

# FÍSICA 2<sup>º</sup> BACHILLERATO

Manuel Sánchez Abián

2025-2026

# Índice

<b>1</b>	<b>Campo Gravitatorio</b>	<b>1</b>
1.1	Leyes de Kepler	1
1.1.1	Primera Ley de Kepler	1
1.1.2	Segunda Ley de Kepler	1
1.1.3	Tercera Ley de Kepler	2
1.2	Demostración de la Tercera Ley de Kepler	2
1.3	El Momento Angular de los Planetas	2
1.3.1	Teorema de Conservación del Momento Angular	2
1.4	Ley de Gravitación Universal	2
1.5	Campo Gravitatorio	3
1.6	Fuerzas Conservativas y Energías	4
1.6.1	Energía Potencial Gravitatoria	4
1.7	¿Por qué la $E_p$ también es $m \cdot g \cdot h$ ?	4
1.7.1	Potencial Gravitatorio	4
1.7.2	Trabajo	4
1.8	Satélites	5
1.8.1	Velocidad Orbital	5
1.8.2	Satélites Geoestacionarios	5
1.8.3	Velocidad de Escape	5
1.8.4	Energía Mecánica de un Satélite en Órbita	5
1.8.5	Principio de Conservación de la Energía	5
1.9	Resumen de Fórmulas	7
<b>2</b>	<b>Campo Eléctrico</b>	<b>8</b>
2.1	Cargas Puntuales	8
2.1.1	Ley de Coulomb	8
2.1.2	Líneas de Campo Eléctrico	8
2.1.3	Intensidad del Campo Eléctrico	9
2.1.4	Principio de Superposición	9
2.2	Energías y Fuerzas Conservativas	9
2.2.1	Potencial Gravitatorio ( $V$ )	9
2.2.2	Trabajo ( $W$ )	9
2.3	Campos Eléctricos Uniformes	10
2.3.1	Líneas de Campo	10
2.3.2	Movimiento de Carga en Campo Uniforme	10
2.3.3	Campo: Láminas Infinitas	10
2.3.4	Campo: Hilo Infinito	11
2.4	Resumen de Fórmulas	12

<b>3</b>	<b>Campo Magnético</b>	<b>13</b>
3.1	Ley de Lorentz	13
3.2	Características del Movimiento	14
3.3	El Selector de Velocidades	15
3.4	Espectrómetro de Masas	15
3.5	Ciclotrón	16
3.6	Resumen de Fórmulas	18

# 1. CAMPO GRAVITATORIO

## 1.1. LEYES DE KEPLER

Las leyes de Kepler son 3 leyes acerca de las **órbitas** de los **planetas** alrededor del Sol, que se deducen a partir de la ley de gravitación universal.

### 1.1.1. Primera Ley de Kepler

Los planetas describen **órbitas elípticas** alrededor del Sol. El sol está situado en uno de los **focos** de la elipse.

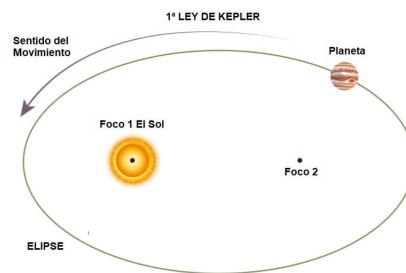


Figura 1: Primera Ley de Kepler

### 1.1.2. Segunda Ley de Kepler

Los planetas giran con una **velocidad areolar constante**, es decir, el vector posición (radiovector) barre áreas iguales en tiempos iguales:

$$\frac{dA}{dt} = \text{cte.}$$

Esto quiere decir que la velocidad en el **perihelio** (punto más cercano al Sol) es **mayor** que la velocidad en el **afelio** (punto más lejano al Sol).

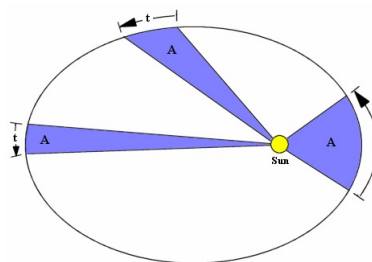


Figura 2: Segunda Ley de Kepler

### 1.1.3. Tercera Ley de Kepler

El **cuadrado** de los **periodos** (T) alrededor del Sol es **proporcional** al **cubo** de los **radios** medios de sus órbitas (r). Es decir:

$$T^2 = k \cdot r^3 \quad (1)$$

Siendo k una **constante** igual para **todos los planetas**.

