

ESTUDIO DE LA FUERZA LORENTZ POR MEDIO DE UN CAÑÓN DE RIEL EXPERIMENTAL

STUDY OF LORENTZ FORCE BY MEANS OF AN EXPERIMENTAL RAILGUN

Andersson Alfonso Rodriguez Moreno, Manuela Guisao Sepulveda.

Instituto de Física, Universidad de Antioquia U de A, calle 70 A N0. 52-21, Medellín-Colombia.

Resumen

“ inicios del siglo XX se creó el cañón de riel, un objeto compuesto por dos rieles que van conectados a una fuente y un proyectil que al asegurar contacto con los rieles cierra el circuito permitiendo el paso de la corriente y generando así, un campo magnético alrededor de los rieles, en este cañón hay una interacción entre un campo magnético y un campo eléctrico asegurando la aparición del fenómeno físico conocido como la fuerza Lorentz, la cual provoca que un proyectil en un cañón de riel salga altas velocidades producto de la interacción de estos campos.

En este proyecto se decidió hacer un cañón de riel experimental para así poder estudiar el comportamiento de la fuerza Lorentz y cómo surge esta experimentalmente, se pudo medir el recorrido y velocidad del proyectil, obteniendo una fuerza experimental (fuerza Lorentz) de $5,4\text{E-}03\text{ N}$, la fuerza teórica esperada (segunda ley de Newton) era de $2,2\text{E-}03\text{ N}$, claramente se encontró una diferencia entre estas medidas que pudo ser causada por tales como discontinuidad entre los materiales, condiciones no ideales en el laboratorio, entre otras cosas.

Palabras Clave: “fuerza Lorentz, cañón de riel, campo magnético, campo eléctrico, conductores.”

Abstract

“At the beginning of the twentieth century the rail gun was created, an object composed of two rails that are connected to a source and a projectile that by ensuring contact with the rails closes the circuit allowing the passage of current and thus generating a magnetic field around the rails, in this gun there is an interaction between a magnetic field and an electric field ensuring the appearance of the physical phenomenon known as the Lorentz force, which causes a projectile in a rail gun out high speeds product of the interaction of these fields.

In this project it was decided to make an experimental rail gun in order to study the behavior of the Lorentz force and how it arises experimentally, it was possible to measure the path and speed of the projectile, obtaining an experimental force (Lorentz force) of $5.4\text{E-}03\text{ N}$, the expected theoretical force (Newton's second law) was $2.2\text{E-}03\text{ N}$, clearly there was a difference between these measurements that could be caused by such as discontinuity between materials, non-ideal conditions in the laboratory, like other things”.

Keywords: “Lorentz force, rail gun, magnetic field, electric field, conductors.”

1. Introducción

Las fuerzas electromagnéticas se pueden manipular y aplicar en dispositivos prácticos. En este contexto, el estudio de las fuerzas Lorentz en un cañón de riel es objeto de estudio interesante ya que tiene muchas aplicaciones como lo son el lanzamiento de proyectiles, motores eléctricos, aceleradores de partículas, galvanómetros, entre otros [3].

En 1918, el inventor francés Louis Octave Fauchon-Villeplee creó el cañón de riel, un dispositivo compuesto por dos conductores paralelos que actúan como rieles, alimentados por una corriente eléctrica. El circuito se cierra cuando se coloca un proyectil que hace contacto con los dos conductores. La corriente interactúa con los campos magnéticos generados por los conductores, esta interacción causa la aparición de la fuerza Lorentz haciendo que el proyectil se impulse linealmente en dirección de los rieles.

Esta fuerza fue descubierta en 1895 por el físico holandés Hendrick Lorentz, siendo esta fundamental en la teoría del electromagnetismo y esta describe como los campos magnéticos y eléctricos actúan sobre partículas cargadas presentes[6]. Una carga que se mueve paralelo a una corriente de otras cargas experimenta una fuerza perpendicular a su propia velocidad, interactuando así con el campo magnético y eléctrico presente haciéndose responsable del movimiento de la carga presente [3].

