



# Fuerza eléctrica.

## 1.5 Ley de Coulomb.

**Objetivo:**

**Determinar la fuerza eléctrica entre dos cuerpos con carga.**

**Aplicar el principio de superposición**



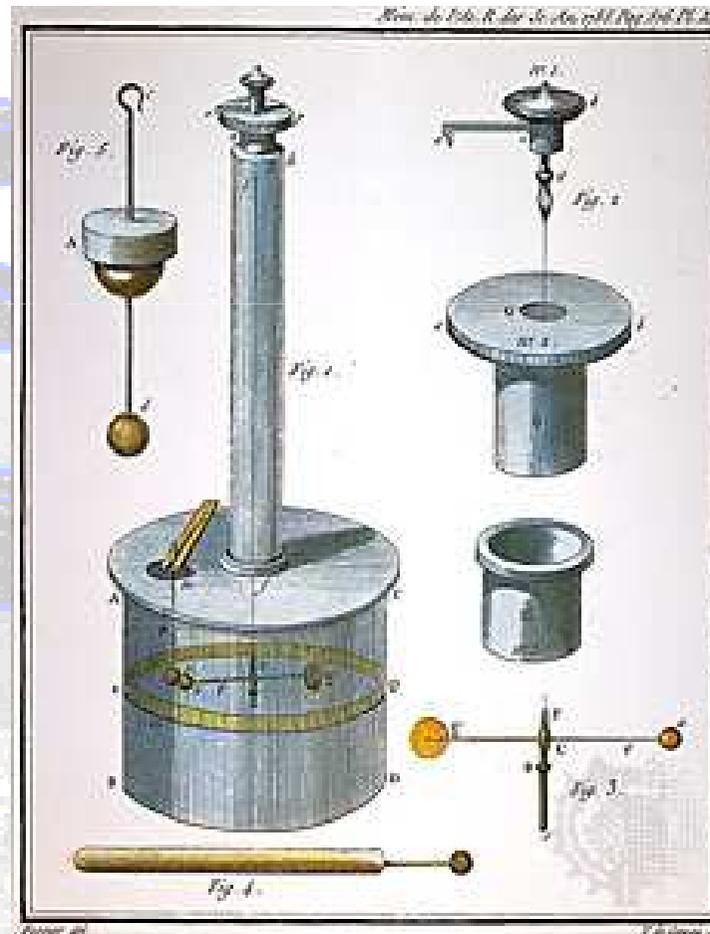
# Ley de Coulomb.

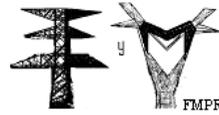
**Charles-Augustin de Coulomb**  
(Angoulême, Francia, 1736 -  
París, 1806). Físico e ingeniero  
militar francés. Demostró que la  
fuerza eléctrica de atracción o de  
repulsión que actúa entre un par  
de pequeñas esferas, cargadas y  
separadas una cierta distancia,  
obedece a la siguiente relación:





# Balanza de Coulomb





# Ley de Coulomb.

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \text{ [N]}$$

$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \text{ [N]}$$

$$k_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$$

**Donde:**

**$q_1$ =carga de la esfera 1**

**$q_2$ =carga de la esfera 2**

**$r$ =distancia entre sus centros**

**$K_e$ =Constante de proporcionalidad**



# Ley de Coulomb.

$\epsilon_0$  = permitividad del vacio

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[ \frac{C^2}{N \cdot m^2} \right]$$

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \left[ \frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$$





# Ley de Coulomb.

Convención de nomenclatura para fuerzas eléctricas.



Simulador 29 del Resnick



# Ley de Coulomb.



La fuerza es una cantidad vectorial que se puede expresar en función de su magnitud (módulo) y un vector unitario en dirección del vector.

$$\vec{F} = |\vec{F}| \cdot \hat{r} = F \cdot \hat{r}$$





# La magnitud de la fuerza



La magnitud de la fuerza se determina por

$$F = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} [\text{N}]$$

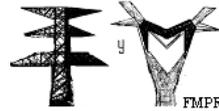
Ejemplo.

