

# Tutorial de Laboratorio de Física II para QB

**Webpage: <http://paginas.fisica.uson.mx/qb>**

**©2018 Departamento de Física  
Universidad de Sonora**

# Practica 3: Superficies Equipotenciales

## Objetivos:

1.-Investigar cómo son las líneas equipotenciales para las siguientes configuraciones:

- a) Dos discos con cargas de distinto signo (dipolo).
- b) Dos barras paralelas con cargas de distinto signo.
- c) Un disco y una barra con distinto signo.
- d) Opcionales.

2. Graficar las líneas de campo eléctrico a partir de las líneas equipotenciales obtenidas en el objetivo previo.

# Conceptos básicos requeridos

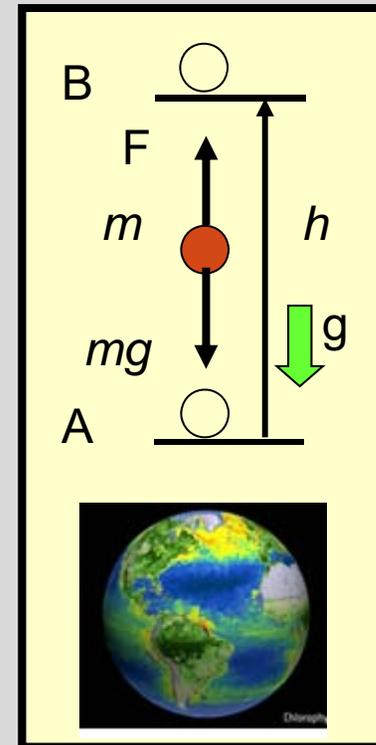
1. Energía Potencial eléctrica.
2. Energía Potencial eléctrica en un campo uniforme.
3. Energía Potencial eléctrica de cargas puntuales.
4. Potencial eléctrico.
5. Calculo del potencial eléctrico.
6. Superficies equipotenciales.



# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

En mecánica se introduce el concepto de energía, como una cantidad escalar que se utiliza para formular la ley de la conservación de la energía.

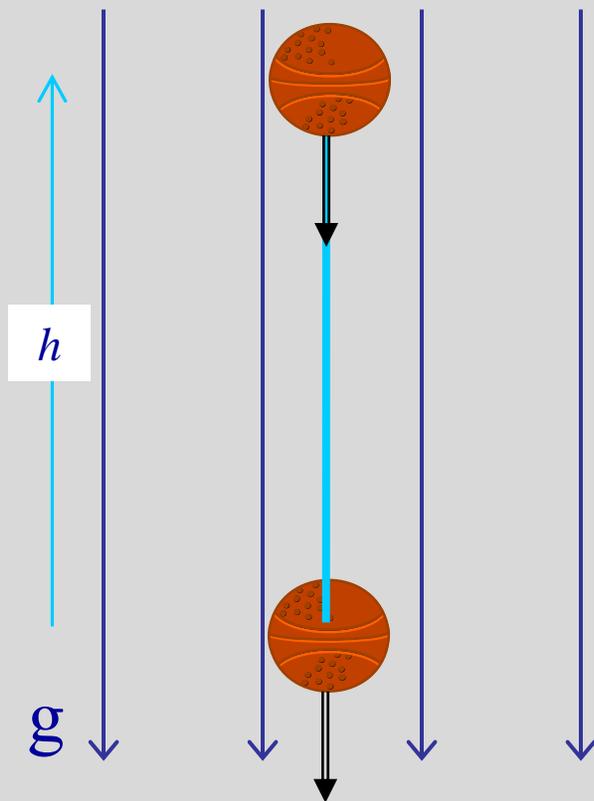
Al emplear la ley de la conservación de la energía, podemos evitar trabajar directamente con fuerzas cuando se resuelven problemas mecánicos. La fuerza eléctrica al igual que la fuerza gravitacional, es consecuencia de las leyes fundamentales de la naturaleza.



# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA.

## Fuerza conservativa.

En un campo gravitacional  $g$  que apunta hacia abajo, y colocamos dentro del campo un cuerpo de masa  $m$ .



Si consideramos un desplazamiento del cuerpo en dirección contraria al campo podemos afirmar que la fuerza gravitacional (peso) ha realizado un trabajo sobre el cuerpo.

Considerando que el trabajo se define como el producto escalar de la fuerza aplicada por la distancia recorrida, en este caso podemos calcular el trabajo realizado, al recorrer la trayectoria (recta) mostrada, como

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = (mg)(h) \cos 180^\circ = -mgh$$



# TRABAJO Y ENERGÍA GRAVITACIONALES

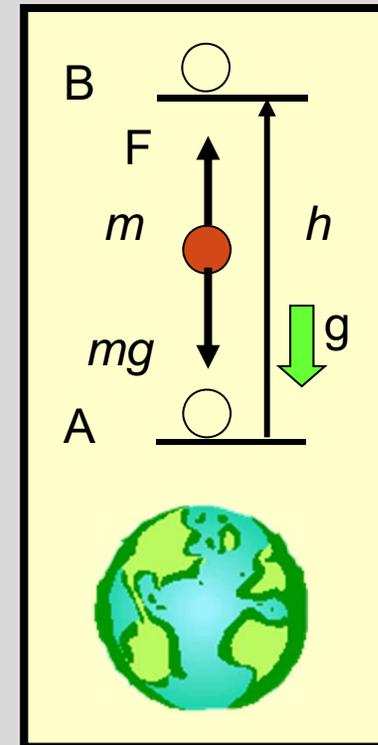
Considere el trabajo contra  $g$  para mover  $m$  de A a B, una altura vertical  $h$ .

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = (mg)(h) \cos 180^\circ = -mgh$$

En el nivel B, la energía potencial U es:

$$U = mgh \text{ (gravitacional)}$$

La fuerza externa realiza trabajo positivo; la gravedad  $g$  realiza trabajo negativo.



La fuerza externa  $F$  contra el campo  $g$  aumenta la energía potencial. Si se libera, el campo proporciona trabajo de vuelta.



# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA.

La energía potencial gravitacional  $U_g$  cerca de la tierra viene dada por

$$U_g = mgh$$

Se puede obtener una función que no dependa de la masa  $m$ , definiendo el potencial gravitacional  $V_g$ , como la energía potencial por unidad de masa, es decir

$$V_g = \frac{U}{m} = gh$$

La diferencia de potencial gravitacional entre dos puntos se define como el trabajo externo necesario para desplazar una unidad de masa  $m$  desde el nivel inicial  $y_i$  hasta una altura final  $y_f$  dada, sin cambiar su rapidez.



# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA DE CARGAS PUNTUALES.

Esta integral se puede resolver tomando una trayectoria recta que inicie en infinito y termine en el punto donde se colocará la carga  $q_2$ , con lo que

$$U_2 = k_e \frac{q_2 q_1}{r_{21}}$$

- Al mover la tercera carga puntual, tenemos que ahora aparecen dos trabajos ya que esta tercera carga se mueve en el campo de las dos primeras cargas, así que

$$U_3 = k_e \frac{q_3 q_1}{r_{31}} + k_e \frac{q_3 q_2}{r_{32}}$$



# ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA DE CARGAS PUNTUALES.

Generalizando este resultado podemos establecer que la energía potencial eléctrica de  $N$  cargas puntuales, corresponde al trabajo total efectuado para formar el arreglo, a saber, la suma de las energías correspondientes a TODAS las parejas que podamos formar SIN repetirlas, es decir

$$U_e = 0 + k_e \frac{q_2 q_1}{r_{21}} + k_e \frac{q_3 q_2}{r_{32}} + k_e \frac{q_3 q_1}{r_{31}} + k_e \frac{q_4 q_1}{r_{41}} + k_e \frac{q_4 q_2}{r_{42}} + k_e \frac{q_4 q_3}{r_{43}} + \dots$$

ó

$$U_e = \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^N k_e \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

Energía potencia eléctrica de un arreglo de  $N$  cargas puntuales, donde la sumatoria se realiza sobre todas las parejas sin repetir.



