Tema 1: Potencial Eléctrico

José Pablo Salas[1]

[1]Área de Física Aplicada, Departamento de Química, Universidad de La Rioja, Logroño, España

February 5, 2019

Contenidos

ATENCIÓN !!!

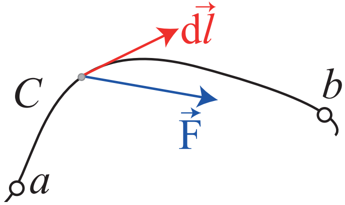
1. Estas notas de ninguna manera sustituyen a los libros recomendados en la bibliografía de la asignatura.
2. Por ello, utilizar SIEMPRE un libro como complemento de estas notas.
3. Estas notas pueden contener errores involuntarios de los que el autor no se responsabiliza.

BIBLIOGRAFÍA

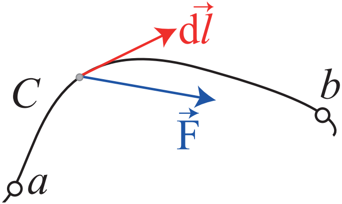
La bibliografía recomendada para este tema es:

1. Física para la ciencia y la tecnología. P. A. Tipler y G. Mosca. Vol. 2. Electricidad y magnetismo. Luz.
2. Física para la ciencia y la tecnología. P. A. Tipler, Vol. 2. Electricidad y magnetismo. Luz.
3. Física para ciencias e ingeniería. W. E. Gettys, F. J. Keller y M. J. Skove. Vol. 2.
4. Física clásica y moderna, W. E. Gettys, F. J. Keller, M. J. Skove.

Diferencia de Potencial #1



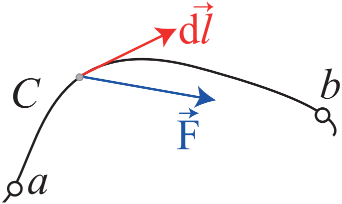
Diferencia de Potencial #1



- El trabajo W que realiza una fuerza $\vec{F}$ sobre una partícula a lo largo de la trayectoria C entre los puntos a y b es:

$$W = \int_C \vec{F} \cdot \vec{d}l$$

Diferencia de Potencial #1



- El trabajo W que realiza una fuerza $\vec{F}$ sobre una partícula a lo largo de la trayectoria C entre los puntos a y b es:

$$W = \int_C \vec{F} \cdot \vec{d}l$$

- Si el desplazamiento es diferencial, el trabajo δW que realiza $\vec{F}$ se expresa:

$$\delta W = \vec{F} \cdot \vec{d}l$$

Diferencia de Potencial #2

Diferencia de Potencial #2

- Si $\vec{F}$ es conservativa, W no depende de la trayectoria seguida, y W es igual a menos la variación de la energía potencial U:

$$\Delta U = (U_b - U_a) = -\int_C \vec{F} \cdot \vec{d}l$$

$$dU = -\vec{F} \cdot \vec{d}l$$

Diferencia de Potencial #2

- Si $\vec{F}$ es conservativa, W no depende de la trayectoria seguida, y W es igual a menos la variación de la energía potencial U:

$$\Delta U = (U_b - U_a) = -\int_C \vec{F} \cdot \vec{d}l$$

$$dU = -\vec{F} \cdot \vec{d}l$$

- La fuerza eléctrica es conservativa: la ΔU que sufre una carga q_o entre (a, b) ó en un desplazamiento $\vec{d}l$ es:

$$\Delta U = (U_b - U_a) = -q_o \int_C \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

$$dU = -q_o \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

Diferencia de Potencial #2

- Si $\vec{F}$ es conservativa, W no depende de la trayectoria seguida, y W es igual a menos la variación de la energía potencial U:

$$\Delta U = (U_b - U_a) = -\int_C \vec{F} \cdot \vec{d}l$$

$$dU = -\vec{F} \cdot \vec{d}l$$

- La fuerza eléctrica es conservativa: la ΔU que sufre una carga q_o entre (a, b) ó en un desplazamiento $\vec{d}l$ es:

$$\Delta U = (U_b - U_a) = -q_o \int_C \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

$$dU = -q_o \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

- ΔU (dU) es proporcional a la carga q_o.

