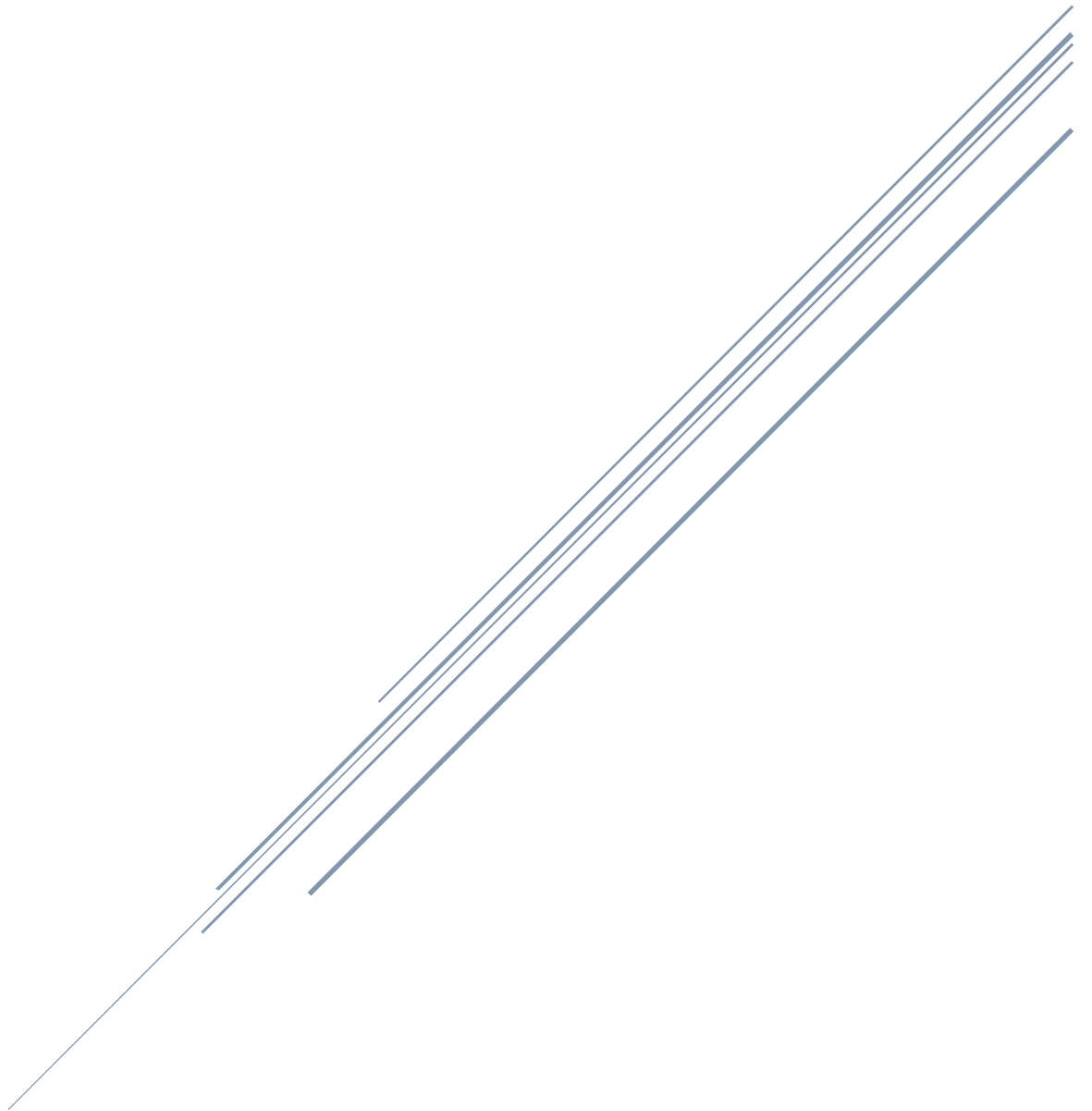


FACTORES QUE AFECTAN LA FUERZA MAGNÉTICA DE UN ELECTROIMÁN



Un electroimán es un embobinado de alambre por el que pasa una corriente eléctrica¹. La fuerza de un electroimán puede aumentar simplemente aumentando la intensidad a través del embobinado. Imanes industriales obtienen mayor fuerza utilizando un núcleo metálico para el embobinado, debido a que los dominios magnéticos del material se añaden al campo magnético existente².

Esta invención ha sido muy importante para la creación de tecnologías que han revolucionado nuestra manera de vivir. En las chatarrerías³ hay imanes lo suficientemente poderosos para levantar automóviles. La fuerza magnética actúa a distancia y puede llegar a ser muy poderosa.

Los electroimanes que utilizan embobinados hechos de superconductores producen campos magnéticos extremadamente fuertes, ya que casi no hay resistencia eléctrica en estos materiales⁴.

