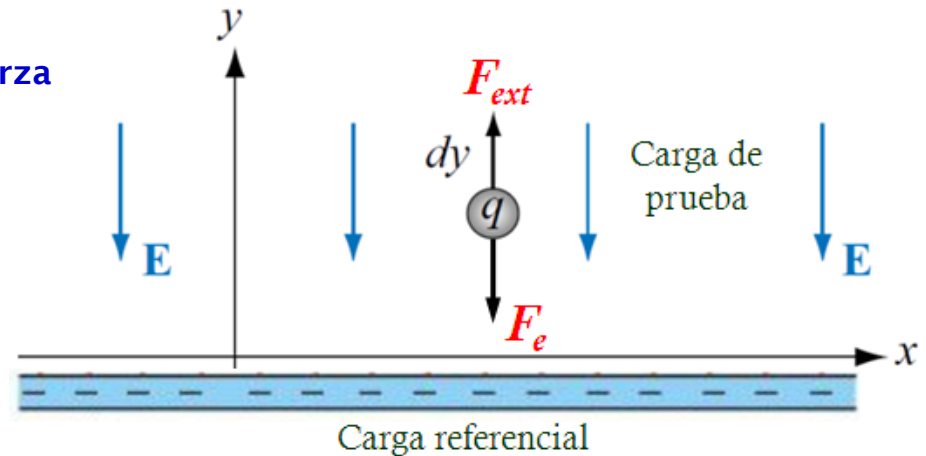
$$\Rightarrow F_e = qE \quad [\text{N}]$$

■ Para mover q a lo largo de $+y$, a velocidad constante, se necesita una fuerza F_{ext} .

$$\Rightarrow F_{ext} = -F_e = -qE \quad [\text{N}]$$

■ Al mover q una distancia dy , se ha realizado un trabajo dW o se ha gastado energía.

$$\Rightarrow dW = F_{ext} dy = -F_e dy = -qE dy \quad [\text{J}]$$



Definición de potencial eléctrico diferencial

$$\Rightarrow dV = \frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{Unidad de carga}} = \frac{dW}{q} = -E dy \quad [\text{V}]$$

Es el trabajo realizado por unidad de carga.

Definición de potencial absoluto o voltaje

$$\Rightarrow V = - \int_R^{\infty} E dy = E_R R \quad [\text{V}]$$

Es el trabajo por unidad de carga, realizado para mover la carga q desde una distancia R de la carga referencial hasta el infinito. En el infinito, $E = 0$.

FIN