

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN

Enrique Guzmán y Valle

Alma Máter del Magisterio Nacional

FACULTAD DE CIENCIAS

Escuela Profesional de Ciencias Naturales



MONOGRAFÍA

Ley de Gauss – Potencial eléctrico – Capacitancia.

- 1. Carga y flujo eléctrico.**
- 2. Cálculo del flujo eléctrico.**
- 3. Ley de Gauss.**
- 4. Aplicaciones de la ley de Gauss.**
- 5. Energía potencial eléctrica.**
- 6. Potencial eléctrico.**
- 7. Superficies equipotenciales.**
- 8. Capacitores, capacitancia.**
- 9. Capacitores en serie y en paralelo.**
- 10. Almacenamiento de energía en capacitores y energía del campo eléctrico.**
- 11. Dieléctricos.**

Examen de Suficiencia Profesional Res. N° 1097-2021-D-FAC

Presentada por:

Alarcon Talaverano, Juan Diego

Para optar al Título Profesional de Licenciado en Educación

Área principal Física - Área secundaria Matemática

Lima, Perú

2021

MONOGRAFÍA**Ley de Gauss - Potencial eléctrico - Capacitancia.**

- 1. Carga y flujo eléctrico.**
- 2. Cálculo del flujo eléctrico.**
- 3. Ley de Gauss.**
- 4. Aplicaciones de la ley de Gauss.**
- 5. Energía potencial eléctrica.**
- 6. Potencial eléctrico.**
- 7. Superficies equipotenciales.**
- 8. Capacitores, capacitancia.**
- 9. Capacitores en serie y en paralelo.**
- 10. Almacenamiento de energía en capacitores y energía del campo eléctrico.**
- 11. Dieléctricos.**

Designación de Jurado Resolución N° 1097-2021-D-FAC



Dr. Quispe Valverde, Víctor Nicanor
Presidente



Dr. Marzano Sosa, Roberto Fabián
Secretario



Dr. Gómez Ferrere, Gilmer Homero
Vocal

Línea de investigación: Tecnología y soportes educativos

Dedicatoria

Con mucho cariño, a mi esposa, hijos, padres, hermanos y demás familiares, quienes son mi fuente de inspiración y superación.

Índice de contenidos

Portada	i
Hoja de firmas de jurado	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice de contenidos	iv
Lista de tablas	vi
Lista de figuras	vii
Introducción.....	ix
Capítulo I. Ley de Gauss	11
1.1 Carga y flujo eléctrico	11
1.1.1 Carga eléctrica.....	11
1.1.2 Flujo eléctrico.....	15
1.2 Cálculo del flujo eléctrico	18
1.2.1 Flujo eléctrico en una superficie abierta.	18
1.2.2 Flujo eléctrico en una superficie cerrada.	21
1.3 Ley de Gauss	25
1.3.1 La ley de Gauss y la ley de Coulomb.....	26
1.3.2 Johann Karl Friedrich Gauss.....	27
1.4 Aplicaciones de la ley de Gauss.....	29
1.4.1 El campo creado por una esfera uniformemente cargada.	29
1.4.2 El campo creado por una lámina plana uniformemente cargada.	30
1.4.3 El campo creado por un hilo cargado uniformemente.	32
Capítulo II. Potencial eléctrico	34
2.1 Energía potencial eléctrica	34
2.1.1 El trabajo eléctrico y su relación con la energía potencial eléctrica.	35

2.1.2 Fuerzas externas contrarias a la fuerza eléctrica	35
2.2 Potencial eléctrico	38
2.2.1 Potencial eléctrico creado por una carga puntual.....	39
2.2.2 Potencial eléctrico creado por varias cargas puntuales	39
2.3 Superficies equipotenciales	41
Capítulo III. Capacitancia	43
3.1 Capacitores, capacitancia	43
3.1.1 Capacitores.....	43
3.1.2 Capacitancia.....	45
3.2 Capacitores en serie y en paralelo.....	48
3.2.1 Capacitores conectados en serie.....	48
3.2.2 Capacitores conectados en paralelo.....	49
3.3 Almacenamiento de energía en capacitores y energía del campo eléctrico	51
3.3.1 Almacenamiento de energía en capacitores.....	51
3.3.2 Almacenamiento de energía del campo eléctrico.....	52
3.4 Dieléctricos	53
3.4.1 Dieléctricos en el mundo atómico.....	56
3.4.2 Los dieléctricos y la ley de Gauss.....	58
Aplicación didáctica	61
Síntesis.....	70
Apreciación crítica y sugerencias	72
Referencias	73
Apéndices	76

Lista de tablas

Tabla 1. Capacitancia y geometría	46
Tabla 2. Magnitudes eléctricas fundamentales.....	46
Tabla 3. Propiedades de los dieléctricos.....	53
Tabla 4. La ley de Gauss y la constante dieléctrica.....	58

Lista de figuras

Figura 1. La ley de Coulomb.....	13
Figura 2. Líneas de campo producidas por una placa infinita con (a) carga positiva y (b) negativa.	14
Figura 3. Líneas de campo de una carga puntual (a) positiva y (b) negativa.....	14
Figura 4. Líneas de campo de dos cargas iguales positivas.....	15
Figura 5. Líneas de campo de dos cargas iguales de signos contrarios.....	15
Figura 6. Cargas positivas dentro de una caja con flujos saliente.	16
Figura 7. Cargas negativas dentro de una caja con flujos entrante.....	16
Figura 8. Conceptualización del flujo eléctrico.....	17
Figura 9. Conceptualización del flujo neto a través de la superficie de una caja.....	17
Figura 10. Líneas de campo eléctrico que pasan a través de una superficie.	18
Figura 11. Líneas de campo eléctrico que pasan a través de superficies.....	19
Figura 12. Vector del campo eléctrico E perpendicular al vector área A	20
Figura 13. Flujo eléctrico a través de un disco.	21
Figura 14. Evaluación del flujo eléctrico a través de una superficie hipotética cerrada.	21
Figura 15. Flujo eléctrico a través de una superficie cilíndrica hipotética.	23
Figura 16. Flujo eléctrico de una carga puntual en el interior de una esfera.....	24
Figura 17. Flujo eléctrico a través de un cubo.....	25
Figura 18. Superficie esférica gaussiana.	26
Figura 19. Johann Karl o Carl Friedrich Gauss (177-1855).....	28
Figura 20. Campo eléctrico generado por una esfera uniformemente cargada.	29
Figura 21. Campo de una esfera conductora con carga.	30
Figura 22. Campo eléctrico creado por una lámina plana cargada uniformemente.	31
Figura 23. Dos láminas paralelas cargadas con la misma carga, pero con distinto signo. ...	32

Figura 24. Campo eléctrico creado por un hilo cargado uniformemente.	32
Figura 25. Campo de una carga lineal.	33
Figura 26. Variación de la energía potencial eléctrica en cargas de diferentes signos.....	36
Figura 27. Variación de la energía potencial eléctrica en cargas del mismo signo.	36
Figura 28. Superficies equipotenciales creadas por una carga puntual (a) positiva y (b) negativa	41
Figura 29. Superficies equipotenciales creadas por un dipolo eléctrico.....	41
Figura 30. Tipos de condensadores o capacitores.	43
Figura 31. Dos conductores aislados uno del otro.....	44
Figura 32. Combinación de dos capacitores en serie.....	48
Figura 33. Capacitores en paralelo.	49
Figura 34. Combinación de capacitores en serie.	51
Figura 35. Energía almacenada en el capacitor.	52
Figura 36. Experimento de Faraday.	54
Figura 37. Dipolos (a) sin campo eléctrico y (b) con campo electrico.....	56
Figura 38. (a) Lamina dieléctrica. (b) Campo eléctrico externo. (c) Cargas superficiales netas inducidas crean un campo eléctrico.....	57
Figura 39. Una barra cargada atrae un trozo de papel.	58
Figura 40. Líneas de campo eléctrico cuando entre las placas hay, (a) vacío y (b) un dieléctrico.....	59

Introducción

En nuestra vida diaria, con el afán de entender mejor lo que sucede a nuestro alrededor, se lleva a cabo esta investigación donde se presenta, de manera teórico-práctico, tres de los conceptos básicos de la electrostática, ya sea el campo eléctrico, de igual modo el potencial eléctrico y los condensadores, con la finalidad de que el estudiante de educación secundaria entienda mejor los fenómenos eléctricos.

Para su mejor comprensión, el trabajo ha sido dividido en los siguientes capítulos.

En el capítulo I, asumimos que la fuerza que una carga o distribución de cargas puede ejercer sobre otra situada en sus inmediaciones conlleva a la necesidad de definir el concepto de intensidad del campo eléctrico. Para ello presentamos el postulado de Gauss, ya que esta relaciona grado del campo eléctrico de forma perpendicular a un espacio cerrado cualquiera, con la carga eléctrica encerrada por dicha superficie; donde se resalta la importancia de los conceptos de flujo en el electromagnetismo en el campo y el del plano gaussiano.

En el capítulo II, consideramos que, al tratarse del efecto de una carga o distribución de cargas, esta pueda obtener la energía de otra carga dada, por ello es preciso definir la idea de energía potencial de una carga, es decir, la capacidad eléctrica en el entorno del espacio, la capacidad eléctrica resulta ser una marca, debido a una distribución de carga, nos proporciona la energía potencial que poseería unidades de carga auténticas colocada en dicho punto, con respecto a un cierto nivel de referencia. En la práctica, es más común tratar la tensión dada por medio de señales que del potencial en sí.

En el capítulo III, empleando la concepción básica de la electricidad, tales como la carga, el campo y el potencial eléctrico, son utilizados para describir ciertas propiedades de los condensadores y de los dieléctricos.

Finalmente, con el propósito de lograr una comprensión completa del tema, se presenta la aplicación didáctica mediante una sesión de aprendizaje: “Líneas equipotenciales”, con su correspondiente guía de actividades para el trabajo experimental.

Con ello espero contribuir al aprendizaje de una manera significativa en los estudiantes de educación secundaria.

Capítulo I

Ley de Gauss

1.1 Carga y flujo eléctrico

En nuestra naturaleza, los cuerpos constantemente ganan y pierden electrones por diversas razones; a esta facultad la denominamos carga eléctrica, ya sea de una manera positiva o negativa; del mismo modo, estas cargas alteran el espacio que las rodean, generando ciertas fuerzas de atracción o repulsión. Entonces, deducimos que hay un campo eléctrico. Si deseamos medir dicho campo, necesitamos imaginarnos un área y así poder determinar el flujo eléctrico que atraviesa esta área. Para un mejor entendimiento de lo mencionado anteriormente, necesitamos analizar los siguientes conceptos.

1.1.1 Carga eléctrica.

Toda materia existente en la naturaleza se presenta en estado neutro, dichos cuerpos están conformados por átomos, y estas, a su vez, por partículas (electrones y protones). Estos protones se ubican exactamente en el centro de un átomo y los electrones en el llamado revestimiento, donde se encuentran gravitando alrededor del núcleo, como están girando en la periferia; estos fácilmente se ganan o se pierden trivialmente. Entonces,

podemos decir que cuando un cuerpo gana o pierde electrones se carga eléctricamente, proceso al cual se le conoce como electrización.

Podemos concluir que toda carga eléctrica se manifiesta como una propiedad física de un cuerpo, aquella que está presente en toda partícula subatómica, de tal modo que se presentan mediante fuerzas de repulsión o atracción.

Este cuerpo cargado eléctricamente es influido por otros campos electromagnéticos, de tal modo que estas, a su vez, son generadoras de ellas. Cabe resaltar las siguientes propiedades:

- i. Toda materia tiene una carga similar o un múltiplo entero a e , de tal modo que la podemos definir como una magnitud cuantizada; este valor fue calculado por Robert Millikan en el año 1909, estableciendo:

$$e = 1,602 \times 10^{-19} C$$
- ii. La carga eléctrica de todo cuerpo, en cualquier caso, es:
 - Neutra, cuando hay igual número de protones y electrones.
 - Positiva, cuando hay menos número de electrones que protones.
 - Negativa, dado que hay más cantidades de electrones que protones.
- iii. “Un punto en tener en cuenta es resaltar que cuando se carga algo no se originan ni se abaten electrones. Sólo se trasladan de un material a otro. La carga se mantiene” (Hewitt, 2007, p. 413). Este es el criterio de la preservación de cargas.
- iv. Las cargas logran moverse libremente en determinados cuerpos, llamados conductores y aquellos que no lo dejan reciben el nombre de aislantes.

La interacción de dos cargas produce una repulsión o magnetismo, según lo establecido en la Ley de Coulomb, que a dos materias cargadas cuyo trecho en la distancia es menor la separación, altera directamente como el producto de sus cargas la energía a través de ellos y proporcional al contrario del cuadrado de la separación entre ellos. Fuerza

que actúa en dirección recta de un elemento cargado a el siguiente. Esta se puede expresar:
(Hewitt, 2007, p. 414).

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

La fuerza tiene su unidad en el S.I. en Newton (N).

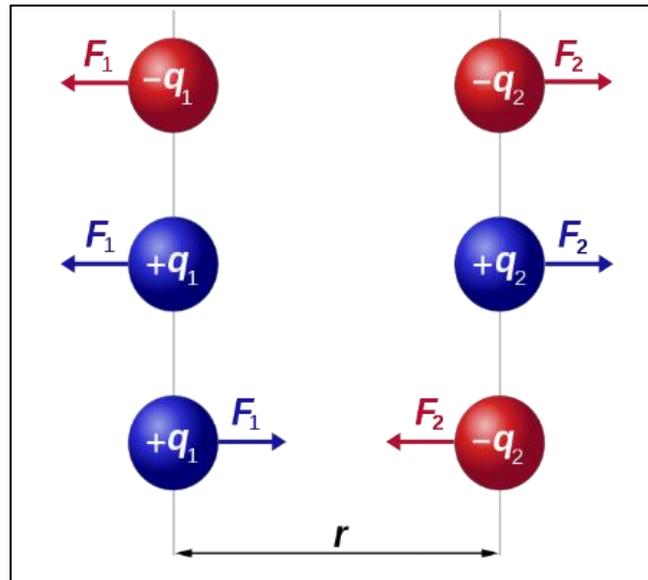


Figura 1. La ley de Coulomb. Fuente: Recuperado de <https://www.pngegg.com/es/png-svdum>

- v. Toda carga creará alrededor suyo una zona de dominio, de modo que, si introducimos una fuerza de prueba en este espacio, esta padecerá la influencia de una fuerza; entonces podemos decir que esto produce un campo eléctrico. Por lo tanto, tenemos que el campo eléctrico es la alteración causada por una imposición en un determinado campo.

$$E = \frac{F}{q_0}$$

El campo eléctrico tiene un patrón en el S.I. en newton/coulomb (N/C).

Un campo eléctrico podemos representarla con líneas de fuerza imaginarias.

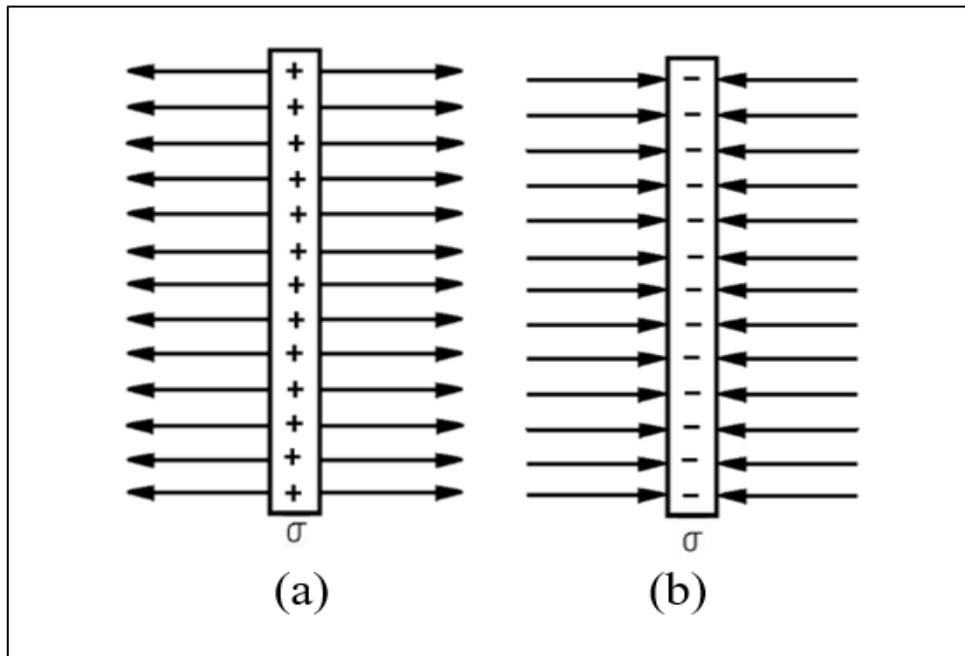


Figura 2. Líneas de campo producidas por una placa infinita con (a) carga positiva y (b) negativa. Fuente: Recuperado de <https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/2965/7402-14%20FISICA%20-%20Electrost%C3%A1tica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

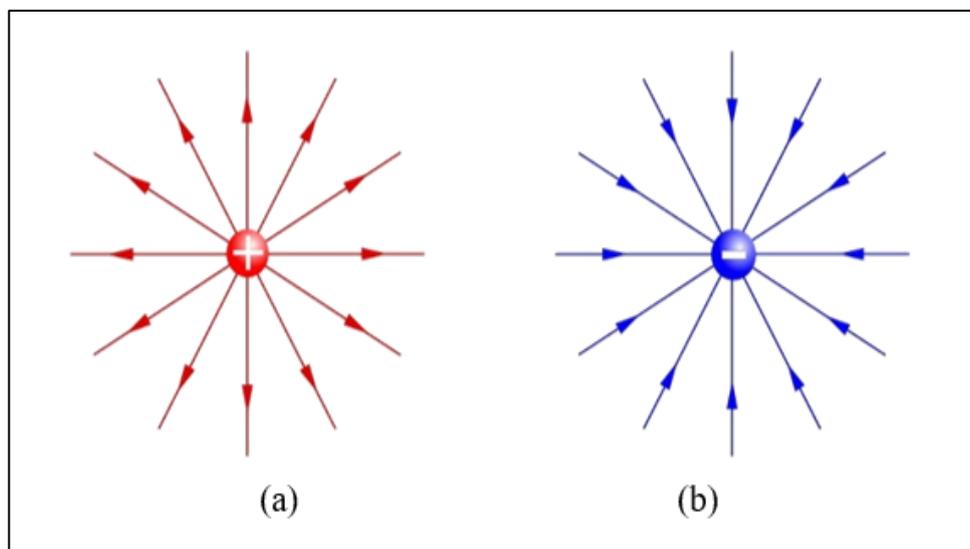


Figura 3. Líneas de campo de una carga puntual (a) positiva y (b) negativa. Fuente: Recuperado de <https://www.todamateria.com/campo-electrico/>

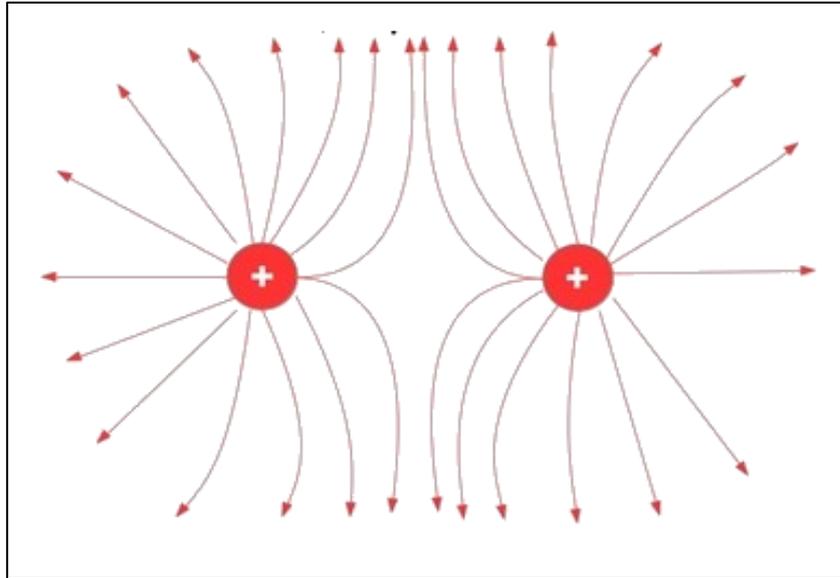


Figura 4. Líneas de campo de dos cargas iguales positivas. Fuente: Recuperado de <https://www.todamateria.com/campo-electrico/>

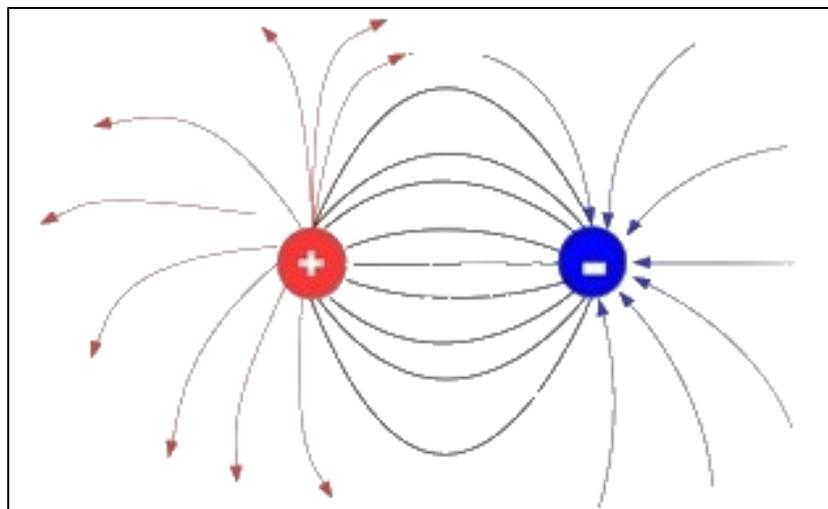


Figura 5. Líneas de campo de dos cargas iguales de signos contrarios. Fuente: Recuperado de <https://www.todamateria.com/campo-electrico/>

1.1.2 Flujo eléctrico.

Para entender qué es un flujo eléctrico se debe analizar el nexo entre la cantidad de líneas de la zona magnética que traspasan una ampliación imaginaria obstruida y el peso de su interior.

