

# Construcción y Análisis de un Medidor de Corriente Eléctrica Casero.

Ana María López Aristizábal<sup>1</sup> Nicolás Felipe Duarte Patiño<sup>2</sup> y Alan Stiven Camacho Restrepo<sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup> Universidad de Antioquia, Medellín, Instituto de física

<sup>1</sup>ana.lopeza1@udea.edu.co, <sup>2</sup>nicolas.duarte@udea.edu.co

<sup>3</sup>alans.camacho@udea.edu.co

Diciembre 11 de 2020

## Abstract

This article presents construction from home, and analysis of the meter movement of a galvanometer. For this purpose several experiments were carried out until the ideal for obtaining experimental measures that allowed to reach an expression that relates the inclination of the meter to the magnitude and direction of the current supplied. And for the mathematical physical analysis part, expressions were obtained that gives an idea of how and what are the factors responsible for the behavior of the final built assembly.

En el presente artículo se presentará la construcción, de forma casera, y el análisis, del movimiento del medidor de un galvanómetro. Para ello, se realizaron tres experimentos de los cuales, uno, fue el ideal para la toma de medidas experimentales que permitieron la obtención de una expresión que relaciona la inclinación del medidor con la magnitud de la corriente suministrada a la bobina. Y para la parte del análisis físico matemático, se obtuvo unas expresiones que da idea de cómo y de cuáles son los parámetros responsables de la inclinación del medidor.

## 1 Introducción

En la vida diaria de toda persona en el mundo actual (siglo XXI) existe una relación estrecha con la electrónica, esa rama de la física aplicada que permite la construcción de aparatos a través de las teorías de fenómenos eléctricos, que están presentes en cada momento y situación en el mundo moderno, permitiendo facilidad y comodidad al realizar muchas de las acciones que anteriormente eran tediosas y poco eficientes. Con las nuevas tecnologías electrónicas, el mundo comenzó a visualizar nuevas formas de comportamiento de la naturaleza (la electricidad), cómo eran aplicadas en la industria y cómo transformaban a las cosas más entretenidas y eficaces; y algunas de las ramas beneficiadas han sido la aplicación en las telecomunicaciones, que a través de la construcción de celulares proporcionan la interacción entre personas sin necesidad de estar presentes en el mismo lugar; también en el entretenimiento, que con las consolas de videojuegos permiten horas de diversión y buenos momentos; en el sector de la salud, como por ejemplo los monitores de signos vitales que permite medir los signos de los pacientes y dar información relevante al médico, o las cirugías refractivas a láser para corregir problemas en el ojo; o por otro lado, cualquier tipo de sensor (la luz que prende al haber movimiento a su alrededor, permitiendo no mal usar la energía, pantallas táctiles, puertas automáticas, etc.) que son dispositivos que proporcionan una respuesta mediante una señal eléctrica, y es por esto que la medida de la cuantificación de las señales eléctricas (cor-

rientes eléctricas) son importantes (ya que si una señal es muy grande puede causar daños en el dispositivo). Y por su importancia, se decidió construir un montaje que permitiera medir corriente eléctrica en un conductor, llamado galvanómetro, haciendo uso del campo magnético que genera una bobina cuando se le hace pasar la corriente a medir, y calibrándolo con las condiciones obtenidas. El galvanómetro que se realizó para poder llevar a cabo las medidas de la corriente eléctrica, estaba constituido, por alambre de cobre, imanes, una protoboard, un potenciómetro, aguja y una fuente de tensión, el cual suministraba la corriente a través del alambre y se variaba su valor usando el potenciómetro para así poder calibrarlo a través de un multímetro digital que daba el valor de la corriente. Se realizaron tres montajes diferentes donde solo uno de ellos fue eficiente y visualmente apreciable en un intervalo de ángulos (Y por ende de corriente), mientras que los otros dos montajes presentaban dificultades como: número de espiras bajas, y así un movimiento angular máximo de la aguja de alrededor  $\sim 1^\circ$  que hacía difícil la calibración de corrientes y visualización, también en una de ellas se obtuvo una alta corriente que hizo imposible graduar en una protoboard los voltajes para tener un galvanómetro funcional capaz de realizar medidas de corriente, esto debido a que se quemaban los potenciómetros para regular esos voltajes. Es por esto, que se realizaron la toma de medidas y el análisis con el montaje adecuado que tenía una gran cantidad de espiras en la bobina. Además, mediante las leyes físicas y resultados teóricos, se pudieron obtener también expre-

siones del comportamiento de la aguja en el galvanómetro cuando se sumergía en el campo magnético. Los objetivos planteados para el desarrollo del experimento son la construcción de un buen montaje que permita la medida de corrientes en un intervalo de valores apreciables, como también analizar el comportamiento del galvanómetro a través de la teoría del montaje y de observar de qué variables depende.