## 1.2. DEMOSTRACIÓN DE LA TERCERA LEY DE KEPLER

$$\left. \begin{aligned} G \frac{Mm}{r^2} &= m \frac{v^2}{r} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{r} \\ T &= \frac{2\pi r}{v} \Rightarrow v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \end{aligned} \right\} \frac{GM}{r} = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3 \quad (2)$$

## 1.3. EL MOMENTO ANGULAR DE LOS PLANETAS

Cuando una partícula describe un movimiento curvilíneo, su estado de **movimiento** se caracteriza por su **momento angular** o momento cinético ( $\vec{L}$ ):

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} \quad (3)$$

$$L = r \cdot m \cdot v \cdot \sin \alpha$$

### 1.3.1. Teorema de Conservación del Momento Angular

Fórmulas utilizadas:  $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ ,  $\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$ ,  $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ ,  $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt} (\vec{r} \times m\vec{v}) = m \left( \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{v} + \vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} \right) = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{M} \quad (4)$$

Si  $\vec{M} = 0 \Rightarrow \vec{L} = \text{cte.}$

## 1.4. LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Conocida como la ley gravitacional de Newton, se expresa el **valor** de la **fuerza de atracción** entre dos masas. La **dirección** del vector es la recta que une las dos partículas. Las **fuerzas** que interactúan entre dos masas tienen el mismo **módulo** y **dirección** pero distinto sentido.

$$\vec{F} = -G \frac{Mm}{r^2} \vec{u}_r \quad (5)$$

Donde la Constante de Gravitación Universal es  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

## 1.5. CAMPO GRAVITATORIO

El campo gravitatorio se define como la **perturbación** que la masa produce en el **espacio** que le **rodea** por el hecho de tener masa.

### I. LÍNEAS DE CAMPO GRAVITATORIO:

- a) Son **radiales** y van **dirigidos a la masa**.
- b) Son **tangentes** en cada punto al vector intensidad de campo y tienen su mismo sentido.
- c) No tienen **origen definido** (ya que el alcance del campo gravitatorio es infinito), pero terminan en puntos materiales denominados sumideros de campo.
- d) La **densidad** de líneas de campo es **proporcional** al módulo de la **intensidad** del campo.
- e) Las líneas de campo **no se pueden cortar**, ya que eso significaría que en un punto del espacio, el campo tendría dos valores distintos.

### II. INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO ( $\vec{g}$ )

$$\vec{g} = -G \frac{M}{r^2} \vec{u}_r \implies g = G \frac{M}{r^2} \quad (6)$$

### III. PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

- a) La intensidad del campo gravitatorio en un punto es la **suma vectorial** de los campos que crearía cada cuerpo aislado.
- b) De igual forma, la fuerza gravitatoria que siente una masa debido a otras masas será la **suma** de las fuerzas que cada una ejerzan:

$$\vec{F}_T = \Sigma F_i \quad (7)$$

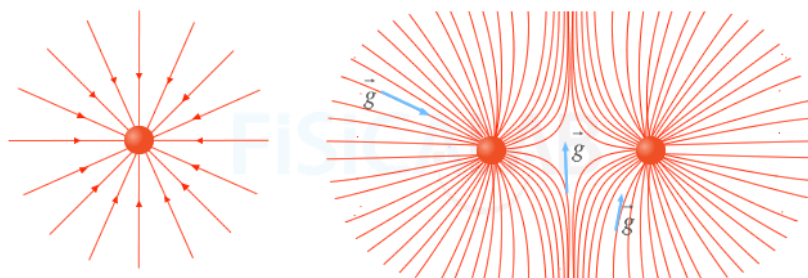


Figura 3: Líneas de Campo Gravitatorio

## 1.6. FUERZAS CONSERVATIVAS Y ENERGÍAS

Las **fuerzas** son **conservativas** cuando el trabajo que realiza dicha fuerza para trasladar una partícula de un punto A a otro B depende de los puntos inicial y final, pero **no** del camino **seguido**. En este caso, la **gravedad** es una fuerza **conservativa**.

