

Ley de Coulomb

Ricardo Alberto Gómez Quijano, Mario Isaac López Guevara, Carlos Raúl Ledezma Arévalo, Víctor Enrique Mendoza Yanes, Carlos Mario Peña Ramírez, Rodrigo Salvador Martínez Ortiz

Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”
Electricidad y Magnetismo, Laboratorio #03 – B, Mesa #4

00108517@uca.edu.sv, 00046317@uca.edu.sv, 00069217@uca.edu.sv, 00046517@uca.edu.sv,
00094713@uca.edu.sv, 0016317@uca.edu.sv

COORDINADOR

Humberto Molina
Hmolina@uca.edu.sv

INSTRUCTORES

Carlos Josué Aguilar Escobar, Nicole Anaya Ávalos, Edwin Torres Recinos
00027414@uca.edu.sv, 00065213@uca.edu.sv, 00405316@uca.edu.sv

Resumen— La Ley de Coulomb es uno de los principios físicos más importantes de la física en los últimos siglos ya que define la fuerza de atracción o repulsión que dos cargas ejercen entre ellas dependiendo de la distancia y la magnitud de ambas cargas. La idea planteada por Charles-Augustin de Coulomb puede resultar ambigua a simple vista, por lo que en el presente documento se analiza detenidamente la Ley propuesta por Coulomb y como se relacionan sus diferentes partes a partir de una serie de pequeños experimentos con un simulador. Se realizaron cálculos con los datos obtenidos y en base a los resultados se definieron las conclusiones basadas en la teoría y en la práctica. Cabe resaltar que el sistema internacional (SI) es el estándar utilizado para las medidas en esta práctica.

Palabras clave— Fuerza, Atracción, Repulsión, Carga, Distancia, Magnitud, Relación.

I. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

El concepto de carga surge de una observación de la naturaleza: observamos fuerzas entre objetos. La carga eléctrica es la propiedad que tienen los objetos que da lugar a esta fuerza.^[1]

Como la gravedad, la fuerza eléctrica "actúa a la distancia". La idea de que una fuerza pueda "actuar a la distancia" es bastante sorprendente, pero es lo que la naturaleza hace en realidad. Las fuerzas eléctricas son muy grandes, mucho más que la fuerza de gravedad. La fuerza eléctrica de Coulomb puede ser tanto de atracción como de repulsión. Por su parte, la fuerza gravitacional solo puede ser de atracción.^[3]

“En general, los materiales son neutros; es decir, el material contiene el mismo número de cargas negativas (electrones) y positivas (protones)”.^[4]

Las cargas opuestas se atraen:

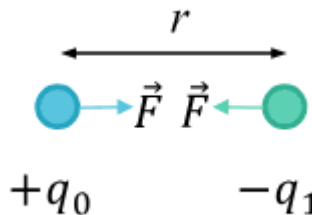


Ilustración 1 Representación gráfica de la atracción de cargas opuestas.

MIÉRCOLES 12 DE SEPTIEMBRE DE 2018

Las cargas iguales se repelen:

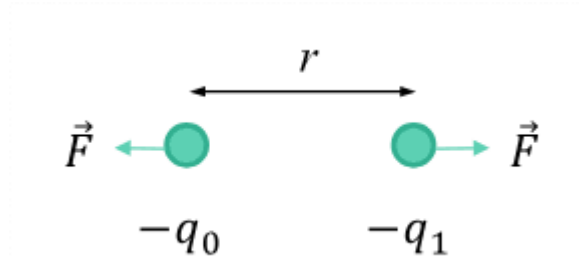


Ilustración 2 Representación gráfica de la repulsión de cargas iguales.

LEY DE COULOMB

Mediante una balanza de torsión, Coulomb encontró que la fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales (cuerpos cargados cuyas dimensiones son despreciables comparadas con la distancia r que las separa) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

$$\vec{F}_e = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{u} \quad (\text{Ec. 1})$$

“La fuerza eléctrica descrita en la ley de Coulomb no deja de ser una fuerza y como tal, se trata de una magnitud vectorial que en el Sistema Internacional de Unidades se mide en Newtons (N)”. [5]

Dado que la constante de la ley de Coulomb K depende del medio, esta suele expresarse en términos de otra constante denominada constante dieléctrica o permitividad del medio (ϵ):

En el caso del vacío se cumple que $\epsilon = \epsilon_0$, donde la permitividad del vacío (ϵ_0) equivale a $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$.