## 2 Marco teórico

Se empieza esta sesión con la definición del galvanómetro. El galvanómetro es un instrumento que detecta, mide y da el sentido de una corriente [1]. Se trata de un transductor, transforma una energía de entrada en otra de salida, analógico electromagnético; que produce una inclinación del puntero en respuesta a una corriente que fluye a través de su bobina [2].

Para realizar el análisis del movimiento general del medidor o puntero del galvanómetro se tendrá en cuenta las leyes de Newton, en especial la segunda ley, ver ecuación (2), la dinámica rotacional de cuerpos rígidos [3], en particular la expresión (3) y también, conceptos del electromagnetismo como la fuerza magnética producida por una corriente y el campo magnético debido a una bobina, ecuación (1).

$$B_{bobina} = \mu_0 N i \quad (1)$$

Donde  $N$  es el número de espiras en la bobina y  $i$  la corriente a través de este. La expresión anterior se obtiene realizando un análisis a partir de la Ley de Ampere [4].

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (2)$$

$$\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha} \quad (3)$$

Donde  $m$  es la masa,  $I$  es el momento de inercia,  $\vec{a}$  la aceleración y  $\vec{\alpha}$  la aceleración angular. Con la información anterior se podrá realizar un análisis aproximado del movimiento del medidor. De la dinámica del medidor del galvanómetro.

Para realizar y facilitar las expresiones de la dinámica de la aguja o pitillo (medidor) se supondrá lo siguiente:

1. La fuerza magnética que experimenta el pitillo es de la forma  $\vec{F}_m = i\vec{l} \times \vec{B}$ .
2. Suponer que el pitillo, aunque tenga anexado imanes pequeños, se siga considerando en su forma original; un cilindro de poco diámetro, menor a 5 mm.

El análisis de este cuerpo empieza con la aplicación de las leyes de Newton, específicamente con el diagrama de cuerpo libre, ver Figure 1. En este diagrama, se puede evidenciar cuales son las fuerzas que interactúan con el medidor en un tiempo  $\delta t$ , estas llegan a ser la

fuerza magnética  $\vec{F}_m$  producida por el campo magnético presente,  $\vec{B}$ , el peso  $\vec{W}$  y normal  $\vec{n}$  debido al soporte del medidor [5].

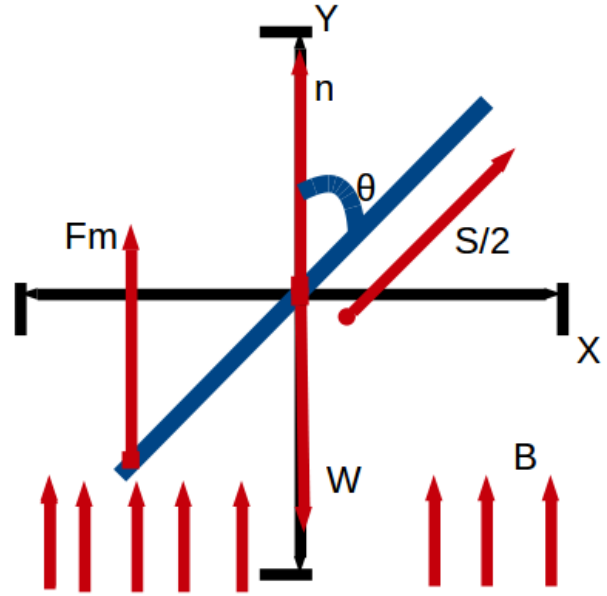


Figure 1: Ilustración del diagrama de cuerpo libre del medidor de un galvanómetro. En él, se observa que las fuerzas externas del medidor son: fuerza magnética  $\vec{F}_m$ , Peso  $\vec{W}$  y normal  $\vec{n}$ , y además, se observa que el medidor está inmerso en un campo magnético  $\vec{B}$ .