### 1.6.1. Energía Potencial Gravitatoria

La energía potencial gravitatoria ( $E_p$ ) es aquella que posee una masa  $m$  por **encontrarse** bajo la **influencia** gravitatoria de otra masa  $M$  u otras masas. También puede definirse como el **trabajo** que realizaría el campo gravitatorio para **trasladar** una masa  $m$  desde un punto hasta el **infinito**.

$$E_p = -G \frac{Mm}{r} \quad (8)$$

## 1.7. ¿POR QUÉ LA $E_p$ TAMBIÉN ES $m \cdot g \cdot h$ ?

Con esta expresión, se asume que  $h \ll R_t$

$$\begin{aligned} \Delta E_p &= E_{pB} - E_{pA} = -G \frac{Mm}{R_t + h} + G \frac{Mm}{R_t} \\ &= GMm \left( \frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_t + h} \right) = \frac{GMmh}{R_t(R_t + h \simeq R_t)} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Delta E_p = \frac{GM}{R_t^2} mh = mgh \quad (10)$$

### 1.7.1. Potencial Gravitatorio

El potencial gravitatorio ( $V$ ) en un punto se define como la **energía potencial gravitatoria** por **unidad** de masa en dicho punto:

$$E_p = m \cdot V \implies V = -G \frac{M}{r} \quad (11)$$

### 1.7.2. Trabajo

Si  $W > 0$ , el trabajo lo realiza el **campo gravitatorio**. Si  $W < 0$  el trabajo lo realiza una **fuerza exterior al campo**. Si  $W = 0$  **no** se realiza **trabajo**. El trabajo para llevar una partícula de masa  $m$  desde un punto A hasta uno B será:

- I.  $W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p$
- II.  $W_{A \rightarrow B} = -m\Delta V$

## 1.8. SATÉLITES

### 1.8.1. Velocidad Orbital

Es la **velocidad necesaria** para que una masa  $m$  (como un satélite, tanto natural como artificial) describa una **órbita circular** alrededor de **otra**  $M$ , para lo que la fuerza **centrípeta** debe ser **igual** que la fuerza **gravitatoria**.

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \implies v_{\text{orbital}} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (12)$$

### 1.8.2. Satélites Geoestacionarios

Se llaman **satélites geosíncronos** a aquellos satélites cuyo periodo de revolución coincide con el de la Tierra:  $T = 24\text{h} = 86400\text{s}$ . Si además estos satélites están todo el rato **sobre el mismo punto** de la superficie terrestre (para lo que es necesario que su plano orbital coincida con el ecuador) entonces se denominan **satélites geoestacionarios**.

### 1.8.3. Velocidad de Escape

La velocidad de escape es la velocidad mínima que debe adquirir un cuerpo para escapar de la **atracción gravitatoria del planeta** en cuyas **proximidades** se encuentre. Esto significa que  $E_p = 0$ ,  $E_c = 0$  y  $E_m = 0$ .

$$v_{\text{escape}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \sqrt{2} \cdot v_{\text{orbital}} \quad (13)$$

### 1.8.4. Energía Mecánica de un Satélite en Órbita

La energía mecánica de un satélite en órbita, también denominada energía orbital, es la **suma** de la energía **potencial** y **cinética**:

$$E_m = -G \frac{Mm}{2r} \quad (14)$$

### 1.8.5. Principio de Conservación de la Energía

Es la energía que debemos **comunicarle** a un satélite para que **pase** de una **órbita** a otra, donde las energías mecánicas son distintas.

$$W_{\text{com}} + E_{pA} + E_{cA} = E_{cB} + E_{pB} \quad (15)$$

De esta fórmula se puede **deducir** la fórmula de la **ENERGÍA DE SATELIZACIÓN** (energía necesaria para poner un satélite en órbita):

$$E_{\text{satelización}} = GMm \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{2 \cdot r_B} \right) \quad (16)$$



### Conceptos Clave: Gravitación.

- **Distancia  $r$ :** En todas las fórmulas,  $r$  es la distancia al **centro** del planeta. Si te dan la altura  $h$ , recuerda:  $r = R_T + h$ .
- **Signos:** La Energía Potencial ( $E_p$ ) y el Potencial ( $V$ ) son siempre **negativos** (el 0 está en el infinito).