# POTENCIAL ELÉCTRICO.

Para una posición dada de la carga prueba  $q_0$  en el campo, el sistema carga-campo tiene una energía potencial eléctrica  $U_e$ . Dividiendo esta energía potencial entre la carga prueba se obtiene una cantidad física que sólo depende de la distribución de cargas fuente, y no de la carga prueba que empleamos.

La energía potencial por unidad de carga  $U_e/q_0$ , que es independiente del valor de  $q_0$  y tiene un valor en cada punto de un campo eléctrico, recibe el nombre de potencial eléctrico (o simplemente potencial)  $V$ .

Por lo tanto, el potencial eléctrico  $V$  en cualquier punto de un campo eléctrico es

$$V \equiv \frac{U_e}{q_0}$$

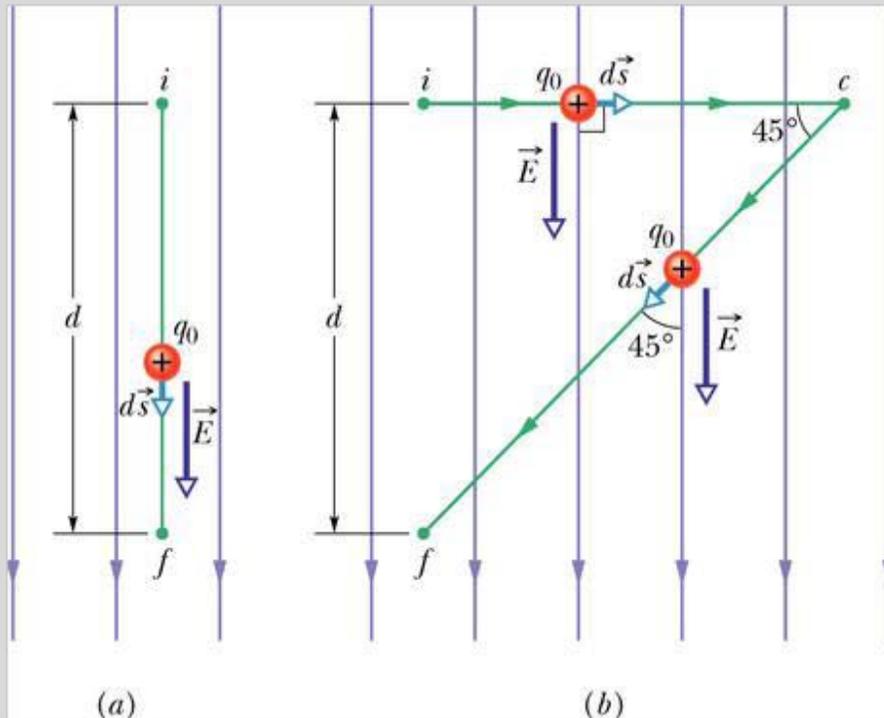
En el SI la unidad del potencial eléctrico es el Volt (V), de forma tal que  $1\text{Volt} = 1\text{J/C}$ .

El hecho de que la energía potencial sea un escalar origina que el potencial, también, sea una cantidad escalar.



# POTENCIAL ELÉCTRICO.

De nuevo, al estar definido el potencial eléctrico en términos de la energía potencial eléctrica, podemos afirmar que la diferencia de potencial (o voltaje) NO depende de la trayectoria seguida, sino sólo de sus puntos inicial y final.



