UN EXPERIMENTO PARA EL ESTUDIO DEL FENOMENO DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNETICA EN EL AULA.

HERNÁN DARÍO GARZÓN GARZÓN
PROFESOR: JOSE FRANCISCO MALAGÓN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
LICENCIATURA EN FISICA
BOGOTA D.C.
2013

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Titulo del documento	Un experimento para el estudio del fenómeno de inducción electromagnética en el aula.
Autor(es)	Hernan Dario Garzón Garzón
Director	José Francisco Malagón
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2014. 47 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Inducción electromagnética, tubo de Lenz, interfaz, líneas de campo, campo magnético, investigación orientada, cuantitativo.

2. Descripción

Práctica de laboratorio que resalta el aspecto cuantitativo en el análisis de la experiencia del tubo de Lenz, para favorecer el proceso de enseñanza aprendizaje del fenómeno de inducción electromagnética. Se hace un estudio del movimiento del imán cayendo a través de un tubo de cobre y mediante una interfaz, que es la pieza central del montaje experimental de este trabajo, se aprovecha el uso del computador como herramienta de detección y registro, mediante el uso de una serie de bobinas distribuidas a lo largo de un tubo de cobre y equidistantes unas de otras se puede obtener una señal eléctrica inducida por el paso del imana a través de ellas, señal que es registrada por un software de análisis de sonido instalado en un computador y que permite registrar estas señales para su posterior análisis. La experiencia de laboratorio se llevó al aula haciendo uso de la metodología de investigación orientada que busca favorecer la construcción del conocimiento científico a partir de un trabajo orientado que replica los aspectos más relevantes del quehacer científico.

3. Fuentes

Alonso, M y Finn, A. (1970). CAMPOS Y ONDAS Estados Unidos de América: Fondo Educativo Interamericano, S. A.

Arons, B. (1970). *Evolución de los conceptos de la física*. México: Trillas.
Berkson W. *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Eisntein*. Alianza Editorial (1981).

Carl T.A. Johnk. Teoría electromagnética, Campos y ondas. 2001 editorial LIMUSA, S.A. México D.F.

Cohen, L y Manion, L. (1990). *Métodos de investigación educativa*. Madrid: La Muralla.
¿CÓMO PROMOVER EL INTERÉS. POR LA CULTURA CIENTÍFICA? UNA PROPUESTA DIDÁCTICA FUNDAMENTADA PARA LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA DE JÓVENES DE 15 A 18 AÑOS. Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO – Santiago. Impreso en Chile por Andros Impresores. Santiago, Chile, enero 2005

Ficher, L. y Varney, R. Contact potentials between metals: History, concepts, and persistent misconceptions. American Journal of Physics Vol. 44, No. 5, May 1976

Física universitaria, con física moderna volumen 2. Sears- Zemansky Decimo segunda edición. YOUNG, HUGH D, y ROGER A. FREEDMAN PEARSON EDUCACION, MEXICO, 2009

Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las ciencias, 11 (2), pp. 197/212

Guillermo García Talavera. TEORÍA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO. LIMUSA MEXICO D.F. 1999

Guisasola, J. (2008). Science Education Based on Developing Guided Research. *Science Education in Focus*, 6, 173-201.

Halliday, D., Resnick, R.,Krane, K. (1999). Fisica vol. 2. (3ª. Ed.). México: Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Investigación y experiencias didácticas*, 12, 299-313.

Murphy, R. (2001). *Teoría electromagnética*. México: Trillas.

PLANIFICANDO LA ENSEÑANZA PROBLEMATIZADA: EL EJEMPLO DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA. Osuna García, Luis, Martínez Torregrosa, Joaquín, Carrascosa Alís, Jaime y Verdú Carbonell, Rafaela. Didáctica de las ciencias experimentales. Universidad de Alicante. Revista enseñanza de las ciencias, 2007, 25(2), 00-00

Varney, R. (1980) Electromotive force: Volta's forgotten concept. *American Association of Physics Teachers*, 48 (5)

4. Contenidos

CAPITULO I: INDUCCIÓN ELECTROMAGNETICA

Estudio de los conceptos teóricos del electromagnetismo relevantes para la comprensión del fenómeno de inducción electromagnética y posterior explicación de la experiencia del tubo de Lenz.

CAPITULO II: EL TUBO DE LENZ

Construcción del montaje experimental del tubo de Lenz dotado de una interfaz en la que el computador se convierte en una herramienta de medición, ya que permite la detección y registro de señales eléctricas inducidas y su posterior análisis.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN ORIENTADA

Planificación y desarrollo de la secuencia de aprendizaje en torno al aprovechamiento de la experiencia de laboratorio para favorecer el proceso de enseñanza – aprendizaje del fenómeno de inducción electromagnética.

5. Metodología

Abordaje del experimento del tubo de Lenz como una experiencia de carácter cuantitativo, dado que usualmente se le presenta de manera cualitativa.

Construcción de un montaje experimental que se doto de una interfaz que permitiera la detección del paso de un imán a través de un tubo de cobre y permitiera registrar los tiempos y posiciones del imán durante su recorrido a través del tubo y cuyo análisis posterior permitiera al estudiante familiarizarse con este tipo de laboratorio.

Revisión teórica del electromagnetismo, campos e inducción electromagnética para abordar su conceptualización y posterior explicación.

De ninguna manera se quiso que el montaje experimental fuera ajeno a la comprensión del estudiante ni que se cayera en el desarrollo de actividades y operaciones "ciegas" por lo que para aprovechar al máximo la experiencia de laboratorio se enmarco dentro de la metodología de investigación orientada para favorecer el proceso de enseñanza aprendizaje.

Implementación para observar los alcances del montaje experimental y sus posibilidades en el aula de clase.

6. Conclusiones

El presente trabajo permitió reconocer la importancia de la experiencia de laboratorio dentro de una secuencia de aprendizaje realmente estructurada para sacar el mayor provecho pedagógico a este tipo de experiencia. Solo mediante un buen abordaje metodológico de la experiencia de laboratorio el estudiante no se relaciona con el experimento de manera distante sino que puede reconocer la idea que llevo a su construcción, la técnica y tecnología detrás de su funcionamiento.

Mediante la interfaz se acercó al estudiante a una experiencia de laboratorio de tipo cuantitativo resaltando la importancia del registro de datos y de su posterior tratamiento para visualizar el fenómeno que ocurre dentro del tubo. Muy alejados de la realización de procedimientos ciegos, los estudiantes podían reconocer la lógica e interconexión en cada paso que realizaban.

El montaje experimental permitió articular la secuencia de aprendizaje y que los estudiantes pudieran hacerse una idea clara del movimiento del imán dentro del tubo e inferir las posibles causas de dicho fenómeno. Permitió plantear la situación problemática que se buscaba, a saber: ¿qué tipo de fuerza estaba sobre el imán si en definitiva no había una atracción magnética del imán hacia el cobre?

La interfaz permitió corroborar lo que intuitivamente los estudiantes podían inferir: que el imán sufría una desaceleración y que además la velocidad permanecía constante durante el recorrido por lo que era pertinente hallar nuevas hipótesis que explicaran este resultado.

Elaborado por:	Hernan Dario Garzón Garzón
Revisado por:	José Francisco Malagón

Fecha de elaboración del Resumen:	28	01	2014

CONTENIDO

INTRODUCCION _____ Pg.2

CAPITULO I: INDUCCIÓN ELECTROMAGNETICA _____ Pg.5

1.1 Líneas de Campo Magnética_____ Pg.6

1.2 Flujo Magnético _____ Pg.8

1.3 Par de torsión y momento dipolar _____ Pg.8

1.4 Campo magnético debido a cargas de movimiento_____ Pg.10

1.5 Campo Magnético de una espira circular de corriente _____ Pg.12

1.6 Inducción Electromagnética _____ Pg.13

CAPITULO II: EL TUBO DE LENZ _____ Pg.18

2.1 Montaje experimental del Tubo de Lenz_____ Pg.19

2.1.1 Materiales y equipos empleados para hacer el montaje_____ Pg.22

2.1.2 Elaboración del montaje y desarrollo del experimento_____ Pg.23

2.2 Análisis matemático del tubo de Lenz_____ Pg.25

CAPITULO III: MODELO DE APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA EN TORNO A SITUACIONES PROBLEMÁTICAS DE INTERÉS _____Pg. 34

3.1 Planificando la enseñanza problematizada_____ Pg.36

3.2 Secuencia de aprendizaje _____ Pg.40

CONLUSIONES _____ Pg. 44

BIBLIOGRAFÍA_____ Pg.45

INTRODUCCION

La enseñanza del electromagnetismo busca familiarizar al estudiante con el mundo físico que se puede describir mediante esta teoría, es decir con los fenómenos eléctricos y magnéticos; muchas veces la única manera de familiarizarse con ese mundo es mediante el trabajo experimental. Esto se puede ilustrar con la siguiente cita:

"Si convenimos en que la educación en ciencias debe girar en torno a descifrar las claves del mundo físico y comprender (y emplear) los conocimientos conceptuales y de procedimiento que los científicos han desarrollado para su ayuda en esa tarea, el primer paso que se debe dar en la enseñanza de la ciencia es la familiarización con ese mundo. En esta etapa el trabajo de laboratorio resulta esencial. Puede que quizá sea el único modo de experimentar directamente muchos de los fenómenos y los hechos que aborda la ciencia" (Hodson 1994).

El caso del fenómeno de inducción electromagnética es un claro ejemplo de la necesidad del trabajo de laboratorio para evidenciar los fenómenos, ya que es el único modo de experimentar directamente el fenómeno de inducción electromagnética, además el uso de prácticas propias de la ciencia como las experiencias cuantitativas familiarizan a los alumnos con los procedimientos que los científicos desarrollan y permite reforzar los conocimientos conceptuales.

Con el fin de favorecer la introducción de la experiencia cuantitativa en el estudio de la inducción electromagnética se deben crear espacios donde el estudiante pueda evaluar "la firmeza de sus modelos y teorías" aportados por la labor previa del docente acerca de la inducción electromagnética y "ofrecer estímulos adecuados para el desarrollo y el cambio" hacia un pensamiento científico. (Hodson 1994).

Por otra parte la enseñanza de la física y de la naturaleza de sus teorías, en la escuela implica una reflexión sobre cómo abordar el proceso enseñanza-aprendizaje del electromagnetismo y la

necesidad de evitar conceptualizaciones erróneas que al mismo tiempo pudieran trasmitírsele al estudiante.

Con estas cuestiones en mente en este trabajo se advirtió cómo el proceso científico de Faraday en el descubrimiento de la inducción electromagnética muy bien se podría asemejar al modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés: influenciado por su metafísica, idea o imagen del mundo, Faraday se planteaba modelos explicativos que lo llevarían a un sin número de constataciones experimentales tanto cualitativas como cuantitativas tan pronto se iba afianzando su imagen del mundo (Berkson 1981).

La trascendencia que tuvo el plantearse una imagen del mundo en el descubrimiento de la inducción electromagnética hace necesario propiciar que el estudiante reconozca esta importancia, permitiéndole plantearse posibles explicaciones del fenómeno de inducción electromagnética a partir de su propio modelo del mundo, las ponga a prueba, las refute o mejore de acuerdo a las conclusiones y sopese como estas se acoplan o no a su idea del mundo, proceso que se resalta en el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés y por lo tanto una situación propicia para incluir un montaje experimental durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Necesariamente este proceso llevará gradualmente al estudiante a explicaciones más elaboradas, se hará necesario entonces hacer constataciones por medio de la práctica experimental de carácter cuantitativo del fenómeno una vez las ideas de los alumnos se hagan más sólidas y coherentes con el modelo actualmente aceptado, por lo que se plantea un montaje experimental cuya construcción y funcionamiento así como una explicación a la luz de la teoría electromagnética se presenta en el segundo capítulo de este trabajo.

Como se dijo anteriormente se pensó en la necesidad de evitar conceptualizaciones erróneas que al mismo tiempo pudieran trasmitírsele al estudiante, razón por la cual se hace un estudio previo del fenómeno de inducción electromagnética y los conceptos pertinentes para su comprensión, un aspecto de este trabajo que se presenta en el primer capítulo ya que constituyo el paso que guío el posterior desarrollo y explicación del montaje experimental.

Concretamente la pregunta que motivo y guio este trabajo fue: ¿cómo elaborar una réplica de un experimento que permitiera una práctica de laboratorio de carácter cuantitativo para la enseñanza del fenómeno de inducción electromagnética haciendo uso del modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés?

Por estas razones el presente trabajo se centró en la construcción e implementación de un montaje experimental que resalta el aspecto cuantitativo en el análisis de la experiencia del tubo de Lenz para favorecer el proceso de enseñanza aprendizaje del fenómeno de inducción electromagnética. Registrado en el segundo capítulo se muestra cómo con este montaje se hizo un estudio del movimiento del imán cayendo a través de un tubo de cobre y mediante una interfaz, que es la pieza central del montaje experimental de este trabajo, se aprovecha el uso del computador como herramienta de detección y registro, mediante el uso de una serie de bobinas distribuidas a lo largo de un tubo de cobre y equidistantes unas de otras se puede obtener una señal eléctrica inducida por el paso del imana a través de ellas, señal que es registrada por un software de análisis de sonido instalado en un computador y que permite registrar estas señales para su posterior análisis. Este análisis permite reconocer el tipo de movimiento que toma el imán durante su recorrido e inferir posibles causas.

Este montaje experimental se llevó al aula el 17 de octubre del 2012, la experiencia de laboratorio que con él se realizó se enmarco dentro de una secuencia de aprendizaje basada en el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés, este modelo busca favorecer la construcción del conocimiento científico a partir de un trabajo orientado que replica los aspectos más relevantes del quehacer científico. La población con la que se trabajó fueron alumnos de grado 11 C del colegio Jaime Garzón ubicado en el barrio Britalia, esta institución otorgada en concesión a la Asociación Alianza Educativa presta su servicios a estudiantes de estratos uno y dos de la localidad de Kennedy.

El tercer capítulo muestra una aproximación al trabajo experimental, queriendo reconocer las posibilidades del montaje experimental propuesto en este trabajo de grado en el aula y con el estudiante.

CAPITULO 1: INDUCCIÓN ELECTROMAGNETICA

Para los fines de este trabajo se hace necesario abordar algunas ideas del electromagnetismo que permiten la comprensión del fenómeno de inducción electromagnética. En este fenómeno intervienen los campos magnéticos y eléctricos por lo que es importante iniciar con una reflexión acerca de ellos:

"Los campos eléctricos y magnéticos son fundamentalmente campos de fuerza que se originan a partir de cargas eléctricas. Si a un campo de fuerza se le llama eléctrico, magnético o electromagnético, se deberá al estado de movimiento de las cargas eléctricas con relación al punto en que se hacen las observaciones del campo. Las cargas eléctricas en reposo, con respecto a un punto de observación, dan lugar a un campo electrostático (independiente del tiempo). El movimiento relativo de las cargas proporciona un campo de fuerzas adicional llamado magnético. Ese campo agregado es el magnetos-tatico, si las cargas se mueven a velocidades constantes con relación al punto de observación. Por otra parte, se da el nombre de campos electromagnéticos a los movimientos acelerados que producen campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo." (Johnk, 2001)

Se puede concluir entonces que a diferencia del campo eléctrico, los campos magnéticos ejercen una fuerza solo sobre cargas en movimiento. Una carga eléctrica en reposo no se verá afectada por una fuerza debida a un campo magnético.

Es importante no confundir los campos de fuerza con las líneas de campo. Algo de gran relevancia para el caso del campo magnético, donde las líneas de campo no están en la misma dirección de la fuerza.

Las interacciones eléctricas y las magnéticas se pueden representar en dos etapas según Hugh y Freedman en su libro Física Universitaria (2009):

1. Una distribución de carga eléctrica en reposo crea un campo eléctrico E en el espacio circundante.
2. El campo eléctrico ejerce una fuerza $F = q\,E$ sobre cualquier otra carga q que este presente en el campo.

La interacción magnética se representa de manera similar:

1. Una carga o corriente móvil crea un campo magnético en el espacio circundante (además de su campo eléctrico).
2. El campo magnético ejerce una fuerza F sobre cualquier otra carga o corriente en movimiento presente en el campo.

Los campos eléctricos y magnéticos son campos vectoriales, es decir que son una cantidad vectorial asociada a cada punto en el espacio. Una carga moviéndose a través de una región con campo magnético y campo eléctrico experimentara una fuerza resultante que es la suma vectorial de las fuerzas eléctricas y magnéticas debidas a los campos.

"La fuerza magnética ejercida sobre una carga en movimiento tiene cuatro características esenciales. La primera es que su magnitud es proporcional a la magnitud de la carga. Los experimentos demuestran que, si en un campo magnético dado una carga de 1 μC y otra de 2μC se mueven con la misma velocidad, la fuerza sobre la carga de 2μC es del doble de magnitud que la que ejerce sobre la carga de 1μC. La segunda característica es que la magnitud de la fuerza también es proporcional a la magnitud, o "intensidad", del campo; si duplicamos la magnitud del campo (por ejemplo usando dos imanes de barra en vez de uno solo) sin cambiar la carga o su velocidad, la fuerza se duplicará. La tercera característica es que la fuerza magnética depende de la velocidad de la partícula. Esto es muy diferente de lo que sucede con la fuerza del campo eléctrico, que es la misma sin que importe si la carga se mueve o no. Una partícula cargada en reposo no experimente fuerza magnética. Y la cuarta característica es que los experimentos indican que la fuerza magnética F no tiene la misma dirección que el campo magnético B, sino que siempre es perpendicular tanto a B como a la velocidad v. La magnitud F de la fuerza es proporcional a la componente de v perpendicular al campo; cuando esa componente es igual a cero (es decir cuando v y B son paralelas o antiparalelas), la fuerza es igual a cero." (Hugh y Freedman, 2009)

1.1 Líneas de Campo Magnético

Las líneas de campo magnético son un método gráfico que permite representar la idea del campo magnético así como su intensidad y flujo. Estas no tienen una existencia física en sí, ya que en realidad el campo se extiende y cubre todo el espacio o región en la que actúa, cada punto en el

espacio está bajo la acción de dicho campo, las líneas no son la "estructura" del campo sino la representación de sus cualidades, aunque graficar líneas de campo magnético pueden ir en contra de la idea fundamental de continuidad del campo se debe recordar que son una ayuda que se usa para representar características relevantes del accionar del campo y no son sustento físico de su forma. De otra forma se podría caer en errores conceptuales que permitirían considerar que no hay accionar alguno del campo entre líneas.

