

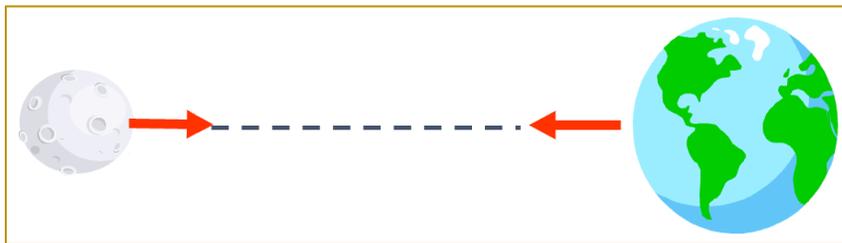
LEY DE COULOMB

Para familiarizarnos con la Ley de Coulomb revisemos un ejemplo que vemos todos los días.

Preguntémonos lo siguiente:

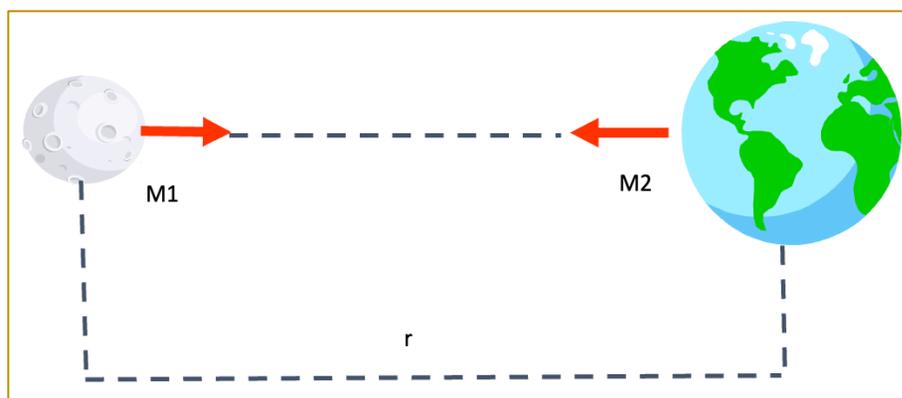
¿Qué interacción hay entre la Luna y nuestro planeta?

La Tierra y la Luna se atraen mutuamente por una fuerza gravitacional (F_g).



La expresión que las relaciona involucra:

- Las masas m_1 y m_2 de ambos cuerpos.
- La distancia r entre ellos.
- Una constante G (Constante Universal Gravitacional).



La expresión es la siguiente:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Esta atracción ocurre entre cualquier cuerpo celeste y también con las estrellas. Algo semejante ocurre a nivel mucho más pequeño con las cargas eléctricas.

La expresión para la fuerza de interacción entre dos cargas puntuales q_1 y q_2 (pequeñas en relación con la distancia que las separa), es muy semejante a la que vimos para la fuerza gravitacional entre la Luna y la Tierra. Esta expresión es la siguiente:

$$F_e = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

En donde:

- q_1 y q_2 son las cargas en Coulomb.
- r : es la distancia en metros.
- k : es una constante que depende del medio; en el vacío corresponde aproximadamente a $9 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{m}^2) / \text{C}^2$
- F_e : es la fuerza en Newton.

La ley de Coulomb puede expresarse como:

“La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales en reposo es directamente proporcional al producto de la magnitud de ambas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa”.

La siguiente imagen ilustra la definición de la ley de Coulomb.

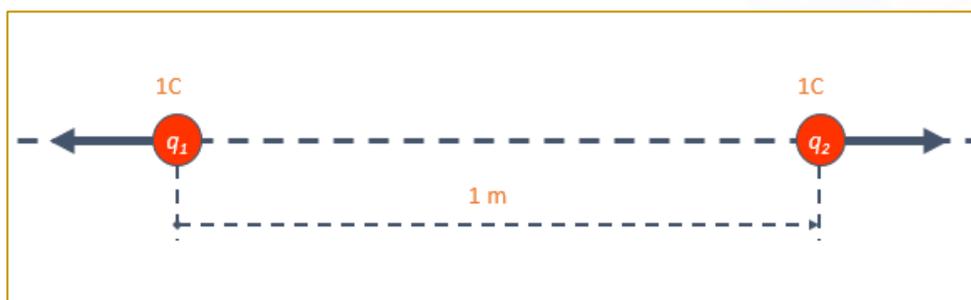


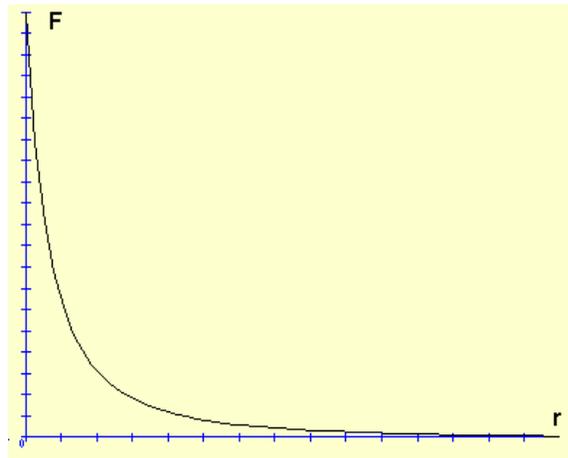
Figura 1. Dos cargas puntuales iguales a 1 Coulomb y separadas por 1 metro, en el vacío.