## 1.9. RESUMEN DE FÓRMULAS

Magnitud / Concepto	Fórmula	Unidades (SI)
LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL	$\vec{F} = -G \frac{Mm}{r^2} \vec{u}_r$	N
INTENSIDAD DEL CAMPO GRAVITATORIO	$\vec{g} = -G \frac{M}{r^2} \vec{u}_r$	$\text{m s}^{-2}$
CTE. GRAV. UNIVERSAL	$G = 6,67 \times 10^{-11}$	$\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
MOMENTO ANGULAR	$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$
ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA	$E_p = -G \frac{Mm}{r} = mV$	J
POTENCIAL GRAVITATORIO	$V = -G \frac{M}{r}$	$\text{J kg}^{-1}$
TRABAJO DEL CAMPO GRAVITATORIO	$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p = -m\Delta V$	J
VELOCIDAD ORBITAL	$v_{\text{orbital}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$	$\text{m s}^{-1}$
VELOCIDAD DE ESCAPE	$v_{\text{escape}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$	$\text{m s}^{-1}$
ENERGÍA MECÁNICA EN ÓRBITA	$E_m = -G \frac{Mm}{2r}$	J
ENERGÍA DE SATELIZACIÓN	$GMm \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{2r_B} \right)$	J
PERIODO ORBITAL	$T = \frac{2\pi r}{v}$	s

Tabla 1: Formulario de Gravedad

## 2. CAMPO ELÉCTRICO

### 2.1. CARGAS PUNTUALES

#### 2.1.1. Ley de Coulomb

La fuerza de **atracción o repulsión** entre 2 cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas e **inversamente proporcional** al cuadrado de la distancia que las separa.

$$\vec{F} = k \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r \implies F = k \frac{Qq}{r^2} \quad (17)$$

Donde  $k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$  en el vacío, que está relacionada con  $\varepsilon$  (permitividad eléctrica):

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

#### 2.1.2. Líneas de Campo Eléctrico

El campo eléctrico es la **perturbación** que genera un cuerpo por tener carga eléctrica.

- I. Si la carga es **positiva**, el campo eléctrico es de **repulsión**.
- II. Si la carga es **negativa**, el campo eléctrico es de **atracción**.

El campo eléctrico, igual que el campo gravitatorio, es un **campo conservativo**.

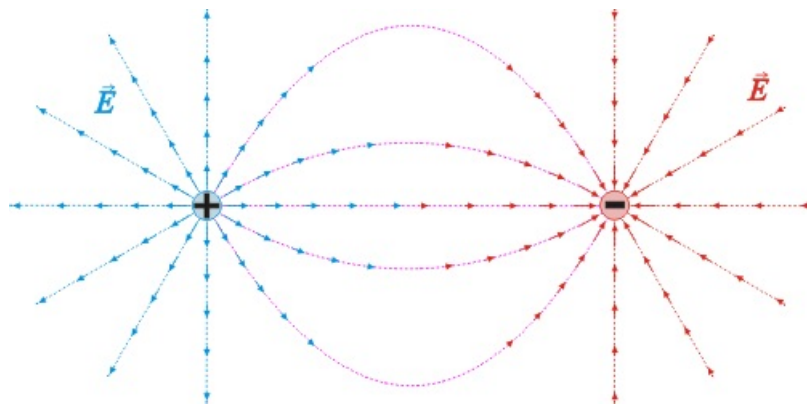


Figura 4: Líneas de Campo Magnético

### 2.1.3. Intensidad del Campo Eléctrico

La **intensidad** de campo eléctrico ( $\vec{E}$ ) (también llamada simplemente campo eléctrico) en un punto se define como la **fuerza** que se ejerce por **unidad** de **carga** positiva situada en dicho punto:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (18)$$

