



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Trabajo de Tesis de Maestría:

El papel de la actividad experimental en el desarrollo de tópicos de Física Contemporánea: Estrategia de aula para la comprensión del fenómeno de la superconductividad.

Tesista: Yuly Andrea Gualtero Martínez

Director: Dr. Sergio Sciutto

Año: 2020

Agradecimientos

A mi profesor y asesor, el Doctor Sergio Sciutto, por su ayuda incondicional, por su paciencia, por estar pendiente de todos los avances de este trabajo y por creer siempre en mi. Profe, lo logramos!

Al Doctor Carlos García Canal, por su apoyo durante el curso de la maestría.

A la Doctora Norma Canosa, porque gracias a su ayuda tuve la posibilidad de cursar la Maestría en Física Contemporánea en la ciudad de la Plata-Argentina.

A la Doctora Marcela Fernández van Raap, porque su exigencia y sus excelentes clases me motivaron a ser una mejor estudiante de maestría.

A todos los profesores que me dictaron los cursos de la maestría, por enseñarme con la mejor disposición y paciencia cada uno de los tópicos de la física contemporánea.

A mi familia, porque su persistencia me motivó a terminar este trabajo de investigación.

Al Colegio Bilingüe Clermont, por darme la oportunidad de innovar mi práctica educativa y por ofrecer su apoyo financiero en la realización del experimento.

Y finalmente, quiero hacer un agradecimiento especial a mis queridos estudiantes de la promoción 2020 del Colegio Bilingüe Clermont:

Francisco Bertrán, Camila Castrillón, Isabella Colmenares, Andrés Escrucería, Manuela Franco, Sebastián Gutierrez, Alejandra Guzmán, Samuel Lancheros, Germán Martel, Juan Nuñez, Valery Osorio, Alejandra Pérez, Santiago Reyes, Andrea Rodríguez, Nicolás Rubiano, Mariana Ruiz, Daniel Zambrano, Valery Ávila, Felipe Dueñas, Simón Fúquen, Emilio Gómez, Valentina Llerena, Samuel Melendez, Alexandra Murillo, Alejandro Olmos, Ana Rodríguez, María José Rodríguez, Manuela Rojas, Valeria Rueda, María José Sánchez y Nicolás Vélez.

Porque su responsabilidad, motivación, alegría, creatividad, entrega y constancia, dieron paso al desarrollo de un trabajo enriquecedor y maravilloso, colmado de enseñanzas y aprendizajes para mi vida profesional.

Índice

RESUMEN	5
CAPÍTULO 1	8
Introducción	8
Enseñanza de la superconductividad como tópico de la Física Contemporánea	9
Antecedentes en la enseñanza de la física moderna y contemporánea en la escuela	13
Metodología	15
CAPÍTULO 2	17
Principios físicos de la superconductividad	17
CAPÍTULO 3	52
Enseñanza para la Comprensión: Aspectos teóricos.....	52
CAPÍTULO 4	58
Diseño de estrategia de aula desde el enfoque de Enseñanza.....	58
para la Comprensión.....	58
Contextualización de la población	58
Diseño del plan de acción: Plan general	58
Planes específicos	61
CAPÍTULO 5	71
Descripción de la ejecución del plan de acción y sistematización de resultados	71
CAPÍTULO 6	183
Consideraciones Finales.....	183
Impacto de la implementación para los estudiantes.....	183
Impacto de la implementación para la docente.....	186
Impacto de la estrategia para el futuro.....	187
CONCLUSIONES	190
BIBLIOGRAFÍA.....	194
ANEXOS.....	197

RESUMEN

En esta Tesis se presentan los resultados finales de una investigación realizada alrededor de la enseñanza de la superconductividad, vista como un tópico de la física contemporánea. Esta investigación se enmarca en un enfoque pedagógico conocido como Enseñanza para la Comprensión, el cual muestra la enseñanza como un método innovador que puede generar que los estudiantes flexibilicen el conocimiento y puedan dar cuenta de él de formas creativas, sin dejar de lado la formalidad de los temas estudiados.

Este trabajo se divide en seis capítulos. En ellos se presentan los fundamentos teóricos del fenómeno de superconductividad y del enfoque pedagógico, junto con la descripción de la puesta en práctica de la estrategia de aula alrededor de este tema de Física Contemporánea.

El capítulo 1 contiene una introducción a todo lo abordado en esta Tesis, en la que se incluye una contextualización de la enseñanza de la física en las instituciones educativas colombianas de educación básica y media. Además, se presentan las razones por las cuales se eligió, en primer lugar, el fenómeno de la superconductividad como tópico de la física contemporánea para abordar en el aula de clase; en segundo lugar, el enfoque de Enseñanza para la Comprensión para dar cuenta de la facilidad para estudiantes en entender los conceptos implícitos en el fenómeno estudiado; y en tercer lugar, la realización de actividades experimentales para acercar a los estudiantes a la comprensión de la superconductividad. Además, se muestran los objetivos que se plantearon al inicio de la investigación, en los cuales se hacen evidentes las metas trazadas en todo el proceso. Finalmente, se hace una descripción general de la estrategia que se llevó a cabo en la implementación y su evaluación.

En el capítulo 2, se presentan los conceptos de física que son necesarios para entender el fenómeno de la superconductividad, los que se explican en detalle acompañados por los desarrollos científicos que se dieron a partir del descubrimiento del fenómeno, de la siguiente manera:

1. Se inicia con una visión clásica electromagnética de la superconductividad en la cual se comparan los materiales superconductores con los conductores, a partir de las ecuaciones del electromagnetismo.
2. Se presenta el concepto de magnetización, el cual es fundamental para entender el comportamiento de los campos magnéticos en medios superconductores.
3. Se realiza una descripción del Efecto Meissner-Ochsenfeld que da cuenta de la exclusión del campo magnético en el interior del material superconductor. Además, se presentan las diferencias entre los superconductores tipo I y II enfatizando que en el tipo I se presenta un efecto Meissner-Ochsenfeld completo, mientras que en el tipo II se presenta un estado mixto con dos campos magnéticos críticos.

