

**Interacción de los campos magnéticos con la materia:
El caso del diamagnetismo desde un experimento con levitación
magnética.**

Miguel Esteban Cáceres Beltrán

Trabajo de grado para optar el título de licenciado en física

Asesor: Fernando Isidro Espitia C

Línea de investigación

La enseñanza de la física y la relación física matemática



Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

2022

Índice

Índice de figuras	2
Índice de tablas	3
Introducción	4
1. Contexto problemático	6
1.1 Contexto Problemático.....	6
1.2 Objetivo general	8
1.3 Objetivos específicos.....	8
1.4 Antecedentes	8
2. Historia del diamagnetismo	11
3. Diamagnetismo en Superconductores	24
3.1 Diamagnetismo	24
3.2 Estado Superconductor.....	25
3.3 Efecto Meissner-Ochsenfeld	26
3.4 Superconductor YBCO	28
4. Secuencia Experimental.....	30
4.1 Resultados y discusiones	33
5. Conclusiones	45
Bibliografía.....	47
Anexos.....	49

Índice de figuras

Figura 1.....	13
Figura 2.....	16
Figura 3.....	17
Figura 4.....	18
Figura 5.....	19
Figura 6.....	25
Figura 7.....	27
Figura 8.....	28
Figura 9.....	29
Figura 10.....	39

Índice de tablas

Tabla 1	35
Tabla 2	41
Tabla 3	43

Introducción

La comprensión y análisis de los fenómenos físicos es fundamental para que el ser humano pueda construir una imagen de la naturaleza, que le permita relacionarse con su entorno y explorar nuevas formas en las cuales evolucione la tecnología, para facilitar el quehacer cotidiano. Es por esta razón que el presente trabajo está enfocado en generar un acercamiento al fenómeno de la superconductividad y su relación con el diamagnetismo, fenómeno ampliamente estudiado en el siglo XX, que ha permitido la construcción y avance de los trenes de levitación magnética, escáneres de resonancia magnética, entre otros. A pesar de que algunas de estas tecnologías no se encuentran al alcance del ciudadano colombiano, es importante que se pueda mostrar a los estudiantes de las escuelas en Colombia que existe este tipo de tecnologías y la fenomenología asociada que los potencie como ciudadanos del mundo.

Debido a lo anterior, el presente documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: En el primer capítulo se hace la contextualización de la problemática donde se presenta el contexto, los objetivos y los antecedentes que guiaron la investigación.

En el capítulo 2 se realiza una contextualización histórica entorno al diamagnetismo, dado que hacer un recuento histórico permite entender la evolución del concepto y tener claridad del cómo se empezó a estudiar el fenómeno, lo cual da las herramientas al docente que busque aplicar las guías propuestas en el trabajo, de forma que tenga una ruta para entender y abordar la enseñanza del diamagnetismo.

En el tercer capítulo se aborda la explicación de los superconductores y del efecto Meissner-Ochsenfeld, desde la física moderna, teniendo en cuenta el efecto de levitación magnética, ya que, la explicación obtenida anteriormente da pie para abordar estos conceptos y

de esta forma, se realiza el puente entre estas dos explicaciones sin dejar atrás los estándares básicos propuestos por el MEN en la educación media.

En el cuarto capítulo, se estructuró una secuencia experimental para el docente en el aula, permitiendo una aproximación al fenómeno de levitación magnética a través de la experimentación cualitativa haciendo uso del superconductor YBCO, en donde por medio de la experiencia se buscaba llegar a la física moderna, a través del concepto de diamagnetismo que se encuentra en los superconductores.

1. Contexto problemático

1.1 Contexto Problemático

En Colombia la enseñanza de la física en educación básica y media está enfocada en la física clásica, es decir, en los desarrollos hasta el siglo XIX, donde se abordan teorías tales como la mecánica de Newton, la termodinámica y el electromagnetismo; así lo establecen los estándares básicos de competencias en ciencias naturales del Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2004) demostrando que no se contempla la enseñanza de la física moderna. A nivel de educación media, se evidencia que se abordan conceptos de electromagnetismo enfocados a establecer relaciones entre campo eléctrico y campo magnético, dejando a un lado el estudio de las propiedades magnéticas a través de la interacción de los campos magnéticos con la materia.

En el artículo *Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de docentes*, Ostermann y Morería afirman que “Los estudiantes no tienen contacto con el excitante mundo de la física actual, pues la física que ven no pasa de 1900. Dicha situación es inaceptable en un siglo en el cual ideas revolucionarias han cambiado totalmente la ciencia”, ignorando los avances teóricos y tecnológicos que se han logrado gracias a ésta. Además, los estudiantes están inmersos en un mundo en el que se tratan teorías de la física moderna, tal es el caso de películas de ciencia ficción o comics, en éstas se habla de temas como viajes en el tiempo o agujeros negros, también escuchan de grandes avances tecnológicos como es la resonancia magnética nuclear, donde se utilizan imanes superconductores, asimismo, el Gran Colisionador de Hadrones necesita de grandes magnetos o los trenes de levitación magnética que se pueden encontrar en países como China y Japón. (Ostermann & Moreira, 2000)

En China se encuentra Maglev Shanghái, un sistema de transporte de alta velocidad capaz de alcanzar los 400 km/h, conectando ciudades centrales con ciudades subyacentes,

teniendo la ventaja de bajo consumo de energía y menos impacto medio ambiental (Shanghai Maglev Transportation Development Co., 2005). También existe el tren Japan Rail Pass ubicado en Japón, su velocidad máxima es de 603 km/h y su objetivo principal era cubrir la distancia de Tokio a Osaka en menos de una hora (S.L, 2018). Estos trenes funcionan gracias al fenómeno de levitación magnética, el cual se presenta cuando los materiales superconductores interactúan con un campo magnético externo y de esta forma se puede observar el efecto Meissner-Ochsenfeld.

Por tanto, no solo se tiene un acercamiento a la física moderna por medio de ciencia ficción, sino además por dispositivos de alta tecnología que hacen parte del diario vivir. Como se ha dicho, el estudiante está inmerso en un mundo que funciona bajo la física contemporánea, y la importancia de enseñarla es tener una visión más clara de la ciencia y su entorno, además de entender cómo funciona el mundo moderno. (Prieto , España, & Martín , 2012) De este modo, se propone hacer énfasis en el estudio de la interacción entre los campos magnéticos con la materia, a través de la experimentación por medio del fenómeno de levitación magnética para motivar el interés de los estudiantes por la explicación de los desarrollos tecnológicos actuales. De esta forma, se plantea la siguiente pregunta problema:

¿Cómo realizar un acercamiento a la interacción entre el campo magnético y la materia para el caso del diamagnetismo, mediante el fenómeno de levitación magnética en la educación media?

1.2 Objetivo general

Diseñar una propuesta pedagógica que permita un acercamiento a la explicación de la interacción de los campos magnéticos con materiales diamagnéticos como guía didáctica para docentes de educación media.

1.3 Objetivos específicos.

- Abordar los aspectos históricos más relevantes que permitan comprender la construcción del concepto de diamagnetismo.
- Realizar una revisión bibliográfica que permita abordar los conceptos de estado superconductor y efecto Meissner-Ochsenfeld con el fin de comprender el fenómeno de levitación magnética.
- Estructurar una secuencia experimental para el docente en el aula, que permita una aproximación al fenómeno de levitación magnética a través de la experimentación cualitativa haciendo uso del material YBCO.

1.4 Antecedentes

Para este trabajo se realiza una revisión de documentos que estudian la importancia de la enseñanza de la física moderna en un ambiente escolar, primero se hace una indagación en el repositorio de la Universidad Pedagógica Nacional, donde se encuentra el trabajo de Cristhian Camilo Ramírez M. (2018) *Un salto al estado superconductor en el aula*, implementado en el Colegio Instituto Técnico Laureano Gómez con estudiantes de grado décimo y undécimo, que se centra en la problemática sobre la importancia de enseñar física moderna en las aulas de educación media en Colombia, articulando los nuevos conocimientos como lo es el estado superconductor, con los productos tecnológicos que resultan gracias a éste, tal como los trenes de levitación magnética, a través de aprender ciencia mediante un enfoque hacia el análisis y la

comprensión del conocimiento, dejando a un lado la idea de memorizar ecuaciones para solucionar problemas propuestos por el docente. (Ramirez, 2018)

De igual forma, se hizo una revisión del trabajo de Luis Fernando Salinas Barreto (2018) *Estrategia didáctica para abarcar conceptos de electromagnetismo y termodinámica desde la enseñanza de los principios de superconductividad en grado undécimo* de la Universidad Nacional de Colombia, el cual se enfoca en la enseñanza de la física moderna por medio del diseño y la implementación de una estrategia didáctica para abarcar los principios básicos de la superconductividad, plantea comprender aspectos macroscópicos y microscópicos para la explicación del estado superconductor desde conceptos de la física clásica con estudiantes de grado undécimo que ya poseen un conocimiento previo en termodinámica y electromagnetismo. De esta forma, para evidenciar el fenómeno macroscópicamente, se parte desde el electromagnetismo para llegar al efecto Meissner y microscópicamente se toman tópicos de la termodinámica tales como: temperatura, cero absoluto y equilibrio térmico. Con esto, se habla de la superconductividad englobando temas como la temperatura crítica, campo magnético crítico y pares de Cooper. (Barreto, 2018)

Por otro lado, se realiza una búsqueda acerca del tema de la enseñanza de la física moderna y se encuentra un trabajo realizado por los profesores Fernanda Ostermann y Marco Antonio Moreira (2000) titulado *Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores* de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul en Brasil, donde se plantea una reestructuración curricular en educación media para la enseñanza de la física moderna haciendo un puente con la física clásica para abarcar temas como: la superconductividad y partículas elementales, con el fin de una alfabetización científica en los estudiantes para su crecimiento en un mundo que está en

constante desarrollo científico y tecnológico; así el profesor toma el papel protagónico, donde debería tener conceptos mínimos para abordar tópicos de la física contemporánea ya mencionados. (Ostermann & Moreira, 2000)

Siguiendo la línea de sociedad y ciencia, Teresa Prieto, Enrique España y Carolina Martín (2011) en su trabajo *Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad*, plantean tres preguntas importantes para la didáctica de las ciencias que son: ¿por qué enseñar ciencias?, ¿qué ciencia enseñar? y ¿cómo enseñarla?, donde se evidencia la importancia de la alfabetización científica y tecnológica para una formación integral que les capacite en la toma de decisiones relacionados con la ciencia y la tecnología para desarrollarse en un mundo con creciente tecnociencia, a través de “enseñar a pensar” mediante situaciones de la vida real y a partir de estas, diseñar actividades que faciliten realizar los aprendizajes que se desean promover. (Prieto , España, & Martín , 2012)

2. Historia del diamagnetismo

A lo largo de la historia de las ciencias, la humanidad se ha sentido atraída por el estudio de la interacción de los campos magnéticos con la materia, ya que, se busca comprender cómo se comportan distintos materiales en presencia de un campo magnético externo; dependiendo del material se presenta un comportamiento particular, por ejemplo, cuando se acerca una pieza de hierro a un imán, esta es atraída por el imán, sin embargo, se tienen materiales como el bismuto que en las mismas condiciones son repelidos, de esta forma, la materia se ha clasificado dependiendo de su comportamiento en presencia de un campo magnético en tres categorías principales: ferromagnética, paramagnética y diamagnética.

El estudio de los materiales, bajo interacción con campos magnéticos se inicia cuando, en la naturaleza, fueron encontrados materiales con propiedades magnéticas en una provincia costera de Thessaly llamada Magnesia del Meandro de la antigua Grecia donde se hallaron piedras con un comportamiento distinto que las hacían diferentes a las demás, debido a que, estas atraían piezas de hierro que se encontraban próximas, como resultado, se descubrió la piedra imán que hoy en día se conoce como magnetita. (Carbonell, Flórez , Martínez, & Álvarez , 2017)

Por su parte, en China el general Haung Ti descubrió que la piedra imán se podía utilizar como instrumento de navegación, desarrollando una herramienta conocida como la brújula para poder ubicarse geográficamente gracias al campo magnético terrestre. (Carbonell, Flórez , Martínez, & Álvarez , 2017) Dicho desarrollo funciona gracias a una aguja imantada en su mecanismo interior, es decir, actúa como un imán que señala donde está ubicado el norte, ésta se divide en dos partes por la mitad, una de color negro o blanco que apunta al sur magnético terrestre y otra de color rojo que apunta al norte magnético terrestre. (Carlson, 1975)

Como consecuencia a la implementación de la brújula en la Edad Moderna, se dio un gran avance en la navegación marítima. En el siglo XVI cuando se realizaban las expediciones de Cristóbal Colón, se logró entender el comportamiento del campo magnético terrestre con el uso de la brújula dando inicio a la cartografía magnética, ya que, se evidenció que la Tierra tiene una inclinación magnética que indica el ángulo que hay entre el eje de giro de la Tierra y el sur magnético terrestre, esto lo afirma María Carbonell en su escrito *Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos*.