Diferencia de Potencial #3

Diferencia de Potencial #3

- Diferencia de potencial eléctrica (potencial) es la variación de la energía potencial eléctrica por unidad de carga:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_o} = (V_b - V_a) = -\int_C \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

$$dV = \frac{dU}{q_o} = -\vec{E} \cdot \vec{d}l$$

Diferencia de Potencial #3

- Diferencia de potencial eléctrica (potencial) es la variación de la energía potencial eléctrica por unidad de carga:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_o} = (V_b - V_a) = -\int_C \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

$$dV = \frac{dU}{q_o} = -\vec{E} \cdot \vec{d}l$$

- El potencial V es una función escalar.

Diferencia de Potencial #3

- Diferencia de potencial eléctrica (potencial) es la variación de la energía potencial eléctrica por unidad de carga:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_o} = (V_b - V_a) = -\int_C \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

$$dV = \frac{dU}{q_o} = -\vec{E} \cdot \vec{d}l$$

- El potencial V es una función escalar.

- Solo tiene importancia el cambio en el potencial.

Diferencia de Potencial #3

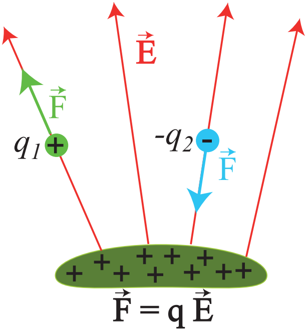
- Diferencia de potencial eléctrica (potencial) es la variación de la energía potencial eléctrica por unidad de carga:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_o} = (V_b - V_a) = -\int_C \vec{E} \cdot \vec{d}l$$

$$dV = \frac{dU}{q_o} = -\vec{E} \cdot \vec{d}l$$

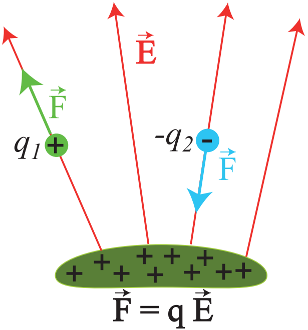
- El potencial V es una función escalar.
- Solo tiene importancia el cambio en el potencial.
- Las unidades de V son: $Energia/Carga$. En el S.I. son: $Julio/Coulombio = J/C = Voltio\ (V)$

Diferencia de Potencial #4



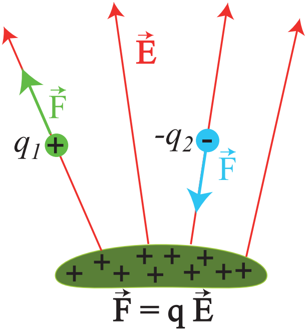
Diferencia de Potencial #4

- $q_1 > 0$: La carga se acelera según el sentido de $\vec{E}$, siguiendo las líneas de campo.



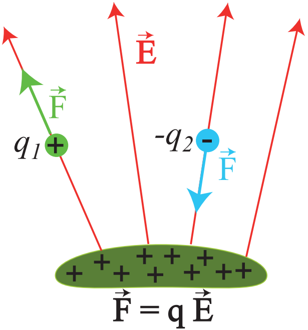
Diferencia de Potencial #4

- $q_1 > 0$: La carga se acelera según el sentido de $\vec{E}$, siguiendo las líneas de campo.
- $q_2 < 0$: La carga se acelera a lo largo del sentido opuesto de las líneas de campo.

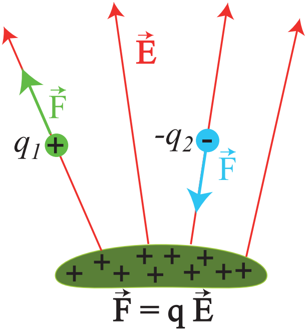


Diferencia de Potencial #4

- $q_1 > 0$: La carga se acelera según el sentido de $\vec{E}$, siguiendo las líneas de campo.
- $q_2 < 0$: La carga se acelera a lo largo del sentido opuesto de las líneas de campo.
- En ambos casos aumenta su energía cinética y disminuye su energía potencial U.

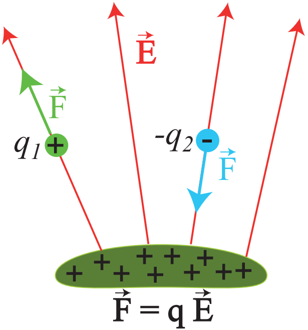


Diferencia de Potencial #5



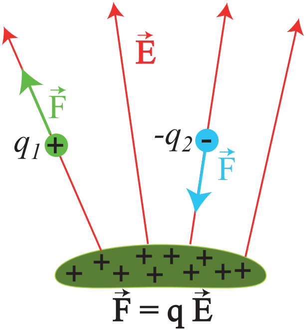
Diferencia de Potencial #5

- Cuando $q_1 > 0$, la carga se mueve de una región de mayor potencial V a otra de menor.