4. Se encuentra la ecuación de London, desde la cual se puede deducir el efecto Meissner para los superconductores. Adicionalmente, se presentan las longitudes características de los materiales superconductores: la longitud de penetración, la longitud de coherencia y el camino libre medio de los electrones en estado normal.
5. Se hace una descripción de la teoría BCS, que explica el acoplamiento de los electrones a través de los fonones que permite la formación de pares de Cooper. Así mismo, se resalta la relación de esta teoría con los aspectos mencionados en los numerales anteriores, enfatizando la importancia de la superconductividad en relación con las bandas de energía.
6. Se mencionan los aspectos relacionados con la cuantización de flujo y las corrientes persistentes en los superconductores, se relaciona con el cuanto de flujo magnético que origina el estado vórtice el cual caracteriza a los superconductores tipo II y con la creación de campos magnéticos intensos.
7. Se describe el efecto Josephson, que da cuenta de cómo los pares de Cooper, a partir del efecto túnel, son capaces de atravesar un material aislante delgado (llamado la unión de Josephson) de un superconductor a otro, considerando la ecuación de onda de cada uno de los pares pertenecientes a cada superconductor. Así mismo, se presenta la diferencia de la unión de Josephson cuando ésta es expuesta a un potencial determinado dando paso al efecto de corriente continua y de corriente alterna.
8. Se describen las características generales de los superconductores de alta temperatura, mencionando algunas diferencias con respecto a la teoría que describe a los superconductores convencionales tipo I y II.
9. Finalmente, se presentan algunas aplicaciones de los materiales superconductores en la actualidad, dando cuenta de la relación de un tema de física con el avance tecnológico que se ha podido desarrollar en diferentes áreas del conocimiento.

En el capítulo 3, se presentan los aspectos generales del marco pedagógico que se implementó para llevar a cabo la propuesta de investigación: el enfoque de Enseñanza para la Comprensión. En este, se realiza una descripción detallada de los pilares sobre los cuales se enmarca la propuesta, dando cuenta de las características específicas de los tópicos generativos, entendidos como los temas que se abordan en la implementación; metas de comprensión, como los alcances que se logran con la ejecución de la puesta en práctica de la propuesta; desempeños de comprensión, como las actividades puntuales que desarrollan los estudiantes sobre las cuales se evalúa la comprensión; y la evaluación diagnóstica continua, que contiene las dimensiones y los niveles de comprensión, que sirven como base para clasificar a los estudiantes, de acuerdo con la comprensión que van adquiriendo de los temas que hacen parte de la implementación en el aula. Estas dimensiones son: contenidos, que se centra en el aspecto disciplinar abordado en las clases; métodos, que da cuenta de las actividades realizadas por los estudiantes que generan comprensión; propósitos, que ponen en evidencia el sentido investigativo de las actividades puestas en práctica por los estudiantes; y finalmente la dimensión de formas de comunicación, que permite evaluar, a partir de la expresión oral y escrita, la comprensión de los estudiantes alrededor de los temas abordados.

En el capítulo 4, se presenta el diseño del plan de acción, el cual inicia con una caracterización de la población que se escogió para el desarrollo de la investigación y continúa con el diseño del plan de acción que se lleva a cabo en el aula con los estudiantes, enmarcado en el enfoque de la Enseñanza para la Comprensión. Igualmente, se describen los 10 planes de clase que se implementan con los estudiantes en el colegio.

En el capítulo 5, se describen los resultados obtenidos a partir de cada una de las clases, la sistematización de la evaluación de acuerdo con las dimensiones de la evaluación diagnóstica continua descritas en el capítulo 3 y el análisis de los niveles de comprensión de los estudiantes en cada una de las clases realizadas, teniendo en cuenta los criterios de evaluación estipulados en el capítulo 4.

En el capítulo 6, se presentan las consideraciones finales del trabajo, que incluye a modo de conclusión, el impacto de la estrategia de aula para los estudiantes que la desarrollaron, el impacto de la investigación para la docente que ejecutó la estrategia de aula y las perspectivas para el futuro que deja este trabajo de investigación, las cuales mencionan la importancia del método empleado en la estrategia, para la enseñanza de la física contemporánea y la posibilidad de compartir esta experiencia con profesores que quieran innovar en su práctica docente.

El cuerpo principal de esta Tesis finaliza con las conclusiones generales. A continuación de estas se incluyen las referencias bibliográficas empleadas en la investigación. Entre ellas se pueden encontrar los documentos de consulta para la escritura del capítulo 2 que hace alusión a la física de la superconductividad, los documentos relacionados con el enfoque de enseñanza para la comprensión y los documentos, enlaces y páginas de internet, que ayudaron en la creación de los planes de clase que se implementaron en el aula.

Por último, se presentan los anexos. Estos incluyen: las guías que se realizaron para abordar los fenómenos de electricidad y magnetismo las cuales fueron adaptadas de Reyes, C., Salcedo, A., & Carrillo, F. (2000) y que se llevaron a cabo con los estudiantes; una de las lecturas que se empleó en la clase cuyo tópico generativo hacía alusión a los pares de Cooper; tres actividades finales presentadas por tres grupos de trabajo sobre las cuales se realizó la evaluación diagnóstica continua de la última clase de implementación; y finalmente una evaluación de la estrategia que respondieron los estudiantes en relación con su percepción sobre la implementación en el aula.

CAPÍTULO 1

Introducción

La enseñanza de diferentes saberes en los niveles de educación básica y media en las instituciones educativas públicas y privadas colombianas, debe cumplir con los lineamientos curriculares establecidos por el Ministerio de Educación Nacional MEN, el cual presenta, por áreas de conocimiento, estándares básicos de competencias que buscan que los estudiantes “no se limiten a acumular conocimientos, sino que aprendan lo que es pertinente para su vida y puedan aplicarlo para solucionar problemas nuevos en situaciones cotidianas.” (MEN, 2004).