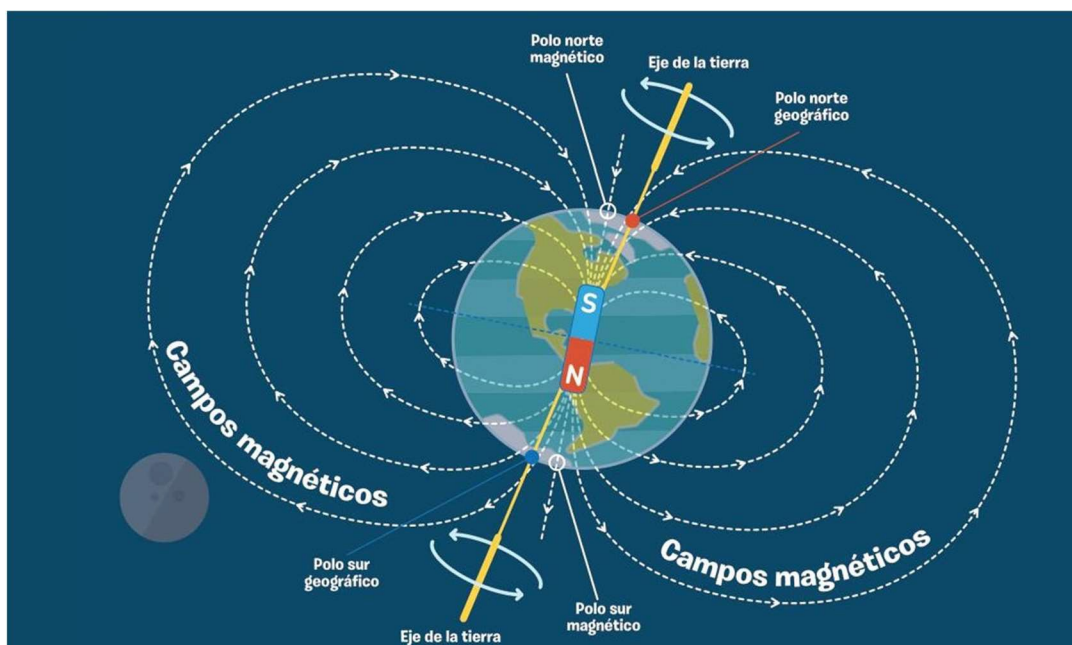
Cristóbal Colón descubrió en 1492 la inclinación magnética; Alonso de Santa Cruz fue el primero en idear la cartografía magnética en 1533; Robert Norman, un constructor para barcos, publicó hacia 1581 sus descubrimientos sobre la inclinación magnética y las variaciones locales en el libro “The New Attractive”; William Borough, en 1585, dio la definición de meridiano magnético (Carbonell, Flórez , Martinez, & Álvarez , 2017).

Lo anterior evidencia que durante los siglos XV y XVI se presentó un importante avance en la comprensión del magnetismo impulsado por la forma en la que se empieza a considerar la Tierra como un imán (figura 1), donde el polo norte geográfico se representa como el polo sur magnético, por consiguiente, el polo sur geográfico se ubica en el polo norte magnético¹, sin embargo, el eje magnético no es paralelo al eje de rotación de la tierra, entonces, esta variación se denomina declinación o variación magnética, entonces, el ángulo que se forma entre éstas dos se denomina inclinación magnética, el cual varía dependiendo de la ubicación terrestre. (D. Young & A. Freedman, 2009)

¹ Las líneas de campo magnético van de sentido norte sur, por ende, al momento de utilizar una brújula, el punto que marca la aguja es el sur magnético terrestre.

Figura 1

Campo magnético terrestre



Nota. La imagen representa el campo magnético terrestre a través de líneas punteadas. La línea amarilla representa el eje de giro de la Tierra y se evidencia que no coincide con el eje magnético.

(Fernandez, 2022)

De lo anterior, se evidencia que la piedra imán presenta un comportamiento particular al ser acercada a algunos metales, tal como lo hace la aguja de la brújula al estar en presencia del campo magnético terrestre, por consiguiente, se dio inicio de manera simultánea al análisis del comportamiento de la materia al interactuar con la piedra imán, por este motivo, se realizaron estudios de cómo distintos materiales se comportaban en presencia de un campo magnético, tal como lo hizo Brugmann en 1778, quien observó que el bismuto era notablemente repelido por el imán, posteriormente este científico consideró que esta repulsión y la intensidad de la misma se debía a una propiedad interna del imán que denominó como “energía interna magnética”,

además, estableció que dicha energía le permitía interactuar con materiales metálicos y con campos magnéticos externos como el caso del campo terrestre, adicional, propuso que si el material era atraído por el imán se tenía una acción positiva sobre éste, pero dicha acción se consideraba negativa cuando era repelido por la energía interna del imán. (Bermeta, 1899)

Lebailliff en 1812 interesado en el descubrimiento de Brugmann utilizó el sideroscopio para estudiar el comportamiento de atracción y repulsión de un imán cuando está interactuando con diferentes materiales, este instrumento se componía de una lámina de 2 a 3 centímetros de longitud que era suspendía de un hilo de seda donde su eje era atravesado por una aguja imantada y equilibrada con un contrapeso por su lado opuesto, tenía como función hallar la más mínima porción de hierro que hubiese en cualquier compuesto natural o artificial (Balcells, 1838), además, era un instrumento muy sensible a la interacción con el campo magnético y así, confirmó las observaciones realizadas por Brugmann con relación a la interacción del bismuto con un campo magnético externo, adicionalmente, evidenció que el antimonio tenía el mismo comportamiento que el bismuto cuando interactuaba con un campo magnético. (Rico & Santisteban, 1858)

Con lo anterior se evidencia que en los experimentos de Lebaillif era necesario el uso de instrumentos de alta precisión, puesto que el estudio de la interacción del campo magnético generaba un reto para la física, dado que no era sencillo observar la atracción o repulsión de los materiales, ya que, los imanes naturales no tienen la fuerza magnética suficiente que permita observar el comportamiento de los materiales al interactuar con este (Berrueta, 1899). La solución para ello llegó en 1825 cuando William Sturgeon realizó por primera vez un electroimán, que consistía en producir un campo magnético mediante el paso de corriente eléctrica en una pieza de hierro en forma de herradura que estaba cubierta con alambre de

cobre, permitiendo generar un campo magnético de mayor intensidad y por consiguiente un mayor efecto en la interacción de este con otros materiales de naturaleza metálica.

Gracias a la construcción de los electroimanes, Michael Faraday en 1845 logró estudiar el comportamiento de diferentes materiales cuando interactúan con un campo magnético externo, para ello, requería de aparatos magnéticos de gran potencia y calibración, por este motivo utilizó electroimanes logrando obtener una fuerza magnética mayor que la producida por un imán. Una de las ventajas que presentaba el uso de este instrumento era la posibilidad de aumentar o disminuir la intensidad del campo con el fin de evidenciar la interacción con otros materiales, además tenía una ventaja adicional, podía ser apagado repentinamente sin necesidad de alterar el arreglo experimental. (Faraday, 1845)

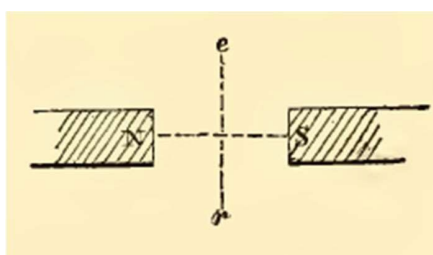
Faraday utilizó un electroimán que tenía una barra de hierro con una longitud de 1,16 metros de largo y 9,4 centímetros de diámetro y doblado en forma de herradura, donde sus polos estaban separados 15,24 centímetros entre sí, además, usó 159 metros de alambre de cobre de 0,4 centímetros de diámetro cubierto con cinta, donde se enrolló alrededor de las dos partes rectas de la barra de hierro, formando dos bobinas en estas partes. (Faraday, 1845)

Ahora, para suspender los materiales entre las dos bobinas del electroimán, primero colgó un hilo de 1,8 metros de largo a un brazo ajustable al techo de la habitación, en la parte inferior se encontraba un pequeño anillo de alambre de cobre donde se suspendía en un soporte con forma de cuna simple del mismo material a distancia entre 20 a 25 centímetros, facilitando ajustar la altura que se fuese requerida y, por último, un cilindro de vidrio entre los dos polos magnéticos evitando que el material suspendido tuviese algún movimiento producido por la agitación del aire. (Faraday, 1845)

En el análisis de las evidencias obtenidas en la experimentación, se utilizaron dos términos referentes a la posición que tiene el material suspendido con relación al campo magnético generado por el electroimán (figura 2). El primero hace referencia a la dirección polo a polo como se observa en la figura a través de líneas punteadas que apuntan del polo norte al polo sur, a esta la llamó *dirección axial* y el segundo, es referente a la dirección que se denota con líneas punteadas que van de *e* a *r* de forma perpendicular a los polos del campo magnético, denominada como *dirección ecuatorial*. (Faraday, 1845)

Figura 2

Dirección axial (de N a S) y dirección ecuatorial (de *e* a *r*)



Nota. Ilustración realizada por Michael Faraday mostrando las direcciones tomadas por los materiales teniendo como referencia las líneas de fuerza magnética. (Faraday, 1845)

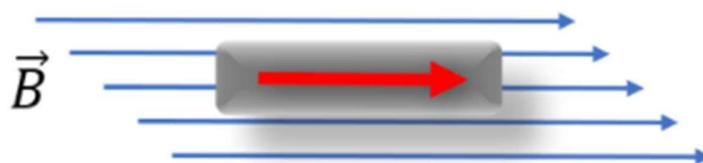
Teniendo claro lo anterior, Faraday se percató que los materiales magnéticos como hierro, níquel y cobalto se orientaban perpendicularmente a las líneas de fuerza magnética del imán, ya que, se situaban hacia los puntos de mayor fuerza magnética², a esta la llamó *línea axial*, es decir, si el campo está en una posición horizontal, entonces, el material se orientará de la misma manera que las líneas de fuerza magnética (figura 3). Sin embargo, se conocía que

² Los puntos de mayor fuerza magnética se sitúan en los polos magnéticos y cerca a éstos, entonces, los puntos de menor fuerza magnética son los más alejados de los mismos.

estos materiales, al alcanzar ciertas temperaturas, perdían su propiedad magnética habitual. Para comprobarlo, suspendió un alambre de cobre entre los polos del electroimán de herradura y aumentó su temperatura haciendo uso de una lampara de alcohol; en un primer momento se evidenció como perdía su propiedad magnética, sin dejar de ser atraído por el imán, pero al momento de disminuir su temperatura, vuelve a tener las propiedades de los materiales ferromagnéticos orientándose en las líneas de fuerza magnética del electroimán. (Faraday, 1845)

Figura 3

Dirección Axial al Campo Magnético



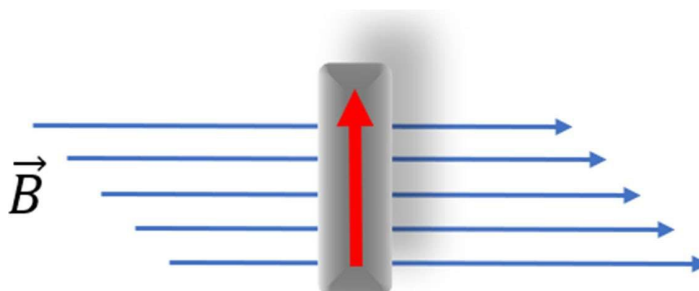
Nota. La flecha roja representa la orientación que toma el material magnético cuando interactúa con un campo magnético \vec{B} (Elaboración propia).

Mientras que materiales como el bismuto, al momento de suspenderlo entre los polos del electroimán en forma de herradura, tenía un comportamiento diferente al de la barra de hierro, ya que, era repelido por este, sin importar la posición en la que se suspendiera entre los polos del electroimán, es decir, el material oscilaba entre los puntos de mayor y menor fuerza magnética generada por el campo magnético, donde esta oscilación se presentaba de manera perpendicular a las líneas de fuerza magnética generadas por el electroimán, por este motivo, a esta posición la llamó *línea ecuatorial* y de esta forma, a los cuerpos que tenían ese

comportamiento, como el bismuto, los denominó materiales diamagnéticos (figura 4). (Faraday, 1845)

Figura 4

Dirección Ecuatorial al Campo Magnético



Nota. La flecha roja representa la orientación que toma el material diamagnético cuando interactúa con el campo magnético \vec{B} (elaboración propia).

De esta forma, Michael Faraday explica el comportamiento que tienen los materiales al interactuar con el electroimán, teniendo en cuenta los puntos y líneas de fuerza magnética fuertes en el caso de la dirección axial y débiles en la dirección ecuatorial del campo magnético generado, por lo cual, se deja a un lado la concepción de Brugmann respecto a los materiales como el Bismuto, ya que, se consideraba que al interactuar con el imán tenía una acción negativa, es decir, contraria al comportamiento de los materiales como el hierro que eran atraídos por éste, por ende, tenía una energía interna negativa.