Si  $q_1 = 5 \text{ [uC]}$ ,  $q_2 = -5 \text{ [uC]}$  se encuentran separadas  $10 \text{ [cm]}$  el valor de la fuerza eléctrica es:

$$F = 9 \times 10^9 \left[ \frac{(5 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(10 \times 10^{-2})^2} \right] = 22.5 \text{ [N]}$$

<http://www.wolframalpha.com/>

Colulomb's law      5.0uC,5uC,10cm

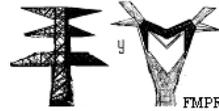


# La dirección y sentido

El vector unitario se define como:  $\hat{\mathbf{r}} = \frac{\vec{\mathbf{r}}}{|\vec{\mathbf{r}}|} = \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r}$

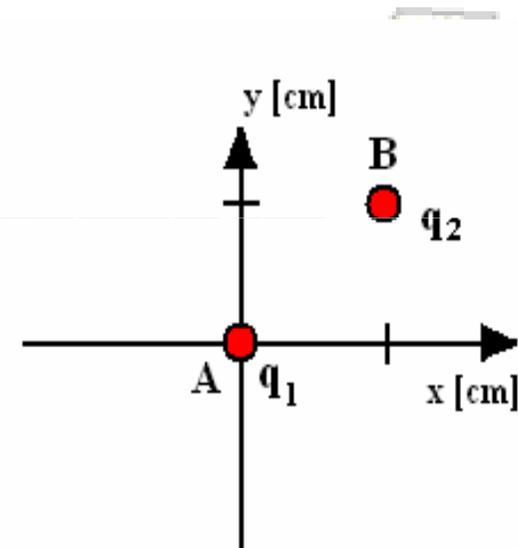
Un vector unitario en coordenadas cartesianas (o rectangulares) puede representarse en la siguiente forma:

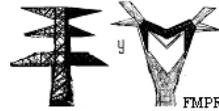
$$\hat{\mathbf{r}} = \frac{(x_f - x_i)\hat{\mathbf{i}} + (y_f - y_i)\hat{\mathbf{j}} + (z_f - z_i)\hat{\mathbf{k}}}{\sqrt{(x_f - x_i)^2 + (y_f - y_i)^2 + (z_f - z_i)^2}}$$



# Ley de Coulomb.

Ejemplo: Se tienen dos cargas puntuales. La carga  $q_1=10[\mu\text{C}]$  ubicada en el punto A (origen del sistema cartesiano) y la carga  $q_2=10[\mu\text{C}]$  ubicada en el punto B con coordenadas (4, 3) [cm]. Determinar la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga  $q_2$ .





# Ley de Coulomb.

Verificar que la respuesta es:

$$\vec{F}_{21} = 360 \left( \frac{4}{5} \hat{i} + \frac{3}{5} \hat{j} \right) = (288\hat{i} + 216\hat{j}) [\text{N}]$$

Simulador en Java. [Ley de coulomb-simulador.jar](#)



# Ley de Coulomb.

```
ley de coulomb()
```

```
{  
    q1: (0,0,0) (cm), -10 (mC);  
    q2: (0.04, .03, 0) (m), 2.5E-6 (C);  
}
```

La fuerza que se ejerce sobre q1 es: (71.99999999999997, 53.99999999999998, 0.0)

La fuerza que se ejerce sobre q2 es: (-71.99999999999999, -53.99999999999999, 0.0)

Video (de 1:02 en adelante) [1leycoulomb.wmv](#)