Particularmente, la enseñanza de la física, se encuentra enmarcada en los estándares del área de ciencias naturales, desde los cuales se pretende formar a los estudiantes en habilidades como: la exploración de hechos y fenómenos, el análisis de problemas, la observación, la recolección y la organización de información relevante, la utilización de diferentes métodos de análisis, la evaluación de los métodos y la socialización de los resultados. Sin embargo, al revisar dichos estándares de ciencias naturales y seleccionar aquellos que responden a la adquisición del conocimiento en el campo de la física, es posible observar que los temas que propone el MEN pertenecen a las ramas de la mecánica, termodinámica, mecánica ondulatoria y de fluidos, astronomía y electromagnetismo, vistas desde un nivel básico y elemental.

Es así, como surge la necesidad de enseñar temas de física moderna y contemporánea, que estén en concordancia con el avance tecnológico del mundo actual en el que la sociedad está inmersa. Ya que, a pesar de vivir en un mundo que funciona y que se explica con la física que se ha ido descubriendo y desarrollando desde el siglo XX, los maestros en la escuela siguen enseñando la física que se desarrolló hasta el siglo XIX, haciendo mayor énfasis en la física del siglo XVII, la cual es importante como base histórica del desarrollo científico y como base teórica para entender la física más avanzada, pero carece de conceptos que explican los artefactos, experimentos y desarrollos tecnológicos del mundo contemporáneo.

A partir de lo anterior, se busca enseñar, por medio de la creación, ejecución y evaluación de una estrategia de aula, un tema de la física contemporánea, que lleve a los estudiantes a reflexionar acerca de la importancia de entender los desarrollos científicos que se realizan en la actualidad y que tienen una relación estrecha con los avances tecnológicos que hacen que mejore la calidad de vida de las personas. Particularmente, se aborda el tema de la *superconductividad* con estudiantes de último año de secundaria, quienes en años anteriores estudiaron una amplia gama de conceptos pertenecientes a la física clásica.

Enseñanza de la superconductividad como tópico de la Física Contemporánea

Los cursos que hacen parte de la Maestría de Física Contemporánea que ofrece la Universidad Nacional de la Plata en Argentina, además de proveer una profundización de los conceptos contemporáneos de la física, sin dejar de lado los contenidos de la física clásica subyacente, proporcionan un cambio de paradigma en cuanto a la enseñanza convencional de esta ciencia, porque dejan en evidencia la importancia de entender cómo funciona el mundo que nos rodea, cuáles son las leyes que lo rigen y la responsabilidad que tenemos como maestros de física de mostrar a los estudiantes de forma rigurosa, creativa y formal, la relevancia de la física contemporánea en el desarrollo tecnológico que se presenta en la actualidad, lo cual hace que las prácticas educativas mejoren, de manera que los estudiantes logren encontrar el encanto de la física actual y a su vez sean capaces de dar cuenta de los conceptos trabajados.

Sin lugar a duda, un profesor de física es capaz de notar muchas diferencias en su práctica como docente entre el antes y el después de tomar estos 12 cursos que se ofrecen en la maestría, ya que se toma más conciencia de la enseñanza rigurosa de la física, se busca una relación estrecha entre la física y la actualidad, se mejoran las prácticas experimentales, se busca que el estudiante vaya más allá de aplicar una fórmula comprendiendo los fenómenos que están siendo estudiados y lo más importante, se resalta el hecho de entender que para enseñar un concepto, por sencillo que parezca, es importante entender la física que está detrás de él, es decir comprender todos los desarrollos necesarios que dieron paso a ese concepto en particular. Por lo cual, el nivel de comprensión de un tema puntual de física de un maestro que se dedique a enseñar esta ciencia, debe ser mucho más elevado que lo que se pretende que los estudiantes comprendan.

Teniendo en cuenta que, como se mencionó en la introducción, los estándares de educación nacional para la enseñanza de la física, no incluyen el desarrollo científico que se dio a partir del siglo XX, para poder dar cuenta del impacto que la física contemporánea tiene en estudiantes de educación media, es indispensable pertenecer a una entidad educativa, pública o privada, que proporcione cierta libertad de cátedra para poder llevar a cabo una estrategia didáctica en la cual sea posible abordar temas de física contemporánea. Para efectos de una investigación, es decir para poder implementar, evaluar y socializar dicha estrategia, se hace necesario escoger un tema que sea llamativo para los estudiantes, que no se desvincule del todo con los estándares que propone el MEN y que sea propicio para observar la relevancia de enseñar física contemporánea en un curso de secundaria. Es así como se escoge el tema de *superconductividad* para evaluar este impacto.

En ese orden de ideas, surgen dos preguntas importantes relacionadas con la pertinencia de la superconductividad para ser abordada en la implementación. La primera pregunta es: ¿La superconductividad es un tema que corresponde a la física contemporánea? Las razones que justifican la respuesta afirmativa de esta pregunta, radica en las investigaciones que se han

desarrollado desde 1911 alrededor de este fenómeno, los avances científicos que se han llevado a cabo de acuerdo con los descubrimientos que físicos y químicos han realizado en torno a las propiedades de estos materiales y finalmente a la necesidad de formular una nueva teoría que explique el comportamiento inusual de los superconductores de alta temperatura (los cuales son objeto de investigación actual), teniendo en cuenta que la teoría BCS funciona cuando las temperaturas críticas de estos materiales son cercanas al cero absoluto. A continuación, se presentan algunos puntos fundamentales que evidencian el desarrollo de la superconductividad desde inicios del siglo pasado.

El experimento que dio inicio a la superconductividad fue desarrollado por Kamerlingh Onnes en el año 1911 con la licuefacción del helio líquido. Particularmente, su estudio se centró en observar cómo variaba la resistencia eléctrica del mercurio en función de la temperatura, encontrando que a medida que disminuye la temperatura a la cual estaba sometido el mercurio, menor era su resistencia eléctrica; sin embargo, observó un comportamiento inusual, ya que a los 4,2 K la resistencia de dicho material tuvo una caída repentina hasta un valor prácticamente nulo, lo cual indicaba que conducía de forma perfecta la electricidad.