En figura 6 se observa cargas positivas encerradas dentro de una caja, las líneas de fuerza traspasan la superficie apuntando hacia el exterior. Entonces, se puede mencionar que aquí hay un flujo eléctrico saliente.

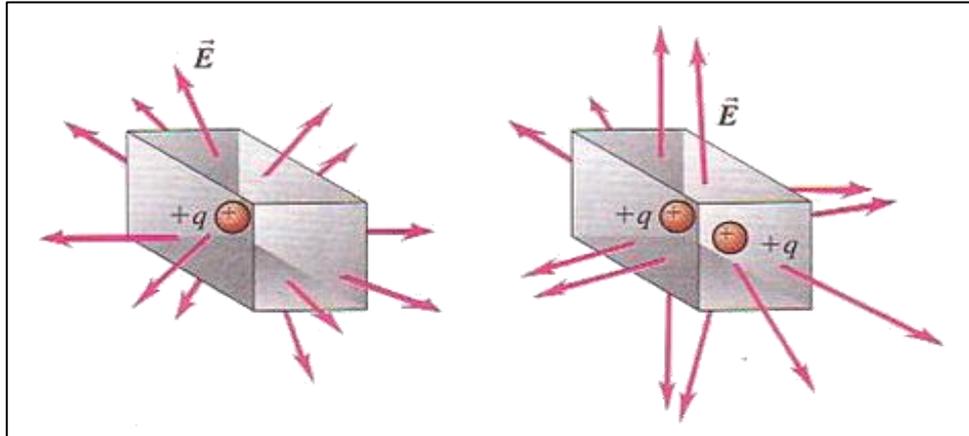


Figura 6. Cargas positivas dentro de una caja con flujos saliente. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/4/Carga+y+flujo+el%C3%A9ctrico.jpg>

Del mismo modo, en la figura 7 se observa cargas negativas encerradas dentro de una caja, las líneas de fuerza atraviesan la superficie apuntando hacia el interior. Entonces, se puede decir que aquí hay un flujo eléctrico entrante.

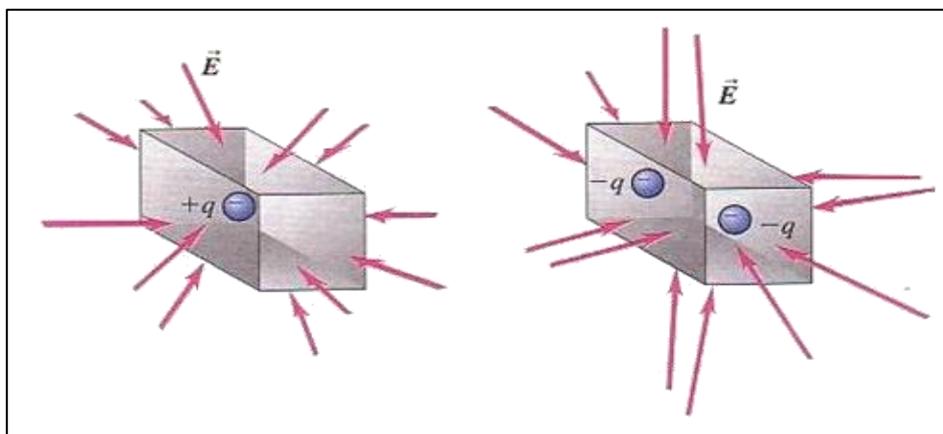


Figura 7. Cargas negativas dentro de una caja con flujos entrante. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/4/Carga+y+flujo+el%C3%A9ctrico.jpg>

En consecuencia, deducimos que el flujo eléctrico (Φ_E) es una magnitud escalar, donde se determina por la cantidad de trazos de magnetismo, lo cual traspasa una determinada amplitud imaginaria concluida, como lo analizamos anteriormente.

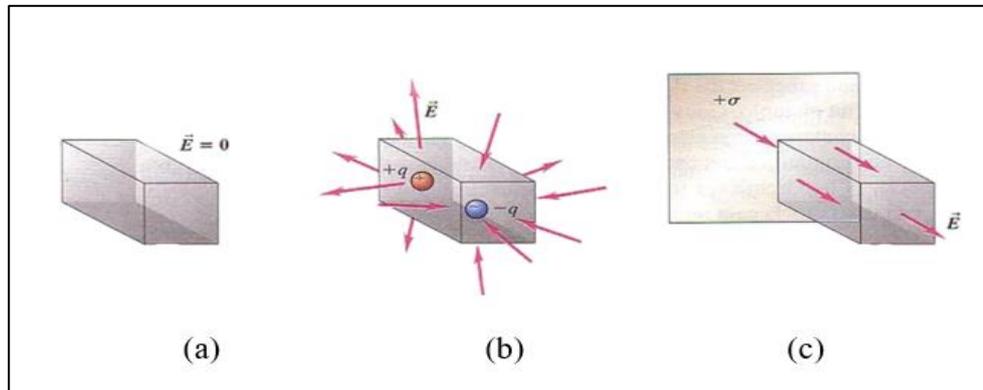


Figura 8. Conceptualización del flujo eléctrico. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/5/Carga+y+flujo+el%C3%A9ctrico.jpg>

En la figura 8 observamos tres casos; (a) si no hay campo eléctrico, el flujo es cero; (b) la acometida exacta en la parte interior de la caja es cero, ya que el flujo de corriente entrante se anula con el flujo eléctrico saliente; (c) si el campo eléctrico atraviesa una superficie imaginaria cualquiera, el flujo eléctrico es cero para estos casos.

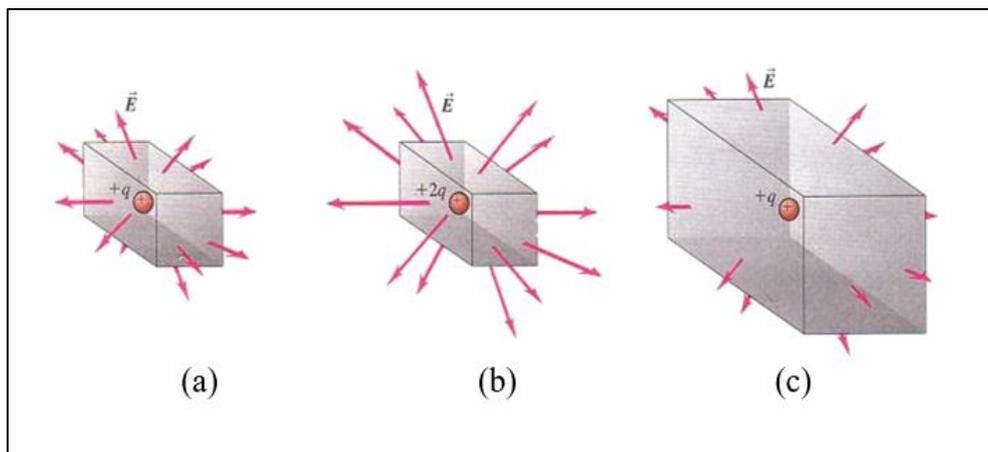


Figura 9. Conceptualización del flujo neto a través de la superficie de una caja. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/6/Carga+y+flujo+el%C3%A9ctrico.jpg>

El flujo neto a lo largo de la superficie de una caja es directamente proporcional a la magnitud de la carga neta encerrada en la caja, independientemente de la amplitud de la

caja. En la figura 9 observamos: (a) una caja con una carga positiva dentro de ella, donde el flujo es saliente; en (b) esta misma caja encierra el doble de carga positiva, por lo cual se observa el doble de flujo eléctrico; y en (c) una caja con el doble de dimensión que la caja (a), pero con la misma carga positiva y el flujo saliente es el mismo que en (a).

1.2 Cálculo del flujo eléctrico

El cálculo del flujo eléctrico se debe dar en dos escenarios posibles: en una superficie abierta y en una superficie cerrada.

1.2.1 Flujo eléctrico en una superficie abierta.

Si tenemos un magnetismo homogéneo (en dirección y amplitud en curso) y dirección de sentido imaginarias de fuerza de este campo que traspasan por una extensión de sector A , cuyo plano es perpendicular al E , se deduce que la cantidad de líneas por una unidad de área es proporcional a la magnitud del campo eléctrico. Deducimos finalmente que el número total de líneas fuerza que atraviesa una extensión imaginaria es proporcional al producto de la magnitud de E y al área de la superficie perpendicular.

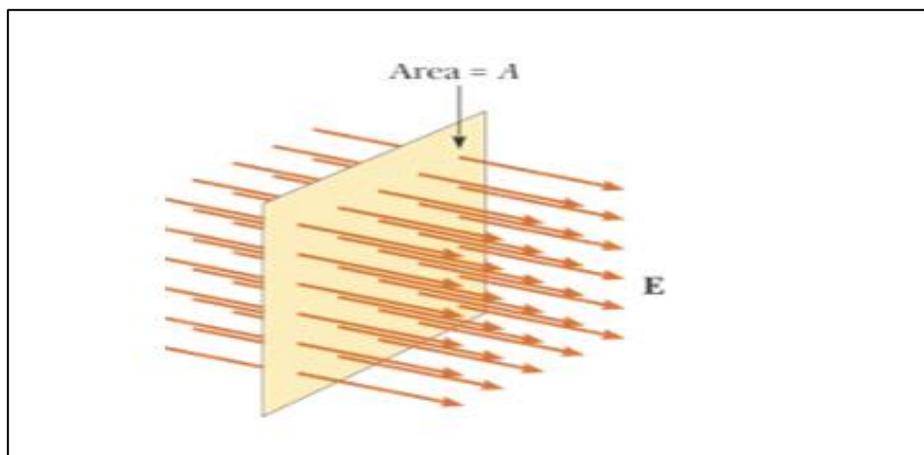


Figura 10. Líneas de campo eléctrico que pasan a través de una superficie. Fuente: Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Ley_de_Gauss_7076.pdf

Teniendo en cuenta la figura 10, el flujo eléctrico Φ_E se puede representar así:

$$\Phi_E = EA$$

El flujo eléctrico Φ_E tiene las unidades en el S.I. en newton por metro cuadrado/coulomb (Nm^2/C).

Y si decidiéramos tomar una superficie que no sea perpendicular a dicho campo eléctrico, lo podemos apreciar en la figura 11.

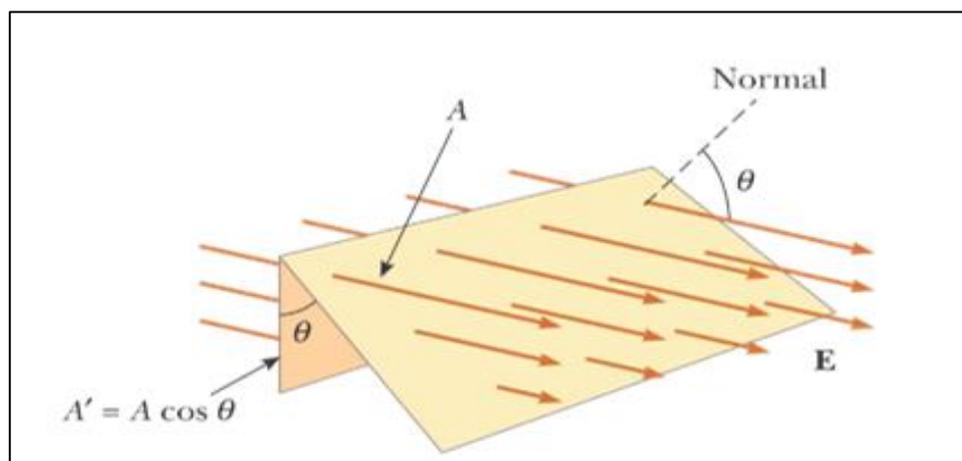


Figura 11. Líneas de campo eléctrico que pasan a través de superficies. Fuente: Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Ley_de_Gauss_7076.pdf

Donde el vector normal, que es perpendicular del plano del área A , forma un ángulo θ en relación al vector del campo eléctrico uniforme. Hay que tener en cuenta que el número de líneas que atraviesa la superficie de área A es la misma que atraviesa la superficie del área A' . Entonces, si el plano de área A' es la proyección del plano de área A , además esta es perpendicular al campo eléctrico E , se tiene que el flujo eléctrico es:

$$\Phi_E = EA' = EA \cos \theta$$

Analizando los casos como la figura 12, tenemos que el ángulo formado entre E y A es $\theta = 90^\circ$; entonces, se concluye que el flujo eléctrico en estos casos es igual a cero, porque el coseno de 90° es cero.

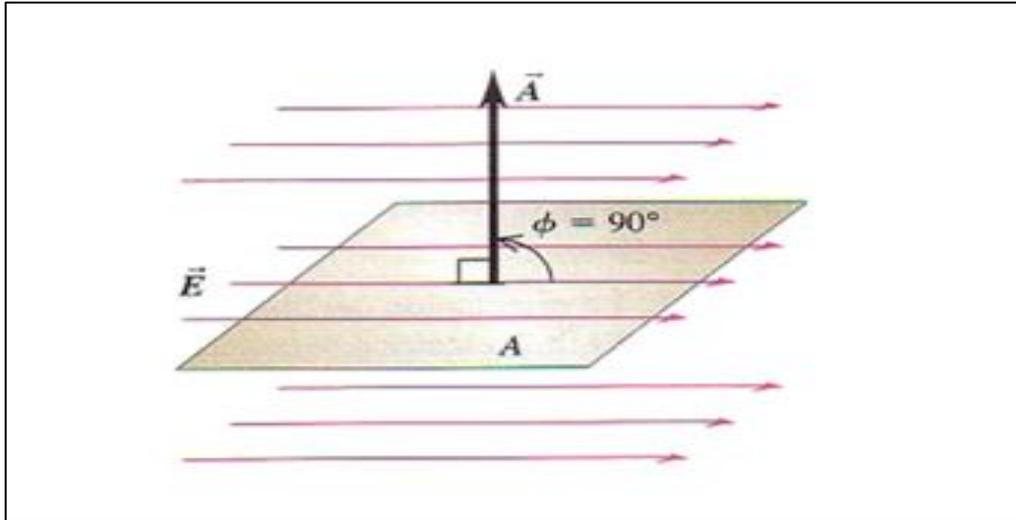


Figura 12. Vector del campo eléctrico E perpendicular al vector área A . Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/10/Calculo+del+flujo+el%C3%A9ctrico.jpg>

Aplicando lo mencionado, se precisan los siguientes ejemplos:

Ejemplo: Si se observa un disco donde su radio es 0,1 m, su vector unitario normal forma un ángulo de 30° relativo al campo eléctrico uniforme, cuya magnitud es $2 \times 10^3 \frac{N}{C}$, encontremos los siguientes puntos:

a. ¿Cuál es el flujo eléctrico que atraviesa el disco?

$$A = \pi r^2 = \pi(0,1)^2 = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$\therefore \Phi_E = EA \cos \theta = \left(2 \times 10^3 \frac{N}{C}\right) (0,0314 \text{ m}^2) \cos 30^\circ = 54 \frac{Nm^2}{C}$$

b. ¿Cuál es el flujo eléctrico que traspasa el disco si su estándar es perpendicular al \mathbf{E} ?

Recordemos que, si se da este caso, el flujo a través del disco es cero por el coseno de 90° .

c. ¿Cuál es el flujo eléctrico que traspasa el disco si su normal es paralela al \mathbf{E} ?

$$\Phi_E = EA \cos \theta = \left(2 \times 10^3 \frac{N}{C}\right) (0,0314 \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 63 \frac{Nm^2}{C}$$

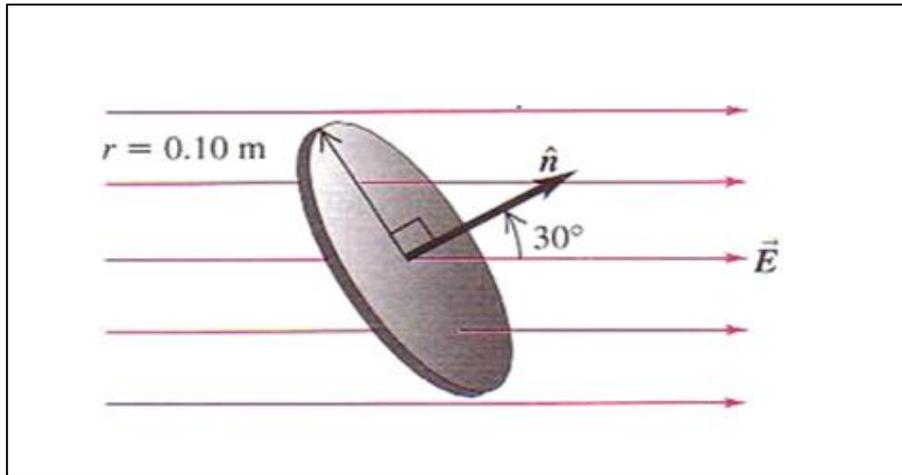


Figura 13. Flujo eléctrico a través de un disco. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/13/Calculo+del+flujo+el%C3%A9ctrico.jpg>

1.2.2 Flujo eléctrico en una superficie cerrada.

Ahora imaginemos una superficie hipotética cerrada dentro de un campo eléctrico, para analizar desde esta perspectiva el flujo de campo eléctrico que cruza esta superficie.

