

# Movimiento de una carga

Canseco Carbajal Leonardo & Romero Gonzalez Luis Angel

11 de febrero de 2021

## Resumen

**Motivaciones y justificaciones del proyecto** Si bien es sabido que las propiedades magnéticas fueron descubiertas desde hace varios siglos pues se tiene registro que personajes como Tales de Mileto ya hacían referencias a este fenómeno desde la Antigüedad, tenemos que por otro lado la física involucrada en su estudio formal es relativamente reciente pues fue hasta los años 1800 que Hans Christian Oersted (un pronunciado físico y químico danés) a través de un experimento analizó como un hilo conductor en el cual circulaba una corriente eléctrica provocaba una perturbación magnética a su alrededor y podía mover una aguja magnética que estaba cerca. Dicho análisis fue la piedra angular para que en años posteriores científicos de la talla de Maxwell, Faraday o Ampere. En este trabajo se presenta un modelo que explica el fenómeno del movimiento de una carga. Esta hipótesis está basada en la mecánica del medio continuo y fue comparada con mediciones experimentales en aviones obtenidas a lo largo de los años. Los resultados de este trabajo pretenden si bien no enunciar una forma más rigurosa de explicar la interacción de una carga con un campo magnético, si se quiere llegar a una expresión que resulte más intuitiva y en cierto grado interactiva.

## Introducción a los orígenes del magnetismo

**Breve historia del magnetismo.** Históricamente : el nombre de magnetita viene de la ciudad magnesias de Asia menor. y fueron los griegos los primeros que tienen testimonios escritos sobre este mineral empezando con Tales de Mileto que describía a la magnetita con propiedades de atraer al hierro.

También Sócrates hablaba de este mineral de color negro explicando ya entonces el fenómeno de inducción magnética.

A la civilización china se les imputa dos hechos relevantes: el descubrimiento del campo magnético terrestre y la invención de la brújula.

Los fenicios utilizaron largamente la brújula en sus viajes comerciales en sus naves.

Cristóbal Colón utilizó la brújula en su viaje al nuevo mundo describiendo cómo la aguja imantada no marca exactamente el norte geográfico sino que existe una “desviación magnética”

Por este hecho quizás sea Colón el personaje hispánico más mencionado en los manuales de física.

Oersted describió cómo el paso de la corriente eléctrica a través de un cable conductor desviaba la aguja imantada de una brújula en dirección perpendicular al cable conductor.

Mostrando la existencia de una relación entre electricidad y magnetismo, a partir de este momento aparecería una nueva disciplina; el electromagnetismo.

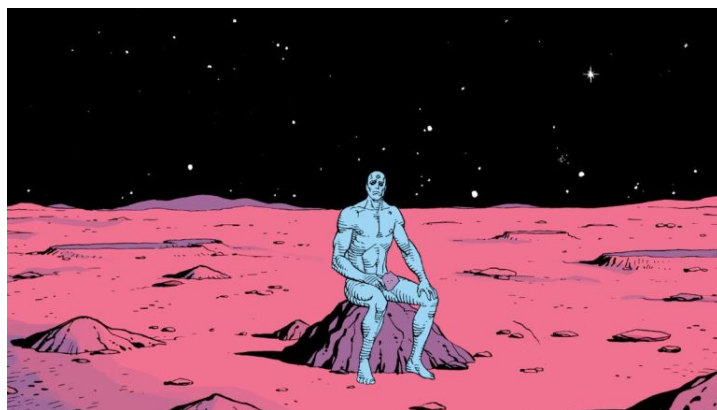
Ampere explicó que dos corrientes eléctricas con la misma dirección y en hilos paralelos se atraen, mientras que si son de direcciones opuestas se repelen.

Faraday observó que siempre que el imán o la bobina estuvieran en movimiento; se genera corriente eléctrica, fenómeno que posteriormente llamaríamos corriente inducida ; a la vez que vislumbró las líneas de fuerza magnética al esparcir limadura de hierro en un papel colocado sobre un imán.

Maxwell demostró la relación entre las fuerzas eléctricas y magnéticas y descubrió que la luz es precisamente un fenómeno electromagnético.

Hertz descubrió las ondas electromagnéticas y Marconi junto a Tesla supieron utilizarlas para el uso de la “radio”.