A este descubrimiento se sumaron las investigaciones realizadas por los físicos Walther Meissner y Robert Ochsenfeld quienes, hacia el año 1933, determinaron que si se aplica un campo magnético con un valor específico a dos materiales (un conductor ideal y un superconductor) y se disminuye paulatinamente la temperatura de estos, entonces, mientras ésta se halle por encima de su temperatura crítica, ambos materiales permiten la inclusión del campo magnético en su interior; pero si la temperatura cae por debajo de esa temperatura crítica, se expulsa el campo magnético del interior del material superconductor mientras que en el material conductor normal se mantiene el campo magnético en su interior. Lo anterior se conoce como el *Efecto Meissner-Ochsenfeld* y es una de las propiedades más importantes que definen el fenómeno de la superconductividad.

A partir del Efecto Meissner, es posible observar que en el interior de los materiales superconductores que se encuentran por debajo de su temperatura crítica, el campo magnético es cero. Sin embargo, al aumentar el valor de este campo aplicado, hasta llegar a un valor crítico B_c , los materiales superconductores experimentan dos tipos de transiciones al estado normal. En algunos casos la transición es repentina y abrupta, es decir pasa de no tener campo magnético en su interior a dejar pasar todo el campo aplicado. A los materiales que experimentan este tipo de transición se les conoce como superconductores de tipo I. En otros materiales, la transición para que el material deje penetrar por completo el campo aplicado se da de forma creciente desde un campo magnético B_{c1} hasta un campo B_{c2} , es decir que a partir de cierto valor inicial el campo magnético aplicado, va penetrando el material superconductor y en un valor final deja ingresar por completo el campo aplicado. Los materiales que experimentan esta transición paulatina al estado normal se conocen como superconductores de tipo II.

A la clasificación de los superconductores, teniendo en cuenta el valor de la temperatura crítica y el campo magnético crítico, se sumaron las explicaciones teóricas teniendo en cuenta la

mecánica cuántica. Los físicos John Bardeen, Leon Cooper y John Schrieffer fueron quienes explicaron las interacciones microscópicas de los materiales superconductores a partir de la *Teoría BCS*, motivo por el que recibieron el Premio Nobel de Física en 1972. La teoría BCS expone que dos electrones en el material superconductor son capaces de formar un par ligado llamado *par de Cooper*. Esos pares se comportan de forma atractiva entre ellos (a pesar de tener cargas iguales) porque interactúan a través de la red cristalina de los superconductores formada por iones.

Otro de los protagonistas que hizo parte del desarrollo de la superconductividad fue Brian Josephson, al cual se le atribuye el descubrimiento del fenómeno de tunelaje electrónico en estos materiales. Josephson menciona la aparición de un flujo de corriente entre dos materiales superconductores que se encuentran separados por una capa delgada hecha de un material aislante. Por este descubrimiento, Josephson recibe el premio Nobel de Física en el año 1973, y sus investigaciones dan paso al desarrollo de avances científicos relacionados con este fenómeno, por ejemplo, la fabricación de materiales cerámicos (que se caracterizan por no ser materiales conductores ni aislantes de la electricidad) que tuvieran las propiedades de los superconductores, pero que alcanzaran el estado superconductor a temperaturas más elevadas; y en segundo lugar, la teoría de la superconductividad en campos magnéticos intensos y la superfluidez, las cuales fueron presentadas por el físico experimental Alexei Abrikosov y los físicos teóricos Vitali Ginzburg y Anthony Leggett, quienes fueron galardonados con el premio Nobel de Física en el año 2003. Las investigaciones sobre superconductores cerámicos con elevada temperatura crítica (originalmente alrededor de los 30K, y superando en la actualidad los 130 K, y 200 K para ciertos materiales a altísimas presiones) estuvieron a cargo del físico Alex Müller y del químico Georg Bednorz, quienes recibieron el premio Nobel de Física en 1987.

Aunque la teoría BCS, explica muy bien el comportamiento de los superconductores convencionales tipo I y tipo II, presenta algunas inconsistencias con respecto a los superconductores de altas temperaturas formados por óxido de cobre y por hierro, los cuales hacen parte de las investigaciones actuales sobre este fenómeno, particularmente las que se desarrollan en el Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Por otro lado, retomando la pertinencia de la superconductividad como tópico de la investigación, se plantea la segunda pregunta: ¿Por qué se escoge el tema de la superconductividad para ser implementado en la estrategia de aula? La superconductividad tiene una ventaja por encima de otros temas de física contemporánea, que radica en la facilidad de llevar el experimento al aula de clase, lo cual cumpliría con el primer criterio que se expuso inicialmente: ser llamativo para los estudiantes. Es importante considerar, que aunque la explicación de dicho fenómeno se basa en la mecánica cuántica, es posible observar el fenómeno, interactuar con los elementos necesarios que se requieren para llevar a cabo el experimento y describir, a partir del fenómeno macroscópico, lo que ocurre a nivel atómico con el material.

Por otro lado, para poder explicar la levitación magnética, el diamagnetismo perfecto, la resistencia nula y la conductividad infinita de los materiales a bajas temperaturas, también es importante retomar ciertos temas de la física clásica que son subyacentes a las teorías más actuales, particularmente aquellos que pertenecen a la rama del electromagnetismo. Esto hace que la superconductividad cumpla con el segundo criterio expuesto: no estar desvinculado de los estándares propuestos por el Ministerio de Educación Nacional Colombiano, entre los cuales se encuentran:

- ❖ Verifico la acción de fuerzas electrostáticas y magnéticas y explico su relación con la carga eléctrica.
- ❖ Establezco relaciones entre fuerzas macroscópicas y fuerzas electrostáticas.
- ❖ Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético.
- ❖ Relaciono diferencia de potencial y corriente con los diferentes elementos de un circuito eléctrico complejo y para todo el sistema.

Como se puede observar, dichos estándares apuntan a la comprensión de temas que pertenecen al electromagnetismo, sin los cuales la explicación que dan los estudiantes alrededor del fenómeno de la superconductividad quedaría incompleta.