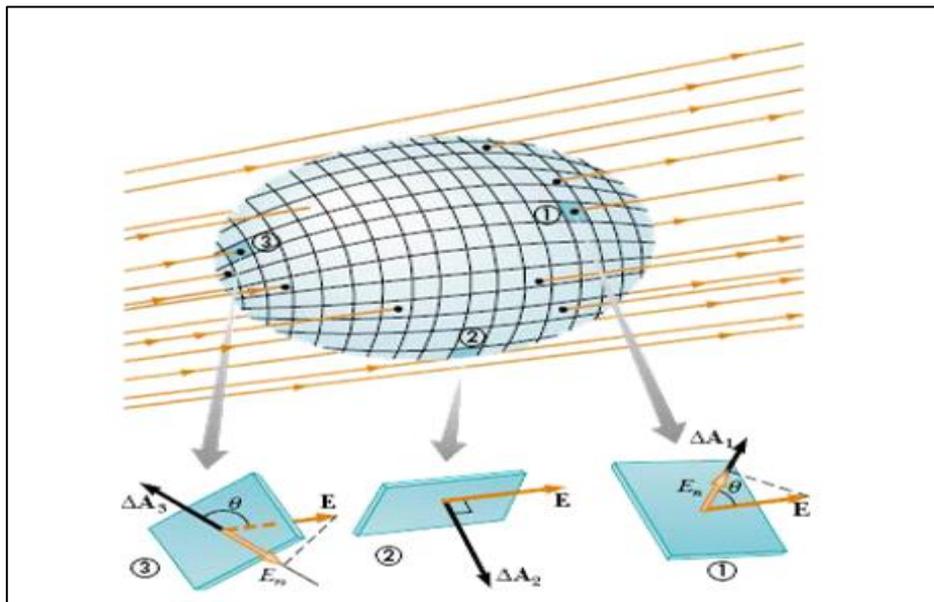


Figura 14. Evaluación del flujo eléctrico a través de una superficie hipotética cerrada. Fuente: Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Ley_

Podemos apreciar, en la figura 14, que los vectores unitarios de las normales $\hat{n}_i \Delta A_i$ siempre son perpendiculares a la superficie, con la convención de que estas siempre apunten hacia fuera de la superficie imaginaria cerrada.

Además, se puede apreciar lo siguiente:

En (1), el flujo eléctrico es positivo, porque las líneas del campo “cruzan” la extensión de dentro hacia fuera, donde $\theta < 90^\circ$ y $\Delta\Phi_E = E \cdot \hat{n}_1 \Delta A_1 > 0$.

En (2), el flujo eléctrico es cero, debido a que las líneas del campo “rozan” la superficie; además, estas son perpendiculares al vector normal, donde $\theta = 90^\circ$ y $\Delta\Phi_E = E \cdot \hat{n}_2 \Delta A_2 = 0$.

Y en (3), el flujo eléctrico es negativo, ya que las líneas del campo “cruzan” la extensión de fuera hacia dentro, donde $180^\circ > \theta > 90^\circ$ y $\Delta\Phi_E = E \cdot \hat{n}_3 \Delta A_3 < 0$.

Finalmente, todo flujo eléctrico neto que cruza una extensión es proporcional al número neto de líneas fuerza del campo eléctrico que salen de dicha superficie, esto quiere decir que el número neto de líneas se da por la cantidad de líneas que salen, menos el número de líneas que entran por la superficie; de tal forma que, si salen más líneas de las que se incorporan, el flujo es positivo; y si ingresan más líneas de las que se retiran, el flujo es negativo. Entonces, el flujo eléctrico neto Φ_E mediante una área hipotética cerrada la podemos calcular:

$$\Phi_E = \oint E \cdot \hat{n} dA = \oint E \cdot dA = \oint E_n dA$$

Donde $E_n = E \cos\theta$, es componente del vector campo eléctrico E y el vector de la normal de la superficie.

Aplicando lo mencionado, se muestran los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1. Si nos imaginamos una superficie hipotética cilíndrica (de radio R) dentro de un campo eléctrico uniforme, y esta es paralela a su eje, ¿cuál será Φ_E en esta superficie cerrada?

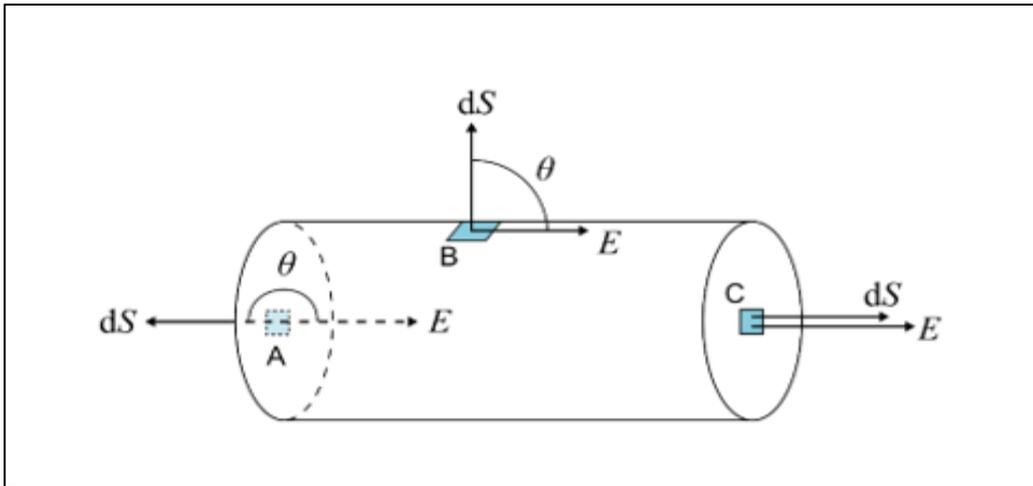


Figura 15. Flujo eléctrico a través de una superficie cilíndrica hipotética. Fuente: Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gauss#/media/Archivo:Electric_Flux_in_a_Cylinder.svg

Teniendo en cuenta el problema planteado, se observa la figura 15, donde el flujo eléctrico Φ_E la podemos hallar sumando el flujo a través de tres superficies,

$$\Phi_E = \oint E \cdot dS = \int_a E \cdot dS + \int_b E \cdot dS + \int_c E \cdot dS$$

En la tapa izquierda (A), tenemos que el ángulo θ , la totalidad de los puntos en dicha superficie, es de 180° , se tiene a E como un valor constante y los vectores dS son todos paralelos. Por tanto, se da que:

$$\int_a E \cdot dS = \int E \cos 180^\circ dS = -E \int dS = -ES$$

Del mismo modo, en la tapa derecha (C), el ángulo θ , para todos los puntos en dicha superficie, es de 0° , se tiene a E como un valor estable y los vectores dS son todos paralelos. Así que se da que:

$$\int_c E \cdot dS = \int E \cos 0^\circ dS = E \int dS = +ES,$$

Finalmente, para la superficie cilíndrica en (B), puesto que el ángulo $\theta = 90^\circ$, para todos los puntos en dicha superficie, se tiene:

$$\int_b E \cdot dS = \int E \cos 90^\circ dS = 0$$

Deduciendo lo analizado, se tiene que el flujo eléctrico Φ_E es cero, ya que las líneas de fuerza que ingresan salen del cilindro.

$$\Phi_E = -E + E + 0 = 0$$

Ejemplo 2. Si nos imaginamos un área hipotética esférica (de radio r), que encierra en su centro una carga puntual q , y además tenemos que el vector de la superficie dS es paralelo al campo eléctrico E , que es constante en el total de los puntos de esta área esférica, teniendo en cuenta que el área de dicha superficie es $4\pi r^2$, hallaremos el flujo Φ_E de la siguiente manera:

$$\Phi_E = \int_s E \cdot dS = \int_s E \cos \theta dS = \int_s E \cos 0^\circ dS = E \int_s dS = E4\pi r^2$$

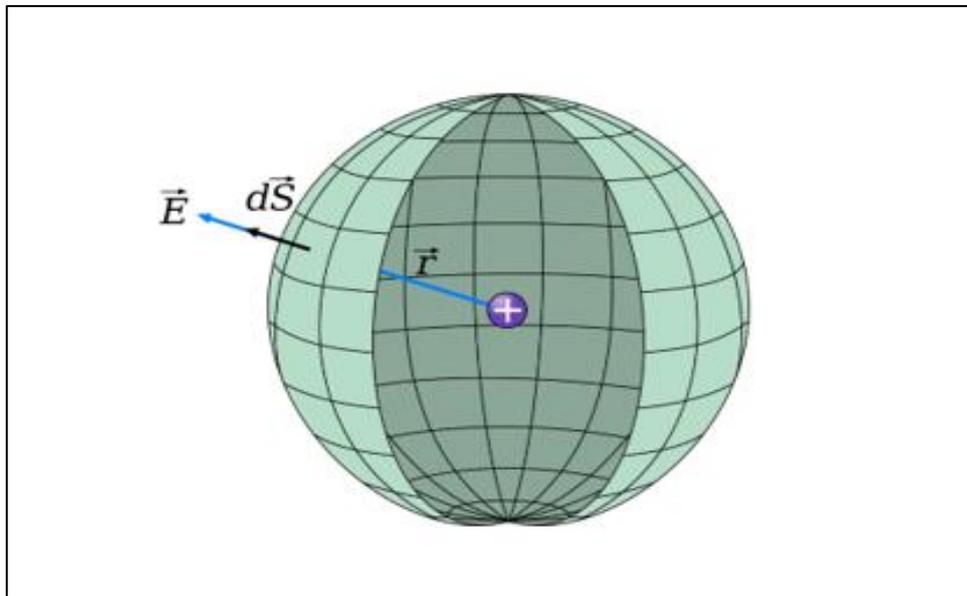


Figura 16. Flujo eléctrico de una carga puntual en el interior de una esfera. Fuente: Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gauss#/media/Archivo:Gauss_SphereCharge_Inside.svg

Ejemplo 3. Se tiene las líneas de fuerza un campo eléctrico uniforme, atravesando un cubo de lado L , hallemos el flujo del campo eléctrico Φ_E , para cada cara del cubo, y el flujo total, cuando el E está orientado perpendicularmente en dos de sus caras.

Analizando el problema, el flujo del campo eléctrico Φ_E en sus seis caras es:

$$\Phi_{E1} = \vec{E} \cdot \hat{n}_1 S = E \cos 180^\circ L^2 = -EL^2$$

$$\Phi_{E2} = \vec{E} \cdot \hat{n}_2 S = E \cos 0^\circ L^2 = +EL^2$$

$$\Phi_{E3} = \Phi_{E4} = \Phi_{E5} = \Phi_{E6} = \vec{E} \cdot \hat{n}_3 S = E \cos 90^\circ L^2 = 0$$

Finalmente, el flujo total que atraviesa el cubo se da con la adición de los flujos de las seis caras, así tenemos que:

$$\Phi_E = \Phi_{E1} + \Phi_{E2} + \Phi_{E3} + \Phi_{E4} + \Phi_{E5} + \Phi_{E6}$$

$$\Phi_E = -EL^2 + EL^2 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

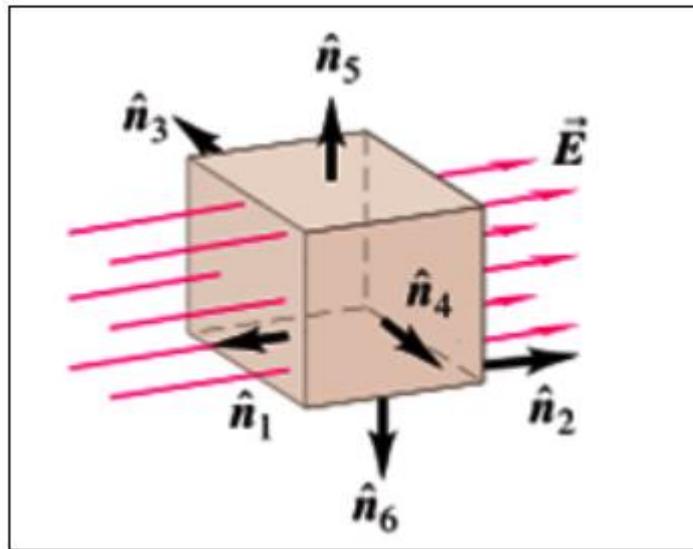


Figura 17. Flujo eléctrico a través de un cubo. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/15/Calculo+del+flujo+el%C3%A9ctrico.jpg>

1.3 Ley de Gauss

La ley de Gauss, herramienta matemática que nos permite determinar el flujo eléctrico, el campo eléctrico y la carga neta encerrada de una manera más sencilla, ya que estas se relacionan, de modo que podemos aplicarla en cualquier superficie hipotética cerrada, llamada superficie gaussiana,

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

1.3.1 La ley de Gauss y la ley de Coulomb.

La ley de Gauss es semejante a la ley de Coulomb, ya que podemos expresar de manera diferente la relación de la carga y su campo eléctrico.

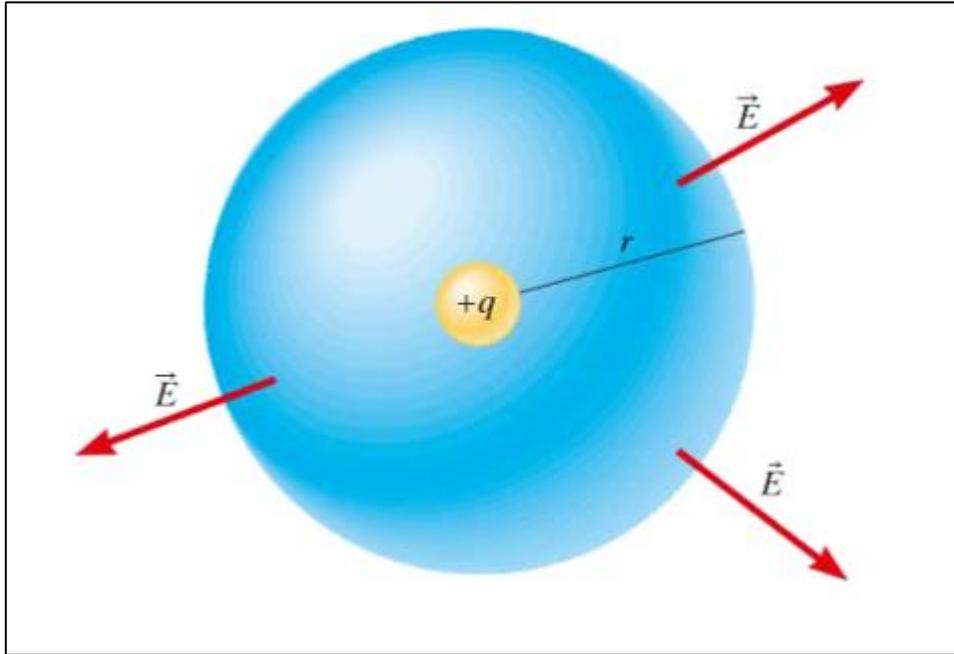


Figura 18. Superficie esférica gaussiana. Fuente: Recuperado de <https://www.gigiboscai.no.it/web/wp-content/uploads/2017/10/teorema-di-Gauss.pdf>

Para cualquier superficie cerrada, la ley de Gauss es acertada. Para demostrar lo dicho de una manera sencilla, tomamos una extensión esférica de radio r , que encierra en su centro una carga positiva. Esta superficie, por simetría, nos da que el vector del E es también el vector normal y tienen trascendencia propia en puntos globales de la prolongación.

Podemos observar que en la figura 18 tanto el E como dS están dirigidos radialmente hacia fuera en cualquier punto de la esfera. El ángulo entre ellos es cero y la cantidad $E \cdot dS$ se reduce a $E \cdot dS$; por lo tanto, tenemos que:

$$\epsilon_0 \oint E \cdot dS = \epsilon_0 \oint E \cdot dS = q.$$

Y como la E es estable por las etapas de la esfera absoluta, se puede sacar como factor común del signo integral, quedando de la siguiente manera: $\epsilon_0 E \oint dS = q$,

donde la integral de dS es simplemente el área de la esfera, quedando

$\epsilon_0 E(4\pi r^2) = q$, para posteriormente despejar E ,

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

Esta ecuación nos permite dar con la magnitud de cualquier \mathbf{E} , teniendo en cuenta la distancia r de una carga q aislada, donde la dirección del \mathbf{E} es conocida por simetría. Y si ponemos una segunda carga punto q_0 en el punto donde se calculó \mathbf{E} , dicha magnitud fuerza que obra sobre ella es $F = Eq_0$

Obteniendo:

$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2}$$

Esta, que es la misma ley de Coulomb. Así pudimos llegar de la ley de Gauss a la ley de Coulomb, es por ello que esta ley propuesta por Gauss es una de las fórmulas trascendentales de la suposición electromagnética y se ha incluido como una de las ecuaciones de Maxwell.

1.3.2 Johann Karl Friedrich Gauss.

El 30 de abril de 1777 nació Johann Karl Friedrich, en Brunswick, que hoy es parte de Alemania, y falleció en Gotinga un 23 de febrero de 1855. Descendiente de una familia pobre y humilde, sus padres fueron Dorothea Gauss y Gebhard Dietrich Gauss.

Desde muy chico demostró una gran prodigiosa capacidad para las matemáticas; su maestro Büttner así lo confirmó desde 1784 en una escuela de Brunswick; fue autodidacta y cursó estudios en la University of Helmsted, la Academia de Ciencias de Gotinga, la Universidad Técnica de Brunswick.

Gauss es un gran matemático, astrónomo y físico; entre sus trabajos más destacados tenemos la teoría de números, el análisis matemático, la geometría diferencial, la estadística, el álgebra, la geodesia, el magnetismo, la óptica y la ley que recibe su nombre: Ley de Gauss, que nos facilita la determinación matemática de campo eléctrico que genera una carga eléctrica.

Esta ley nos permite establecer que el flujo del campo eléctrico que traspasa un área hipotética cubierta es equivalente a la carga exacta encerrada separada mediante la constante dieléctrica del medio.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{A} = \oint_S E \cos \theta dA = E \oint_S dA = E \cdot S = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2} (4\pi r^2) = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

Donde finalmente podemos deducir que el flujo eléctrico que atraviesa cualquier superficie cerrada no depende de la forma de dicha superficie hipotética.



Figura 19. Johann Karl o Carl Friedrich Gauss (177-1855). Fuente: Recuperado de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/gauss.htm>

1.4 Aplicaciones de la ley de Gauss

La ley de Gauss, como herramienta matemática, nos deja aplicarla a cualquier superficie cerrada y podemos utilizarla sí;

- Tenemos conocimiento de la repartición de la carga,
- La asignación de carga posee simetría, a fin de poder hallar el campo o conocemos el campo, para poder hallar la distribución que posee la carga.

1.4.1 El campo creado por una esfera uniformemente cargada.

Cuando nos imaginamos una esfera cargada establemente, esta será moderada electrostáticamente y producirá alrededor suyo un campo eléctrico.