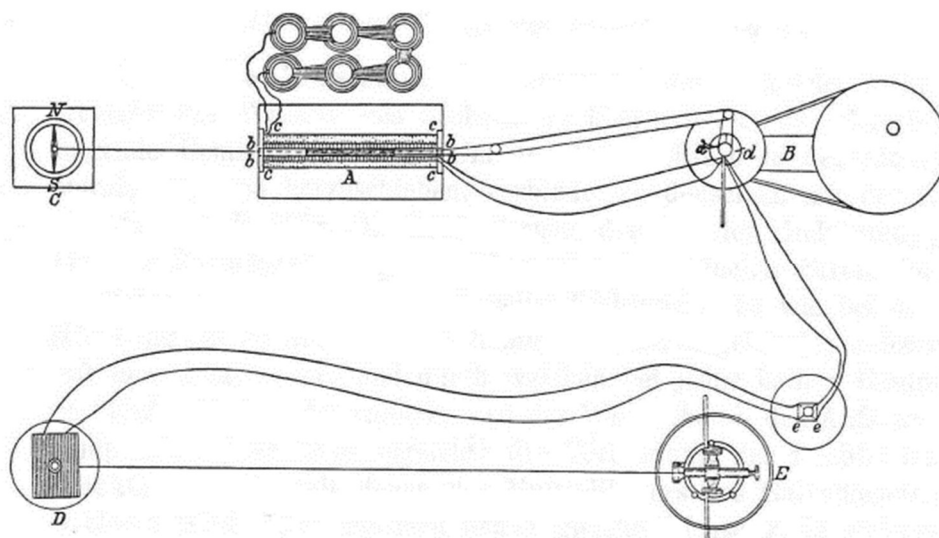
Más adelante en 1848, Wilhem Weber repitió los experimentos de Faraday buscando una explicación teórica y no solo observacional, dado que, dicha explicación era consecuente a los comportamientos que se habían evidenciado respecto a la posición que tenía el material con las líneas de fuerza magnética. Para contextualizar el fenómeno del diamagnetismo Weber

utilizó la inducción, en donde se inducía corriente en el material, además, para que pudiese tener éxito en la medición en materiales diamagnéticos como el bismuto, utilizó galvanómetros de mayor precisión y calibración al momento de medir la corriente eléctrica inducida. (Weber, 1852)

Para realizar este experimento, utilizó el *electrodiamagneto* presentado en la figura 5, consistía en una espiral de alambre (en *A*) que estaba compuesta de alambre de cobre recubierto con lana y aislado con una cubierta de gutapercha donde se introducía la barra de bismuto o de hierro para realizar la inducción eléctrica. (Weber, 1852)

Figura 5

Montaje experimental de Weber “Electrodiamagneto”



Nota. La imagen representa el montaje experimental realizado por Wilhelm weber.

(Weber, 1852)

Teniendo en cuenta el montaje experimental de Weber (figura 5), la bobina en A se encarga de la inducción de las corrientes en el material, en ella se induce corriente debido al movimiento del electrodiamagneto producido por la rueda en O , esta espiral debe estar conectada al multiplicador del galvanómetro para observar la corriente inducida y aislada del electroimán que funciona gracias a una pila galvánica. Para lograr una medición, la bobina en A se descomponía en dos partes totalmente simétricas en donde una parte era enrollada hacia una dirección y la otra en sentido contrario, ya que, al estar en dirección opuesta multiplicaba la fuerza de inducción que se obtenía. (Weber, 1852)

La rueda en O tiene una manivela que permite introducir o sacar el bismuto de la bobina de inducción con una frecuencia de 10.58 veces por cada segundo, entonces, si el movimiento de la barra iba de oeste a este se denominaba desplazamiento normal, mientras que, si se movía de este a oeste era inverso, además, estaba conectada al conmutador en d que permitía cambiar la dirección de la corriente inducida cada media vuelta que realizara la rueda en O . (Weber, 1852)

Para realizar la medición se instaló un galvanómetro en D , donde su aguja estaba rodeada por un anillo grueso de cobre a modo de amortiguador, por ese motivo, está alejado de la bobina de inducción para no afectar su medición y por último se utiliza una brújula en C para estimar la fuerza de la corriente de la pila galvánica. Al momento que interactuaba la brújula con la corriente generada, si su extremo norte se desviaba hacia el oeste se entendía que la corriente era normal, pero si se desviaba hacia el este la corriente era entendida como inversa. (Weber, 1852)

En un primer momento, Weber realizó el experimento con una barra de hierro, donde a ésta se le inducía una corriente a través del electrodiamagneto con el fin de tener un punto de

referencia para poder comparar los resultados que se iban a conseguir con el bismuto, la inducción de éste se realizaba por el movimiento del material dentro una bobina de alambre en reposo.

Para dar inicio a la experimentación, Weber realizó un movimiento oscilatorio del bismuto de oeste a este dentro de la bobina de inducción para poder evidenciarla, donde observó que la aguja del galvanómetro se movió de este a oeste, sin que la corriente de la pila variara, entonces, evidenció que ésta oscila de forma contraria a los materiales magnéticos como el hierro, ya que, dichos materiales oscilaban de oeste a este, de esta forma, Weber demuestra que la inducción diamagnética es diferente a la inducción magnética, porque, experimentó con una barra de hierro que no requería oscilación porque al momento de introducirla, la brújula se posicionaba de oeste a este mostrando que sí se inducía una corriente eléctrica constante en la bobina. (Weber, 1852)

Weber comparó los resultados obtenidos por la barra de hierro y la barra de bismuto, teniendo en cuenta el trabajo de Gauss respecto a la distribución ideal de los fluidos magnéticos³ sobre la superficie de los materiales magnéticos como el hierro y el imán, demuestra que la distribución de los diamagnéticos es opuesta a los magnéticos. (Weber, 1852)

De esta forma, propone que los materiales diamagnéticos pueden ser estudiados desde la distribución ideal de fluidos magnéticos, Weber utilizó diferentes teorías para identificar las posibles causas de dichos resultados. Primero se basa en la teoría del magnetismo propuesta por Coulomb y Poisson, donde este comportamiento se debe a la existencia de dos fluidos

³ Gauss explica el comportamiento de materiales magnéticos a través de una distribución en su superficie de fluidos magnéticos, de esta forma, se considera que estos materiales tienen una distribución ideal de fluidos magnéticos. (Weber, 1852)

magnéticos más o menos móviles independientes del material; las siguientes dos causas se deducen de la teoría del magnetismo utilizando la electrodinámica de Ampere, por una parte, el comportamiento de los materiales diamagnéticos podría deberse a la existencia de dos fluidos magnéticos que solo se mueven con las moléculas del material, como si fueran, imanes giratorios moleculares, por otra parte, también podría deberse a la existencia de corrientes moleculares permanentes construidas a partir de dos fluidos eléctricos, que pueden hacer rotar las moléculas. (Weber, 1852)

Finalmente, la causa que utiliza Weber para explicar sus resultados, es en la cual existen dos fluidos eléctricos móviles, que pueden convertirse en corriente molecular, se basa en que en las moléculas o alrededor de ellas hay órbitas cerradas donde los fluidos se mueven sin resistencia, entonces, solo se requiere de una fuerza electromotriz que actúe sobre el fluido negativo y positivo en direcciones opuestas para tener una corriente molecular y la dirección está dada por la ley fundamental de inducción magnética. (Weber, 1852)

Weber llega a la conclusión de que el bismuto es repelido por el imán, porque las fuerzas inducidas y los fluidos eléctricos en el material se mueven libremente en orbitales circulares, es decir, contiene orbitas cerradas en las que los fluidos eléctricos se pueden mover sin resistencia, entonces, sus moléculas no rotan al momento de que el fluido pase, por ende, no permite que entre en un estado magnético de atracción. (Weber, 1852)

De esta manera, Weber explicaba la polaridad magnética a través de corrientes inducidas en un material, por su parte, Tyndall hablaba desde la organización interna del material, en su artículo *Primera Memoria* publicado en 1850, propuso la estructura fundamental de los materiales a nivel molecular, ya que vio que éstos se componían de placas de material alternados con espacios vacíos evidenciando la expansión por el calor y contracción por el frío, donde llega

a la conclusión que las moléculas de éste no se tocan entre sí por la fuerza magnética generada por las mismas.

De acuerdo con lo anterior, Tyndall con ayuda del físico Hermann Knoblauch estudiaron la interacción de los campos magnéticos con materiales, en este caso con cristales para obtener mejores resultados en sus experimentos, llegando a las siguientes explicaciones: primero que la intensidad de la acción del campo magnético interno del material generado por sus moléculas es mayor cuando éstas están más próximas unas con otras y por último, que la línea magnética de mayor densidad dentro del material es aquella que ejerce mayor fuerza sobre las líneas de campo generadas por el imán, a estas se les llama *línea de polaridad electiva*, donde toma una dirección axial cuando es un material magnético (figura 3) o una dirección ecuatorial con un material diamagnético (figura 4) (Jackson, 2015).

Como se evidencia anteriormente, el estudio del diamagnetismo se centra desde lo microscópico, teniendo en cuenta la interacción de las partículas del material, entonces cualquier cosa que afecte la disposición de las partículas afectará directamente la línea de polaridad electiva (Jackson, 2015), gracias a esto, hoy en día se conoce el diamagnetismo perfecto que se presenta en los superconductores al momento de evidenciar el efecto Meissner-Ochsenfeld.

3. Diamagnetismo en Superconductores

Como se menciona en el capítulo anterior, el estudio del diamagnetismo se basa en una mirada microscópica, ya que, es la forma en que se logra dar explicación del diamagnetismo que se presenta en diferentes materiales como en los superconductores de alta temperatura, por ejemplo, el YBCO.

Sin embargo, el concepto del diamagnetismo se abordó a partir de su formulación sin entrar en una discusión matemática rigurosa, dado que los conceptos de líneas y polos de campo magnético y su interacción con la materia fueron trabajados con estudiantes de grado once quienes realizaron una aproximación al concepto desde la experimentación, por lo tanto, se plantea a través de diferentes experiencias para formalizar el fenómeno físico del diamagnetismo.

3.1 Diamagnetismo

Antes de abordar el diamagnetismo es necesario retomar el siguiente concepto clave para entender este fenómeno. En un primer momento, se conoce que se tiene un vector de magnetización \vec{M} (**1**) de un material, que representa la imantación que tiene un material por unidad de volumen en presencia de un campo magnético, donde tiene una relación lineal con la intensidad del campo magnético \vec{H} aplicado y con la susceptibilidad magnética χ (Kittel, 2003).

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad (1)$$

La susceptibilidad magnética es una magnitud adimensional, la cual representa que tan susceptible es un material para magnetizarse, en materiales ferromagnéticos y paramagnéticos $\chi > 0$, mientras que, en los materiales diamagnéticos $\chi < 0$ (Simon, 2013). De esta manera, se puede definir que los materiales diamagnéticos debido a su comportamiento de repeler el campo

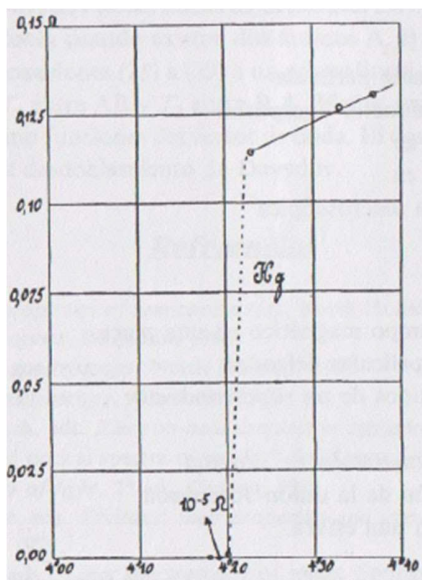
magnético externo, su magnetización es negativa debido a que su susceptibilidad magnética lo es (Machado, 2002).

3.2 Estado Superconductor

En 1908, en la Universidad de Leiden, el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes realizó por primera vez la licuefacción del helio iniciando los estudios en la física de bajas temperaturas, posteriormente, en 1911 experimentaba con el mercurio sometido a bajas temperaturas, las cuales eran alcanzadas con la ayuda del helio líquido. En este experimento con el mercurio observó cómo la resistividad del material disminuía abruptamente alrededor de los 4,2 K (figura 6), de esta forma, se descubre el estado superconductor. (Kittel, 2003)

Figura 6

Resistencia en ohmios de una muestra de mercurio en función de la temperatura



Nota. Gráfica de la caída abrupta de la resistividad del mercurio al disminuir su temperatura.

(Kittel, 2003)

Como se evidencia en la figura 6, al bajar la temperatura del mercurio su resistividad disminuye abruptamente hasta 0, a este punto se le llama temperatura crítica T_c , en donde el material pasa de un estado de resistividad normal al estado superconductor. (Kittel, 2003)

En 1986 en el centro de investigación de IBM J. G. Bednorz y K. A. Müller en Zúrich obtuvieron un superconductor compuesto de óxido de cobre, bario y lantano con $T_c \sim 35 K$, entonces, se confirmó que la T_c podría aumentar por encima del punto de ebullición del nitrógeno líquido $\sim 77 K$, de esta forma, se conoce que hoy en día se tienen dos tipos de superconductores, unos de baja temperatura con una T_c menor de $77 K$ y de alta temperatura T_c mayor que esta. (Carmago, 1996)

De esta manera, se define que el estado superconductor se presenta en sistemas de carácter metálico, además, hay dos experimentos que lo definen, el primero que fue anteriormente mencionado donde se obtiene la pérdida total de la resistividad (figura 6) y el segundo es el efecto Meissner-Ochsenfeld, en donde el material es expulsado por el campo magnético externo, donde se evidencia la levitación de este. (Baquero, 2014) Lo cual se explicará con más detalle a continuación.