En (a) la partícula se mueve en dirección paralela al campo, de tal forma que el cambio de potencial es

$$\Delta V = \frac{\Delta U_e}{q_0} = \frac{(-q_0 E d \cos \theta)}{q_0}$$

es decir

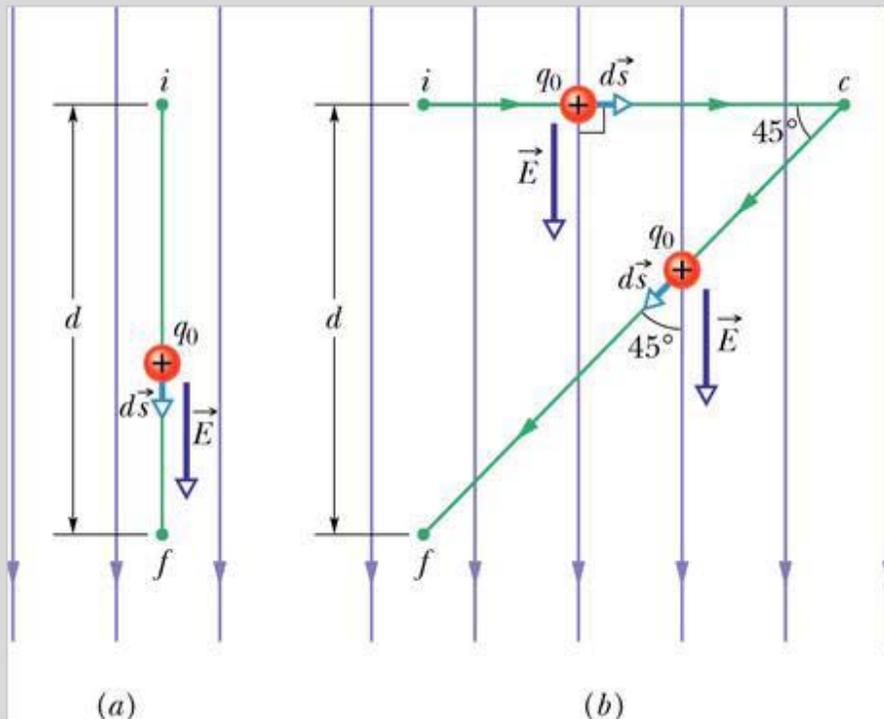
$$\Delta V = -Ed$$

donde hemos considerado que  $q=0^\circ$ .



# POTENCIAL ELÉCTRICO.

En (b) la partícula se mueve primero en dirección perpendicular al campo, así que el cambio de potencial en esta parte de la trayectoria es cero (¿porqué?). A continuación lo hace diagonalmente formando un ángulo de  $45^\circ$  con el campo.



En esta segunda parte de la trayectoria, se recorre una distancia  $d' = d / \text{Sen}45^\circ$ , de tal forma que el cambio de potencial es