Cada línea se dibuja como una línea continua y curva que uno los dos polos magnéticos de tal forma que el vector de campo magnético asociado a cada punto del espacio sea tangente a la línea de campo magnético que pasa por ese mismo punto. El campo ocupa toda la región donde está presente, la representación en unas cuantas líneas permite visualizar la intensidad del campo en cierta zona. "Donde las líneas de campo adyacentes están cerca entre sí, la magnitud del campo es grande; donde tales líneas están separadas, la magnitud del campo es pequeña. Asimismo, debido a que la dirección de *B* [campo magnético] en cada punto es única, las líneas de campo nunca se cruzan. " (Hugh y Freedman, 2009)

En ocasiones se le llama líneas de fuerza magnética a las líneas de campo magnético lo que favorece errores conceptuales como la idea de que la fuerza producida por el campo y el campo mismo se encuentra en la misma dirección o incluso inducir a pensar que el campo es una fuerza en sí. Para aclarar hay que señalar que el campo es la afectación del espacio y las líneas de campo magnético una forma de describir algunas propiedades del mismo, y por otro lado la fuerza es el resultado de dicha afectación, observable tan solo cuando actúa sobre un objeto o partícula dentro del área de influencia del campo magnético.

La fuerza sobre una carga en movimiento debida a un campo magnético siempre es perpendicular a la dirección de dicho campo. La dirección de esta fuerza dependerá de la dirección del campo magnético que la produce, la velocidad de la carga (dirección y sentido del vector v) y del signo de la carga. Por lo que no se puede tener una idea de líneas de fuerza y líneas de campo magnéticas como iguales.

La fuerza debida al campo magnético *B* siempre será perpendicular al plano formado por los vectores v y *B* asociados a una carga en movimiento. Echo experimental que se representa matemáticamente por el producto vectorial:

$$F = qv \times B \tag{1.1}$$

Conocida como la fuerza de Lorentz.

1.2 Flujo Magnético

Ya se dijo anteriormente que los campos magnéticos y eléctricos son campos vectoriales y debido a que el flujo es una propiedad de todo campo vectorial es importante abordarlo para poder explicar muchas ideas del electromagnetismo, en particular para explicar el fenómeno de inducción electromagnética.

Es importante reconocer que "El campo mismo no está fluyendo sino que es una representación fija del flujo." (Resnick, 1999) En términos del concepto de campo el flujo se considera como una medida del número de líneas de campo que pasan a través de un área determinada, se suele "considerar el flujo de un campo vectorial determinado como si fuese una medida del flujo o intensidad de penetración de los vectores de campo a través de una superficie fija imaginaria en el campo." (Resnick, 1999)

Se divide cualquier área en pequeñas regiones o elementos de área dA, para cada elemento de área se determina un vector del campo magnético que sea normal a la superficie de dicho elemento de área. Así el flujo magnético en un elemento de área es:

$$d\Phi_B = B_\perp dA = B cos\Theta dA = B.dA \tag{1.2}$$

El flujo total sobre una superficie será la suma de todos los flujos de cada elemento de área.

$$\Phi_B = \quad B_\perp dA = \quad B cos\Theta dA = \quad B.dA \tag{1.3}$$

1.3 Par de torsión y momento dipolar

El par de torsión conocido también como momento de torsión es un fenómeno que actúa también sobre dipolos eléctricos y magnéticos.

El dipolo eléctrico consta de dos cargas iguales y de signo opuesto separado una cierta distancia d, para el caso del dipolo magnético se puede considerar un imán de barra o una espira de corriente debido a que sus campos magnéticos son similares.

En el caso del dipolo eléctrico el momento de torsión se presenta cuando el dipolo se somete a un campo eléctrico uniforme externo que origina una fuerza sobre la carga positiva en una dirección

y una fuerza sobre la carga negativa en la dirección contraria con lo que la fuerza neta es igual a cero pero dando como resultado una tendencia a rotar, esto es un momento de torsión neto alrededor del centro del dipolo cuya magnitud es:

$$\tau = F\frac{d}{2}sen\theta + F\frac{d}{2}sen\theta = Fdsen\theta \tag{1.4}$$

Como las fuerzas debidas al campo eléctrico externo sobre las dos cargas eléctricas tienen magnitudes iguales a $F = qE$.

Entonces:

$$\tau = qE\frac{d}{2}sen\theta + qE\frac{d}{2}sen\theta = qE.dsen\theta \tag{1.5}$$

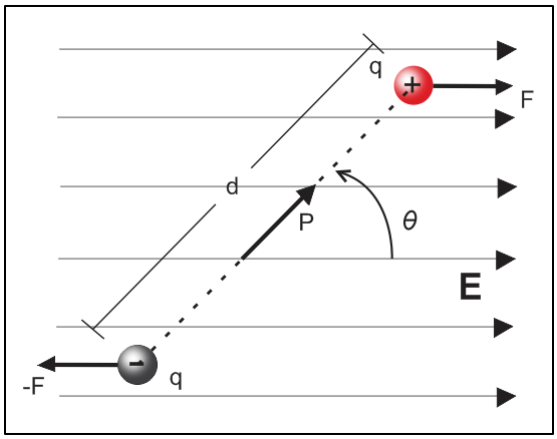


Figura 1.1. Dipolo eléctrico.

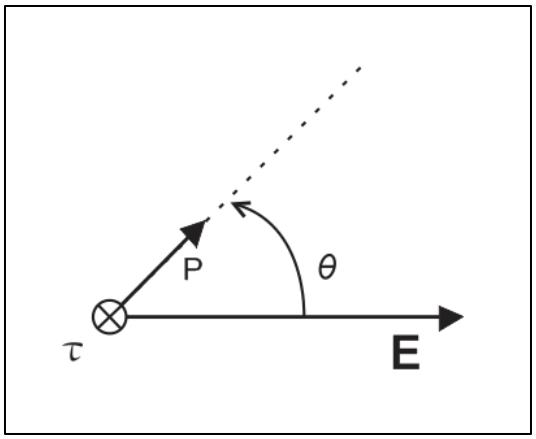


Figura 1.2. Momento de torsión.

El dipolo eléctrico tiene un vector asociado llamado momento dipolar eléctrico *P* cuya dirección se encuentra a lo largo de la línea que une las dos cargas apuntando desde la carga negativa hacia la positiva. El ángulo θ en las ecuaciones 4 y 5 es el ángulo que forma dicho vector de momento dipolar con la dirección del campo eléctrico. La magnitud de este vector está dado por:

$$p = qd \tag{1.6}$$

El dipolo eléctrico tendera a rotar hasta que el vector *P* se alinee con la dirección del campo eléctrico, por lo que el momento de torcion de un dipolo electrico esta dado por:

$$\tau = p \times E \tag{1.7}$$

Cuya magnitud es:

$$\tau = pE\ sen\theta \tag{1.8}$$

Para el momento de torcion de un dipolo magnetico podemos conciderar el caso de una espira de corriene, que tiende a rotar por la accion de las fuerzas debidas a un campo magnetico.

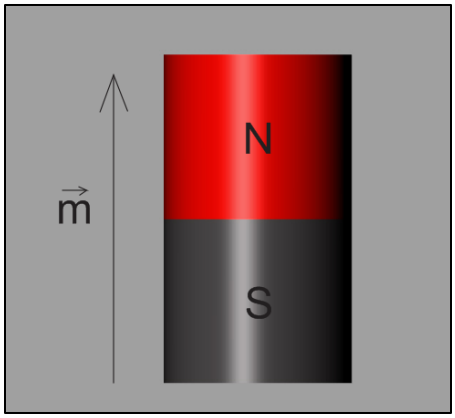
La magnitud del momento de torcion para una espira de corriente esta dado por:

$$\tau = iAB\ sen\theta \tag{1.9}$$

Y para el caso de una bobina de N espiras:

$$\tau = NiAB\ sen\theta \tag{1.10}$$

Se puede definir por analogia con el dipolo electrico el momento dipolar magnetico m :



$$m\ =\ NiA \tag{1.11}$$

En el caso del imán un campo magnético externo crea un momento de torsión sobre el imán de barra que tiende a alinear su momento dipolar con la dirección del campo magnético externo.

Figura 1.3. Dipolo magnético.

1.4 Campo magnético debido a cargas de movimiento

Las cargas en movimiento son a su vez fuentes de campo magnético, si se pretende calcular el campo debido a una carga (q) con velocidad constante (v) en un punto P, se le debe considerar el punto de fuente a un lugar en que la carga se encuentre en un instante dado.

La magnitud del campo magnético en P debida a una carga está dada por:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\ v\ sen\theta}{r^2} \tag{1.12}$$

Donde μ_0 es la constante de permeabilidad magnética del vacío, r es la distancia de la partícula al punto P donde se quiere medir la magnitud del campo, y θ es el ángulo formado por el vector de velocidad de la partícula con el vector que indica la dirección de la partícula hacia el punto P de prueba.

Por la propiedad del producto cruz o vectorial podemos escribir la ecuación como:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{qv \times r}{r^2} \tag{1.13}$$

Que representa el campo vectorial magnético y donde r es el vector unitario que representa la dirección desde el punto de fuente hasta P.

Las líneas de campo magnético de una carga en movimiento se representan sobre el plano perpendicular a la velocidad de la carga y en circunferencias concéntricas las cuales tienen como punto central a la posición de la carga. La dirección del campo se obtiene por la regla de la mano derecha ya que es la misma dirección que toman los dedos de la mano derecha mientras se cierran alrededor de la línea del vector de velocidad de la carga al tiempo que el pulgar esta apunta en la dirección de esta velocidad.

Gracias al principio de superposición de campos se puede obtener una expresión para el campo magnético resultante debido a las contribuciones de campo de varias cargas en movimiento en un segmento pequeño dl de un conductor.

La carga total dQ en el segmento dl en un instante dado es:

$$dQ = nq\ A\ dl \tag{1.14}$$

Que expresa el número (n) de cargas en movimiento (q) por unidad de volumen (Adl).

Así que de la ecuación (44) la magnitud de campo magnético resultante dB en cualquier punto P es:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{dQ\ v\ sen\theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{n\ q\ Adl\ v\ sen\theta}{r^2} \tag{1.15}$$

Como $I = n\ q\ Av$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\ dl\ sen\theta}{r^2} \tag{1.16}$$

Vectorialmente introduciendo un vector unitario se tiene:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl \times r}{r^2} \tag{1.17}$$

Que es el campo magnético de un elemento de corriente y se conoce como la ley de Biot-Savart. También mediante la suma de todas las contribuciones debidas a los elementos de corriente se puede hallar el campo magnético total debido a la corriente en un conductor.

1.5 Campo Magnético de una espira circular de corriente

Una espira o anillo de algún material conductor a través del cual pase una corriente eléctrica generara un campo magnético muy parecido al de un imán por lo que se le puede considerar como un dipolo magnético. La magnitud del campo magnético debido a la corriente que circula en una espira de radio a en un punto P sobre su eje se puede obtener a partir de la magnitud de las contribuciones de campo magnético debidas a cada elemento dl:

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{dl}{x^2 + a^2} \tag{1.18}$$

Esta expresión debida a los dl se puede formular gracias al principio de superposición de campos magnéticos:

"El campo magnético total generado por varias cargas en movimiento es la suma vectorial de los campos generados por las cagas individuales." (Hugh y Freedman, 2009)

Esto se aplica también a las contribuciones de campo magnético provenientes de varios segmentos de conductor dl. El campo magnético total generado por una corriente en un conductor es la suma vectorial de los campos generados por todas las cargas que se encuentren en un segmento dl en un instante dado.

Si tomamos al eje x como el eje de la espira las componentes del campo magnético en y se pueden desestimar debido a que estas componentes se anulan por la acción de su contraparte simétrica. Es decir se anulan entre las contribuciones que tienen la misma magnitud pero

direcciones opuestas y como para cada elemento dl hay otro en el lado opuesto de la espira el resultado total de las componentes del campo magnético en el eje y es nulo.
Por lo que solo se analiza la componente restante del campo magnético en un punto sobre el eje de la espira resultado de la suma de todas las contribuciones de los elementos del conductor en x.

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2\ x^2 + a^2\ ^{3\ 2}} \tag{1.19}$$

Para el caso de una espira circular y únicamente para un punto sobre su eje.

1.6 Inducción Electromagnética

El cambio del flujo magnético de un campo *B* externo a través de una espira o anillo de algún material conductor sin fuente previa de corriente, induce una fem y una corriente en la espira.
El campo magnético variable genera una fuerza electromotriz que llamamos fem inducida y que es la responsable de producir el campo eléctrico que pone en movimiento las cargas eléctricas en el conductor cerrado. Es de relevancia entender que cuando se tiene una diferencia de potencial esta es producida por una fuerza electromotriz, pero no siempre una fuerza electromotriz produce una diferencia de potencial, como es el caso de la fem inducida ya que en un conductor cerrado no se tiene una diferencia de potencial.
Para aclarar este punto es necesario tener en cuenta como se produce una corriente eléctrica, la distribución de una carga debida a una fem genera un campo eléctrico que produce una fuerza sobre los electrones moviéndolos de un lugar de mayor potencial a uno de menor, esta distribución se describe como una ordenación o separación de cargas negativas y positivas responsables de una diferencia de potencial generadora del campo eléctrico, pero si observamos un circuito cerrado como un anillo circular, ¿cómo se da esta separación? De hecho no es posible, debido a las características geométricas del anillo no hay manera de identificar un punto en el mismo en el que se presente una diferencia de potencial, la corriente circularía debido al campo eléctrico generado directamente por la fem inducida por acción de un campo magnético variable.
"Como lo demostraron los experimentos de Faraday, y como la técnica de Faraday de las líneas de campo nos ayuda a percibir, *lo que induce la fem en el anillo es el cambio en el número de líneas de campo que pasan a través de un circuito cerrado.* Específicamente, lo que determina la

fem inducida es la *velocidad de cambio* en el número de líneas de campo que pasan a través del anillo.” (Resnick, 1999)

El principio teórico que describe este fenómeno es la ley de Faraday, que relaciona la fem inducida con el flujo magnético variable actuando sobre una espira:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \tag{1.20}$$

Esta expresión dice que “La fem inducida en un circuito es igual al negativo de la rapidez con que cambia con el tiempo el flujo magnético a través del circuito.” (Resnick, 1999) más exactamente a través de la superficie hipotética delimitada por la espira.

Como la integral de línea cerrada del campo eléctrico E sobre la trayectoria cerrada l que delimita a una superficie es igual a la fem,

$$\varepsilon = \oint_{l} E \bullet dl \tag{1.21}$$

se deduce que “un campo magnético que varía en el tiempo actúa como fuente de campo eléctrico”, por otra parte es importante considerar también “cómo un campo *eléctrico* que varía con el tiempo actúa como fuente de un campo *magnético*.” (Hugh y Freedman, 2009)

En 1820 Hans Christian Oersted descubre que una corriente eléctrica a través de un alambre conductor ejercía efectos sobre una aguja magnética cercana, este descubrimiento era relevante debido a que hasta esa época no se conocía interacción alguna entre efectos eléctricos y efectos magnéticos, de hecho se apartaba de las teorías Newtonianas ampliamente aceptadas por aquella época. Para el programa de investigación Newtoniana existían diferentes tipos de fuerzas que solo interactuaban si eran de la misma naturaleza. También Oersted creía que la acción observada en su experimento se extendía alrededor del alambre en el espacio circundante, alejándose de la idea de una acción instantánea a distancia y central propuesta por la teoría Newtoniana, para la cual una fuerza entre dos partículas se presentaba en la dirección de la línea que une sus centros.

Para Faraday, descubridor del fenómeno de inducción electromagnética, las ideas de Oersted eran llamativas debido a su inclinación por las teorías anti-newtonianas. Faraday se preguntaría entonces si se daría el caso contrario, el obtener efectos eléctricos a partir de efectos magnéticos.

Para entender el camino que tomo Faraday para llegar a su descubrimiento es importante abordar parte de su metafísica o idea particular del mundo. Faraday creía que las fuerzas constituyen la única sustancia física, la fuerza es considerada como real (sustancial), y toda distinción entre materia y fuerza queda abolida, lo importante a tomar en cuenta de esta forma de pensar era que se constituía en una idea de campos. (Berkson, 1980)

Se puede entender la concepción del mundo por parte de Faraday de la siguiente manera: "La fuerza es una sustancia universal que ocupa todo el espacio; a cada punto del campo de fuerza se le asocia una intensidad y una dirección; según sean la intensidad y la dirección de la fuerza, el punto de fuerza hará que los puntos vecinos se muevan. Por lo tanto todos los puntos del sistema interactuaran con sus vecinos (puntos contiguos), dando a lugar a todas las posibles distribuciones de fuerzas y vibraciones de estas." (Berkson, 1980)

Es importante para los descubrimientos posteriores de Faraday su idea de la unidad de las fuerzas en la que se considera que las fuerzas pueden transformarse unas en otras. Esta forma de pensar daría como resultado el descubrimiento del fenómeno de inducción electromagnética, no como una mera coincidencia en medio de sus innumerables experimentos sino como resultado de la búsqueda de lo que intuía era factible dentro de su concepción del mundo físico. Es decir, dada su idea de la unidad de las fuerzas era obvio esperar que si los efectos eléctricos producían efectos magnéticos el caso contrario también se presentaría.

Esto llevo a una investigación deliberada en búsqueda de dicho efecto que en sus etapas iniciales no mostro que un campo magnético cercano a una espira de alambre conductor generara una corriente eléctrica a través del conductor, se descubriría entonces que era esencial que el campo magnético se moviera para que se presentara la inducción de una corriente eléctrica.

Actualmente contamos con una descripción más clara acerca del fenómeno de inducción electromagnética gracias a las ideas de Faraday y la formalización matemática echa por Maxwell. Faraday introduciría la idea de las líneas de campo magnético y la variación en su número como una técnica para comprender y analizar el flujo magnético, directo responsable de la fem inducida. Por otro lado Maxwell aportaría las herramientas matemáticas para describir este fenómeno.

A continuación se hace un análisis con el fin de comprender la manera en que un imán induce una corriente en una espira.

El campo magnético producido por una bobina por la que circula una corriente eléctrica y el campo magnético de un imán cilíndrico son similares, de hecho ambos son dipolos magnéticos. Por lo tanto puede emplearse la expresión matemática para el campo magnético generado por una bobina para describir el campo del imán.

Para simplificar se puede considerar al imán como una espira de corriente de radio a, por lo que su momento magnético es:

$$m = I\pi a^2 \tag{1.22}$$

Se puede considerar el campo magnético de un imán cilíndrico en puntos muy lejanos en comparación con su radio, lo que simplifica las expresiones de sus componentes. Ya se ha considerado que las componentes perpendiculares a su momento magnético se anulan entre si por lo que solo se considera la componente que se encuentra en la misma dirección del eje del imán.

$$B_x = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} \quad \frac{3x^2}{r^2} - 1 \tag{1.23}$$

El flujo de campo magnético producido por el imán a través de una espira es entonces:

$$\Phi_B = \quad B_x \bullet dA \tag{1.24}$$

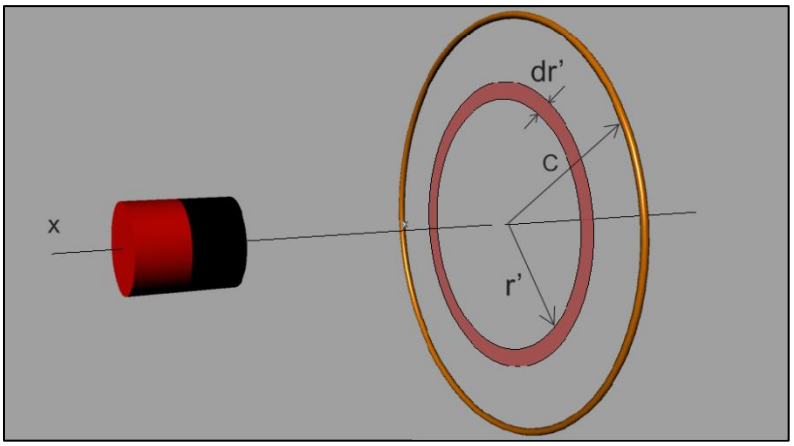


Figura 1.4. Espira de cobre.