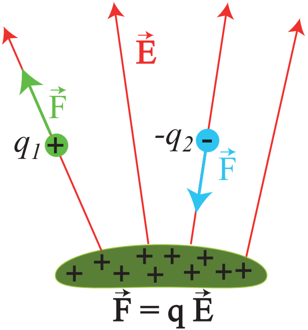
Diferencia de Potencial #5

- Cuando $q_1 > 0$, la carga se mueve de una región de mayor potencial V a otra de menor.
- Cuando $q_2 < 0$, la carga se mueve de una región de menor potencial V a otra de mayor.

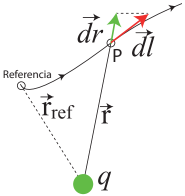


Diferencia de Potencial #5

- Cuando $q_1 > 0$, la carga se mueve de una región de mayor potencial V a otra de menor.
- Cuando $q_2 < 0$, la carga se mueve de una región de menor potencial V a otra de mayor.
- Las líneas de campo marcan la dirección en la que el potencial disminuye más rápidamente.

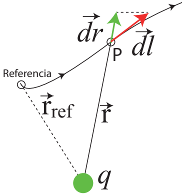


Potencial Creado por Cargas Puntuales #1



Potencial Creado por Cargas Puntuales #1

- Calculamos el $V(r)$ creado por la carga q en P a una distancia r de q como:

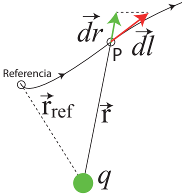


$$\vec{E}(r) = \frac{k\,q}{r^2}\widehat{\mathbf{r}}, \quad \widehat{\mathbf{r}} \cdot \vec{dl} = dr$$

$$V(r) - V(r_{ref}) = -\int_{r_{ref}}^{r} \vec{E} \cdot \vec{dl} = -\int_{r_{ref}}^{r} \frac{k\,q}{r^2} dr = \frac{k\,q}{r} - \frac{k\,q}{r_{ref}}$$

Potencial Creado por Cargas Puntuales #1

- Calculamos el $V(r)$ creado por la carga q en P a una distancia r de q como:



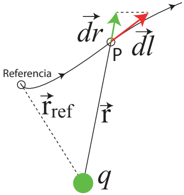
$$\vec{E}(r) = \frac{k\,q}{r^2}\hat{\mathbf{r}}, \quad \hat{\mathbf{r}} \cdot \vec{dl} = dr$$

$$V(r) - V(r_{ref}) = -\int_{r_{ref}}^{r} \vec{E} \cdot \vec{dl} = -\int_{r_{ref}}^{r} \frac{k\,q}{r^2} dr = \frac{k\,q}{r} - \frac{k\,q}{r_{ref}}$$

- Como r_{ref} es arbitrario tomamos $r_{ref} \to \infty$: $V(r_{ref}) = 0$.

Potencial Creado por Cargas Puntuales #1

- Calculamos el $V(r)$ creado por la carga q en P a una distancia r de q como:



$$\vec{E}(r) = \frac{k\,q}{r^2}\widehat{\mathbf{r}}, \quad \widehat{\mathbf{r}} \cdot \vec{dl} = dr$$

$$V(r) - V(r_{ref}) = -\int_{r_{ref}}^{r} \vec{E} \cdot \vec{dl} = -\int_{r_{ref}}^{r} \frac{k\,q}{r^2} dr = \frac{k\,q}{r} - \frac{k\,q}{r_{ref}}$$

- Como r_{ref} es arbitrario tomamos $r_{ref} \to \infty$: $V(r_{ref}) = 0$.
- Por tanto, el potencial creado por una carga puntual es:

$$V(r) = \frac{k\,q}{r}$$

Potencial Creado por Cargas Puntuales #2

Potencial Creado por Cargas Puntuales #2

- La energía potencial $U(r)$ de una carga q_o situada a una distancia r de la carga q viene dada por:

$$U(r) = q_o\, V(r) = \frac{k\, q\, q_o}{r}$$

Potencial Creado por Cargas Puntuales #2

- La energía potencial $U(r)$ de una carga q_o situada a una distancia r de la carga q viene dada por:

$$U(r) = q_o\, V(r) = \frac{k\, q\, q_o}{r}$$

- El potencial en un punto debido a n cargas puntuales es la suma del potencial que crea cada una de las cargas:

$$V(r) = \sum_{i=1}^{n} \frac{k\, q_i}{r_i}$$

Ejemplos

Ejemplos

- Dos cargas puntuales de 5 nC se encuentran sobre el eje x. Una está situada en el origen y la otra en $a = 10\ cm$. Calcular el potencial en un punto situado en el eje y en $y = 6\ cm$. Determinar el potencial eléctrico en cualquier punto del eje x. Usar *Sage* o *Mathematica* para realizar una representación gráfica del potencial en cualquier punto del eje x.