$$\Delta V = -E \left( \frac{d}{\text{Sen}45^\circ} \right) \text{Cos}45^\circ$$

es decir

$$\Delta V = -Ed$$

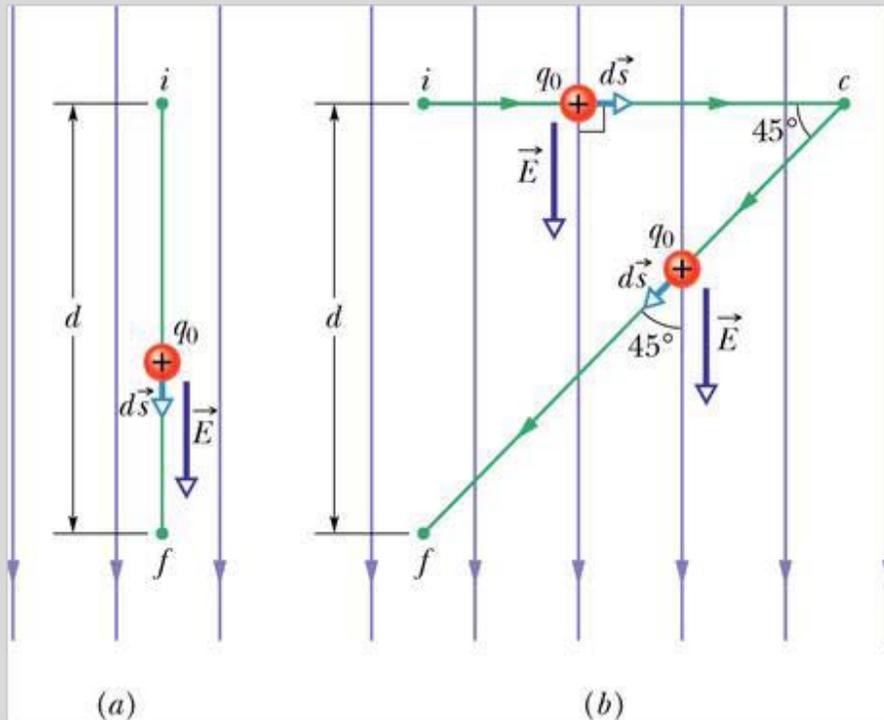
donde hemos considerado que  $\text{Sen}45^\circ = \text{Cos}45^\circ$ .



# POTENCIAL ELÉCTRICO.

Con lo anterior, hemos demostrado que la diferencia de potencial (o voltaje) NO depende de la trayectoria seguida, sino sólo de sus puntos inicial y final, resultando en este caso

$$\Delta V = -Ed$$



Con todo esto podemos establecer que la diferencia de potencial o voltaje  $\Delta V$ , al mover una carga de prueba una distancia  $d$  sobre una trayectoria que forma un ángulo  $\theta$  con un campo uniforme  $E$ , está dado por

$$\Delta V = -\vec{E} \cdot \vec{d} = -Ed \cos \theta$$



# POTENCIAL ELÉCTRICO. ALGUNAS ANOTACIONES.

Una vez establecidas las ideas de energía potencial eléctrica y potencial eléctrico, es importante hacer las siguientes anotaciones:

- La **energía potencial eléctrica** es característica del sistema carga-campo **debida a una interacción** entre el campo y una partícula cargada colocada en el campo.
- El **potencial eléctrico** es característico del campo solamente, ya que es **independiente de una carga prueba** que pueda ser colocada en el campo.

A partir de la definición de potencial, así como del resultado

$$\Delta V = -Ed$$

podemos establecer que las unidades del campo eléctrico, además de N/C, pueden ser V/m.

*Esto nos permite interpretar el campo eléctrico como la razón de cambio del potencial con respecto a la posición.*



# UNIDAD SI DE POTENCIAL (VOLT)

De la definición de potencial eléctrico como E.P. por unidad de carga, se ve que las unidades deben ser J/C. Esta unidad se redefine como volt (V).

$$V = \frac{U}{q}; \quad \left( 1 \text{ volt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}} \right)$$

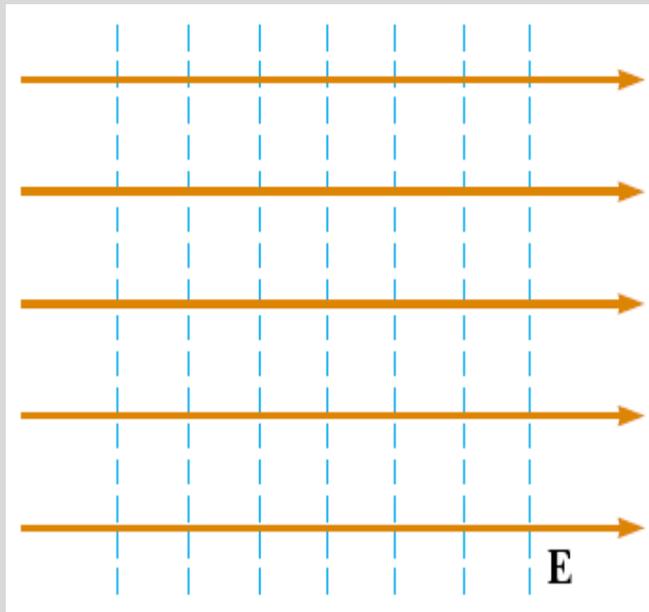
Un potencial de un volt en un punto dado significa que una carga de un coulomb colocada en dicho punto experimentará una energía potencial de un joule.



# SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES.

El nombre de superficie equipotencial es dado a cualquier superficie formada por una distribución continua de puntos que tienen el mismo potencial eléctrico.

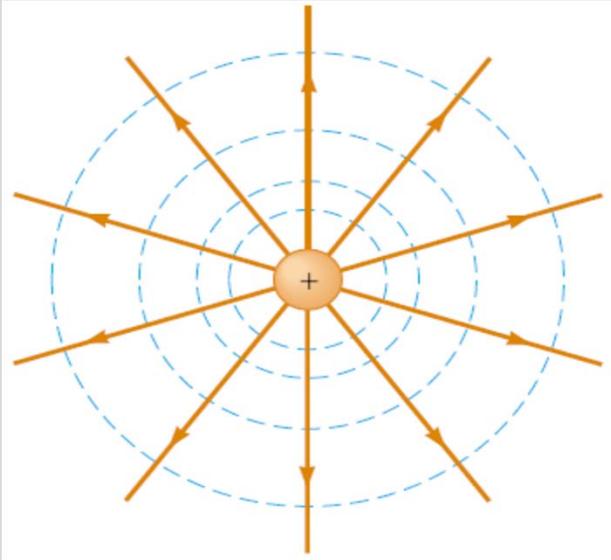
Una característica fundamental de las superficies equipotenciales es que en cualquier punto son perpendiculares a las líneas de campo eléctrico.



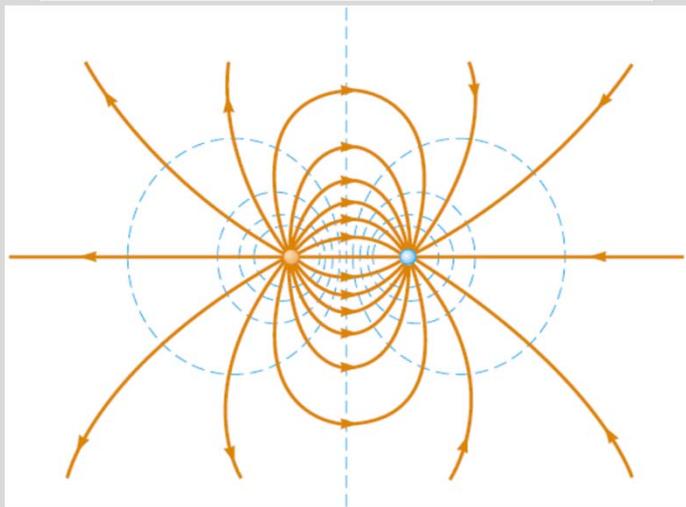
Para el caso de un campo uniforme, como el mostrado en el diagrama anexo, mientras que las líneas de campo (en color naranja) son horizontales, las superficies equipotenciales (líneas punteadas azules) son verticales; de forma tal que, en cualquier punto de cruce entre ellas, el ángulo que se forma es un ángulo recto.



# SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES.



Para una carga puntual el esquema anexo muestra el patrón formado por las líneas de campo y las superficies equipotenciales. Estas últimas corresponden a círculos concéntricos a la carga.



Para el caso de un dipolo eléctrico, mostrado en el diagrama anexo, vemos que el patrón de superficies equipotenciales muy cerca de las cargas son circulares, pero conforme se alejan empiezan deformarse para tomar en cuenta la presencia de la otra carga.