Otra fascinante aplicación para los electroimanes es el transporte por levitación magnética. El vehículo, el cual normalmente es un tren, posee un embobinado de superconductores en la parte de abajo. El móvil se transporta por vías de aluminio, el embobinado genera corriente en el aluminio que actúa como un espejo magnético y repele el vehículo. Esto permite que flote unos centímetros el objeto y su velocidad es limitada sólo por el rozamiento con el aire⁵.

Por otra parte, radios, motores eléctricos, televisiones, altavoces y dispositivos para resonancia magnética, también utilizan electroimanes para su funcionamiento. Nuestra vida está llena de dispositivos que actúan con electricidad y magnetismo. Es asombroso que el equipo de resonancia magnética pueda diferenciar entre tejidos, debido al diferente tiempo de alineación de las cargas positivas de cada grupo de células, con respecto a un campo magnético introducido.⁶

Debido a todas estas aplicaciones que tiene el electromagnetismo, surgió la inquietud de analizar y estudiar la relación que existe entre el número de vueltas de un embobinado de cobre en un núcleo metálico, y la fuerza magnética que se producirá. En este caso, la relación será estudiada a través de un experimento en el que la fuerza magnética será medida por medio de la cantidad de peso de grapas atraída por un electroimán con un tornillo como núcleo. La electricidad y el

¹ Hewitt, Paul. *Conceptual physics*. Pearson: Addison Wesley, St. Petersburg FL. 2006. 10ma. edición. p. 465.

² Ídem.

³ Según la Real Academia Española chatarrería significa: Almacén en el que se vende o compra chatarra (|| conjunto de trozos de metal). Diccionario de la RAE. *Definición chatarrería*. <https://dle.rae.es/chatarrer%C3%ADa?m=form>. [Consulta: 24 de junio de 2020].

⁴ Hewitt, Paul. *Conceptual physics*. Pearson: Addison Wesley, St. Petersburg FL. 2006. 10ma. edición. p. 465.

⁵ Ibídem, p. 466.

⁶ National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. *Imagen por Resonancia Magnética (IRM)*. <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/imagen-por-resonancia-magn%C3%A9tica-irm#pid-1951>. [Consulta: 18 de julio de 2020].

magnetismo son tan interesantes, que ambos pertenecen al mismo fenómeno, el del electromagnetismo.

Pregunta de investigación:

¿Cómo se ve afectada la fuerza magnética de un electroimán variando el número de vueltas de un embobinado?

Hipótesis:

La fuerza magnética (el peso de grapa atraído por el electroimán “w”) es proporcional al número de vueltas de un embobinado (“V”), porque al traslaparse los campos magnéticos en la misma dirección, la concentración de las líneas de campo magnético aumenta.

Variables:

- **Variable independiente:**
Número de vueltas del embobinado, denotado por “V”.
- **Variable dependiente:**
Fuerza magnética del electroimán, medida por el peso de grapas atraído por el electroimán. Se medirá la masa por grapa y luego se obtendrá el peso en Newtons (N) denotado por “w”.
- **Variables controladas:**
 - a) Se utilizará el mismo cable de cobre y del mismo grosor.
 - b) Para mantener el voltaje constante durante cada prueba, se utilizarán dos baterías de 12V. Se alternará el uso cada tres pruebas y el contacto se hará durante 8 segundos para evitar la descarga de las baterías. Se utilizará un multímetro para medir el voltaje siempre antes de cada prueba.
 - c) Se utilizará el mismo núcleo metálico siempre de la misma manera: un tornillo largo metálico de cabeza ancha. En todas las pruebas se utilizará el lado más ancho del objeto.
 - d) Se usará un cinturón de plástico en la misma posición para evitar variaciones en el campo magnético por agarrar el electroimán con la mano en una posición diferente al momento de cada prueba.

Valores tomados como constantes:

- Se tomará la gravedad como $9.8 \frac{m}{s^2}$ al momento de calcular el peso atraído (N).
- La masa por grapa ($0.03g = 3 \times 10^{-5}Kg$) fue calculada a través de una balanza que midió 12g de un total de 400 grapas.

Control de variables:

- **Control de variable independiente:**
El conteo de las vueltas del embobinado se hará tomando como referencia un lado específico del tornillo y poniendo una marca.
- **Control de variable dependiente:**
Se utilizaron un total de 400 grapas, las cuales tenían la misma forma cada una. Además, el grupo de grapas se colocó en una tapadera circular para que, al momento de cada prueba, la forma del conjunto de grapas siempre fuese la misma. Cabe aclarar que antes de aplicar corriente al electroimán, siempre se puso la cabeza del tornillo arriba pegada al conjunto de grapas en todas las pruebas.