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{u}_r \implies E = k \frac{Q}{r^2} \quad (19)$$

### 2.1.4. Principio de Superposición

$$\vec{F}_T = \Sigma F_i \quad (20)$$

$$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{r} \quad (21)$$

## 2.2. ENERGÍAS Y FUERZAS CONSERVATIVAS

La energía potencial eléctrica ( $E_p$ ) es aquella que **posee** una carga por **encontrarse** bajo la influencia **eléctrica** de otra carga u otras cargas:

$$E_p = k \frac{Qq}{r} \quad (22)$$

### 2.2.1. Potencial Gravitatorio ( $V$ )

Es el trabajo **realizado** por el campo eléctrico para **trasladar** una **unidad** de carga desde un punto hasta el **infinito**.

$$V = \frac{E_p}{q} \implies V = k \frac{Q}{r} \quad (23)$$

### 2.2.2. Trabajo ( $W$ )

La fuerza **eléctrica** (al igual que la fuerza gravitatoria) es una **fuerza central**, ya que está dirigida hacia un punto. El campo eléctrico (igual que el campo gravitatorio) es un **campo conservativo**. El trabajo realizado por el campo **depende** solo de su estado **inicial** y **final**, no depende de la **trayectoria**.

$$W_{A \rightarrow B} = E_{pA} - E_{pB} \implies W_{A \rightarrow B} = -q(V_B - V_A) \quad (24)$$

## 2.3. CAMPOS ELÉCTRICOS UNIFORMES

### 2.3.1. Líneas de Campo

Las líneas de campo de un campo eléctrico **uniforme** son **líneas** de campo **paralelas**.

### 2.3.2. Movimiento de Carga en Campo Uniforme

Cuando trabajamos con un campo eléctrico uniforme, al ser **constante**, aplicaremos también la **segunda ley de Newton**,  $\Sigma F = ma$ , siendo esta **aceleración** también **uniforme**.

Por lo tanto, podremos utilizar en este caso las **fórmulas del MRUA**:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ v &= v_0 + a t \\ v^2 &= v_0^2 + 2 a \Delta x \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Podemos resolverlo también mediante el **Principio de Conservación de la Energía Mecánica**, al ser la fuerza eléctrica **conservativa**:

$$\Delta E_m = 0 \implies \Delta E_c = -\Delta E_p \quad (26)$$

### 2.3.3. Campo: Láminas Infinitas

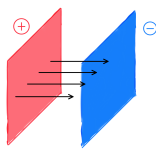


Figura 6: Campo Eléctrico Creado por Láminas Infinitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (27)$$

Siendo  $\sigma$  las cargas por superficie  $\frac{\text{cargas (C)}}{\text{superficie (m}^2\text{)}}$  y  $\varepsilon$  depende del material.

### 2.3.4. Campo: Hilo Infinito

Las líneas de campo salen radialmente del hilo (suponiendo  $\lambda$  positivo).

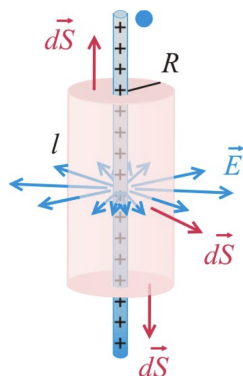


Figura 7: Campo Eléctrico Creado por Un Hilo Infinito

$$E = 2k \frac{\lambda}{r} = \frac{\lambda}{2\epsilon\pi r} \quad (28)$$

Siendo  $\lambda$  las cargas por longitud  $\frac{\text{cargas (C)}}{\text{longitud (m)}}$  y  $\epsilon$  depende del material.

**El Electronvoltio.** Un Electronvoltio se define como la energía que tiene un electrón sometido a una diferencia de potencial de 1 V.

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

#### Consejos Clave: Campo Eléctrico.

- **Vectores vs Escalares:**
  - Fuerza ( $\vec{F}$ ) y Campo ( $\vec{E}$ ) son **vectores**
  - Potencial ( $V$ ) y Energía ( $E_p$ ) son **escalares**
- **Signo de la carga:** En las fórmulas escalares ( $V, E_p$ ), **incluye** el signo de la carga. En las vectoriales, usa el signo para determinar el sentido del vector.