Aplicando la segunda ley de Newton se tiene:

$$\sum F_y = F_m + n - W = a_y M \quad (4)$$

Como la aguja no se desplaza en eje x ni en el eje y, entonces se tiene que  $\vec{a} = 0$ . Si la aceleración del sistema es nula, entonces la velocidad del centro de masa es cero o es constante, en este caso es cero. Visto desde un sistema de referencia inercial, se puede decir que el pitillo está en reposo, y por ende, el único movimiento presente en el sistema es rotacional. Así se tiene que:

$$F_m + n - W = 0 \quad (5)$$

Como desde un inicio se mencionó que la fuerza magnética en el pitillo es la producida por la corriente y sabiendo de antemano la expresión del campo magnético producido por una bobina, la fuerza magnética queda de la siguiente forma:

$$\vec{F}_m = i\vec{l} \times \vec{B} \Leftrightarrow F_{my} = i l \mu_0 \frac{N i}{l} \Rightarrow F_{my} = i^2 \mu_0 N \quad (6)$$

Donde  $i$  es la corriente circulando alrededor de la bobina,  $N$  es el número de vueltas de la bobina,  $l$  es la longitud lateral de la bobina y  $\mu_0$  es la constante de permeabilidad magnética del vacío.

Y con todo lo anterior se puede encontrar una expresión para la fuerza normal del medidor:

$$n = Mg - i^2 \mu_0 N \quad (7)$$

Y para hallar la dinámica rotacional, se utiliza el análogo a la segunda ley de Newton.

$$\sum \bar{\tau} = \bar{r} \times \bar{F}_m + \bar{r} \times \bar{n} + \bar{r} \times \bar{W} \quad (8)$$

Y debido a que la línea de acción tanto del peso como de la normal cruzan por el eje rotativo, entonces sus torques respectivos serán cero, luego el único torque con las condiciones dadas es el de la fuerza magnética.

$$\sum \tau_z = \frac{s}{2} F_m \sin(\pi/2 - \theta) \quad (9)$$

$$\tau_{neto} = \frac{s}{2} i^2 \mu_0 N \cos(\theta) \quad (10)$$

$$\tau_{neto} = \frac{s}{2} i l B \cos(\theta) \quad (11)$$

La anterior expresión, muestra cuál es la fuerza que le esta implementado al medidor del galvanómetro, además de ello, se observa que el torque depende tanto de la corriente como del campo magnético producido por la bobina. Este resultado, confirma la relación que se había encontrado en los tres experimentos realizados donde a partir, de una aplicación de celular denominada Physics Toolbox y el multímetro; se halló de manera cualitativa de que el torque dependía directamente del campo magnético y de la corriente.

Y a partir de la ecuación (11), se podrá obtener una expresión para hallar la aceleración angular, usando la expresión (3), y la velocidad tangencial se llega por medio de la integración; esto será posible con la suposición de que el medidor es una barra cilíndrica de diámetro pequeño. Donde su momento de inercia  $I$  equivale a  $I = \frac{1}{12} M s^2$ .

$$\frac{s}{2} i l B \cos(\theta) = I \alpha \quad (12)$$

Y despejando alfa, se llega a obtener la aceleración angular de dicho medidor.

$$\alpha = \frac{6}{sM} i l B \cos(\theta) \quad (13)$$

E integrando la anterior ecuación se llega a obtener:

$$\omega = \frac{6}{sM} i l B \cos(\theta) t \quad (14)$$

Y para obtener una expresión de la velocidad tangencial solo bastaría usar la expresión  $v = r\omega$  con  $r = s/2$ , que proviene de la dinámica del cuerpo rígido.

$$v = \frac{3}{M} i l B \cos(\theta) t \quad (15)$$

Con las anteriores expresiones, se tiene una aproximación del movimiento rotacional que sufre el medidor en el galvanómetro.