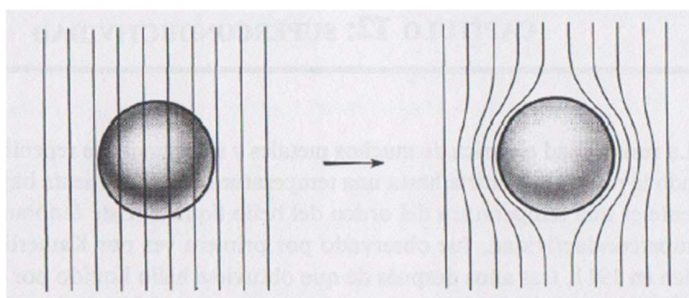
3.3 Efecto Meissner-Ochsenfeld

En 1933 los físicos Meissner y Ochsenfeld descubrieron el denominado el efecto Meissner-Ochsenfeld que un superconductor después de haber alcanzado su temperatura T_c y al entrar en interacción con un campo magnético externo, éste lo repelía y a esto lo nombraron material diamagnético perfecto, es decir, las líneas de inducción magnética del campo \vec{B} se veían expulsadas del superconductor como se muestra en la figura 7, para llegar a esta conclusión, realizaron dos experimentos: en el primero se obtuvo que al momento de medir el campo

magnético interno de un superconductor al estar por debajo de su T_c tenía una variación de 1.7 cuando estaba en temperatura ambiente, por otra parte, el segundo, se unieron dos superconductores, por donde se hizo pasar una pequeña corriente eléctrica tanto en temperatura ambiente como por debajo de su T_c , en el cual evidenciaron que la desviación del galvanómetro fue mucho mayor al experimento anterior. De esta forma, se evidenció que los materiales diamagnéticos perfectos difieren de los materiales diamagnéticos, dado que estos últimos son repelidos por un campo magnético externo, mientras que los superconductores expulsan el campo de su interior (Enríquez, 2011).

Figura 7

Efecto Meissner-Ochsenfeld



Nota. En la parte izquierda se evidencia como se encuentra un material superconductor en interacción con un campo magnético externo constante, al llegar a su temperatura T_c se observa, en la parte derecha de la imagen, como las líneas de campo magnético \vec{B} son expulsadas del material. (Kittel, 2003)

El efecto Meissner-Ochsenfeld es un parámetro para definir el estado superconductor, como lo hace la ecuación de London, en donde se basa desde una mirada clásica microscópica teniendo en cuenta la termodinámica y las ecuaciones de Maxwell, en esta se supone que en los

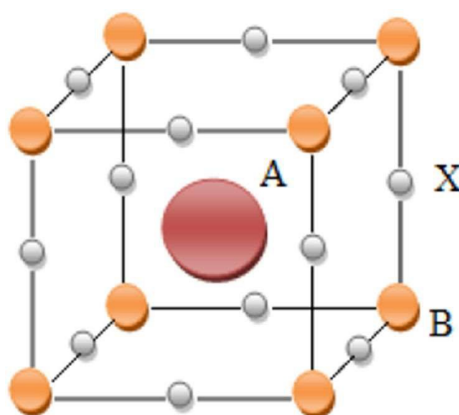
superconductores se presentaban dos tipos de fluidos, el primero de electrones normales y el segundo de electrones superconductores que se mueven libremente por el material, gracias a esto, se plantea la ecuación de London que da razón de la longitud de penetración del campo magnético.

3.4 Superconductor YBCO

El $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO) es un superconductor de alta temperatura ampliamente estudiado, presenta una estructura tipo perovskita con fórmula ABX_3 , donde X es un anión y los cationes A y B (figura 8). (Pedraza, 2014)

Figura 8

Cubo básico de perovskita con fórmula ABX_3



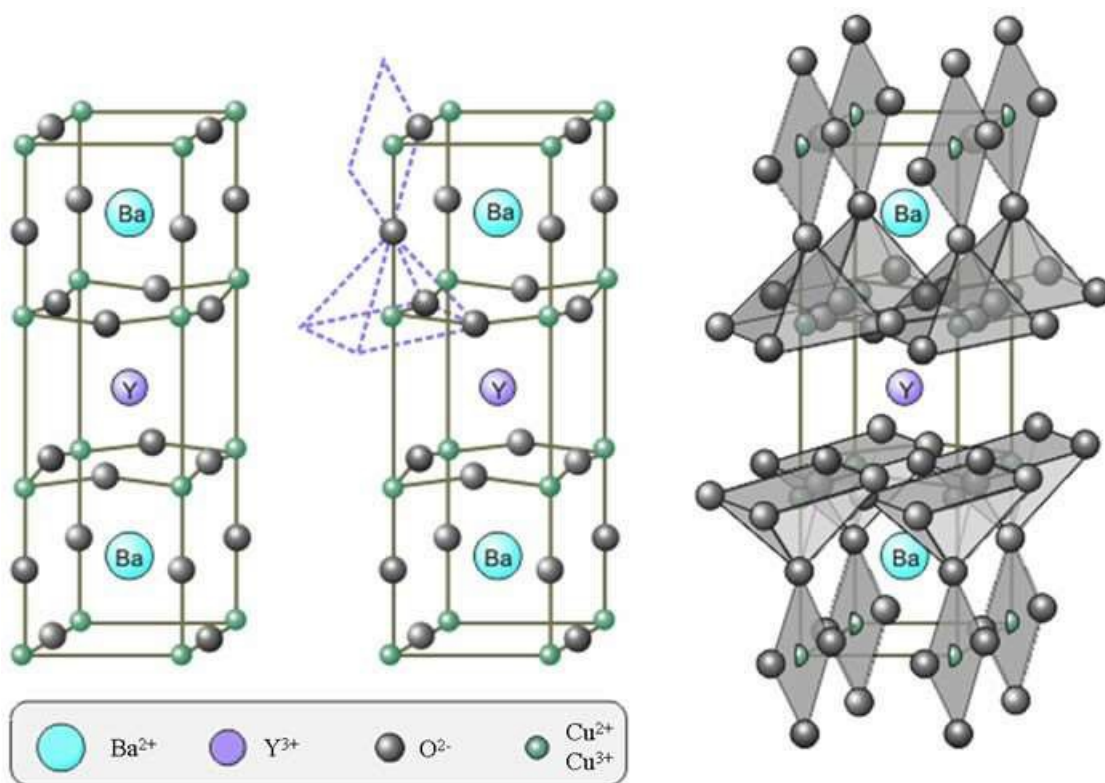
Nota. El catión **A** es localizado en el centro del cubo y el más grande, mientras que, el catión **B** se encuentra en los ocho vértices del cubo y el anión **X** en la mitad de cada arista del cubo. (Pedraza, 2014)

Para el YBCO, en la figura 8, **A** se ocupa por iones de bario (+2), a su vez, está unido a diez átomos de oxígeno e iones de itrio (+3) que están enlazados a ocho átomos de oxígeno, de esta manera, se forman dos capas consecutivas de bario y una de itrio figura 9a, mientras que, el

cobre ocupa el lugar **B** que forma una configuración piramidal con el oxígeno figura 9b en donde se observa que las bases de pirámides cobre-oxígeno quedan separadas por un plano de átomos de itrio, éstos planos son de vital importancia, ya que, le dan la naturaleza de superconductor al material, por último, los átomos de cobre y las dos capas consecutivas de bario de enlazan a 4 átomos de oxígeno formando una configuración tipo diamante figura 9c. (Pedraza, 2014)

Figura 9

Estructura del $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$



Nota. a) estructura de celda unitaria, b) configuración piramidal entre Cu — O y c) configuración tipo diamante. (Pedraza, 2014)

4. Secuencia Experimental

En la ciencia hay dos perspectivas referentes a la relación experimentación-teorización, la primera tiene en cuenta que el experimento es la fuente exclusiva del conocimiento, ya que, a través de la experiencia se logra la conceptualización del fenómeno, por otro lado, se plantea la teorización como fundamento o base del conocimiento científico, por ende, la experimentación se utiliza como un mecanismo para comprobar o refutar una teoría. Teniendo en cuenta estas dos perspectivas, se piensa que tanto la teorización como la experimentación son totalmente diferentes entre sí. Sin embargo, se considera que la experimentación y la teoría gozan de autonomía una frente a la otra, es decir, una complementa a la otra porque la experiencia se puede explicar desde la teoría y viceversa. (Romero, y otros, 2017)

De acuerdo con lo anterior, el experimento y la teoría se pueden pensar como mundos diferentes, porque se pueden considerar como el mundo sensible y el mundo de las ideas, sin embargo, como ya se afirmó anteriormente esto se complementan mutuamente y de esta misma manera, se debe fomentar la enseñanza de las ciencias en el aula vinculándolas, entonces, desde un contexto pedagógico se estudia cómo se pueden relacionar estos dos conceptos teoría y experimento, para ello, se examinan las actividades de experimentación y formalización así como las relaciones presentes entre ellas, con la finalidad de abordar conceptos en el aula vinculando las magnitudes y la fenomenología que en ellos se involucran, considerando que la experimentación es el nexo entre ellas dos, facilitando la comprensión de los fenómenos relacionados, así como lo afirma José Francisco Malagón y otros en su libro *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización*.

En primer lugar, el experimento permite la organización de la experiencia y los procesos vinculados a la construcción de magnitudes y formas de medida. En segundo lugar, el

experimento permite proponer problemas conceptuales en torno a la organización de los fenómenos. Por último, la actividad experimental propicia la construcción o ampliación de una base fenomenológica o entramado de hechos de observación que serían estructurados a partir de una cierta organización conceptual.

(Malagón Sanchez, Ayala Manrique, & Sandoval Osorio, 2013)

De esta forma, se plantea que la experimentación permite organizar los fenómenos, ya que se logra la construcción de estos a través de la experiencia y así se pueden trabajar problemas para lograr la conceptualización de dichos fenómenos. Por consiguiente, en el presente documento se plantea el uso de una secuencia experimental, la cual busca la realización secuenciada de distintas prácticas de laboratorio, donde cada una de ellas involucra al estudiante en el proceso de conceptualización de la experiencia a estudiar (Casal, 2013), de modo que logre la teorización a través de la experimentación como lo afirma Romero (2013) “la actividad experimental en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias no puede abordarse de manera independiente y desarticulada de la actividad de construcción conceptual”. Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo plantea una secuencia experimental que permite abordar el concepto de diamagnetismo a través de la interacción de los campos magnéticos con la materia, como los superconductores, tomando como base inicialmente, la teoría clásica, para llegar a una explicación desde la física moderna haciendo uso del superconductor de alta temperatura YBCO.

Teniendo en cuenta lo anterior, para abordar el concepto de diamagnetismo haciendo uso del material superconductor YBCO, la secuencia experimental se estableció desde una perspectiva fenomenológica enfocada en la experimentación a partir de la estructuración y análisis del fenómeno, con la finalidad, de establecer procesos de conceptualización en el aula basándose en la experiencia, así como se afirma en el libro *Una perspectiva fenomenológica*

para la enseñanza de las ciencias “ubicarnos en una perspectiva fenomenológica implica que consideremos que no existen esquemas conceptuales que no estén articulados con la experiencia” (Sandoval Osorio, Malagón Sánchez, Garzón Barrios, Ayala Manrique, & Tarazona Vargas, 2018)

La secuencia experimental consta del diseño de 3 guías de laboratorio como recurso para los docentes de física que ejercen en educación media, las cuales están compuestas de un eje temático sustentado desde un marco teórico, con objetivos de aprendizaje, procedimientos para realizar la experimentación, actividades y preguntas orientadoras, con el fin, de estudiar el fenómeno del diamagnetismo en el superconductor YBCO con los estudiantes de grado once del Liceo Psicopedagógico Nueva Castilla.

De igual manera, para el planteamiento de las guías de laboratorio se tienen las siguientes consideraciones: construcción y comprensión de fenomenologías, ampliación de la experiencia, construcción de formas de hablar del fenómeno y concreción de supuestos conceptuales.

La guía de laboratorio No 1 tuvo como objetivo de aprendizaje observar las líneas de campo magnético producidas por una configuración de imanes haciendo uso de limadura de hierro, con la finalidad de que el estudiante tenga una construcción y representación de fenomenologías desde la visualización de las líneas de campo de un imán o de la interacción de dos campos magnéticos con la ayuda de la limadura de hierro, ya que, desde su experiencia cotidiana ha interactuado con los fenómenos de atracción y repulsión de los imanes.

Por otro lado, la guía de laboratorio No 2 relacionada con la interacción de los campos magnéticos con la materia tenía como objetivo de aprendizaje identificar el comportamiento de diferentes materiales (atracción, repulsión, entre otros) cuando están en presencia de un campo magnético externo, donde se busca que el estudiante comprenda y diferencie la clasificación de

los materiales dependiendo de su interacción con el campo magnético, como lo son el ferromagnetismo, el paramagnetismo y el diamagnetismo, lo anterior con la ayuda de un montaje experimental (figura 10) como instrumento de medición de la apertura del ángulo de la cuerda que sostiene el material respecto al imán.

Al abordar las guías anteriores, se busca que el estudiante tenga una imagen alrededor del concepto de campo magnético y de la clasificación de los materiales dependiendo de su comportamiento en presencia de un imán, para ello, se plantean preguntas orientadoras al finalizar cada sesión, con la finalidad de abordar la guía de laboratorio No 3, la cual tuvo como objetivo de aprendizaje comprender el fenómeno de levitación magnética, a través del efecto Meissner-Ochsenfeld haciendo uso del material superconductor YBCO, en donde se realizó un acercamiento a la física moderna desde la experiencia de la levitación de materiales diamagnéticos dando una introducción al concepto del estado superconductor.