Desarrollando está integral y considerando el elemento de área dA de la superficie delimitada por la espira de radio c como el área de un anillo de radio r' y espesor dr' se obtiene que:

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 m c^2}{2\left(\overline{c^2 + x^2}\right)^3} \tag{1.25}$$

Al aplicar la ley de Faraday

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \tag{1.26}$$

La fem inducida es igual al negativo de la derivada de flujo magnético con respecto al tiempo, pero ya que el flujo magnético aquí obtenido depende de la posición se debe recurrir a la regla de la cadena.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dx}\frac{dx}{dt} = -\frac{d\Phi_B}{dx}v = -\frac{3\mu_0 m c^2}{2}\frac{xv}{c^2 + x^{2\ 5\ 2}} \tag{1.27}$$

Este resultado permite ver como la fem que se induce depende directamente de la velocidad con la que el flujo magnético cambia a través de la espira a medida que el imán se mueve en x.

Dado que la velocidad es constate podría pensarse que no se presenta cambio alguno del flujo, pero es la velocidad con la que se pasa de una área de menor intensidad del campo magnético a uno de mayor intensidad, la que se resalta en esta ecuación. Este cambio se debe a que, conforme el observador se acerca al cuerpo del imán la intensidad del campo va en aumento, por lo tanto aun cuando la velocidad sea constante se va presentar un cambio de flujo que induzca una corriente eléctrica en la espira y para el caso del tubo de Lenz aun cuando la velocidad que el imán adquiere durante su recorrido a través del tubo es constante esto permite que la inducción se presente durante todo el recorrido.

CAPITULO II: EL TUBO DE LENZ

El tubo de Lenz consta de un tubo de material conductor de corriente y un imán, la experiencia que con él se lleva a cabo permite evidenciar el fenómeno de inducción electromagnética debido a que el tipo de movimiento que adquiere el imán al caer a través del tubo guarda una relación directa con dicho fenómeno, esta particularidad es la razón por la cual se eligió como experiencia de laboratorio dentro de una secuencia de aprendizaje para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje del fenómeno de inducción electromagnética.

La inducción electromagnética descubierta por el físico británico Michael Faraday es un fenómeno en el cual se genera una corriente eléctrica en un conductor cerrado debido a su exposición a un campo magnético variable, este campo magnético variable se puede producir mediante el movimiento de un imán en cercanías a un material conductor cerrado como un anillo o una bobina de cobre. Esta condición de variabilidad del campo es clave dentro del fenómeno de inducción electromagnética ya que sin ella no hay inducción alguna y esta experiencia de laboratorio lo pone en evidencia para el observador debido al papel de imán en movimiento dentro del tubo.

Para recrear el experimento del tubo de Lenz se usó un tubo de cobre por sus cualidades conductivas, al tener en cuenta el fenómeno de inducción electromagnética y considerar el tubo de cobre como una bobina de infinitas espiras es de esperarse que un imán cayendo a través de él se pueda considerar como un generador de campo magnético variable que a su vez inducirá dentro de las paredes del tubo una corriente eléctrica que circula perpendicularmente y al redor de su eje vertical. A cada porción de tubo bajo estas condiciones se le consideró como una espira o anillo de corriente.

Se eligieron 6 imanes de neodimio ya que este tipo de imán muestra mayor potencia o fuerza magnética en comparación con los imanes comunes, por lo tanto el efecto será más obvio al usar estos imanes, por otra parte el cobre que conforma el tubo es un material reconocido por sus propiedades conductivas lo que permitirá la circulación de la corriente inducida.

Al analizar un anillo de corriente del tubo sabemos que este genera a su vez un campo magnético, a este sistema se le denomina dipolo magnético, el sentido de este depende del sentido de la corriente inducida, fácilmente determinada mediante la regla de la mano derecha.

Lo que se espera observar es el resultado de la interacción de dos campos magnéticos, el del imán y el ahora generado por la corriente inducida en el tubo, este resultado es la desaceleración del imán, si este difiere del movimiento esperado en una caída libre fuera del tubo, entonces el movimiento se le puede atribuir a la corriente inducida.

2.1 Montaje experimental del Tubo de Lenz

Al hacer la experiencia del tubo de Lenz los observadores pueden notar que el imán tarda más tiempo en caer del que le tomaría si cayera fuera del tubo, por lo que se concluye que el imán experimenta una desaceleración. Dado que el experimento consta de un tubo de metal no ferromagnético esta desaceleración no se le puede a tribuir a una atracción del imán hacia las paredes del tubo sino a la fuerza magnética ejercida por el campo magnético generado por la corriente inducida, teniendo como consecuencia una disminución del tiempo de caída del imán.

Esta es la forma en que habitualmente se presenta el experimento, sin embargo en este trabajo se quiso abordar una experiencia cuantitativa para familiarizar al estudiante con esta práctica de la ciencia y permitirle analizar qué clase de movimiento experimenta el imán mientras cae dentro del tubo

El tubo de cobre es fundamental debido a que es el objeto en el que se induce la corriente y debe permitir el flujo de esta, para este trabajo se optó por un tubo de cobre de dos metros de largo y 25.5 mm de diámetro interior, si se le piensa en secciones representa el material conductor cerrado, “anillos” o “espiras” a través de los cuales circulará la corriente inducida, estas representaciones facilitan el análisis del experimento pero es importante no caer en confusiones al momento de hablar de la interfaz utilizada en este trabajo, debido a que una serie de bobinas distribuidas a lo largo del tubo son parte de la interfaz que permite recoger y registrar señales eléctricas, por lo que se hará la diferencia entre los “anillos” o “espiras” teóricas al hablar del tubo y las espiras de las bobinas de la interfaz.

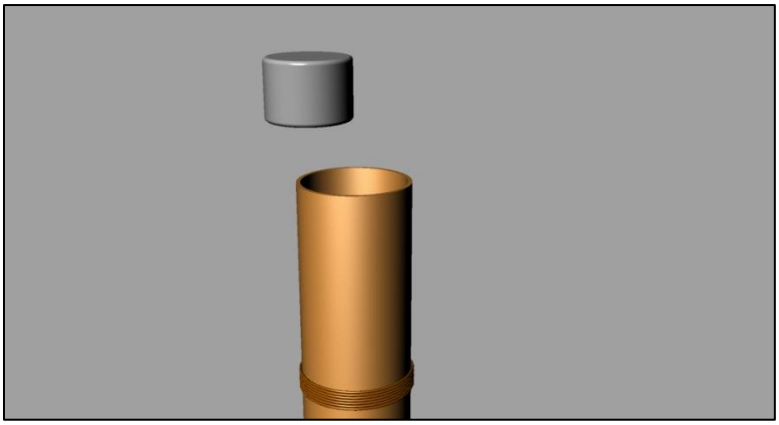


Figura 2.1. Tubo de Lenz.

Los imanes utilizados para ser soltados desde la parte superior del tubo hacia su interior, son imanes cilíndricos de neodimio cuyo diámetro les permitiera transitar libremente a través del tubo evitando el rozamiento con las paredes, este tipo de imanes permanentes hechos por el hombre son una aleación de neodimio, hierro y bromo y son los imanes más poderosos del mercado con la mayor remanencia y coercividad, las dimensiones del imán elegido fueron: 15 milímetros de largo por 21 milímetros de diámetro cuyo peso se relaciona en la tabla 1.

La interfaz, como se señaló antes, permite registrar señales eléctricas, aprovechando el fenómeno de inducción electromagnética es de esperarse que un imán atravesando una bobina de cobre inducirá en ella una corriente eléctrica, por lo que un aparato lo suficiente mente sensible podrá ponerla en evidencia. Debido a que un corte lateral del tubo para observar el paso del imán interrumpiría la inducción en esa sección, un pequeño embobinado enrollado en una pequeña sección sobre la superficie exterior del tubo enviaría una señal eléctrica solo cuando el imán pase a través de él, por lo que se sabrá la posición del imán en ese preciso momento. Para determinar el tipo de movimiento ya sea uniformemente acelerado o con velocidad constante es preciso saber las distancias recorridas y los tiempos, por lo que es necesaria la toma de varios datos de posición y tiempo a lo largo del recorrido del imán dentro del tubo.

La idea fundamental es poder señalar el paso del imán por cierto lugar durante su recorrido y relacionarlo con un tiempo específico para dicho suceso, el paso del imán por una bobina colocada en una posición claramente identificada en el tubo inducirá una corriente en ella en un momento que puede ser relacionado al suceso especifico del paso del imán por ese lugar.

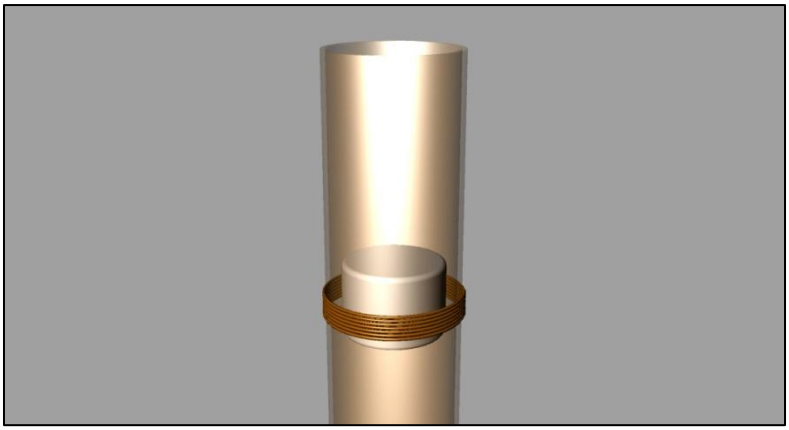


Figura 2.2. Paso del imán por una bobina.

Para saber cómo se comporta el imán durante todo el recorrido se deben poner una serie de bobinas a distancias iguales entre sí por lo que la inducción en cada una de ellas indicara la posición y tiempo según el orden de ocurrencia. Para desplegar las bobinas previamente se marcaron los lugares donde se enrollarían cada una sobre la superficie del tubo, la separación entre marcas fue de 10 centímetros medidos a partir de un extremo del tubo, para un total de 19 bobinas.

Por otra parte es importante abordar el hecho de que un sonido reproducido o gravado por un aparto electrónico es en sí mismo una señal eléctrica, por ejemplo, la función de un micrófono es la de transformar una vibración mecánica en vibraciones eléctricas que son registradas y decodificadas por algún tipo de reproductor electrónico. Un computador puede hacer las veces de este instrumento gracias a sus características multimedia por lo que solo se debe contar con el puerto estándar para micrófono que trae todo computador y un software de análisis de sonido para que se convierta en un instrumento de detección y registro de señales eléctricas.

Por lo tanto ya que se obtendrán señales eléctricas de cada bobina al paso del imán, y el puerto del micrófono recibe, en definitiva, señales eléctricas, el computador me permite detectarlas y registrarlas con el software de edición de sonido. En el caso particular de la interfaz usada en el montaje experimental del presente trabajo, se utilizó un computador portátil marca Samsung RV411 dotado con un puerto estándar para micrófono y se le instalo el software de edición y análisis de sonido AudaCity, software de licencia libre que puede ser descargado desde la página del autor.

2.1.1 Materiales y equipos empleados para hacer el montaje

Para el montaje experimental se usaron 13 metros de alambre de cobre calibre número 10 revestido con esmalte aislante para formar las bobinas, un tubo de cobre de 2 metros de largo y 25,5 milímetros de diámetro interior, un computador portátil con el software de edición de audio digital AudaCity previamente instalado. Este software de licencia libre puede ser descargado desde la página web del autor en audacity.sourceforge.net. Su descarga no tiene ningún costo y su instalación no necesita de conocimientos avanzados en sistemas, tan solo verificar que la maquina cumpla con los requerimientos básicos. Este software usado para grabación de audio y posterior análisis y edición, permite visualizar las señales digitales de audio como señales analógicas al mostrarlas como ondas para su análisis. Cuenta con una interfaz gráfica o entorno visual que permite ver los tiempos registrados y analizarlos fácilmente.

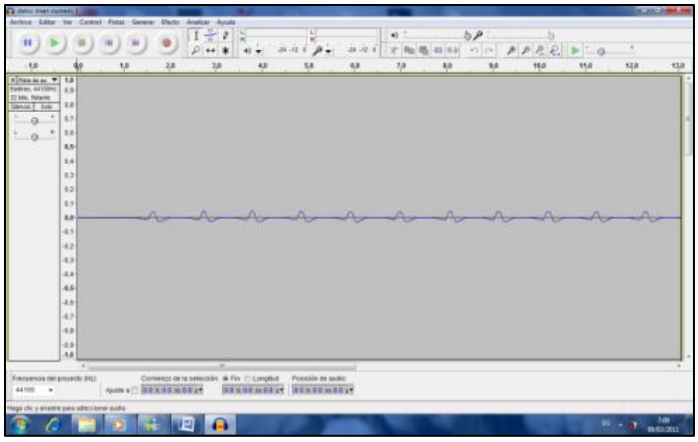


Figura 2.3. Software Audacity

El montaje también cuenta con un plug de audio para conectar las bobinas al computador por medio del puerto para micrófono y por último, con el fin de probar el montaje: 6 imanes de neodimio de 15 milímetros de largo por 21 milímetros de diámetro cuyo peso se relaciona en la tabla 1.

Tabla 1. Pesos correspondientes a cada imán medidos con una balanza electrónica.

Imán	Peso en gramos
1	38.914 ± 0.001
2	39.349 ± 0.001
3	38.998 ± 0.001
4	38.814 ± 0.001
5	39.036 ± 0.001
6	39.112 ± 0.001

2.1.2 Elaboración del montaje y desarrollo del experimento

A partir de los primeros diez centímetros del tubo medidos y marcados con anticipación se comienzo a enrollar a su alrededor una serie de bobinas (Bn) de 7 espiras de alambre de cobre, cuidando que las bobinas queden conectadas en serie y separadas 10 centímetros una de la otra, hasta completar 19 bobinas.

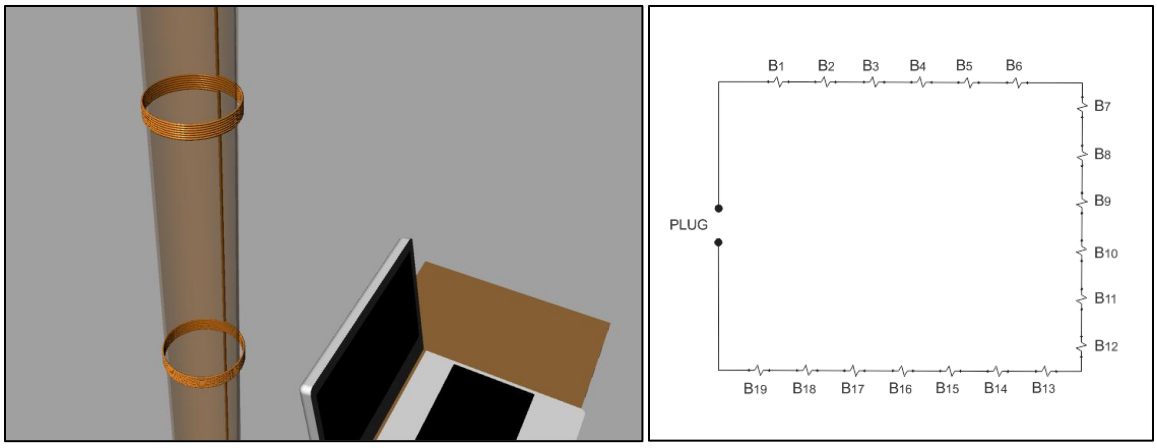


Figura 2.4. Conexión en serie de las bobinas.

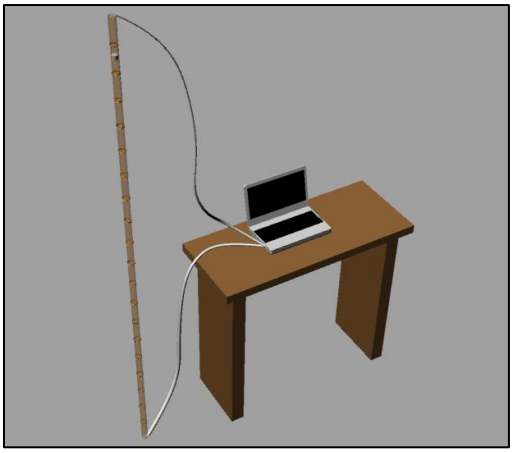


Figura 2.5. Montaje experimental.

Las bobinas en contacto con el tubo se encuentran aisladas debido al esmalte del alambre por lo que no se hace necesario cinta aislante u otro material para aislar las bobinas de la superficie del tubo, sin embargo se usó cinta pegante trasparente de cinco centímetros de ancho con la finalidad de mantener cada bobina sobre la marca de referencia de 10 cm así como para permitir al observador advertir las bobinas, permitiendo al estudiante acercarse a la construcción y funcionamiento del montaje experimental.

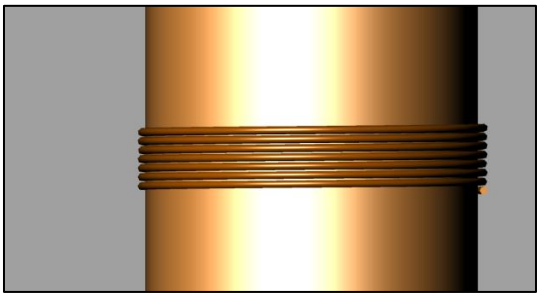


Figura 2.4. Bobina de la interfaz.

Los extremos del alambre de la serie de bobinas se sueldan a las terminales de un plug de audio que se conecta al puerto del micrófono del computador.

Se instala en el computador el software de análisis de sonido de licencia libre AudaCity que se puede descargar gratuitamente desde la página web del autor.

Se inició el experimento encendiendo el computador e iniciando el software de análisis de sonido, se sostiene de forma vertical el tubo de cobre y se activa el modo de grabación del software. Inmediatamente después se dejó caer el primer imán desde el tope del tubo al tiempo que el

software gravaba, el imán salió del otro lado y se paró la grabación. Se repite este procedimiento 10 veces para cada uno de los 6 imanes. La señal eléctrica producida por cada bobina se registró en el software y se guardó para su posterior análisis.