### 3 Método experimental

Debido a la situación sanitaria actual se optó porque cada uno de los integrantes construyera sus montajes de manera independiente, esto además permitió analizar el comportamiento del montaje ante diversas situaciones ya que aunque en todos los casos se presentaban unas condiciones bases que eran iguales (pues el montaje en principio para todos tenía las mismas componentes) cada uno tomó un camino independiente para la implementación, esto permitió que en ayuda con la teoría se eligieran las condiciones que dentro de las posibilidades del momento nos ofrecieran un mejor resultado. Dentro de los diferentes montajes construidos se variaron las fuentes de voltaje, los alambres utilizados para la construcción de las bobinas y el número de espiras de las mismas, también se varió el imán que se mueve dentro de la bobina y los materiales de construcción del soporte del imán que a su vez es el artefacto que nos permite medir en el dial el desplazamiento debido al campo magnético generado.

Dentro de los montajes realizados el mayor reto fue la generación del campo magnético, ya que con fuentes de corriente bajas el campo generado era muy pequeño, y con un aumento significativo de la magnitud de la corriente no se podían realizar las medidas debido a que cualquier dispositivo que se conectara para regular el paso de esta se quemaba. La mejor manera que encontramos de aumentar la magnitud del campo magnético generado fue la construcción de una bobina compuesta por un número de espiras significativo. Teniendo en cuenta la experiencia de los montajes realizados de manera independiente y el análisis de estos observando el comportamiento al variar cada una de las componentes, se decidió construir un montaje final que reuniera en su mayoría las características que presentaban un mejor resultado.

El montaje del galvanómetro final quedó compuesto por una bobina construida con alambre esmaltado de cobre número 25 y con 700 vueltas o espiras, el embobinado se realizó de tal manera que el diámetro de la bobina (el cual quedó de  $(9,0 \pm 0,1) \text{ cm}$ ) permitiera un movimiento significativo dentro de esta, como fuente de voltaje se utilizó una batería alcalina de nueve voltios la cual se conectaba a la bobina por medio de la protoboard, para graduar la corriente en pequeños intervalos se utilizaron resistencia de  $22 \Omega$  y los imanes que se utilizaron fueron los imanes de neodimio más pequeños que se encontraron los cuales tenían  $(6 \pm 1) \text{ mm}$  de altura, estos imanes se sujetaron a una varilla de balsa para hacer este sistema lo más liviano posible y finalmente se construyó un dial y una plataforma con cartón para terminar de darle forma al montaje. Ver Figure 3.

## 4 Resultados y análisis

Con el montaje descrito se obtuvo un galvanómetro funcional en el cual se lograba apreciar un movimiento en el sistema que variaba con la regulación de corriente. Lo que se hizo fue regular la corriente suministrada con resistencias de  $22\ \Omega$  y marcar el movimiento en grados que indicaba el sistema en el dial. Con la fuente de voltaje utilizada la corriente máxima suministrada al sistema fue de  $(124,3 \pm 2,7)\text{mA}$  con la cual se llegó a obtener un desplazamiento de  $(26 \pm 1)^\circ$  respecto al punto de equilibrio del sistema, reduciendo esta corriente suministrada y tomando los datos del desplazamiento en grados se logró obtener un gráfico que presenta una tendencia lineal lo cual nos permite predecir fácilmente mediante un ajuste lineal el valor de la corriente para datos diferentes a los datos tomados. Para corrientes muy pequeñas se encontró que el movimiento en el galvanómetro no se encuentra regido por el ajuste lineal realizado, esto debido a que la masa del sistema hace necesario que se suministre una mayor fuerza magnética en los imanes para que estos se salgan de su posición de equilibrio.

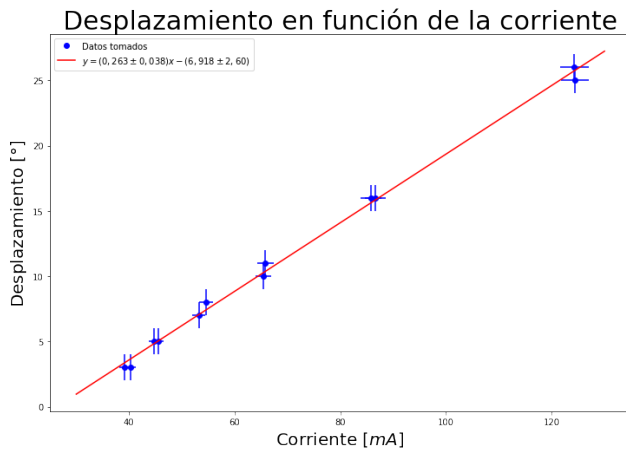


Figure 2: Gráfico de datos tomados experimentalmente del galvanómetro construido y linealización de estos para la predicción del movimiento del sistema para diferentes corrientes suministradas.