Materiales:

Se utilizó un tornillo hecho de acero, de largo 12.5cm contando la cabeza. El grosor era de 1.27cm y el diámetro de la cabeza era de 9cm. El tornillo fue manejado con un cinturón de plástico, utilizando la mano a una distancia de 0.5cm del núcleo metálico. El embobinado estaba conformado por un cable de cobre de 2.94m del mismo grosor recubierto de aislante. A cada extremo del cable de cobre se conectaron otros dos cables de cobre con aislante igualmente, y pinzas de ambos lados. Estos otros cables fueron conectados al cátodo y ánodo respectivamente. Se usaron 400 grapas con la misma forma y del mismo material. Una tapadera no metálica se utilizó para mantener la misma forma del conjunto de grapas en todo momento.

Posterior al experimento, las grapas fueron enviadas a una empresa para reciclar. Por otra parte, las baterías fueron prestadas por una empresa, así que se devolvieron para usarse en sistemas de alimentación ininterrumpida (SIA).

Procedimiento:

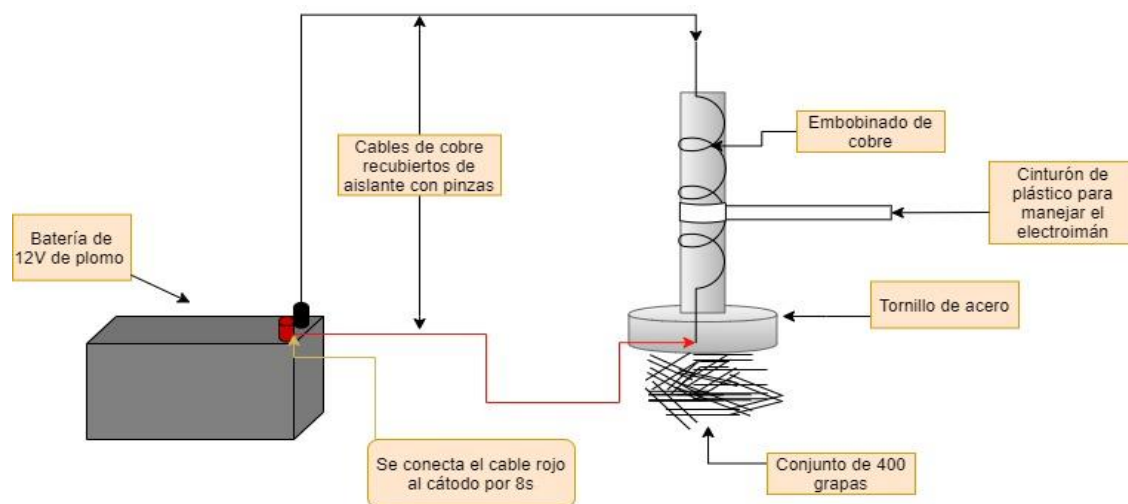


Ilustración 1: diagrama realizado por el autor de este trabajo.