Respecto a la ley de Coulomb hay que considerar lo siguiente:

- Se aplica a cargas puntuales.
- La fuerza eléctrica es una magnitud vectorial, por lo tanto, hay que considerar suma de vectores.
- Si F_e es > 0 , hay repulsión; entonces q_1 y q_2 tienen la misma carga.
- Si F_e es < 0 , hay atracción; entonces q_1 y q_2 tienen distinta carga.

Desarrollo de la ley:

Coulomb desarrolló la balanza de torsión con la que determinó las propiedades de la fuerza electrostática. Este instrumento consiste en una barra que cuelga de una fibra capaz de torcerse. Si la barra gira, la fibra tiende a regresarla a su posición original, con lo que conociendo la fuerza de torsión que la fibra ejerce sobre la barra, se puede determinar la fuerza ejercida en un punto de la barra.



Variación de la Fuerza de Coulomb en función de la distancia.

En la barra de la balanza, Coulomb colocó una pequeña esfera cargada y a continuación, a diferentes distancias, posicionó otra esfera también cargada. Luego midió la fuerza entre ellas observando el ángulo que giraba la barra.

Dichas mediciones permitieron determinar que:

- La fuerza de interacción entre dos cargas q_1 y q_2 duplica su magnitud si alguna de las cargas dobla su valor, la triplica si alguna de las cargas aumenta su valor en un factor de tres, y así sucesivamente. Concluyó entonces que el valor de la fuerza era proporcional al producto de las cargas:

$$F \propto q_1 \quad \text{y} \quad F \propto q_2$$

En consecuencia:

$$F \propto q_1 q_2$$

- Si la distancia entre las cargas es r , al duplicarla, la fuerza de interacción disminuye en un factor de 4 (2^2); al triplicarla, disminuye en un factor de 9 (3^2) y al cuadruplicar r , la fuerza entre cargas disminuye en un factor de 16 (4^2). En consecuencia, la fuerza de interacción entre dos cargas puntuales es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

Asociando ambas relaciones:

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Finalmente, se introduce una constante de proporcionalidad para transformar la relación anterior en una igualdad:

$$F = \kappa \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Enunciado de la ley:

La ley de Coulomb es válida solo en condiciones estacionarias, es decir, cuando no hay movimiento de las cargas o, como aproximación cuando el movimiento se realiza a velocidades bajas y en trayectorias rectilíneas uniformes. Es por ello es llamada *fuerza electrostática*.

En términos matemáticos la magnitud F de la fuerza que cada una de las dos cargas puntuales q_1 y q_2 ejerce sobre la otra separadas por una distancia d se expresa como:

$$F = \kappa \frac{|q_1| |q_2|}{d^2}$$

Dadas dos cargas puntuales q_1 y q_2 separadas una distancia d en el vacío, se atraen o repelen entre sí con una fuerza cuya magnitud está dada por:

$$F = \kappa \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

La Ley de Coulomb se expresa mejor con magnitudes vectoriales:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \vec{u}_d = \frac{1}{4\pi\epsilon} q_1 \cdot q_2 \frac{(\vec{d}_2 - \vec{d}_1)}{|\vec{d}_2 - \vec{d}_1|^3}$$

Donde \vec{u}_d es un vector unitario que va en la dirección de la recta que une las cargas, siendo su sentido desde la carga que produce la fuerza hacia la carga que la experimenta.

El exponente (de la distancia: d) de la Ley de Coulomb es, hasta donde se sabe hoy en día, exactamente 2. Experimentalmente se sabe que, si el exponente fuera de la forma $(2 + \delta)$, entonces $|\delta| < 10^{-16}$.

Constante de coulomb:

La constante κ es la Constante de Coulomb y su valor para unidades SI es $\frac{1}{4\pi\epsilon} \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

A su vez la constante $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ donde ϵ_r es la permitividad relativa, $\epsilon_r > 1$, y $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ es la permitividad del medio en el vacío.

Cuando el medio que rodea a las cargas no es el vacío hay que tener en cuenta la constante dieléctrica y la permitividad del material.

Observa con atención los siguientes videos con **ejercicios** en los que se aplica la Ley de Coulomb:

- Ejercicio 1:

<https://www.youtube.com/watch?v=8Wso2mUeQVY>

- Ejercicio 2:

<https://www.youtube.com/watch?v=FOynb4K7tts>

Ingresa al siguiente enlace donde se lleva a cabo la **demostración** de la Ley de Coulomb:

<https://www.youtube.com/watch?v=5X1NvbWkHR4>

Referencias:

Serway, Raymond A.; Jewett Jr., John W. (2016) Física. Electricidad y Magnetismo. 9na Edición. México. Cengage Learning.

Scienza Educación. (2020) Ley de Coulomb - Ejercicio 1. YouTube. Recuperado de:
<https://www.youtube.com/watch?v=8Wso2mUeQVY>

Scienza Educación. (2020) Ley de Coulomb - Ejercicio 2. YouTube. Recuperado de:
<https://www.youtube.com/watch?v=FOynb4K7tts>

Castañeda Alemán, Héctor Elías. (2020) Demostración de la ley de Coulomb. YouTube. Recuperado de:
<https://www.youtube.com/watch?v=5X1NvbWkHR4>