## TEMA 3. CAMPO GRAVITATORIO Y CAMPO ELÉCTRICO

1. **Concepto físico de campo: campos escalares y vectoriales. Representación gráfica.**
2. **Modelos planetarios: leyes de Kepler**
3. **Fuerza gravitatoria entre dos masas puntuales**
4. **Fuerza electrostática entre dos cargas puntuales**
5. **Intensidad de campo gravitatorio e intensidad de campo eléctrico**
6. **Energía potencial gravitatoria y energía potencial eléctrica**
7. **Potencial gravitatorio y potencial eléctrico**
8. **Diferencia de potencial gravitatorio y eléctrico**
9. **Superficies equipotenciales**
10. **Campo gravitatorio terrestre**
    - **10.1. Fuerza gravitatoria**
    - **10.2. Intensidad de campo gravitatorio**
    - **10.3. Energía potencial gravitatoria**
    - **10.4. Potencial gravitatorio**
    - **10.5. Movimiento de satélites: velocidad, periodo y energía orbitales**
    - **10.6. Velocidad de escape**
11. **Ingravidez**
12. **Analogías y diferencias entre los campos gravitatorio y eléctrico**


Selectivitat.io

## 1. CONCEPTO FÍSICO DE CAMPO. CAMPOS ESCALARES Y CAMPOS VECTORIALES. REPRESENTACIÓN GRÁFICA

En Física se denomina campo a cualquier región del espacio en la que se ponga de manifiesto el valor de una magnitud física. Por ejemplo, cualquier región que cojamos de nuestro entorno, como el aula en la que estamos, es un campo físico por múltiples razones: es un campo de fuerzas gravitatorio, es un campo de temperaturas, de presiones, de densidad, etc.

Los campos físicos se clasifican en escalares y vectoriales, según sea la magnitud física que se manifieste en ellos.

### 1.A CAMPOS ESCALARES

Los campos escalares son campos físicos en los que la magnitud física que se pone de manifiesto es de tipo escalar. Son campos escalares los campos de temperaturas, presiones, densidades, luminosidades, etc.

Los campos escalares se representan gráficamente mediantes las llamadas isolíneas o superficies equiescalares que son líneas o superficies imaginarias que, en un instante dado, pasan por todos los puntos del campo que tiene el mismo valor de la magnitud escalar. Las isotermas y las isobaras son las isolíneas del campo de temperaturas y de presiones respectivamente. En un mapa topográfico las líneas que unen los puntos que se encuentran a la misma altura sobre el nivel del mar se denominan curvas de nivel.

La gráfica siguiente representa un mapa de isobaras tal y como se puede observaras diariamente en los espacios dedicados a la información meteorológica:

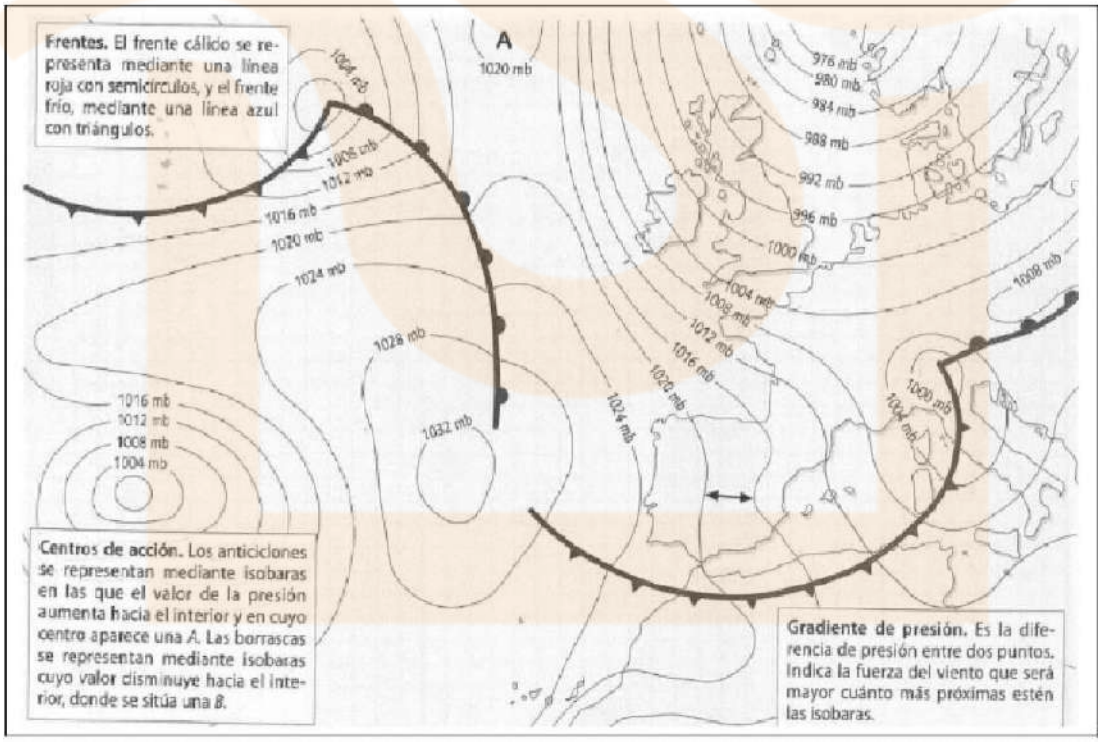



*Figura 3.1*


Selectivitat.io

De la definición de isolíneas o superficies equipotenciales podemos deducir lo siguiente:

- La forma que tienen las isolíneas o superficies equiescalares es arbitraria y generalmente se modifican a lo largo del tiempo.
- Dos isolíneas diferentes nunca pueden cortarse. En efecto, si dos isotermas o dos isobaras diferentes se cortaran en un punto, querría decir que en un mismo instante un mismo punto tiene dos valores diferentes de temperatura o de presión.
- La mayor o menor densidad de isolíneas en una determinada región indica que hay una variación (gradiente) más o menos acusada de la magnitud escalar en dicha región.

**1.B CAMPOS VECTORIALES**

Son campos físicos en los que la magnitud que se manifiesta es de naturaleza vectorial. Son campos vectoriales el campo de velocidades del viento o de la corriente de un río, el campo fuerzas gravitatorio, eléctrico y magnético.

A los campos vectoriales en los que la magnitud física que se manifiesta es una fuerza, se denominan campos de fuerzas. Son campos de fuerzas el campo gravitatorio, eléctrico y magnético. Los dos primeros los estudiaremos en este tema y el tercero en los dos temas siguientes.

Los campos vectoriales se representan gráficamente mediante las denominada líneas de campo que son líneas imaginarias tangentes (de la misma dirección y sentido) en cada punto y en cada instante al vector que caracteriza al campo vectorial. Si el campo vectorial es un campo de fuerzas, a las líneas de campo se les denomina líneas de fuerza, y al vector que caracteriza al campo de fuerzas se le denomina vector intensidad de campo o simplemente vector campo.

Además las líneas de campo se dibujan de modo que la densidad de líneas es directamente proporcional al vector que caracteriza al campo vectorial, es decir, la mayor o menor proximidad entre las líneas de campo indica la mayor o menor intensidad de dicho campo.

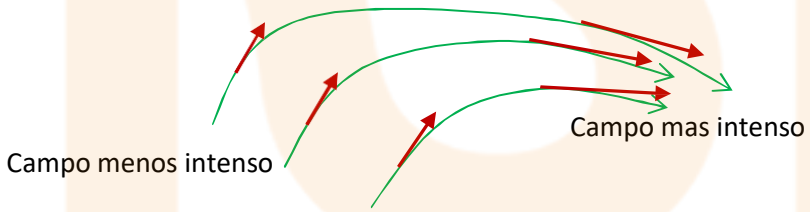



*Figura 3.2*

Si el campo vectorial es un campo uniforme (constante) entonces las líneas que lo representan tienen que ser paralelas e igualmente espaciadas

*Figura 3.3*


Selectivitat.io

## 2. MODELOS PLANETARIOS: LEYES DE KEPLER

Históricamente, los modelos que intentaron describir los movimientos de los planetas han sido dos: el modelo geocéntrico y el modelo heliocéntrico.

### Modelo geocéntrico

Los antiguos griegos pensaban que la Tierra era el centro del Universo y que todos los cuerpos celestes se movían alrededor de ella. En una primera hipótesis, se suponía que dichos cuerpos describían circunferencias concéntricas alrededor de la Tierra, lo cual no describe bien el movimiento retrógrado de los planetas observado desde la Tierra.

Para explicar estas observaciones, el astrónomo Tolomeo de Alejandría desarrolló, en el siglo II D.C., su teoría de los epiciclos. En el caso más sencillo suponía que los planetas se movían uniformemente en una circunferencia llamada **epiciclo**, cuyo centro se movía, a su vez, sobre una circunferencia más grande, conocida como **deferente**, cuyo centro era la Tierra. La trayectoria resultante del plañera era una **epicicloide**.

*Figura 3.4*

En definitiva, lo que los griegos hicieron fue describir el movimiento planetario con respecto a un sistema de referencia colocado en la Tierra.

El modelo geocéntrico se mantuvo hasta el Renacimiento (siglo XVI), sobre todo debido a la influencia de la Iglesia sobre el pensamiento científico.

### Modelo heliocéntrico

Fue propuesto por Nicolás Copérnico en el siglo XVI, recogiendo las ideas de Aristarco (s. III A.C.). Según este modelo, los planetas se mueven en órbitas concéntricas alrededor del Sol, es decir, describe el movimiento planetario desde un sistema de referencia situado en el Sol. En dicho sistema el movimiento de los planetas tenía una descripción más sencilla. Este modelo fue corroborado experimentalmente por Galileo al observar con su telescopio algunos satélites de Júpiter.

**Leyes de Kepler**

Basándose en las observaciones astronómicas de Galileo y Tycho Brahe, Johannes Kepler propuso tres leyes con las que describe cuantitativamente el movimiento de los planetas alrededor del Sol:

- **Primera Ley**

  Los planetas describen órbitas elípticas alrededor del Sol, situándose éste en uno de los focos de la elipse. (fig. 3.5)

- **Segunda ley (ley de las áreas)**

  La velocidad areolar (rapidez con que varía el área descrita por el radiovector que une el Sol con cada planeta) es constante para cada planeta, es decir, dicho radiovector barre áreas iguales en tiempo iguales.

  Como consecuencia de esta ley, la velocidad orbital de un planeta no es constante a lo largo de su órbita, siendo más pequeña en los puntos de la misma más alejados del Sol (afelio).

- **Tercera ley**

  El cuadrado del periodo orbital (T) de cada planeta es directamente proporcional al cubo de su distancia media (d) al Sol:

$$T^2 = K \cdot d^3 \quad [3.1]$$

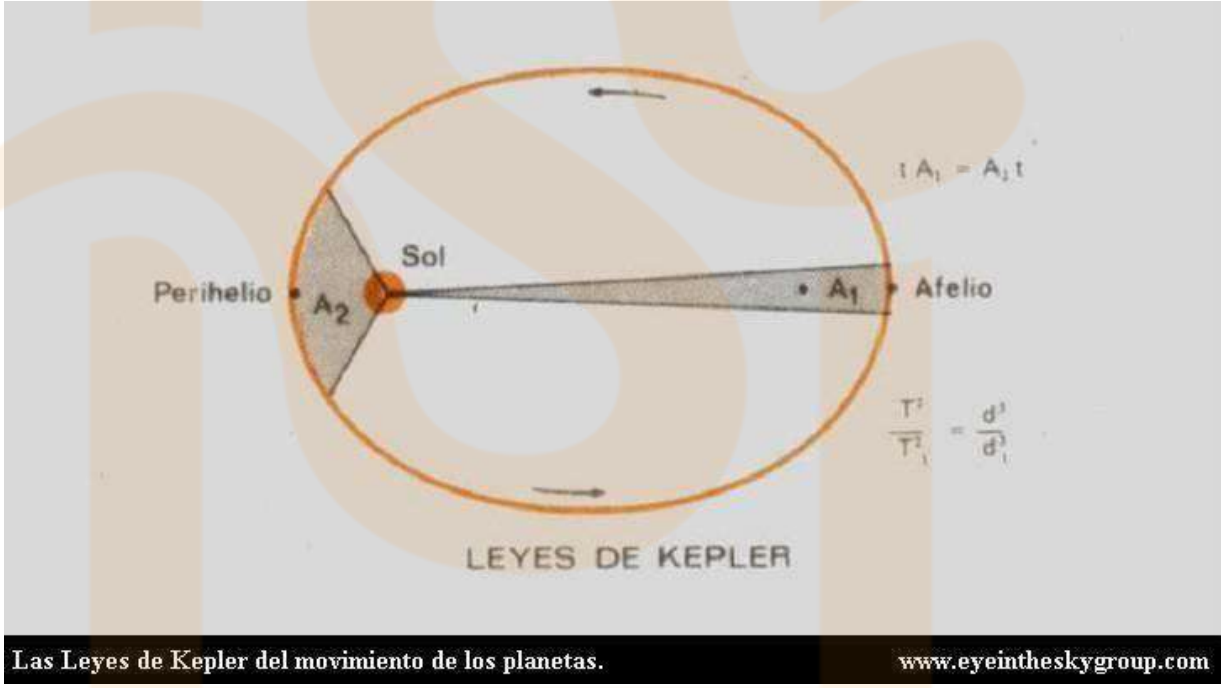



*Figura 3.5*


Selectivitat.io

## 3. FUERZA GRAVITATORIA ENTRE DOS MASAS PUNTUALES

Basándose en las leyes de Kepler y en sus propias leyes de la Dinámica, Isaac Newton propone, en el s. XVII, su **ley de gravitación universal**, publicada en su obra *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*, con la que describe la interacción gravitatoria entre dos masas puntuales. El enunciado de dicha ley puede resumirse así:

*"La fuerza con que se atraen dos masa puntuales (M y m) separadas por una distancia r es directamente proporcional a los valores de dichas masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa"*

$$\boxed{F = G\,\frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}} \quad \text{(módulo del vector fuerza)}$$

La expresión vectorial de la fuerza gravitatoria entre masas puntuales puede escribirse de la siguiente forma:

$$\boxed{\vec{F} = -G\,\frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}\,\vec{U}_r} \quad \text{(vector fuerza) [3.2]}$$

Donde:

**G = 6,67·10$^{-11}$ N m$^2$ kg$^{-2}$** es la llamada constante de gravitación universal

**"r"** es módulo del vector $\vec{r}$ (que es la distancia que separa a las dos masas que interaccionan)

El vector $\vec{r}$ es el vector que va de la masa fuente a la masa testigo

Y $\vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{r}$ es un vector unitario de la misma dirección y sentido que el vector $\vec{r}$ y por tanto un vector unitario dirigido de la masa fuente a la masa testigo (fig. 1.2).

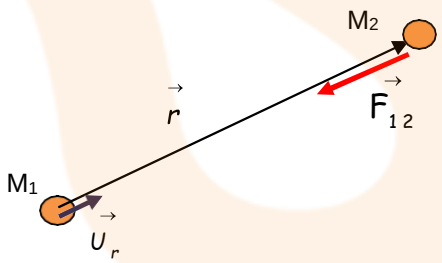



*Figura 3.6*

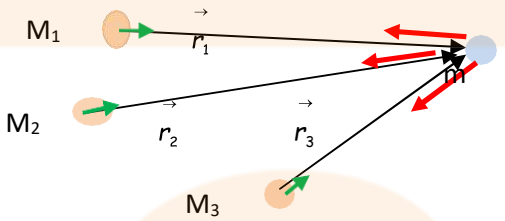
Junto a las características anteriores, podemos hacer las siguientes observaciones con respecto a la fuerza gravitatoria:

- Es una fuerza de atracción.
- Es una fuerza central porque su dirección coincide con la dirección de la recta que une las dos masas que interaccionan.
- La fuerza gravitatoria es una fuerza de largo alcance porque se manifiesta tanto a cortas distancias como a largas distancias.
- G es una constante universal, es decir, su valor no depende del medio en el que se encuentren las masas que interaccionan y, por tanto, la atracción gravitatoria entre dos masas también es independiente del medio en el que se encuentren.
- Debido al pequeño valor de G la fuerza de atracción gravitatoria entre dos masas sólo es apreciable en el caso en que al menos una de las dos masas sea de valor elevado.


Selectivitat.io

- Es una fuerza cuyo valor disminuye con el cuadrado de la distancia que separa a las masas que interaccionan (es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia), lo que permite demostrar, junto con su carácter central, que se trata de una fuerza conservativa y, por tanto, tendrá asociada una energía potencial.
- **Principio de superposición:** Las fuerzas ejercidas por las masas son aditivas lo cual significa que la fuerza resultante sobre una determinada masa es igual a la suma vectorial de las fuerzas de otras masas. Esta propiedad recibe el nombre de **principio de superposición** y se puede enunciar así:

*Si una masa está sometida simultáneamente a varias fuerzas independientes, la fuerza resultante se obtiene sumando vectorialmente dichas fuerzas.*




$$\vec{F}_{Rte} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = -G\frac{M_1.m}{r^2}\vec{U}_{r1} - G\frac{M_2.m}{r^2}\vec{U}_{r2} - \ldots - G\frac{M_n.m}{r^2}\vec{U}_{rn}$$

1 2 n

*Figura 3.7*

- Si una de las masas es la tierra, entonces la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce la tierra sobre una masa m cualquiera sería:

$$\boxed{\vec{F} = -G\frac{M_T.m}{r^2}\vec{U}_r} \quad \boxed{F = G\frac{M_T.m}{r^2} = G\frac{M_T.m}{(R_T+h)^2}}$$ Donde $r = R_T + h$ [3.3]

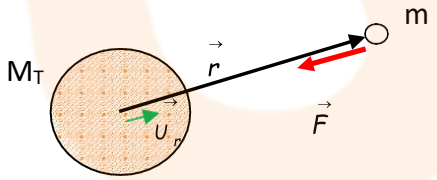



*Figura 3.8*

A esta fuerza es a la que llamamos peso de la masa m:

$$\vec{P} = m.\vec{g} \qquad P = m.g$$

Y podemos identificar al vector aceleración de la gravedad terrestre $\vec{g}$ y a su módulo g

$$\boxed{\vec{g} = -G\frac{M_T}{r^2}\vec{U}_r} \quad \boxed{g = G\frac{M_T}{r^2} = G\frac{M_T}{(R_T+h)^2}} \qquad [3.4]$$

EJEMPLO 1º

Dos masas de 10 t cada una se encuentran situadas en las posiciones (0,4) m y (3,0) m.


Selectivitat.io

Dibuja y calcula los vectores fuerza de interacción gravitatoria entre ambas.


Selectivitat.io

EJEMPLO 2º

Dos masas de 5 t cada una se encuentran situadas en las posiciones (0,0) m y (4,0) m.

a) Dibuja la fuerza gravitatoria que ejerce cada una de ellas sobre una tercera masa de 1 t situada en el punto (0,3) m. Dibuja también la fuerza gravitatoria resultante que ejercen las dos primeras masas sobre la tercera.

b) Calcula el valor de cada una de las fuerzas.



Selectivitat.io

## 4. FUERZA ELECTROSTÁTICA ENTRE CARGAS PUNTUALES

En la actualidad, la carga eléctrica es un modelo que utiliza la Física para explicar los fenómenos eléctricos. También se denomina carga eléctrica a cualquier cuerpo electrizado. En general, damos el nombre de **carga puntual** a todo cuerpo electrizado cuando no se tienen en cuenta sus dimensiones.

Las cargas eléctricas pueden ser:

- **Positivas:** arbitrariamente se dio este nombre a la carga adquirida por el vidrio frotado. Los protones tienen esta carga.
- **Negativas:** es la carga que adquiere el ámbar (resina fosilizada) por frotamiento y de ella son portadores los electrones.

**Propiedades de la carga eléctrica**

1. La carga eléctrica es una magnitud física cuya unidad en el S.I. es el culombio (C), en honor al científico francés Charles Coulomb (1736-1806).
2. Las cargas del mismo signo se repelen y las cargas de signo contrario se atraen.
3. La carga se conserva: en la electrización no se crea carga, solamente se transmite de unos cuerpos a otros, de forma que la carga total permanece constante (**principio de conservación de la carga eléctrica**).
4. La carga está **cuantizada**: se presenta como un múltiplo entero (N) de la carga elemental (e) que es la carga más pequeña que puede presentarse libremente en la naturaleza. Esta carga es la del electrón, siendo su valor $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C. Así, el valor de la carga eléctrica de cualquier cuerpo electrizado será $Q = \pm N\cdot e$.
5. La electrización de un cuerpo consiste en que éste pierda o gane electrones quedando cargado positiva o negativamente, respectivamente.

**Ley de Coulomb**

Esta ley establece las características que presenta la interacción entre cargas puntuales:

*"La fuerza con que se atraen o se repelen dos cuerpos cargados es directamente proporcional al producto de dichas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa".*

$$\boxed{F = K\frac{|Q_1|\cdot|Q_2|}{r^2}}$$ módulo del vector fuerza electrostática

La expresión vectorial de la fuerza electrostática entre dos cargas puntuales puede escribirse de la siguiente forma:

$$\boxed{\vec{F} = K\frac{Q_1\cdot Q_2}{r^2}\vec{U}_r}$$ vector fuerza electrostática [3.5]

Donde:

K es la llamada constante eléctrica.

**"r"** es módulo del vector $\vec{r}$ (que es la distancia que separa a las dos cargas que interaccionan)

El vector $\vec{r}$ es el vector que va de la carga fuente a la carga testigo

Y $\vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{r}$ es un vector unitario de la misma dirección y sentido que el vector $\vec{r}$ y por tanto un vector unitario dirigido de la carga fuente a la carga testigo (fig. 1.2).


Selectivitat.io

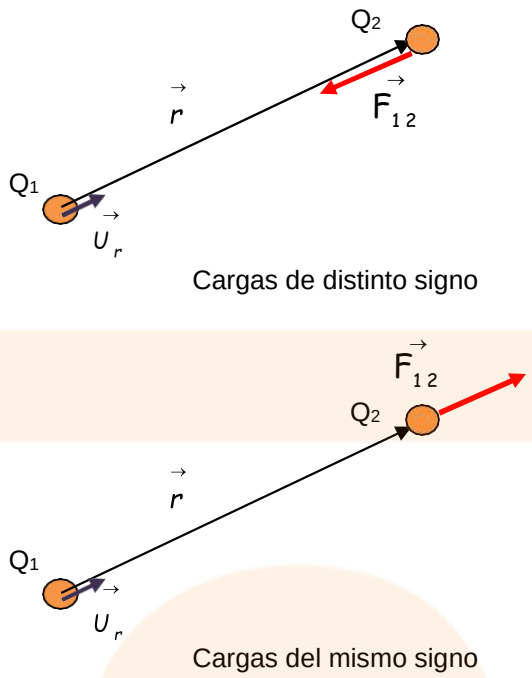



*Figura 3.9*

A partir de estas características, deducimos las siguientes **consecuencias**:

- La fuerza de interacción eléctrica puede ser de atracción (cargas de distinto signo), o de repulsión (cargas del mismo signo).
- Es una fuerza central porque…..
- Es una fuerza de largo alcance.
- El valor de la constante eléctrica K no es una constante universal puesto que su valor depende del medio interpuesto entre las cargas que interaccionan. Por tanto la interacción eléctrica entre dios cargas sí depende del medio en el que se encuentran dichas cargas.
- La constante eléctrica es máxima en el vacío y vale aproximadamente:

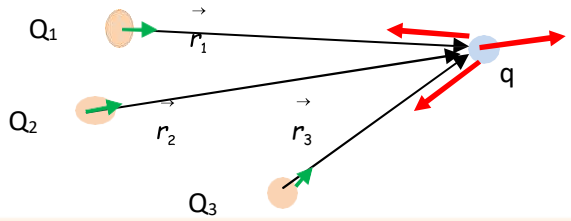
  $$K(\text{vacío}) = K_0 = 9\cdot10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

  Por tanto la interacción eléctrica entre dos cargas es máxima cuando estas están en el vacío, y disminuye cuando se encuentran en un medio material.
  La constante eléctrica puede expresarse en función de otra constante, la denominada constante dieléctrica $\varepsilon$. La relación entre ambas es:

  $$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$$

- Es una fuerza cuyo valor disminuye con el cuadrado de la distancia que separa a las cargas que interaccionan (es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia), lo que permite demostrar, junto con su carácter central, que se trata de una fuerza conservativa y, por tanto, tendrá asociada una energía potencial.
- La ley de Coulomb solamente es válida para cargas puntuales y para cuerpos finitos de forma esférica que estén alejados, es decir, cuando el radio de las esferas es despreciable frente a la distancia entre sus centros.
- **Principio de superposición:** Las fuerzas ejercidas entre las cargas son aditivas lo cual significa que la fuerza resultante sobre una determinada carga es igual a la suma vectorial de las fuerzas que otras cargas. Esta propiedad recibe el nombre de **principio de superposición** y se puede enunciar así:

*Si una carga está sometida simultáneamente a varias fuerzas independientes, la fuerza resultante se obtiene sumando vectorialmente dichas fuerzas.*




$$\vec{F}_{Rte} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = K\frac{Q_1 \cdot q}{r_1^2}\vec{U}_{r1} + K\frac{Q_2 \cdot q}{r_2^2}\vec{U}_{r2} + \ldots + K\frac{Q_n \cdot q}{r_n^2}\vec{U}_{rn}$$

*Figura 3.10*

EJEMPLO 3º

Dos cargas $Q_1$ y $Q_2$ se encuentran en el vacío en las posiciones (0,0) m y (-4,0) m.

a) Dibuja la fuerza que ejerce cada una de estas cargas sobre una tercera carga $Q_3$ situada en la posición (0,3) m. Dibuja también la fuerza resultante que ejercen las dos primeras cargas sobre la tercera. $Q_1$ = 3 µC $Q_2$ = -5 µC $Q_3$ = -1 µC
b) Calcula el valor de cada una de estas fuerzas.