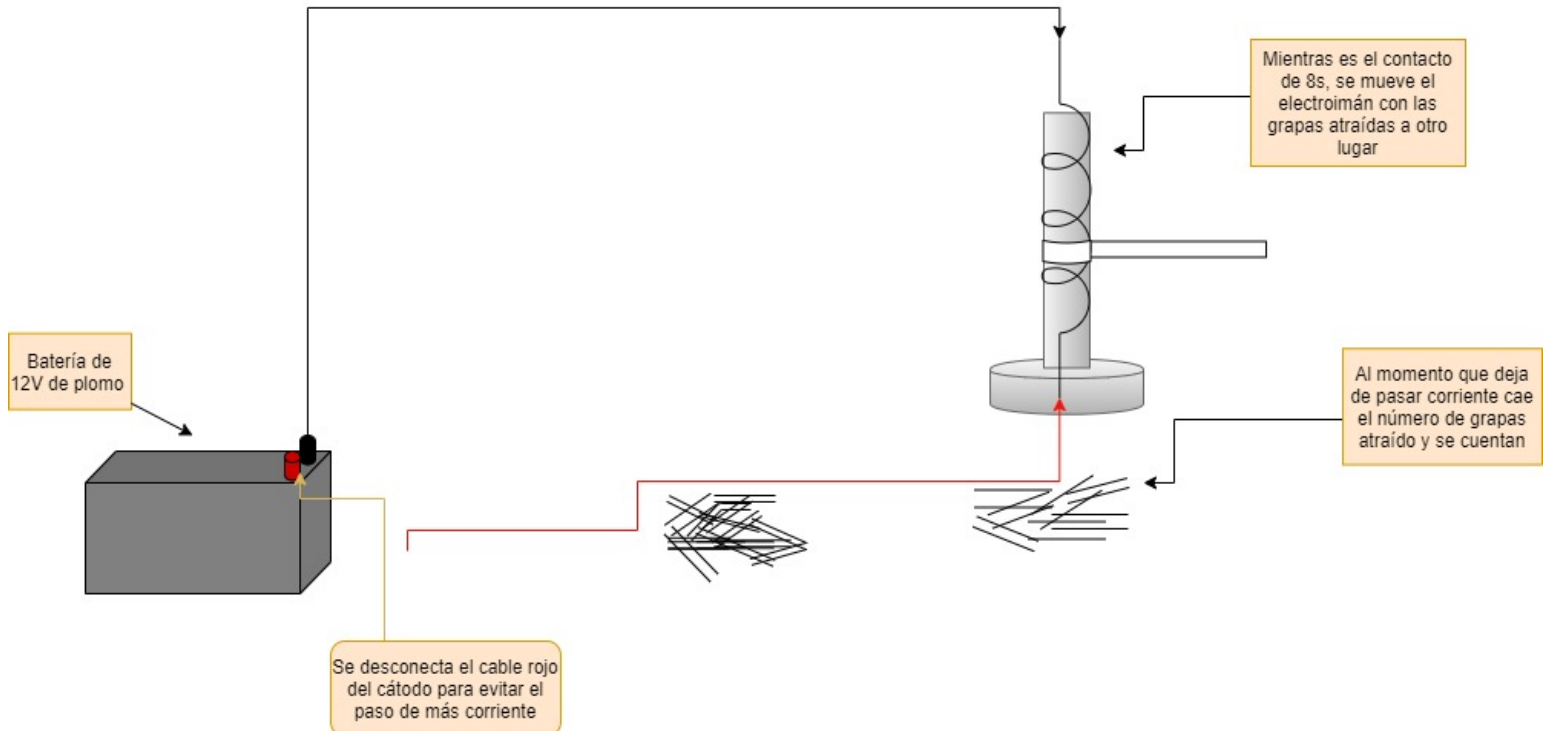


Ilustración 2: diagrama realizado por el autor de este trabajo.

Primeramente, se coloca el conjunto de grapas en una tapa redonda de plástico para darle forma al conjunto antes de cada prueba. Luego, se posiciona el núcleo ferromagnético arriba de las grapas del lado de la cabeza del tornillo sosteniendo un cinturón de plástico, como se muestra en la *Ilustración 1*.

Una vez el electroimán está en su posición respectiva, se cierra el circuito manualmente conectando uno de los cables con pinzas al cátodo, ya que el otro cable siempre estuvo unido al ánodo de la batería. Cuando las grapas son atraídas, se levanta el electroimán y se baja en otra posición, en ese momento se interrumpe el contacto removiendo el cable unido al cátodo. Por último, se cuentan las grapas atraídas por el electroimán después del contacto de 8 segundos (Ver *Ilustración 2*).

Análisis:

Datos:

Vueltas "V" $V/\Delta V \pm 0.1^*$	Peso "w" (Newtons) $w/\Delta w \pm 0.0001N^{**}$										Valor máx.	Valor min.
74.0	0.1111	0.1079	0.1023	0.1099	0.1061	0.1020	0.1073	0.1008	0.1114	0.1099	0.1114	0.1008
69.0	0.1058	0.1073	0.1099	0.1076	0.0943	0.1073	0.1049	0.1058	0.1070	0.1049	0.1099	0.0943
64.0	0.0976	0.0996	0.0993	0.1029	0.1076	0.0988	0.0932	0.0955	0.0935	0.0955	0.1076	0.0932
59.0	0.0826	0.0776	0.0805	0.0788	0.0826	0.0753	0.0791	0.0826	0.0785	0.0823	0.0826	0.0753
54.0	0.0770	0.0750	0.0770	0.0788	0.0753	0.0750	0.0779	0.0782	0.0691	0.0694	0.0788	0.0691
49.0	0.0679	0.0726	0.0667	0.0691	0.0685	0.0723	0.0723	0.0708	0.0670	0.0726	0.0726	0.0667
44.0	0.0614	0.0538	0.0662	0.0591	0.0644	0.0559	0.0641	0.0641	0.0559	0.0659	0.0662	0.0538
39.0	0.0588	0.0606	0.0597	0.0573	0.0609	0.0635	0.0550	0.0638	0.0620	0.0597	0.0638	0.0550
34.0	0.0485	0.0514	0.0638	0.0667	0.0657	0.0600	0.0617	0.0591	0.0597	0.0606	0.0667	0.0485
29.0	0.0441	0.0353	0.0432	0.0435	0.0391	0.0409	0.0409	0.0417	0.0438	0.0426	0.0441	0.0353
24.0	0.0335	0.0300	0.0320	0.0323	0.0288	0.0318	0.0297	0.0359	0.0370	0.0335	0.0370	0.0288
19.0	0.0221	0.0221	0.0218	0.0244	0.0229	0.0235	0.0206	0.0221	0.0232	0.0238	0.0244	0.0218
14.0	0.0132	0.0156	0.0150	0.0171	0.0126	0.0144	0.0156	0.0147	0.0173	0.0144	0.0173	0.0126
9.0	0.0115	0.0089	0.0121	0.0097	0.0100	0.0082	0.0112	0.0100	0.0079	0.0106	0.0121	0.0079
4.0	0.0035	0.0029	0.0038	0.0038	0.0029	0.0032	0.0029	0.0026	0.0041	0.0029	0.0041	0.0029

Tabla 1: datos obtenidos

**Esta incertidumbre es una estimación debido a que una vuelta en el embobinado podría estar más o menos ajustada que otra, es decir que puede que cierta vuelta sea ± 0.1 de vuelta. De esta forma no todas las vueltas son exactamente iguales.*

***La estimación de $0.0001N$ es en base a los cálculos realizados al obtener la masa de una grapa (Kg) trasladándola a la unidad de medida de fuerza (N).*

Se realizaron 10 repeticiones para poder realizar un análisis estadístico significativo. De esta manera, se puede demostrar la fiabilidad del sistema utilizado, el cual va a tener como resultado un cierto valor.