Sin embargo, construir este cañón de riel experimental es todo un reto porque presenta desafíos tales como la construcción de un campo magnético uniforme que aumente la eficacia del ya generado por la corriente, la conductividad entre los rieles y el proyectil, las resistencias presentes, la geometría en los conductores, entre otros.

En este proyecto se tiene como objetivo principal comprender el fenómeno de las

fuerzas Lorentz y su aplicación en el movimiento de partículas cargadas sometidas en un campo magnético y eléctrico.

Como objetivos específicos se quiere:

- Construir un cañón de riel efectivo en el que se pueda medir el recorrido del proyectil de prueba sobre los rieles.
- Medir la velocidad del proyectil y su masa para calcular la fuerza ejercida por el campo magnético y eléctrico sobre este

2. Marco teórico

La fuerza de Lorentz esta descrita por [2]:

$$\vec{F} = q. (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

La ecuación (1), representa la fuerza sobre una partícula cargada que en nuestro caso es el proyectil, y se pueden analizar dos componentes de esta, el primer componente es la eléctrica la cual esta paralela a el proyectil y a la fuerza, la segunda componente es la expresión principal para el análisis en este proyecto el cual es la fuerza magnética [2]

$$\vec{F}_m = q. (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

La cual es perpendicular al plano en el que se genera el campo magnético y la velocidad del proyectil [2,3].

3. Materiales y Métodos

- Placa de madera
- Fuente.
- Cables:
 - 2 Banana – Caimán.
 - 2 Caimán – Caimán.
- Alambres de cobre, (2 paralelos)
- Alambre de prueba.
- Silicona.

- Imanes.
- Tracker
- Phyphox.
- Multímetro.
- Tornillo Micrométrico.
- Flexómetro.
- Lija.

3.1 Procedimiento experimental

Un cañón de riel dependiendo de su intención se construye de diversas maneras, en este caso particular, el fin principal es manipular y encontrar efectos de la fuerza de Lorentz, de los imanes y de la colocación de los alambres. La figura 1 nos ilustra un poco mejor la situación.

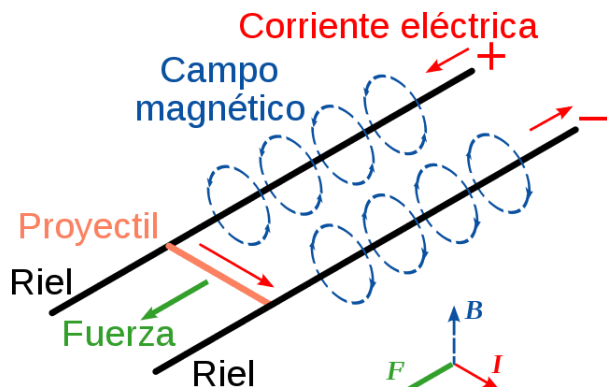


Figura 1. Cañón de riel de “Wikipedia” [5]

La unión de los dos alambres hacia la fuente forma un circuito abierto, pero cuando se coloca el alambre de prueba que en este caso es el proyectil, se cierra el circuito, estos alambres se ponen sobre una tabla de madera para tener un soporte.

La fuerza de Lorentz aparece cuando se pegan los imanes por debajo de la tabla generando el campo magnético y a su vez encima de esta cuando se conecta el circuito a corriente que genera el campo eléctrico

Se deben lijar muy bien los dos alambres de cobre más el del proyectil para reducir fricciones y aumentar la conducción de corriente.

Se fijan (3.1 ± 0.1) A desde la fuente [1], una cantidad prudente y que no produce altas

temperaturas a nivel experimental, esta misma desprecia al no ser requisito y objetivo del experimento.

Se sitúan los alambres a (1.1 ± 0.1) cm de separación y se procede con dos métodos distintos que arrojan el mismo resultado los cuales son:

1. Arrojar el alambre y que apenas haga el contacto por fuerza de Lorentz empiece a desplazarse.
2. Que se sitúe el alambre antes de encender la fuente y que apenas se haga se haga una ligera presión para asegurar completamente el contacto del alambre, se mueva por medio del efecto de la fuerza Lorentz.