Selectivitat.io

## 5. INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO E INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO

Recordemos que los campos de fuerzas se representan gráficamente mediante las denominadas líneas de fuerza, que son líneas imaginarias tangentes en todo punto al vector que caracteriza al campo de fuerzas, denominado vector intensidad de campo. En esta pregunta veremos quién es este vector tanto en el campo gravitatorio como en el campo eléctrico.

### 5.A INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO.

Definimos el **vector intensidad de campo gravitatorio o vector campo gravitatorio** en un punto de un campo gravitatorio como la fuerza gravitatoria por unidad de masa en dicho punto, es decir, a la fuerza que se ejercería sobre una masa de 1 Kg colocada en dicho punto.

$$\boxed{\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}} \quad [3.6]$$

Si conocemos el valor de esta magnitud en un punto cualquiera del campo, podemos determinar la fuerza gravitatoria ejercida sobre cualquier masa puntual m colocada en dicho punto a partir de la ecuación [1.8]:

$$\boxed{\vec{F} = m \cdot \vec{g}} \quad [3.7]$$

Es decir, multiplicando la masa testigo m por el valor del vector intensidad de campo en dicho punto.

Si el campo gravitatorio es creado por una masa puntual M, entonces el **vector intensidad de campo gravitatorio o vector campo gravitatorio** creado por esta masa fuente en un punto cualquiera de du alrededor valdrá:

$$\boxed{\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{-G\,\frac{M \cdot m}{r^2}\,\vec{U}_r}{m} = -G\,\frac{M}{r^2}\,\vec{U}_r} \qquad \boxed{g = G\,\frac{M}{r^2}} \quad [3.8]$$

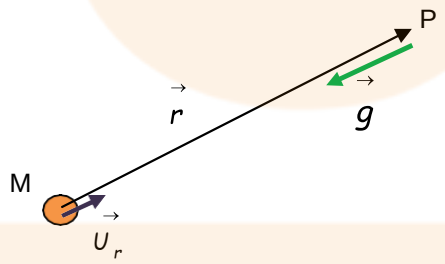



*Figura 3.11*

- El vector intensidad de campo gravitatorio creado por una masa puntual en cualquier punto de su campo es un vector radial dirigido hacia la masa fuente como se puede ver en la figura anterior.
- La intensidad de campo gravitatorio se mide en unidad de fuerza dividida por unidad de masa que, en el SI de unidades sería:

$$\frac{N}{Kg} = \frac{Kg \cdot \frac{m}{s^2}}{Kg} = \frac{m}{s^2}$$

Que como vemos es la unidad de aceleración.


Selectivitat.io

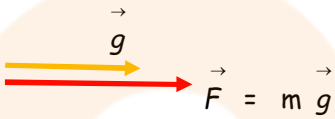
- Si observamos el módulo del vector intensidad de campo gravitatorio creado por una masa puntual en cualquier punto de su alrededor, vemos que es directamente proporcional a la masa fuente M, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que hay entre la cada punto y la masa fuente.

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

- Si conocemos el valor de la intensidad de campo gravitatorio en un punto, podemos calcular el valor de la fuerza que experimentaría una masa cualquiera testigo m al colocarla en dicho punto. Para ello bastaría con multiplicar el valor de la masa testigo por el valor del campo.

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = m\,\vec{g}$$

- Si observamos la expresión anterior $\vec{F} = m\,\vec{g}$ , podemos comprobar que el vector intensidad de campo gravitatorio en un punto y la fuerza que ejerce ese campo sobre una masa testigo m colocada en dicho punto, son vectores de la misma dirección y sentido.




- Recordemos que un campo de fuerzas se puede representar gráficamente mediante las denominadas **líneas de campo** o **líneas de fuerza**. Por tanto el campo gravitatorio creado por una masa puntual, como campo de fuerzas que es, también se representará mediante las líneas de fuerza, que son tangentes en cada punto al vector que caracteriza al campo. Teniendo en cuenta que el vector que caracteriza al campo es el vector intensidad de campo, las líneas de fuerza del campo gravitatorio de una masa puntual M tienen la siguiente forma:

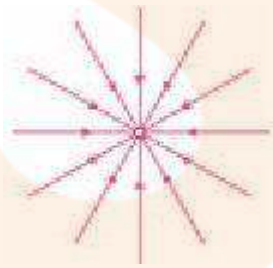


*Figura 3.12*

Observa como la densidad de líneas de fuerza disminuye al alejarnos de la masa fuente, es decir, las líneas de fuerza se van separando, y esto nos indica que el campo es menos intenso.

- **Principio de superposición para el campo gravitatorio:** Si el campo gravitatorio está creado por varias masas puntuales $M_1$, $M_2$, …, $M_n$, la intensidad de campo gravitatorio en un punto dado se determina sumando vectorialmente las intensidades de campo gravitatorio creado por cada masa por separado en dicho punto:

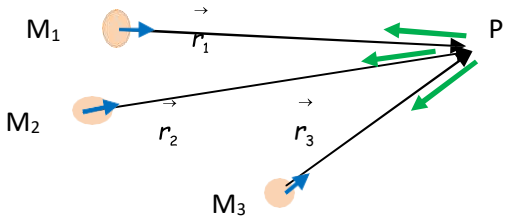



*Figura 3.13*


Selectivitat.io

$$\vec{g}_{Rte} = \vec{g}_1 + \vec{g}_2 + \ldots + \vec{g}_n = -G\frac{M_1}{r_1^2}\vec{U}_{r1} - G\frac{M_2}{r_2^2}\vec{U}_{r2} - \ldots - G\frac{M_n}{r_n^2}\vec{U}_{rn}$$

- Si la masa fuente del campo gravitatorio es la tierra, y la consideramos como una masa puntual, entonces la intensidad de campo gravitatorio en cualquier punto de su superficie o por encima de ella es:

$$\boxed{\vec{g} = -G\frac{M_T}{r^2}\vec{U}_r} \quad \boxed{g = G\frac{M_T}{r^2} = G\frac{M_T}{(R_T + h)^2}}$$ Donde $r = R_T + h$ [3.9]

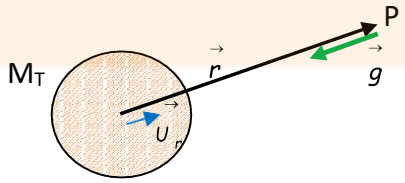



*Figura 3.14*

A esta magnitud es a la que llamamos aceleración de la gravedad terrestre, que como podemos observar no es constante sino que disminuye con el cuadrado de la distancia al centro de la tierra.

Podemos obtener el valor de esta magnitud en la superficie de la tierra que, como sabemos, es de 9,8 m/s$^2$:

$G = 6{,}67.10^{-11}$ N.m$^2$ /Kg$^2$

$M_T = 5{,}98.10^{24}$ Kg

$R_T = 6380$ Km $= 6{,}38.10^6$ m

$$g(superficie) = g_o = G\frac{M_T}{R_T^2} = 6{,}67.10^{-11}.\frac{5{,}98.10^{24}}{(6{,}38.10^6)^2} = 9.799\frac{m}{s^2}$$


Selectivitat.io

## 5.B INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO.

Definimos el **vector intensidad de campo eléctrico o vector campo eléctrico** en un punto de un campo eléctrico como la fuerza eléctrica por unidad de carga positiva en dicho punto, es decir, a la fuerza que se ejercería sobre una carga de +1 C colocada en dicho punto.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \qquad [3.10]$$

Si conocemos el valor de esta magnitud en un punto cualquiera del campo, podemos determinar la fuerza eléctrica ejercida sobre cualquier carga puntual q colocada en dicho punto a partir de la ecuación [1.8]:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \qquad [3.11]$$

Es decir, multiplicando la carga testigo q por el valor del vector intensidad de campo en dicho punto.

Si el campo eléctrico es creado por una carga puntual Q, entonces el **vector intensidad de campo eléctrico o vector campo eléctrico** creado por esta carga fuente en un punto cualquiera de su alrededor valdrá:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{K\frac{Q \cdot q}{r^2}\vec{U}_r}{q} = K\frac{Q}{r^2}\vec{U}_r \qquad E = K\frac{|Q|}{r^2} \qquad [3.12]$$

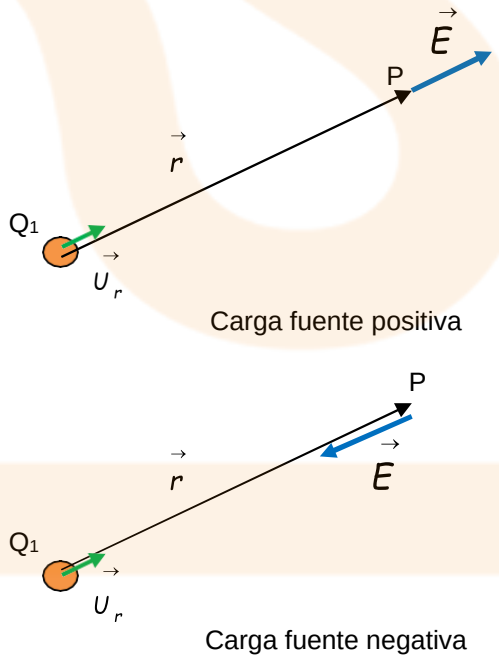



*Figura 3.15*


Selectivitat.io

- El vector intensidad de campo eléctrico creado por una carga puntual en cualquier punto de su campo es un vector radial, alejándose de la carga fuente, si la carga es positiva, y dirigido hacia la carga fuente, si la carga es negativa, tal y como se puede ver en las figuras anteriores.
- La intensidad de campo eléctrico se mide en unidad de fuerza dividida por unidad de carga que, en el SI de unidades sería:

$$\frac{N}{C} = \frac{V}{m}$$

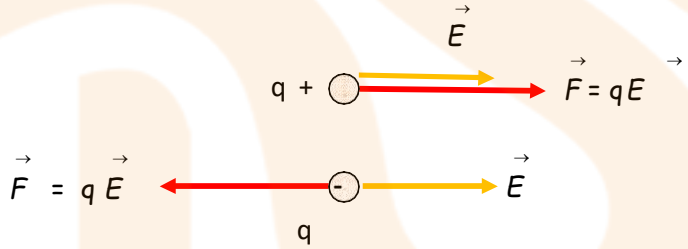
- Si observamos el módulo del vector intensidad de campo eléctrico creado por una carga puntual en cualquier punto de su alrededor, vemos que es directamente proporcional a la carga fuente Q, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que hay entre la cada punto y la carga fuente.

$$E = K \frac{|Q|}{r^2}$$

- Si conocemos el valor de la intensidad de campo eléctrico en un punto, podemos calcular el valor de la fuerza que experimentaría una carga testigo cualquiera q al colocarla en dicho punto. Para ello bastaría con multiplicar el valor de la carga testigo por el valor del campo.