## 2.4. RESUMEN DE FÓRMULAS

Magnitud / Concepto	Fórmula	Unidades (SI)
LEY DE COULOMB	$\vec{F} = k \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r$	N
CONSTANTE DE COULOMB	$k = 9 \times 10^9 = \frac{1}{4\pi\epsilon}$	N m <sup>2</sup> C <sup>-2</sup>
INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO (DEFINICIÓN)	$\vec{F} = q\vec{E}$	N
CAMPO ELÉCTRICO CREADO POR UNA CARGA PUNTUAL	$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$	N C <sup>-1</sup>
PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN	$\vec{F}_T = \sum_i \vec{F}_i$	N
ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA	$E_p = k \frac{Qq}{r}$	J
POTENCIAL ELÉCTRICO	$V = \frac{E_p}{q} = k \frac{Q}{r}$	V = J C <sup>-1</sup>
TRABAJO DEL CAMPO ELÉCTRICO	$W_{A \rightarrow B} = E_{pA} - E_{pB} = -q(V_B - V_A)$	J
CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME	$E = \frac{F}{q}$	N C <sup>-1</sup>
CAMPO CREADO POR LÁMINAS INFINITAS	$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$	N C <sup>-1</sup>
CAMPO CREADO POR UN HILO INFINITO	$E = 2k \frac{\lambda}{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon r}$	N C <sup>-1</sup>
RELACIÓN ENTRE $V$ Y $E$	$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{r}$	—
ELECTRON-VOLTIO	1 eV = 1,602 × 10 <sup>-19</sup>	J

Tabla 2: Formulario del Campo Eléctrico

### 3. CAMPO MAGNÉTICO

El campo **magnético** es la **perturbación** que genera un **imán** o **cargas en movimiento** (corrientes eléctricas). El campo **magnético**, a diferencia de los campos gravitatorios y eléctricos, es un campo **no conservativo**, ya que el trabajo **sí** depende de la **trayectoria**.

La **intensidad** de campo magnético  $B$  es una magnitud **vectorial**, cuya unidad en el **Sistema Internacional** es el **Tesla** (T). El **tesla** es una unidad muy **grande**. Por ejemplo, el campo magnético terrestre es del orden de  $10^{-5}$  T. Por eso a veces se usa una **unidad menor**, denominada **Gauss** (G):  $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$ .

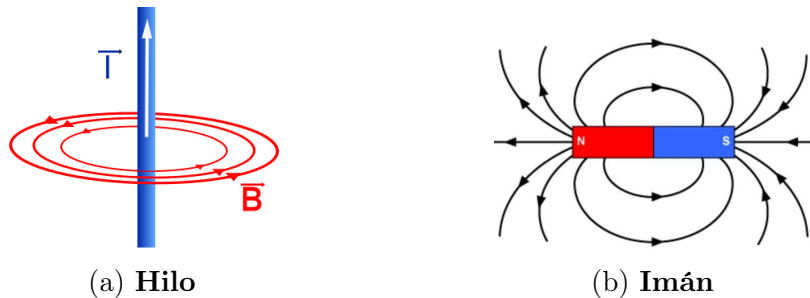


Figura 8: Líneas de Campo Creados por un Hilo y por un Imán

#### 3.1. LEY DE LORENTZ

$$\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \implies F_m = |q| \cdot v \cdot B \sin \alpha \quad (29)$$

Siendo  $\alpha$  el **ángulo** que forman  $v$  y  $B$ . La unidad de  $B$  son los Teslas (T), que son:  $\text{N C}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}$ .

- I. Si  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  son **PARALELOS**:  
 $\alpha = 0^\circ \implies F_m = 0$ , por lo tanto, la carga describirá un **MRU**.
- II. Si  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  son **PERPENDICULARES**, la **fuerza** será **máxima** y la carga describirá un **MCU**.
- III. En el **resto** de casos, la carga describirá un **movimiento helicoidal** (véase fig. 11).