Por otro lado, se sacan los valores máximos y mínimos para posteriormente hacer una gráfica con las pendientes máxima y mínima.

Cálculo del promedio y desviación estándar:

Vueltas "V" V/ $\Delta V \pm$ 0.1	Peso "w" (Newtons) w/ $\Delta w \pm 0.0001N$										Promedio	Desviación estándar (s)	Desviación estándar promedio
74.0	0.1111	0.1079	0.1023	0.1099	0.1061	0.1020	0.1073	0.1008	0.1114	0.1099	0.1069	0.0039	0.0029
69.0	0.1058	0.1073	0.1099	0.1076	0.0943	0.1073	0.1049	0.1058	0.1070	0.1049	0.1055	0.00419	
64.0	0.0976	0.0996	0.0993	0.1029	0.1076	0.0988	0.0932	0.0955	0.0935	0.0955	0.0984	0.0044	
59.0	0.0826	0.0776	0.0805	0.0788	0.0826	0.0753	0.0791	0.0826	0.0785	0.0823	0.0800	0.0026	
54.0	0.0770	0.0750	0.0770	0.0788	0.0753	0.0750	0.0779	0.0782	0.0691	0.0694	0.0753	0.0035	
49.0	0.0679	0.0726	0.0667	0.0691	0.0685	0.0723	0.0723	0.0708	0.0670	0.0726	0.0700	0.0024	
44.0	0.0614	0.0538	0.0662	0.0591	0.0644	0.0559	0.0641	0.0641	0.0559	0.0659	0.0611	0.0046	
39.0	0.0588	0.0606	0.0597	0.0573	0.0609	0.0635	0.0550	0.0638	0.0620	0.0597	0.0601	0.0027	
34.0	0.0485	0.0514	0.0638	0.0667	0.0657	0.0600	0.0617	0.0591	0.0597	0.0606	0.0597	0.0058	
29.0	0.0441	0.0353	0.0432	0.0435	0.0391	0.0409	0.0409	0.0417	0.0438	0.0426	0.0415	0.0027	
24.0	0.0335	0.0300	0.0320	0.0323	0.0288	0.0318	0.0297	0.0359	0.0370	0.0335	0.0325	0.0026	
19.0	0.0221	0.0221	0.0218	0.0244	0.0229	0.0235	0.0206	0.0221	0.0232	0.0238	0.0226	0.0011	
14.0	0.0132	0.0156	0.0150	0.0171	0.0126	0.0144	0.0156	0.0147	0.0173	0.0144	0.0150	0.0015	
9.0	0.0115	0.0089	0.0121	0.0097	0.0010	0.0082	0.0112	0.0010	0.0079	0.0106	0.0100	0.0014	
4.0	0.0035	0.0029	0.0038	0.0038	0.0029	0.0032	0.0029	0.0026	0.0041	0.0029	0.0033	0.0005	

Tabla 2: análisis y cálculo de errores

Primeramente, se calculó el promedio, el cual nos permitirá realizar una gráfica posteriormente para encontrar la relación entre nuestras variables.

El promedio⁷ se calculó de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde \bar{x} es el promedio, $\sum x_i$ es la sumatoria de los datos obtenidos y n es el número de datos obtenidos.

Luego, se calculó la desviación estándar de cada conjunto de datos por cada número de vueltas del electroimán.

La ecuación para calcular la desviación estándar de una muestra⁸ es:

⁷ Ecuación obtenida de: Anderson, D. Sweeney, D. Williams, T. Camm, J. Cochran, J. *Estadística para negocios y economía*. Cengage Learning, México. 2015. P. 101. Edición 12. Editor: Javier Reyes Martínez.

⁸ Ecuación obtenida de: Anderson, D. Sweeney, D. Williams, T. Camm, J. Cochran, J. *Estadística para negocios y economía*. Cengage Learning, México. 2015. P. 117. Edición 12. Editor: Javier Reyes Martínez.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Donde s es la desviación estándar de una muestra, X_i es el valor de cada resultado obtenido, \bar{X} es el promedio de los resultados obtenidos y N es el número de pruebas realizadas. La sumatoria Σ empieza desde el primer resultado hasta el último resultado obtenido en cada número de vueltas.