Para medios distintos del vacío, se utiliza una magnitud adimensional denominada constante dieléctrica relativa o permitividad relativa (ϵ_r), que se obtiene por medio del cociente entre la permitividad del medio (ϵ) y la permitividad del vacío (ϵ_0):

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (\text{Ec. 2})$$

Formula general de la Ley de Coulomb:

$$F = k \cdot q_1^m \cdot q_2^n \cdot r^p \quad (\text{Ec. 3})$$

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados para la práctica fueron los siguientes:

1. Computadora Mac.
2. Simulador de Ley de Coulomb.
3. Hojas de cálculo.
4. Memoria USB.



Imagen 1 Computadora Mac utilizada para realizar la simulación.

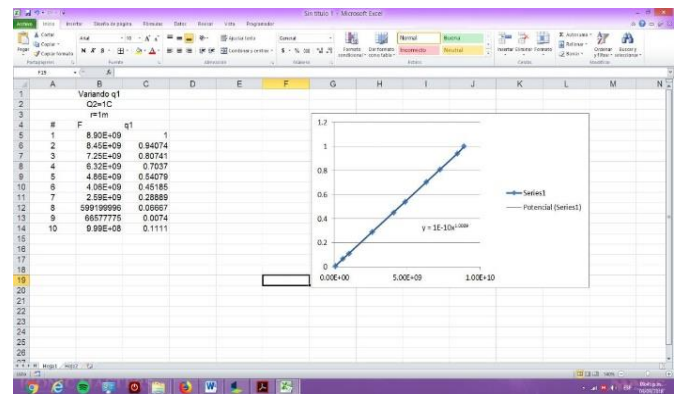


Imagen 2 Hojas de cálculo utilizadas para visualizar las tablas y los gráficos.

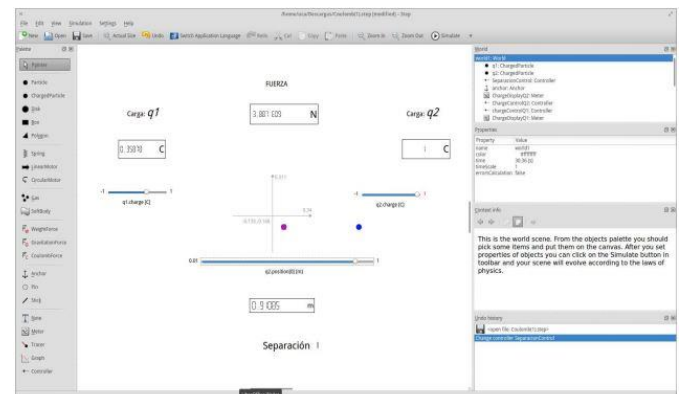


Imagen 3 Simulador de la Ley de Coulomb.

El procedimiento a seguir fue el siguiente:

1. Inicialmente el equipo se familiarizó con el simulador.
2. Haciendo uso de las hojas de cálculo se procedió a colocar todos los datos que se pedían para la práctica, los datos para la tabla 1 con q_2 y r constantes, variando la carga 1; la tabla 2 con q_1 y r constantes, variando la carga 2; y por último la tabla 3 con q_1 y q_2 constantes, variando la distancia.
3. Por último, se procedió a calcular k , m , n y p para la **Ecuación 3** (ecuación general de la Ley de Coulomb).

III. RESULTADOS

Para la primera medición se le asignó un valor fijo de 1C a la carga dos y se le asignó un valor de 1m a la distancia “ r ”, variando únicamente la carga q_1 . Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 1 Tabla de datos con q_2 y r constantes.

| Varía solo q_1 | | | |
|------------------|-----------|------------|----------|
| q_2 [C] | 1 | r [m] | 1 |
| # | q_1 [C] | F [N] | K |
| 1 | 1 | 8900000000 | 8.90E+09 |
| 2 | 0.94074 | 8450000000 | 8.98E+09 |
| 3 | 0.80741 | 7250000000 | 8.98E+09 |
| 4 | 0.7037 | 6320000000 | 8.98E+09 |
| 5 | 0.54079 | 4860000000 | 8.98E+09 |
| 6 | 0.45185 | 4060000000 | 8.98E+09 |
| 7 | 0.28889 | 2590000000 | 8.96E+09 |
| 8 | 0.06667 | 599199996 | 8.97E+09 |
| 9 | 0.0074 | 66577775 | 8.96E+09 |
| 10 | 0.1111 | 999000000 | 8.97E+09 |

Utilizando estos datos podemos generar un gráfico de dispersión (X, Y), para poder observar la línea de tendencia potencial y encontrar el valor de la constante “ n ”.