Claramente dependiendo del sentido de los imanes o de la corriente vamos a obtener un sentido de movimiento por la regla de la mano derecha, entonces se hace un ajuste de esa polaridad para no mover el circuito y desajustar el sistema.

Se aprecia mejor en la ecuación.

$$\vec{F} = \int_L \vec{I} \cdot d\vec{l} \times \vec{B} \quad (3)$$

Donde el $d\vec{l}$ es por donde va el sentido de la corriente y \vec{B} el vector del campo magnético, el producto cruz genera la dirección de esa fuerza. Por último, se realizan varios intentos y se graban para analizar datos con el software “tracker”.

4. Resultados y Discusión

En la medida en la que se organizaba el circuito y se encontraba una forma de asegurar la continuidad de este, se perdían otros factores como simetrías debido a la geometría y contacto del proyectil con los “rieles”, se probó de muchas maneras, las principales fueron:

a) Rieles en forma de alambre de cobre.

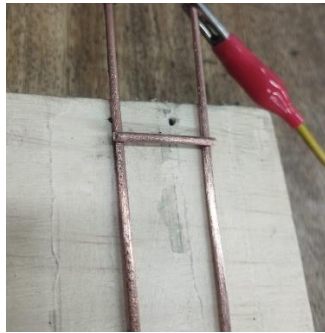


Figura 2. montaje rieles de cobre.

b) Rieles en forma de placas paralelas.

Una forma análoga a los alambres, pero tenemos placas y se intentó tanto paralelas planas como paralelas inclinadas cambiando el alambre de prueba por una bola conductora queriendo asegurar contacto, pero aun así se perdía también continuidad.

Se terminó optando por la opción clásica de alambres de cobre como los rieles con un proyectil que es el alambre de prueba y en la medida de lo posible se intentaba reducir errores, se lijaron los alambres por un tiempo prolongado, se aplanaron lo más que la instrumentación universitaria permitía, pues el calibre 12-14 igual era más o menos deformable, se lijaba tanto rieles como alambre de prueba en cada ensayo para evitar polvo y rugosidad producida por la corriente y contacto entre estos.

Los datos de posición, velocidad, y aceleración con respecto al tiempo arrojados por tracker son respectivamente los siguientes:

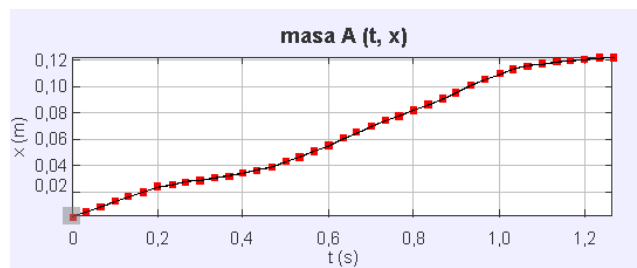


Figura 3. Gráfica de posición vs tiempo del proyectil.

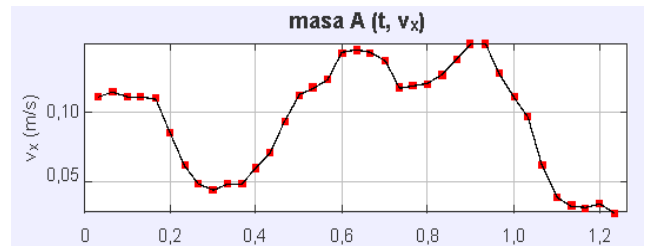


Figura 4. Gráfica de velocidad vs tiempo del proyectil.

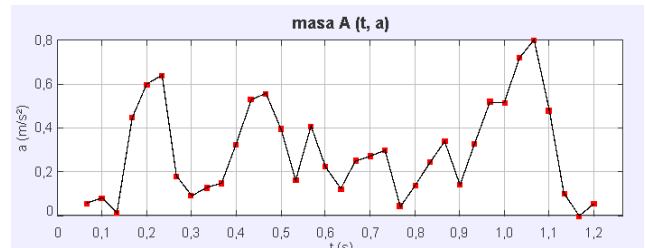


Figura 5. Gráfica de aceleración vs tiempo del proyectil.