Ejemplos

- Dos cargas puntuales de 5 nC se encuentran sobre el eje x. Una está situada en el origen y la otra en $a = 10$ cm. Calcular el potencial en un punto situado en el eje y en $y = 6$ cm. Determinar el potencial eléctrico en cualquier punto del eje x. Usar *Sage* o *Mathematica* para realizar una representación gráfica del potencial en cualquier punto del eje x.

- Un dipolo eléctrico consta de dos cargas $+q$ y $-q$ situadas en $x = a$ y en $x = -a$ respectivamente. Determinar el potencial eléctrico en cualquier punto del plano (x, y). Con *Sage* o *Mathematica* hacer una representación gráfica del potencial a lo largo del eje x.

Determinación del Campo Eléctrico a Partir del Potencial

Determinación del Campo Eléctrico a Partir del Potencial

- Sabemos que:

$$dV(x,y,z) = -\vec{E}(x,y,z) \cdot d\vec{l}$$

Determinación del Campo Eléctrico a Partir del Potencial

- Sabemos que:

$$dV(x,y,z) = -\vec{E}(x,y,z)\cdot d\vec{l}$$

- Es relativamente sencillo demostrar que al invertir la anterior relación:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V(x,y,z) = -\left(\frac{\partial V(x,y,z)}{\partial x}, \frac{\partial V(x,y,z)}{\partial y}, \frac{\partial V(x,y,z)}{\partial z}\right)$$

Determinación del Campo Eléctrico a Partir del Potencial

- Sabemos que:

$$dV(x, y, z) = -\vec{E}(x, y, z) \cdot d\vec{l}$$

- Es relativamente sencillo demostrar que al invertir la anterior relación:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V(x, y, z) = -\left(\frac{\partial V(x, y, z)}{\partial x}, \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial y}, \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial z}\right)$$

- En coordenadas diferentes a las cartesianas, el operador gradiente ($\vec{\nabla}$) tiene distinta forma.

Potencial para Distribuciones Continuas de Carga

Potencial para Distribuciones Continuas de Carga

- Al igual que para determinar el campo creado por una distribución continua de carga de densidad $\rho(r')$, $\sigma(r')$ o $\lambda(r')$:

$$V = \int_{V'} \frac{k\, dq}{r} = \int_{V'} \frac{k\, \rho(r')\, dV'}{r}$$

Potencial para Distribuciones Continuas de Carga

- Al igual que para determinar el campo creado por una distribución continua de carga de densidad $\rho(r')$, $\sigma(r')$ o $\lambda(r')$:

$$V = \int_{V'} \frac{k\,dq}{r} = \int_{V'} \frac{k\,\rho(r')\,dV'}{r}$$

- Tener en cuenta que, en la anterior expresión se asume que el potencial en el infinito es cero.

Potencial para Distribuciones Continuas de Carga

- Al igual que para determinar el campo creado por una distribución continua de carga de densidad $\rho(r')$, $\sigma(r')$ o $\lambda(r')$:

$$V = \int_{V'} \frac{k\, dq}{r} = \int_{V'} \frac{k\, \rho(r')\, dV'}{r}$$

- Tener en cuenta que, en la anterior expresión se asume que el potencial en el infinito es cero.
- Por tanto, no es válida para distribuciones como hilos de longitud infinita o planos cargados.

Superficies Equipotenciales

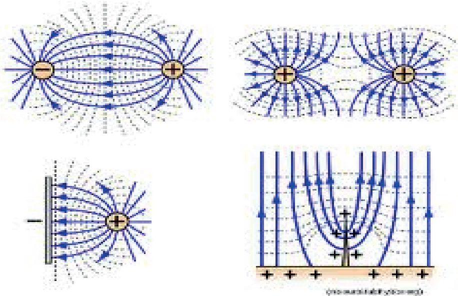
- Una superficie equipotencial es el lugar geométrico de los puntos en los cuales el potencial eléctrico V es constante.

$$V(x,y,z) = V_o \equiv constante$$

- Sobre una cierta superficie equipotencial se tiene que:

$$dV(x,y,z) = -\vec{E}(x,y,z)\cdot d\vec{l} = 0.$$

- $\vec{E}$ es perpendicular a las superficies equipotenciales.