Con esta desviación estándar se mide la dispersión de los datos, con lo que se puede tener un parámetro de la precisión del experimento.

En este caso, se utilizó la desviación estándar en lugar de un error basado en el rango, debido a que se utiliza una gran cantidad de datos.

A continuación, se muestra en la *Ilustración 2* los promedios de los pesos atraídos por el electroimán en el eje de las ordenadas y el número de vueltas de la bobina en el eje de las abscisas.

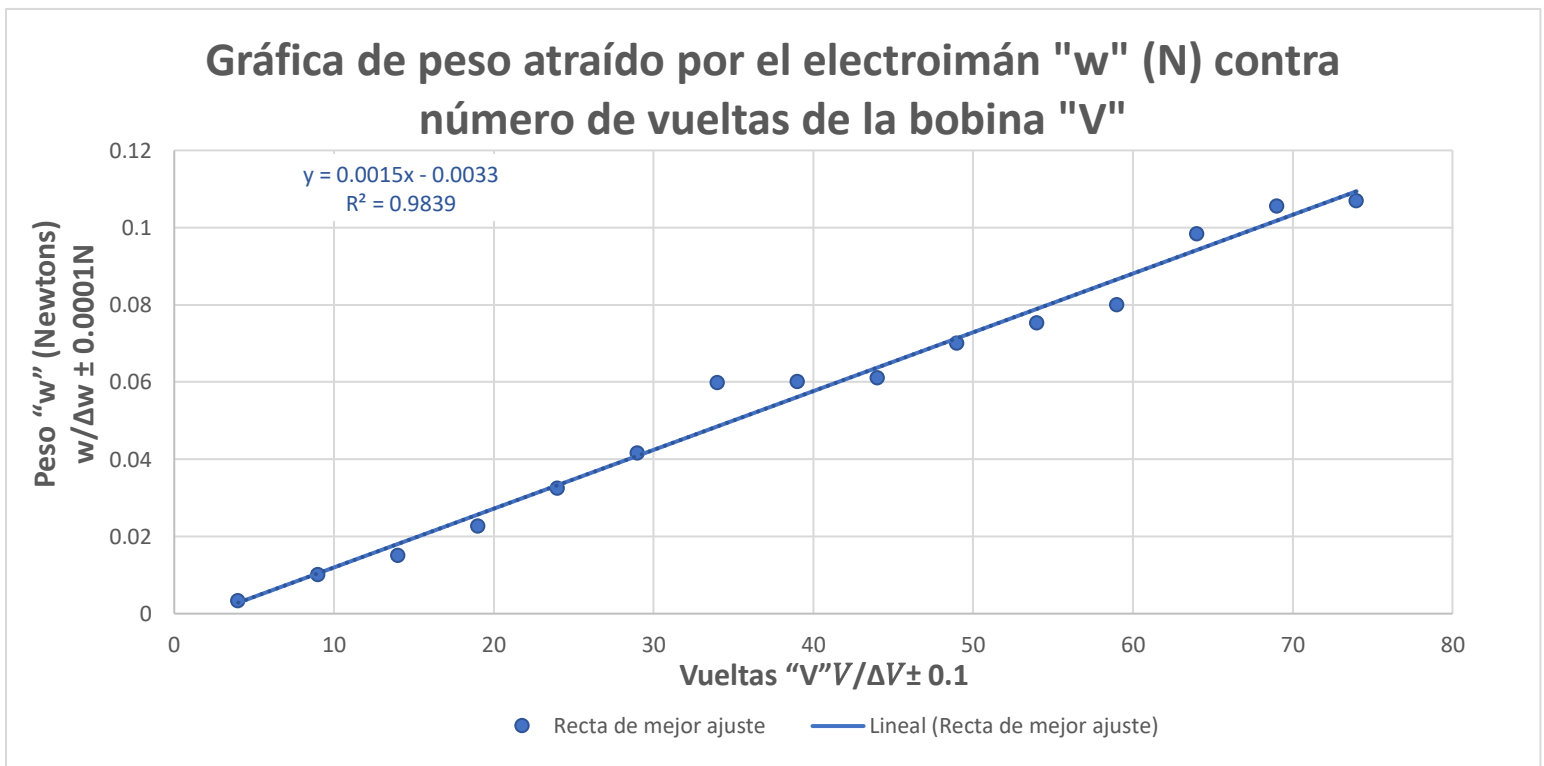


Ilustración 3: Gráfica de la recta de mejor ajuste

Debido a la dispersión de los puntos con respecto a la recta se puede observar que existen errores aleatorios, los cuales afectan de manera distinta a cada prueba. Además, existen errores sistemáticos, ya que la gráfica no parte del cero.

Por otra parte, existen puntos atípicos que se alejan de la línea de tendencia. Estos puntos son los que más error presentan.

El coeficiente de determinación (R^2) está muy cercano de 1 y es mayor a 0.90. Esto demuestra que la variable "y" si depende en gran medida de la variable "x". El modelo utilizado representa con un buen nivel de coherencia la relación entre las variables dependiente e independiente utilizadas.