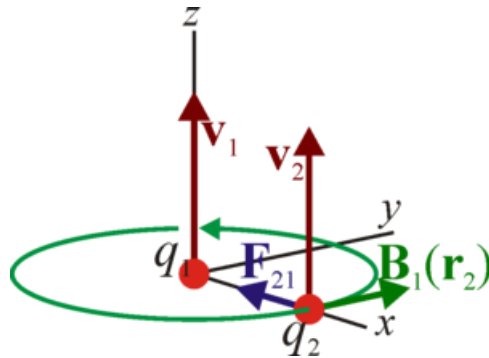
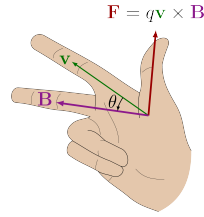
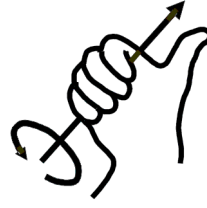


Figura 9: Vectores del Campo Magnético





(a) Regla de la Mano Derecha



(b) Regla del Sacacorchos

Figura 10: Reglas de la Mano Derecha y del Sacacorchos

La regla de la **mano derecha** (o del **sacacorchos**) determina **sentidos vectoriales**. Para el sacacorchos, giramos de  $\vec{v}$  a  $\vec{B}$ . Para la mano derecha, véase la figura 10a.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

La partícula que penetra con **velocidad perpendicular** al campo magnético. El **radio** de la circunferencia  $r$  que describe una partícula cargada **depende** de su **velocidad**. El **periodo** ( $T$ ) del movimiento circular lo podemos **calcular** también. Para las partículas que penetran con un **ángulo**  $\alpha$  **cualquiera** con el campo magnético se pueden **descomponer** en **ejes perpendiculares** y **paralelos** al campo magnético.

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \quad (30)$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (31)$$

$$\vec{v} = \vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{\parallel} = v_{\perp} \cdot \vec{u}_{\perp} + v_{\parallel} \cdot \vec{u}_{\parallel} \quad (32)$$

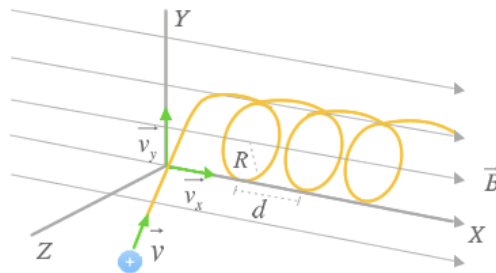


Figura 11: Movimiento Descrito por una Carga con una Velocidad bajo un Ángulo

### 3.3. EL SELECTOR DE VELOCIDADES

El selector de velocidades utiliza campos **eléctrico** y **magnético** cruzados. Si las **partículas cargadas** entran con cierta **velocidad**, las fuerzas se **cancelan**. Esto permite que sigan una **trayectoria rectilínea** y **atraviesen** el dispositivo **sin desviarse**.

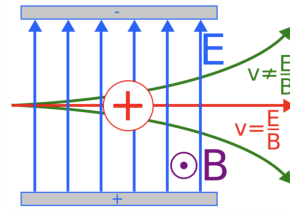


Figura 12: Selector de Velocidades

Para seleccionar las partículas que tienen una **cierta velocidad**, la fuerza eléctrica y magnética han de ser **iguales**:

$$\vec{F}_E = \vec{F}_B \implies E = vB \implies v = \frac{E}{B} \quad (33)$$

### 3.4. ESPECTRÓMETRO DE MASAS

Es un **dispositivo** que empleado para **separar partículas** cargadas que poseen **distinta relación** ( $\frac{\text{carga}}{\text{masa}}$ ). El espectrómetro de masas consta básicamente de un **selector de velocidades** (que permite seleccionar las partículas con una determinada velocidad) seguido de una **zona** en la que se establece un **campo magnético**. En esta zona, la partícula **cargada** describe una trayectoria **circular**, y un a placa **fotográfica** recoge el **impacto** de las partículas después de **describir una semicircunferencia**. De esta forma podemos medir el **radio** de curvatura y calcular la relación  $\frac{\text{carga}}{\text{masa}}$ .