Superficies Equipotenciales: Ejemplos

- Determinar las superficies equipotenciales correspondientes a una carga puntual q situada en el origen de coordenadas.

- Determinar las líneas equipotenciales en el plano (x, y) correspondientes a dos cargas puntuales q y $-q$ situadas en $x = \pm a$. Usar *Sage* o *Mathematica* para realizar una representación gráfica de dichas líneas.

- Determinar las líneas equipotenciales en el plano (x, y) correspondientes a dos cargas puntuales iguales q situadas en $x = \pm a$. Usar *Sage* o *Mathematica* para realizar una representación gráfica de dichas líneas.

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #1

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #1

- En electrostática, $\vec{E} = 0$ dentro de un conductor debido a que:

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #1

- En electrostática, $\vec{E} = 0$ dentro de un conductor debido a que:
  - La electrostática estudio efectos producidos por cargas en reposo.

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #1

- En electrostática, $\vec{E} = 0$ dentro de un conductor debido a que:
  - La electrostática estudio efectos producidos por cargas en reposo.
  - Un conductor tiene portadores de carga que se mueven libremente en su interior cuando el conductor es sometido a un $\vec{E}$.

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #1

- En electrostática, $\vec{E} = 0$ dentro de un conductor debido a que:
  - La electrostática estudio efectos producidos por cargas en reposo.
  - Un conductor tiene portadores de carga que se mueven libremente en su interior cuando el conductor es sometido a un $\vec{E}$.
- La situación electrostática de un conductor es con portadores de carga en reposo:

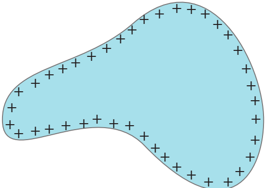
$$\vec{E} = 0, \text{(dentro de un conductor en condiciones estáticas)}$$

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #1

- En electrostática, $\vec{E} = 0$ dentro de un conductor debido a que:
  - La electrostática estudio efectos producidos por cargas en reposo.
  - Un conductor tiene portadores de carga que se mueven libremente en su interior cuando el conductor es sometido a un $\vec{E}$.
- La situación electrostática de un conductor es con portadores de carga en reposo:

$$\vec{E} = 0, \text{(dentro de un conductor en condiciones estáticas)}$$

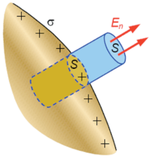
- En un conductor cargado, la carga neta está situada en la superficie.



Propiedades Electrostáticas de los Conductores #2

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #2

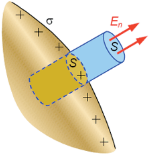
- El campo en la superficie de un conductor en situación electrostática cumple que:



Superficie gaussiana para el cálculo del campo eléctrico en la superficie de un conductor

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #2

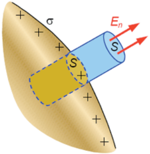
- El campo en la superficie de un conductor en situación electrostática cumple que:
  - $\vec{E} = E\,\widehat{n}$ es perpendicular a la superficie de un conductor .



Superficie gaussiana para el cálculo del campo eléctrico en la superficie de un conductor

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #2

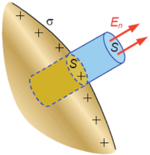
- El campo en la superficie de un conductor en situación electrostática cumple que:
  - $\vec{E} = E\,\widehat{n}$ es perpendicular a la superficie de un conductor .
  - Aplicando la Ley de Gauss, se obtiene que $E = \sigma/\epsilon_o$, siendo σ la densidad superficial de carga en el conductor.



Superficie gaussiana para el cálculo del campo eléctrico en la superficie de un conductor

Propiedades Electrostáticas de los Conductores #2

- El campo en la superficie de un conductor en situación electrostática cumple que:
  - $\vec{E} = E\,\widehat{n}$ es perpendicular a la superficie de un conductor .
  - Aplicando la Ley de Gauss, se obtiene que $E = \sigma/\epsilon_o$, siendo σ la densidad superficial de carga en el conductor.



Superficie gaussiana para el cálculo del campo eléctrico en la superficie de un conductor

- Como $\vec{E} = 0$ en el interior de un conductor cargado, se deduce de forma simple que todos los puntos del conductor están al mismo potencial.