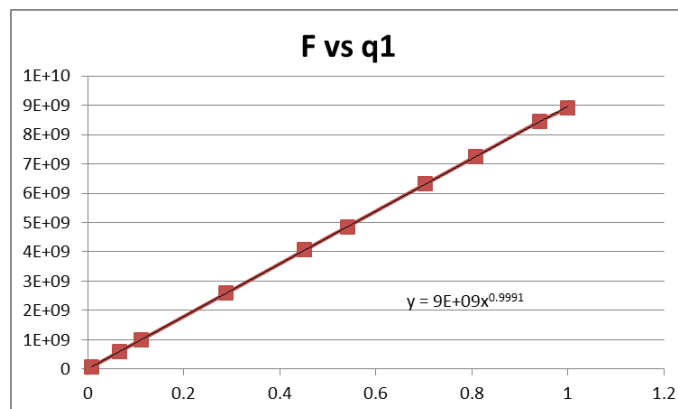


Gráfico 1 Gráfico de F vs q_1 , con su línea de tendencia.

La hoja de cálculo automáticamente genera la ecuación usando los datos proporcionados.

$$Y = 9 \times 10^9 X^{0.9991}$$

Y los valores de las variables “ n ” y “ K ” Promedio fueron de:

$$n = 0.9991 \text{ y } K_{prom} = 8.97 \times 10^9$$

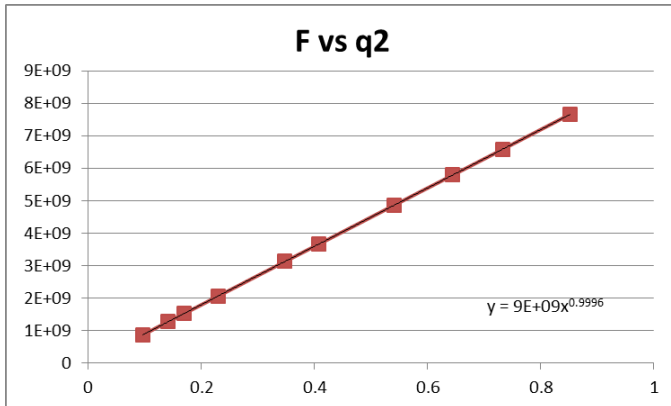
Para la segunda se le asignó un valor fijo de 1C a la carga uno y se le asignó un valor de 1m a la distancia “ r ” y se hizo variar la carga q_2 . Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 2 Tabla de datos con q_1 y r constantes.

| Varía solo q_2 | | | |
|------------------|-----------|------------|----------|
| q_1 [C] | 1 | r [m] | 1 |
| # | q_2 [C] | F [N] | K |
| 1 | 0.0963 | 865511107 | 8.98E+09 |
| 2 | 0.14074 | 1270000000 | 9.02E+09 |
| 3 | 0.17037 | 1530000000 | 8.97E+09 |
| 4 | 0.22963 | 2060000000 | 8.97E+09 |
| 5 | 0.34815 | 3130000000 | 8.99E+09 |
| 6 | 0.40741 | 3660000000 | 8.98E+09 |
| 7 | 0.54074 | 4860000000 | 8.99E+09 |
| 8 | 0.64444 | 5790000000 | 8.98E+09 |
| 9 | 0.73333 | 6590000000 | 8.99E+09 |
| 10 | 0.85185 | 7660000000 | 8.99E+09 |

Como se hizo anteriormente volveremos a generar el gráfico de dispersión para lograr observar la línea de tendencia y su respectiva ecuación para encontrar el valor de “ m ”.

MIÉRCOLES 12 DE SEPTIEMBRE DE 2018

**Gráfico 2** Gráfico de F vs q2, con su línea de tendencia.

La hoja de cálculo automáticamente genera la línea de tendencia así como en la prueba anterior:

$$Y = 9 \times 10^9 X^{0.9996}$$

Y los valores de las variables “n” y “K” Promedio fueron de:

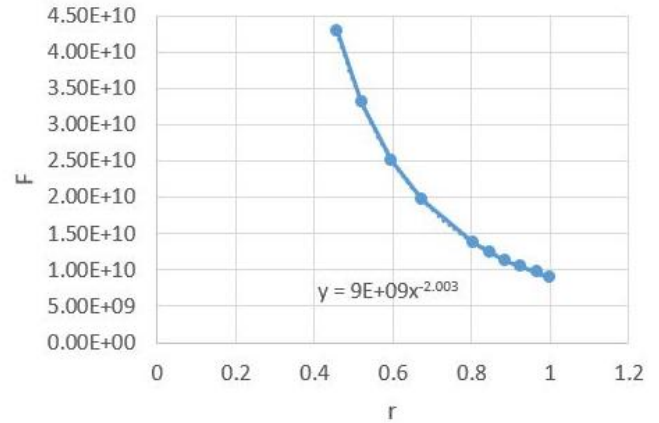
$$m = 0.9996 \text{ y } K_{prom} = 8.98 \times 10^9$$