En este punto lo que se busca es que las corrientes inducidas en cada bobina al paso del imán a través de ellas se puedan percibir como señales de sonido mediante el software AudaCity, estar relación se puede hacer ya que los sonidos en un micrófono se traducen en vibraciones eléctricas.

Se le prestó atención al tiempo en que estas señales eléctricas aparecen, despreciando su intensidad ya que lo que se busca es entablar una relación entre el tiempo y la posición del imán dentro del tubo.

Al momento de gravar, el software permite registrar todas las señales y relacionarlas con el momento en que sucedieron mediante la escala de tiempo con la que cuenta el programa.

Los datos tomados y su posterior análisis se presentan en el anexo 1.

2.2 análisis matemático del tubo de Lenz

A continuación se hace una descripción matemática y física del fenómeno que interviene en el experimento del tubo de Lenz.

Para iniciar el análisis se consideró al tubo de cobre como una serie de anillos o espiras a través de las cuales se deja caer un imán cilíndrico bajo la acción de la gravedad por lo tanto se inducirá una corriente en las “espiras” que se encuentren bajo la acción del campo magnético variable provisto por el imán en caída y a su vez esta corriente inducida generara un campo magnético.

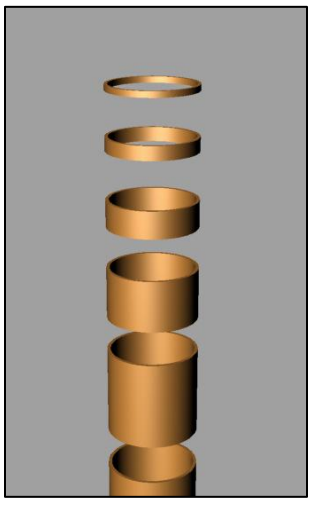


Figura 2.5. Idea figurada del tubo como espiras.

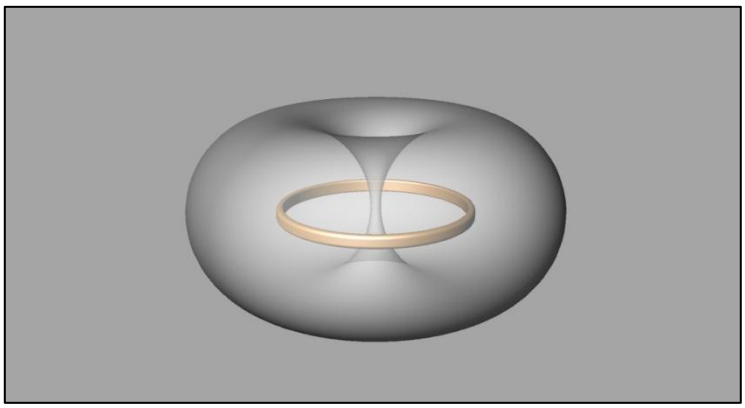


Figura 2.6. Campo magnético debido a una corriente eléctrica.

El dipolo magnético de una espira de corriente depende de la dirección de la corriente inducida. La dirección está dada por la regla de la mano derecha de modo que para corrientes eléctricas que circulan en el sentido de las manecillas del reloj en el tubo de cobre vertical se tiene una "serie de espiras" de corriente cuyo vector de momento magnético apunta hacia abajo, cuando la dirección de la corriente es contraria, el vector de momento magnético apuntara hacia arriba.

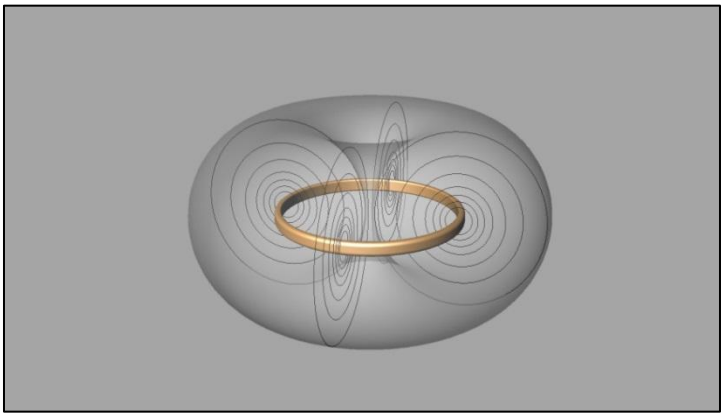


Figura 2.7. Líneas de campo magnético.

Cuando el imán se suelta dentro del tubo de cobre y cae debido a la acción de la gravedad la variación del campo magnético del imán cuya magnitud es mayor al acercarse al polo (el flujo magnético es mayor cerca al polo del imán), inducirá una corriente en la porción de tubo por delante del imán que generara un campo magnético en oposición al campo magnético del imán. La interacción entre estos dos campos es lo que afectara el movimiento del imán.

Ya se consideró anteriormente que el imán se puede plantear como una espira de corriente por lo que no habrá ningún problema en describir la interacción en términos de corrientes y momentos magnéticos.

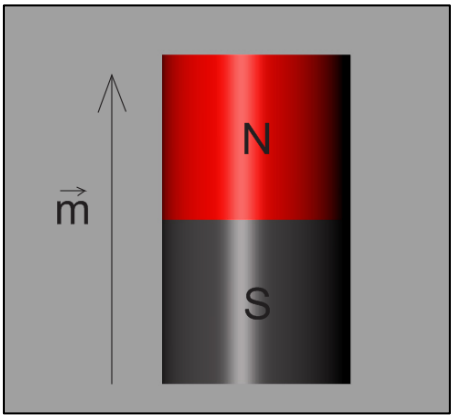


Figura 2.8. Momento magnético del imán

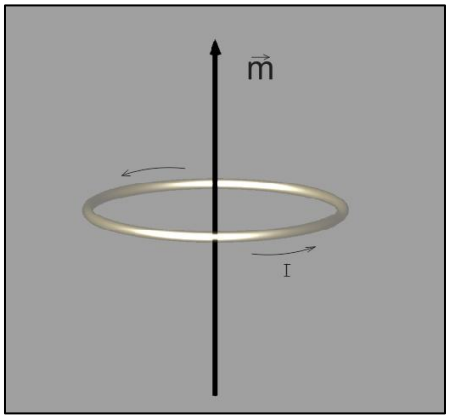


Figura 2.9. Momento magnético de una espira de corriente

Mediante la ley de Lenz se puede explicar el origen de la fuerza retardadora sobre el imán en términos de las corrientes inducidas en el tubo:

En un circuito conductor cerrado, la corriente inducida aparece en una dirección tal que esta se opone al cambio que la produce. (Resnick 1999)

"la corriente inducida establece un campo magnético por sí misma. Dentro del área limitada por el circuito [espira o anillo], este campo es *opuesto* al campo original si éste se *incrementa*, pero tiene la *misma* dirección que el campo original si éste *disminuye*. Es decir, la corriente inducida se opone al *cambio en el flujo* a través del circuito (*no* al flujo en sí)." (Hugh y Freedman 2009)

Cuando el imán se mueve hacia la espira o anillo, la variación del flujo magnético a través de la superficie delimitada por la espira, es una variación caracterizada por el aumento del flujo magnético, esto se puede representar por medio de la técnica de las líneas de campo. Conforme la superficie delimitada por la espira se va acercando al imán pasa gradualmente de una zona de baja intensidad representada con pocas líneas de campo, a una zona de mayor intensidad representada con un número proporcional de líneas de campo. Se entiende así que el flujo magnético va aumentando paulatinamente a través de la espira, lo que induce una corriente cuya dirección es tal que el campo magnético generado por esta corriente se opondrá al campo del imán. Cuando el imán se aleja la variación es de una disminución del flujo magnético, la corriente así inducida tiene una dirección que se opone al cambio es decir tendrá una dirección tal que el campo generado por esta corriente atraerá al campo del imán.

Mediante la convención de signos creada para definir la interacción entre imanes se deduce que signo tiene el campo inducido para cada caso. La dirección de la corriente se define mediante la regla de la mano derecha.

A continuación se presenta un esquema de lo que sucede en el tubo en términos de corrientes y momentos magnéticos.

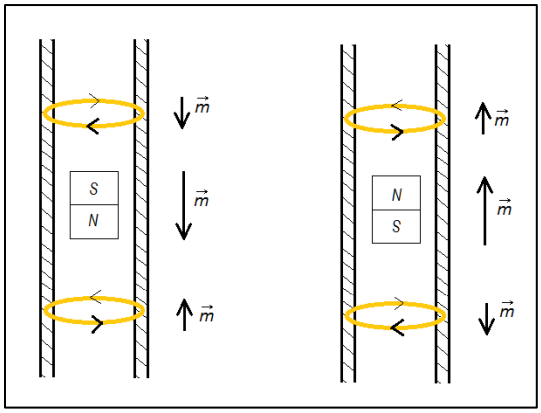


Figura 2.10. Momentos magnéticos.

Por lo que as fuerzas resultantes sobre el imán son:

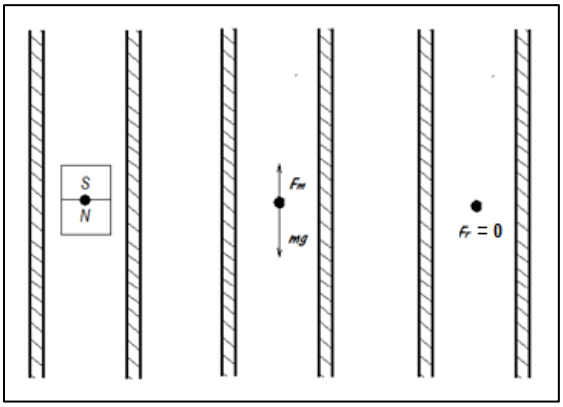


Figura 2.11. Fuerza resultante cero.

Por lo que la ecuación de movimiento quedaría:

$$F_r = p - F_m$$

$$ma = mg - F_m$$

$$m\frac{dv}{dt} = mg - F_m \tag{2.1}$$

Al considerar el trabajo que se debe hacer para cambiar la orientación de un dipolo magnético dentro de un campo magnético se tiene:

Del trabajo en un movimiento de rotación:

$$dW = F.ds \tag{2.2}$$

Donde W es el trabajo y F la fuerza exterior aplicada a un punto y ds vector de desplazamiento

Como la longitud de arco es:

$$L_a = r \,.\, \emptyset \tag{2.3}$$

Donde r es el radio de la circunferencia y ∅ es el ángulo entre los dos radios.

Entonces la magnitud del vector de desplazamiento es:

$$ds = r \,.\, d\emptyset \tag{2.4}$$

La componente tangente de la fuerza:

$$F_T = F.sen\theta \tag{2.5}$$

$$F.sen\theta$$

Que es la componente tangencial cuya dirección es la misma del desplazamiento

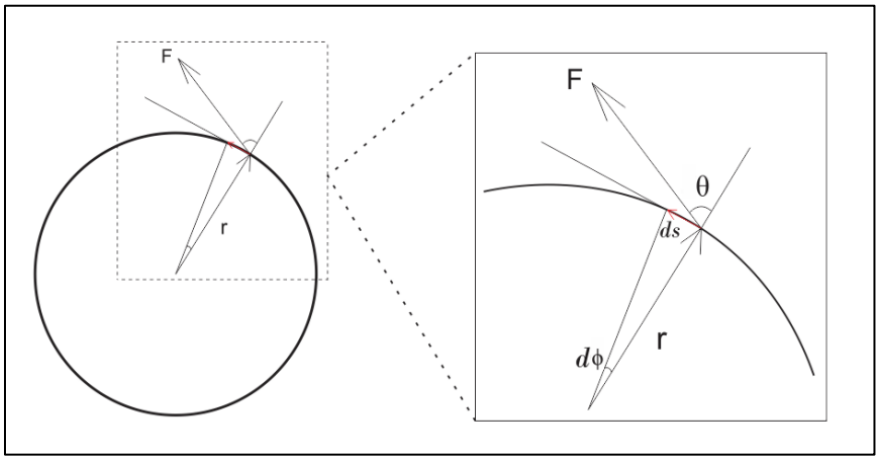


Figura 2.12. Estableciendo los vectores de desplazamiento y de fuerza.

Entonces:

$$dW = F\ sen\theta \,.\, r\ d\emptyset \tag{2.6}$$

Donde θes el angulo de la componente con respecto a la tangente y ∅ es el ángulo que barre el radio.

Como el momento de fuerza que es el torque o par de torsión es:

$$M = F\ sen\theta \,.\, r \tag{2.7}$$

Entonces:

$$dW = M \,.\, d\emptyset \tag{2.8}$$

El par de torsión de una espira de corriente en un campo magnético es:

$$\tau = MB\ sen\theta \tag{2.9}$$

El trabajo es entonces:

$$dW = \tau\ d\emptyset \tag{2.10}$$

$$dW = MB\ sen\theta\ d\emptyset \tag{2.11}$$

Como el momento tiende a cerrar el ángulo se agrega un menos a la ecuación:

$$dW = -MB\ sen\theta\ d\emptyset \tag{2.12}$$

Como la fuerza es conservativa el trabajo de esta es igual a la variación de energía potencial cambiada de signo debido a que el trabajo no depende de la trayectoria si no únicamente de las coordenadas.

$$dU = -dw$$

$$dU = MBsen\theta\ d\emptyset \tag{2.13}$$

Integrando:

$$U = -MBcos\theta + C \tag{2.14}$$

La constante *C* permite establecer el nivel cero de energía potencial. No hay energía potencial cuando θ es igual a 90 grados y C es igual a cero.

$$U = -MBcos\theta = -m \bullet B \tag{2.15}$$

Entonces la energía potencial para el imán es igual al producto escalar entre su momento dipolar magnético y el campo magnético de la espira de corriente actuando sobre el imán o dipolo. Como ya se ha tratado anteriormente solo se tiene en cuanta la componente del campo en la dirección del eje de la espira.

Así:

$$U = -M \bullet B_z \tag{2.16}$$

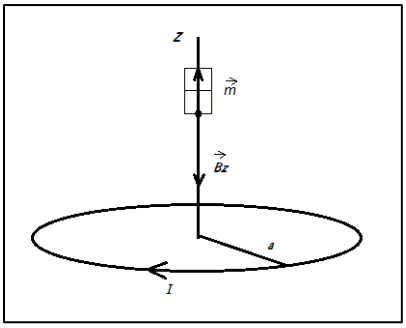


Figura 2.13. Donde Bz se debe a la corriente de la espira.

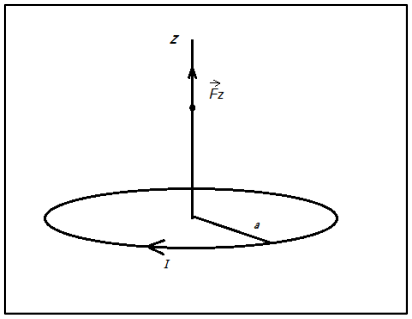


Figura 2.14. Fuerza en z.

Considerando que se busca la fuerza responsable de la disminución de la velocidad del imán y dado que la derivada de la energía potencial es igual a la fuerza entonces

Se busca la derivada parcial con respecto a la componente que interviene:

$$F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

$$F_z = -\frac{\partial}{\partial z}(-M \bullet B_z) \tag{2.17}$$

Sustituyendo:

$$F_z = \frac{\partial}{\partial z} \quad M \frac{\mu_0 I a^2}{2 \ z^2 + a^2 \ ^{3} \ ^{2}}$$

$$F_z = -\frac{3M\mu_0 I a^2}{2} \frac{z}{z^2 + a^2 \ ^{5} \ ^{2}} \tag{2.18}$$

Retomando la ecuación de movimiento:

$$m\frac{dv}{dt} = mg + \frac{3M\mu_0 I a^2}{2} \frac{z}{z^2 + a^2 \ ^{5} \ ^{2}}$$

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = -mg - \frac{3M\mu_0 I a^2}{2}\frac{z}{z^2 + a^2\ ^5\ ^2} \tag{2.19}$$

De la ecuación de la ley de inducción de Faraday:

Para el caso de la espira la fuerza electromotriz coincide con el voltaje total para un circuito con lo que se puede aplicar la ley de ohm.

$$V = IR$$

$$\frac{3m\mu a^2}{2}\frac{z}{a^2 + z^2\ ^5\ ^2}\frac{dz}{dt} = IR \tag{2.15}$$

Donde a es el radio de la espira, Z es el eje de la espira, m el momento dipolar magnético y la velocidad es negativa dado que el imán cae (marco de referencia).

Sustituyendo I en la ecuación de movimiento:

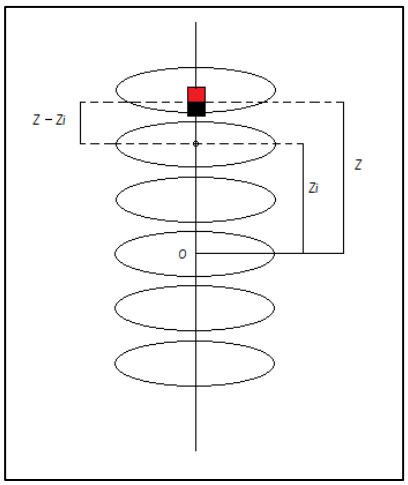


Figura 2.15. Serie de espiras.

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = -mg - \frac{9M^2\mu^2a^4}{4R}\frac{z^2}{z^2 + a^2\ ^5}\frac{dz}{dt}$$

$$F_R = -mg - \frac{9M^2\mu^2a^4}{4R}\frac{z^2}{z^2 + a^2\ ^5}v$$

Para más espiras se debe remplazar z por $z - z_i$ que es la distancia entre el imán y una espira con respecto a un origen.

$$F_R = -mg - \sum_{i-n+1}^{i+n}\frac{9M^2\mu^2a^4}{4R}\frac{z - z_i\ ^2}{z - z_i\ ^2 + a^2\ ^5}\frac{dz}{dt}$$

Este análisis permite ver la forma en que las fuerzas actúan sobre el imán y afectan su movimiento, en definitiva se tienen dos fuerzas actuando sobre él y en la misma dirección de su eje vertical pero en sentidos opuestos, para este trabajo y su comprensión durante la elaboración del mismo la ecuación final permite observar la sumatoria de fuerzas, por un lado se tiene la fuerza producida por la acción de la gravedad y por el otro una fuerza contraria producto de la interacción entre campos magnéticos.

El tratamiento físico y matemático permitió diferenciar dos tipos de fuerzas importantes en esta experiencia de laboratorio: por un lado la fuerza magnética resultante de la interacción entre

campos magnéticos, el del imán y el producido por la corriente eléctrica inducida, y por otro la fuerza resultante del sistema sobre el imán y que según el experimento debe ser igual a cero, debido a la velocidad constante de caída del imán para lo cual la fuerza magnética resultante debe ser igual al peso del imán.