4.1 Resultados y discusiones

La implementación de la secuencia experimental se realizó en el Liceo Psicopedagógico Nueva Castilla, institución educativa de carácter privado ubicada en la ciudad de Bogotá D.C, en la localidad de Kennedy en el barrio Castilla, con los estudiantes de grado once. El grupo está compuesto por dos cursos mixtos con un total de 41 estudiantes. La experiencia se llevó a cabo con esta población porque en los estándares del Ministerio de Educación Nacional se especifica que en este grado se deben abordar los temas relacionados con el magnetismo y el electromagnetismo desde la física clásica, por consiguiente, estas temáticas sirven como puente para realizar un acercamiento a la física moderna desde la interacción de los materiales con un campo magnético externo, como es el caso del compuesto superconductor YBCO.

1) En un primer momento, se implementó la guía titulada “líneas de campo” (anexo A) en sesiones de 40 minutos con cada curso para fomentar la construcción del concepto se realizaron grupos de 4 estudiantes. Durante las sesiones, se dieron las indicaciones y los implementos necesarios que se mencionan en la guía para llevar a cabo la guía.

Para el análisis de cada guía de laboratorio se tuvo en cuenta el artículo *Una propuesta de diseño y evaluación de secuencias de enseñanza-aprendizaje en Física: el caso de las leyes de newton* (Guisasola, Zuza, & Sagastibeltza, 2019), este artículo plantea un objetivo de aprendizaje, en donde se realizan preguntas orientadoras para completar el mismo, de esta forma, se categorizan las ideas clave que se deben encontrar en las respuestas de los estudiantes y por consiguiente poder evidenciar que tras la experimentación logren explicar el fenómeno planteado.

En este presente trabajo, se plantearon las guías con objetivos de aprendizaje propuesto y de acuerdo con estas, se plantearon preguntas con la finalidad de que los estudiantes logren describir el fenómeno, de esta forma, se realiza la categorización de las ideas clave de cada pregunta, es decir, al momento de leer las respuestas de los estudiantes se deben encontrar el uso adecuado y coherente de algunas palabras determinadas que dan razón al fenómeno.

Por ejemplo, en la tabla 1 para la pregunta 1 las ideas clave son: interacción imán limadura, campo magnético, líneas de campo y polos magnéticos, es decir, el estudiante al momento de escribir su respuesta, se debe evidenciar el uso de estas palabras de forma coherente para justificar el fenómeno, con esto, se halla un porcentaje de completud referente al uso de estas palabras en las respuestas obtenidas; se realiza el mismo análisis con cada pregunta y se finaliza con un porcentaje total de completud que hace referencia al porcentaje ponderado que se obtiene de las tres preguntas con la finalidad de comprender cuánto se cumplió el objetivo de aprendizaje propuesto.

Tabla 1

Análisis de la guía titulada líneas de campo magnético

Objetivo de aprendizaje: Observar las líneas de campo magnético producidas por una configuración de imanes haciendo uso de la limadura de hierro.			
Preguntas	Ideas Clave	Porcentaje de completud	Porcentaje total de completud
P1: ¿A qué se debe el comportamiento de la limadura de hierro?	Interacción imán limadura, campo magnético, líneas de campo y polos magnéticos.	50%	47%
P2: ¿Qué figura forma la limadura de hierro en cada configuración? ¿a qué se debe la formación de dichas figuras?	Campo magnético, líneas de campo, atracción de la limadura de hierro y la disposición de esta.	45%	
P3: ¿Qué son los polos magnéticos en un imán?, ¿cuál es la diferencia entre dichos polos?	Polaridad magnética, interacción entre polos magnéticos, campo magnético y líneas de campo magnético.	45%	

Para la primera pregunta P1, se evidencia que se obtiene un 50% de completud, es decir, los estudiantes utilizan la mitad de las ideas clave propuestas para la respuesta a la pregunta que se realizó, en donde, su mayoría asimila que el comportamiento de la limadura de hierro se debe por la interacción que tiene con el campo magnético generado por el imán de neodimio, pero, no se asocia dicha acción con la idea de polos magnéticos.

Posteriormente, se plantean las preguntas, ¿qué figura forma la limadura de hierro en cada configuración? ¿a qué se debe la formación de dichas figuras?, aquí se evidencia que los estudiantes tienen un 47% de completud respecto a las palabras clave propuestas, es decir, utilizan el concepto de campo magnético asimilado en la anterior pregunta P1, agregando la interacción que se observa, en este caso, la atracción que de la limadura de hierro con el campo y cómo la disposición de esta varía cuando se mueve el imán o en el momento, en el que se agrega un segundo campo magnético.

Se observa que, para la primera configuración de un solo imán, en las figuras dibujadas por los estudiantes (anexo D), la limadura de hierro se ubica en el contorno del imán, donde lo

describen como una forma ovalada con puntas o también, esta abarca la mayor área del imán, es decir, cubre todo el cuerpo de este. En la segunda y tercera configuración donde se tenían dos imanes separados uno al frente del otro formando una línea recta, se muestra como la limadura de hierro se unía o se separaba en la mitad de éstos, además, se lograba evidenciar que esta tomaba una dirección dependiendo de cada configuración, asimismo, mostrando que la disposición variaba cuando se rotaba un imán respecto al otro, sin embargo, en estos gráficos la limadura de hierro se sitúa únicamente en el contorno de los imanes, independiente de cómo se ubiquen.

Por otra parte, se proponen las siguientes preguntas, ¿qué son los polos magnéticos en un imán?, ¿cuál es la diferencia entre dichos polos?, donde se evidencia un 45% de completud respecto a las ideas claves propuestas, ya que, en su gran mayoría, mencionan que los polos magnéticos se ubican en los extremos de los imanes, también, como se comportan y la dirección que tienen las líneas de campo magnético, que van de polo norte a polo sur, con la finalidad de comprender la interacción que existe entre estos dos, por una parte, se reconoce que si se acercan dos polos similares, es decir, dos polos positivos o negativos, se van a repeler uno con el otro, no se atraen, pero si acercamos dos polos opuestos como lo sería un polo negativo y positivo o positivo y negativo, se presentará una atracción (anexo D).

Para finalizar, se le pide al estudiante registrar cualquier apreciación adicional que considerara pertinente del laboratorio, obteniendo la siguiente pregunta propuesta por los estudiantes, “¿qué tan lejos puede ubicarse un imán para que la limadura de hierro entre al campo magnético?” primero se hace la apreciación de que hay que reescribir la pregunta para precisar lo que sucede realmente al momento de estudiar la interacción de la limadura de hierro con el campo magnético, por tanto, se plantea la siguiente: ¿qué tan lejos puede ubicarse un imán

para que su campo magnético interactúe con la limadura de hierro?, así se entiende que esta interacción es a distancia y, por esto, los estudiantes precisan que el rango máximo para que se tenga una interacción es una distancia entre los 3,8 cm a 4,2 cm con los imanes de neodimio que se utilizaron en la experiencia, por otra parte, los estudiantes evidenciaron que el campo magnético puede “atravesar” los materiales, porque se colocó el imán debajo de una regla y encima la limadura de hierro observando el mismo comportamiento que se había visto anteriormente, pero con menos intensidad.

Al momento de analizar las respuestas de los estudiantes, se logra evidenciar la confusión que existe entre los conceptos de campo magnético y campo electromagnético, ya que, utilizan ambos términos como si fuesen el mismo, además, de no lograr asimilar el concepto de polos magnéticos con los fenómenos presentados, por este motivo, el objetivo de aprendizaje obtuvo un 47% de completud.

Los resultados anteriores permiten inferir que, la enseñanza de la física en la educación media no aborda en su totalidad lo que se propone desde el MEN, ya que, los estudiantes debieron de tener estos conceptos previos acerca de los polos magnéticos para dar explicaciones a fenómenos relacionados al campo magnético.

Para dar solución a estas dificultades, en la siguiente sesión, se abordó el concepto de campo magnético, donde se especifica que este es generado por un imán, en este caso, por el imán de neodimio, además que es dipolar, ya que, se tiene el polo norte y el polo sur que permite la interacción con su entorno o con otro campo, mientras que el campo electromagnético es generado por movimiento una corriente eléctrica, es decir, al momento de pasar una corriente por un alambre de cobre y coloca una brújula al lado de éste, se evidenciará que la aguja se moverá,

de esta forma, se hace la aclaración de la diferencia que hay entre el campo magnético y el campo electromagnético.

2) Posteriormente, se implementa la segunda guía de laboratorio llamada “Interacción de los campos magnéticos con la materia” (anexo B) en sesiones de 40 minutos con cada curso, donde se trabajó en 3 grupos conformados entre 4 a 5 estudiantes cada uno, de esta forma, se dieron las indicaciones y los implementos necesarios para realizar la experiencia propuesta.

Antes de aplicar la guía de laboratorio, se explica el marco teórico propuesto en la guía con la finalidad de que los estudiantes puedan entender qué ocurre en la experiencia. En un primer momento se aborda cómo los átomos de un imán deben estar organizados para que tenga las propiedades magnéticas características de éste, para ello, se utilizó las imágenes propuestas en la guía de laboratorio (anexo B), además se complementó realizando gráficos en el tablero representando la organización interna de distintos materiales, ya que, en los átomos de un material como el imán, su campo magnético es tan intenso que se alinean entre sí, a este grupo de átomos alineados se le denomina dominio magnético.

Ahora, así como los dominios magnéticos de los imanes se alinean, otros materiales también lo hacen en presencia de un campo magnético, a este fenómeno se le conoce como susceptibilidad magnética donde se entiende qué tan susceptible es un material en magnetizarse en presencia de un campo magnético, entonces, dependiendo del comportamiento que tenga el material con el imán se clasifican, por ende, se realiza la introducción de los tres principales como lo son: los materiales ferromagnéticos son atraídos fuertemente por el campo magnético, es decir, presentan una susceptibilidad magnética muy grande y positiva, ya que es fuertemente atraído por el imán, además, sus dominios magnéticos varían según la forma en que se encuentre ubicado el campo magnético aplicado, los materiales paramagnéticos son atraídos levemente

porque tienen una susceptibilidad magnética positiva pero su magnetización es leve, ya que, su atracción hacia el imán es muy débil y por último, los materiales diamagnéticos son repelidos por los campos magnéticos, ya que su susceptibilidad magnética es negativa y su magnetización también lo es.

De esta forma, se inició la experiencia, en un primer momento se entregaron los materiales a utilizar, los cuales son: imán de neodimio, placas de cobre, aluminio, madera y metal, además, de un montaje experimental el cual está formado por una estructura que se asemeja a un puente, en donde la estructura de la mitad permite ubicar un transportador, con la finalidad, de suspender los materiales y medir la apertura del ángulo que tendrá (figura 10).

Figura 10

Montaje experimental para la guía No 2



Nota. Propuesta montaje experimental para la guía interacción de los campos magnéticos con la materia.

Al inicio de la experiencia, se evidenció que a los estudiantes se les dificultó medir la apertura del ángulo porque la interacción era muy leve, además, para poder ver algún movimiento, era necesario que el imán estuviera a una distancia entre 3 cm a 5 cm de los materiales (excepto con el hierro), entonces, se les indicó que simplemente escribieran lo que

evidenciaran, por ejemplo, si el material se atrae o repele leve o fuertemente del imán, o en su defecto, no ocurra nada en presencia del campo magnético de este.

En el caso del cobre, evidenciaron que, al acercarle el imán no se veía interacción alguna, se les pidió a los estudiantes que se cercioraran que el material estuviese totalmente quieto al momento de estar suspendido y posteriormente, acercar el imán poco a poco. A una distancia de 3cm a 5cm el cobre interactuaba con el imán, este se movía en dirección contraria al imán teniendo una oscilación leve, es decir, era repelido levemente por el campo magnético. Teniendo en cuenta la explicación previa los estudiantes clasificaron el cobre como un material diamagnético porque es repelido, además, realizaron la siguiente aclaración (anexo D) “su susceptibilidad magnética es negativa, por ende, su magnetización también lo es” asimilando las características de un material diamagnético.

Con el aluminio, ocurre lo mismo que con el cobre, al momento de acercar el imán, no se lograba notar interacción alguna entre estos dos, sin embargo, se les pidió a los estudiantes repetir el procedimiento y evidenciaron que a una distancia entre 2 cm a 3 cm se veía una breve oscilación hacia el imán, entonces, éste era atraído “débilmente”, a este comportamiento lo asociaron a un material paramagnético.

Para finalizar, se suspende la madera y se acerca el imán, con este material se dificulta evidenciar si es atraído o repelido, por una parte, un grupo afirma que no vieron interacción alguna, lo atribuyen a que la placa de madera era “un poco gruesa” para el tamaño del imán y por ese motivo, no interactuaban, los estudiantes plantearon la idea de disminuir el grosor y el tamaño de la tabla para que se tuviese alguna interacción, entonces, observaron que era atraído levemente, así como el aluminio, de esta forma, lo clasifican como un material diamagnético.

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizan las respuestas obtenidas en cada una de las preguntas propuestas en la tabla 2:

Tabla 2

Análisis de la guía titulada Interacción de los campos magnéticos con la materia

Objetivo de aprendizaje: Identificar el comportamiento de diferentes materiales (atracción, repulsión, entre otros) cuando interactúan con un campo magnético			
Preguntas	Ideas Clave	Porcentaje de completud	Porcentaje total de completud
P1: ¿Qué ocurre cuando acercamos el imán al material? ¿a qué se debe este fenómeno?	Campo magnético, atracción o repulsión y susceptibilidad magnética	89%	89%
P2: ¿Cómo se podrían clasificar los materiales, teniendo en cuenta su comportamiento al interactuar con el imán?	Materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos	89%	

Se evidencia que en las preguntas ¿Qué ocurre cuando acercamos el imán al material? ¿a qué se debe este fenómeno?, hay un 67% de completud, los estudiantes utilizan los términos como campo magnético y la interacción que existe con la materia: atracción o repulsión, de esta forma, se evidencio que la aclaración realizada al inicio de las sesiones sirvió para afianzar los conceptos que se buscaban abarcar en la guía número 1, además, para comprender y dar razón del fenómeno observado en cada material.