Los datos numéricos tomados con tracker con un error de ± 0.01 son:

t[s]	x[m]	v[m/s]	a[m/s^2]
0,0E+00	2,4E-03	0,0E+00	NAN
3,3E-02	5,8E-03	1,1E-01	NAN
6,7E-02	9,8E-03	1,1E-01	5,6E-02
1,0E-01	1,3E-02	1,1E-01	8,2E-02
1,3E-01	1,7E-02	1,1E-01	1,4E-02
1,7E-01	2,1E-02	1,1E-01	4,5E-01
2,0E-01	2,5E-02	8,6E-02	6,0E-01
2,3E-01	2,7E-02	6,2E-02	6,4E-01
2,7E-01	2,9E-02	4,9E-02	1,8E-01
3,0E-01	3,0E-02	4,4E-02	9,1E-02
3,3E-01	3,2E-02	4,9E-02	1,3E-01
3,7E-01	3,3E-02	4,9E-02	1,5E-01
4,0E-01	3,5E-02	6,0E-02	3,3E-01
4,3E-01	3,7E-02	7,2E-02	5,3E-01
4,7E-01	4,0E-02	9,4E-02	5,6E-01
5,0E-01	4,3E-02	1,1E-01	3,9E-01
5,3E-01	4,7E-02	1,2E-01	1,6E-01
5,7E-01	5,1E-02	1,2E-01	4,1E-01
6,0E-01	5,6E-02	1,4E-01	2,2E-01
6,3E-01	6,1E-02	1,4E-01	1,2E-01
6,7E-01	6,5E-02	1,4E-01	2,5E-01
7,0E-01	7,0E-02	1,4E-01	2,7E-01

7,3E-01	7,4E-02	1,2E-01	3,0E-01
7,7E-01	7,8E-02	1,2E-01	4,3E-02
8,0E-01	8,2E-02	1,2E-01	1,4E-01
8,3E-01	8,6E-02	1,3E-01	2,4E-01
8,7E-01	9,1E-02	1,4E-01	3,4E-01
9,0E-01	9,5E-02	1,5E-01	1,4E-01
9,3E-01	1,0E-01	1,5E-01	3,3E-01
9,7E-01	1,1E-01	1,3E-01	5,2E-01
1,0E+00	1,1E-01	1,1E-01	5,2E-01
1,1E+00	1,2E-01	6,2E-02	8,0E-01
1,1E+00	1,2E-01	4,0E-02	4,8E-01
1,1E+00	1,2E-01	3,3E-02	1,0E-01
1,2E+00	1,2E-01	3,2E-02	0,0E+00
1,2E+00	1,2E-01	3,5E-02	5,4E-02
1,2E+00	1,2E-01	2,9E-02	NAN
1,3E+00	1,2E-01	0,0E+00	NAN

Tabla 1. Datos del proyectil.

Teniendo en cuenta estos resultados y ahora utilizando Phypox para medir el campo magnético de los imanes ubicados debajo de la tabla, obtenemos un flujo de campo constante de 4 mT tal cual descrito en fabrica.

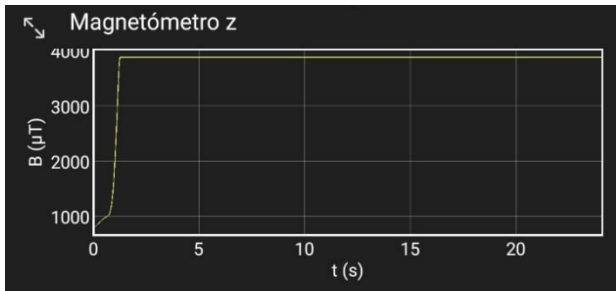


Figura 6. Gráfica del campo magnético.