El resultado de las pruebas con el montaje experimental permite ver que el imán alcanza una velocidad constante durante su recorrido dentro del tubo lo que comprueba la presencia de una fuerza magnética que interactúa con la fuerza magnética del imán.

Se concluye que esta fuerza magnéticas provienen del imán y de la corriente eléctrica que circula en las paredes del tubo, dicha corriente solo se le puede atribuir a la inducción electromagnética producto del movimiento del imán dentro del tubo, haciendo que el flujo magnético a través de cada espira teórica varié.

Por otra parte el análisis con base en los momentos magnéticos permite comprender la dirección de la fuerza magnética resultante mediante la alusión a la interacción entre imanes ya conocida, a saber, que polos opuestos se atraen y polos iguales se repelen.

CAPITULO III: MODELO DE APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA EN TORNO A SITUACIONES PROBLEMÁTICAS DE INTERÉS

Para la realización de la secuencia de aprendizaje concebida como investigación orientada se hiso necesario estudiar en qué consistía dicha metodología.

Esta metodología nace de los planteamientos constructivistas y de la profundización en las implicaciones de la historia y filosofía de las ciencias en la enseñanza de las ciencias, aborda el aprendizaje como "un trabajo (orientado o guiado) de investigación y de innovación, a través del tratamiento de situaciones problemáticas de interés." (UNESCO 2005) desde el cual se busca favorecer la construcción de conocimientos científicos.

La manera en que se considera al estudiante dentro de esta metodología se acerca a la figura de un investigador novato en una escenario que se asemeja a la "situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación" (Gil Pérez 1993). Replicando investigaciones en las que el profesor, para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, se convierte en un orientador del proceso de aprendizaje buscando resaltar la actividad científica como un oficio abierto y creativo donde el profesor no sea visto por los estudiantes como un trasmisor de los conocimientos sino que su labor agá alusión al trabajo de un investigador experto guiando los esfuerzos de un grupo de investigadores noveles.

Las situaciones problemáticas abiertas son de importancia dado que estas son la motivación y punto de partida de cualquier investigación, son abordadas a partir de los intereses y capacidades del investigador y se constituye un momento fundamental donde el estudiante "investigador" acota la situación en un problema particular y preciso que se encuentra a la base de la situación problemática. El análisis cualitativo es de importancia en este punto ya que permite al estudiante comprender la situación e identificar las partes que la componen desde una perspectiva más amplia teniendo en cuenta dentro de su análisis los contextos sociales, culturales y ambientales.

La elección de esta situación problemática debe partir de la idea del posible interés que este tiene para los estudiantes, buscando favorecer la reflexión y contextualización.

Es este el momento deben hacerse las preguntas con relación al modo en que se va a llevar a cabo la investigación el por qué y sus pasos (preguntas operativas) que le permitan al estudiante saber en todo momento dónde se encuentra en la investigación y para que se lleva a cabo determinada tarea.

Estas le permiten al estudiante reflexionar y asimilar la manera en la que se va a llevar la investigación de principio a fin permitiéndole orientarse en todo momento y entender la secuencia de razonamiento que se ha hecho para la resolución del problema.
Permitir que los estudiantes propongan o examinen hipótesis es fundamental en esta metodología dado su carácter investigativo, es importante propiciar la emisión de hipótesis dejando de lado la idea de los "datos puros" datos obtenidos "objetivamente" sin la mediación de las teorías que las interpretan. Como si en los datos existiera una verdad intrínseca e irrefutable de la que se deduce el conocimiento.

Mediante las hipótesis se proponen nuevas soluciones y posibilidades "focalizan y orientan la resolución, [….] indican los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Y son las hipótesis –y la totalidad del corpus de conocimientos en que se basan– las que permitirán analizar los resultados y todo el proceso." (UNESCO 2005)

Con el fin de darle la importancia que se merece a la dimensión tecnológica los estudiantes deben estar al tanto y dentro de lo posible participar del diseño y funcionamiento del montaje experimental y la planeación de la experiencia de laboratorio.

El análisis de los resultados donde se plantea la fiabilidad, se hace su interpretación física y relevancia debe hacerse "a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y de los resultados de "otros investigadores" (los de otros equipos de estudiantes y los aceptados por la comunidad científica, recogidos en los libros de texto)." (UNESCO 2005)

En este punto los conflictos cognitivos propician los cambios conceptuales de una manera práctica dado que se contrastan las hipótesis ante los resultados, dando lugar también a la

reflexión sobre la aceptación o el replanteamiento de las hipótesis así como del problema mismo, el diseño experimental o la ruta que se ha seleccionado. Esta reflexión se practica en todos los momentos de la metodología permitiendo hacer los ajustes y replanteamientos necesarios para alcanzar la resolución del problema.

Constantemente cambia la perspectiva: se abordan las posibilidades del trabajo obtenido ya sea para abarcar otros problemas, aumentar el nivel de complejidad o plantear nuevas interrogantes.
Es importante también aproximar al estudiante a la dimensión colectiva del trabajo científico, la reflexión sobre como encajan los conocimientos adquiridos en un cuerpo coherente de conocimiento y la importancia de las memorias científicas (UNESCO 2005)

Todos los aspectos anteriormente expuestos hacen parte de lo que en consenso son aspectos del quehacer científico y por lo tanto dentro de una metodología que intenta recrear la manera en que la ciencia trabaja para resolver problemas y en el caso del estudiante adquirir los conocimientos se hace necesario incluir.

Esta metodología incluye una serie de aspectos a considerar al momento de crear una secuencia de aprendizaje.

3.1 Planificando la enseñanza problematizada

"La planificación de la enseñanza problematizada de los temas requiere seleccionar una meta orientadora, un problema estructurante e identificar grandes pasos que permitan avanzar en su solución y posibles obstáculos asociados" (García 2007)
Citando el trabajo Planificando la enseñanza problematizada: El ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. En el modelo de investigación orientada la secuencia de actividades se lleva a cabo dentro de una estructura problematizada que se caracteriza por:

- "En el inicio del tema se debe plantear un problema (o problemas) de interés con suficiente capacidad estructurante para organizar la enseñanza a partir de él."
- "la secuencia de apartados o índice debe ser una posible estrategia lógica para tratar de solucionar dicho problema"

- “los conceptos y modelos deben introducirse tentativamente, como hipótesis fundadas que han de ser sometidas a prueba”
- “la evaluación debe ser entendida como un instrumento de recapitulación, impulso y afianzamiento de los avances producidos en la resolución del problema inicial.”

Es necesario Identificar los problemas fundamentales del conocimiento que se quiere enseñar para encontrar el objetivo clave e identificar problemas estructurantes de los cuales se seleccione el más adecuado para favorecer la organización del plan de investigación de los estudiantes en torno al mismo y que además sirva para despertar el interés en ellos.

La estructura problematizada requiere que el investigador profundice en el material a tratar y en su entendimiento, poniendo atención a los problemas que están a la base de los conocimientos, por otra parte es de ayuda estudiar las ideas, dificultades y replanteamientos que se presentaron en la historia del proceso que llevo al descubrimiento o conceptualización particular que se quiere enseñar sin que obligatoriamente estos mismos problemas históricos se usen en el plan de investigación de los estudiante, sino que al permitir una mejor perspectiva para el docente este puede formular el problema estructurante más adecuado.

El estudio que se hace debe permitir reconocer los pasos necesarios y los posibles obstáculos con el fin de anticiparse a los conocimientos que se deben adquirir para solucionar el problema estructurante.

Se debe identificar los posibles razonamientos del sentido común que los alumnos dan por cierto y que en algunos casos pueden asemejar el rompimiento de las ideas históricas más arraigadas.

Se crea un índice que será el plan de trabajo del que los estudiantes deben ser partícipes y entender como una secuencia lógica que se va a desarrollar para alcanzar la solución del problema. Y que permita al estudiante ubicarse en cada momento de la investigación dado que cada paso guarda relación con el problema estructurante a resolver.

“Dicho plan (la secuencia de actividades concretas que se van a proponer a los alumnos en el aula) y el sistema de evaluación concebido para impulsar el aprendizaje constituyen la “estructura fina” del tema, y deberán ser considerados como hipótesis de trabajo que es preciso poner aprueba e ir modificando para lograr que con ellos los estudiantes comprendan la relevancia de

las problemáticas abordadas, pongan en práctica las estrategias propias de la actividad científica (dentro de lo posible en el contexto escolar), adquieran significativamente los conocimientos científicos y analicen las implicaciones CTSA de los correspondientes desarrollos científico-tecnológicos, propiciando la toma de decisiones. Se trata, en suma, de favorecer su "inmersión en la cultura científica"." (UNESCO 2005)

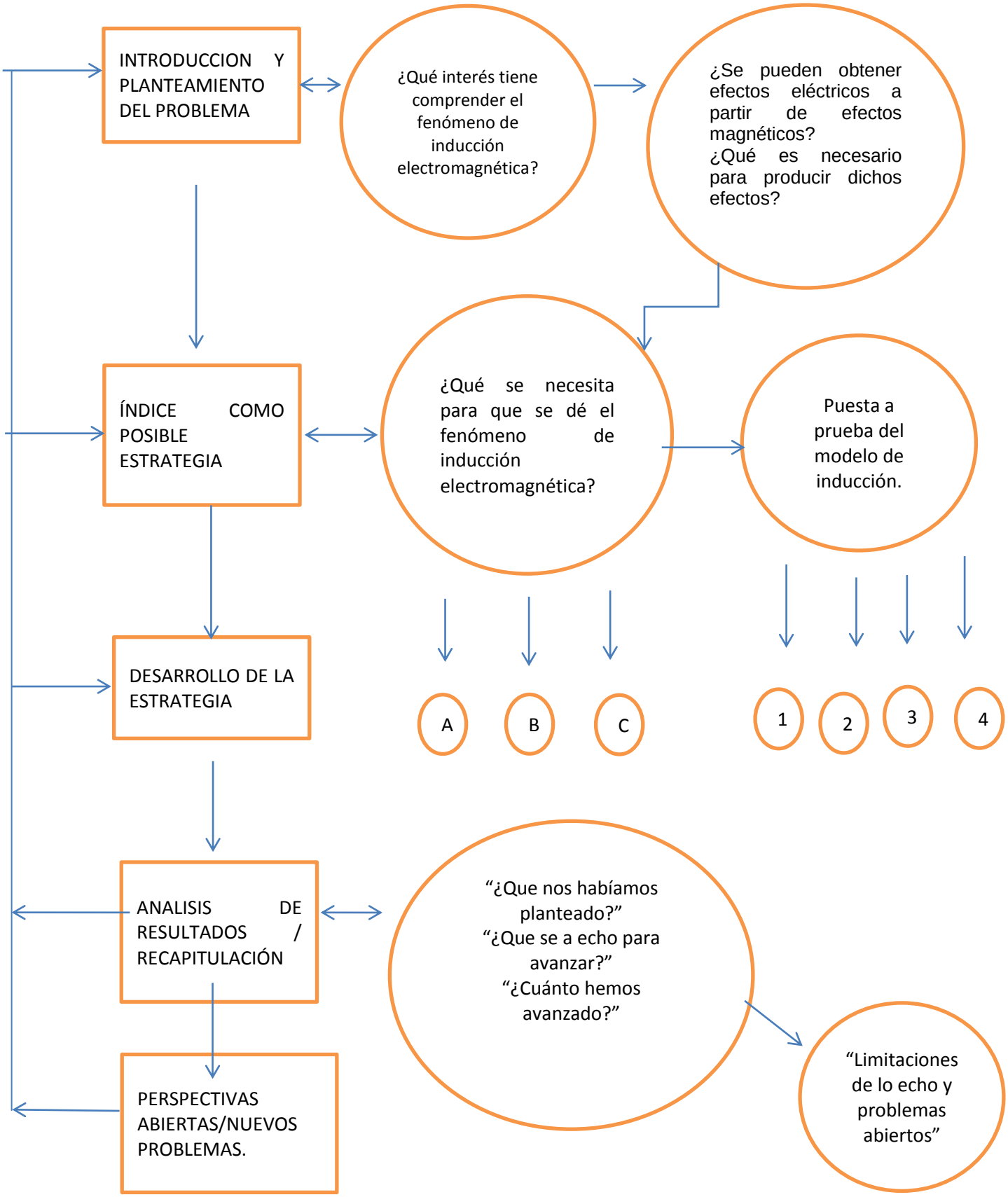
Es recomendable que el profesor realice una revisión histórica sobre el tema a tratar en el aula para hacer una caracterización de la secuencia de aprendizaje dentro de una estructura problematizada, con esto en mente esta revisión debe realizarse críticamente y preguntarse:

1. "¿Que conocimientos nos gustaría que aprendieran nuestros alumnos sobre el tema, que tenga capacidad explicativa y predictiva como para ser útiles y con suficiente entidad para ser objetivo de la enseñanza? ¿Qué problema o problemas podrían ser adecuados para organizar la enseñanza? Esto nos permite identificar la meta orientadora u objetivos claves y el problema estructurante.
2. ¿Cuáles son/fueron las ideas que contribuyen/contribuyeron a solucionar el problema y cuales los obstáculos que hay/hubo que superar? Esto permite identificar las metas parciales y prever dificultades u obstáculos que pueden tener nuestros alumnos para apropiarse de las ideas necesarias con el fin de avanzar en el problema.
3. ¿Qué estrategia seguir para avanzar en la solución del problema planteado? Esto permite proponer un posible índice que responda a una lógica de investigación, un itinerario de enseñanza y otro de momentos de recapitulación para evaluar el avance logrado en el aprendizaje." (García 2007)

"Este estudio se debe concretar en una secuencia de actividades para desarrollar en el aula, cuya validez debe ser puesta a prueba mediante contrastación empírica de las oportunidades que genera para aprender, las actitudes que promueve y los conocimientos adquiridos por los estudiantes."

"Dichas secuencia se insertara en una determinada estructura problematizada"

La planificación se ve reflejada en la estructura problematizada relacionada a continuación:


INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
¿Qué interés tiene comprender el fenómeno de inducción electromagnética?
¿Se pueden obtener efectos eléctricos a partir de efectos magnéticos?
¿Qué es necesario para producir dichos efectos?
ÍNDICE COMO POSIBLE ESTRATEGIA
¿Qué se necesita para que se dé el fenómeno de inducción electromagnética?
Puesta a prueba del modelo de inducción.
A
B
C
1
2
3
4
DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA
ANALISIS DE RESULTADOS / RECAPITULACIÓN
"¿Que nos habíamos planteado?"
"¿Que se a echo para avanzar?"
"¿Cuánto hemos avanzado?"
"Limitaciones de lo echo y problemas abiertos"
PERSPECTIVAS ABIERTAS/NUEVOS PROBLEMAS.

A. ¿Qué características deben tener los materiales que intervienen en el fenómeno?
B. ¿De dónde provienen los efectos magnéticos? Y ¿Cómo se propagan?
C. ¿Cómo se debe comportar el campo magnético para generar una corriente inducida?

Puesta a prueba del modelo de inducción

1. Explicar la razón por la que las bobinas se pueden usar para detectar la posición del imán y cuál es su papel en la construcción de la explicación del fenómeno.
2. Describir el movimiento del imán dentro del tubo
3. Explicar la importancia del movimiento del imán en la generación de una corriente inducida.
4. Explicar cómo se genera una corriente inducida y cómo podemos deducir su aparición en la experiencia del tubo de Lenz.

3.2 Secuencia de aprendizaje

3.2.1 Primer momento

Planteamiento por parte del profesor (investigador experto) de la situación problemática, mediante el uso de la experiencia de Oersted experimentación con bobinas e Introducción del computador como herramienta de detección de corrientes.

1. Descubrimiento de Oersted
2. Posibles repercusiones del descubrimiento de Oersted
3. Campos magnéticos
   3.1 imanes
   3.2 bobinas

Dentro de la metodología de investigación orientada es de gran importancia plantar una situación problemática que permita ser acotada en un problema más especifico en un primer momento de la implementación es importante favorecer la consideración del problema

Debido a la importancia del descubrimiento de Oersted en el surgimiento de la situación problemática de Faraday se hace pertinente familiarizar al estudiante con dicho fenómeno.

Experiencia del efecto Oersted

A través de un alambre conductor se hace pasar una corriente eléctrica cuyo campo magnético generado es apreciado mediante el uso de una brújula cercana.

Se les permite a los estudiantes mover la brújula alrededor del alambre conductor para que evidencien el fenómeno.

Familiarización con las líneas de fuerza

Se les mostrara a los estudiantes una experiencia con limaduras de hierro que se alinearan debido al campo magnético generado por la corriente eléctrica circulando en un alambre de cobre. También se permitirá ver el efecto sobre las limaduras de hierro debido al campo generado por una corriente eléctrica circulando en una serie de espiaras.

Familiarización con la interfaz

Los estudiantes usaran espiras de cobre conectadas a galvanómetros para detectar las corrientes generadas por la acción de un imán siendo desplazado por ellos mismos en las cercanías de las espiras.

A continuación las espiras se conectaran al puerto del micrófono del computador, los estudiantes podrán observar las señales registradas en un software de sonido al paso del imán por las bobinas. Esto permitirá al estudiante considerar la interfaz como una herramienta de detección de corrientes.

3.2.2 Segundo momento

1. Experiencia del tubo de Lenz

   Análisis cuantitativo de la experiencia del tubo de Lenz.
2. Desarrollo de la guía cuyos puntos a fortalecer son:

   2.1 explicación como hipótesis

   2.2 puesta a prueba
3. Recapitulación

Metas de aprendizaje

1. Inducción de corriente por acción de un campo magnético en movimiento.
2. Explicar la importancia del movimiento del imán en la generación de una corriente inducida.

2.1 Cuando el imán pasa se genera una corriente poniendo de manifiesto que el movimiento del campo magnético es necesario para inducir una corriente.

3. Explicar cómo se genera una corriente inducida y cómo podemos deducir su aparición en la experiencia del tubo de Lenz.
4. Describe el movimiento del imán dentro del tubo de Lenz y a que se debe.

Del índice como posible estrategia se puede obtener las metas a alcanzar y a analizar en este trabajo:

D ¿Qué características deben tener los materiales que intervienen en el fenómeno?

E ¿De dónde provienen los efectos magnéticos? Y ¿Cómo se propagan?

F ¿Cómo se debe comportar el campo magnético para generar una corriente inducida?

5. Inducción de corriente por acción de un campo magnético en movimiento.
6. Explicar la importancia del movimiento del imán en la generación de una corriente inducida.

   2.1 Cuando el imán pasa se genera una corriente poniendo de manifiesto que el movimiento del campo magnético es necesario para inducir una corriente.
7. Explicar cómo se genera una corriente inducida y cómo podemos deducir su aparición en la experiencia del tubo de Lenz.
8. Describe el movimiento del imán dentro del tubo de Lenz y a que se debe.

En la variable 1 prevaleció la respuesta tipo 1 donde el movimiento y la velocidad del campo magnético eran indispensables para la generación de una corriente eléctrica en una bobina.

En la variable 2 prevaleció la respuesta tipo 1 donde existen campos contrarios que se repelen.