La idea general del proyecto es crear un programa tal que nos permita observar el movimiento de una partícula al interactuar con un campo, simultáneamente se tiene como punto de partida que nuestro algoritmo sea lo más sencillo y general para que el usuario pueda no solo operarlo con facilidad sino que entienda los conceptos utilizados para llegar a la respuesta y de no entender el algoritmo físico-matemático que conduce a la solución de su problema pues entonces que a través de la gráfica sea capaz de visualizar lo que sucede en el planteamiento teórico.



**Figura 1:** Una de las preguntas más importantes para el desarrollo científico es ¿Por qué sucede esto? o ¿Cuál es el fundamento tras dicho fenómeno?. Gracias a este fundamento varias ramas del estudio como la física, la biología y hasta la geografía tuvieron origen. [ ? ]

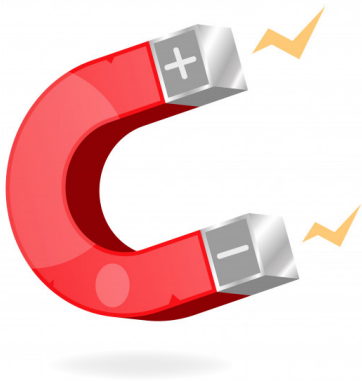
## Desarrollo / Métodos y Resultados

### Campos magneticos

Para comprender de una manera mas completa lo que se quiere exponer con el programa proporcionado, consideramos importante antes explicar de manera teorica algunos conceptos ya que así el lector podra tener una mejor o al menos una idea mas clara de donde se obtubieron los recursos necesarios para abordar los planteamientos con relacion al movimiento de una particula.. El campo magnetico puede interpretarse como un campo vectorial que tiene una caracteristica peculiar (al menos para los fines de esta investigacion teorica):

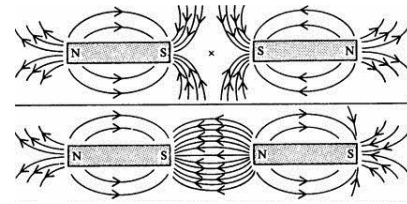
El campo solo ejerce fuerzas sobre particulas con carga y que esten en movimiento ya que cuando estan en reposo nuestro campo no imprime sobre ellas ninguna fuerza.

Estos campos pueden ser generados por cargas en movimiento o por corrientes que circulan en un conductor. El ejemplo clasico de una fuente capaz de generar un campo magnetico es el iman.



**Figura 2:** Los imanes tambien tienen un polo norte y sur, aunque lo rompiéras infinitas veces los trozos restantes seguirian teniendo dos polos. Sea pie de figura [? ]

Se ha desarrollado un experimento en el cual al posicionar 2 imanes relativamente cerca uno el otro con su polo opuesto respecto al otro y colocamos limadura de hierro en medio de ellos, observamos que este material empezara a agruparse formando lo que parece ser líneas curvas.



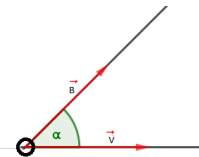
**Figura 3:** Por convencion se ha establecido que las líneas del campo magnetico "salen" del polo Norte e ingresan al Sur. Sea pie de figura, ademas aqui esta el caso en que las caras de los imanes no son opuestas. [? ]

Ahora, de estas líneas podemos obtener el vector del campo magnetico denotado como  $\vec{B}$  que es tangente a las líneas anteriormente mencionadas y como pudimos ver en el grafico, son muchas líneas del campo por lo que tambien deberian existir gran cantidad de tangentes  $\vec{B}$  a estas, así que podemos calcular el vector en diferentes localizaciones de estas líneas.

### Influencia del campo en una carga

Ahora sabiendo un poco de teoríal general, veremos como es que este fenomeno puede influenciar a otros cuerpos en su comportamiento. Para abordar este tipo de problemas evitando caer en ambigüedades o escritos que puedan causarle confusion al lector, hemos decidido que para explicar esta seccion partiremos de un ejemplo o cso general y analizaremos las características que se presentan.

Entonces imaginemos que tenemos un vector de campo magnetico  $\vec{B}$  y una carga que ingresa al campo con una velocidad (ya que como se menciono anteriormente si dicha particula se encuentra en reposo pues no habria una interaccion que analizar) que tambien resulta ser un vector que lo denominaremos como  $\vec{v}$ .