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

- Si observamos la expresión anterior $\vec{F} = q\vec{E}$, podemos comprobar que el vector intensidad de campo eléctrico en un punto y la fuerza que ejerce ese campo sobre una carga testigo q colocada en dicho punto, son vectores de la misma dirección y sentido, si la carga testigo es positiva, o de sentidos contrarios, si la carga testigo es negativa.




- Recordemos que un campo de fuerzas se puede representar gráficamente mediante las denominadas **líneas de campo** o **líneas de fuerza**. Por tanto el campo eléctrico creado por una carga puntual Q, como campo de fuerzas que es, también se representará mediante las líneas de fuerza, que son tangentes en cada punto al vector que caracteriza al campo. Teniendo en cuenta que el vector que caracteriza al campo eléctrico es el vector intensidad de campo, las líneas de fuerza del campo eléctrico de una carga puntual Q tienen la siguiente forma:


Selectivitat.io

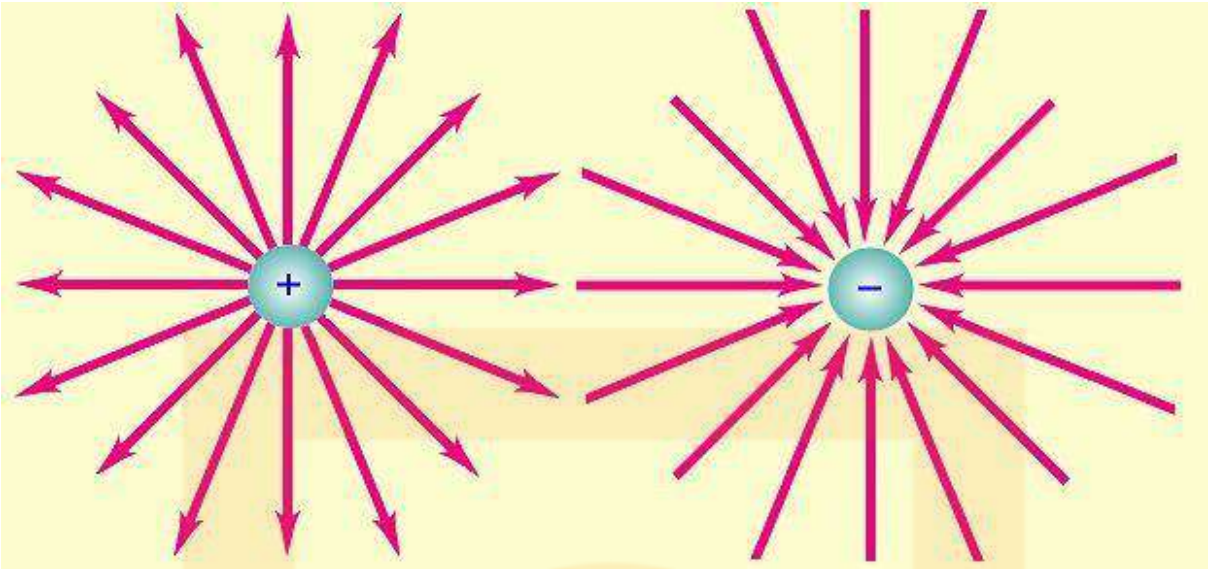



*Figura 3.16*

Se dice que las cargas positivas son fuentes de líneas de campo y que las cargas negativas son sumideros de líneas de campo.
Observa como la densidad de líneas de fuerza disminuye al alejarnos de la masa fuente, es decir, las líneas de fuerza se van separando, y esto nos indica que el campo es menos intenso.

- **Principio de superposición para el campo eléctrico:** Si el campo eléctrico está creado por varias cargas puntuales $Q_1$, $Q_2$, …, $Q_n$, la intensidad de campo eléctrico en un punto dado se determina sumando vectorialmente las intensidades de campo eléctrico creado por cada carga por separado en dicho punto:

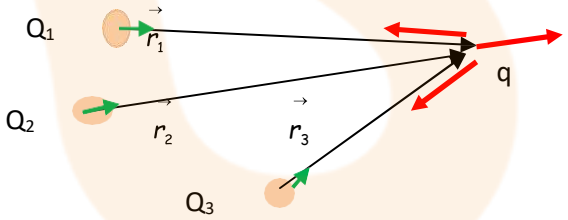



*Figura 3.17*

$$\vec{E}_{Rte} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots + \vec{E}_n = K\frac{Q_1}{r_1^2}\vec{U}_{r1} + K\frac{Q_2}{r_2^2}\vec{U}_{r2} + \ldots + K\frac{Q_n}{r_n^2}\vec{U}_{rn}$$

**EJEMPLO 4º**

Dos masa iguales de 10 t se encuentran respectivamente en el origen de coordenadas y en el punto (0, -3) m.

a) Dibuja la intensidad de campo gravitatorio de cada una de las masas en el punto (4,0) m. Dibuja también la intensidad de campo resultante en dicho punto debido a la acción de ambas masas.
b) Calcula el valor de los tres campos.


Selectivitat.io

c) Dibuja y calcula la fuerza resultante que ejercerían las dos masas sobre una tercera masa de 2 Kg al colocarla en la posición (4,0) m.

**EJEMPLO 5º**

Dos cargas eléctricas de $Q_1$ = 5 µC y $Q_2$ = -5 µC se encuentran respectivamente en los puntos (3,0) y (-3,0) m.

a) Dibuja el campo eléctrico creado por cada una de las cargas y el campo resultante en el punto P = (0,4) m.
b) Calcula el valor de cada uno de los campos anteriores suponiendo que las cargas están en el vacío.
c) Dibuja y calcula la fuerza eléctrica total que ejercerían las dos cargas anteriores sobre una tercera carga q = 10 C colocada en el punto P.

**EJEMPLO 6º**

Considera el campo gravitatorio creado por la tierra.

a) Calcula su valor a 5000 Km de altura.
b) Calcula su valor a una altura de seis veces el radio terrestre.
c) ¿A qué altura habría que subir para que disminuyera al 20 % de lo que vale en su superficie?
d) ¿A qué altura de la superficie de la tierra el campo disminuye un 20 % de lo que vale en su superficie?

**EJEMPLO 7º**

Un planeta tiene doble masa que la tierra y también doble radio. ¿Qué relación existe entre el campo gravitatorio de este planeta en su superficie y el de la tierra, también en su superficie?

**EJEMPLO 8º**

Dos masas $M_1$ y $M_2$ se encuentran separadas una distancia d. Analiza si hay algún punto en el que se anule el campo gravitatorio resultante creado por ambas masas.

**EJEMPLO 9º**

Calcula en qué punto se anula el campo gravitatorio resultante creado por dos masas de 10 t y 100 t que están a 10 Km de distancia.

**EJEMPLO 10º**

Calcula en qué punto se anula el campo gravitatorio resultante creado por la tierra y la luna.

**EJEMPLO 11º**

Dos cargas $Q_1$ y $Q_2$ se encuentran separadas una distancia d. Analiza si hay algún punto en el que se anule el campo eléctrico resultante creado por ambas cargas.

**EJEMPLO 12º**

Calcula en qué punto se anula el campo eléctrico resultante creado por dos cargas de 4 µC y 6 µC situadas en el vacío a 40 cm de distancia.

**EJEMPLO 13º**

Calcula en qué punto se anula el campo eléctrico resultante creado por dos cargas de -4 µC y 2 µC situadas en el vacío a 20 cm de distancia.

**EJEMPLO 14º**

Considera un campo gravitatorio uniforme $\vec{g}$

a) Dibuja el vector intensidad de campo gravitatorio en tres puntos distintos de dicho campo.
b) ¿En cuál de los tres puntos es mayor el módulo del campo? ¿por qué?
c) Coloca una masa m en cada uno de los puntos y dibuja la fuerza gravitatoria que ejerce el campo sobre ella. ¿Dónde es mayor la fuerza?
d) Dibuja como serán aproximadamente las líneas del campo gravitatorio terrestre en el aula.

**EJEMPLO 15º**

Considera un campo eléctrico uniforme $\vec{E}$

a) Dibuja el vector intensidad de campo eléctrico en tres puntos distintos de dicho campo.
b) ¿En cuál de los tres puntos es mayor el módulo del campo? ¿por qué?
c) Coloca una carga positiva q en cada uno de los puntos y dibuja la fuerza eléctrica que ejerce el campo sobre ella. ¿Dónde es mayor la fuerza?
d) Coloca una carga negativa q en cada uno de los puntos y dibuja la fuerza eléctrica que ejerce el campo sobre ella. ¿Dónde es mayor la fuerza?

**EJEMPLO 16º**

Una partícula de 20 g de masa y carga positiva q, está suspendida del techo mediante un hilo. En la zona en la que está la partícula se aplica un campo eléctrico uniforme y horizontal de 100 N/C. E estas condiciones el hilo se desvía 20º respecto a la vertical hasta alcanzar de nuevo el equilibrio.

a) Calcula el valor de la carga q.
b) ¿Qué habría ocurrido si la carga q hubiera tenido carga negativa?


Selectivitat.io

## 6. ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

Recordemos que tanto la fuerza gravitatoria como la fuerza eléctrica son fuerzas conservativas, y por tanto, cada una de ellas tiene asociada una función energía potencial tal que cuando una masa o carga se desplace entre dos posiciones de un campo gravitatorio o eléctrico, respectivamente, el trabajo realizado por la fuerza del campo (gravitatorio o eléctrico) coincide con la variación de la energía potencias de la masa o carga entre ambas posiciones pero cambiada de signo.
En esta pregunta veremos las expresiones de ambas energías potenciales.

### 6.A ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

El hecho de que la fuerza gravitatoria sea conservativa permite asociarle la magnitud escalar energía potencial gravitatoria de modo que podemos calcular el trabajo realizado por aquélla entre dos puntos dados, aplicando el teorema de la energía potencial:

$$W_C = -\Delta E_p \quad [3.13]$$

Se puede demostrar que la expresión de la energía potencial de una masa testigo m en un punto del campo creado por una masa puntual M vale:

$$E_p = -G\frac{M \cdot m}{r} \quad [3.14]$$

De la expresión anterior podemos deducir los siguientes comentarios:

- La energía potencial gravitatoria entre dos masas tiene signo negativo, lo que indica que se trata de una fuerza de atracción.
- El signo – en la expresión anterior también nos indica que si la masa testigo m se aleja de la masa fuente M, la energía potencial aumenta acercándose al valor 0 para una distancia infinita, tal y como se puede ver en la gráfica siguiente.

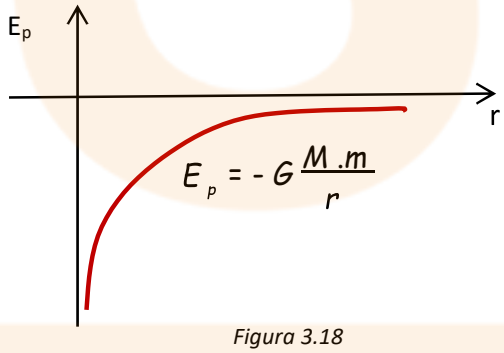



*Figura 3.18*

- En la gráfica anterior puede observarse que el origen de energía (lugar donde la energía vale 0) está en el infinito.
- Si la masa m se traslada desde cualquier punto P hasta el infinito y calculamos el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria en este desplazamiento obtenemos:

$$W_c\,(P \rightarrow \infty) = E_p(P) - E_p(\infty) = E_p\,(P)$$

Es decir, la energía potencial gravitatoria de una masa m en un punto P del campo puede interpretarse como el trabajo que realizaría el campo (fuerza gravitatoria) cuando la masa m se trasladase desde ese punto hasta el infinito.


Selectivitat.io

- **Principio de superposición:** si el campo es creado por dos o más masas puntuales, la energía potencial gravitatoria de una masa puntual m en un punto del campo, sería la suma escalar de las energías de interacción de la masa m con cada una de las masas fuente.

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} + \ldots + E_{pn} = -G\frac{M_1.m}{r_1} - G\frac{M_2.m}{r_2} - \ldots - G\frac{M_n.m}{r_n}$$

- Si la masa fuente es la tierra y la tratamos como una masa puntual, la energía potencial gravitatoria de cualquier masa testigo m colocada en su superficie o por encima de ella sería:

$$E_p = -G\frac{M_T.m}{R_T + h} \qquad [3\text{-}15]$$

- **Validez de las expresiones de la energía potencial gravitatoria:** Las expresiones que conocemos para la energía potencial gravitatoria de una masa m situada en un punto del campo gravitatorio terrestre son dos:

$$E_p = -G\frac{M_T.m}{R_T + h} \qquad E_p = m\,g\,h$$

Pero ¿qué relación hay entre ellas? ¿dónde tienen validez?