En la variable 3 prevaleció la respuesta tipo 3 donde movimiento o rapidez del imán generan una corriente eléctrica en la espira.

En la variable 4 prevaleció la respuesta tipo 1 donde se le atribuyo el campo magnético proveniente del tubo de Lenz a una corriente generada (inducida).

En la variable 5 prevaleció la respuesta tipo 1 donde la velocidad es constante (movimiento rectilíneo uniforme).

En la variable 6 prevaleció la respuesta tipo 1 donde el movimiento del imán se le atribuyo a la fuerza entre campos contrarios: el proveniente del tubo y el del imán.

En la variable 7 prevaleció la respuesta tipo 2 aunque con solo un 33 % de la frecuencia seguido por la respuesta tipo 1 y 5 ambas con un 22% de la frecuencia.

Donde queda comprobada la hipótesis mediante la experiencia del tubo de Lenz echa en clase por la generación de corrientes eléctricas en las bobinas y gracias a que se observa que la velocidad del imán es constante.

Resultados:

Solo un poco más de la mitad de los estudiantes alcanzaron las metas de aprendizaje describiendo el comportamiento del campo para que se indujera una corriente eléctrica y poniendo de manifiesto de donde provienen los efectos magnéticos.

Hubo dificultades a la hora de conceptualizar el tubo de Lenz como una serie de bobinas ya que algunos grupos se centraron en una explicación a partir de las bobinas que formaban parte de la interfaz y no en el tubo de cobre.

CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió reconocer la importancia de la experiencia de laboratorio dentro de una secuencia de aprendizaje realmente estructurada para sacar el mayor provecho pedagógico a este tipo de experiencia. Solo mediante un buen abordaje metodológico de la experiencia de laboratorio el estudiante no se relaciona con el experimento de manera distante sino que puede reconocer la idea que llevo a su construcción, la técnica y tecnología detrás de su funcionamiento. Mediante la interfaz se acercó al estudiante a una experiencia de laboratorio de tipo cuantitativo resaltando la importancia del registro de datos y de su posterior tratamiento para visualizar el fenómeno que ocurre dentro del tubo. Muy alejados de la realización de procedimientos ciegos, los estudiantes podían reconocer la lógica e interconexión en cada paso que realizaban.

El montaje experimental permitió articular la secuencia de aprendizaje y que los estudiantes pudieran hacerse una idea clara del movimiento del imán dentro del tubo e inferir las posibles causas de dicho fenómeno. Permitió plantear la situación problemática que se buscaba, a saber: ¿qué tipo de fuerza estaba sobre el imán si en definitiva no había una atracción magnética del imán hacia el cobre?

La interfaz permitió corroborar lo que intuitivamente los estudiantes podían inferir: que el imán sufría una desaceleración y que además la velocidad permanecía constante durante el recorrido por lo que era pertinente hallar nuevas hipótesis que explicaran este resultado.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, M y Finn, A. (1970). Campos y ondas. Estados Unidos de América: Fondo Educativo Interamericano, S. A.

Arons, B. (1970). Evolución de los conceptos de la física. México: Trillas.

Berkson W. Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Eisntein. Alianza Editorial (1981).

Carl T.A. Johnk. Teoría electromagnética, Campos y ondas. 2001 editorial LIMUSA, S.A. México D.F.

Cohen, L y Manion, L. (1990). Métodos de investigación educativa. Madrid: La Muralla.

Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe OREALC/UNESCO. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años– Santiago. Impreso en Chile por Andros Impresores. Santiago, Chile, enero 2005

Ficher, L. y Varney, R. Contact potentials between metals: History, concepts, and persistent misconceptions. American Journal of Physics Vol. 44, No. 5, May 1976

Young, Hugh D, y Roger a. Freedman. Física universitaria, con física moderna volumen 2. Sears- Zemansky Decimo segunda edición. Pearson Educacion, Mexico, 2009

Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las ciencias, 11 (2), pp. 197/212

Guillermo García Talavera. TEORÍA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO. LIMUSA MEXICO D.F. 1999

Guisasola, J. (2008). Science Education Based on Developing Guided Research. *Science Education in Focus*, 6, 173-201.

Halliday, D., Resnick, R.,Krane, K. (1999). Fisica vol. 2. (3ª. Ed.). México: Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Investigación y experiencias didácticas*, 12, 299-313.

Murphy, R. (2001). *Teoría electromagnética*. México: Trillas.

Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en la educación secundaria. Osuna García, Luis, Martínez Torregrosa, Joaquín, Carrascosa Alís, Jaime y Verdú Carbonell, Rafaela. Didáctica de las ciencias experimentales. Universidad de Alicante. Revista enseñanza de las ciencias, 2007, 25(2), 00-00

Varney, R. (1980) Electromotive force: Volta's forgotten concept. *American Association of Physics Teachers*, 48 (5)

ANEXOS

Análisis de Datos

Pregunta 1 **¿Puedes describir las circunstancias en las cuales apareció una corriente eléctrica en la espira?**

Idea tipo 1 (1.1): El imán en movimiento genera una corriente eléctrica

Idea tipo 2 (1.2): "velocidad y movimiento"

Pregunta 2 **¿A qué se debe que el imán tarde más tiempo en caer dentro del tubo?**

Idea tipo 1 (2.1): campos contrarios que se repelen (frecuencia 6)

Idea tipo 2 (2.2): fuerza magnética proveniente del tubo que hace que el iman se adhiera a las paredes. (frecuencia 1)

Idea tipo 3 (2.3): el tiempo de caída se disminuye debido al campo producido por el paso del iman por medio de las bobinas no en el tubo. (frecuencia 1)

Idea tipo 4 (2.4): "¿es por el campo magnético que presenta el imán? ¿Puede ser por que el cobre no es conductor?" (frecuencia 1 respuesta no estructurada)

Pregunta 3 **¿Puedes plantear una hipótesis que incluya los elementos, características y condiciones necesarias para generar una corriente eléctrica inducida?**

Idea tipo 1 (3.1): depende de las bobinas (frecuencia 1)

Idea tipo 2 (3.2): cables de cargas opuestas en agua generan una corriente eléctrica (conocimientos previos) (frecuencia 2)

Idea tipo 3 (3.3): Movimiento o rapidez del imán generan una corriente eléctrica en la espira (frecuencia 4)

Idea tipo 4 (3.4): "al a caer un iman muy Fuerte a un plug conectado a un BaFle se genera algún leve sonido Demostrando que se genera una corriente inducida?" (frecuencia 1)

Idea tipo 5 (3.5): Que un elemento tenga campo eléctrico y movimiento para poder generarlo. (frecuencia 1)

Pregunta 4 ¿A que se le puede atribuir el campo magnético proveniente del tubo de Lenz?

Idea tipo 1 (4.1): Corriente generada (frecuencia 5)

Idea tipo 2 (4.2): se le atribuye a la fuerza ya sea de atracción o repulsión q´ generan los polos del iman y los espirales del tubo (frecuencia 1)

Idea tipo 3 (4.3): de las bobinas o el iman (frecuencia 2)

Idea tipo 4 (4.4): el material con el cual esta echo que es perfecto para realizar el ejercicio (frecuencia 1)

Pregunta 5 Describe el movimiento del imán mediante el tratamiento de los datos obtenidos en la experiencia del tubo de Lenz.

Idea tipo 1 (5.1): Velocidad constante (movimiento rectilíneo uniforme), un movimiento mas lento. (frecuencia 4)

Idea tipo 2 (5.2): el movimiento fue similar desde una bobina a la otra en una caída libre (frecuencia 1)

Idea tipo 3 (5.3): al pasar por cada bobina disminuye la velocidad (frecuencia 2)

Idea tipo 4 (5.4): solo registra el momento en el que pasa por la bobina (frecuencia 1)

Idea tipo 5 (5.5): cuando el iman pasa por cada bobina el tubo registra una corriente eléctrica (frecuencia 1)

Pregunta 6 ¿A que se debe el movimiento del imán que se pudo deducir a partir del tratamiento de los datos obtenidos?

Idea tipo 1 (6.1): la fuerza entre campos contrarios: el proveniente del tubo y el del imán. (frecuencia 5)

Idea tipo 2 (6.2): Por la distancia que había entre las bobinas (frecuencia 1)

Idea tipo 3 (6.3): El movimiento se debe a que 1 el tubo no era magnético pero al estar conectado a la bobina esto forma un campo electromagnético (movimiento uniforme) (frecuencia 1)

Idea tipo 4 (6.4): "cayo con un movimiento uniforme ya que el tubo tenia las bobinas y corriente sobre el." (frecuencia 1)

Idea tipo 5 (6.5): una velocidad constante (frecuencia 1)

Pregunta 7 ¿Cómo queda comprobada la hipótesis que escogiste mediante la experiencia del tubo de Lenz echa en clase?

Idea tipo 1 (7.1): La velocidad del imán es constante. (frecuencia 2)

Idea tipo 2 (7.2): por la generación de corrientes eléctricas en las bobinas. (frecuencia 3)

Idea tipo 3 (7.3): "verdadero" (frecuencia 1)

Idea tipo 4 (7.4): Por q´el iman y el tubo tienen fuerzas diferentes es por eso q´se comprueba nuestra hipótesis (frecuencia 1)

Idea tipo 5 (7.5): se tenia razón en la hipótesis (frecuencia 2)

Matriz de datos

UNIDAD DE ANÁLISIS	**VARIABLES (preguntas)**						
	V1	**V2**	**V3**	**V4**	**V5**	**V6**	**V7**
(taller 1)	1	1	1	1	1	1	2
(taller 2)	1	1	2	1	1	2	1
(taller 3)	1	1	3	1	2	3	3
(taller 4)	1	2	4	1	3	4	2
(taller 5)	1	1	2	2	3	1	4
(taller 6)	2	3	3	3	4	1	2
(taller 7)	2	1	3	1	1	1	5
(taller 8)	2	1	3	4	1	5	1
(taller 9)	2	4	5	3	5	1	5

Una unidad de análisis que en una variable asumirá un determinado valor

Galtung (1966) Teoría y Método de la Investigación Social., Eudeba, Buenos Aires (tomo 1 capitulo 1 página 1)

Análisis centrado en las variables

Variable 1		
Respuesta tipo 1	/////	
Respuesta tipo 2	////	

Variable 1	**Frecuencia**	**Frecuencia %**
Respuesta tipo 1	**5**	**5/9 55.5 %**
Respuesta tipo 2	**4**	**4/9 44.4%**
TOTAL	**9**	**100%**

Variable 2		
Respuesta tipo 1	//////	
Respuesta tipo 2	/	
Respuesta tipo 3	/	
Respuesta tipo 4	/	

Variable 2	**Frecuencia**	**Frecuencia %**
Respuesta tipo 1	**6**	**6/9 66.66%**
Respuesta tipo 2	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 3	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 4	**1**	**1/9 11.11%**
TOTAL	**9**	**100%**

Variable 3		
Respuesta tipo 1	/	
Respuesta tipo 2	//	
Respuesta tipo 3	////	
Respuesta tipo 4	/	
Respuesta tipo 5	/	

Variable 3	Frecuencia	Frecuencia %
Respuesta tipo 1	1	1/9 11.11%
Respuesta tipo 2	2	2/9 22.22%
Respuesta tipo 3	4	4/9 44.44%
Respuesta tipo 4	1	1/9 11.11%
Respuesta tipo 5	1	1/9 11.11%
TOTAL	9	100%

Variable 4		
Respuesta tipo 1	/////	
Respuesta tipo 2	/	
Respuesta tipo 3	//	
Respuesta tipo 4	/	

Variable 4	Frecuencia	Frecuencia %
Respuesta tipo 1	5	5/9 55.55%
Respuesta tipo 2	1	1/9 11.11%

Respuesta tipo 3	**2**	**2/9 22.22%**
Respuesta tipo 4	**1**	**1/9 11.11%**
TOTAL	**9**	**100%**

Variable 5		
Respuesta tipo 1	**////**	
Respuesta tipo 2	**/**	
Respuesta tipo 3	**//**	
Respuesta tipo 4	**/**	
Respuesta tipo 5	**/**	

Variable 5	**Frecuencia**	**Frecuencia %**
Respuesta tipo 1	**4**	**4/9 44.44%**
Respuesta tipo 2	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 3	**2**	**2/9 22.22%**
Respuesta tipo 4	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 5	**1**	**1/9 11.11%**
TOTAL	**9**	**100%**

Variable 6		
Respuesta tipo 1	**/////**	
Respuesta tipo 2	**/**	
Respuesta tipo 3	**/**	
Respuesta tipo 4	**/**	

Respuesta tipo 5	**/**	

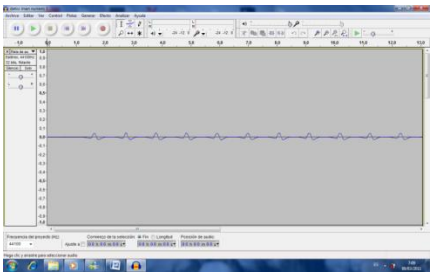
Variable 6	**Frecuencia**	**Frecuencia %**
Respuesta tipo 1	**5**	**5/9 55.55%**
Respuesta tipo 2	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 3	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 4	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 5	**1**	**1/9 11.11%**
TOTAL	**9**	**100%**

Variable 7		
Respuesta tipo 1	**//**	
Respuesta tipo 2	**///**	
Respuesta tipo 3	**/**	
Respuesta tipo 4	**/**	
Respuesta tipo 5	**//**	

Variable 7	**Frecuencia**	**Frecuencia %**
Respuesta tipo 1	**2**	**2/9 22.22%**
Respuesta tipo 2	**3**	**3/9 33.33%**
Respuesta tipo 3	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 4	**1**	**1/9 11.11%**
Respuesta tipo 5	**2**	**2/9 22.22%**
TOTAL	**9**	**100%**

Datos preliminares del montaje experimental

Para obtener los datos se realizaron 10 pruebas por imán. Cada imán se dejo caer a través del tubo de cobre al tiempo que el software de análisis de sonido gravaba. Las señales registradas en el software fueron una serie de ondas cuyos tiempos se tomaron teniendo como referencia la parte más alta de cada onda y su correspondencia con la escala de tiempo del software.



A continuación se presentan los datos obtenidos:

Las siguientes tablas muestran los tiempos obtenidos por cada imán y su respectiva bobina.

Prueba 1

Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.64 s**	**1.66s**	**3.24**	**2.31**	**2.33**	**1.93**
2	**2.74 s**	**2.75s**	**4.33**	**3.35**	**3.39**	**3.01**
3	**3.78 s**	**3.77s**	**5.35**	**4.37**	**4.43**	**4.07**
4	**4.84 s**	**4.80s**	**6.40**	**5.43**	**5.49**	**5.13**
5	**5.90 s**	**5.86s**	**7.44**	**6.46**	**6.53**	**6.17**
6	**6.98 s**	**6.91s**	**8.51**	**7.53**	**7.59**	**7.24**
7	**8.06 s**	**7.98s**	**9.58**	**8.56**	**8.62**	**8.30**
8	**9.12 s**	**9.03s**	**10.64**	**9.63**	**9.69**	**9.37**
9	**10.20 s**	**10.10s**	**11.69**	**10.66**	**10.73**	**10.43**
10	**11.23 s**	**11.12s**	**12.75**	**11.71**	**11.78**	**11.49**
11	**12.30 s**	**12.17s**	**13.78**	**12.73**	**12.81**	**12.52**

12	**13.37 s**	**13.22s**	**14.86**	**13.81**	**13.88**	**13.60**
13	**14.45 s**	**14.28s**	**15.89**	**14.85**	**14.93**	**14.67**
14	**15.53 s**	**15.33s**	**16.96**	**15.92**	**16.01**	**15.76**
15	**16.62 s**	**16.40s**	**18**	**16.99**	**17.06**	**16.83**
16	**17.69 s**	**17.44s**	**19.06**	**18.06**	**18.13**	**17.91**
17	**18.79 s**	**18.51s**	**20.10**	**19.12**	**19.19**	**18.98**
18	**19.85 s**	**19.56s**	**21.15**	**20.15**	**20.23**	**20.03**
19	**20.93 s**	**20.63s**	**22.23**	**21.23**	**21.30**	**21.11**

Prueba 2.

Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.20**	**1.50**	**1.40**	**1.60**	**1.55**	**1.82**
2	**2.31**	**2.57**	**2.44**	**2.67**	**2.61**	**2.87**
3	**3.35**	**3.62**	**3.48**	**3.70**	**3.66**	**3.93**
4	**4.41**	**4.66**	**4.55**	**4.75**	**4.72**	**5**
5	**5.47**	**5.70**	**5.59**	**5.79**	**5.74**	**6.04**
6	**6.54**	**6.74**	**6.66**	**6.86**	**6.81**	**7.11**
7	**7.64**	**7.80**	**7.70**	**7.92**	**7.84**	**8.17**
8	**8.70**	**8.84**	**8.76**	**8.98**	**8.90**	**9.24**
9	**9.79**	**9.91**	**9.80**	**10.01**	**9.94**	**10.28**
10	**10.84**	**10.95**	**10.85**	**11.08**	**10.99**	**11.33**
11	**11.92**	**12.01**	**11.87**	**12.11**	**12.03**	**12.36**
12	**12.99**	**13.06**	**12.95**	**13.19**	**13.11**	**13.43**
13	**14.07**	**14.11**	**13.98**	**14.25**	**14.17**	**14.48**
14	**15.14**	**15.15**	**15.05**	**15.33**	**15.25**	**15.56**
15	**16.24**	**16.21**	**16.10**	**16.40**	**16.32**	**16.62**
16	**17.30**	**17.24**	**17.15**	**17.46**	**17.41**	**17.70**
17	**18.39**	**18.29**	**18.19**	**18.52**	**18.48**	**18.77**
18	**19.44**	**19.32**	**19.25**	**19.56**	**19.52**	**19.81**

19	**20.50**	**20.36**	**20.31**	**20.65**	**20.63**	**20.91**

Prueba 3.

Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.27**	**1.98**	**1.84**	**1.66**	**1.45**	**1.71**
2	**2.36**	**3.04**	**2.90**	**2.71**	**2.51**	**2.80**
3	**3.42**	**4.06**	**3.94**	**3.74**	**3.56**	**3.85**
4	**4.47**	**5.10**	**5.02**	**4.81**	**4.63**	**4.91**
5	**5.55**	**6.14**	**6.06**	**5.86**	**5.68**	**5.95**
6	**6.61**	**7.18**	**7.13**	**6.94**	**6.75**	**7.02**
7	**7.71**	**8.25**	**8.18**	**7.99**	**7.80**	**8.06**
8	**8.78**	**9.28**	**9.24**	**9.06**	**8.87**	**9.14**
9	**9.88**	**10.35**	**10.28**	**10.10**	**9.91**	**10.17**
10	**10.92**	**11.36**	**11.34**	**11.16**	**10.97**	**11.22**
11	**11.99**	**12.42**	**12.36**	**12.19**	**12.01**	**12.26**
12	**13.04**	**13.46**	**13.43**	**13.27**	**13.10**	**13.34**
13	**14.11**	**14.52**	**14.48**	**14.32**	**14.15**	**14.39**
14	**15.18**	**15.56**	**15.55**	**15.39**	**15.23**	**15.48**
15	**16.27**	**16.63**	**16.60**	**16.46**	**16.31**	**16.55**
16	**17.33**	**17.69**	**17.66**	**17.53**	**17.39**	**17.62**
17	**18.40**	**18.77**	**18.71**	**18.60**	**18.45**	**18.69**
18	**19.46**	**19.82**	**19.74**	**19.66**	**19.50**	**19.73**
19	**20.52**	**20.88**	**20.82**	**20.75**	**20.59**	**20.82**

Prueba 4.

Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.23**	**1.23**	**1.57**	**1.70**	**1.59**	**1.42**
2	**2.33**	**2.29**	**2.62**	**2.76**	**2.65**	**2.50**
3	**3.39**	**3.33**	**3.66**	**3.81**	**3.68**	**3.55**
4	**4.49**	**4.39**	**4.73**	**4.89**	**4.74**	**4.63**

5	**5.56**	**5.45**	**5.78**	**5.95**	**5.80**	**5.67**
6	**6.64**	**6.50**	**6.84**	**7.03**	**6.88**	**6.74**
7	**7.74**	**7.57**	**7.89**	**8.09**	**7.95**	**7.80**
8	**8.81**	**8.61**	**8.94**	**9.16**	**9.03**	**8.86**
9	**9.90**	**9.67**	**9.96**	**10.20**	**10.07**	**9.90**
10	**10.95**	**10.70**	**11**	**11.25**	**11.13**	**10.94**
11	**12.02**	**11.75**	**12.02**	**12.29**	**12.17**	**11.98**
12	**13.07**	**12.80**	**13.09**	**13.37**	**13.25**	**13.04**
13	**14.16**	**13.86**	**14.14**	**14.42**	**14.32**	**14.09**
14	**15.24**	**14.91**	**15.21**	**15.51**	**15.40**	**15.16**
15	**16.33**	**15.97**	**16.25**	**16.56**	**16.46**	**16.21**
16	**17.40**	**17**	**17.31**	**17.63**	**17.54**	**17.28**
17	**18.49**	**18.07**	**18.36**	**18.68**	**18.61**	**18.34**
18	**19.54**	**19.11**	**19.50**	**19.73**	**19.66**	**19.40**
19	**20.60**	**20.16**	**20.56**	**20.81**	**20.75**	**20.48**

Prueba 5.

Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.37**	**1.16**	**1.49**	**1.87**	**1.64**	**1.49**
2	**2.46**	**2.25**	**2.53**	**2.92**	**2.71**	**2.55**
3	**3.51**	**3.30**	**3.56**	**3.94**	**3.76**	**3.59**
4	**4.58**	**4.37**	**4.62**	**4.98**	**4.81**	**4.66**
5	**5.65**	**5.43**	**5.68**	**6.02**	**5.86**	**5.71**
6	**6.71**	**6.47**	**6.76**	**7.09**	**6.92**	**6.78**
7	**7.80**	**7.54**	**7.81**	**8.13**	**7.96**	**7.83**
8	**8.86**	**8.57**	**8.87**	**9.19**	**9.03**	**8.91**
9	**9.94**	**9.64**	**9.91**	**10.22**	**10.07**	**9.95**
10	**10.99**	**10.66**	**10.97**	**11.27**	**11.13**	**11.01**
11	**12.06**	**11.71**	**12**	**12.30**	**12.16**	**12.06**

12	**13.11**	**12.74**	**13.08**	**13.39**	**13.24**	**13.14**
13	**14.20**	**13.80**	**14.11**	**14.43**	**14.30**	**14.19**
14	**15.27**	**14.87**	**15.17**	**15.51**	**15.37**	**15.27**
15	**16.35**	**15.94**	**16.21**	**16.57**	**16.43**	**16.34**
16	**17.40**	**16.99**	**17.26**	**17.63**	**17.49**	**17.41**
17	**18.48**	**18.05**	**18.32**	**18.68**	**18.56**	**18.49**
18	**19.52**	**19.10**	**19.37**	**19.73**	**19.63**	**19.55**
19	**20.59**	**20.15**	**20.44**	**20.81**	**20.70**	**20.64**

Prueba 6.

Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.30**	**1.52**	**1.61**	**1.49**	**1.61**	**1.67**
2	**2.37**	**2.58**	**2.66**	**2.53**	**2.67**	**2.73**
3	**3.42**	**3.62**	**3.68**	**3.59**	**3.71**	**3.77**
4	**4.47**	**4.67**	**4.73**	**4.67**	**4.77**	**4.82**
5	**5.53**	**5.72**	**5.76**	**5.71**	**5.81**	**5.86**
6	**6.60**	**6.76**	**6.84**	**6.77**	**6.86**	**6.93**
7	**7.69**	**7.83**	**7.88**	**7.82**	**7.90**	**7.97**
8	**8.73**	**8.87**	**8.94**	**8.89**	**8.97**	**9.03**
9	**9.81**	**9.94**	**9.98**	**9.94**	**10.00**	**10.07**
10	**10.85**	**10.99**	**11.05**	**11**	**11.05**	**11.13**
11	**11.93**	**12.05**	**12.08**	**12.04**	**12.08**	**12.14**
12	**13**	**13.09**	**13.15**	**13.12**	**13.15**	**13.21**
13	**14.08**	**14.15**	**14.18**	**14.18**	**14.21**	**14.25**
14	**15.15**	**15.20**	**15.25**	**15.27**	**15.30**	**15.33**
15	**16.26**	**16.25**	**16.29**	**16.33**	**16.35**	**16.39**
16	**17.34**	**17.29**	**17.34**	**17.40**	**17.42**	**17.46**
17	**18.43**	**18.34**	**18.40**	**18.47**	**18.48**	**18.51**
18	**19.50**	**19.38**	**19.45**	**19.51**	**19.53**	**19.57**
19	**20.58**	**20.43**	**20.53**	**20.60**	**20.61**	**20.66**

Prueba 7

Bobina	Imán 1	Imán 2	Imán 3	Imán 4	Imán 5	Imán 6
1	1.56	1.20	1.35	1.98	1.46	1.47
2	2.66	2.26	2.40	3.04	2.53	2.54
3	3.72	3.30	3.45	4.08	3.56	3.59
4	4.79	4.35	4.52	5.14	4.62	4.65
5	5.87	5.39	5.58	6.17	5.64	5.70
6	6.93	6.44	6.64	7.22	6.69	6.76
7	8.01	7.50	7.69	8.26	7.73	7.82
8	9.08	8.55	8.74	9.30	8.80	8.89
9	10.17	9.62	9.79	10.33	9.83	9.93
10	11.22	10.66	10.83	11.38	10.89	10.99
11	12.30	11.71	11.85	12.38	11.91	12.02
12	13.35	12.76	12.93	13.44	12.97	13.10
13	14.43	13.83	13.99	14.47	14.04	14.16
14	15.50	14.88	15.04	15.52	15.12	15.24
15	16.59	15.95	16.08	16.56	16.18	16.31
16	17.65	16.99	17.13	17.61	17.25	17.38
17	18.71	18.05	18.18	18.66	18.32	18.44
18	19.75	19.10	19.22	19.70	19.36	19.49
19	20.81	20.16	20.30	20.78	20.44	20.58

Prueba 8

Bobina	Imán 1	Imán 2	Imán 3	Imán 4	Imán 5	Imán 6
1	1.57	1.33	2.04	1.69	1.50	1.47
2	2.66	2.40	3.10	2.76	2.56	2.54
3	3.70	3.43	4.13	3.79	3.59	3.57
4	4.76	4.49	5.19	4.86	4.66	4.64
5	5.82	5.54	6.24	5.91	5.71	5.69
6	6.88	6.59	7.32	6.99	6.78	6.75
7	7.97	7.66	8.38	8.04	7.82	7.80

8	**9.01**	**8.71**	**9.44**	**9.10**	**8.88**	**8.88**
9	**10.09**	**9.78**	**10.48**	**10.15**	**9.91**	**9.92**
10	**11.13**	**10.81**	**11.54**	**11.21**	**10.95**	**10.98**
11	**12.18**	**11.87**	**12.56**	**12.23**	**11.99**	**12**
12	**13.23**	**12.93**	**13.64**	**13.30**	**13.06**	**13.09**
13	**14.31**	**14.01**	**14.69**	**14.33**	**14.10**	**14.15**
14	**15.36**	**15.08**	**15.76**	**15.40**	**15.18**	**15.23**
15	**16.44**	**16.16**	**16.81**	**16.46**	**16.24**	**16.28**
16	**17.49**	**17.21**	**17.86**	**17.53**	**17.32**	**17.36**
17	**18.56**	**18.27**	**18.89**	**18.59**	**18.37**	**18.43**
18	**19.62**	**19.31**	**19.91**	**19.62**	**19.42**	**19.48**
19	**20.69**	**20.37**	**20.97**	**20.70**	**20.51**	**20.56**

Prueba 9

Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.27**	**1.44**	**1.66**	**1.57**	**1.57**	**1.76**
2	**2.35**	**2.51**	**2.71**	**2.62**	**2.63**	**2.82**
3	**3.39**	**3.55**	**3.75**	**3.65**	**3.65**	**3.84**
4	**4.44**	**4.60**	**4.80**	**4.72**	**4.70**	**4.88**
5	**5.51**	**5.65**	**5.86**	**5.76**	**5.72**	**5.92**
6	**6.57**	**6.70**	**6.93**	**6.83**	**6.78**	**6.97**
7	**7.63**	**7.76**	**7.99**	**7.88**	**7.81**	**8.01**
8	**8.68**	**8.80**	**9.04**	**8.95**	**8.87**	**9.07**
9	**9.76**	**9.87**	**10.08**	**9.99**	**9.89**	**10.12**
10	**10.80**	**10.90**	**11.13**	**11.04**	**10.92**	**11.17**
11	**11.85**	**11.96**	**12.16**	**12.06**	**11.95**	**12.20**
12	**12.90**	**13.01**	**13.24**	**13.13**	**13.01**	**13.28**
13	**13.96**	**14.08**	**14.29**	**14.18**	**14.05**	**14.33**
14	**15.04**	**15.14**	**15.34**	**15.27**	**15.11**	**15.40**
15	**16.12**	**16.20**	**16.38**	**16.31**	**16.14**	**16.47**
16	**17.17**	**17.24**	**17.43**	**17.37**	**17.20**	**17.54**

17	**18.25**	**18.30**	**18.48**	**18.43**	**18.26**	**18.59**
18	**19.29**	**19.33**	**19.51**	**19.48**	**19.29**	**19.65**
19	**20.36**	**20.38**	**20.58**	**20.57**	**20.36**	**20.72**

Prueba 10

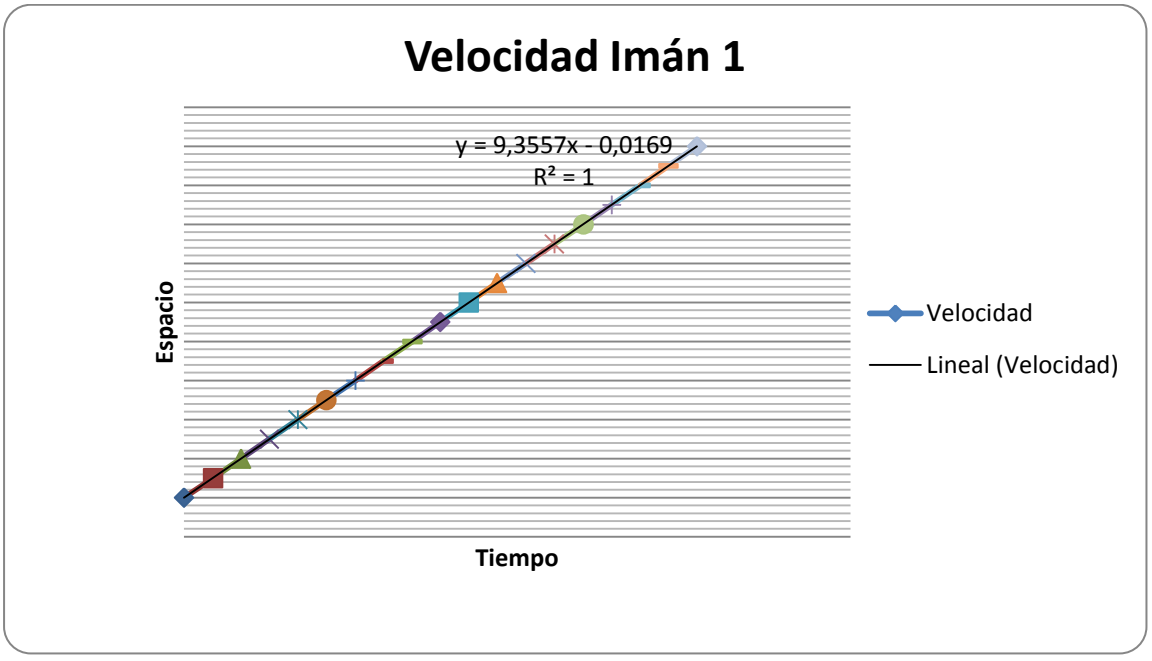
Bobina	**Imán 1**	**Imán 2**	**Imán 3**	**Imán 4**	**Imán 5**	**Imán 6**
1	**1.76**	**1.46**	**1.73**	**1.57**	**1.55**	**1.66**
2	**2.85**	**2.53**	**2.77**	**2.61**	**2.61**	**2.70**
3	**3.88**	**3.55**	**3.81**	**3.64**	**3.65**	**3.73**
4	**4.94**	**4.60**	**4.87**	**4.70**	**4.71**	**4.80**
5	**6.01**	**5.65**	**5.90**	**5.73**	**5.74**	**5.85**
6	**7.09**	**6.70**	**6.96**	**6.79**	**6.82**	**6.93**
7	**8.18**	**7.78**	**8**	**7.84**	**7.85**	**7.97**
8	**9.24**	**8.84**	**9.05**	**8.88**	**8.91**	**9.04**
9	**10.32**	**9.91**	**10.07**	**9.90**	**9.94**	**10.08**
10	**11.36**	**10.93**	**11.12**	**10.95**	**11**	**11.13**
11	**12.43**	**11.98**	**12.13**	**11.96**	**12.02**	**12.16**
12	**13.50**	**13.02**	**13.19**	**13.03**	**13.09**	**13.24**
13	**14.57**	**14.09**	**14.23**	**14.07**	**14.15**	**14.30**
14	**15.63**	**15.15**	**15.29**	**15.14**	**15.23**	**15.37**
15	**16.71**	**16.21**	**16.34**	**16.19**	**16.28**	**16.43**
16	**17.77**	**17.26**	**17.38**	**17.24**	**17.35**	**17.50**
17	**18.86**	**18.32**	**18.42**	**18.29**	**18.41**	**18.57**
18	**19.90**	**19.35**	**19.44**	**19.33**	**19.46**	**19.62**
19	**20.97**	**20.41**	**20.52**	**20.40**	**20.56**	**20.71**

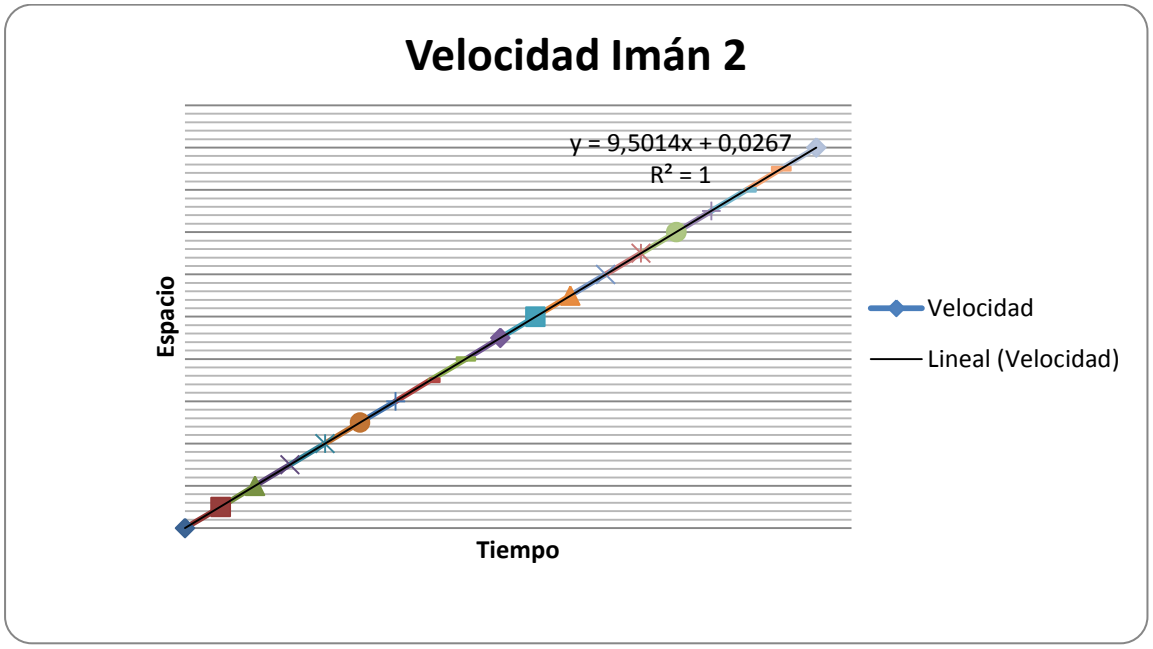
1.6 Análisis de datos

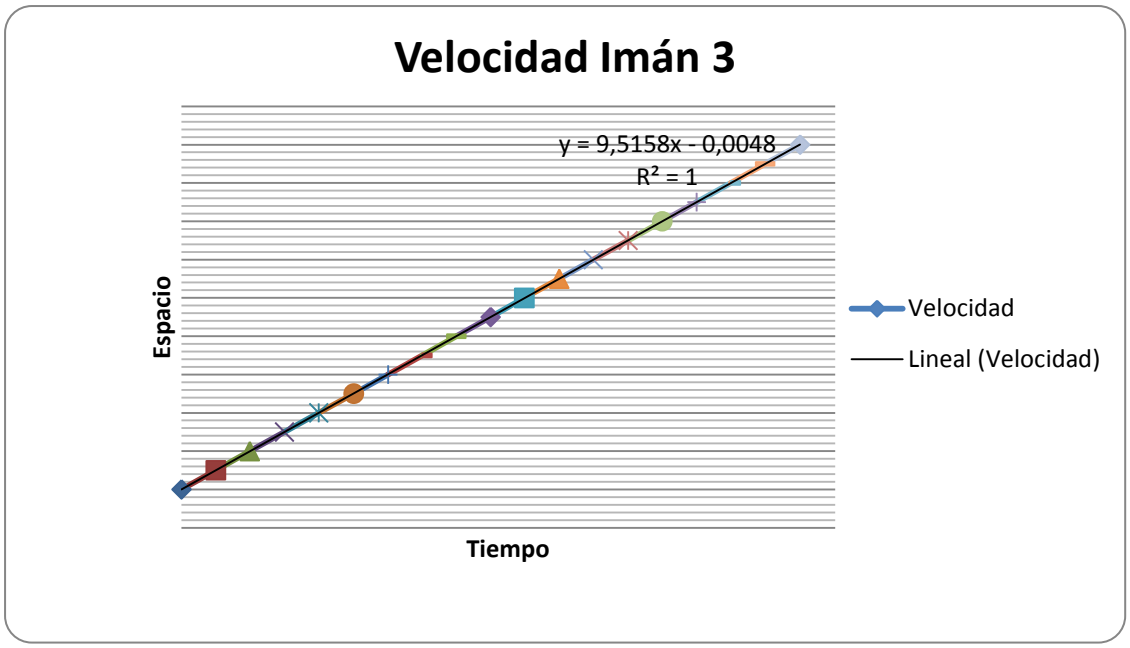
A partir de los datos obtenidos se procedió a revisar los tiempos entre bobinas haciendo un promedio de todos los tiempos obtenidos.