Finalmente, el tercer criterio menciona la relevancia del tema para ser enseñado en la escuela media como tópico de física contemporánea, el cual se puede cumplir siempre y cuando se diseñe un método apropiado de enseñanza que incluya un análisis adecuado de los resultados obtenidos por parte de los estudiantes, para que se pueda observar la pertinencia de abordar temas de física más avanzada en un curso de secundaria. Razón por la cual, es importante mencionar el por qué se elige un enfoque determinado de enseñanza para abordar una estrategia de aula que dé paso a la enseñanza de la superconductividad.

En ese orden de ideas, la Enseñanza para la Comprensión (EpC), es un enfoque pedagógico que propone que los estudiantes sean los protagonistas en la educación, de manera que todas las actividades realizadas se centren en lograr que ellos aprendan significativamente los conceptos propuestos. A diferencia de otras perspectivas pedagógicas, el enfoque de la EpC, justifica que el objetivo principal de las actividades que se lleven a cabo en el aula, deben proveer a los estudiantes de habilidades que garanticen que realmente alcanzan niveles de comprensión superiores en los temas abordados. La comprensión se define como la flexibilidad del conocimiento que deja en evidencia que los estudiantes entienden, argumenten, discuten y proponen acciones que reflejan que realmente las temáticas son significativas para ellos.

Una ventaja que tiene la EpC, sobre otros modelos pedagógicos es que ofrece una estructura para la organización de las clases que se llevan a cabo con los estudiantes, donde el maestro puede establecer los objetivos de la clase, crear las actividades de la clase y a su vez, de acuerdo con los resultados obtenidos de los estudiantes, hacer la evaluación de la clase a partir de unos

criterios de evaluación que trascienden el plano conceptual, dando importancia a las habilidades adquiridas en función del conocimiento recibido.

La enseñanza para la comprensión ofrece cuatro pilares fundamentales, que precisamente dan al maestro una guía para planear, tomando como referencia lo que quiere que sus estudiantes aprendan. El primero de ellos es tópico generativo, que hace referencia al concepto que se pretende enseñar a los estudiantes. Este tópico debe ser llamativo para ellos, para que se logre captar su atención y realicen las actividades no en función de una calificación sino en función del interés en aprender más acerca del tema. Además, se tienen las metas de comprensión, las cuales se crean para la implementación de la estrategia de forma general y para cada una de las actividades que se realicen en el aula. Estas metas de comprensión de las clases deben responder al logro puntual que se pretende que los estudiantes alcancen, también debe apuntar a cumplir la meta de comprensión abarcadora, la cual pretende que los estudiantes comprendan el fenómeno de la superconductividad.

Otro de los pilares, hace alusión a la evaluación diagnóstica continua, que se encarga de clasificar a los estudiantes desde cuatro dimensiones diferentes: contenidos, métodos, propósitos y formas de comunicación. Finalmente, el pilar que corresponde a cada una de las actividades que se plantean para lograr alcanzar la meta de comprensión, se conoce como desempeños de comprensión, los cuales deben ser claros y explícitos para los estudiantes.

A partir de los desempeños de comprensión, entra a jugar un papel fundamental la realización de prácticas experimentales, ya que los profesores, han considerado el trabajo práctico como una estrategia educativa útil para conseguir casi cualquier objetivo educativo planteado, pero no se clarifica lo que se espera de los estudiantes al utilizarlo en el aula (Barberá & Valdés, 1996), razón por la cual es fundamental realizar experimentos que permitan que los estudiantes hagan una construcción del conocimiento. Por otro lado, la experimentación permite que los alumnos puedan comprobar las teorías o conceptos que se trabajan en la clase de física, abriendo la posibilidad de mostrar aplicaciones tangibles a los estudiantes cuyo objetivo principal sea despertar su curiosidad e interés.

Antecedentes en la enseñanza de la física moderna y contemporánea en la escuela

Sin lugar a duda, muchos profesores se han interesado por la enseñanza de la física moderna y contemporánea a lo largo de los últimos años. Razón por la cual, se realizó una búsqueda de estos trabajos desde los cuales se pudieran extraer algunas ideas para llevar a cabo la implementación en el aula con la población escogida. Algunos de estos trabajos se presentan a continuación:

- ❖ (Gil, Senent, & Solbes, 1986) Muestran en el artículo *Análisis Crítico de la Introducción de la Física Moderna en la Enseñanza Media*, publicado en la Revista de

Enseñanza de la Física, la importancia de un cambio en la forma en que se enseñan habitualmente los conceptos de Física Moderna, teniendo en cuenta que los estudiantes no comprenden correctamente los conceptos que enseña el docente, debido a la carencia de preconceptos y a la falta de explicación de las razones por las cuales hay una ruptura entre la física clásica y la física moderna. A partir de este trabajo, se decide abordar con los estudiantes temas que hagan parte de la física clásica y de la física moderna, considerando la importancia de los preconceptos para la comprensión de la superconductividad.

- ❖ (De la Fuente, y otros, 2003) Realizan un estudio en el cual indagan las ideas de estudiantes entre 13 y 14 años con el propósito de conocer lo que piensan sobre la estructura atómica, teniendo en cuenta que habían recibido oportunamente instrucción acerca del átomo y sus constituyentes. En las conclusiones, muestran que los estudiantes no poseen una estructura cognitiva en la cual tengan sentido los conceptos de la teoría atómica, y sus respuestas confirman que han aprendido memorísticamente y que probablemente, por tratarse de aspectos muy alejados de los directamente perceptibles por sus sentidos, cuyas dimensiones no les son familiares, los estudiantes no lo entienden. Desde este trabajo, se pensó en la necesidad de que en la implementación sobre la enseñanza de la superconductividad, se incluyeran experiencias significativas, que permitieran que los estudiantes no repitieran la información presentada sino que realmente pudieran dar cuenta del conocimiento alrededor de este fenómeno.