La expresión de energía potencial gravitatoria dada por la ecuación [3.15] es válida para cualquier punto exterior a la Tierra, incluidos puntos de su superficie. Sin embargo, si la masa m se desplaza entre dos puntos muy próximos a la superficie terrestre, la variación de g es prácticamente inapreciable, pudiendo considerarse constante el campo gravitatorio en tales circunstancias. Sólo en estas condiciones será válida la expresión de la energía potencial gravitatoria terrestre m.g.h.

La primera expresión o expresión general tiene signo – y toma como origen de energía el ∞, la segunda expresión tiene signo + y toma como origen de energía la superficie terrestre. Pero ambas expresiones tienen en cuenta que la energía potencial gravitatoria aumenta al alejarnos de la tierra. Esto hace que la variación de energía potencial gravitatoria entre dos puntos próximos a la superficie terrestre coincida.


Selectivitat.io

## 6.B ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

El hecho de que la fuerza eléctrica sea conservativa permite asociarle la magnitud escalar energía potencial eléctrica de modo que podemos calcular el trabajo realizado por aquélla entre dos puntos dados, aplicando el teorema de la energía potencial:

$$W_C = -\Delta E_p \quad [3.16]$$

Se puede demostrar que la expresión de la energía potencial de una carga testigo q en un punto del campo creado por una carga puntual Q vale:

$$E_p = K\frac{Q \cdot q}{r} \quad [3.17]$$

De la expresión anterior podemos deducir los siguientes comentarios:

- Si las cargas que interaccionan son del mismo signo, la energía potencial eléctrica es positiva. Esto indica que la interacción entre ellas es de repulsión y también nos indica que si la carga testigo q se aleja de la carga fuente Q, la energía potencial disminuye acercándose al valor 0 para una distancia infinita, tal y como se puede ver en la gráfica siguiente.

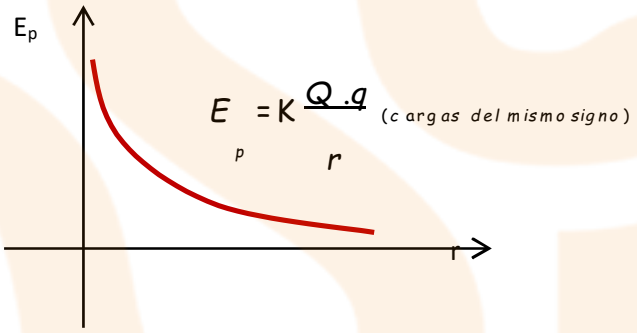



*Figura 3.19*

- Si las cargas que interaccionan son de distinto signo, la energía potencial eléctrica es negativa. Esto indica que la interacción entre ellas es de atracción y también nos indica que si la carga testigo q se aleja de la carga fuente Q, la energía potencial aumenta acercándose al valor 0 para una distancia infinita, tal y como se puede ver en la gráfica siguiente.

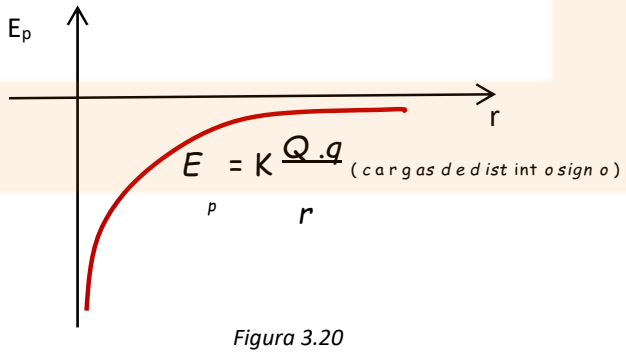



*Figura 3.20*

- En las dos gráficas anteriores puede observarse que el origen de energía (lugar donde la energía vale 0) está en el infinito.
- Si la masa q se traslada desde cualquier punto P hasta el infinito y calculamos el trabajo realizado por la fuerza eléctrica en este desplazamiento obtenemos:


Selectivitat.io

$$W_c\ (P \rightarrow \infty) = E_p(P) - E_p(\infty) = E_p\ (P)$$

Es decir, la energía potencial eléctrica de una carga q en un punto P del campo puede interpretarse como el trabajo que realizaría el campo (fuerza eléctrica) cuando la masa q se trasladase desde ese punto hasta el infinito.

- **Principio de superposición:** si el campo es creado por dos o más cargas puntuales, la energía potencial eléctrica de una carga puntual q en un punto del campo, sería la suma escalar de las energías de interacción de la carga q con cada una de las cargas fuente.

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} + \ldots + E_{pn} = K\frac{Q_1 \cdot q}{r_1} + K\frac{Q_2 \cdot q}{r_2} + \ldots + K\frac{Q_n \cdot q}{r_n}$$

**EJEMPLO 17º**

Considera el campo creado por dos cargas puntuales $Q_1$ y $Q_2$ de 4 y -5 µC cada una están en el vacío situadas respectivamente en el origen de coordenadas y en el punto (0,6) m.

a) Calcula la energía potencial eléctrica que tendría una tercera carga q de 2 µC colocada en el punto A = (10,0) m
b) Si la carga q se traslada desde el punto A anterior al punto B = (0, -3) m, ¿aumenta o disminuye su energía potencial eléctrica?
c) Calcula el trabajo que realizaría el campo eléctrico sobre la carga q al desplazarse de A a B. ¿Qué indica el signo de este trabajo?.

**EJEMPLO 18º**

Imagina que desde una altura de 10.000 Km se deja caer hacia la tierra a una masa m.

a) Despreciando los efectos del rozamiento, analiza energéticamente como sería su movimiento de caída hasta llegar a la superficie terrestre.
b) Calcula la velocidad con la que llegaría a la superficie.


Selectivitat.io

## 7. POTENCIAL GRAVITATORIO Y POTENCIAL ELÉCTRICO

### 7. A POTENCIAL GRTAVITATORIO.

El carácter conservativo del campo gravitatorio permite asociar a la fuerza gravitatoria por unidad de masa $\vec{g}$ una magnitud escalar a la que se denomina **potencial gravitatorio** V en un punto del campo gravitatorio y que se define como la energía potencial gravitatoria que posee la unidad de masa situada en dicho punto, es decir, la energía potencial gravitatoria que tendría una masa de 1 Kg colocada en dicho punto:

$$\boxed{V = \frac{E_p}{m}} \quad [3.18]$$

De esta definición podemos concluir que si conocemos el valor del potencial gravitatorio en un punto del campo, podemos conocer la energía potencial gravitatoria de una masa testigo m al colocarla en dicho punto, bastaría con multiplicar la masa testigo m por el valor del potencial.

$$\boxed{E_p = m.V} \quad [3.19]$$

Para el campo gravitatorio creado por una masa puntual M, el potencial gravitatorio en un punto se puede expresar:

$$\boxed{V = \frac{E_p}{m} = \frac{-G\frac{M.m}{r}}{m} = -G\frac{M}{r}} \quad [3.20]$$

De la expresión anterior podemos deducir las siguientes conclusiones:

- El potencial gravitatorio es una magnitud física escalar que se mide en unidades de energía dividido entre unidades de masa, y que en el sistema internacional de unidades sería:

  $$\frac{J}{Kg}$$

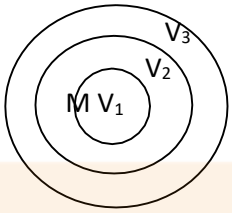
  Esta unidad no recibe ningún nombre especial.

- El potencial gravitatorio creado por una masa puntual en cualquier punto de su campo tiene signo negativo y aumenta al alejarnos de la masa fuente acercándose al valor 0 para una distancia infinita, tal y como se puede ver en la gráfica siguiente.

Figura 3.21


Selectivitat.io

- Todos los puntos que equidistan de la masa fuente tienen el mismo valor del potencial, es decir todos los puntos de una esfera con centro en la masa fuente M y con radio r tienen el mismo valor del potencial y forman lo que se denomina una superficie equipotencial.




$V_1 < V_2 < V_3 < 0$

*Figura 3.22*

- La diferencia de potencial (ddp) gravitatorio entre dos puntos del campo gravitatorio creado por una masa puntual M valdría:

$$V_B - V_A = \left(-G\frac{M}{r_B}\right) - \left(-G\frac{M}{r_A}\right) = -GM\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right) = GM\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$$

- El potencial gravitatorio en un punto P del campo puede interpretarse como el trabajo que realizaría el campo (fuerza gravitatoria) cuando una masa de 1 Kg se trasladase desde ese punto hasta el infinito.
- **Principio de superposición:** si el campo es creado por dos o más masas puntuales, el potencial gravitatorio en un punto del campo, sería la suma escalar de los potenciales de cada una de las masas fuente.

$$V_p = V_{p1} + V_{p2} + \ldots + V_{pn} = -G\frac{M_1}{r_1} - G\frac{M_2}{r_2} - \ldots - G\frac{M_n}{r_n}$$

- Si la masa fuente es la tierra y la tratamos como una masa puntual, el potencial gravitatoria de creado por la tierra en un punto cualquiera de su superficie o por encima de ella sería:

$$V = -G\frac{M_T}{R_T + h} \quad [3.21]$$

**7. B POTENCIAL ELÉCTRICO.**

Igual que ocurre con el campo gravitatorio, el carácter conservativo del campo eléctrico permite asociar a la fuerza eléctrica una magnitud escalar a la que se denomina **potencial eléctrico** V en un punto del campo eléctrico y que se define como la energía potencial eléctrica que posee la unidad de carga positiva situada en dicho punto, es decir, la energía potencial eléctrica que tendría una carga de +1 C colocada en dicho punto:

$$\boxed{V = \frac{E_p}{q}} \quad [3.22]$$


Selectivitat.io

De esta definición podemos concluir que si conocemos el valor del potencial eléctrico en un punto del campo, podemos conocer la energía potencial eléctrica de una carga testigo q al colocarla en dicho punto, bastaría con multiplicar la carga testigo q por el valor del potencial.

$$\boxed{E_P = q.V} \quad [3.23]$$

Para el campo eléctrico creado por una carga puntual Q, el potencial eléctrico en un punto se puede expresar:

$$\boxed{V = \frac{E_p}{q} = \frac{K\frac{Q.q}{r}}{q} = K\frac{Q}{r}} \quad [3.24]$$

De la expresión anterior podemos deducir las siguientes conclusiones:

- El potencial eléctrico es una magnitud física escalar que se mide en unidades de energía dividido entre unidades de carga, y que en el sistema internacional de unidades sería:

$$\frac{J}{C} = Voltio\ (V)$$

  Esta unidad recibe el nombre de voltio.
- El potencial gravitatorio creado por una carga puntual Q en cualquier punto de su campo tiene signo positivo si la carga es positiva y disminuye al alejarnos de ella acercándose al valor 0 para una distancia infinita, y tiene signo negativa si la carga fuente es negativa y aumenta al alejarnos de la ella acercándose al valor 0 para una distancia infinita, tal y como se puede ver en las gráficas siguientes.

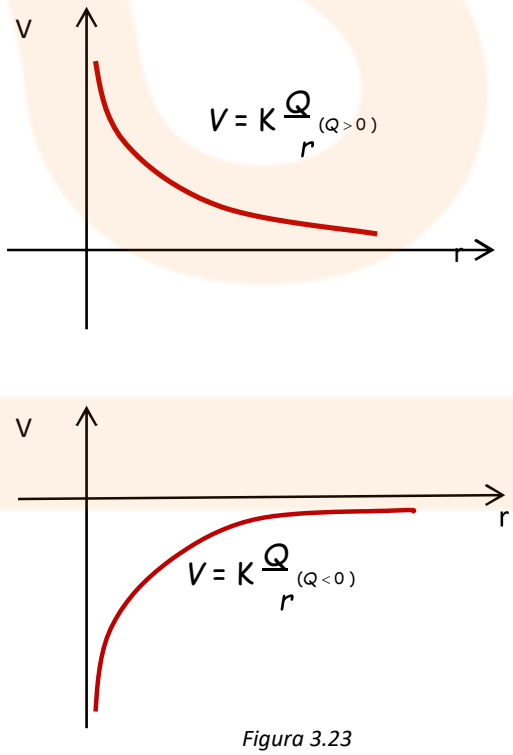



*Figura 3.23*

- La diferencia de potencial (ddp) eléctrica entre dos puntos del campo eléctrico creado por una carga puntual Q valdría:


Selectivitat.io

$$V_B - V_A = K\frac{Q}{r_B} - K\frac{Q}{r_A} = KQ\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$$

- Todos los puntos que equidistan de la carga fuente tienen el mismo valor del potencial, es decir todos los puntos de una esfera con centro en la carga fuente Q y con radio r tienen el mismo valor del potencial eléctrico y forman lo que se denomina una superficie equipotencial.