La relación que se observa es lineal de la forma: $y = mx + b$

Gráfica de peso atraído por el electroimán "w" (N) contra número de vueltas de la bobina "V"

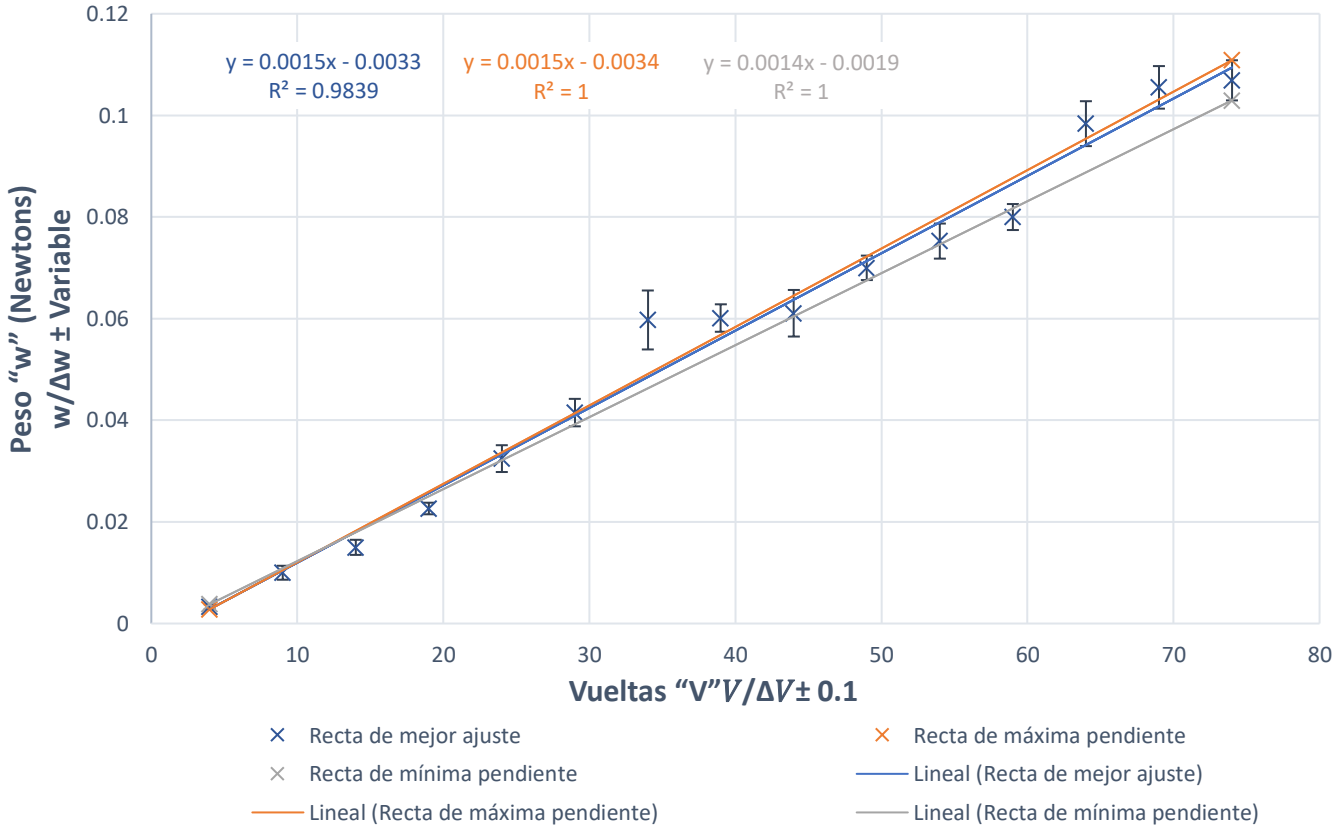


Ilustración 4: Gráfica de la recta de mejor ajuste, pendiente máxima y pendiente mínima.

En la *Ilustración 4* se observa la recta de mejor ajuste con las barras de error correspondientes, y las rectas de la pendiente máxima y mínima.

Es importante mencionar que se utilizó la desviación estándar de cada grupo de datos para realizar las barras de error de cada punto. Esto para saber las posibles variaciones de cada grupo de datos.

Por otro lado, puede observarse que existe un mayor error cuando hay más vueltas del enbobinado, ya que existe una mayor facilidad a que los dominios magnéticos de las grapas se queden alineados en la dirección del campo magnético por más tiempo. Esto da lugar a que algunas grapas se vuelvan pequeños imanes y por tanto, unas se atraigan entre otras.

Ahora, para calcular el error de la pendiente se necesita tener los valores de la pendiente máxima, mínima y real.