Por otro lado, se tienen las preguntas: ¿Cómo se podrían clasificar los materiales, teniendo en cuenta su comportamiento al interactuar con el imán?, donde se obtiene un 89% de completud, ya que, los estudiantes en su gran mayoría lograron clasificar de forma correcta los materiales dependiendo de su interacción.

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que respecto al objetivo de aprendizajes sobre identificar el comportamiento de diferentes materiales (atracción, repulsión, entre otros) cuando interactúan con un campo magnético, se logra un 89% de completud, evidenciando que no persiste la confusión entre el campo magnético y el campo electromagnético, ya que, en sus respuestas no se observa el uso de la palabra campo electromagnético como el fenómeno presente por el imán, de igual manera, los estudiantes establecieron los criterios para poder clasificar los materiales dependiendo de su interacción, donde se tenía atracción o repulsión logrando la comprensión del tema para lograr dicha clasificación.

3) Finalmente, para la última guía de laboratorio titulada “fenómeno de levitación magnética” (anexo C) se obtuvo el material YBCO mediante un grupo de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, dado que, ellos lo producen con la finalidad de realizar estudios de los materiales superconductores, sin embargo, para esta experiencia se utilizó para hacer un acercamiento a la física moderna.

Además, es necesario el uso de nitrógeno líquido, se debe tener en cuenta que el transporte y almacenamiento de éste requiere de precaución y pronto uso, ya que, se evapora rápidamente porque al no usar los dispositivos especializados para ello, está en constante contacto con el medio ambiente.

Entonces, se implementa la última guía de laboratorio en una sesión de 40 minutos con los dos grados, ya que, la manipulación y uso del nitrógeno líquido no permitía realizarlo por separado, para ello, se realizaron grupos conformados entre 4 a 5 estudiantes cada uno, con el fin, de que cada uno pudiera observar de manera detallada el comportamiento del material YBCO.

Al momento de hacer la experiencia, se especifica que la manipulación del montaje experimental con el YBCO y el nitrógeno líquido debe ser exclusivamente por el docente a cargo, sin embargo, el recipiente cilíndrico donde se encontraba los materiales era pequeño, entonces, los estudiantes no alcanzaban a verlo, por lo tanto, se pidió a cada grupo que pase organizadamente uno por uno.

Antes de realizar el experimento, se dio una breve explicación respecto a los superconductores, teniendo en cuenta, la resistividad cero de estos materiales y del efecto Meissner-Ochsenfeld que se comportan como un diamagnético perfecto, ejemplificando el material YBCO, debido a que era necesario realizar una introducción al fenómeno, con la finalidad de centrar el estudio de esta guía en la levitación magnética que se presenta en el superconductor.

Posteriormente, se formulan las preguntas propuestas en la guía y se obtienen los siguientes resultados (tabla 3):

Tabla 3

Análisis de la guía titulada “fenómeno de levitación magnética”

Objetivo de aprendizaje: comprender el fenómeno de levitación magnética, a través, del efecto Meissner-Ochsenfeld haciendo uso del material superconductor YBCO.			
Preguntas	Ideas Clave	Porcentaje de completud	Porcentaje total de completud
P1: ¿A qué se debe el comportamiento del material YBCO?	Superconductor, repulsión, diamagnetismo, temperatura crítica, levitación magnética.	50%	50%
P2: ¿Qué función tiene el nitrógeno líquido? ¿qué propiedades cree que le puede dar?	Temperaturas bajas, superconductor, levitación magnética	50%	

Teniendo en cuenta la tabla 3, en la pregunta P1 ¿a qué se debe el comportamiento del material YBCO?, se evidencia que se obtuvo un 50% de completud, es decir, los estudiantes asimilan que el material se comporta como un superconductor cuando alcanzan su temperatura crítica, por ende, al contacto con el campo magnético se presenta el efecto Meissner-Ochsenfeld que describe el fenómeno de levitación magnética, sin embargo, no asocian que el material repele campo externo del imán y, por consiguiente, no tienen en cuenta el comportamiento del diamagnetismo para la explicación de la experiencia.

Para la P2 ¿qué función tiene el nitrógeno líquido? ¿qué propiedades cree que le puede dar?, se evidencia que se obtuvo un 50% de completud, donde los estudiantes tienen claro que el nitrógeno líquido es utilizado para disminuir la temperatura del YBCO para alcanzar el estado superconductor, sin embargo, la forma en que se formuló la pregunta generó confusión entre los estudiantes, dado que, al dar respuesta caracterizaban el nitrógeno líquido, dejando a un lado las propiedades que se le otorgaba al material superconductor cuando estaba sumergido en éste dentro del recipiente cilíndrico.

Entonces, el objetivo de aprendizaje tiene un porcentaje de 50% de completud, ya que, el estudiante logra identificar que el superconductor YBCO produce el fenómeno de levitación magnética al estar en contacto con el campo magnético generado por el imán, sin embargo, los estudiantes no evidenciaron como el material disminuía su temperatura gracias al nitrógeno, por ende, no logran dar una explicación concreta del porqué ocurre este.

5. Conclusiones

En este trabajo se realizó una contextualización histórica entorno al diamagnetismo, con la finalidad de que el autor obtuviese claridad en los conceptos entorno a este fenómeno para el planteamiento de la secuencia experimental, esto permitió contextualizar el fenómeno, teniendo en cuenta las implicaciones necesarias para explicarlo y las limitaciones respecto al uso de imanes, siendo indispensable que tuviesen una intensidad de campo alta como los imanes de neodimio para evidenciar la interacción del material diamagnético con un campo magnético externo, de esta forma, se planteó la ruta para entender y abordar la enseñanza del diamagnetismo desde la física clásica haciendo un puente para llegar a una explicación moderna.

El acercamiento a la explicación del funcionamiento de los superconductores, permitió evidenciar cómo usando conceptos de la física clásica se puede dar una explicación a la física moderna, aquí se analiza la resistividad del material al paso de corriente y cómo la estructura de los materiales influye que tengan un comportamiento que les permita ser categorizados como superconductores. Esto llevo encontrar el material YBCO que se utilizó como superconductor para realizar la experimentación, este material fue usado ya que es un superconductor de fácil acceso (se puede conseguir con grupos de investigación de la Universidad Nacional de Colombia y es de libre venta en el mercado), además, cuenta con una temperatura crítica alta, es decir, la temperatura que le permite lograr la levitación magnética puede ser obtenida haciendo uso del nitrógeno líquido.

Al plantear la experimentación de manera cualitativa, se evidenció cómo los estudiantes construían el concepto y de esta manera saber si el objetivo de la secuencia didáctica era completado. Aquí se obtuvo un promedio de 62% de completud, lo que permitió identificar que los estudiantes tienen confusiones respecto a los conceptos utilizados, por ejemplo, con la primera guía se pudo ver que se utilizan las palabras de campo magnético y campo

electromagnético sin distinción, es decir, para los estudiantes campo magnético y campo electromagnético hacían referencia al mismo comportamiento. Por este motivo, se decidió realizar una explicación previa a cada guía. En consecuencia, se ve la pertinencia de realizar una prueba de conocimientos previos para saber en qué contexto se encuentran los estudiantes y de tal forma, decidir si los conocimientos son adecuados o por el contrario es necesario realizar una explicación previa para implementar las guías propuestas.

Al hacer un análisis del desarrollo de la secuencia experimental, se evidenció que para que los estudiantes respondan asertivamente a las preguntas propuestas en cada guía, éstas deben estar planteadas de tal forma que no exista ambigüedad, esto con el fin de que la respuesta obtenida sea la esperada, puesto que al ser preguntas orientadoras es necesario que los estudiantes respondan la pregunta centrados únicamente en el fenómeno de estudio.

Por otra parte, para aplicar la guía “fenómeno de levitación magnética” es complejo su desarrollo, por ende, su implementación no es viable en cualquier colegio, el uso del nitrógeno líquido sin los implementos de laboratorio necesarios para manipularlo, sin embargo, se observó que los estudiantes estuvieron interesados en el experimento de levitación magnética, debido a que, se vieron entusiasmados al momento de ser partícipe de la experiencia.

Bibliografía

- Balcells, J. A. (1838). *Memoria sobre los progresos de la física y química en la carrera de las artes*.
- Baquero, R. (2014). *La Superconductividad: sus orígenes, sus teorías, sus problemas candentes hoy*. Ciudad de México: Revista Académica.
- Barreto, L. F. (2018). *Estrategia didáctica para abarcar conceptos de electromagnetismo y termodinámica desde la enseñanza de los principios de superconductividad en grado undécimo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Bermeta, M. D. (1899). *Universalidad del magnetismo*. Salamanca: Calatrava.
- Carbonell, M. V., Flórez, M., Martínez, E., & Álvarez, J. (2017). APORTACIONES SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO: HISTORIA E INFLUENCIA EN SISTEMAS BIOLÓGICOS. *Revista Intropica*, 143-159.
- Carlson, J. B. (1975). Lodestone Compass: Chinese or Olmec Primacy? *SCIENCE*.
- Carmago, M. (1996). *Superconductores de alta Tc, diez años después*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Casal, J. D. (2013). Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio. *Revista de investigación y experiencias didácticas*, 249-262.
- D. Young, H., & A. Freedman, R. (2009). *Física Universitaria con física moderna*. México: Pearson Educación.
- Delft, D. V., & Kes, P. (2010). The Discovery of Superconductivity. *Physics Today*, 38-43.
- Electrónica, D. d. (11 de octubre de 2011). *Universidad de Vigo*. Obtenido de http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm#diamagneticos
- Enrriquez, R. P. (2011). El efecto Meissner y la levitación magnética. *EPISTEMUS*, 49-56.
- Faraday, M. (1845). *On new magnetic actions, and on the magnetic condition of all matter*. Smithsonian Institution Libraries.
- Fernandez, A. L. (27 de Abril de 2022). *JotDown Kids*. Obtenido de Los Polos Magnéticos: <https://kids.jotdown.es/2022/04/27/los-polos-magneticos/>
- Guisasola, J., Zuza, K., & Sagastibeltza, M. (2019). *Una propuesta de diseño y evaluación de secuencias de enseñanza-aprendizaje en Física: el caso de las leyes de Newton*. Gipuzhoa: DOPER.
- Hewwit, P. G. (2007). *Física Conceptual. Décima edición*. México: PEARSON EDUCACION.
- Jackson, R. (2015). Jhon Tyndall and the Early History of Diamagnetism.
- Kittel, C. (2003). *Introducción a la física del estado sólido*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Machado, K. D. (2002). *Teoria Do Eletromagnetismo*. UEPG.

- Malagón Sanchez, J. F., Ayala Manrique, M. M., & Sandoval Osorio, S. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- MEN. (2004). Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales.
- Ostermann, F., & Moreira, M. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 391-404.
- Pazos, E. (2021). *Teorema de Larmor*. Obtenido de Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=TwbWZswbgME>
- Pedraza, A. L. (2014). *Estudio de la susceptibilidad magnética AC en el superconductor YBCO*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Prieto, T., España, E., & Martín, C. (2012). Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Revista Eureka sobre la enseñanza y divulgación de las ciencias*, 71-77.
- Ramirez, C. C. (2018). *Un salto al estado superconductor en el aula*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Rico, D. M., & Santisteban, M. (1858). *Manual de física y elementos de la química*. Madrid.
- Romero, A. E., Morcillo Molina, C., García Arteaga, E. G., Tobón Cardona, É., Quinto Moya, J. A., Mejía Aristizábal, L. S., . . . Aguilar Mosquera, Y. (2017). *La experimentación en la clase de ciencias Aportes para una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metafísicas*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- S.L, J. R. (11 de abril de 2018). *El maglev japonés, el tren bala más rápido del mundo*. Obtenido de <https://www.jrailpass.com/blog/es/maglev-tren-bala>
- Sandoval Osorio, S., Malagón Sánchez, J. F., Garzón Barrios, M., Ayala Manrique, M., & Tarazona Vargas, L. (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Shanghai Maglev Transportation Development Co., L. 2. (2005). *Principle of Magnetic Levitation*. Obtenido de <http://www.smtdc.com/en/gycf3.html>
- Simon, S. H. (2013). *Solid State Basic*. Oxford: The Oxford University.
- Weber, W. (1852). *Electrodynamic Measurements, Especially on Diamagnetism*.

Anexos

Anexo A

Guía No 1 “*Líneas de campo magnético*”

Tema: Líneas de campo magnético

Objetivo de aprendizaje: Observar las líneas de campo magnético producidas por una configuración de imanes a través de la limadura de hierro.

Marco teórico

Polos magnéticos

Cuando se habla de fuerzas magnéticas, lo primero que se debe considerar son los polos magnéticos, ya que, son los que originan estas fuerzas. Un imán tiene dos polos: norte y sur que están ubicados a sus extremos. Los polos magnéticos son inseparables, es decir, no podemos tener uno sin el otro. Por ejemplo, si tenemos un imán y lo partimos por la mitad, se obtiene dos imanes, ambos trozos se convierten en un imán cada uno porque los polos no se pueden separar.