Este campo electromagnético, originado por esta uniforme esfera concentrada en sus lugares, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\vec{E} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \vec{u}_r$$

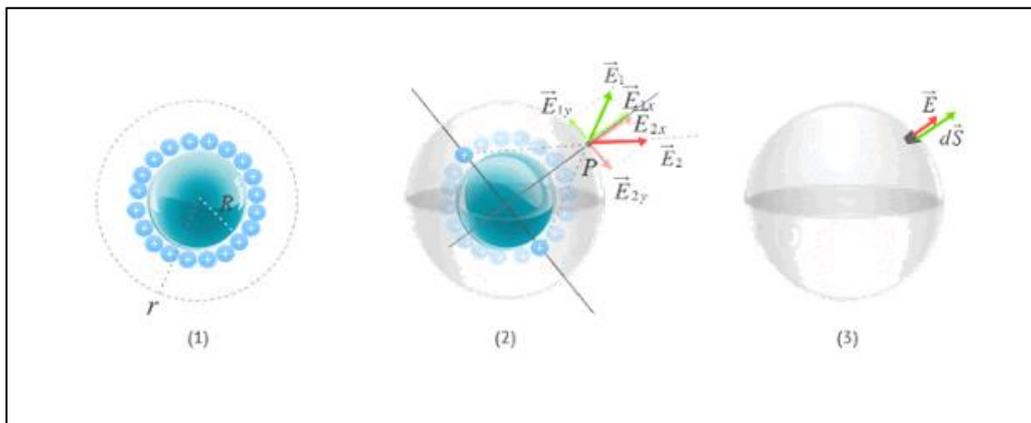


Figura 20. Campo eléctrico generado por una esfera uniformemente cargada. Fuente: Recuperado de <https://www.fisicalab.com/apartado/campo-electrico-esfera-cargada>

Para interpretar mejor lo antes mencionado, analicemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 1. Si tenemos una esfera conductora sólida (de radio R) y colocamos en su interior una carga positiva q , hallar dentro o fuera de la esfera el campo electromagnético de alguna localización.

Para la esfera en un punto externo, tenemos que cuando $r > R$.

$$\Phi_E = E \cdot A$$

$$\Phi_E = E(4\pi r^2)$$

$$E(4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

Y cuando $r < R$, debido a esta esfera metálica sólida, el campo eléctrico es cero.

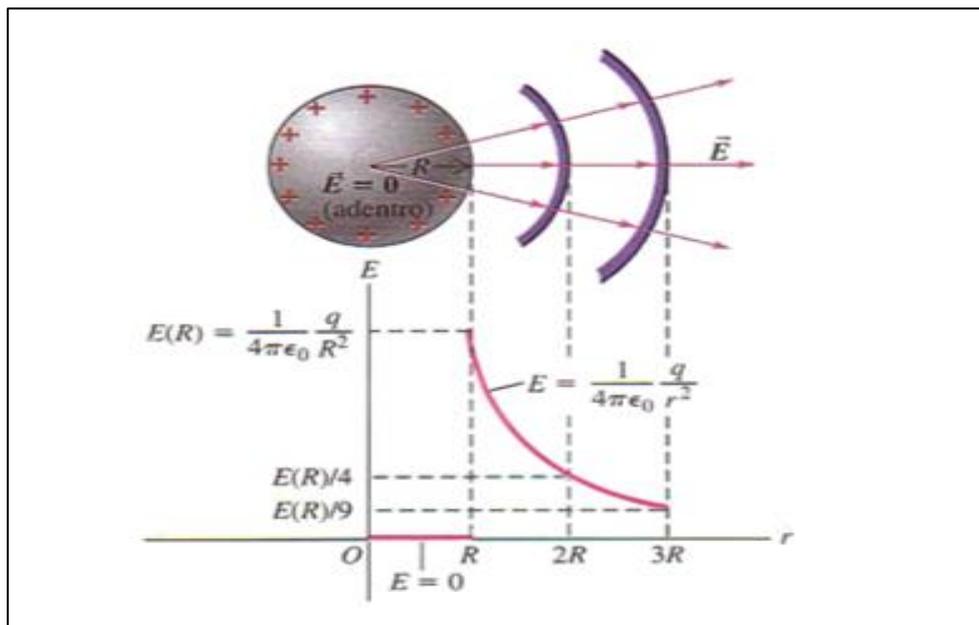


Figura 21. Campo de una esfera conductora con carga. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/29/Aplicaciones+de+la+ley+de+Gauss.jpg>

1.4.2 El campo creado por una lámina plana uniformemente cargada.

Ahora imaginemos una lámina conductora con carga uniforme, donde su densidad rasante de fardo es $\sigma = Q/S$.

Hay que tener en cuenta que el campo electromagnético compuesto de esta lámina, en zonas, donde esta distancia sea despreciable con respecto a su tamaño, se da por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0}$$

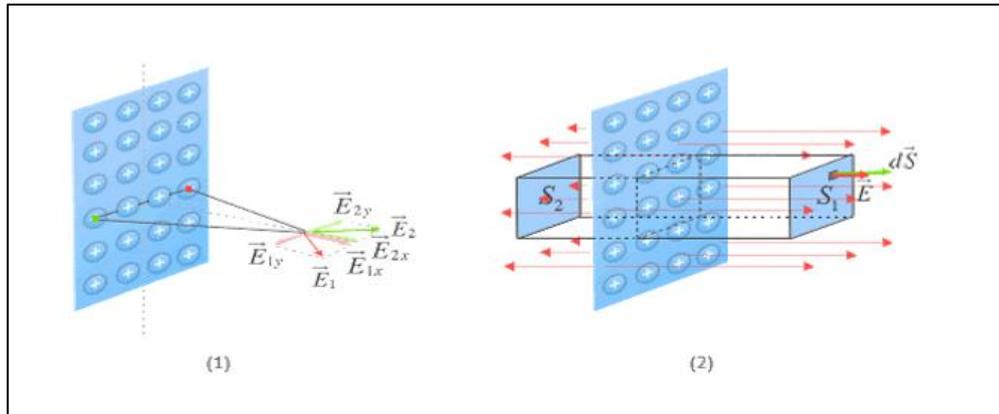


Figura 22. Campo eléctrico creado por una lámina plana cargada uniformemente. Fuente: Recuperado de <https://www.fisicalab.com/apartado/campo-electrico-lamina-plana>

Para interpretar mejor lo antes mencionado, analicemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 2. Se tiene dos láminas paralelas cargadas con la misma carga Q , con distinto signo, determinemos el campo eléctrico producido en su interior.

Recordemos que el campo electromagnético creado por cierta placa está expresado por:

$$E = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0}$$

Entonces, al acertar la energía total del campo E_T en el interior de ambas láminas se da, teniendo en cuenta que E_1 es el campo creado por la placa densa positivamente y E_2 con el campo creado por la placa cargada negativamente, entonces:

$$E_T = E_1 + E_2 \Rightarrow$$

$$E_T = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0} + \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0} \Rightarrow$$

$$E_T = 2 \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0} \Rightarrow$$

$$E_T = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Y si de igual forma, aplicando que $\sigma = \frac{Q}{S}$ tenemos finalmente:

$$E_T = \frac{Q}{S \cdot \epsilon_0}$$

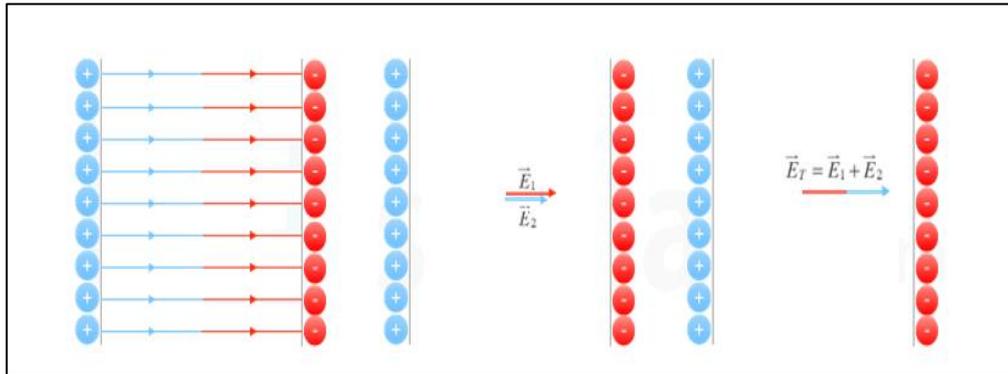


Figura 23. Dos láminas paralelas cargadas con la misma carga, pero con distinto signo.
Fuente: Recuperado de <https://www.fisicalab.com/ejercicio/735>

1.4.3 El campo creado por un hilo cargado uniformemente.

Finalmente, imaginemos un hilo uniformemente cargado, donde su densidad lineal de carga es $\lambda = \frac{Q}{L}$. Aquí, tenemos en cuenta que d es la distancia de un punto al hilo cargado uniformemente, en el campo eléctrico que este genera.

$$E = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot d}$$

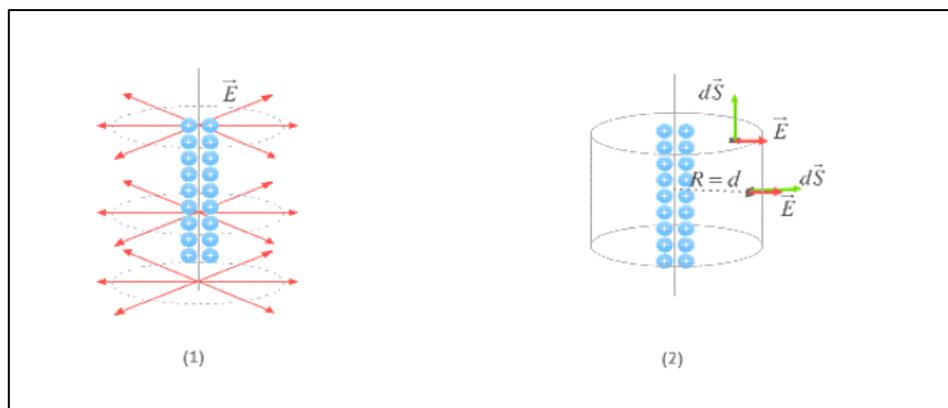


Figura 24. Campo eléctrico creado por un hilo cargado uniformemente. Fuente: Recuperado de <https://www.fisicalab.com/apartado/campo-electrico-hilo-cargado>

Para interpretar mejor lo antes mencionado, analicemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 3. Se tiene un alambre delgado infinitamente largo, con una carga eléctrica (λ se supone positiva) distribuida uniformemente en ella. Si la distancia de un punto en el

campo en el alambre es demasiado menor a la distancia del alambre, hallar su campo eléctrico.

Como el alambre posee una simetría cilíndrica, le corresponde una superficie imaginaria gaussiana cilíndrica (de radio r y longitud l), con sus extremos perpendiculares al alambre.

Conociendo el área de un cilindro, aplicamos la ley de Gauss, para obtener la siguiente ecuación:

$$\Phi_E = E \cdot A \quad \text{y} \quad \Phi_E = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi rl) = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$\frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{\lambda}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi rl) = \frac{\lambda}{\epsilon_0}$$

Finalmente, tenemos, despejando E:

$$E = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \frac{\lambda}{r}$$

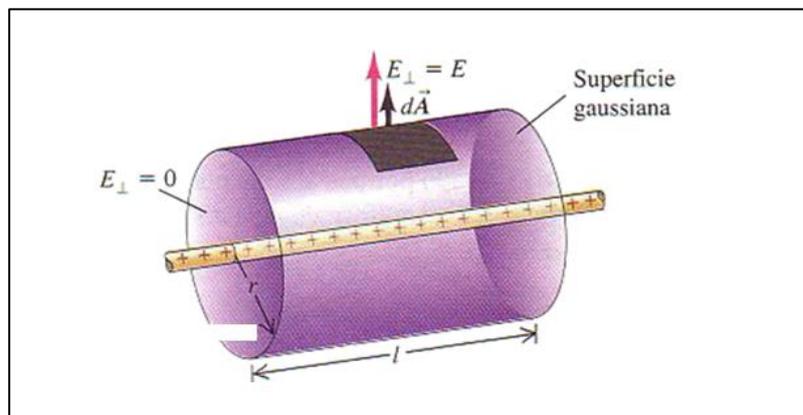


Figura 25. Campo de una carga lineal. Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/32/images/32/Aplic>

Capítulo II

Potencial eléctrico

2.1 Energía potencial eléctrica

Un cuerpo cargado q_1 gana energía potencial electrostática si sufre la acción de la fuerza de otro cuerpo q_2 , teniendo en cuenta la distancia que los separa.

Si las cargas que interactúan provienen de un signo idéntico, la energía potencial eléctrica ganada será positiva; si tienen signos diferentes; será negativa; y será nula cuando la distancia de separación sea infinita.

La energía potencial eléctrica se obtiene:

$$E_p = K \frac{q_1 q_2}{r}$$

Donde la energía potencial eléctrica E_p se mide en Julios (J) en el S.I. Del mismo modo, las cargas puntuales q_1 y q_2 se dan en culombios (C) y la distancia que separa estas cargas es r se da en metros (m); además, cabe mencionar que la constante de la ley de

Coulomb K tiene un valor aproximado de $9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$.

2.1.1 El trabajo eléctrico y su relación con la energía potencial eléctrica.

La energía potencial eléctrica y el trabajo eléctrico guardan afinidad en medio de esta en función de todas las fuerzas conservativas que se aplica.

Analizando lo mencionado anteriormente, tenemos que el trabajo realizado por la fuerza eléctrica para mover una carga del punto A al punto B consigue ser expresado

como: $W_e(A \rightarrow B) \Rightarrow$

$$W_e = -(E_{pB} - E_{pA}) \Rightarrow$$

$$W_e = E_{pA} - E_{pB} \Rightarrow$$

Ecuación

$$W_e = -\Delta E_p$$

2.1.2 Fuerzas externas contrarias a la fuerza eléctrica.

No debemos confundir la función que realiza una fuerza eléctrica, que puedes aplicar energías extrínsecas contra estas intensidades para tratar de unir un par de sólidos concentrados de signo semejante o alejarlos si son de diferentes signos.

Podemos mencionar que el trabajo eléctrico (W_e) se relaciona con el trabajo que realiza una fuerza (W_f) y dicha energía potencial de manera subsecuente:

$$W_e = -W_f = -\Delta E_p$$

Para un mejor entendimiento de lo mencionado anteriormente, vamos a analizar dos casos que cumplen esta relación:

i. Cargas con distinto signo

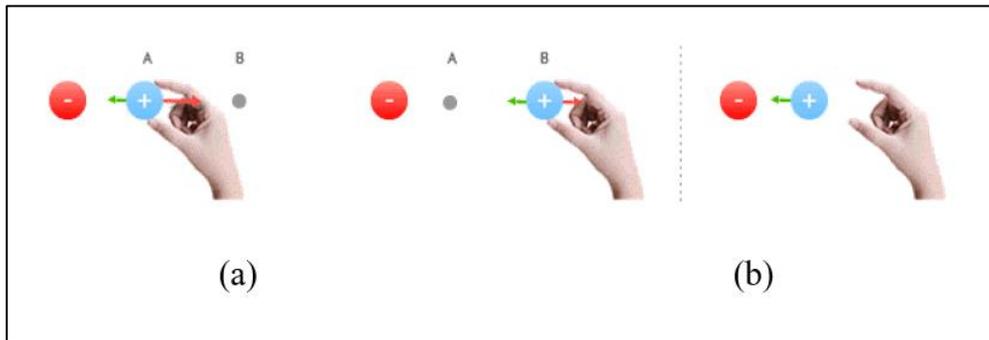


Figura 26. Variación de la energía potencial eléctrica en cargas de diferentes signos. Fuente: Recuperado de <https://www.fiscalab.com/apartado/intro-energia-potencial-electrica>

En (a) la energía potencial eléctrica aumenta si asignamos una fuerza extrema en contra de la fuerza eléctrica y trasladamos una de las dos cargas de un punto A, a un punto B:

- La fuerza extrema realiza un trabajo $W_f > 0$.
- El trabajo eléctrico que la fuerza eléctrica realizó $W_e < 0$.
- En ambas cargas habrán aumentado su energía potencial $\Delta E_p > 0$.

Y en (b) la energía potencial decrece; si liberamos la carga, estas se acercarán entonces:

- El trabajo eléctrico $W_e > 0$.
- La energía potencial disminuirá $\Delta E_p < 0$.

ii. Cargas del mismo signo

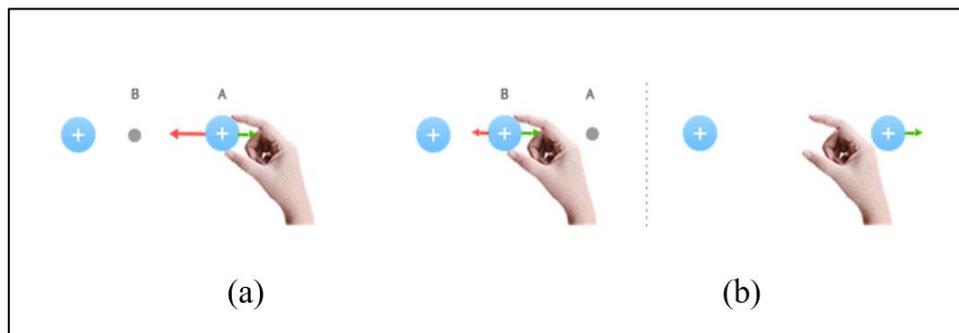


Figura 27. Variación de la energía potencial eléctrica en cargas del mismo signo. Fuente: Recuperado de <https://www.fiscalab.com/apartado/intro-energia-potencial-electrica>

En (a) podemos observar que el aumento de la energía potencial eléctrica se debe a que, producto de una fuerza externa en contra de la fuerza eléctrica, se desplaza una de las cargas un punto A, a un B:

- Esta fuerza externa realiza un trabajo $W_f > 0$.
- El trabajo eléctrico que la fuerza eléctrica realizó $W_e < 0$, ya que $W_f = -W_e$.
- Ambas cargas habrán aumentado su energía potencial $\Delta E_p > 0$.

Y, del mismo modo, en (b) la energía potencial eléctrica disminuye; si liberamos una carga, estas cargas se alejarán. Entonces:

- El trabajo eléctrico $W_e > 0$.
- La energía potencial disminuirá $\Delta E_p < 0$.

Aplicado lo estudiando anteriormente, tenemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 1. Se tiene q_1 de -5mC y q_2 de -3mC , estas se encuentran en el vacío, separadas a 50 cm inicialmente, para luego estar distanciados a 1 m . Teniendo en cuenta que q_1 es fija y q_2 está en movimiento, calcular la energía potencial inicial y final, el trabajo que realiza q_1 sobre q_2 , y deducir si hubo una fuerza externa que intervino:

- a. Aplicando la ecuación de la energía potencial, hallamos la energía potencial inicial y final de las cargas,

$$E_p = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

En la posición inicial:

$$E_{pi} = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_i} \Rightarrow$$

$$E_{pi} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-5 \cdot 10^{-3} \cdot -3 \cdot 10^{-3}}{0,5} \Rightarrow$$

$$E_{pi} = 270\,000\text{ J}$$

Y en la posición final:

$$E_{pf} = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_f} \Rightarrow$$

$$E_{pf} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-5 \cdot 10^{-3} \cdot -3 \cdot 10^{-3}}{1} \Rightarrow$$

$$E_{pf} = 135\,000 \text{ J}$$

b. Teniendo en cuenta el trabajo que realiza q_1 sobre q_2 , tenemos que:

$$W_{1,2} = -\Delta E_p = -(E_{pf} - E_{pi}) = E_{pi} - E_{pf} \Rightarrow$$

$$W_{1,2} = 270\,000 - 135\,000 \Rightarrow$$

$$W_{1,2} = 135\,000 \text{ J}$$

c. Como el trabajo realizado es positivo, no podemos asegurar que haya intervenido una fuerza externa, pero si el resultado hubiera sido negativo, sí podríamos afirmarlo.

2.2 Potencial eléctrico

Si decidimos introducir una carga q' en un campo eléctrico, la carga es obligada y experimentará una corriente eléctrica y por este motivo obtendrá el potencial de campo eléctrico, asimismo conocido como potencial electrostático. Si pudiéramos verlo desde otro ángulo, podríamos imaginar que el campo eléctrico crea una región de influencia, allí todos sus puntos tienen la característica de transferir energía potencial en alguna carga que se encuentre dentro.