# Cargas en el espacio

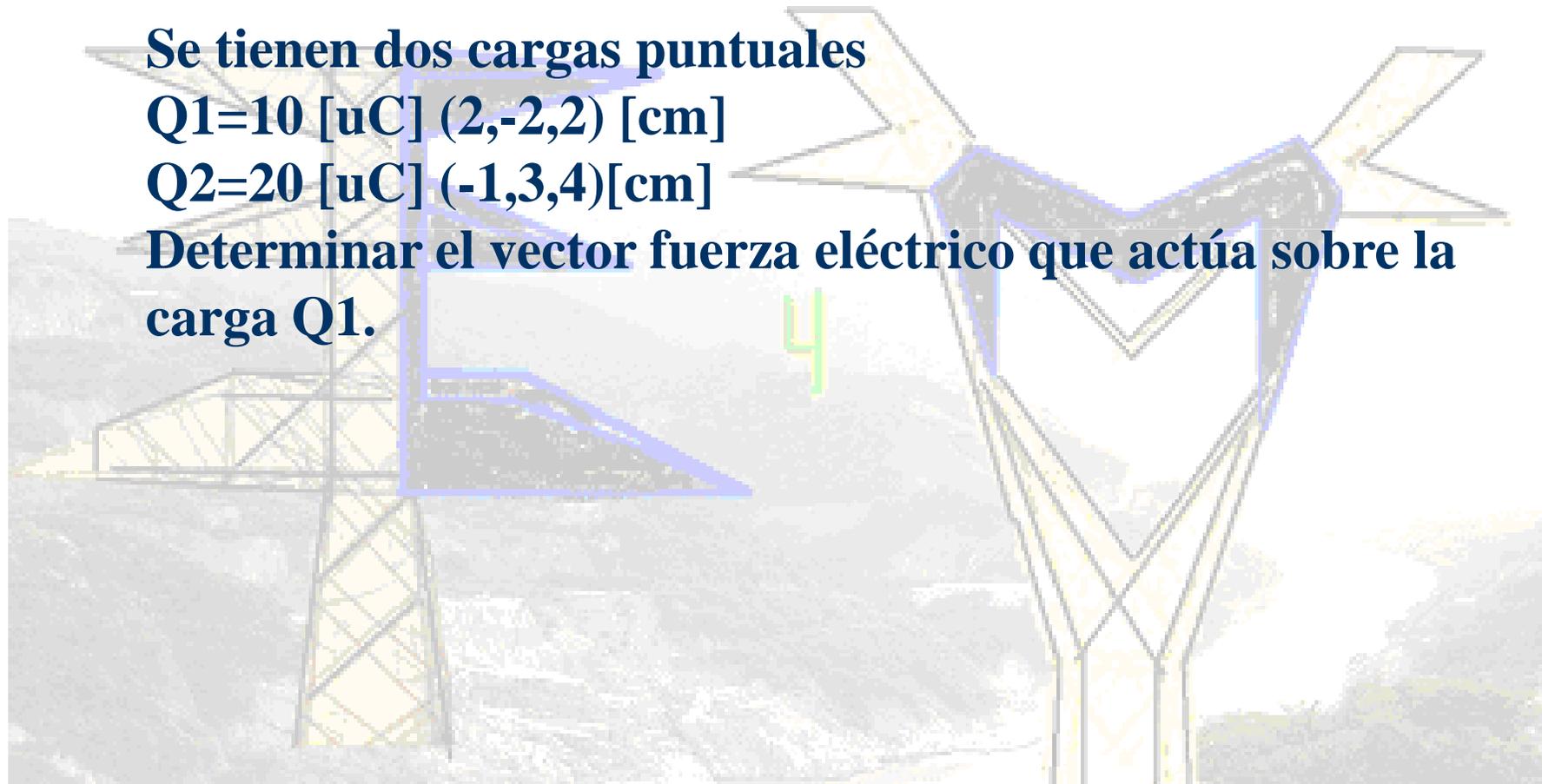


Se tienen dos cargas puntuales

$Q_1 = 10 \text{ [uC]} (2, -2, 2) \text{ [cm]}$

$Q_2 = 20 \text{ [uC]} (-1, 3, 4) \text{ [cm]}$

Determinar el vector fuerza eléctrico que actúa sobre la carga  $Q_1$ .