Se realizaron también medidas cambiando la polaridad en el circuito y como era de esperarse cambió el sentido del movimiento generado, esto debido a que el cambio de dirección en la circulación de corriente de la bobina cambia la dirección del campo magnético generado y por ende el sentido del torque que muestra el movimiento del sistema en el dial. Cabe aclarar que cuando se realiza el cambio de polaridad la magnitud del desplazamiento respecto a la magnitud de la corriente presenta un comportamiento casi idéntico al visualizado en el caso inicial.

Con lo dicho anteriormente, el montaje final del galvanómetro construido permite medir tanto la magnitud como el sentido de la corriente eléctrica en intervalos de

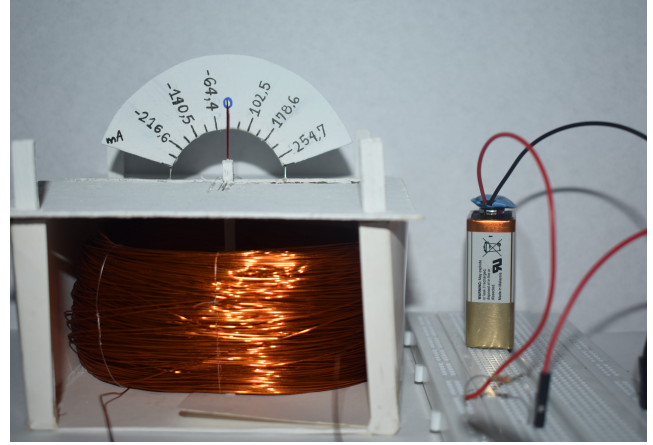


Figure 3: Montaje final del galvanómetro casero construido.

$[-368.9, 368.9]\text{mA}$  donde la magnitud del error de la medición depende también de los valores de corriente suministrados, el error promedio del galvanómetro construido es de  $(\pm 15, 2)\text{mA}$  el cual puede ser minimizado realizando las mejoras pertinentes al sistema.

## 5 Conclusiones

- Se obtuvo un montaje adecuado que permitía medir corrientes eléctricas en un intervalo considerable, donde se observaba una inclinación máxima de la varilla de alrededor de 26 grados.
- Se obtuvo una relación aproximadamente lineal entre la inclinación de la varilla y la magnitud de la corriente eléctrica.
- Se demostró analíticamente a partir de unas suposiciones, el movimiento que se produce de forma aproximada en el medidor del galvanómetro.
- A partir de los tres experimentos, se llegó a la conclusión de que para obtener una inclinación en el medidor del galvanómetro, se necesita tener una gran cantidad de vueltas del embobinado o una gran corriente para inducir un campo magnético, esto a su vez, se llega a evidenciar en la parte teórica, donde el torque neto depende de esas dos variables mencionadas.
- Para mejorar el experimento, se sugiere minimizar las dificultades obtenidas, usando una fuente de tensión que permita una gran cantidad de corriente, más cantidad de espiras en la bobina y encontrar un lugar que permita un mayor aislamiento, para así, tener mejores resultados que los obtenidos en este experimento. Cabe mencionar, que es más fácil en términos prácticos, llegar a tener una gran corriente que tener una gran cantidad de vueltas del embobinado, esto, porque en la expresión teórica del torque; la corriente tiene un término cuadrático que la hace crecer de forma abrupta.

## References

- [1] R., J. (2020). GALVANOMETRO Que es, para que sirve, como funciona y partes. Retrieved 7 December 2020, from <https://como-funciona.co/un-galvanometro/>
- [2] Galvanómetro. (2020). Retrieved 7 December 2020, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Galvan>
- [3] SEARS. and ZEMANSKY, 2014.FISICA UNIVERSITARIA Vol 2. 11th ed. : PEARSON EDUC MEXICO. (Accessed 26 November 2020)
- [4] Notas del curso de Física Básica II: Electromagnetismo
- [5] (2020). Retrieved 4 December 2020, from <http://alfa.facyt.uc.edu.ve/oalvarez/pdfs/Galvanometro.pdf> .