- Para obtener la pendiente máxima utilizaremos las desviaciones estándares correspondientes a los puntos máximo y mínimo de esta forma:
$$\frac{(y_{m\acute{a}x}+s)-(y_{m\acute{i}n}-s)}{x_{m\acute{a}x}-x_{m\acute{i}n}} = \frac{(0.1069+s)-(0.0033-s)}{74-4} = 0.0015$$
- Para obtener la pendiente mínima utilizaremos igualmente las desviaciones estándares correspondientes:
$$\frac{(y_{m\acute{a}x}-s)-(y_{m\acute{i}n}+s)}{x_{m\acute{a}x}-x_{m\acute{i}n}} = \frac{(0.1069-s)-(0.0033+s)}{74-4} = 0.0014$$
- Pendiente real: 0.0015

Tomando los datos anteriores, se calcula el error de la pendiente:

$$\frac{m_{m\acute{a}x} - m_{m\acute{i}n}}{m_{real}} = 0.0847$$

(Ha de destacarse que para los cálculos matemáticos del presente trabajo se utilizaron todos los decimales posibles. Pero los valores se representan con el número de cifras significativas definido).

Finalmente, se puede observar que la ecuación entre el peso de las grapas atraído (N) y el número de vueltas del embobinado (V) es:

$$y = 0.0015x - 0.0033$$

Esto traducido a las variables utilizadas en el presente trabajo sería:

$$w = \left(\frac{0.0015N}{V}\right)V - 0.0033N$$

La ecuación final tomando en cuenta el error de la pendiente y la desviación estándar sería:

$$w = \left(\frac{0.0015N}{V} \pm \frac{0.0847N}{V}\right)V - 0.0033N \pm 0.0029N^9$$

Evaluación:

- Al terminar el experimento y el análisis, he llegado a la conclusión de que **la fuerza magnética** es directamente proporcional **al número de vueltas de un embobinado**. La gráfica y la ecuación de los datos obtenidos permitió comprobar que la hipótesis planteada al inicio era veraz.
- Por otro lado, el coeficiente de determinación R^2 muestra que el modelo utilizado si presenta validez para el fenómeno que se está estudiando en este

⁹ Nótese que se coloca la desviación estándar promedio debido a que la ecuación es general y debe ser aplicable a todos los datos.

caso. La variable dependiente si está sujeta en gran medida a la variable independiente de la forma: $y = mx + b$.

- Se observó la existencia de errores sistemáticos y aleatorios. Ya que la lineal no tocaba el origen y los puntos estaban desalineados
- Las barras de error fueron importantes para conocer la variación que podían tener los datos obtenidos. Se comprendió que hay más error cuando existe un mayor número de vueltas del embobinado, ya que las grapas son imantadas por más tiempo. Esto da lugar algunas veces a que se atraigan más grapas y así a que varíen los datos.
- **La ecuación final** que comprueba la hipótesis tomando en cuenta los debidos errores es:

$$w = \left(\frac{0.0015N}{V} \pm \frac{0.0847N}{V} \right) V - 0.0033N \pm 0.0029N$$

*Estas conclusiones son válidas para estos parámetros de investigación utilizados.

Puntos de mejora:

Para mejorar los errores sistemáticos (el método):

- Se pudo haber comprobado que la distancia entre la última vuelta del embobinado a la batería fuese la misma en cada prueba. Esto para que las variaciones mínimas de alambre no afectaran los resultados obtenidos en el experimento.
- Se pudieron haber soldado uniones entre los cables y bornes de la batería para evitar falsos contactos o variaciones.
- Se pudo haber comprobado la resistencia de los cables en cada prueba para estar seguro de que no existiera una variación en la corriente.

Para mejorar los errores aleatorios:

- Al hacer más repeticiones por cada número de vueltas se hubiera minimizado la variación entre los datos obtenidos.

Limitaciones:

- ❖ No se tuvo acceso a materiales superconductores, que poseen menor resistencia. Aunque el cobre permitió hacer una buena investigación.
- ❖ No se tuvo acceso a un objeto metálico más pequeño, ligero y uniforme que una grapa para hacer un mejor estudio (pequeñas esferas metálicas).
- ❖ Se utilizó una balanza que media hasta 0.01g. No se pudo por la pandemia utilizar una balanza con mayor exactitud (la del laboratorio de física).

Referencias

Hewitt, Paul. *Conceptual physics*. Pearson: Addison Wesley, St. Petersburg FL. 2006. 10ma. edición.

Diccionario de la RAE. *Definición chatarrería*.

<https://dle.rae.es/chatarrer%C3%ADa?m=form>. [Consulta: 24 de junio de 2020].

National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. *Imagen por Resonancia Magnética (IRM)*. <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/imagen-por-resonancia-magn%C3%A9tica-irm#pid-1951>. [Consulta: 18 de julio de 2020].

Anderson, D. Sweeney, D. Williams, T. Camm, J. Cochran, J. *Estadística para negocios y economía*. Cengage Learning, México. 2015. Edición 12. Editor: Javier Reyes Martínez.