# Uso del simulador

Electricidad y Magnetismo

Archivo

Aceptar Limpiar Salir

```
ley de coulomb()
{
    q1: (2,-2,2) (cm), 10E-6 (C);
    q2: (-1,3,4) (cm), 20E-6 (C);
}
```

La fuerza que se ejerce sobre q1 es: (230.5251773963468, -384.20862899391136, -153.6834515975645)

La fuerza que se ejerce sobre q2 es: (-230.5251773963468, 384.20862899391136, 153.6834515975645)

Sergio Mejia Serratos sergio\_ms2@yahoo.com

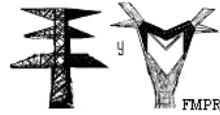


# Principio de superposición.



Cuando se tienen más de dos cargas, se puede aplicar lo que se conoce como el principio de superposición que nos indica que la fuerza total en una de las cargas se puede calcular como la suma vectorial de las fuerzas producidas por cada una de las cargas sobre la de interés.

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$



# Ley de Coulomb.

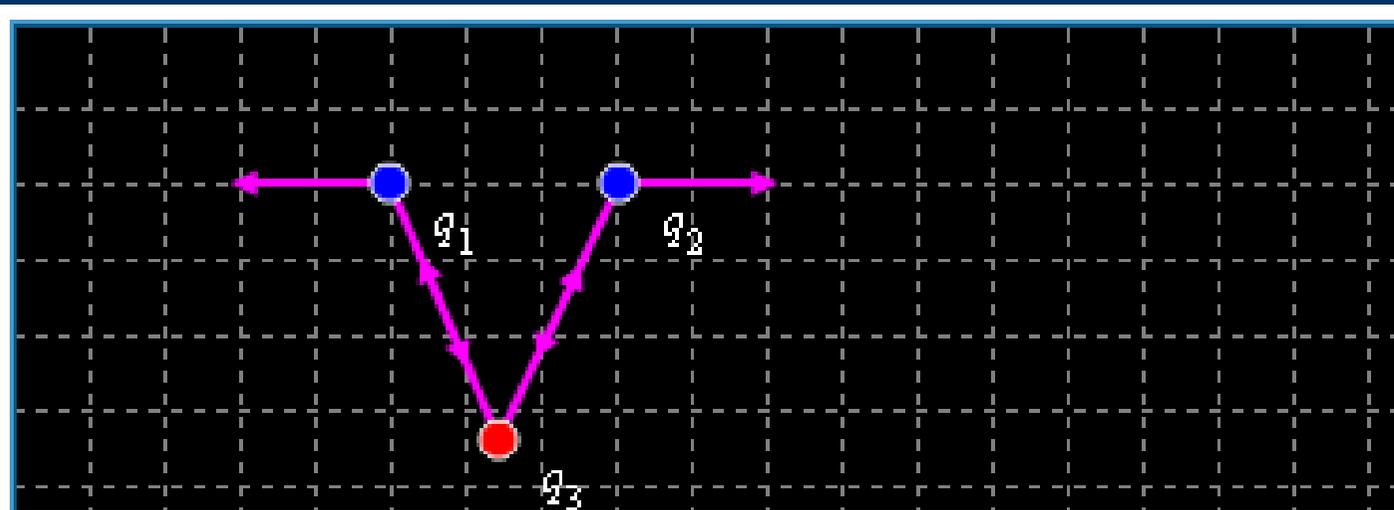
Cuantificación de las fuerzas que interactúan entre cuerpos cargados puntuales, con el simulador de la página de PEARSON.

[http://wps.aw.com/aw\\_young\\_physics\\_11/0,8076,898593-,00.html](http://wps.aw.com/aw_young_physics_11/0,8076,898593-,00.html).

En este simulador se puede modificar el valor de las cargas, se pueden mover las cargas para modificar las distancias. Muy didáctico.