Para la tercera medición se le asignó un valor fijo de 1C tanto a la carga uno como a la carga dos y se hizo variar la distancia entre ellas “r”. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 3 Datos recolectados con q1 y q2 constantes.

| Variando r | | | |
|------------|----------|----------|---|
| q2 [C] | 1 | q1 [C] | 1 |
| # | F | r | |
| 1 | 8.98E+09 | 1 | |
| 2 | 9.60E+09 | 0.96716 | |
| 3 | 1.04E+10 | 0.92727 | |
| 4 | 1.13E+10 | 0.888974 | |
| 5 | 1.24E+10 | 0.84986 | |
| 6 | 1.37E+10 | 0.80763 | |
| 7 | 1.96E+10 | 0.67626 | |
| 8 | 2.50E+10 | 0.59884 | |
| 9 | 3.30E+10 | 0.52142 | |
| 10 | 4.28E+10 | 0.45808 | |

Utilizando estos datos podemos generar un gráfico de dispersión (X, Y), como se ha hecho con las tablas anteriores, para poder observar la línea de tendencia potencial y encontrar el valor de la constante “p”.

**Gráfico 3** Gráfico de F vs r, con su línea de tendencia.

La hoja de cálculo genera la ecuación de la línea de tendencia:

$$Y = 9E + 09X^{-2.003}$$

De la ecuación anterior podemos rescatar el valor de “p” y de “K” recordando que el valor de “K” es solo para este cálculo y para conocer el verdadero es necesario utilizar también el valor de “n” y “m”.

$$p = -2.003$$

$$K = 9 \times 10^9$$

Considerando todo lo anterior se tienen los siguientes resultados:

$$m = 0.9996$$

$$n = 0.9991$$

$$p = -2.003$$

$$k_1 = 8.98 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$k_2 = 8.97 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$k_3 = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Teniendo como resultado final el valor de K final y la expresión potencial de la Ley de Coulomb:

$$K_{final} = 8.98 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$F = (8.98 \times 10^9) \cdot (q_1)^{0.9991} (q_2)^{0.9996} (r)^{-2.003}$$

IV. DISCUSIÓN

Como grupo consideramos que, a pesar de los diferentes errores cometidos durante la recolección de datos y análisis de resultados, se llegó a una respuesta lógica y satisfactoria.

En el primer experimento donde la distancia “ r ” y la carga 2 se mantienen constantes pudimos observar que al ir disminuyendo los valores de la carga 1 la fuerza entre ambos objetos también disminuye. Lo cual tiene lógica ya que según la Ley de Coulomb la fuerza es proporcional a la carga.

En el experimento número 2 pudimos observar el mismo fenómeno que en el primer experimento ya que en lugar de variar la carga 1, ésta se mantuvo constante variando solo la carga 2.

Finalmente para el experimento 3 los valores de las cargas de mantuvieron constantes y solo se modificó la distancia de separación entre estas. En este experimento la fuerza disminuyó al aumentar la distancia y aumentó al disminuir la distancia debido a que la fuerza es inversamente proporcional a la esta. Entre menos distancia haya entre las cargas más fuerza habrá.

V. CAUSAS DE ERROR

1. **Error instrumental:** Debido a que la práctica se realizó de manera simulada (con un programa), todas las medidas tomadas fueron exactas
2. **Error debido al operador:** El simulador contaba con deslizadores para poder configurar los valores de las cargas y las distancias, esto provocaba que algunos valores de carga no fuera exactos (Es decir, el programa colocaba 5.111 en lugar de 5.0 por ejemplo). Se recomienda utilizar simuladores con herramientas más precisas (Como cajas de texto para configurar valores exactos) para evitar discrepancias en los resultados.
3. **Error en la toma de datos:** Debido a errores en la toma de datos, se obtuvieron resultados erróneos en los cálculos realizados en la práctica, provocando un porcentaje de error demasiado alto para el valor de “ K ” para lo que realmente se esperaba. Se recomienda realizar la misma prueba más de una vez para asegurar que los datos sean correctos. El equipo se dio cuenta de ese problema y por tanto fue solucionado a tiempo.
4. **Error ambiental:** Al haber realizado la práctica de manera virtual y de igual manera al no ser objetos aislantes/ conductores cargados, sino solo cargas puntuales, no había efecto ambiental sobre estas.
5. **Error de interpretación de datos:** Mientras el equipo realizaba los cálculos se malinterpretaron algunos de los

resultados obtenidos por tanto se habían alcanzado conclusiones erróneas. Sin embargo luego de analizar de nuevo todos los experimentos el equipo concluyó que tenían que volver a hacerse todos los cálculos, lo cual efectivamente presentó resultados distintos. Se recomienda para futuras prácticas analizar más detenidamente toda la información para evitar este problema.