De lo mencionado anteriormente, se puede establecer una cantidad exclusivamente escalar del campo eléctrico, llamada potencial eléctrico y supone el potencial electrostático, que adquiriría una unidad de carga positiva si lo situáramos en este punto.

Ecuación

$$V = \frac{E_p}{q}$$

Donde se entiende que V es potencial en un punto del campo eléctrico cualquiera. La unidad de energía que le corresponde en el S.I. es el julio por culombio (J/C) que en conmemoración de Alessandro Volta recibe dicho nombre (Voltio).

2.2.1 Potencial eléctrico creado por una carga puntual.

Recordemos que la energía potencial que ganan dos cargas se da gracias a la interacción de los campos que estas crean. Entonces, tenemos que dicha interacción entre la carga q y una carga testigo q' producen un potencial eléctrico para dicha carga:

Ecuación

$$V = K \cdot \frac{q}{r}$$

Donde, en el S.I. el potencial eléctrico (V) en un punto y se mide en voltios (V).

Por lo tanto, podemos deducir que:

- Si q es positiva, el potencial eléctrico y la energía potencial son positivos.
- Si q es negativa, el potencial eléctrico y la energía potencial son negativos.
- Si no se halla carga, no hay potencial eléctrico ni energía potencial.
- El potencial eléctrico depende de q e independientemente de la carga de la muestra q' , que utilizamos para ser calibrado.

2.2.2 Potencial eléctrico creado por varias cargas puntuales.

Si varias cargas puntuales crean un campo eléctrico, se deduce que el potencial eléctrico en un punto determinado seguirá el principio de superposición, lo que consiste en que n cargas puntuales generan un potencial en posiciones del campo eléctrico generado, a ello la suma escalar de los potenciales eléctricos establecidos por cada una de las cargas en dicho punto dará el potencial total.

Ecuación

$$V = K \cdot \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \dots + \frac{q_n}{r_n} \right) = K \cdot \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i}$$

Aplicado lo estudiando anteriormente, tenemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 2. Dos cargas $q_1 = 3\mu C$ y $q_2 = -6\mu C$, ubicados en los vértices de un triángulo equilátero de 60 cm de lado. Determinar el potencial eléctrico y la energía potencial si introducimos una carga $q = -5\mu C$ en dicho punto libre.

- a. Determinando, en el vértice libre el potencial eléctrico, con la adición de los potenciales creados en ese punto por la carga.

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow$$

$$V = K \cdot \frac{q_1}{l} + K \cdot \frac{q_2}{l} \Rightarrow$$

$$V = K \cdot \left(\frac{q_1}{l} + \frac{q_2}{l} \right) \Rightarrow$$

$$V = 9 \cdot 10^9 \cdot (5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}) \Rightarrow$$

$$V = -45\,000\,V$$

- b. Conociendo el potencial en dicho punto, hallamos la energía potencial si introducimos una carga q , por medio de la siguiente expresión:

$$V = \frac{E_p}{q} \Rightarrow$$

$$E_p = V \cdot q \Rightarrow$$

$$E_p = -45\,000 \cdot -5 \cdot 10^{-6} \Rightarrow$$

$$E_p = 0,225\,J$$

2.3 Superficies equipotenciales

Si el potencial eléctrico toma un valor constante en varios puntos de un campo eléctrico, estas forman una superficie equipotencial. Por ejemplo, cargas puntuales crean esferas concéntricas alrededor de ellas, estas son denominadas superficies equipotenciales, como se deduce de la definición de potencial.

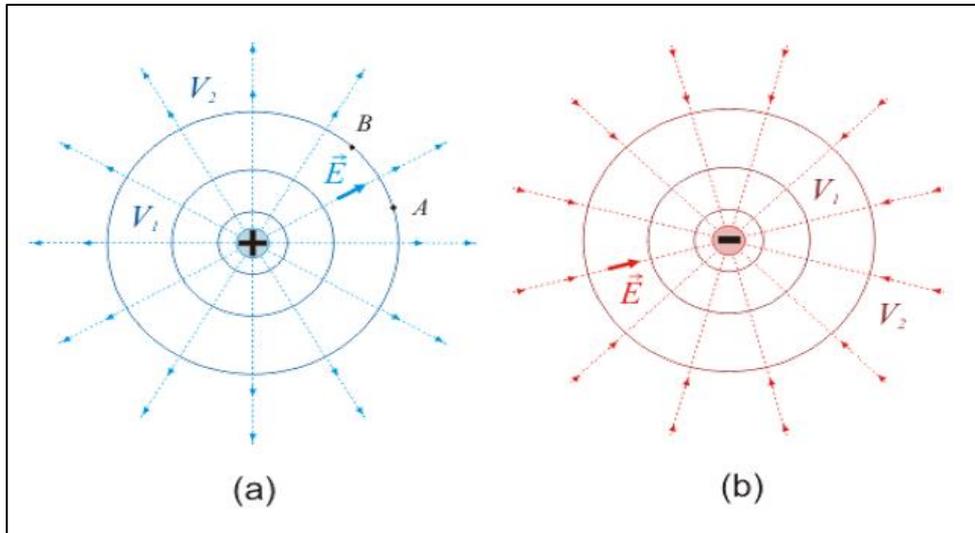


Figura 28. Superficies equipotenciales creadas por una carga puntual (a) positiva y (b) negativa. Fuente: Recuperado de <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/electro/potencial.html>

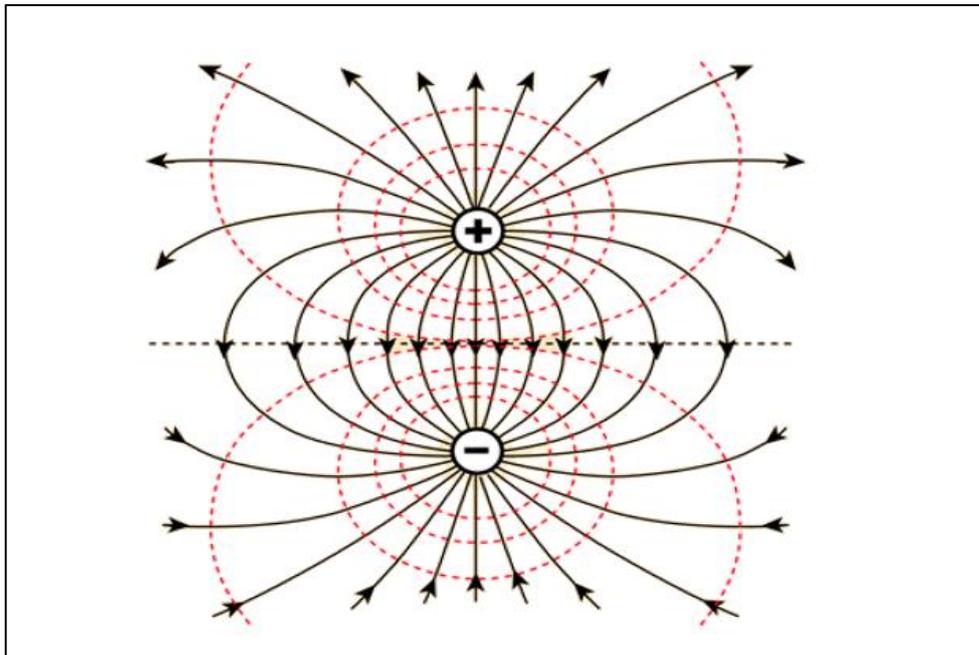


Figura 29. Superficies equipotenciales creadas por un dipolo eléctrico. Fuente: Recuperado de <http://fisicayquimicaonline.blogspot.com/2018/03/superficies-equipotenciales.html>

Estas superficies equipotenciales tienen las siguientes propiedades:

- En toda posición las líneas de fuerza del campo eléctrico son ortogonales a las líneas de igual potencial y apuntan siempre hacia donde disminuye la energía potencial.
- La fuerza eléctrica que se debe dar para desplazar cierta carga de un punto a otro en una misma superficie equipotencial es nula.
- Dos líneas equipotenciales nunca se cortan, ya que un punto no puede tener dos potenciales eléctricos distintos.
- La energía potencial es ajustada al intervalo dado en medio de la carga y líneas de una superficie equipotencial, ya que si la distancia crece también lo hace el potencial eléctrico o viceversa, ya que en este caso dependerá si la carga es positiva o negativa.
- Las líneas equipotenciales tienden a curvarse según la forma del conductor de la carga que se encuentra más cerca.

Capítulo III

Capacitancia

3.1 Capacitores, capacitancia

Ahora nos toca analizar qué componentes, dispositivos o materiales tienen la capacidad de recoger y almacenar energía en forma de carga eléctrica.

3.1.1 Capacitores.

Un capacitor eléctrico (condensador) es un componente eléctrico que guarda carga eléctrica a modo de diferencia de potencial para liberarla más adelante.

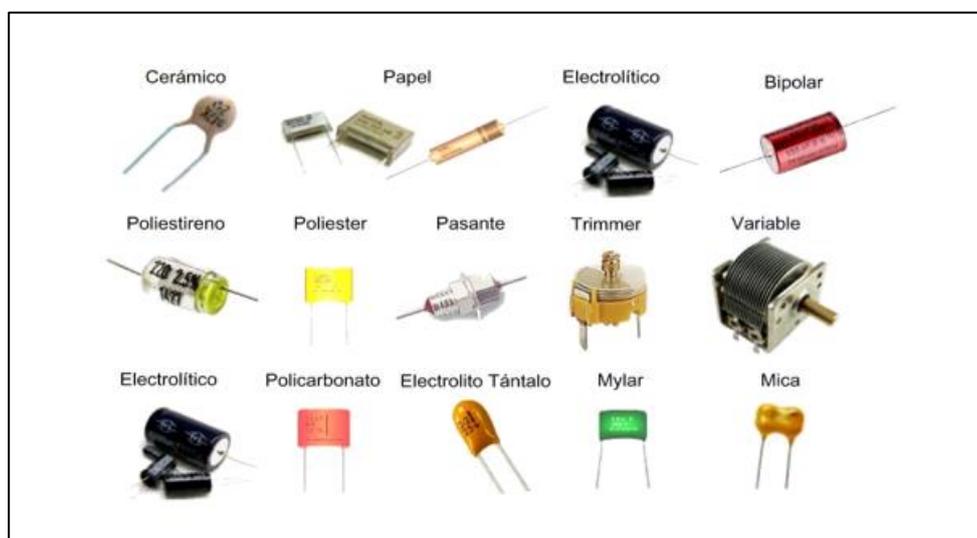


Figura 30. Tipos de condensadores o capacitores. Fuente: Recuperado de https://www.negocioscontraobsolescencia.com/uploads/8/7/8/3/87835438/artcondensadores2daimg05_orig.jpg

En la figura 31 podemos apreciar el interior de un capacitor de forma general, donde está conformada por dos placas conductoras (a y b), y atinar a la acción que se encuentran plenamente apartado de su marco, y suponemos que están en el vacío por la coyuntura.

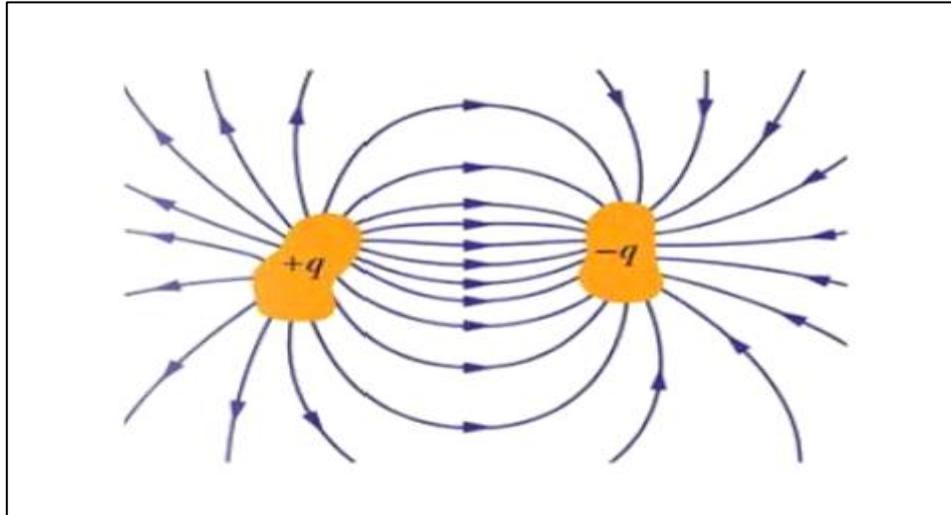


Figura 31. Dos conductores aislados uno del otro. Fuente: Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/read/14511137/cap-26-capacitores-y-capacitancia>

Se concluye que cada capacitor está abarrotado si los reconocimientos internos contienen la carga $+q$ y $-q$ semejantes y contrapuestos. Donde q no es la carga real en el condensador, siendo cero, ya que significamos q como la estimación absoluta de la carga en alguna placa, representando una magnitud única, donde la señal de carga en una leyenda debe ser diferenciada.

Con una batería puede cargar un condensador acoplando dos placas de condensador a terminales opuestos. Dado que las placas son conductoras, también son de igual potencia y aparecerá una diferencia de potencial de acumuladores entre las placas. Al acumular energía en el condensador, la batería traspasa cargas semejantes y contrarias a las dos placas del capacitor. Según adecuación, representamos el grandor de la diferencia de potencial entre las placas por V .

La carga q en un capacitor es abiertamente conforme al voltaje V entre sus placas y su capacitancia. Esto es:

Ecuación

$$q = CV$$

Aplicando lo estudiado anteriormente, tenemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 1. ¿Cuántos electrones en exceso tiene una placa negativa? Si tenemos un capacitor de situar una capacidad eléctrica de 55 fF. Y si existe concentración a 5,3 V.

Hay que tener en cuenta que la magnitud de la carga se puede dar de la siguiente forma $q = Ne$, donde N es el número de electrones en exceso.

Tomando en cuenta ello, tenemos que:

$$q = Ne$$

$$N = \frac{q}{e} \quad y \quad q = CV$$

$$N = \frac{CV}{e}$$

$$N = \frac{(55 \cdot 10^{15} F)(5,3 V)}{1,60 \cdot 10^{-19} C}$$

$$N = 1,8 \cdot 10^6 \text{ electrones}$$

3.1.2 Capacitancia.

La capacitancia (capacidad eléctrica) de un portador es una cantidad escalar que vincula el aprovisionar la carga en un conductor y el voltaje que obtiene aisladamente.

Ecuación

$$C = \frac{q}{V}$$

Donde la unidad en el S.I. de la capacitancia C se mide en faradios (F).

Debemos recordar siempre que la capacitancia eléctrica es una cantidad positiva y está en función a la geometría del conductor.

Tabla 1
Capacitancia y geometría

Geometría	Capacitancia
Esfera aislada de radio R (segundo conductor esférico, se asume que tiene un radio infinito)	$C = 4\pi \epsilon_0 R$
Capacitor de placas paralelas (área A y separación de placa d)	$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$
Capacitor cilíndrico de longitud l y radios internos y externos a y b , respectivamente	$C = \frac{l}{2K_e \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$
Capacitor esférico con radios externos e e internos a y b , respectivamente	$C = \frac{ab}{K_e(b-a)}$

Nota: Capacitancia eléctrica en función de la geometría del conductor. Fuente: Recuperado de http://mcba11.phys.unsw.edu.au/~mcba/PHYS1231/SJ26_capacitance.pdf

Teniendo en cuenta que la unidad de la capacitancia es el faradio y esta se determina de modo que la amplitud de un conductor, que cuando es cargado con un coulombio consigue un potencial de un voltio.

Tenemos que el faradio es una unidad muy grande, por lo que normalmente se trabaja con sus subunidades. Entonces, podemos localizar algunas magnitudes más utilizadas:

Tabla 2
Magnitudes eléctricas fundamentales

Submúltiplos		Equivalencia
Decifaradio	1 dF	10^{-1} F
Centifaradio	1 cF	10^{-2} F
Milifaradio	1 mF	10^{-3} F
Microfaradio	1 μ F	10^{-6} F
Nanofaradio	1 nF	10^{-9} F
Picofaradio	1 pF	10^{-12} F
Femtofaradio	1 fF	10^{-15} F
Attofaradio	1 aF	10^{-18} F
Zeptofaradio	1 zF	10^{-21} F
Yoctofaradio	1 yF	10^{-24} F

Nota: Submúltiplos más utilizados para el faradio. Fuente: Recuperado de <http://tmai6sena5.blogspot.com/p/capacitancia-se-define-como-la-la.html>

Aplicado lo estudiando anteriormente, tenemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 2. Si tenemos dos esferas conductoras, una con carga $q_1 = 0.8 \text{ C}$ y una capacidad $C_1 = 15 \text{ mF}$; otra esfera con una carga $q_2 = 0.8 \text{ C}$ y una capacidad $C_2 = 10 \text{ mF}$. Estas se encuentran separadas, conectado por un conductor de capacitancia insignificante, para no interferir eléctricamente entre ellas:

- a. Precisar si las esferas presentan desplazamiento de cargas y qué sentido tienen.

Se tiene el mismo exceso de carga positiva en cada esfera, pero distinta capacitancia. La travesía de cargas positivas es concretada desde regiones con más energía potencial hasta regiones de un potencial reducido; por ello determinaremos el potencial eléctrico de cada esfera.

$$V_1 = \frac{q_1}{C_1}; V_2 = \frac{q_2}{C_2}$$

$$V_1 = \frac{0.8}{15 \cdot 10^{-3}}; V_2 = \frac{0.8}{10^{-2}}$$

$$V_1 = 53,33 \text{ V}; V_2 = 80 \text{ V}$$

Como se evidencia, la primera esfera tiene menor potencial, debido a ello esta recibirá cargas positivas de la segunda esfera.

- b. Una vez en equilibrio eléctrico, determinar la carga de cada esfera.

Si se da que el potencial de ambas esferas es la misma ($V_1=V_2$), entonces estarán en equilibrio eléctrico, o lo que es igual $\Delta V=0$. Abordando la definición de capacidad eléctrica, tenemos que:

$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2} \Rightarrow$$

$$\frac{q_1}{15 \cdot 10^{-3}} = \frac{q_2}{10^{-2}}$$

Donde teniendo como base el origen de conservación de la carga, la carga que dominan las esferas antes de la conexión y tras concatenar deben ser las mismas, es decir:

$$q_1 + q_2 = 1.6 \text{ C}$$

Dirimiendo en el método de ecuaciones que disponemos el valor de las cargas.

$$q_1 = 0.96 C$$

$$q_2 = 0.64 C$$

3.2 Capacitores en serie y en paralelo

Si se da que se posee condensadores simultáneos, se recomienda cambiarlos por otro equivalente, donde esta dependerá de la capacitancia que estas tengan juntas. Una capacitancia equivalente de la particularidad del condensador puede ser relevado por la coordinación de otras fuera de alterar la acción del recorrido.

3.2.1 Capacitores conectados en serie.

Se dice que dos o más capacitores están en serie a lo largo de un hilo conductor, cuando cada uno de ellos se encuentra uno a continuación de otro.