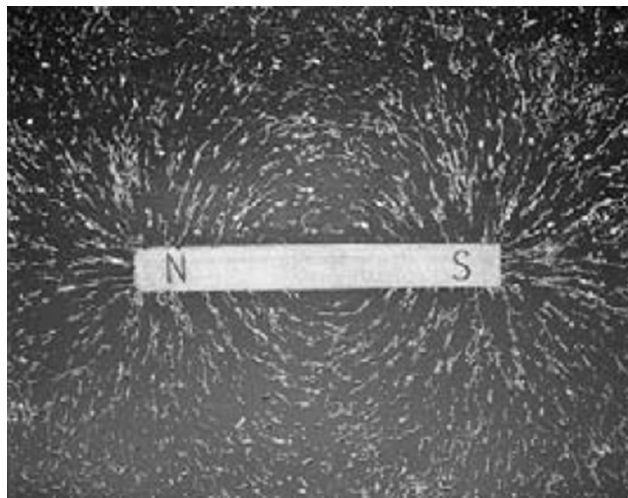
Estos polos se pueden evidenciar haciendo uso de una brújula. Si se acerca una brújula al imán, dependiendo del polo al que se acerque, ésta tendrá un comportamiento particular, es decir, si la aguja se alinea con el imán y ésta marca el norte en el interior de la brújula, entonces estaría apuntando hacia el polo sur del imán.

Campo magnético

Un imán produce un campo magnético alrededor de él, este se representa geométricamente mediante líneas imaginarias que son llamadas Líneas de Campo. La dirección que tienen estas líneas es: salen del polo norte y entran por el polo sur, como se evidencia en la figura 1.

Figura 1

Representación gráfica de las líneas de campo con limadura de hierro



Nota. Líneas de campo magnético formadas por la limadura de hierro. Fuente: Física Conceptual (Hewwit, 2007)

Cuando las líneas de campo de un imán están más próximas de una a la otra, el campo será más intenso, entonces si se está cerca de un polo, el campo será más intenso, pero si se aleja de éste, la intensidad disminuirá hasta llegar a nulo.

Materiales

- Imanes
- Limadura de hierro
- 2 hojas blanca tamaño oficio
- 3 hojas de papel milimetrado

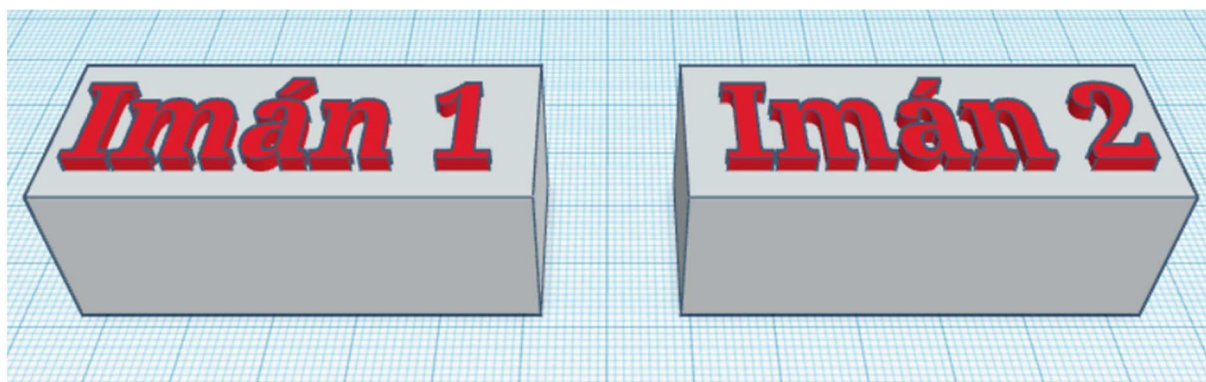
Procedimiento

Coloque un imán sobre una superficie plana, después, ponga una hoja encima del imán, luego distribuya uniformemente la limadura de hierro encima de la hoja blanca y finalmente grafique en la hoja de papel milimetrado la figura formada por la limadura.

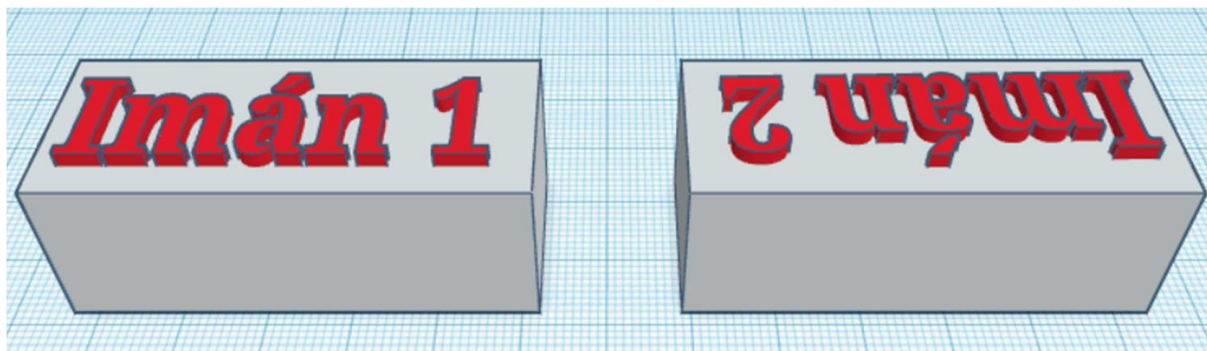
A continuación, coloque uno de los imanes al frente del otro como se observa en la figura 2, posteriormente, repita el procedimiento con la limadura de hierro y el papel milimetrado.

Figura 2

Primera configuración de imanes



Ahora, gire UNO de los imanes 180° (dejando el otro en su posición original), con el fin de cambiar la polaridad del imán, tal como se observa en la siguiente imagen. Posteriormente, repita el procedimiento con la limadura de hierro y el papel milimetrado.

Figura 3*Segunda configuración de imanes***Análisis y discusión**

Para la realización del análisis de la experiencia de laboratorio tenga en cuenta las siguientes preguntas orientadoras:

- Explique con sus palabras ¿A qué se debe el comportamiento de la limadura de hierro?
- ¿Qué figura forma la limadura de hierro en cada configuración? ¿a qué se debe la formación de dichas figuras?
- Consulte y explique ¿qué son los polos magnéticos en un imán? Teniendo en cuenta la experiencia en el laboratorio, determine ¿cuál es la diferencia entre dichos polos?
- Registre cualquier apreciación adicional que considere pertinente del laboratorio

Referencias

Hewwit, P. G. (2007). *Física Conceptual. Décima edición*. México: PEARSON EDUCACION

Anexo B

Guía No 2 “Interacción de los campos magnéticos con la materia”

Tema: Interacción de los campos magnéticos con la materia.

Objetivo: Identificar el comportamiento de diferentes materiales (atracción, repulsión, entre otros) cuando interactúan con un campo magnético.

Marco teórico

Dominios magnéticos

En los átomos de un material como el imán, su campo magnético es tan intenso que se alinean entre sí, a este grupo de átomos alineados se le llama dominio magnético. (Figura 1)

Figura 1

Dominios magnéticos de un imán



Nota. Dominios magnéticos dentro del imán, donde se evidencia que van de polo sur a polo norte.

Fuente: física conceptual (Hewwit, 2007)

Susceptibilidad magnética

La susceptibilidad magnética indica que tan susceptible es un material de magnetizarse al interactuar con un campo magnético.

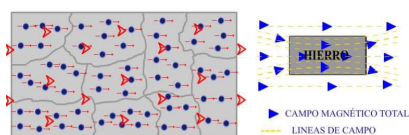
Clasificación de los materiales magnéticos

Los materiales se clasifican dependiendo cómo se comporta al interactuar con un campo magnético externo:

1. Materiales ferromagnéticos: los materiales ferromagnéticos como el hierro se atraen fuertemente al imán, su susceptibilidad magnética es positiva, lo que permite que sus dominios magnéticos se alineen con las líneas de campo. (Figura 2)

Figura 2

Interacción entre un trozo de hierro y un campo magnético.

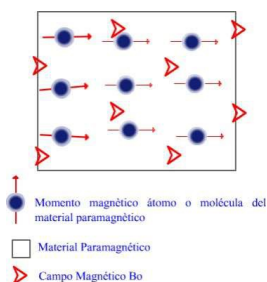


Nota. Representa como los dominios magnéticos del hierro se alinean con el campo magnético exterior aplicado. (Electrónica, 2011)

2. Materiales paramagnéticos: los materiales paramagnéticos como el aluminio se atraen levemente al imán, donde su susceptibilidad magnética es mayor que 0, por ese motivo, su magnetización es muy leve. (Figura 3)

Figura 2

Interacción entre material paramagnético y un campo magnético.

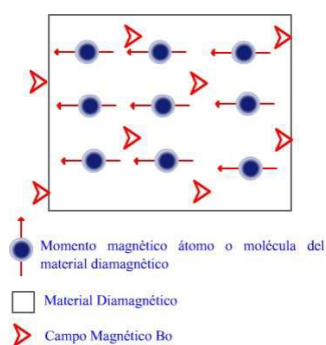


Nota. Representa como los dominios magnéticos de un material paramagnético se alinean levemente con el campo magnético exterior. (Electrónica, 2011)

3. Materiales diamagnéticos: los materiales diamagnéticos como el cobre se repelan al imán, ya que su susceptibilidad magnética es negativa, por ende, su magnetización también lo es.

Figura 3

Interacción entre material diamagnético y un campo magnético.



Nota. Representa como los dominios magnéticos de un material diamagnético se alinean en sentido contrario al campo magnético exterior. (Electrónica, 2011)

Materiales

- Imanes de neodimio (suministrado por el docente)
- Placa de cobre
- Papel aluminio
- Hierro
- Lamina de madera
- Dos palos de balsa rectangulares
- Nylon y/o hilo negro
- Transportador en forma de media circunferencia

Nota importante: Los imanes de neodimio generan un campo magnético fuerte y de gran alcance, por lo que algunos dispositivos electrónicos podrían dañarse, por este motivo, se sugiere que los estudiantes no tengan ningún dispositivo móvil cerca al área de trabajo cuando estén manipulando los imanes. Revise la siguiente ficha técnica para tener en cuenta las precauciones correspondientes.

https://www.supermagnete.es/data_sheet_R-19-09-06-N.pdf

Procedimiento

Para realizar este experimento es necesario hacer una base para suspender los materiales, se propone la siguiente configuración:

1. Corte cuatro pedazos de palo de balsa de 30 cm, dos de 15 cm y uno de 20 cm de ancho.
2. Construya dos bases triangulares utilizando los palos de 15 cm como base y con los otros palos de 30 cm completar el triángulo.
3. Ahora, una las dos bases desde la parte superior con el palo de 20 cm.
4. Para suspender los materiales, se debe amarrar un nylon o un hilo negro en la mitad del palo de 20 cm que estará situado en la parte superior de la base.
5. Coloque el transportador de media circunferencia al lado del nylon o hilo negro boca abajo, donde el nylon o hilo negro en su punto inicial marque 90° .

Ahora, suspenda la placa de cobre en el nylon o hilo negro, posteriormente, acerque el imán de neodimio a una distancia de 3cm, 6cm, 9cm, 12 cm, 15 cm y 18 cm, de igual manera, con ayuda del transportador, mida la apertura de ángulo que tuvo el nylon o el hilo negro en cada intento y regístrelo en la siguiente tabla:

Materiales	Placa de Cobre	Papel aluminio	Placa de hierro	Lamina de madera
3 cm				
6 cm				
9 cm				
12 cm				
15 cm				
18 cm				

Importante: tenga en cuenta que la medida de 90° es el punto inicial.

Análisis y discusión

Para cada material, responda las siguientes preguntas:

- ¿Qué ocurre cuando acercamos el imán al material? ¿a qué se debe este fenómeno? Explique con sus palabras
- De acuerdo con el marco teórico. ¿Cómo se podrían clasificar los materiales, teniendo en cuenta su comportamiento al interactuar con el imán? Utilice la tabla realizada anteriormente.
- Registre cualquier apreciación adicional que considere pertinente para la discusión.

Referencias

Electrónica, D. d. (11 de octubre de 2011). *Universidad de Vigo*. Obtenido de

http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm#diamagneticos

Hewwit, P. G. (2007). *Física Conceptual. Décima edición*. México: PEARSON EDUCACION

Anexo C

Guía No 3 “Fenómeno de levitación magnética”

Tema: Fenómeno de levitación magnética

Objetivo: Comprender el fenómeno de levitación magnética, a través del efecto Meissner-Ochsenfeld haciendo uso del material superconductor YBCO.

Nota importante: Este experimento debe ser realizado por el docente a cargo.

Marco teórico.

Superconductores: los superconductores son materiales metálicos que al momento de llegar a una temperatura crítica T_c su resistividad al paso de corriente se vuelve 0, a este estado se llama superconductor, hoy en día se conocen dos tipos de estos dependiendo de su T_c , unos de baja temperatura con una T_c menor de 77 K y de alta temperatura T_c mayor que esta. (Carmago, 1996).

Efecto Meissner-Ochsenfeld: un superconductor después de haber alcanzado su T_c al estar en contacto con un campo magnético, éste lo va a repeler y se comportará como un material diamagnético perfecto. (Kittel, 2003)

Materiales

- Nitrógeno líquido.
- Imanes de neodimio.
- Toallas absorbentes.
- Material YBCO.
- Recipiente cilíndrico de 1 cm de radio.

- Termo térmico para transportar el nitrógeno líquido.