- ❖ (Ostermann & Moreira, 2000) En este documento los autores presentan la descripción de su experiencia en la enseñanza de dos temas de física contemporánea –partículas elementales y superconductividad– a nivel de secundaria. Dentro de los aspectos que relatan, se resalta que la experiencia se desarrolló en dos años, incluida la selección de temas, la preparación de materiales didácticos, la capacitación de maestros y la implementación en el aula. Sin lugar a duda, este artículo puede ser considerado el más importante como antecedente de la implementación, ya que narra el proceso que se llevó a cabo en el diseño y ejecución de la experiencia, además de justificar la inclusión de la superconductividad sin alteraciones del currículo que ya está establecido para la enseñanza de la física en Brasil. También justifica el tópico de la superconductividad como un tema fundamental de la física contemporánea que puede enseñarse a estudiantes de educación media.

Objetivo general de la investigación

- ❖ Analizar la incidencia de una estrategia de aula, creada bajo el marco de la física contemporánea, en el nivel de comprensión de los estudiantes de educación secundaria sobre el fenómeno de la superconductividad y su conexión con el desarrollo tecnológico en el mundo actual.

Objetivos específicos

- ❖ Diseñar la estrategia de aula en la cual se hagan explícitas las actividades experimentales relacionadas con el fenómeno de la superconductividad, que se llevarán a cabo con los estudiantes.
- ❖ Implementar la estrategia de aula con un grupo de estudiantes pertenecientes a educación secundaria de la ciudad de Bogotá - Colombia.
- ❖ Sistematizar los resultados del diseño e implementación de la estrategia de aula para dar cuenta del nivel de comprensión de los estudiantes acerca del fenómeno de la superconductividad y su correlato con la Física Contemporánea.
- ❖ Evaluar el impacto de la estrategia de aula con los estudiantes que hagan parte de la implementación de la ruta de aprendizaje.

Metodología

Para llevar a cabo la incursión en el aula se hace necesario plantear una metodología de investigación con la cual se pueda alcanzar el objetivo general, es por esto que se plantean cuatro etapas importantes donde se ejecuta y analiza la estrategia de aula, estas etapas son: Diseño, Ejecución, Sistematización y Evaluación. Las cuales se abordan de la siguiente manera:

- ❖ **Diseño:** Para esta etapa es importante tener en cuenta un modelo pedagógico para realizar la incursión en el aula, con el objetivo de contar con los mecanismos necesarios para dar cuenta de la comprensión de los estudiantes acerca del fenómeno de la superconductividad. Teniendo en cuenta esto, se considera en la estrategia de aula el modelo de Enseñanza para la Comprensión (EpC) el cual es presentado a los estudiantes a partir de sus cuatro pilares fundamentales: los tópicos generativos, las metas de comprensión, los desempeños de comprensión y la evaluación diagnóstica continua. Es importante considerar, que los estudiantes no cuentan con conocimientos formales en mecánica cuántica, por lo cual se iniciará la implementación del tema de superconductividad partiendo de los conocimientos sobre electromagnetismo, con la

implementación de experimentos que les permitan identificar los diferentes conceptos que están involucrados, por ejemplo: corriente eléctrica, resistencia eléctrica, resistividad, variación de la resistividad con la temperatura, campos magnéticos, efecto Meissner-Ochsenfeld; y se finalizará con la relación entre el fenómeno de la superconductividad con sus conocimientos sobre estructura atómica de los materiales, para explicar cualitativamente a qué se debe la formación de los pares de Cooper en la red cristalina de los materiales superconductores. Con la implementación de experimentos y actividades relacionadas con dichos conceptos, se pretende que los estudiantes comprendan que el fenómeno de la superconductividad involucra: explicaciones cualitativas desde algunos conceptos que se estudian desde la mecánica cuántica, características específicas de los materiales, exclusión del campo magnético en el interior de estos, clasificación de materiales superconductores, aplicación de estos materiales en el mundo contemporáneo y explicación física de los conceptos que subyacen el fenómeno.

- ❖ Ejecución: En esta etapa se implementa la estrategia en el aula de clase con estudiantes de último año de un colegio de la ciudad de Bogotá-Colombia. Desde la cual se llevan a cabo actividades experimentales, que orienten el proceso de aprendizaje de los estudiantes sobre el fenómeno de la superconductividad.
- ❖ Sistematización: En esta etapa se lleva a cabo la revisión que responde a la pregunta ¿Qué saben los estudiantes acerca de la superconductividad? Para esto se diseña, en la primera etapa, una rúbrica de evaluación (que está enmarcada en el modelo pedagógico planteado) con la cual se pueda distinguir el nivel de comprensión de cada uno de los estudiantes en relación con el fenómeno trabajado.
- ❖ Evaluación: En esta etapa los estudiantes dan su opinión en cuanto a la efectividad de las actividades que se llevaron a cabo para alcanzar la comprensión del fenómeno de la superconductividad. Además, se presenta la evaluación de la estrategia a partir de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2

Principios físicos de la superconductividad

A inicios del siglo XX las investigaciones alrededor de las propiedades físicas de los materiales y de las bajas temperaturas, dieron paso a lo que hoy se conoce como el fenómeno de la *Superconductividad*, desde el cual se ha logrado el avance tecnológico de diferentes campos del conocimiento, entre los cuales se encuentra la medicina, la ingeniería, el transporte, entre otros. La tecnología de superconductores se ha convertido además en un elemento central en diversas áreas de la Física Experimental, como por ejemplo la de altas energías en donde los grandes aceleradores de partículas como el Large Hadron Collider (LHC) del CERN (Ginebra, Suiza) no serían viables sin la utilización de bobinas superconductoras para generar los intensos campos magnéticos requeridos para su funcionamiento.

A la luz del conocimiento actual, la superconductividad es una manifestación de un nuevo estado de la materia: el estado superconductor (Vucetich, 1983a), el cual es posible observar en la cotidianidad mediante aplicaciones tecnológicas y en el laboratorio con materiales específicos que muestran fenómenos como la levitación magnética de imanes sobre materiales enfriados a ciertas temperaturas.