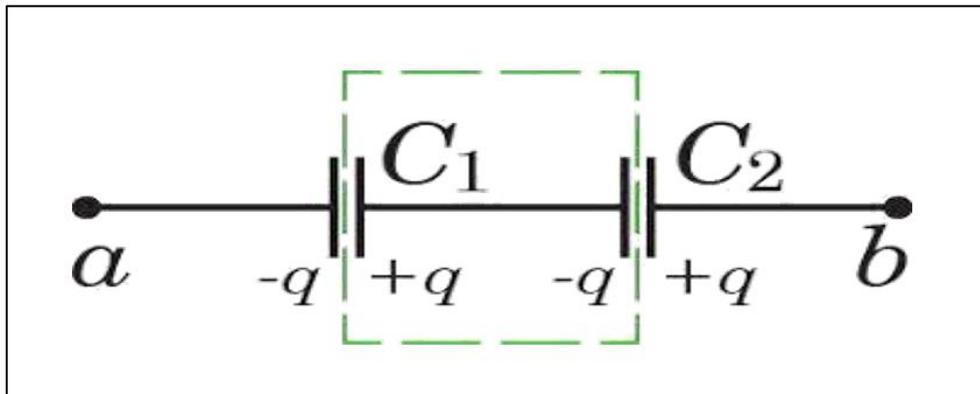


Figura 32. Combinación de dos capacitores en serie. Fuente: Recuperado de http://depa.fq.uim.unam.mx/amyd/archivero/Capacitores_21660.pdf

Analizando la figura 32, podemos escribir para cada capacitor individual la siguiente ecuación, buscando la capacitancia equivalente en serie:

Ecuación

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Si tenemos condensadores en progresiones diversas, podemos trabajar con la ecuación 32, para especificar la potencia equiparable C_{12} de los primeros dos. Después localizamos la capacitancia equivalente de C_{12} y el capacitor posterior en serie C_3 . Así podemos determinar en cualquier número de capacitores en serie la capacitancia equivalente.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_n \frac{1}{C_n}$$

3.2.2 Capacitores conectados en paralelo.

Cuando tenemos capacitores que comparten los extremos de un conductor, son paralelos, estas se encuentran, así como se observa en la demostración dada en la posterior figura 33.

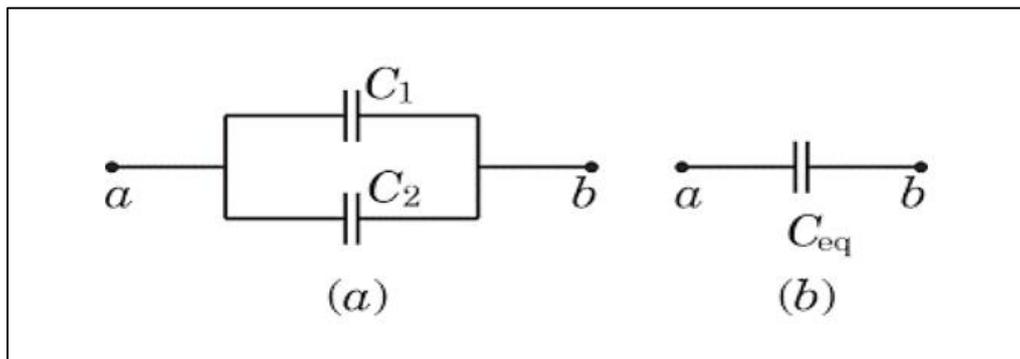


Figura 33. Capacitores en paralelo. Fuente: Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Capacitores_21660.pdf

La figura 33a puede ser reemplazada por la figura 33b, en la que hay un solo capacitor, cuya capacidad es la suma de las capacidades de los capacitores en paralelo.

Ecuación

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

Si hay como máximo dos condensadores equivalentes, al sustituir podemos a C_1 , y C_2 por su homólogo C_{12} , para luego hallar el proporcional en capacidad eléctrica de C_{12} y el siguiente capacitor C_3 . Para hallar el electromagnetismo de cierta cantidad de condensadores conectados en paralelo, tenemos que:

$$C_{eq} = \sum_n C_n$$

Tengamos en cuenta lo análogo de la potencia, es trascendental perennemente en la potencia máxima, junto a la combinación en paralelo. La combinación puede llegar más carga en paralelo que cualquier condensador individual.

Ante lo estudiado, analicemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 3. En la figura 34 se tiene combinaciones de capacitores, hallar para cada caso la capacitancia equivalente.

a. Capacitancia equivalente en la figura 34a. Suponga que

$$C_1 = 12,0 \text{ uF}, \quad C_2 = 5,3 \text{ uF}, \quad y \quad C_3 = 4,5 \text{ uF}.$$

La capacidad eléctrica proporcional del capacitor en paralelos C_1 , y C_2 .

$$C_{12} = C_1 + C_2$$

$$C_{12} = 12,0 \text{ uF} + 5,3 \text{ uF}$$

$$C_{12} = 17,3 \text{ uF}$$

b. Capacitancia equivalente en la figura 34b, C_{12} y C_3 estando en serie.

$$\frac{1}{C_{123}} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{123}} = \frac{1}{17,3 \text{ uF}} + \frac{1}{4,5 \text{ uF}}$$

$$\frac{1}{C_{123}} = 0,280 \text{ uF}^{-1}$$

$$C_{123} = \frac{1}{0,280 \text{ uF}^{-1}}$$

$$C_{123} = 3,57\mu F$$

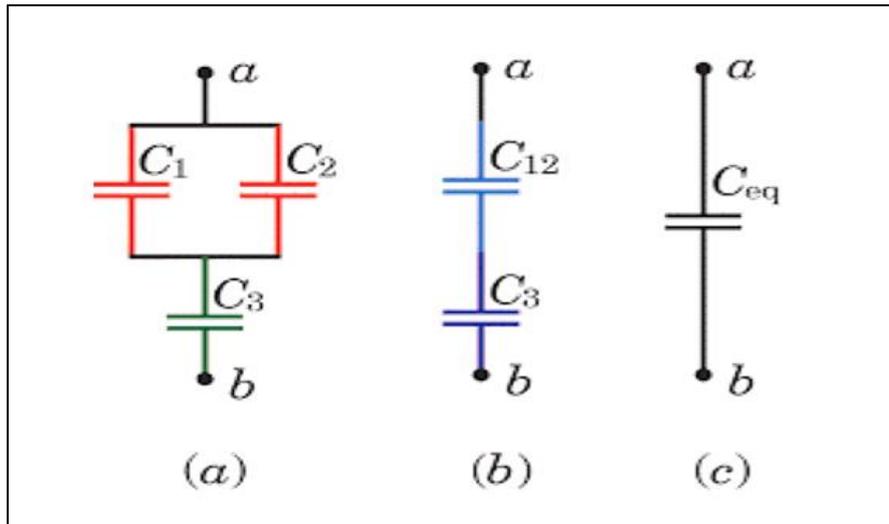


Figura 34. Combinación de capacitores en serie. Fuente: Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Capacitores_21660.pdf

3.3 Almacenamiento de energía en capacitores y energía del campo eléctrico

Hay que tener en cuenta que la energía se puede almacenar, tanto en los capacitores como en el campo eléctrico. Para entender mejor aquello estudiemos cada punto.

3.3.1 Almacenamiento de energía en capacitores.

Los capacitores no solo almacenan carga, también almacenan energía. Donde el trabajo dW que se necesita para desplazar una carga dq de la placa negativa hacia la placa positiva de mayor potencial de un capacitor, se sitúa como energía potencial eléctrica U .

Ecuación

$$U = \frac{1}{2} C \Delta V^2$$

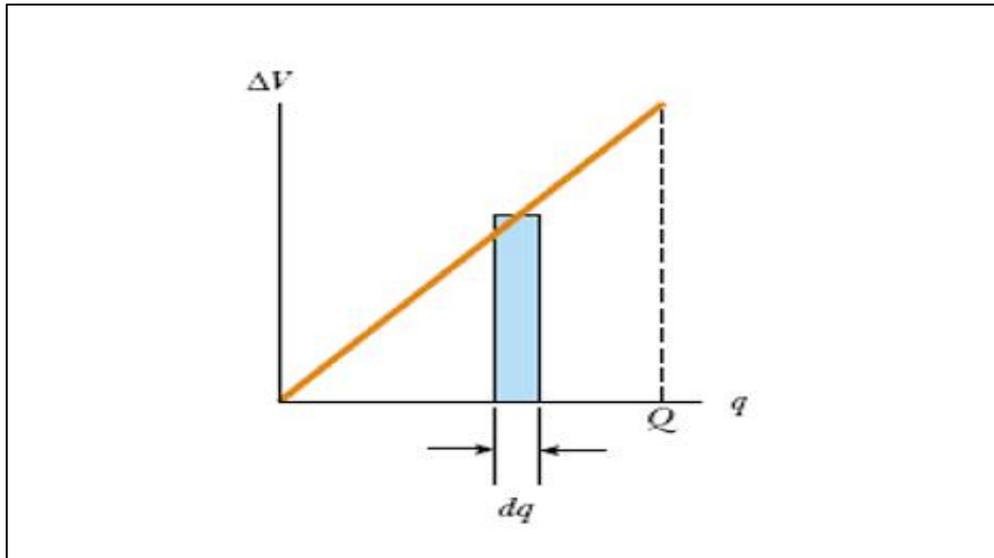


Figura 35. Energía almacenada en el capacitor. Fuente: Recuperado de <https://www.negocioscontraaobsolescencia.com/taller/capacitores-condensadores-todo-lo-que-necesitas-saber-para-comenzar-parte-1era-la-teoria>

3.3.2 Almacenamiento de energía del campo eléctrico.

Teniendo en cuenta que la energía potencial eléctrica U es equivalente al trabajo W realizado mediante un agente externo, para hacer posible una configuración de cargas.

Se tiene que una batería transporta carga de una placa a otra, en un capacitor de placas paralelas, donde el campo eléctrico en el espacio de una placa a otra es uniforme.

Así tenemos que la densidad de energía u , se aprovisiona como energía por unidad de volumen, debe ser igual en todo el volumen entre las placas; de modo que el campo eléctrico es V/d , a esto u está dada por:

Ecuación

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

Aunque se trató solamente para un capacitor de placas paralelas, el resultado es válido para otro sin importar cual sea. Aunque en general E cambia con la localización, así que u será función de las coordenadas.

3.4 Dieléctricos

Los cálculos realizados para hallar la capacitancia han sido en el vacío, ahora lo calcularemos con la existencia de un material aislante entre las placas de un capacitor. La existencia de dicho material alterará la capacitancia y es posible que también altere el campo eléctrico entre sus placas. Estas diversas sustancias aislantes que están entre las placas son conocidas como dieléctricos.

Tabla 3
Propiedades de los dieléctricos

Material	Constante dieléctrica K_e	Resistencia o rigidez dieléctrica (kV/mm)
Vacío	1 exactamente	∞
Aire (1 atm)	1,00059	3
Poliestireno	2,6	24
Papel	3,5	16
Aceite de transformadores	4,5	12
Pyrex	4,7	14
Mica	5,4	160
Porcelana	6,5	4
Silicio	12	
Agua (25° C)	78,5	
Agua (20° C)	80,4	
Cerámica de titanio	130	
Titanato de estroncio	310	8

Nota: Propiedades de los dieléctricos, medidas a la temperatura ambiente. Fuente: Recuperado de <https://compartirmateriales.blogspot.com/2019/09/que-es-la-constante-dielectrica-de-un.html>

Si se tiene en cuenta la relación $C = q/V$, la capacitancia de todo capacitor incrementa si se introduce un dieléctrico, suponiendo que este llena en su totalidad el espacio entre las placas. A este factor adimensional, se llama constante dieléctrica K_e .

Estos materiales dieléctricos representan su propiedad fundamental a través de esta constante dieléctrica, que es autónoma de la forma o volumen del conductor, como lo muestra la tabla 3.

Faraday experimentó estos fenómenos, la figura 36 nos da una idea de ello. Si conectamos una batería a un capacitor con carga q en un primer momento, y lo mantenemos conectada para asegurar que el campo eléctrico y la diferencia de potencial se mantengan constante, para posteriormente insertar una lámina dieléctrica, la carga aumenta

de un factor de K_e a un valor de $K_e q$. Esta carga de mas $(K_e - 1)q$ es llevada desde una placa negativa hasta otra positiva por la batería cuando la lámina dieléctrica es insertada.

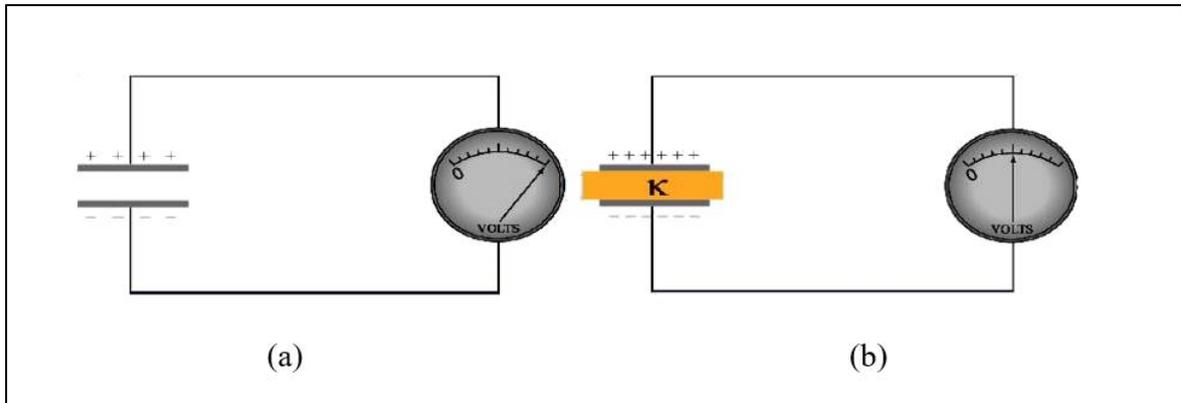


Figura 36. Experimento de Faraday. Fuente: Recuperado de <https://docplayer.es/30881388-Condensadores-dielectricos-y-polarizacion.html>

Después alcanzamos a desconectar la batería, una vez que el capacitor ha cargado la carga q . Teniendo en cuenta que la lámina dieléctrica esta insertada, la carga permanece constante, ya que no existe una trayectoria para la transferencia de carga, además la diferencia de potencial cambia.

Por lo tanto, se entiende que esta disminuye en un factor k_e de V a V/k_e . Del mismo modo, el campo eléctrico puede verse disminuido por el factor k_e . Aguardamos esta disminución en V teniendo en cuenta la expresión $q = CV$; si q es constante, así que el aumento en C por el factor K_e debe entenderse como una disminución equivalente en V por el mismo factor.

Si excedemos el límite del material dieléctrico, este se perfora. La presencia de este dieléctrico frena la diferencia de potencial que se quiere preservar entre las placas.

Para interpretar lo estudiado, analicemos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 4. Se tiene un capacitor de capacitancia $C_0=13.5$ pF, y una diferencia de potencial $V=12,5$ V entre sus placas. Se inserta una lámina de porcelana donde $k_e=6,5$ y se

desconecta la batería. Calcular la energía almacenada antes y luego de haber incorporado la lámina de porcelana.

Calculamos la energía inicial guardada como:

$$U_i = \frac{1}{2} C_0 V^2$$

$$U_i = \frac{1}{2} (13,5 \cdot 10^{-12} F)(12,5 V)^2$$

$$U_i = 1,055 \cdot 10^{-9} J$$

$$U_i = 1055 pJ$$

Y la energía final almacenada en función a $K_e C_0$ con q constante como:

$$U_f = \frac{q^2}{2C}$$

$$U_f = \frac{q^2}{2K_e C_0}$$

$$U_f = \frac{U_i}{K_e}$$

$$U_f = \frac{1055 pJ}{6,5}$$

$$U_f = 162 pJ$$

Teniendo en cuenta que la energía final es menor que la inicial por un factor de $1/k_e$. Se entiende que el capacitor ejercerá una fuerza sobre la lámina, provocando un trabajo en ella de:

$$W = U_i - U_f$$

$$W = 1055 pJ - 162 pJ$$

$$W = 893 pJ$$

Entonces, se interpreta que el sistema posee una energía constante de 1055 pJ, pero en el instante que se añade la lámina dieléctrica la energía cinética cambia a 893 pJ.

3.4.1 Dieléctricos en el mundo atómico.

Ahora intentemos comprender, en términos atómicos, qué sucede cuando se posiciona un dieléctrico en un campo eléctrico. Por ejemplo, algunos dieléctricos, como el agua, disponen de un momento dipolar eléctrico permanente que tiende a autorregularse con el campo eléctrico externo, como se visualiza en la figura 37.

Donde inicialmente en (a) estas moléculas están orientadas aleatoriamente, ya que no existe ningún campo eléctrico externo que las afecte, y posteriormente en (b) un campo eléctrico ocasiona una alineación parcial de estos dipolos, ya que una agitación térmica impide la alineación completa.



Figura 37. Dipolos (a) sin campo eléctrico y (b) con campo eléctrico. Fuente: Recuperado de <https://es.slideshare.net/franciscorivas3766/capacitancia-ing-carlos-moreno>

Del mismo modo, en la figura 38 apreciamos en (a) una lámina dieléctrica eléctricamente neutra, y si decidimos introducirla en un capacitor de placas paralelas esta se polariza como en el caso de (b), donde el efecto es acumular a un lado la carga positiva y al otro la carga negativa; además, no surge ninguna carga excesiva en ningún elemento de volumen dado, ya que la lámina aún se mantiene neutra, teniendo en cuenta que la carga superficial inducida positiva es igual a la magnitud de la carga superficial inducida negativa, y como no existe transferencia de carga a distancias macroscópicas, se considera

que los electrones del dieléctrico se desplazan de sus posiciones iniciales a distancias menores que un diámetro atómico.

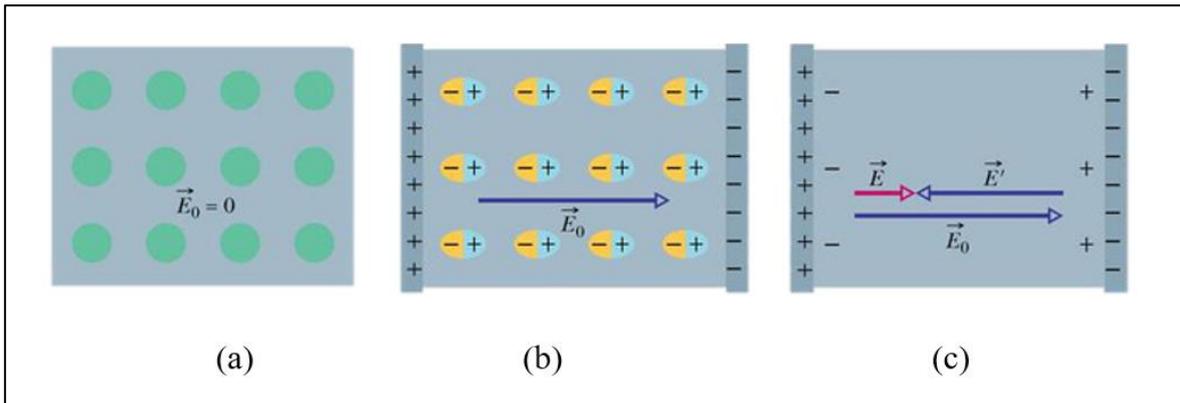


Figura 38. (a) Lamina dieléctrica. (b) Campo eléctrico externo. (c) Cargas superficiales netas inducidas crean un campo eléctrico. Fuente: Recuperado de <https://docplayer.es/30881388-Condensadores-dielectricos-y-polarizacion.html>

En (c) se muestran cargas superficiales inducidas donde el campo eléctrico E' provocado por ellas se resiste al campo eléctrico externo E_0 . Y si decidimos sumar el campo E_0 y E' , para hallar el campo E resultante. Se tiene que esta es menor que E_0 , pero estas apuntan en la misma dirección.

Entonces, si introducimos un dieléctrico en un campo eléctrico, aparecerán cargas superficiales inducidas que debilitan el campo original.

Un ejemplo a nivel macro, donde apreciemos una carga inducida, se da observando la fuerza de atracción de una barra cargada que atrae un material no conductor como trozos no cargados de papel. La figura 39 representa este fenómeno. El papel experimenta cargas superficiales de modo que un extremo del papel cargado negativamente experimenta una atracción hacia la barra y el otro lado que está cargado positivamente sufre cierta repulsión. Entonces, podemos deducir que el efecto neto es la atracción, ya que estas fuerzas no poseen una intensidad similar, ya que el extremo negativo, al ubicarse más cerca a la barra, está en un campo más intenso.