**Figura 4:** En esta imagen nota como la particula que ingresa al campo es el vertice donde ambos vectores coinciden [? ]

Una vez comprendido esto, para calcular esta fuerza magnetica que denotamos bajo la siguiente expresion  $\vec{F}_B$  es equivalente al siguiente producto

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Dandole nombre a los factores de forma explicita:

$q$  = El valor relacionado a la carga de la particula

$\vec{v}$  = vector velocidad de la particula

$\vec{B}$  = vector del campo magnetico

**NOTA IMPORTANTE PARA EL LECTOR;** la operacion realizada entre los dos vectores ( $\vec{v} \times \vec{B}$ ) es lo que se conoce como producto cruz, esto para evitar malos entendidos o absurdos.

## Propiedades de la fuerza magnetica

**Esta fuerza al igual que la gravitatoria o la nuclear fuerte y debil tienen sus detalles a los cuales es importante darles un pequeño vistazo pues de omitirlos podriamos llegar a caer en algun tipo de confusion que le dificultara al lector proseguir con la lectura del presente escrito.**

### Punto 1) Modulos

El modulo (tambien conocido como norma o tamaño del vector que no es otra cosa que la raíz de la suma de los componentes del vector al cuadrado  $|x| = \sqrt{x^2 + y^2 + \dots + z^2}$  valido para n dimensiones) de la fuerza magnetica que se ejerce sobre la partícula resulta ser proporcional al  $\sin \theta$  donde recordemos que  $\theta$  era el ángulo que se formaba (o el ángulo de separación formado) entre el vector velocidad y el del campo magnetico. Dicho modulo lo representaremos con la simbología  $\vec{F}_B$ . Nota además que tiene una forma que nos recuerda al valor absoluto y esto es porque recordando la definición más simple de norma, es el tamaño del vector. Entonces como no hay tamaños negativos (o al menos no convencionalmente) y el valor absoluto todo lo vuelve positivo, de ahí nace la relación entre norma y valor absoluto.

Retomando, dicha norma se obtiene a través de la siguiente fórmula

$$|\vec{F}_B| = q \cdot |\vec{V}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin(\theta)$$

De donde podemos enunciar los siguientes significados:

$q$  = valor asociado a la carga de la partícula

$|\vec{V}|$  = norma del vector velocidad

$|\vec{B}|$  = norma del campo magnetico

$\sin(\theta)$  = seno el ángulo de separación entre los vectores del campo magnetico y el de la velocidad

**NOTA IMPORTANTE PARA EL LECTOR:** si bien esta expresión es correcta, si nos detenemos a hacer un análisis un poco más profundo de las circunstancias, notemos que estamos buscando la norma de un vector así que por definición esto también lo podemos ver como la raíz de la suma de los componentes al cuadrado, es decir, :

$$|\vec{F}_B| = \sqrt{(F_{Bx})^2 + (F_{By})^2 + (F_{Bz})^2}$$

\*\*\*\*\*Nuevamente, en este caso en particular se está tomando la idea de que nuestro campo solo está definido en 3 dimensiones (por eso tiene 3 componentes x,y,z que representan sus valores en cada eje), pero esto puede generalizarse para campos con n dimensiones.\*\*\*\*\*

### Punto 2) Carga paralela al vector magnetico

Si por alguna razón arbitraria nuestra partícula se estuviera moviendo de forma paralela al vector del campo magnetico entonces tendrías que la fuerza magnetica que se le imprime es nula (valor de cero)

$$\vec{F}_B = 0$$

Tendremos el mismo resultado cuando nuevamente, el vector velocidad de la partícula y el del campo magnetico son paralelos, pero además tienen direcciones opuestas

Nota: la siguiente propiedad no es tan relevante dentro del proyecto por temas de simplicidad sin embargo igual se enunciará para no dejar una sensación de vacío al lector.

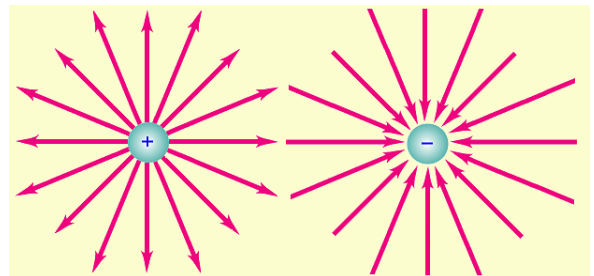
### Punto 3) Angulos entre ejes

Esta característica enuncia que si el vector de la velocidad de la partícula forma un ángulo  $\theta$  distinto del 0 y 180, la fuerza magnetica es perpendicular a los vectores Velocidad de la partícula y campo magnetico.