Inicialmente, Heike Kamerlingh Onnes, tras una investigación alrededor de las propiedades de la materia ante la presencia de bajas temperaturas realizada en la Universidad de Leyden, en Holanda, recibió en el año 1913 el premio Nobel de Física. Esta investigación, además de lograr la producción del helio líquido, dio paso al desarrollo de la *superconductividad*. La figura 2.1 muestra la gráfica de la resistencia eléctrica en función de la temperatura, en la cual se evidencia la caída de la resistencia del *mercurio* cuando su temperatura cae por debajo de un cierto valor que es de apenas unos pocos grados por encima del cero absoluto.

La caída a cero de la resistencia eléctrica para algunos materiales y aleaciones cuando éstos son enfriados a una temperatura baja, la cual se conoce como *Temperatura crítica*, es una de las principales características de la superconductividad. Como su nombre lo sugiere, este fenómeno hace referencia a una conductividad infinita de algunos materiales que son sometidos a ciertas condiciones físicas, es decir que con una resistividad eléctrica igual a cero $\rho = 0$ (en un cable superconductor, por ejemplo) y teniendo en cuenta que la conductividad eléctrica es la inversa de la resistividad, $\sigma = 1/\rho$, es posible observar que ésta última tiende a infinito. Lo que da paso a una manifestación física conocida como *corrientes persistentes*, las que fluyen sin atenuación en anillos superconductores durante más de un año, dando paso a una redistribución de flujo magnético en el material (Charles Kittel, 1993a) de modo que el material superconductor se comporta como una sustancia *diamagnética perfecta*. Como consecuencia, si se coloca un superconductor bajo la acción de un campo magnético externo, se podrá observar que las líneas del campo magnético son expulsadas del interior del superconductor, propiedad conocida como *Efecto Meissner-Ochsenfeld*.

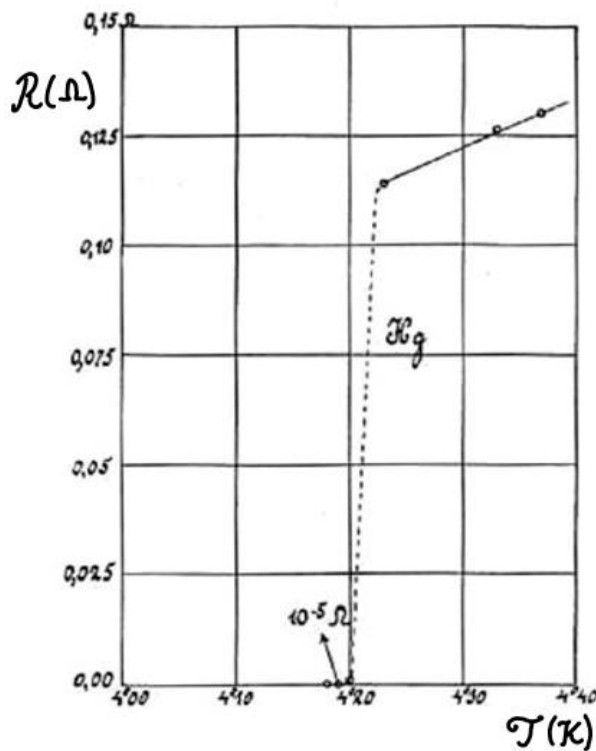


Figura 2.1. Gráfico realizado por Heike Kamerlingh Onnes mostrando la variación de la resistencia en función de la temperatura del mercurio. Tomado del libro de Charles Kittel (1993b): Introducción a la física del estado sólido.

Para entender el fenómeno de la superconductividad como un nuevo estado de la materia que se manifiesta bajo las condiciones físicas descritas anteriormente, es importante entender los principios físicos (de electromagnetismo y cuántica) que subyacen este fenómeno y dar cuenta de las explicaciones clásicas y modernas que constituyen una teoría que explica un fenómeno macroscópico como la superconductividad.

1. **La superconductividad desde el electromagnetismo:** En la figura 2.2 se puede observar el cambio de las líneas de campo magnético antes y después que un material superconductor alcanza su temperatura crítica, por lo cual se puede decir que cuando la temperatura a la que es sometido el material es mayor a la temperatura en la cual cambia su estado de normal a superconductor, la resistencia eléctrica en el material es diferente de cero.

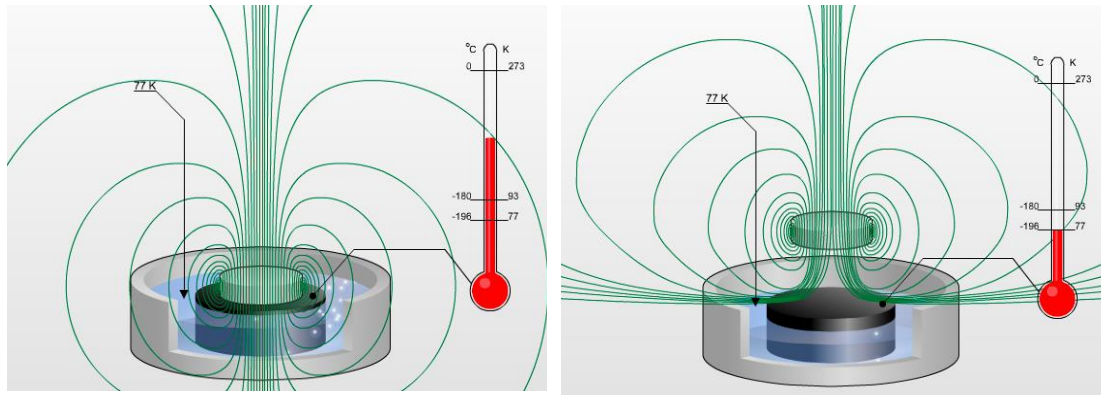


Figura 2.2. Cambio de la densidad de flujo campo magnético de un imán sobre un material en estado normal y en estado superconductor. Imágenes tomadas y adaptadas de Supercomet (2019a)

La densidad de flujo magnético, el potencial vectorial, la corriente y la resistencia eléctrica, son conceptos que se estudian desde el electromagnetismo y que pueden emplearse, a partir de las leyes de Maxwell, para dar cuenta del comportamiento del campo magnético en diferentes configuraciones de superconductores. Estas configuraciones pueden variar desde cables coaxiales hasta esferas superconductoras, sobre las cuales se realizan unas especificaciones importantes para poder dar cuenta de sus características electromagnéticas.