Esta gráfica muestra que con el paso del tiempo el flujo se mantiene constante para la distribución de imanes debajo del cañón de riel (cabe aclarar que los imanes tenían una separación de (1.5 ± 0.1) cm), entonces si analizamos que esta separación es inapreciable en todo el recorrido, tomamos un campo constante y dado que la fuente nos da una corriente constante, asumimos que parte del flujo de la velocidad se afectara por la discontinuidad que en algunos puntos son difíciles de determinar con exactitud, pero estos puntos se pueden

estimar con esa misma variación de posición con respecto al tiempo.

Si traemos nuevamente la gráfica de la velocidad para explicar e ilustrar el fenómeno, se ve una disminución gradual debido a la discontinuidad mencionada en el segundo 0.18 aproximadamente, en ese momento se abre el circuito y se deja de impulsar por la fuerza de Lorentz, pero como viene desacelerando luego toma contacto con los rieles y se vuelve a impulsar, caso que se ve en el segundo 0.5 aproximadamente.

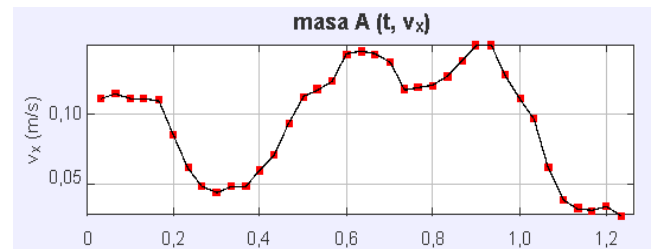


Figura 7. Gráfica de velocidad vs tiempo del proyectil.

Para la fuerza se considera un promedio de los datos arrojados de aceleración y se realiza el cálculo de $F = ma$ y se compara con la integral de (3).

Tomando el promedio de la aceleración, por medio de Newton se obtiene, con un error de ± 0.001 :

Aceleración Promedio	Fuerza promedio
3,1E-01	2,2E-03

Y con (2) usando como límites de la integral $L1 = 0, L2 = 0.43$ se obtiene una fuerza de $5,4E-03$ N

Realizando una diferencia entre las dos fuerzas obtenemos:

Fuerza promedio	Fuerza integral	Diferencia
2,2E-03 N	5,4E-03 N	3,0E-03 N

5. Conclusiones

- I. Se logra construir un cañón de riel en el que se puede medir el recorrido de la partícula con determinada precisión dadas las

herramientas presentadas, su efectividad disminuyó por problemas de discontinuidad y la fricción entre estos mismos alambres de riel y el proyectil que son del mismo material.

- II. La fuerza mientras hay continuidad se mantiene apreciablemente constante ya que no hay fuerzas externas o circunstancias que afecten el funcionamiento del sistema.
- III. La velocidad de la partícula se pudo medir y también se puede interpretar claramente el por qué la variación de esta, todo se resume en la discontinuidad de los rieles con el alambre de prueba, puesto que el campo siempre estuvo constante bajo medición de sensor.
- IV. En efecto se pierde energía, se pierde velocidad y hay instantes donde no se genera fuerza porque se abre el circuito, permitiendo que el objeto desacelere hasta que, por la misma inercia al seguir avanzando vuelve a tomar corriente en lo que el circuito casi instantáneamente se cierra.
- V. Se puede mejorar la precisión con mejores rieles y mejor objeto de prueba, algo un poco más pesado con una superficie con menos fricción asegurando la conductividad eléctrica, permitiendo un mayor tiempo de mediciones y modelamiento del fenómeno físico.

[3]

https://assets.cambridge.org/97811070/14022/frontmatter/9781107014022_frontmatter.pdf

[4]

http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/FISICA_LQ/Francis%20Sears%2C%20Mark%20Zemansky.pdf

[5]

https://es.wikipedia.org/wiki/Ca%C3%B1%C3%B3n_de_riel

[6]

[Cañón de riel - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

6. Referencias

[1]

https://drive.google.com/file/d/1UwGV8xJ1gg_hOpLd3QOS2ywepZ8W4Rbmu/view

[2]

<https://www.electricity-magnetism.org/es/que-es-la-fuerza-de-lorentz/>