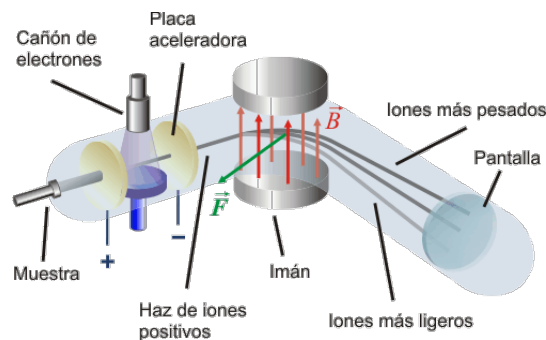


Figura 13: Espectrómetro de Masas

### 3.5. CICLOTRÓN

Un ciclotrón es un **acelerador de partículas** cargadas que después suelen ser utilizadas para producir **reacciones nucleares** o para **obtener información** sobre otros núcleos.

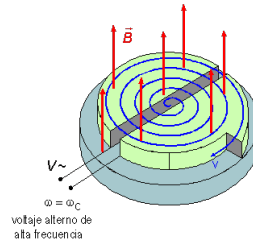


Figura 14: Ciclotrón

- I. Un ciclotrón tiene dos **partes** llamadas "*Des*" (por su forma). Son recipientes **semicirculares** al **vacío**, colocados **perpendicularmente** a un **campo  $B$** . Las partículas describen **trayectorias** circulares de radio **creciente**. Las dos "*Des*",  $D_1$  y  $D_2$ , están separadas cierta **distancia**.
- II. En ese espacio se **acelera** la partícula mediante una **diferencia de potencial**, **aumentando** su radio, hasta que alcanza un **radio máximo** denominado **radio de extracción**.
- III. El **periodo** es **independiente** de la velocidad de la partícula y de su **radio**, por lo que será **constante** en el **ciclotrón**. Tras una serie de **vueltas**, la partícula **alcanzará** una energía **cinética** máxima con la que saldrá del **ciclotrón**.

$$\left. \begin{aligned} |q| B v &= m \frac{v^2}{r} \implies \frac{r}{v} = \frac{m}{|q| B} \\ T &= \frac{2\pi r}{v} \end{aligned} \right\} T = \frac{2\pi m}{|q| B} \quad (34)$$

La frecuencia en la que hay que cambiar la **polaridad** de la corriente en el ciclotrón, es el periodo de la partícula dividido entre 2. A esta frecuencia se llama **radiofrecuencia**:  $\frac{T}{2} = \frac{\pi m}{|q| B}$ :

$$f_{\text{radiofrecuencia}} = \frac{|q| B}{\pi m} \quad (35)$$

### Consejos Clave: Campo Magnético.

- **Trabajo Nulo:** La fuerza magnética **nunca** realiza trabajo ( $W = 0$ ) porque es siempre perpendicular a la velocidad.
- **Energía Cinética:** Como no hay trabajo, la fuerza magnética **no cambia** la rapidez (módulo de la velocidad), solo curva la trayectoria.  
 $E_c = \text{cte.}$

### 3.6. RESUMEN DE FÓRMULAS

Magnitud / Concepto	Fórmula	Unidades (SI)
LEY DE LORENTZ (VECTORIAL)	$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B})$	N
LEY DE LORENTZ (MÓDULO)	$F_m =  q vB \sin \alpha$	N
RADIO DE LA TRAYECTORIA	$r = \frac{mv}{ q B}$	m
PERIODO (PARTÍCULA / CICLOTRÓN)	$T = \frac{2\pi m}{ q B}$	s
FRECUENCIA (CICLOTRÓN)	$f = \frac{ q B}{2\pi m}$	Hz
VELOCIDAD ANGULAR	$\omega = \frac{ q B}{m}$	rad s <sup>-1</sup>
PASO DE LA HÉLICE	$p = v_{\parallel} \cdot T$	m
SELECTOR DE VELOCIDADES	$v = \frac{E}{B}$	m s <sup>-1</sup>
ENERGÍA CINÉTICA MÁXIMA (CICLOTRÓN)	$E_{c,\max} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$	J

Tabla 3: Formulario de Campo Magnético