Importante: se debe tener mucha precaución con el uso del nitrógeno líquido porque puede causar graves quemaduras por congelación, revise la siguiente ficha técnica antes de manipularlo.

[https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/NITROGENO+LIQUID
O_AGA.pdf/](https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/NITROGENO+LIQUID_O_AGA.pdf/)

Procedimiento

Coloque un imán circular dentro del recipiente cilíndrico que cubra toda su base y coloque la pastilla del YBCO encima del imán circular, posteriormente, vierta el nitrógeno líquido dentro del recipiente y observe.

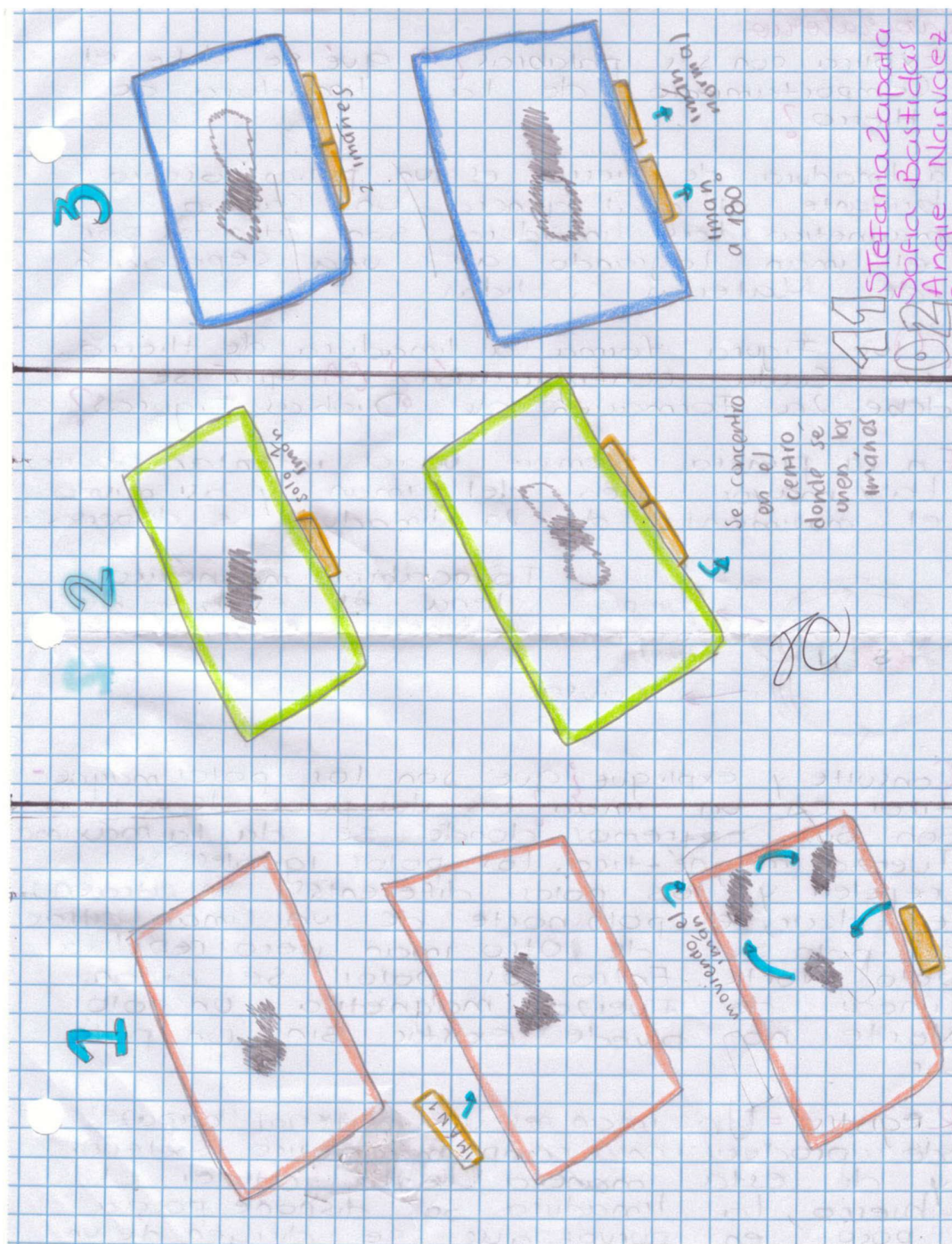
Después de realizar la experiencia, saque la pastilla del YBCO y colóquela sobre una toalla absorbente para su secado. Se recomienda hacer el secado en un horno para que la pastilla no pierda sus propiedades.

Análisis y discusión

- Explique con sus palabras ¿a qué se debe el comportamiento del material YBCO?
- ¿Qué función tiene el nitrógeno líquido? ¿qué propiedades cree que le puede dar?

Anexo D

Resultados de la guía No 1



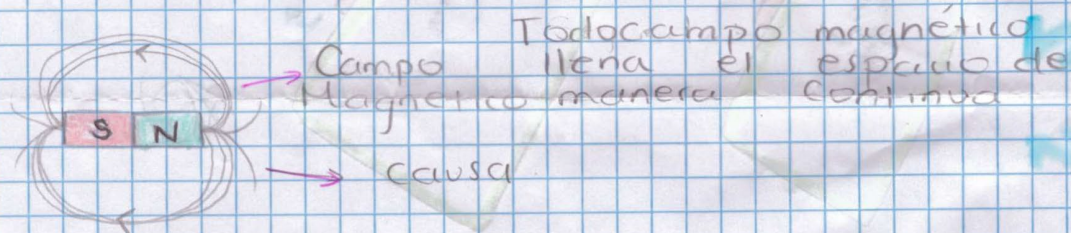
Laboratorio

Explica con sus palabras ¿A qué se debe el comportamiento de la limadura de Hierro?

La limadura de hierro es un polvo oscuro brillante el cual genera un cambio magnético, las limaduras son atraídas por el iman logrando así una separación de Materias Solidas

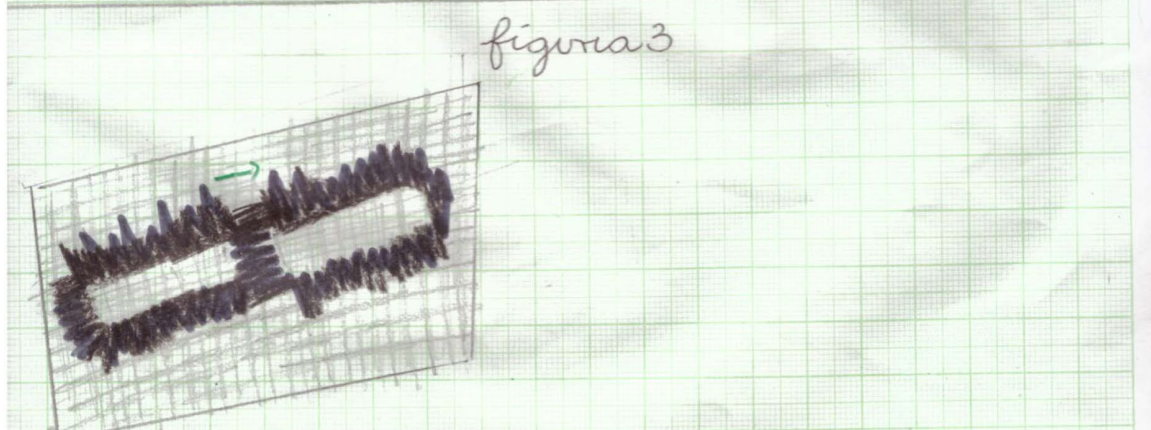
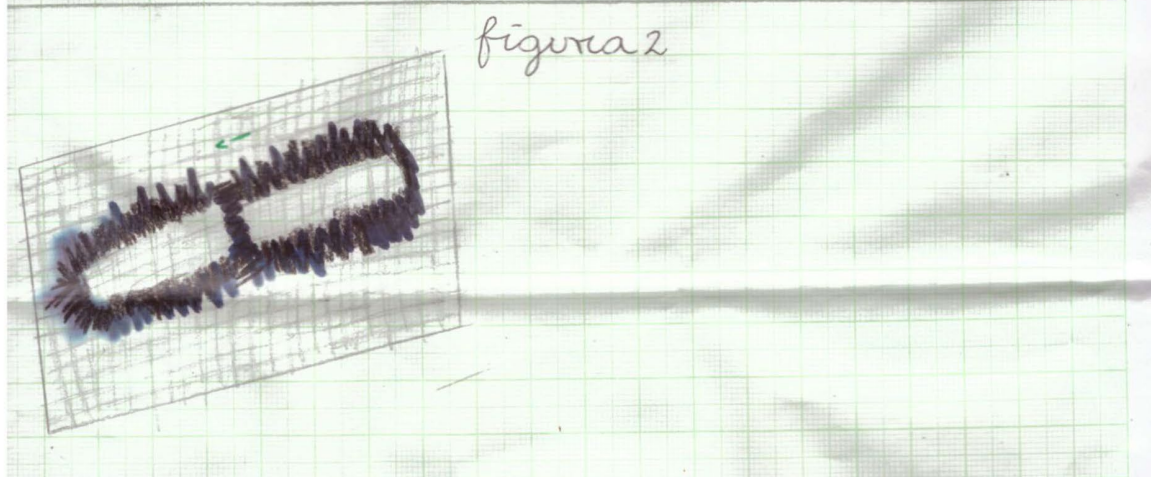
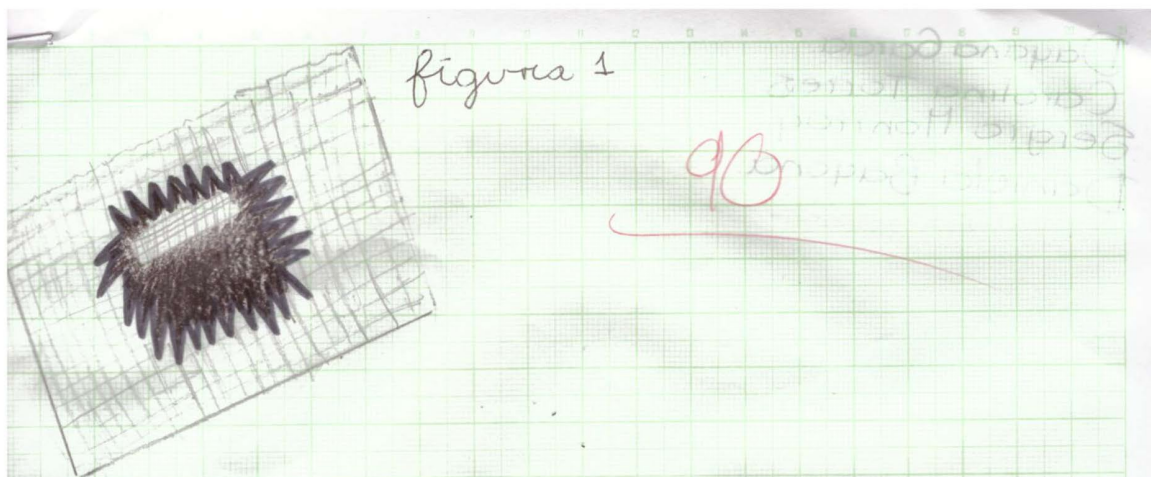
¿Qué Figura forma la limadura de Hierro en cada configuración? ¿A qué se debe la Formación de Dichas Figuras?

En la primera Siempre va a intentar abarcar la mayor area del iman y así mismo el movimiento de la limadura se dispersa



Consulte y explique ¿que son los polos magnéticos en un iman? los dos polos de un iman son sus extremos, donde se da la máxima fuerza magnética. los polos iguales se repelen y los polos diferentes se atraen. es decir, el polo norte de un iman atrae al polo sur de otro iman pero repela al polo Norte. Entre los polos se crean líneas de fuerza magnética, un polo Norte no puede existir sin un polo Sur

Registro = Un iman es un material capaz de producir un campo magnético exterior y de esta manera logra atraer el hierro, la limadura se dispone poco a poco en curvas que se dirigen de un



Laboratorio ..

1. Explique con sus palabras ¿A que se debe el comportamiento de la limadura de hierro?

Rta: el imán, al atraer al hierro a través de sus líneas de fuerza magnética, hace que la limadura de hierro se sitúe en estas líneas de acción del imán, mostrando en que dirección actúan estas fuerzas.

2. ¿Qué figura forma la limadura de hierro en cada configuración? ¿A que se debe la formación de dichas figuras?

Rta: se forman círculos y líneas; la limadura cambia con respecto a la posición de los imanes debido a que el campo magnético modifica la posición de la limadura.

3. Consulte y explique ¿Qué son los polos magnéticos en un imán? Teniendo en cuenta la experiencia en el laboratorio, determine ¿Cuál es la diferencia entre dichos polos?

Rta: se conoce como polos magnéticos a los extremos de los imanes. En estos puntos, la atracción que ejercen los imanes es más potente que el resto de su cuerpo. Dado que un polo no puede existir de forma aislada al otro, al romper un imán en dos se obtienen dos imanes, es decir, dos cuerpos que constan de un polo norte y un polo sur. Los polos opuestos se atraen y los similares se repelen.

4. Registre cualquier apreciación adicional que considere pertinente del laboratorio.

Rta: el campo magnético actúa a través de líneas, las cuales son arcos que van de un polo a otro del imán. Entre más cerca estén los arcos del imán, más fuerte será la atracción.

1. Confusión entre campo magnético y electromagnético