# Ley de Coulomb.



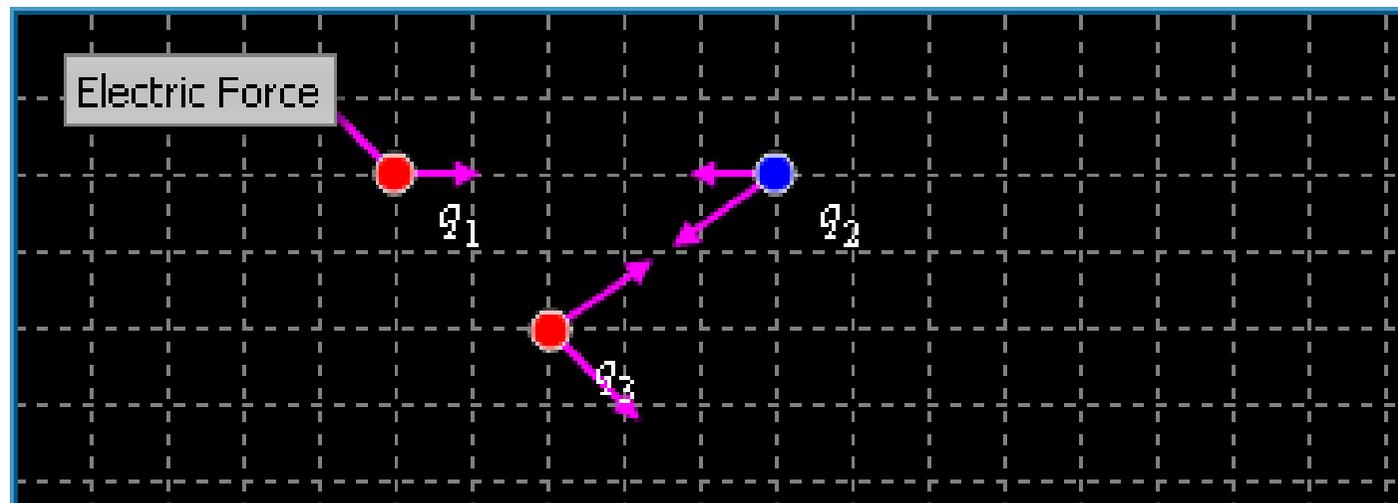
$q_1 = -5.0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$	<input type="text" value="6.0"/> <input type="text" value="-5.0"/> <input type="text" value="-4.0"/>	$r_{12} = 122 \text{ cm}$	$F_{12} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ N}$
$q_2 = -5.0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$	<input type="text" value="6.0"/> <input type="text" value="-5.0"/> <input type="text" value="-4.0"/>	$r_{23} = 150 \text{ cm}$	$F_{23} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ N}$
$q_3 = 10.0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$	<input type="text" value="9.0"/> <input type="text" value="10.0"/>	$r_{31} = 148 \text{ cm}$	$F_{31} = 21 \cdot 10^{-6} \text{ N}$

Show Forces





# Ley de Coulomb.



$q_1 = 4.0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$



$q_2 = -6.0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$



$q_3 = 4.0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$



$r_{12} = 200 \text{ cm}$      $F_{12} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ N}$

$r_{23} = 144 \text{ cm}$      $F_{23} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ N}$

$r_{31} = 116 \text{ cm}$      $F_{31} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ N}$

Show Forces



# Ley de Coulomb.

Principio de superposición de fuerzas eléctricas.

Ver carpeta simulador Resnick.

**AUDIO INTRO** **STUDENT NOTES** **SELF-TEST**

Show net electric field  
 Show field lines for charges

X  m  
Y  m

Force on each charge  mN  
Measure the electric field   $\frac{\text{kN}}{\text{C}}$