## Campo electrico

Primeramente, un campo electrico de forma general es toda una región de espacio que rodea a un cuerpo que este cargado (a este lo llamaremos la carga fuente) tal que cuando se coloque en dicho espacio una carga de prueba (puede ser positiva o negativa) existiran fuerzas que se imprimiran sobre nuestra partícula.

Al igual que con los campos magneticos, nuestra pregunta ahora debería ser ¿Como es que estos se forman o bajo que condiciones se crean? Bueno, pues estos campos se generan al rededor de cuanto menos una sola carga (independientemente de si es positiva o negativa). Un campo electrico formado por una sola carga luce así:



**Figura 5: Aquí tenemos ambos casos en los cuales se forman en torno a una carga positiva y negativa respectivamente. [?]**

Si observamos la imagen, nos daremos cuenta que existen una especie de flechas que son la representación gráfica de las líneas de nuestro campo magnetico y análogamente a lo expuesto con el campo electrico, se ha establecido por convención que aquellas líneas que entran lo hacen en las cargas negativas, caso contrario estas líneas salen de la carga positiva.

Ahora para analizar la interacción que tienen estos campos con cargas de prueba, discutiremos los siguientes casos:

### Caso 1)

La carga de prueba está en un campo formado por una carga negativa. De esta situación aun podemos sacar subcasos pues dependiendo del signo que nuestra carga de prueba posea, será la manera en que se vea afectada ya que si tiene signo opuesto al campo (positivo) esta experimentará una fuerza de atracción hacia la carga generadora el campo y en cualquier parte de dicho campo se seguirán atrayendo.

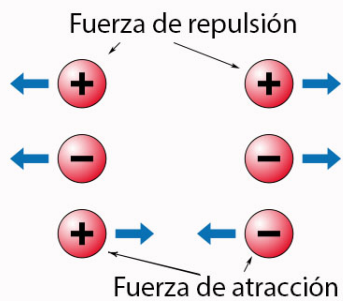
Para el otro subcaso en que la carga fuente sea negativa, pero la carga de prueba tenga signo igual (es decir negativo) entonces no habría

una atracción sino una fuerza de repulsión que igualmente se experimentaría en todo el campo.

#### Caso 2)

Ahora supongamos una carga fuente positiva que forma nuestro campo y dentro de este tenemos la existencia de una carga con signo opuesto a la fuente (negativo), entonces existiría una fuerza de atracción que estaría presente en cualquier punto del campo. De manera similar si nuestra carga de prueba fuese positiva (mismo signo que la fuente) entonces habría una fuerza de repulsión que existiría en cualquier punto del campo ya señalado previamente.

Observación importante: estas fuerzas de atracción y repulsión entre cargas iguales/diferentes es la conocida "atracción magnética" que comúnmente podemos observar en cuerpos como los imanes que dependiendo el caso pueden atraer otros cuerpos o repelelos.



**Figura 6:** Cargas de mismo signo se repelen y si tienen diferente se atraen [? ]

Si ahora retiráramos la carga de prueba del campo nos encontraríamos que en dicha localización el campo seguiría presente, de esto mismo se sigue que la intensidad que este tenga depende de la ubicación alrededor de la carga fuente. En palabras más sencillas, dependiendo de la localización de nuestra carga de prueba (ya retirada) el campo podría ser más o menos intenso. A esta intensidad se le denota con la letra  $E$ .

Al igual que con el campo magnético (como ya habíamos mencionado antes) las líneas del campo eléctrico también se pueden representar mediante gráficos o dibujos, pero estas no pueden ser expresadas aleatoriamente ya que deben seguir ciertos requisitos que explicaremos a continuación:

- 1) Las líneas comienzan en cargas positivas y tienen su final en las cargas negativas.
- 2) La dirección de dichas líneas será iniciada por una punta en el extremo de las mismas y esto es igual al vector  $\vec{E}$ .
- 3) Las líneas de campo no cruzan.

Por último, para concluir esta sección hablaremos acerca de cómo se calcula la intensidad del campo eléctrico de la que hemos estado hablando. Para realizar este cálculo es preciso utilizar la siguiente fórmula

mula

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

Los componentes de la anterior expresión son los siguientes:

$E$  = la intensidad del campo eléctrico en un punto.