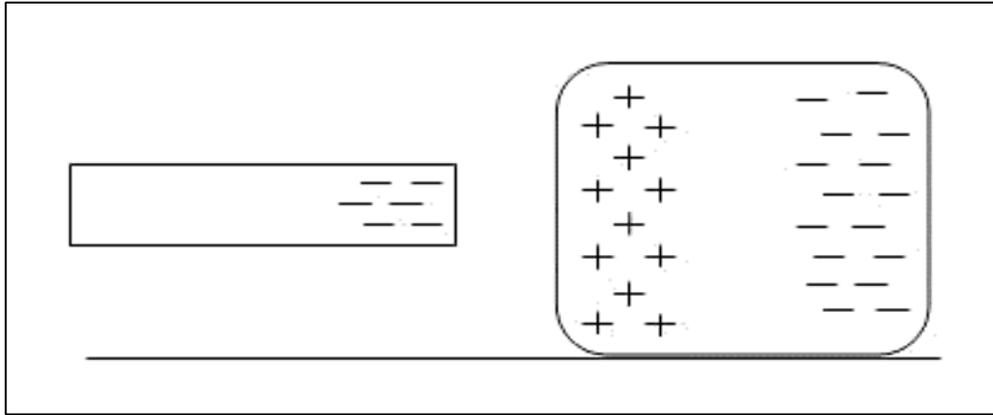


Figura 39. Una barra cargada atrae un trozo de papel. Fuente: Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos100/estudio-cargas-electricas/estudio-cargas-electricas.shtml>

3.4.2 Los dieléctricos y la ley de Gauss.

Actualmente la ley de Gauss se aplicará a capacitores que tengan dieléctricos en su interior, de modo que la constante dieléctrica k_e alterará de cierto modo las ecuaciones.

Tabla 4
La ley de Gauss y la constante dieléctrica

Ley de Gauss	Influencia de la constante dieléctrica k_e
Para la carga eléctrica	$q = \epsilon_0 \oint k_e E dA$
Para el campo eléctrico	$E = \frac{q}{k_e \epsilon_0 A}$ $E = \frac{1}{4\pi k_e \epsilon_0} \frac{q}{r^2}$
Capacitor de placas paralelas	$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$
Capacitor cilíndrico	$C = \frac{l}{2K_e \ln(b/a)}$
Capacitor esférico	$C = \frac{ab}{K_e(b-a)}$

Nota: Influencia de la constante dieléctrica. Fuente: Recuperado de http://mcba11.phys.unsw.edu.au/~mcba/PHYS1231/SJ26_capacitance.pdf

Tomando en cuenta la constante dieléctrica en la ley de Gauss, analicemos el siguiente ejemplo.

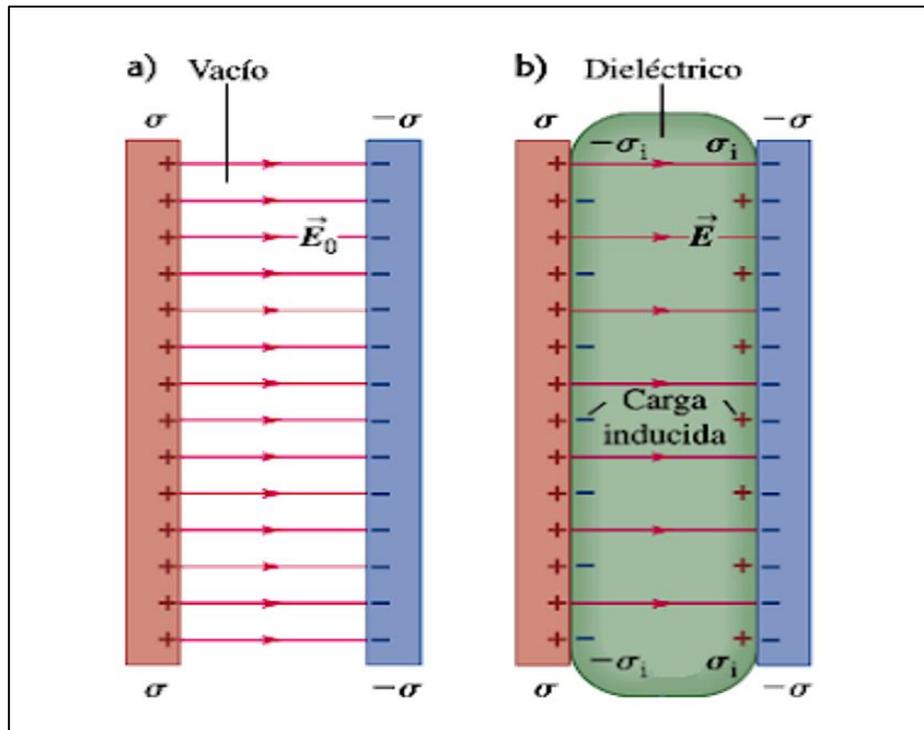


Figura 40. Líneas de campo eléctrico cuando entre las placas hay, (a) vacío y (b) un dieléctrico. Fuente: Recuperado de <http://clasesdcm.blogspot.com/p/capacitancia.html>

Ejemplo 5. Se tiene un capacitor donde las placas paralelas tienen un área de 115 cm^2 y están separadas en $1,24 \text{ cm}$. Se impone una diferencia de potencial de $85,5 \text{ V}$, luego se apaga la batería, y se posiciona una lámina dieléctrica de espesor de $0,78 \text{ cm}$ cuya constante dieléctrica tiene un valor de $2,61$.

a. Calculemos el valor de la capacitancia C_0 antes de introducir la lámina dieléctrica.

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{(8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m})(115 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)}{1,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

$$C_0 = 8,21 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 8,21 \text{ pF}$$

b. Halleemos la carga libre que aparece en las placas.

$$q = C_0 V_0 = (8,21 \cdot 10^{-12} \text{ F})(85,5 \text{ V})$$

$$q = 7,02 \cdot 10^{-10} \text{ C} = 702 \text{ pC}$$

c. Determinemos el valor del campo eléctrico entre los espacios de la placa y el dieléctrico.

$$\epsilon_0 \oint K_e E \cdot dA = \epsilon_0 (1) E_0 A = q$$

$$E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{7,02 \cdot 10^{-10} C}{(8,85 \cdot 10^{-12} F/m)(115 \cdot 10^{-4} m^2)}$$

$$E_0 = 6900 V/m = 6,90 kV/m$$

d. Ahora calculemos el campo eléctrico en la lámina dieléctrica.

$$\epsilon_0 \oint K_e E \cdot dA = -\epsilon_0 K_e EA = -q$$

$$E = \frac{q}{K_e \epsilon_0 A} = \frac{E_0}{K_e} = \frac{6,90 kV/m}{2,61}$$

$$E = 2,64 kV/m$$

e. Determinemos el valor de la diferencia de potencial entre las placas luego de haber introducido la lámina dieléctrica.

$$V = \int_+^- E dS = E_0(d - b) + Eb$$

$$V = (6900 V/m)(0,0124m - 0,0078m) + (2640 V/m)(0,0078m)$$

$$V = 52,3V$$

f. Y, finalmente, calculemos el valor de la capacitancia con la lámina dieléctrica en su lugar.

$$C = \frac{q}{V} = \frac{7,02 \cdot 10^{-10} C}{52,3V}$$

$$C = 1,34 \cdot 10^{-11} F = 13,4 pF$$

Aplicación didáctica



COLEGIO ESTATAL N° 20811
“REPÚBLICA DE COLOMBIA”

SESIÓN DE APRENDIZAJE N° 07 UNIDAD N° 06 –TRIMESTRE II

I. DATOS GENERALES:

1. ÁREA : Ciencia y Tecnología
2. DOCENTE : Juan Diego Alarcón Talaverano
3. GRADO : 5° de secundaria
4. FECHA : 17/09/2021
5. DURACIÓN : Sincrónica 90' - Asincrónica 180'

II. TÍTULO DE LA SESIÓN:

"GRAFICANDO LÍNEAS EQUIPOTENCIALES"

III. PROPÓSITO DE LA SESIÓN:

“Analizar líneas equipotenciales de una configuración de cargas sobre un papel conductor”.

IV. PROPÓSITOS DE APRENDIZAJES

COMPETENCIAS Y CAPACIDADES	DESEMPEÑOS	EVIDENCIA DE APRENDIZAJE	INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN
<p>“DISEÑA Y CONSTRUYE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS PARA RESOLVER PROBLEMAS DE SU ENTORNO”</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Precisa una posibilidad de solución tecnológica. ▪ Prepara la alternativa de solución tecnológica. ▪ Aplica y valida la alternativa de solución tecnológica. ▪ Calcula y comunica la operación y los impactos de su alternativa de solución tecnológica. 	<p>“Realiza pruebas repetitivas a fin de verificar el funcionamiento correcto de la solución tecnológica para obtener líneas equipotenciales, teniendo en cuenta contenidos temáticos y requisitos establecidos; además, afianza su propuesta de mejora para aumentar la eficacia y disminuir el impacto ambiental. Aclara su construcción, y las modificaciones o ajustes realizados para la representación de las líneas equipotenciales, aquellas que se presentarán mediante un informe encima de la base de los conocimientos científicos y las prácticas locales”.</p>	<p>Grafica líneas de fuerzas de una carga puntual positiva y negativa; de igual modo, grafica superficies equipotenciales de una configuración de cargas todo aquello sobre un papel conductor de grafito.</p>	<p>Lista de cotejo</p>

COMPETENCIAS TRANSVERSALES Y CAPACIDADES	DESEMPEÑOS	EVIDENCIA DE APRENDIZAJE	INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN
<p>“DISTRIBUYA SU APRENDIZAJE DE MANERA AUTÓNOMA”</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Define objetivos de aprendizaje. ▪ Organiza acciones estratégicas para alcanzar sus metas de aprendizaje. 	<p>“Establece metas de aprendizaje factibles asociadas a sus conocimientos, estilos de aprendizaje, habilidades y actitudes para el logro de la tarea, formulándose preguntas de manera reflexiva”</p> <p>“Organiza un conjunto de estrategias y procedimientos en función del tiempo y de los recursos de que dispone para lograr las metas de aprendizaje de acuerdo con sus posibilidades”</p>	<p>Argumenta sus estrategias para el logro de sus objetivos.</p>	<p>Lista de cotejo</p>
ENFOQUES TRANSVERSALES	VALORES Y ACCIONES OBSERVABLES		
<p>ENFOQUE AMBIENTAL</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solidaridad Planetaria y equidad intergeneracional ✓ Disposición para colaborar con el bienestar y la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras de prevención y cuidado ante el COVID-19, así como con la naturaleza asumiendo el cuidado del planeta. ▪ Justicia y Solidaridad ✓ Disposición de examinar los impactos y costos ambientales de las acciones y labores cotidianas de prevención y cuidado ante el COVID-19, y a actuar en beneficio de todas las personas, así como de los sistemas, instituciones y medios compartidos de los que todos dependemos. ▪ Respeto a toda forma de Vida ✓ Aprecio, valoración y disposición para el cuidado de toda forma de vida sobre la faz de la Tierra desde una perspectiva sistemática y global, revalorando los conocimientos ancestrales, tomando medidas de prevención y cuidado ante el COVID-19. 		

V. PREPARACIÓN PARA LA SESIÓN

¿Qué se debe hacer antes de la sesión?	¿Qué recursos o materiales se utilizarán en la sesión?
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaborar una lista de alumnos en grupos. ▪ Seleccionar videos educativos. ▪ Preparar los materiales. ▪ Seleccionar la separata y demás recursos (anexos de la sesión). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ministerio de Educación (2019). <i>Libro de Ciencia, Tecnología y Ambiente 5</i>. Lima: Santillana. ▪ Ministerio de Educación (2019). <i>Manual para el docente de Ciencia, Tecnología y Ambiente 5</i>. Lima: Santillana. ▪ Laptop, Pc, Smartphome, Aplicativo Google meet. Aplicativo wshatsapp. ▪ Papelotes, separatas.

VI. SECUENCIA DIDÁCTICA

ACCIONES ESTRATÉGICAS PRESENTACIÓN Y EXPOSICIÓN DE LA ACTIVIDAD EN LA PLATAFORMA		ESTRATEGIAS	HERRAMIENTAS VIRTUALES	DURACIÓN	
INICIO	<p>Saludo de manera respetuosa y afectiva a los estudiantes; además, se les recuerda las medidas de prevención que siempre se debe de tomar ante el COVID-19.</p> <p>Planteo las siguientes preguntas para recoger sus saberes previos: ¿Cómo se representan a las líneas equipotenciales de una misma superficie generadas por dos cargas puntuales sobre dicha superficie conductora? ¿Cómo determinaría a las líneas equipotenciales de una misma superficie para dos placas paralelas? ¿Qué son líneas de fuerza del campo eléctrico y cuáles son sus propiedades? ¿Qué forma tienen las líneas de fuerza para dos cargas puntuales de signos contrarios? ¿Y para dos placas paralelas de signos contrarios? ¿Cómo calcularía la intensidad del campo eléctrico? ¿Cómo calcularía la diferencia de potencial entre dos puntos de dicho campo? ¿Cuáles son las características principales del campo eléctrico?</p> <p>Planteo la siguiente pregunta retadora: ¿Cómo son las Gráficas de superficies equipotenciales del campo eléctrico de una configuración de cargas sobre un papel conductor colocado sobre un papel carbón (para copias) y un papel blanco?</p> <p>Presento el título de la sesión: "GRAFICANDO LÍNEAS EQUIPOTENCIALES".</p> <p>Seguidamente, comunico el propósito de la sesión: "Analizar líneas equipotenciales de una configuración de cargas sobre un papel conductor".</p> <p>Asimismo, se les menciona las actividades que realizarán durante la sesión y cómo serán evaluados. Se les comparte el desempeño a trabajar.</p>	<p>Presentación de ppt por transmisión en vivo</p> <p>Intervenciones personalizadas</p>	<p>Plataforma google meet</p> <p>WhatsApp</p> <p>PC</p> <p>Smartphone</p>	15'	Sincrónica
PROCESO	<p>Menciono la importancia del estudio de una carga o un sistema de cargas originan en el espacio que las rodea, ciertos cambios físicos. Si ponemos cualquier otra carga de prueba en un punto cualquiera, se manifiestan fuerzas sobre la carga de prueba a causa de la presencia de las otras: las magnitudes que se basan en las cargas y que son medibles en cada punto del espacio son: La intensidad del campo eléctrico (E) y el potencial eléctrico (V).</p>			30'	Asincrónica Sincrónica

	<p>Cuando se tienen dos cargas puntuales de signos contrarios sobre una superficie conductora, ¿cómo se representan a las líneas equipotenciales generadas por dos cargas puntuales sobre una superficie conductora? ¿Cómo determinarías a las líneas equipotenciales para dos placas paralelas? ¿Qué son líneas de fuerza del campo eléctrico y cuáles son sus propiedades? ¿Qué forma tienen las líneas de fuerza para dos cargas puntuales de signos contrarios? ¿Y para dos placas paralelas de signos contrarios?</p> <p>El potencial eléctrico (V) es una magnitud escalar que nos indica el trabajo realizado por unidad de carga al traer una carga desde el infinito y colocarla en dicho punto. Todos los puntos que conforman un campo eléctrico tienen un potencial eléctrico fijo. La unidad del potencial eléctrico es el voltio, esto significa que para traer una carga de un coulomb desde el infinito y colocarla en dicho punto se debe realizar un trabajo de 1 joule.</p> <p>Se denomina diferencia de potencial eléctrico de dos puntos que están en un campo eléctrico a la diferencia de potenciales de estos puntos respecto al punto donde se encuentra la carga fija. Se tiene en cuenta que el potencial eléctrico en el infinito es cero.</p> <p>Se denominan superficies equipotenciales al lugar geométrico (superficies) formado por puntos que se encuentran al mismo potencial.</p> <p>Las líneas equipotenciales son perpendiculares en cada punto a las líneas de fuerza. Las líneas de fuerzas tienen sentido de las cargas positivas hacia las cargas negativas.</p> <p>Solicito que con base a la explicación e indagación sobre el tema construyan su conocimiento a través de un mapa conceptual.</p> <p>Analizamos los organizadores visuales de los estudiantes, para luego anotar las conclusiones y las respuestas. Además, solicito sus opiniones para desarrollar la guía de actividades programada.</p> <p>Se les presenta la guía de actividades a trabajar con las recomendaciones necesarias.</p> <p>Se les da las indicaciones y procedimientos para su trabajo, solicito a los estudiantes</p>	<p>Exposición por transmisión en vivo</p> <p>Práctica Individual</p> <p>Intervenciones personalizadas</p> <p>Seguimiento de trabajo por grupo de WhatsApp o Fotos y videos</p>	<p>Plataforma google meet WhatsApp PC Smartphone</p>	<p>45'</p> <p>70'</p>	
--	---	--	--	-----------------------	--

	<p>resalten sus fortalezas y dificultades que tuvieron en el desarrollo del trabajo.</p> <p>Se les proporciona las siguientes direcciones de internet.</p> <p>https://www.youtube.com/watch?v=dtKeuPKcbYQ&ab_channel=ElectromagnetismoCu%C3%A1nticayRelatividad</p> <p>https://www.youtube.com/watch?v=LiESHUPEwXc&ab_channel=JulioGerm%C3%A1nRodr%C3%ADguezOjeda</p> <p>https://www.youtube.com/watch?v=EIXooc h5s8Q&ab_channel=CesarAntonioIzquierdoMerlo</p>				
CIERRE	<p>Los estudiantes entregan el informe acerca del tema y explican el proceso del trabajo encomendado a través de fotos que responden a la pregunta que se les hace. El docente hace llegar las observaciones y la retroalimentación en caso de corrección.</p> <p>Realizo la metacognición preguntando a todos los estudiantes de manera general. ¿Qué tema o actividad he desarrollado? ¿Qué sabía acerca de ello? ¿Qué he aprendido? ¿Cómo lo he aprendido? ¿Para qué me servirá? ¿Qué dificultades se presentaron y qué medidas utilizaron para darles solución?</p> <p>Solicito que los estudiantes investiguen más sobre corriente eléctrica.</p> <p>Hasta aquí, monitoreo y retroalimentación a cada equipo de trabajo, voy recogiendo evidencias del desarrollo de las capacidades a través de mi Lista de cotejo.</p> <p>Me despido de los estudiantes, sin antes dar las recomendaciones de protección ante el COVID-19.</p>	<p>Práctica individual</p> <p>Presentación de las tareas por medio de fotos y videos</p> <p>Intervenciones personalizadas</p> <p>Seguimiento de trabajo por Grupo de WhatsApp o por fotos</p>	<p>Plataforma google meet</p> <p>WhatsApp</p> <p>PC</p> <p>Smartphone</p>	<p>70'</p> <p>70'</p>	Asincrónica

VII. REFLEXIONES DE APRENDIZAJES

¿Qué lograron los estudiantes en esta sesión?	¿Qué dificultades se observaron durante el aprendizaje y la enseñanza?



Guía de actividad

Líneas equipotenciales

ÁREA	: Ciencia y Tecnología
DOCENTE	: Juan Diego Alarcón Talaverano
GRADO	: 5° de secundaria
FECHA	: 17/09/2021

1. Objetivo

Ilustrar las líneas equipotenciales de una configuración de cargas mediante un papel conductor.