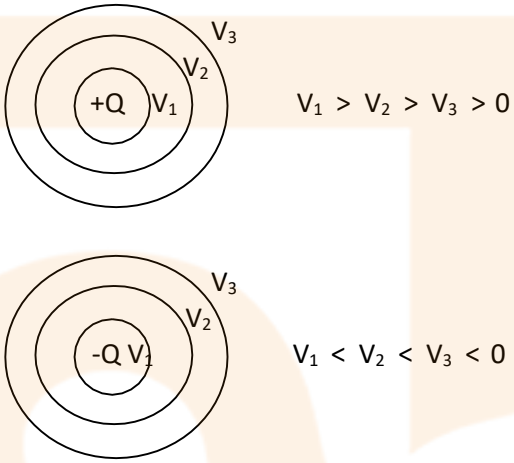



*Figura 3.24*

- El potencial eléctrico en un punto P del campo puede interpretarse como el trabajo que realizaría el campo (fuerza eléctrica) por unidad de carga positiva, es decir, cuando una carga de +1 C se trasladase desde ese punto hasta el infinito.
- **Principio de superposición:** si el campo es creado por dos o más cargas puntuales, el potencial eléctrico en un punto del campo, sería la suma escalar de los potenciales de cada una de las cargas fuente.

$$V_p = V_{p1} + V_{p2} + \ldots + V_{pn} = K\frac{Q_1}{r_1} + K\frac{Q_2}{r_2} + \ldots + K\frac{Q_n}{r_n}$$

**EJEMPLO 19º**

Dos masas iguales de 10 t se encuentran en las posiciones (-4,0) m y (0.4) m.

a) Calcula el potencial gravitatorio resultante creado por ambas masas en el origen de coordenadas.
b) Calcula la energía potencial gravitatoria que tendría una masa de 100 Kg colocada en el origen de coordenadas.

**EJEMPLO 20º**

Dos cargas puntuales de -2 y 6 nC (1nC = $10^{-9}$ C) cada una, se encuentran en el vacío respectivamente en las posiciones (3,0) y (-3,0) m.

a) Calcula el potencial eléctrico resultante en el punto P = (0, -4) m creado por ambas cargas.
b) ¿Dónde tendría más energía potencial eléctrica una carga testigo q, en el punto P o en el origen de coordenadas?


Selectivitat.io

**EJEMPLO 21º**

Dos masas puntuales $M_1$ y $M_2$ se encuentran a una distancia d. Analiza si se anulará o no el potencial gravitatorio resultante en algún punto del campo creado por ambas masas.

**EJEMPLO 22º**

Dos cargas puntuales $Q_1$ y $Q_2$ se encuentran a una distancia d. Analiza si se anulará o no el potencial eléctrico resultante en algún punto del campo creado por ambas cargas.

**EJEMPLO 23º**

Dos cargas puntuales $Q_1$ = 3 nC y $Q_2$ = 6 nC se encuentran separadas 20 cm.

a) Calcula el punto dónde se anula el potencial eléctrico resultante creado por las dos cargas.
b) Calcula el punto dónde se anula el campo eléctrico resultante creado por las dos cargas.

**EJEMPLO 24º**

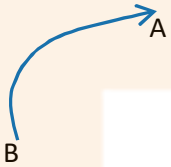
Repite el problema anterior si se trata de dos cargas $Q_1$ = -3 nC y $Q_2$ = 9 nC separadas 40 cm.


Selectivitat.io

## 8. TRABAJO Y DIFERENCIA DE POTENCIAL GRAVITATORIO Y ELÉCTRICO

### 8. A TRABAJO Y DIFERENCIA DE POTENCIAL GRAVITATORIO.

Consideremos dos puntos A y B de un campo gravitatorio. Cada uno de estos puntos tendrá un valor definido para el potencial gravitatorio $V_A$ y $V_B$. Supongamos que una masa testigo m se traslada desde A hasta B. Por el teorema de la energía potencial sabemos que el trabajo que realiza el campo gravitatorio (fuerza conservativa) sobre la masa m en este desplazamiento coincide con la variación de energía potencial gravitatoria de la masa m entre ambas posiciones pero cambiada de signo:




$$W^{B}_{A\,campo} = -\Delta E_p = E_p(A) - E_p(B)$$

Y si tenemos en cuenta la relación entre el potencial gravitatorio y la energía potencial $E_p = m\,V$ podemos escribir:

$$W^{B}_{A\,campo} = -\Delta E_p = -[E_{pB} - E_{pA}] = -[m\,V_B - m\,V_A] = -m\,[V_B - V_A] = -m\,\Delta V$$

Esta ecuación nos permite calcular el trabajo del campo a partir de la diferencia de potencial:

$$\boxed{W^{B}_{A\,campo} = -m\,[V_{pB} - V_{pA}] = -m\,\Delta V} \quad [3.25]$$

Si llamamos trabajo externo o trabajo que hay que realizar al trabajo realizado por una fuerza opuesta a la del campo y tenemos en cuenta que ambos trabajos son de signo opuesto, obtenemos:

$$\boxed{W^{B}_{A\,externo} = -W^{B}_{A\,campo} = m\,[V_{pB} - V_{pA}] = m\,\Delta V} \quad [3.26]$$

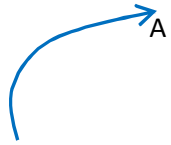
Por otro lado, si despejamos en cualquiera de las dos ecuaciones anteriores obtenemos La interpretación física de la diferencia de potencial gravitatoria entre dos puntos de un campo:

$$\boxed{\Delta V = V_B - V_A = \frac{-W^{B}_{A\,campo}}{m} = \frac{W^{B}_{A\,externo}}{m}} \quad [3.27]$$

*La diferencia de potencial gravitatoria entre dos puntos de un campo es el trabajo realizado por el campo por unidad de masa pero cambiado de signo, o bien, el trabajo externo por unidad de masa.*

### 8. B TRABAJO Y DIFERENCIA DE POTENCIAL ELÉCTRICO.

Consideremos dos puntos A y B de un campo eléctrico. Cada uno de estos puntos tendrá un valor definido para el potencial eléctrico $V_A$ y $V_B$. Supongamos que una carga testigo q se traslada desde A hasta B. Por el teorema de la energía potencial sabemos que el trabajo que realiza el campo eléctrico (fuerza conservativa) sobre la carga q en este desplazamiento coincide con la variación de energía potencial eléctrica de la carga q entre ambas posiciones pero cambiada de signo:





Selectivitat.io

$$W^{B}_{A\,campo} = -\Delta E_p = E_p(A) - E_p(B)$$

B

Y si tenemos en cuenta la relación entre el potencial eléctrico y la energía potencial $E_p = q\,V$ podemos escribir:

$$W^{B}_{A\,campo} = -\Delta E_p = -[E_{pB} - E_{pA}] = -[qV_B - qV_A] = -q\,[V_B - V_A] = -q\,\Delta V$$

Esta ecuación nos permite calcular el trabajo del campo a partir de la diferencia de potencial:

$$\boxed{W^{B}_{A\,campo} = -q\,[V_{pB} - V_{pA}] = -q\,\Delta V} \quad [3.28]$$

Si llamamos trabajo externo o trabajo que hay que realizar al trabajo realizado por una fuerza opuesta a la del campo y tenemos en cuenta que ambos trabajos son de signo opuesto, obtenemos:

$$\boxed{W^{B}_{A\,externo} = -W^{B}_{A\,campo} = q\,[V_{pB} - V_{pA}] = q\,\Delta V} \quad [3.29]$$

Por otro lado, si despejamos en cualquiera de las dos ecuaciones anteriores obtenemos La interpretación física de la diferencia de potencial eléctrica entre dos puntos de un campo:

$$\boxed{\Delta V = V_B - V_A = \frac{-W^{B}_{A\,campo}}{q} = \frac{W^{B}_{A\,externo}}{q}} \quad [3.30]$$

*La diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un campo es el trabajo realizado por el campo por unidad de carga positiva pero cambiado de signo, o bien, el trabajo externo por unidad de carga positiva.*

**EJEMPLO 25º**

Dos cargas puntuales de -2 y 6 nC (1nC = $10^{-9}$ C) cada una, se encuentran en el vacío respectivamente en las posiciones (3,0) y (-3,0) m.

a) Calcula la diferencia de potencial eléctrico creado por las dos cargas entre los puntos A = (1, 4) m y B = (0,0) m.
b) Calcula el trabajo realizado por el campo y el trabajo externo cuando una carga q = 10 C se traslade del punto A al punto B.

**EJEMPLO 26º**

Un electrón inicialmente en reposo es acelerado por una diferencia de potencial de 10 KV.

a) Analiza las transformaciones energéticas del electrón a lo largo de su movimiento.
b) Calcula la velocidad adquirida por el electrón una vez acelerado.


Selectivitat.io

**EJEMPLO 27º**

Se denomina electronvoltio (eV) a la energía cinética que adquiere un electrón cuando, estando en reposo, es acelerado por una diferencia de potencial de 1 V.

a) Calcula la energía cinética que adquiere el electrón en estas condiciones.
b) ¿A cuántos julios equivale 1 eV?

**EJEMPLO 28º**

Repite el problema anterior suponiendo que es un protón el que se acelera.


Selectivitat.io

## 9. SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN CAMPO DE FUERZAS CONSERVATIVO

### 9. A SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES EN EL CAMPO GRAVITATORIO

Recordemos que tanto el campo gravitatorio como el campo eléctrico son campos vectoriales de fuerzas y por tanto se pueden representar gráficamente mediante las líneas de campo o líneas de fuerza que son……

Pero, también sabemos, que ambos campos son campos de fuerzas conservativos, y esto nos permite completar su representación gráfica mediante la introducción de un nuevo concepto: el de superficies equipotenciales.

Se denominan superficies equipotenciales en un campo de fuerzas conservativo, a las superficies imaginarias formadas por todos aquellos puntos que tienen el mismo valor del potencial (gravitatorio o eléctrico).

Por ejemplo, si se trata del campo gravitatorio creado por una masa puntual M, sabemos que el valor del potencial en cualquier punto de su campo vale:

$$V = -G\frac{M}{r}$$

que, como ya dijimos en una pregunta anterior, los puntos que tienen el mismo valor del potencial gravitatorio son los que equidistan de la masa fuente, es decir, todos los puntos situados en una esfera concéntrica con la masa fuente. Por tanto, las superficies equipotenciales del campo gravitatorio creado por una masa puntual M son esferas concéntricas con ella, tal y como se observa en la figura siguiente:

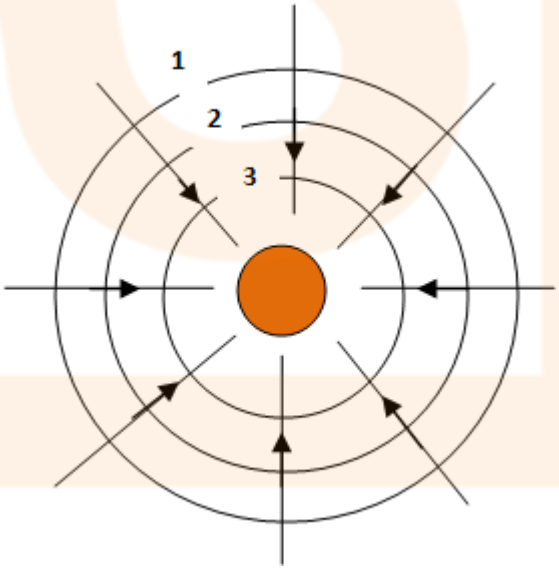



*Figura 3.25*

En este esquema, observamos que las líneas de campo gravitatorio son perpendiculares a las superficies equipotenciales y se dirigen en el sentido de máximo decrecimiento del potencial gravitatorio, es decir, $V_1 > V_2 > V_3$.