$Q$  = valor de la carga fuente

$r$  = distancia de la carga al punto donde se quiere calcular la intensidad del campo

$K$  = constante de proporcionalidad (valor aproximado de  $9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ )

## Diferencias entre ambas fuerzas

**El propósito del trabajo es centrarse en el estudio del campo magnético para ello es preciso señalar al campo eléctrico porque mucha gente tiende a confundirlos debido a eso decidimos explicar las características de cada uno para hacer notar que aunque están fuertemente relacionados uno con el otro no son lo mismo.**

1) En el campo eléctrico tenemos que el vector de la fuerza eléctrica  $\vec{F}_e$  actúa a lo largo de la dirección del vector campo eléctrico  $\vec{E}$  mientras que por el otro lado en el campo magnético, el vector de la fuerza magnética  $\vec{F}_B$  actúa perpendicularmente al vector campo magnético  $\vec{B}$ .

Es decir, imaginemos un vector del campo eléctrico  $\vec{E}$  paralelo a este debe existir nuestra carga de prueba y para que sobre esta misma se imprima una fuerza, el vector fuerza magnética  $\vec{B}$  también debe ser paralelo al campo eléctrico además de tener el mismo sentido. En el caso de que esta carga de prueba fuera negativa, la fuerza ejercida sobre esta sería de igual modo paralela a  $\vec{E}$ , pero tendría un sentido opuesto al de este vector. Por ello decimos que el vector fuerza eléctrica actúa a lo largo de la dirección del campo magnético.

A diferencia de este ejemplo, en el campo magnético  $B$  cuando entra una partícula con dirección  $\vec{V}$  como ya habíamos expuesto con anterioridad estos 2 vectores forman un ángulo de separación  $\theta$ , si dicho ángulo no era 0 o 180 (que son los casos nulos) tendrían entonces que sobre la partícula se ejerce perpendicularmente una fuerza magnética a nuestra carga positiva  $\vec{F}_B$  esta fuerza como se dijo es perpendicular, pero en el caso de que la carga de prueba es positiva pues esta fuerza entre comillas apunta hacia arriba (el sentido positivo del eje de las  $y$ ). Mientras que si consideramos el caso analógico donde nuestra carga de prueba tiene un signo negativo y cumple el requerimiento de que el valor de  $\theta$  no es ni 0 o 180, tendríamos que esta vez el vector  $\vec{F}_B$  sigue siendo ortogonal, pero esta vez apunta hacia abajo (el sentido negativo del eje  $y$ ), es decir, invierte su sentido.

#### 2) Condiciones para influenciar el movimiento de una carga

Como vimos en una sección anterior, una de las condiciones fundamentales para que en el campo magnético exista una interacción entre la partícula y el campo, es que en primer lugar nuestra carga esté en movimiento de lo contrario no tendremos nada que analizar (o al menos no para nosotros que queremos analizar el movimiento) contrariamente para el campo eléctrico esto no es necesario porque la fuerza eléctrica actúa sobre una partícula con carga sin importar si está en un primer momento o no en movimiento.



Esta diferencia se hace mucho mas explicita o tangible si analizamos las dos ecuaciones de ambas fuerzas que son:

$$\vec{F}_e = \vec{E} \cdot q_0$$

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Nota como el de la fuerza magnetica si esta en funcion del tiempo mientras que el de la fuerza electrica no depende de este valor porque no siquiera esta dentro de la formula sino unicamente depende de la carga de la partícula  $q_0$  y del valor del campo  $\vec{B}$ .

Por lo que no importa si  $v = 0$  o no, porque en cualquier caso  $\vec{F}_e$  no forzosamente sera 0

3) El trabajo \*\*\*\*Estas observaciones no forman parte importante del trabajo, pero por completitud de la teoria igual se abordara

En la fuerza electrica al desplazar la carga prueba se efectua un trabajo mientras que en la fuerza magnetica al hacer lo mismo no se hace ningun trabajo. Vemos que al igual que en el punto 2) es mas facil percatarnos de esta diferencia si observamos las ecuaciones correspondientes al trabajo en cada una.

$$W = |\vec{F}| |\vec{d}| \cos \theta$$

$$W_{F_B} = |\vec{F}_B| |\vec{d}| \cos(\theta)$$

\*\*\*\*\*ATENCION: LA SIGUIENTE AFIRMACION ES LA CLAVE PARA ENTENDER LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACION DEL PROYECTO EN PYTHON, EN CASO DE NO ENTENDERLA TE SOLICITAMOS ENCARECIDAMENTE EN RELEERLA HASTA COMPRENDER\*\*\*\*\*