Charge 1   $\mu\text{C}$       Charge 2   $\mu\text{C}$

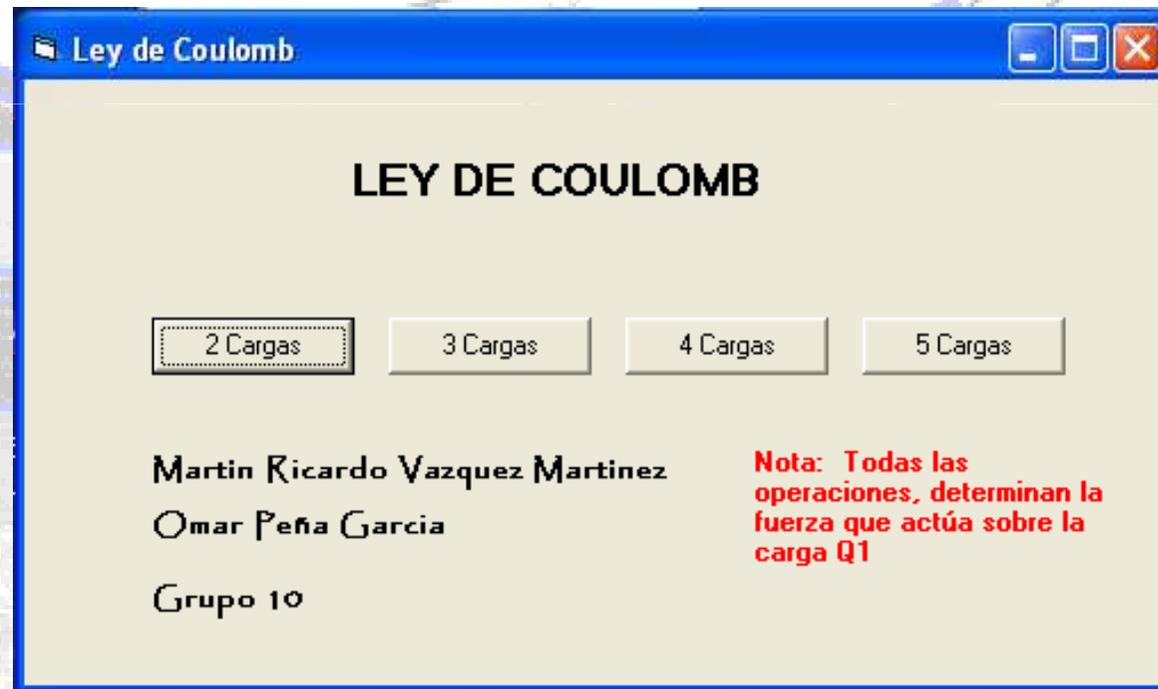
The simulation interface displays a grid of small arrows representing the net electric field. Two point charges are positioned on a horizontal axis: a positive charge labeled 'Charge 1' and a negative charge labeled 'Charge 2'. Green arrows labeled 'F' point from each charge towards the other, indicating the force between them. Below the grid, there are two sliders for adjusting the charges. The first slider is for 'Charge 1' with a value of 2  $\mu\text{C}$ . The second slider is for 'Charge 2' with a value of -1  $\mu\text{C}$ . To the right of the grid, there are input fields for X and Y coordinates, and two output fields: 'Force on each charge' showing 18.00 mN and 'Measure the electric field' showing 'is undefined'  $\frac{\text{kN}}{\text{C}}$ . At the top of the interface are three buttons: 'AUDIO INTRO', 'STUDENT NOTES', and 'SELF-TEST'.





# Ley de Coulomb.

Simulador realizado por alumnos de la asignatura.





# Ley de Coulomb.

Simulador realizado por alumnos de la asignatura.



Para 2 Cargas

Ingresar el valor de Q1

Ingresar el valor de Q2

¡Ingresar valores con el signo de la carga!  
¡Ingresar valores en Coulombs!

Ingresar la posición de Q1

Ingresar la posición de Q2

¡Ingresar valores en Metros!

i  j  k

Aceptar Datos



# Ley de Coulomb.

- Uso de los simuladores en Excel, en Java, en Visual (página del Departamento), etc.
- Aplicación de un examen de verificación (ver archivo en Word).





# Bibliografía

Gabriel A. Jaramillo Morales, Alfonso A.  
Alvarado Castellanos.  
Electricidad y magnetismo.  
Ed. Trillas. México 2003

Sears, Zemansky, Young, Freedman  
Física Universitaria  
Ed. PEARSON. México 2005