Selectivitat.io

Si se trata del campo eléctrico creado por una carga puntual Q, podemos afirmar también que las superficies equipotenciales son esferas concéntricas con la carga fuente:

$$V = K\frac{Q}{r}$$

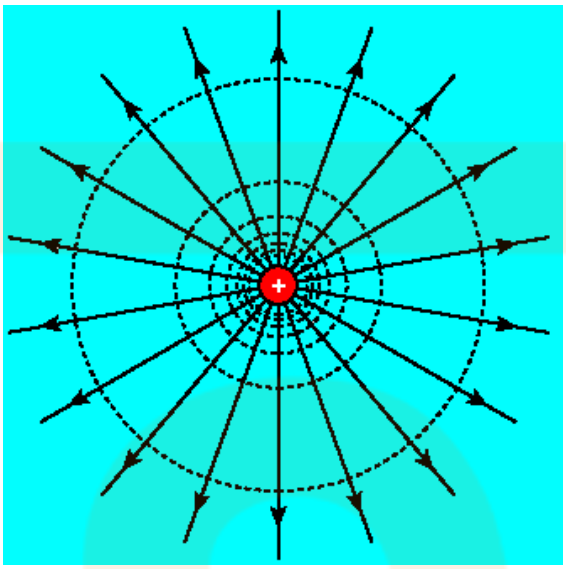


*Figura 3.26*

Si la carga fuente es negativa lo único que cambiaría sería el sentido de las líneas de fuerza.

Observa que, tanto si la carga fuente es positiva como si es negativa, las líneas de fuerza son perpendiculares a las superficies equipotenciales y siempre van dirigidas hacia los potenciales decrecientes.

De la definición de superficies equipotenciales, podemos deducir lo siguiente:

- Dos superficies equipotenciales diferentes nunca se cortarán, es decir, no puede haber un mismo punto con dos valores diferentes del potencial.

- Cuando una masa o una carga testigo se mueva entre dos puntos de una superficie equipotencial, su energía potencial no cambia, y por tanto, no se realiza trabajo sobre ella.

$$E_p = mV \Rightarrow \quad W^B_{A\,campo} = -W^B_{A\,externo} = -\Delta E_p = -m\Delta V = 0$$

$$E_p = qV \Rightarrow \quad W^B_{A\,campo} = -W^B_{A\,externo} = -\Delta E_p = -q\Delta V = 0$$

En el caso del campo gravitatorio, esto es lo que le ocurre a los satélites en su movimiento de rotación alrededor de los planetas, que lo hacen en una órbita que pertenece a la misma superficie equipotencial y por tanto mantienen su movimiento de rotación sin consumir energía.

- Las superficies equipotenciales y las líneas de fuerza son siempre perpendiculares en cada uno de los puntos del campo, y además, el potencial decrece en el sentido del campo.

- Del apartado anterior podemos concluir que, si conocemos la forma de las superficies equipotenciales, podemos deducir la forma que tendrán las líneas de fuerza, y a la inversa. Y esto


Selectivitat.io

podemos aplicarlo a un campo de fuerzas uniforme, ya sea gravitatorio o eléctrico. Como las líneas de fuerza de un campo uniforme son líneas paralelas e igualmente espaciadas, podemos deducir que las superficies equipotenciales serán planos perpendiculares a las líneas de fuerza y paralelos entre sí. En la figura siguiente se ha representado a un campo eléctrico uniforme:

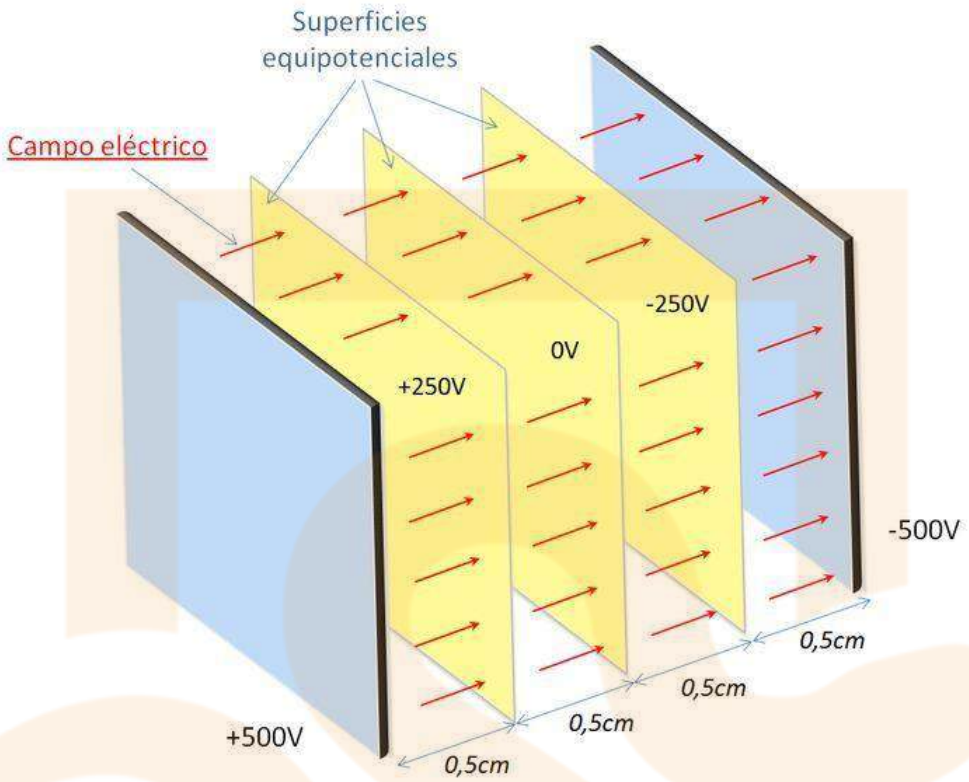



*Figura 3.27*

Observa como las líneas de fuerza se dirigen hacia los potenciales decrecientes.


Selectivitat.io

## 10. CAMPO GRAVITATORIO TERRESTRE

A continuación, vamos a realizar un estudio elemental del campo gravitatorio terrestre a partir de las generalidades descritas hasta ahora sobre el campo gravitatorio creado por masas puntuales. Dicho estudio también sería válido para el campo gravitatorio creado por cualquier otro cuerpo celeste.

### 10.1 FUERZA GRAVITATORIA Y ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA TERRESTRES

Suponiendo que la Tierra fuese una esfera perfecta, se puede demostrar que la fuerza gravitatoria que aquélla ejerce sobre cualquier cuerpo de masa m situado en sus proximidades, viene dada por la misma expresión que proporciona la ley de gravitación universal:

$$\vec{F} = -G\frac{M_T \cdot m}{r^2}\vec{u}_r$$

donde $M_T$ es la masa de la Tierra, r es la distancia entre el centro de la Tierra y el punto en que se encuentra la masa m, y $\vec{u}_r$ es un vector unitario con origen en el centro de la Tierra y dirigido hacia la posición de m.

Esta fuerza, también denominada **peso**, tiene las mismas características que la fuerza gravitatoria ente masas puntuales pudiendo expresarse su módulo como:

$$F = G\frac{M_T \cdot m}{r^2}$$

Si $R_T$ es el radio de la Tierra y h la altura a la que se sitúa m sobre la superficie terrestre, podemos escribir $r = R_T + h$.

Por ser la fuerza gravitatoria conservativa, cualquier cuerpo de masa m situado a una altura h sobre la superficie terrestre poseerá una energía potencial gravitatoria, cuya expresión vendrá dada a partir de la ecuación [3.15]:

$$E_p = -G\frac{M_T \cdot m}{r} \Rightarrow E_p = -G\frac{M_T \cdot m}{R_T + h} \qquad [3.31]$$

donde hemos considerado el infinito como origen de energía potencial.

### 10.2 INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO TERRESTRE

La intensidad de campo gravitatorio terrestre o aceleración de la gravedad en cualquier punto exterior a la Tierra tiene la misma expresión que en el caso de una masa puntual. Así pues, podemos escribir:

$$\vec{g} = -G\frac{M_T}{r^2}\vec{u}_r$$

cuyo módulo vendrá dado por:

$$g = G\frac{M_T}{r^2}$$

Podemos transformar la expresión anterior en otra equivalente que nos proporciona como varía la gravedad terrestre con la altura. Para ello escribimos en la expresión anterior $r = R_T + h$:


Selectivitat.io

$$g = G\frac{M_T}{(R_T+h)^2} \qquad [3.32]$$

Si llamando $g_0$ a la intensidad de campo gravitatorio en la superficie terrestre (h = 0):

$$g_0 = G\frac{M_T}{R_T{}^2} \Rightarrow g_0 \cdot R_T^2 = G \cdot M_T$$

Sustituyendo en la ecuación [3.32]:

$$g = g_0\frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

Si dividimos por $R_T{}^2$ tanto su numerador como su denominador, se convierte en la expresión:

$$g = \frac{g_0}{(1 + \frac{h}{R_T})^2}$$

que nos indica la variación de g con la altura y en relación a su valor en la superficie terrestre $g_0$.

**10.3 ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA TERRESTRE**

$$E_p = -G\frac{M_T \cdot m}{R_T + h} \qquad E_p = m\,g\,h$$

La expresión de energía potencial gravitatoria dada por la primera ecuación es válida para cualquier punto exterior a la Tierra, incluidos puntos de su superficie. Sin embargo, si la masa m se desplaza entre dos puntos muy próximos a la superficie terrestre, la variación de g es prácticamente inapreciable, pudiendo considerarse constante el campo gravitatorio en tales circunstancias. Sólo en estas condiciones será válida la segunda expresión de la energía potencial gravitatoria terrestre

**10.4 POTENCIAL GRAVITATORIO TERRESTRE**

Definimos el potencial gravitatorio terrestre, V, en un punto como la energía potencial gravitatoria que posee la unidad de masa situada en dicho punto. Por tanto:

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

Si tenemos en cuenta la ecuación correspondiente a la energía potencial dada en el apartado anterior, el potencial gravitatorio en un punto situado a una altura h de la superficie terrestre será:

$$V = -G\frac{M_T}{R_T+h}$$


Selectivitat.io

## 10.5 MOVIMIENTO DE SATÉLITES: VELOCIDAD, PERIODO Y ENERGÍA ORBITAL

En este apartado describiremos el movimiento de satélites alrededor de la Tierra. En todo los casos, supondremos que el satélite describe una órbita circular de radio r a una altura h de la superficie terrestre. Lo que se deduzca en este punto puede generalizarse a cualquier satélite orbitando alrededor de su planeta, y a cualquier planeta orbitando alrededor del sol.

### Velocidad orbital

Es la velocidad lineal con la que un satélite se traslada alrededor de la Tierra describiendo una órbita cerrada. Suponiendo que el satélite de masa m describe un MCU, la fuerza gravitatoria terrestre proporciona la fuerza centrípeta necesaria para mantener estable la órbita del satélite (fig. 1.5). Aplicando el principio fundamental de la dinámica al satélite obtenemos la velocidad de orbita:

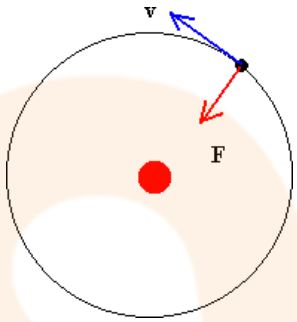



Figura 1.5

$$F_c = m.a_c \Rightarrow G\frac{M_T.m}{r^2} = m\frac{v_{orb}^2}{r} \Rightarrow v_{orb} = \sqrt{G\frac{M_T}{r}} = \sqrt{G\frac{M_T}{R_T+h}}$$

$$\boxed{v_{orb} = \sqrt{G\frac{M_T}{r}} = \sqrt{G\frac{M_T}{R_T+h}}} \qquad [3.34]$$

donde $r = R_T + h$ es el radio de la órbita.

En la expresión anterior podemos deducir lo siguiente:

- La velocidad orbital de un satélite es independiente de su masa. Sólo depende de la masa que crea el campo, la tierra en este caso, y del radio de la órbita.
- Cada órbita tiene un valor definido para la velocidad a la que se puede mover el satélite y esta velocidad disminuye con la raíz cuadrada del radio orbital.