Imaginemos entonces un campo magnetico positivo en el eje z y una partícula positiva que ingresa en el con velocidad  $\vec{V}$  ahora la fuerza magnetica al ser perpendicular a la velocidad (por definicion) e igual a todos los puntos del campo magnetico hara que la partícula describa un movimiento circular. Ademas en cada punto de la trayectoria la velocidad sera tangente y la Fuerza Magnetica estara apuntando hacia el centro (podemos decir que esto se trata de una fuerza centripeta)

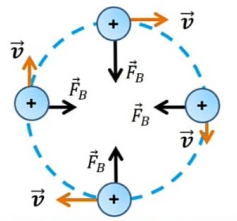


Figura 7: Este es el movimiento que analizaremos en el programa y el resultado que se espera obtener [?]

Entonces como la partícula esta describiendo una trayectoria circular y en cada punto la fuerza magnetica sera perpendicular a la velocidad por lo tanto el angulo que forma es fuerza magnetica con el desplazamiento es de 90 grados

\*\*\*\*\*Regresando a la idea del trabajo teniamos que su formula para el caso del campo magnetico era

$$W_{F_B} = |\vec{F}_B| |\vec{d}| \cos(\theta)$$

Y en esta ultima parte llegamos a que  $\theta = 0$  reemplazamos ese valor en la formula

$$W_{F_B} = |\vec{F}_B| |\vec{d}| \cos(0)$$

Y ahora si evaluamos este valor nos damos cuenta que  $\cos 90 = 0$  Reemplazando nuevamente en nuestra expresion

$$W_{F_B} = |\vec{F}_B| |\vec{d}| \cdot 0$$

Y sabemos que cualquier numero multiplicado por 0 es igual a cero por lo que el resultado de esta ecuacion es 0

$$W_{F_B} = 0$$

Asi entonces no solo dimos con la idea fundamental que explicara el movimiento esperado en nuestro programa de python sino tambien demostramos que la fuerza magnetica no efectua trabajo cuando se desplaza una partícula con carga. (Por eso es que nuestro  $W_{F_B}$  es 0 porque no hay trabajo realizado)

Empecemos entonces ahora hablar del proyecto en si. El proyecto tiene como finalidad el analisis de movimiento de una partícula que entra en contacto con un campo magnetico con valor en su componente z con el objetivo de resolver el problema seleccionado, comprobar si la teoria expuesta con anterioridad es correcta y lo mas importante hacer que esta representacion grafica del problema sea entendible para el usuario. Para hacer el programa mas sencillo/digerible en un primer momento se penso en utilizar como punto de partida las formulas fisicas y matematicas conocidas en el bachillerato y la secundaria (que bajo el programa de educacion publica mexicana deben de contemplarse) ya que tienen menor cantidad de variables y en cierta medida son mas faciles de observar.

Sin embargo tan pronto como empezamos la investigacion pudimos darnos cuenta que estas ecuaciones no estaban mal, pero para la finalidad el proyecto podrian resultar insuficientes para poder llegar a un resultado que pudiera considerarse satisfactorio. El porque paso esto es algo sencillo de explicar pues las ecuaciones halladas estan pensadas para explicar el movimiento en una o cuanto maximo 2 dimensiones mientras que nosotros queremos expresar a nuestro campo y partícula en 3 dimensiones ademas de que dichas funciones tampoco consideraban una variable con respecto al tiempo cosa que si necesitaremos al graficar los puntos del movimiento de nuestra partícula esto debido a que nuestra partícula no estara fija sino que empezara a describir segun el resultado esperado una circunferencia o cuanto menos una trayectoria eliptica por lo tanto empezamos a tratar de expandir (si se puede decir asi) el concepto de las formulas halladas a otras dimensiones.