VI. CONCLUSIONES

- a) La Ley de Coulomb establece que “La fuerza que ejercen 2 cargas eléctricas es directamente proporcional al producto de ambas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que las separa” por lo que esta ley es usada para calcular la fuerza (en Newtons) que actúa entre 2 cargas. En la **Ecuación 1** podemos apreciar una constante “ K ”, cuyo valor debía ser definido como objetivo de esta práctica. Gracias a la precisión del simulador y la exactitud de las hojas de cálculo el equipo alcanzó el valor teórico de “ K ”, por lo tanto se cumplió el objetivo de la práctica.
- b) Durante la práctica se experimentó con el simulador que al modificar una de las cargas la fuerza variaba proporcionalmente a dicho cambio, esto concuerda con lo planteado originalmente en la definición de la Ley de Coulomb. De igual manera se pudo identificar que al aumentar las distancias la fuerza disminuía, tal como se plantea en la **Ecuación 1**. Por lo anterior es posible afirmar que la base teórica de los experimentos es correcta y se contaba con información fidedigna.
- c) Aplicando conceptos sobre la Ley de Coulomb se establece que esta ley obedece la Tercera Ley de Newton (Acción y reacción). Lo anterior se puede demostrar con los experimentos realizados en la práctica y con las bases teóricas planteadas en la **Ecuación 1**, ya que el valor de la fuerza es modificada por los signos de las cargas (el valor de su dirección). Esto demuestra que al evaluar la fuerza en una carga A se experimentaría la misma magnitud que en una carga B, con la consideración que la dirección sería contraria.
- d) Haciendo uso de los cálculos realizados fue posible definir los valores para la definición potencial de la Ley

de Coulomb. Las hojas de cálculo permitieron realizar una curva de tendencia con los valores calculados, lo cual permitió encontrar los valores de m , n y p para la **Ecuación 3**. A pesar que los cálculos erróneos afectaron el resultado inicialmente es posible afirmar que se cumplió este objetivo de la práctica, ya que los conceptos fueron aplicados correctamente y el equipo

fue capaz de encontrar solución a todos los inconvenientes.

VII. CUESTIONARIO ANEXO

4. Escriba la expresión resultante.

$$F = 8.98 \times 10^9 (q_1)^{0.9991} (q_2)^{0.9996} (r)^{-2.003}$$

5. ¿Qué implican en términos cuantitativos estos valores?

R/ Si nos fijamos en los valores obtenidos podemos observar que la expresión resultante es la ley de Coulomb. Los exponentes de las cargas se pueden aproximar a 1 y el exponente de la distancia (r) es negativo por lo que se puede bajar a dividir y nos queda como resultado la ley de Coulomb.

6. ¿Concuerda el valor de k con el esperado teóricamente? Si hay diferencia, ¿Cuál es el porcentaje de error?

R/ Sí, el valor de k obtenido es muy cercano al valor real.

$$\frac{|8.98 \times 10^9 - 9 \times 10^9|}{9 \times 10^9} * 100 = 0.22\% \text{ Error}$$

7. ¿Cómo hubieran variado estos valores si una de las cargas hubiese sido negativa?

R/ La fuerza entre las cargas no hubiera variado, sería la misma pero en sentido opuesto ya que cargas de diferente signo se atraen y cargas de igual signo se repelen.

8. ¿Cómo hubieran variado estos valores si ambas cargas hubieran sido negativas?

R/ No hubieran variado en nada. El resultado sería exactamente el mismo como el observado en el experimento ya que, como se dijo anteriormente, cargas iguales se repelen.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. McAllister, «La fuerza eléctrica,» [En línea]. Disponible en: es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-electrostatics/ee-electric-force-and-electric-field/a/ee-electric-force. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [2] Sears y Zemansky, Física Universitaria Vol. 2, México: PEARSON, 2013.
- [3] GON, «LEY DE COULOMB | FÓRMULA,» [En línea]. Disponible en: espaciociencia.com/ley-de-coulomb-formula/. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [4] M. T. Búa, «La carga eléctrica,» [En línea]. Disponible en: www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/11_la_carga_elctrica.html. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [5] G. C. José L. Fernández, «Fuerza Eléctrica,» [En línea]. Disponible en: <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-coulomb#contenidos..> [Último acceso: 10 Septiembre 2018].