### Periodo orbital

Se denomina periodo orbital de un satélite al tiempo que tarda el satélite en completar una vuelta. Para deducir su expresión utilizamos la expresión de la velocidad orbital obtenida en el punto anterior y la expresión que relaciona a esta con la velocidad angular:


Selectivitat.io

$$\left.\begin{array}{l} v = \sqrt{G\dfrac{M_T}{r}} \\ v = w.r = \dfrac{2\pi}{T}r \end{array}\right\} \Rightarrow \sqrt{G\dfrac{M_T}{r}} = \dfrac{2\pi}{T}r \Rightarrow \dfrac{G M_T}{r} = \dfrac{4\pi^2 r^2}{T^2} \Rightarrow T^2 = \dfrac{4\pi^2 r^3}{G M_T}$$

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_T}}} \quad [3.35]$$

De la expresión anterior podemos deducir lo siguiente:

- El periodo orbital no depende de la masa del cuerpo que orbita. Sólo depende de la masa fuente y del radio orbital.
- Cuanto más alejado este el satélite orbitando, más tiempo tardará en completar una vuelta.
- Esta expresión también se puede utilizar para calcular el radio orbital de un satélite si conocemos su periodo orbital.

**Energía orbital**

Llamada también energía de ligadura, E, es la energía total o mecánica que posee un satélite en su órbita estable alrededor de la Tierra. Esta energía es tanto cinética como potencial gravitatoria. Por tanto:

$$E = E_c + E_p \Rightarrow E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - G\frac{M_T \cdot m}{r} \Rightarrow E = \frac{1}{2} m \cdot \frac{G \cdot M_T}{r} - G\frac{M_T \cdot m}{r}$$

Sacando factor común, finalmente podemos escribir:

$$\boxed{E_m = -\frac{1}{2} G \frac{M_T . m}{r}} \quad [3.36]$$

De la expresión anterior podemos deducir lo siguiente:

- Observamos que la energía orbital es negativa lo que significa que el satélite en órbita alrededor de la Tierra es un cuerpo ligado al campo gravitatorio terrestre al que hay que comunicarle energía para que salga de su influencia.
- También destacamos el hecho de que al aumentar el radio orbital la energía orbital aumenta haciéndose menos negativa, es decir, acercándose a cero. Esto es debido a que la interacción gravitatoria entre las dos masas va disminuyendo al aumentar la distancia de interacción entre ellas.
- El hecho de que la energía orbital aumente al aumentar el radio orbital, también implica que para que un satélite cambie a una órbita de mayor radio será necesario comunicarle una cantidad de energía igual a la diferencia entre las energías orbitales correspondientes.

**10.6 VELOCIDAD DE ESCAPE**

Es la mínima velocidad, $v_e$, que hay que suministrar a un satélite situado en un punto del campo gravitatorio terrestre para que salga de la influencia de éste. Para ello la energía total que debe poseer el satélite debe ser, al menos, nula:

$$E = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 - G\frac{M_T \cdot m}{r} = 0 \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{2 G \cdot M_T}{r}}$$



Selectivitat.io

$$\boxed{v_e = \sqrt{2G\frac{M_T}{r}} = \sqrt{2G\frac{M_T}{R_T + h}}} \quad [3.37]$$

En estas condiciones, el satélite saldría del campo gravitatorio terrestre alcanzando el infinito sin energía cinética, pudiéndose demostrar que su trayectoria es una parábola.

En el caso de que el satélite sea lanzado desde la superficie terrestre (h = 0), la velocidad de escape tendrá la expresión:

$$v_e = \sqrt{\frac{2\,G \cdot M_T}{R_T}}$$

Que vale aproximadamente unos 11 Km/s

Si la velocidad comunicada al satélite fuese mayor que la de escape, su energía total sería positiva y alcanzaría el infinito con cierta energía cinética, demostrándose en este caso que el satélite seguiría una hipérbola.

**EJEMPLO 29**

La estación espacial europea está orbitando aproximadamente a 400 Km de altura.

a) Calcula la velocidad con la que orbita.
b) Calcula la velocidad de escape de un capsula si es lanzada desde la estación espacial.

**EJEMPLO 30**

Se desea poner a un satélite en órbita geoestacionaria. ¿A qué altura habría que situarlo? (se denomina órbita geoestecionaria a aquella órbita a la que le corresponde un periodo orbital igual al tiempo que tarda la tierra en dar una vuelta completa sobre sí misma, es decir, 24 h).

**EJEMPLO 31**

Un satélite artificial de 1 t orbita en torno a la tierra a una altura de 5000 Km. ¿Qué energía extra habría que comunicarle al satélite para que pase a orbitar a una altura doble de la que está?

**EJEMPLO 32**

Se quiere lanzar desde la tierra a un satélite de 500 Kg para que orbite a una altura de 1000 Km. ¿Qué energía habría que comunicarle al satélite para ponerlo en órbita?


Selectivitat.io

## 11. INGRAVIDEZ

Se denomina ingravidez a la ausencia de gravedad, es decir, a la ausencia de campo gravitatorio.

Si analizamos la expresión del campo gravitatorio creado por una masa puntual:

$$\boxed{\vec{g} = -G \frac{M_1}{r^2} \vec{U}_r} \text{ (vector campo)} \qquad \boxed{g = G \frac{M_1}{r^2}} \text{ (módulo del vector campo)}$$

podemos ver que la ingravidez se alcanzaría teóricamente en el infinito. En la práctica se alcanzaría en aquellas zonas donde el campo sea lo suficientemente débil como para no apreciarse.

En el caso de la tierra, considerada como una masa puntual, la expresión quedaría:

$$\boxed{\vec{g}_T = -G \frac{M_T}{r^2} \vec{U}_r - G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \vec{U}_r =} \text{ (vector campo)}$$

$$\boxed{g_T = G \frac{M_T}{r^2} = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2}} \text{ (módulo del vector campo)}$$

Pero, ¿es esto lo que les ocurre a los astronautas en la Estación Espacial Internacional (ISS) o en los transbordadores espaciales? La respuesta es que no, puesto que estos ingenios están muy cerca de la tierra, a menos de 500 Km de altura, y allí la gravedad, como fácilmente puedes comprobar, es sólo algo inferior a $g_0 = 9{,}8\ m/s^2$.

Entonces, ¿qué es lo que sucede para que los astronautas estén flotando en el aire? Lo que sucede es que los astronautas se encuentran, al igual que sus naves, en movimiento circular alrededor de la tierra, y la fuerza gravitatoria (su peso) se está empleando en proporcionarles la aceleración centrípeta que necesitan para mantenerse en órbita. Esto produce una pérdida aparente de peso similar a lo que ocurre en un ascensor cuando inicia la bajada o se descuelga, ó cuando salta al vacío un paracaidista antes de abrir su paracaídas. Por tanto se trata de es una ingravidez aparenteque aparece siempre que se esté en caída libre.


Selectivitat.io

## 12. ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE LOS CAMPOS GRAVITATORIO Y ELÉCTRICO

Si analizamos las expresiones de la fuerza de interacción gravitatoria entre dos masas (Ley de Gravitación Universal) y de la fuerza de interacción eléctrica entre dos cargas (Ley de Coulomb) podemos deducir ciertas analogías y ciertas diferencias entre ellas:

Fuerza gravitatoria:

$\vec{F} = -G \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2} \vec{U}_r$ (vector fuerza) $F = G \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$ (módulo del vector fuerza)

$\vec{g} = -G \frac{M_1}{r^2} \vec{U}_r$ (vector campo) $g = G \frac{M_1}{r^2}$ (módulo del vector campo)

Fuerza electrostática

$\vec{F} = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \vec{U}_r$ (vector fuerza) $F = K \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2}$ (módulo del vector fuerza)

$\vec{E} = K \frac{Q_1}{r^2} \vec{U}_r$ (vector campo) $E = K \frac{|Q_1|}{r^2}$ (módulo del vector campo)

**ANALOGÍAS:**

1ª.- En ambos la fuerza es directamente proporcional al producto de las magnitudes de los cuerpos que interaccionan e inversa mente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

2ª.- Ambos son campos de fuerzas centrales, es decir, su dirección es la línea que une los cuerpos que interaccionan, masas en el campo gravitatorio y cargas en el campo eléctrico.

3ª.- Son fuerzas de largo alcance puesto que la interacción entre dos masas o entre dos cargas se anula a distancia infinita.

4ª.- No son fuerzas por contacto, sino interacciones a distancia que actúan tanto en el vacío como en presencia de medios materiales. La presencia de una masa o de una carga produce una "deformación" que dota al espacio de cierta propiedad en cada uno de sus puntos, creándose, de este modo, los campos correspondientes. Esta "deformación" del espacio sólo se pone de manifiesto al situar en esos puntos a una masa o a una carga testigo.

5ª.- Ambos son campos de fuerzas conservativos, es decir, ambos admiten una energía potencial asociada y es posible definir en ellos un potencial gravitatorio y eléctrico respectivamente.

6ª.- En ambos campos las líneas de fuerza son radiales y abiertas.


Selectivitat.io

**DIFERENCIAS**

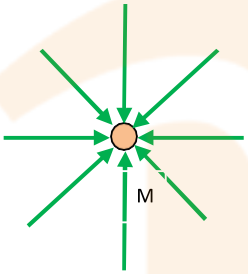
1ª.- La fuente del campo gravitatorio es la masa, y la del campo eléctrico es la carga. Sólo hay un tipo de masa, pero hay dos tipos de carga, positiva y negativa.

2ª.- Las fuerzas de interacción gravitatoria son siempre de atracción, mientras que la fuerzas de interacción electrostática pueden ser de atracción (cargas de distinto signo) o de repulsión (cargas del mismo signo).

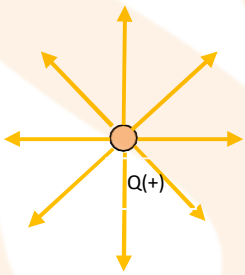
3ª.- Al ser G una constante universal, la interacción gravitatoria entre dos masas es independiente del medio en el que se encuentren estas; pero no ocurre lo mismo con las cargas ya que el valor de K es diferente para cada medio, siendo máximo en el vacío. Por tanto, la interacción eléctrica entre dos cargas es máxima cuando estas están en el vacío.

4ª.- La fuerza eléctrica es mucho mayor que la fuerza gravitatoria. Así por ejemplo la constante $K_0 = 9.10^9$ UI, mientras que la constante $G = 6{,}67.10^{-11}$ UI, y esto supone que el valor de $K_0$ es aproximadamente $10^{20}$ veces superior.

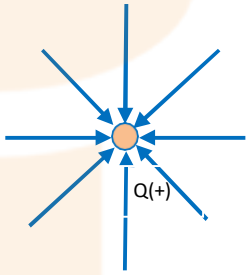
5ª.- Las líneas de fuerza del campo gravitatorio siempre son entrantes en la masa que lo crea (se dice que las masas son sumideros de líneas de fuerza), mientras que las líneas de fuerza del campo electrostático son entrantes si la carga es negativa (sumideros de líneas de campo) o salientes si la carga es positiva (fuentes de líneas de campo).




Líneas de fuerza de una masa puntual

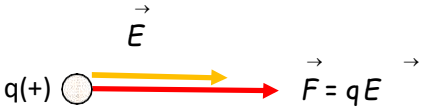


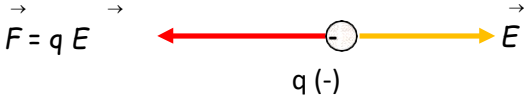

Líneas de fuerza de una carga puntual +




Líneas de fuerza de una carga puntual -

6ª.- La fuerza que actúa sobre una masa colocada en un campo gravitatorio siempre tiene la misma dirección y sentido que el campo gravitatorio. Sin embargo, en un campo eléctrico la fuerza que actúa sobre una carga positiva sí tiene la misma dirección y sentido que el campo eléctrico, pero tiene sentido contrario si el campo actúa sobre una carga negativa.






Selectivitat.io

7ª.- La energía potencial gravitatoria es negativa pues corresponde a una fuerza atractiva, mientras que la energía potencial eléctrica puede ser positiva (cargas del mismo signo que se repelen) o negativa (cargas de distinto signo que se atraen).

$$E_{p.grav} = -G\frac{M.m}{r} \qquad E_p = K\frac{Q.q}{r}$$

8ª.- El campo gravitatorio creado por una masa no se altera por el hecho de que la masa esté moviéndose. Sin embargo, cuando una carga está moviéndose, además del campo electrostático aparece un nuevo campo de fuerzas: la interacción magnética.


Selectivitat.io