Es entonces que recurrimos esencialmente a 3 formulas que son:  
La segunda ley de Newton

$$F = ma$$

La aceleracion en su expresion de derivada

$$a = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

La ecuacion de la Fuerza de Lorentz

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Sustituyendo la expresion de la aceleracion y haciendo el producto cruz obtenemos las siguientes expresiones:

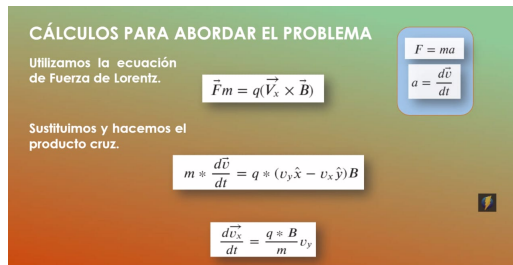


Figura 8: Expresiones con las que partimos [? ]

Haciendo productos y multiplicaciones podemos llegar a las expresiones que van a determinar la velocidad y la posicion en funcion del tiempo, lo cual si nos ayudara a graficar lo deseado

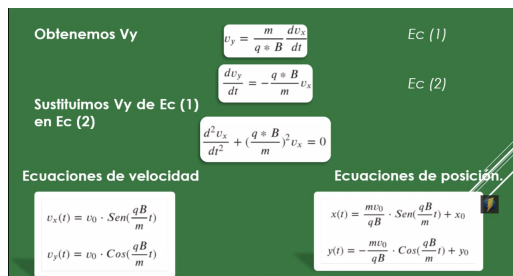


Figura 9: Expresiones a las que llegamos [? ]

Despues de obtener estas formulas el programa basicamente se compone de la siguiente manera, primero importamos las librerias y funciones que vayamos a necesitar para operarlo de entre ellas podemos destacar matplotlib parahacer graficos, math para obtener senos y cosenos, raw input que le permite al usuario ingresar cadenas de texto.

Una vez esta librerias estan importadas, lo que se sigue es definir cuales son los datos que se van a definir entre los que estan la carga, la masa, la posicion de la carga y la del campo magnetico (estos ultimos son arrays), el programa ya les asigna un valor predefinido, pero atravez del comando raw input el usuario puede reescribir los valores pero

con las coniciones especificadas en cada dato (como que no puede ser 0, que debe tener tres entradas, etc) finalmente el programa como esta reescribiendo los valores con lineas de texto, usamos la funcion para separar los valores (sin contar los espacios) y finalmente se utiliza el codigo len para contar la cantidad de elementos (cuando son arrays) y al detectar que si son 3 elementos (3 dimensiones) convierte las entradas en datos flotantes (numeros) lo analogo se hace con cada dato del ejercicio.

Una vez hemos definido ya todas nuestras variables con los datos pertinentes y siguiendo las indicaciones del programa usando la definicion de norma obtenemos la magnitud del vector campo magnetico y la del vector velocidad para asi entonces poder meter dichos datos dentro de nuestras expresiones de movimiento anteriormente vistas.

De aqui se divide el problema en 2, la grafica sin animacion y con animacion cuyo principio es basicamente el mismo ya que en ambos casos usamos el linspace para formar un parametro epuntos para graficar, unicamante colocamos de tal manera nuestros valores de posicion en funcion de tiempo de tal manera que cada uno represente la entrada de un nuevo array el cual ira variando en el tiempo y generara tantos puntos como nos indique formando para ambos casos o una grafica sin animacion o una animada. Lo que haceque esta ultima se mueva es que usamos una libreria llamada animation de matplotlib mientras que en laotra solo usamos el clasico plot. En ambos casos llegamos a un programa que grafica la trayectoria de nuestra partícula y como lo anunciamos hace varias secciones al unir dichos puntos obtenemos una circunferencia.

## 1. Bibliografia

- edu13. (2019). Ley de Coulomb. 8/02/21, de unipython Sitio web: <https://unipython.com/ley-de-coulomb-ejercicios-con-python/>
- Villegas Eduardo. (2011). Movimiento. En Modelizacion en python(250-260). Colombia: Colombia.
- Cano Juan Luis. (2011). Visualizando lineas de campo. 08/02/21, de pybonacci Sitio web: <https://pybonacci.org/2012/11/13/visualizando-lineas-de-corriente-en-python-con-matplotlib/>
- Desconocido. (2020). Campo magnetico. 08/02/21, de Tutores con codigo Sitio web: <https://tutoresconcodigo.com/campo-electrico-de-dos-cargas/>
- Bulacios Juan Pablo. (2019). Prueba python. 10/02/21, de SCRIBD Sitio web: <https://es.scribd.com/document/397074744/Prueba-Python>
- SCIELO MEXICO. (2007). Algoritmo de verlet. 11/02/21, de SciELO Sitio web: [scielo.org.mx](https://scielo.org.mx)
- Desconocido. (2020). Movimiento de una partícula. 05/02/21, de Aulafacil Sitio web: [aulafacil.com](https://aulafacil.com)