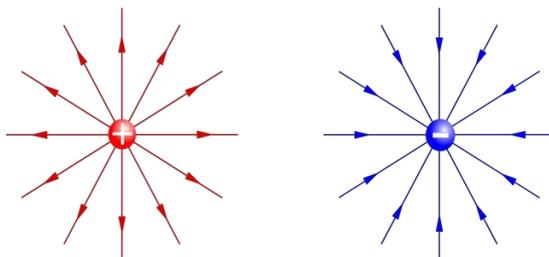
2. Introducción teórica

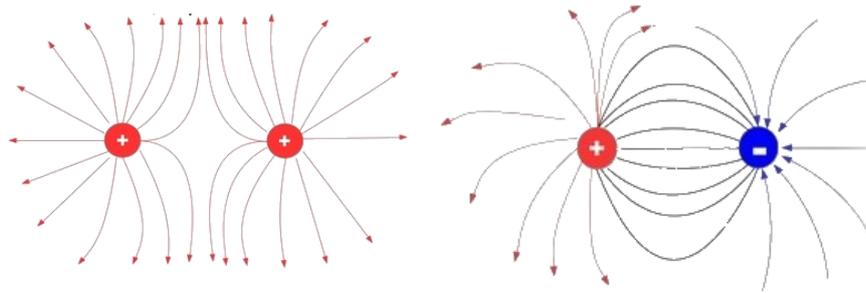
Si contemplamos una carga, un sistema de carga o un sistema de carga, estas ocasionan en el espacio que rodea algunos cambios físicos. Por lo tanto, cada punto del espacio que rodea las cargas gana propiedades que no poseían cuando las cargas no estaban situadas ahí, lo que se puede comprobar en el momento que posicionamos cualquier otra carga de prueba q_0 en un punto cualquiera; estos se manifiestan mediante fuerzas sobre la carga de prueba, ocasionado por la presencia de las otras. Las magnitudes que recurren de las cargas son medibles en cada punto del espacio: la intensidad de campo eléctrico (E) y el potencial eléctrico (V).

Intensidad de campo eléctrico (E). El espacio que bordea un cuerpo con carga eléctrica y dentro del que se hacen presente las fuerzas eléctricas se llama campo eléctrico. La intensidad de campo eléctrico en un punto igual a la fuerza por unidad de carga situada en ese punto.

$$E = \frac{F}{q}$$

Líneas de Fuerza. A fin de ejercer gráficamente las cualidades de un campo eléctrico, Michael Faraday planeó estas líneas tal que en cualquiera de sus puntos el vector intensidad de campo eléctrico (E) es tangente a la línea y, además, del mismo sentido.





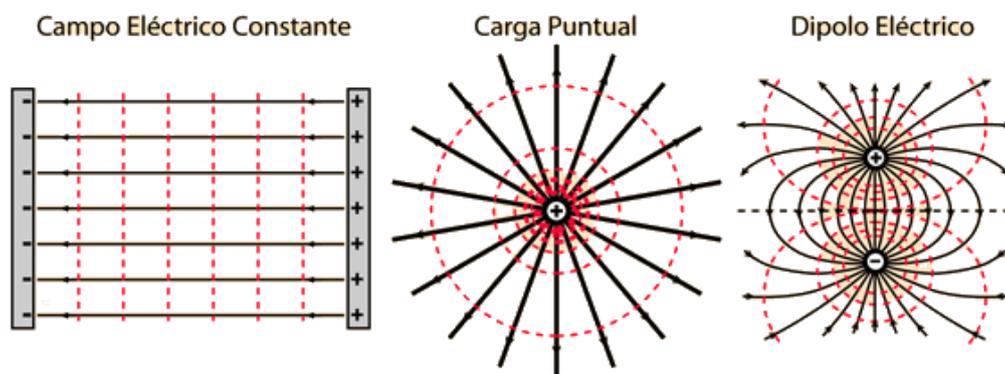
Potencial eléctrico (V). Es una magnitud escalar que nos indica el trabajo elaborado por una unidad de carga al tener una carga desde el infinito y colocarla en un punto del campo eléctrico. Todos los puntos que conforman el campo eléctrico tienen un potencial eléctrico fijo. La unidad de potencial eléctrico es el voltio, esto significa que para conseguir una carga de un coulomb desde el infinito y colocarla en dicho punto se debe realizar un trabajo de 1 Joule.

$$V = \frac{W}{q_0} = k \frac{q}{r}$$

Diferencia de Potencial. Se denomina diferencia de potencial eléctrico de dos puntos que están en un campo eléctrico a la diferencia de potenciales de estos puntos respecto al punto donde se encuentra la carga fija.

$$\Delta V = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q_0}$$

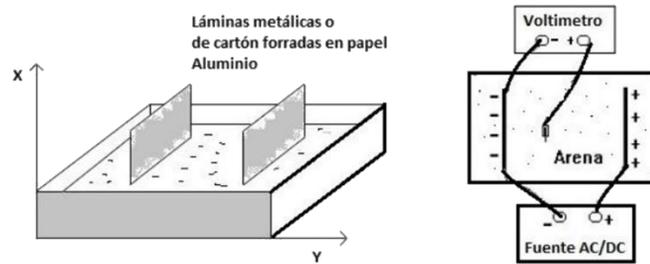
Superficies equipotenciales. Se denomina así al lugar geométrico (superficie) formado por puntos que se localizan al mismo potencial. Superficies equipotenciales de algunas configuraciones de carga:



Las líneas (curvas) equipotenciales son perpendiculares en cada punto a las líneas de fuerza. Las líneas de fuerza tienen sentido de las cargas (+) a las (-).

3. Equipo

- Equipo
- Fuente de voltaje continuo (6 voltios)
- Un galvanómetro



4. Procedimiento

Aprovechamos en nuestro experimento un campo formado en papeles conductores (de grafito) para simular el campo electrostático y estudiar las líneas (curvas) equipotenciales de una misma superficie. Se siguen los siguientes pasos:

- i. Primero se coloca el papel blanco en la placa base, posteriormente el papel carbón y, por último, el papel conductor.
- ii. Los electrodos son colocados sobre el papel conductor y conectados a una fuente de corriente continua que 6 V. un electrodo (A) se conecta al polo positivo y el electrodo (B) al polo negativo de la fuente de corriente continua.
- iii. Se conecta las dos agujas exploradoras al galvanómetro.
- iv. Se divide las líneas AB en el papel conductor en seis tramos iguales; es decir, se escogen cinco puntos como referencia (se presiona bien sobre estos puntos para que queden marcados en el papel blanco).
- v. Se pone un funcionamiento la fuente de corriente (6V) y se hace que una aguja toque el papel en un punto de referencia y la otra se moviliza lentamente encima de la superficie del papel conductos en tanto se visualiza el galvanómetro. Si se ve la marca cero, significa que se ha encontrado un punto equipotencial referente al punto de referencia. Entonces, presionar la aguja para que quede una marca en el papel blanco. Para establecer la curva equipotencial deberá encontrar un minuto de siete puntos equipotenciales pertenecientes al punto de referencia elegido. Tres de ellos en un lado de la recta AB y los otros tres en el otro lado.
- vi. Se coloca la aguja en otro punto de referencia sobre la línea AB y se repite el mismo proceso anterior.
- vii. Se saca el papel blanco y se unen los puntos para trazar las líneas (curvas) equipotenciales.

5. Preguntas

- a. ¿Qué es un campo eléctrico?
- b. Dibuje las líneas de fuerza de una carga negativa.
- c. Defina potencial eléctrico de un punto.
- d. ¿A qué configuración de cargas corresponde los puntos equipotenciales hallados?
- e. Dibuje la superficie equipotencial de dos cargas de igual signo.
- f. ¿Qué trabajo se realizaría al trasladar una carga sobre dos puntos que se encuentran sobre una misma curva equipotencial?

6. Bibliografía

Sears-zemansky. (s.f.). Física General

7. Descripción del equipo

- a. Placa base
- b. Electrodo
- c. Agujas exploradoras
- d. Papel blanco, papel carbón y papel conductor

8. Información útil para el uso del equipo

- a. Es necesario evitar que los papeles conductores sean contaminados con la grasa o la humedad, no deben ser doblados.
- b. Cuando se coloca la aguja sobre un punto de referencia sobre la recta AB se presiona bien y no debe moverse hasta encontrar al menos siete puntos equipotenciales.
- c. Se debe tener mucha precaución con los cables que parten de la fuente de voltaje, se debe evitar que estos cables hagan contacto, ya que puede ocasionar un corto circuito en la fuente y esta se estropearía.
- d. Si se acabase el papel conductor podría utilizarse papel de aluminio.

Síntesis

Esta investigación aclara varios puntos de la electrostática, cuya materia en la naturaleza se encuentra en estado neutro y que, para poder alterar este estado, debemos cargarlo eléctricamente por contacto o inducción.

Además, toda carga puede llegar a ser positiva o negativa, generando una serie de fenómenos físicos:

- i. El campo eléctrico E , creado alrededor de una carga, esta se puede graficar mediante líneas de fuerza imaginarias. Este campo eléctrico se evidencia cuando una carga prueba es atraída o repelida con una determinada fuerza electrostática.
- ii. El Flujo eléctrico Φ_E se mide calculando la cantidad de líneas fuerza, que atraviesa una determinada superficie. Para que dicho cálculo sea práctico y sencillo se aplica la ley de Gauss como herramienta matemática; esta ley utiliza una superficie ficticia llamada superficie gaussiana.
- iii. La energía potencial eléctrica E_p se evidencia a través de fuerzas de atracción o repulsión que se da en la interacción de cargas.
- iv. El potencial eléctrico V se aprecia en todo el campo eléctrico y como evidencia de su existencia hay una energía potencial eléctrica que actúa sobre una carga.
- v. Las superficies equipotenciales se generan gracias al potencial eléctrico de toda carga, su valor es constante.

El estudio de estos fenómenos físicos nos ayuda a entender mejor el cómo es posible que estas cargas antes mencionadas puedan ser almacenadas en un material que conocemos como capacitor, y que mediante ella las cargas podrán interactuar para poder dar paso a la energía eléctrica.

En función a cada capacitor que se tome en cuenta, la capacitancia que genere podrá aumentar si utilizamos el dieléctrico necesario para que dicho potencial cambie.

La aplicación de la ley de Gauss en estos casos mencionados juega un papel muy importante, ya que como herramienta matemática nos ayuda de una manera sencilla realizar los cálculos de las cargas en mención, del campo eléctrico que estas generan, del potencial eléctrico que se dan en ellas, y de medir la capacitancia de los capacitores, antes que los dieléctricos sean introducidos.

De igual modo, si queremos diseñar soluciones tecnológicas (prototipos) que repliquen los fenómenos mencionados en esta investigación, pueden construirse con material reciclado.

Estos fenómenos físicos referidos se evidencian constantemente en nuestra vida cotidiana, como cuando entra en contacto nuestra chompa de lana con nuestra colcha de dormir, ya que ahí se evidencia unas chispas eléctricas; de igual modo, si frotamos un globo y lo acercamos a pedacitos de papel o al cabello de algún familiar, estos serán atraídos por el globo, y si acercamos otro globo con la misma condición estas se repelerán.

Todo aquello es muestra de que la interacción de cargas produce una corriente eléctrica, ya que, si logramos que los electrones se muevan en serie en un determinado conductor, este flujo de electrones producirá la corriente eléctrica, así como la conocemos y evidenciamos en nuestras vidas a través de los focos de luz, televisores, computadoras y otros.

Apreciación crítica y sugerencias

- La importancia de la ciencia radica en la experimentación, he ahí la necesidad de los trabajos de investigación que fomenten el espíritu científico de todo estudiante.
- Como científicos, debemos actualizar constantemente nuestras fuentes de investigación, por eso la publicación de estos trabajos es fundamental para el conocimiento actualizado de todo estudiante de ciencias.
- La necesidad de experimentar los fenómenos físicos debe llevar a la construcción de soluciones tecnológicas, en función de las necesidades de cada comunidad educativa.
- Cada institución educativa debe contar con un laboratorio de ciencia, la cual permita la experimentación correcta de estos fenómenos.
- Nuestra prestigiosa universidad debe seguir impulsando la participación de las instituciones educativas, como soporte pedagógico e inspire el espíritu científico de cada estudiante.
- La creatividad científica nos permitirá experimentar varios fenómenos, pensando en la conservación ecológica de nuestro planeta.
- Es necesario seguir elaborando guías de actividades de laboratorio, para una experimentación adecuada, teniendo en cuenta siempre un lenguaje sencillo.
- Es muy importante que todo docente se mantenga constantemente actualizado en sus saberes, cuyas instituciones universitarias y tecnológicas deberían promover dichas capacitaciones con mayor frecuencia.

Referencias

- Cabrera, D. (2017). Líneas de campo eléctrico cuando entre las placas hay vacío y un dieléctrico [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://clasesdcm.blogspot.com/p/capacitancia.html>
- Castelló, G. M. (2016). *Energía almacenada en el capacitor*. Recuperado de <https://www.negocioscontralaobsolescencia.com/taller/capacitores-condensadores-todo-lo-que-necesitas-saber-para-comenzar-parte-1era-la-teoria>
- Fiscalab. (2021). *Introducción al Concepto de Energía Potencial Eléctrica*. Recuperado de <https://www.fiscalab.com/apartado/intro-energia-potencial-electrica>
- Fiscalab. (2021). *Teorema de Gauss*. Recuperado de <https://www.fiscalab.com/apartado/teorema-gauss>
- Halliday, D., Resnick, R., y Krane, K. (1999). *Física*. México: Compañía Editorial Continental S.A.
- Halliday, D., y Resnick, R. (1970). *Física II*. Tlalpan, México: Compañía Editorial Continental S.A.
- Hewitt, P. (2007). *Física Conceptual*. México: Pearson Educación de México S.A.
- Izquierdo, M. C. (2013). *Concepto del Campo Eléctrico para una carga puntual y un conjunto discreto*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=EIXooch5s8Q&ab_channel=CesarAntonioIzquierdoMerlo
- Marini, S., Tabares, I., y Oliva, A. (s.f.). *Electrostática*. Instituto Politécnico. Recuperado de <https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/2965/7402-14%20FISICA%20-%20Electrost%C3%A1tica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martinez, P. (2021). *Superficies equipotenciales creadas por un dipolo eléctrico*. Recuperado de <http://fisicayquimicaonline.blogspot.com/2018/03/superficies-equipotenciales.html>

- Martin, T. y Serrano, A. (s.f.). *Potencial eléctrico. Superficies equipotenciales creadas por una carga puntual*. Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado de <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/electro/potencial.html>
- Ministerio de Educación. (2016). *Ciencia, Tecnología y Ambiente 5, Guía de Actividades*. Lima, Perú: Editorial Santillana S.A.
- Ministerio de Educación. (2016). *Ciencia, Tecnología y Ambiente 5, Texto Escolar*. Lima, Perú: Editorial Santillana S.A.
- Ministerio de Educación. (2019). *Diseño curricular Nacional*. Lima, Perú.
- Ministerio de Educación. (2019). *Programa curricular de Educación Secundaria*. Lima, Perú.
- Moreno, C. (2014). *Moléculas en un campo eléctrico y sin ella*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/franciscorivas3766/capacitancia-ing-carlos-moreno>
- Núñez, D. (2017). *Unidad 2 de Ley de Gauss*. SlidePlayer. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/10150452/>
- Ribeiro, A., y Alvarenga, B. (2008). *Física General con experimentos sencillos*. Cuauhtémoc, México: Acabados Editoriales Incorporados S.A. de C.V.
- Rodríguez, O. (2014). *Cargas, campos eléctricos y líneas equipotenciales*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=LiESHUPEwXc&ab_channel=JulioGerm%C3%A1nRodr%C3%ADguezOjeda
- Thema Equipo Editorial Sociedad Anónima. (2013). *La biblia de la Física y Química*. Lima, Perú: Lexus Editores S.A.
- Tippens, P. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones*. México: Interamericana Editores S.A.
- Toda Materia, Contenidos Escolares. (2020). *Campo eléctrico*. Recuperado de <https://www.todamateria.com/campo-electrico/>

Turnero, P. (2021). *Estudio de las cargas eléctricas*. Monografias.com. Recuperado de

<https://www.monografias.com/trabajos100/estudio-cargas-electricas/estudio-cargas-electricas.shtml>

Unknown. (2016). *Magnitudes eléctricas fundamentales*. Recuperado de

<http://tmai6sena5.blogspot.com/p/capacitancia-se-define-como-la-la.html>

Vásquez, O. (2010). *Condensadores dieléctricos y polarización*. Universidad Nacional

Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. Recuperado de

<https://docplayer.es/30881388-Condensadores-dielectricos-y-polarizacion.html>

Apéndices

Apéndices A: La constante electrostática K

Apéndices B: La constante de la permitividad ϵ_0

Apéndice C: Lista de cotejo de la competencia

Apéndice D: Lista de cotejo de la competencia transversal

Apéndices A: La constante electrostática K

Hallar el valor de la constante K, en la fórmula de la ley de Coulomb, en el S.I.

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \Rightarrow$$

$$K = \frac{F \cdot r^2}{q_1 \cdot q_2} = \frac{(1 \text{ d}), (1 \text{ cm})^2}{1 \text{ ueq}^2} \Rightarrow$$

$$K = \frac{(10^{-5} \text{ N})(10^{-4} \text{ m}^2)}{\left(\frac{1 \text{ C}}{3 \times 10^9}\right)^2} \Rightarrow$$

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

Apéndices B: La constante de la permitividad ϵ_0

Halleemos el valor de la constante denominada permitividad eléctrica en el vacío: ϵ_0

$$K = \frac{1}{4 \cdot \pi \epsilon_0} \Rightarrow$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot K} \Rightarrow$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \Rightarrow$$

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$$

$$\epsilon_0 = 8.84 \times 10^{-3} \times 10^{-9} \Rightarrow$$

$$\epsilon_0 = 8.84 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

Apéndice C: Lista de cotejo de la competencia

LISTA DE COTEJO**"GRAFICANDO LÍNEAS EQUIPOTENCIALES"****COMPETENCIA:** "Diseña y construye soluciones tecnológicas para resolver problemas de su entorno"**PROPÓSITOS:** "Analizar líneas equipotenciales de una configuración de cargas sobre un papel conductor".**GRADO:** 5° de secundaria**FECHA:** 17/09/2021**ÁREA:** Ciencia y Tecnología

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	Presenta su organizador visual, teniendo en cuenta contenidos temáticos y requerimientos establecidos		Realiza pruebas repetitivas para verificar el funcionamiento correcto de la solución tecnológica para obtener líneas equipotenciales		Fundamenta su propuesta de mejora para incrementar la eficacia y reducir el impacto ambiental		Explica su construcción, y los cambios o ajustes realizados para la representación de las líneas equipotenciales		Presenta a tiempo su informe sobre la base de los conocimientos científicos y las prácticas locales	
		SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08											
09											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											

Fuente: Autoría propia

Apéndice D: Lista de cotejo de la competencia transversal

LISTA DE COTEJO**"GRAFICANDO LÍNEAS EQUIPOTENCIALES"****COMPETENCIA TRANSVERASAL:** "Gestiona su aprendizaje de manera autónoma"**PROPÓSITOS:** "Analizar líneas equipotenciales de una configuración de cargas sobre un papel conductor".**GRADO:** 5° de secundaria**FECHA:** 17/09/2021**ÁREA:** Ciencia y Tecnología

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	"Determina metas de aprendizaje viables asociadas a sus conocimientos, estilos de aprendizaje, habilidades y actitudes para el logro de la tarea, formulándose preguntas de manera reflexiva"		"Determina metas de aprendizaje viables asociadas a sus conocimientos, estilos de aprendizaje, habilidades y actitudes para el logro de la tarea, formulándose preguntas de manera reflexiva"	
		SÍ LOGRO	NO LOGRO	SÍ LOGRO	NO LOGRO
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					

Fuente: Autoría propia