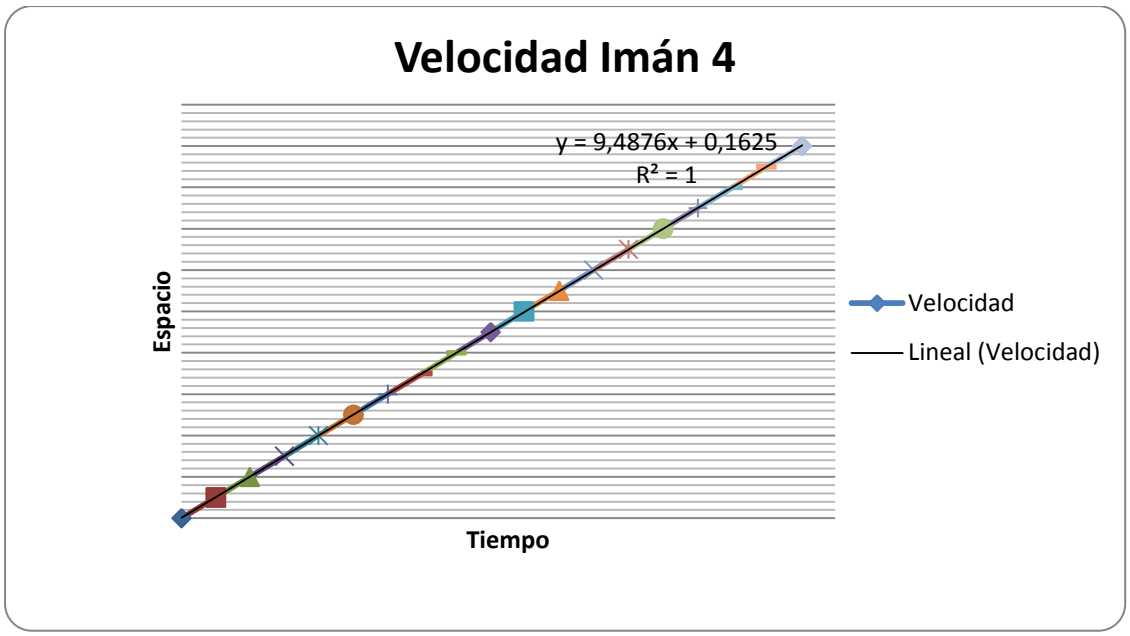
Xcm	T. Imán 1	T. Imán 2	T. Imán 3	T. Imán 4	T. Imán 5	T. Imán 6
0	0	0	0	0	0	0
10	1,09 ± 0.01s	1,07± 0.01	1,05± 0.01	1,05± 0.01	1,06± 0.01	1,07± 0.01
20	2,14 ± 0.01s	2,10± 0.01	2,09± 0.01	2,09± 0.01	2,1± 0.01	2,11± 0.01
30	3,20 ± 0.01s	3,15± 0.01	3,15± 0.01	3,15± 0.01	3,16± 0.01	3,17± 0.01
40	4,27 ± 0.01s	4,20± 0.01	4,20± 0.01	4,19± 0.01	4,20± 0.01	4,22± 0.01
50	5,34 ± 0.01s	5,25± 0.01	5,27± 0.01	5,26± 0.01	5,26± 0.01	5,28± 0.01
60	6,43 ± 0.01s	6,32± 0.01	6,32± 0.01	6,31± 0.01	6,30± 0.01	6,33± 0.01
70	7,48 ± 0.01s	7,36± 0.01	7,37± 0.01	7,37± 0.01	7,37± 0.01	7,40± 0.01
80	8,57 ± 0.01s	8,43± 0.01	8,41± 0.01	8,41± 0.01	8,40± 0.01	8,44± 0.01
90	9,61 ± 0.01s	9,46± 0.01	9,46± 0.01	9,46± 0.01	9,46± 0.01	9,50± 0.01
100	10,68 ± 0.01s	10,51± 0.01	10,49± 0.01	10,48± 0.01	10,49± 0.01	10,53± 0.01
110	11,74 ± 0.01s	11,56± 0.01	11,56± 0.01	11,56± 0.01	11,56± 0.01	11,61± 0.01
120	12,82 ± 0.01s	12,62± 0.01	12,60± 0.01	12,61± 0.01	12,62± 0.01	12,66± 0.01
130	13,89 ± 0.01s	13,68± 0.01	13,67± 0.01	13,68± 0.01	13,69± 0.01	13,74± 0.01
140	14,98 ± 0.01s	14,74± 0.01	14,71± 0.01	14,74± 0.01	14,75± 0.01	14,80± 0.01
150	16,04 ± 0.01s	15,79± 0.01	15,76± 0.01	15,80± 0.01	15,82± 0.01	15,88± 0.01
160	17,12 ± 0.01s	16,85± 0.01	16,81± 0.01	16,86± 0.01	16,89± 0.01	16,94± 0.01
170	18,17 ± 0.01s	17,89± 0.01	17,86± 0.01	17,90± 0.01	17,93± 0.01	17,99± 0.01
180	19,24 ± 0.01s	18,94± 0.01	18,93± 0.01	18,99± 0.01	19,02± 0.01	19,08± 0.01

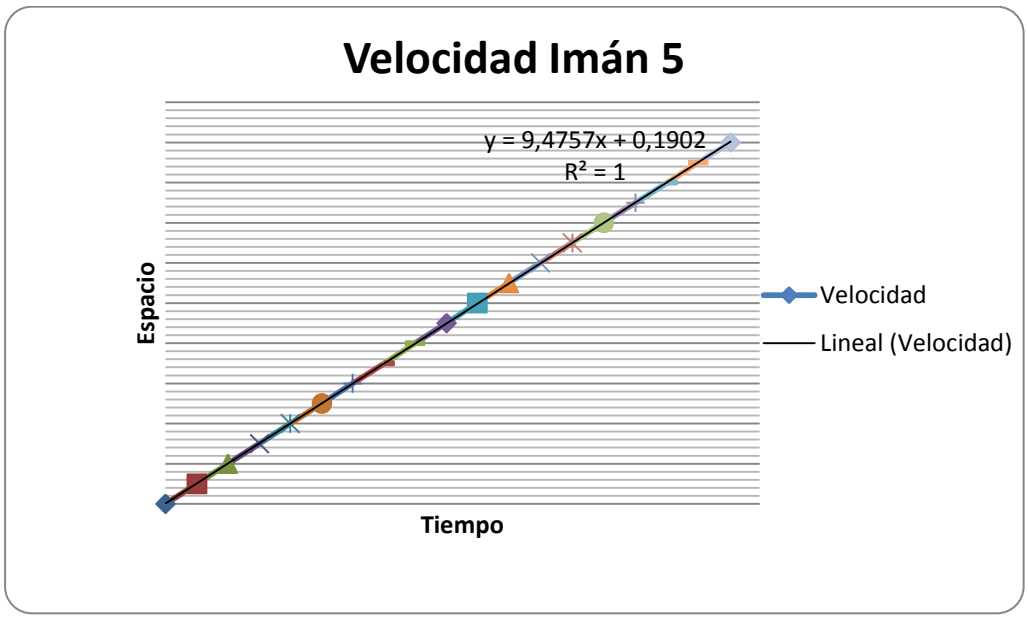
A continuación se muestran las gráficas que dan cuenta de la velocidad para cada imán. De estas graficas se puede concluir que la velocidad del imán durante su recorrido es constante.

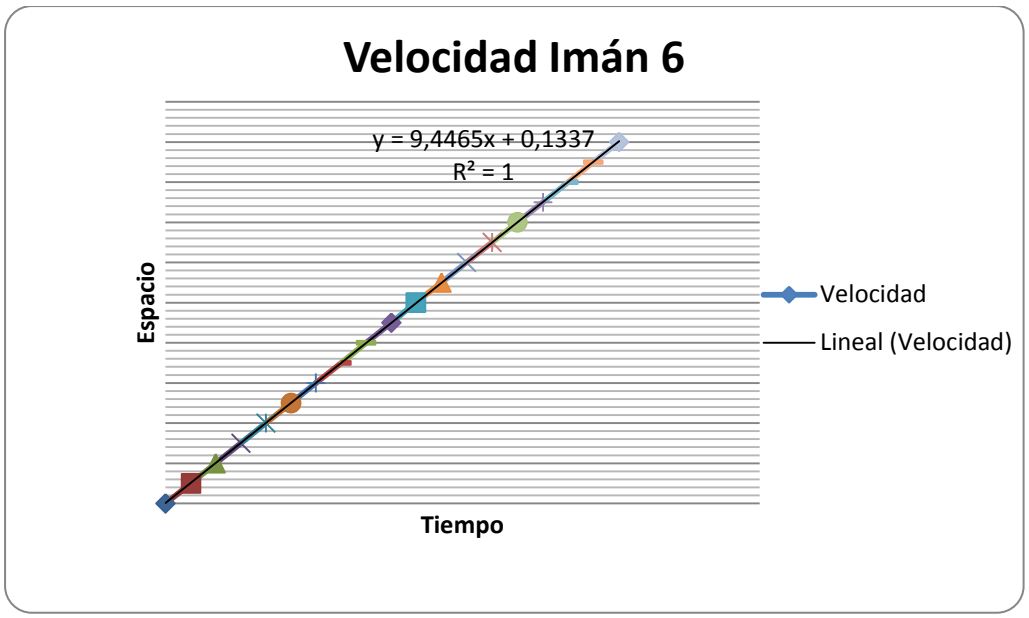



Velocidad Imán 2
y = 9,5014x + 0,0267
R² = 1
Espacio
Tiempo
Velocidad
Lineal (Velocidad)


Velocidad Imán 3
y = 9,5158x - 0,0048
R² = 1
Espacio
Tiempo
Velocidad
Lineal (Velocidad)


Velocidad Imán 4
y = 9,4876x + 0,1625
R² = 1
Espacio
Tiempo
Velocidad
Lineal (Velocidad)


Velocidad Imán 5
y = 9,4757x + 0,1902
R² = 1
Espacio
Tiempo
Velocidad
Lineal (Velocidad)



Datos del taller realizado en clase por los alumnos

1. **¿Puedes describir las circunstancias en las cuales apareció una corriente eléctrica en la espira?**

Taller 1 "cada vez que el iman pasaba por una bobina esta producia electricidad teniendo en cuenta que debía haber movimiento para que esto pasara, por que cuando está quieto no produce nada."

Taller 2 "la velocidad" "el movimiento del campo magnético"

Taller 3 "Esto se da gracias a que en el objeto se ejecuto un movimiento con una rapidez, esa fue la forma en el cual se genero una corriente eléctrica"

Taller 4 "Se impuso un movimiento en el iman y una velocidad cerca a la espira y observamos que se producia corriente eléctrica"

Taller 5 "Tenia que tener velocidad el iman entre la bobina de cobre para que hubiera corriente eléctrica, el movimiento impulsado también aporta en la generación de corriente."

Taller 6 "velocidad y movimiento"

Taller 7 “velocidad – movimiento”

Taller 8 “velocidad” “movimiento”

Taller 9 “la velocidad” “el movimiento”

2. ¿A que se debe que el imán tarde más tiempo en caer dentro del tubo?

Taller 1 “Que hay 2 campos contrarios que no dejan que la velocidad aumente si no se mantiene en v. constante”

Taller 2 “porque el cobre tiene un campo magnético diferente al del iman. y en el momento en el que va cayendo el iman se contraen los campos y la velocidad del imanes constante.”

Taller 3 “se tardo mas ya que el tubo es de cobre y este no es un material magnético. también el iman tiene un campo magnético N por lo tanto el tubo de cobre tendrá S por el campo electromagnético, es por esto que ella cae despacio”

Taller 4 “por que dentro del tubo hay fuerzas magnéticas que hacen que el iman tenga un tiempo de caída mas lento , que este tenga una fuerza de adehesion a las paredes del tubo de cobre”

Taller 5 “A q´ la fuerza contraria q´ ejerce el iman contra los espirales del tubo hace q´ el iman tarde mas tiempo en caer.”

Taller 6 “El tubo de cobre no produce ni causa nada con respecto al iman las bobinas en cambio si, el tiempo de caída se disminuye debido al campo producido por el paso del iman por medio de las bobinas.”

Taller 7 “POR QUE EL IMÁN Y EL TUBO TIENEN CAMPOS MAGNETICOS QUE SE REPELEN MUTUAMENTE, POR LO TANTO EL IMÁN SE DEMORA MAS EN CAER.”

Taller8 “A que el campo magnético del iman haga oposición con el campo magnético del tubo y por eso Flota”

Taller 9 “¿es por el campo magnético que presenta el iman?

¿puede ser por que el cobre no es conductor?”

3. **¿Puedes plantear una hipótesis que incluya los elementos, características y condiciones necesarias para generar una corriente eléctrica inducida?**

Taller 1. “Que contal de como van las bobinas va el campo magnético”

Taller 2. “Al poner dos cables diferentes en agua esto genera corriente.”

Taller 3. “ya que si se ejerce un movimiento con una rapidez constante se genera una corriente electrica”

Taller 4. “al a caer un iman muy Fuerte a un plug conectado a un BaFle se genera algún leve sonido Demostrando que se genera una corriente inducida?

Taller 5. “poner dos cables de polos opuestos en un recipiente con agua y esto concluye q´ el agua es conductora de electricidad.”

Taller 6. “Se necesita del movimiento y velocidad del campo magnético.”

Taller 7. “Pues atravesando el iman dentro de el cable de cobre lo cual genera la energía o corriente electrica.”

Taller 8. “el iman al estar en movimiento genera corriente por que atraviesa el alambre de cobre por que es un claro ejemplo de inducción electromagnética”

Taller 9. “QUE UN ELEMENTO TENGA CAMPO ELECTRICO Y MOVIMIENTO PARA PODER
GENERARLO”

4. **¿A que se le puede atribuir el campo magnético proveniente del tubo de Lenz?**

Taller 1. “A la corriente generada”

Taller 2. “A la corriente generada.”

Taller 3. “se puede atribuir a una corriente electrica”

Taller 4. “se debe a la corriente”

Taller 5. “se le atribuye a la fuerza ya sea de atracción o repulción q´ generan los polos del iman y los espirales del tubo.”

Taller 6. “Este es producido gracias a las bobinas que lo rodean y al iman”

Taller 7. “Se debe a la corriente que se origina al estar cerca del iman”

Taller 8. “el material con el cual esta echo que es perfecto para realizar el ejercicio”

Taller 9. “A las bobinas”

5. **Describe el movimiento del imán mediante el tratamiento de los datos obtenidos en la experiencia del tubo de Lenz.**

Taller 1. “Velocidad constante, un poco lento el movimiento de caída por el campo magnético”

Taller 2. “Su velocidad era constante”

“A medida que bajaba era lento.”

Taller 3. “el movimiento fue similar desde una bobina a la otra en una caída libre”

Taller 4. “Pues el iman al pasar por cada bobina cae mas lento y mas que el tuvo de cobre se le inpuso corriente esto va a hacer que el tuvo caiga con una lentitud hasta el otro extremo.”

Taller 5. “amedida q´ el tiempo pasa la posición del iman se acerca al suelo pero cuando pasa por la bobinas disminuye la velosidad”

Taller 6. “solo registra el momento en el que pasa por la bobina”

Taller 7. “es un movimiento rectilíneo uniforme puesto que deciende con una velocidad constante durante el tubo”

Taller 8. “rectilíneo uniforme”

Taller 9. “cuando el iman pasa por cada bobina el tubo registra una corriente eléctrica”

6. **¿A que se debe el movimiento del imán que se pudo deducir a partir del tratamiento de los datos obtenidos?**

Taller 1. "Al campo que tienen las bobinas que al querer interactuar con el del iman es como si ubiece cargas distintas y se repelaran"

Taller 2. "Por la distancia que había entre las bobinas"

Taller 3. "el movimiento se debe a que 1 el tubo no era magnético pero al estar conectado a la bobina esto forma un campo electromagnético (movimiento uniforme)"

Taller 4. "cayo con un movimiento uniforme ya que el tubo tenia las bobinas y corriente sobre el."

Taller 5. "a la fuerza contraria de iman con el tubo y sus anillos"

Taller 6. "A el campo magnético de las bobinas, ya que el iman alpasar por esta genera corrientes eléctricas"

Taller 7. "a los campos de fuerza obtenidos cuando se juntan las dos elementos el iman y el tubo"

Taller 8. "una velocidad constante"

Taller 9. "El campo magnético que se produce al pasar por en medio de la bobina."

7. **¿Cómo queda comprobada la hipótesis que escogiste mediante la experiencia del tubo de Lenz echa en clase?**

Taller 1. "Por medio del programa ya que cada vez que el iman pasa por los rollos de cobre produce ondas en dicho programa"

Taller 2. "Si por que pudimos comprobar que la velocidad del iman es constante entre las bobinas."

Taller 3. "verdadero"

Taller 4. "esto se demuestra al norte que la caída del iman tiene un tiempo y una velocidad iguales demostrando que se produce corriente al pasar por las bobinas como al aca carle un iman al plug conectado al bafle que gehava corriente y por lo consiguiente sonido"

Taller 5. “Por q´el iman y el tubo tienen fuerzas diferentes es por eso q´se comprueba nuestra hipótesis”

Taller 6. “El aumento del tiempo al pasar el iman por el tubo es debido a que cuando pasa el iman por las bobinas se generan campos eléctricos y corrientes que causan una fuerza.”

Taller 7. “con el ejercicio solo tuvimos que hacerlo y comprobar lo porque la hipótesis era buena”

Taller 8. “por medio de las bobinas se calcula el tiempo por la caída”

Taller 9. “Si queda bien comprobada y teníamos razón en nuestra primera hipótesis del imán.”