Un superconductor se caracteriza por ser un material diamagnético perfecto, ya que al aplicar una densidad de flujo magnético B_a al superconductor, el valor de esta densidad dentro del superconductor B_{sc} se hace cero $B_{sc} = 0$, cuando éste se encuentra en el cambio de fase hacia el estado superconductor, es decir cuando cae hasta su temperatura crítica. Este valor de cero en el interior del material se genera además por el paso de una *supercorriente* que fluye en la superficie como puede observarse en la figura 2.3.

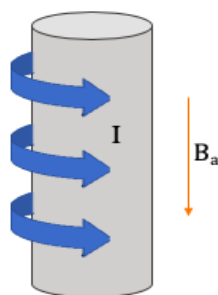


Figura 2.3. Sobre la superficie del cilindro superconductor, se genera una corriente (líneas azules) cuyo campo magnético asociado, contrarresta el campo magnético aplicado externamente sobre el material (línea naranja).

Al estudiar los superconductores desde el electromagnetismo a partir de las propiedades magnéticas, es importante considerar los siguientes pasos para dar cuenta de las corrientes y campos presentes en estos materiales y sus alrededores:

- Establecer las coordenadas desde las cuales se analiza el material superconductor. Es decir, escoger coordenadas cartesianas, cilíndricas o esféricas de acuerdo a la configuración o forma del superconductor.
- Determinar si existen corrientes aplicadas en el superconductor y el lugar donde fluye la corriente generada por el estado superconductor (superficie).
- Considerar un contorno sobre el cual aplicar el teorema de Stokes y así a partir de la Ley de Ampère, encontrar el valor de la densidad de flujo del campo magnético en el interior y exterior del superconductor.
- Obtener el valor del vector potencial A, a partir de los resultados de B en el interior y exterior del superconductor.

Para explicar cada uno de los pasos mencionados anteriormente, se toma uno de los ejemplos presentados por Matsushita en su libro *Electricity and Magnetism: New Formulation by Introduction of Superconductivity* (2004a). Inicialmente, se considera un superconductor cilíndrico sobre el cual se está aplicando una corriente I y una densidad de flujo magnético B_a como el que se muestra en la figura 2.4.

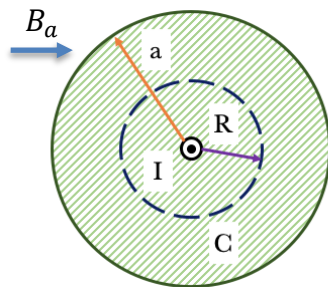


Figura 2.4. Sección transversal de un superconductor cilíndrico, donde se muestra un contorno C donde $R < a$. Ejemplo tomado y adaptado de Matsushita (2004b).

- Teniendo en cuenta que se está analizando un cilindro superconductor se hace conveniente determinar coordenadas cilíndricas para solucionar el problema. Para este caso en particular, se considera que el eje central del superconductor corresponda al eje z.
- Existe una corriente I que se aplica a lo largo del superconductor cilíndrico. Además, como se mencionó anteriormente la corriente sólo fluye en la superficie del superconductor ($2\pi a$) de forma uniforme, lo cual indica que la densidad de corriente superficial es $J = I/2\pi a$.
- Como se observa en la figura 2.4, se define un contorno C de radio R, sobre el cual se aplica la integral cerrada de la densidad de flujo magnético. Es importante tener en cuenta que de acuerdo con la configuración del problema, B_a es paralelo al contorno C. Una vez realizadas dichas consideraciones se aplica la Ley de Ampère

para encontrar la densidad de flujo magnético dentro y fuera del superconductor así:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \int_S \vec{j} \cdot d\vec{s} \quad (1)$$

$$2\pi R B(R) = \mu_0 I \quad (2)$$

El valor de $\mu_0 I$ sugiere que la corriente se concentra a lo largo del eje central, que corresponde al eje z, como se definió en el punto a). De la ecuación 2, se obtiene el valor de la densidad de flujo magnético para una distancia $R > a$ y para el interior del superconductor así:

$$B(R) = \mu_0 I / 2\pi R \quad \text{para } R > a \quad (3)$$

$$B(R) = 0 \quad \text{para } 0 \leq R < a \quad (4)$$

Como se observa en la ecuación (4), la densidad de flujo magnético dentro del superconductor es igual a cero por la corriente de apantallamiento en la superficie, lo que se puede interpretar como el *diamagnetismo perfecto*.

- d) Teniendo en cuenta que la corriente sólo fluye a lo largo del eje z, el vector potencial sólo tiene componente en el eje z, esto es A_z . Además como se consideró anteriormente B sólo tiene la componente azimutal, de manera que:

$$B_\varphi = \frac{\partial A_z}{\partial R} \Rightarrow A_z = - \int_{R_0}^R B_\varphi dR \quad (5)$$

R_0 es la distancia desde el eje central al punto de referencia donde a $A_z = 0$. Integrando la componente azimutal de la densidad de flujo magnético se obtiene:

$$A_z(R) = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \log \frac{R_0}{R} \quad \text{para } R > a \quad (6)$$

$$A_z(R) = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \log \frac{R_0}{a} \quad \text{para } 0 \leq R < a \quad (7)$$

A partir de las ecuaciones (3), (4), (6) y (7), se puede observar que cuando la densidad de flujo magnético B_φ es igual a cero (en el superconductor) el potencial vectorial tiene un valor constante (ecuación 7) mientras que para los valores de $B_\varphi \neq 0$, es decir cuando $R > a$, el potencial vectorial depende de R en forma logarítmica.

Como se puede observar, aplicando algunas de las leyes electromagnéticas de Maxwell, es posible dar cuenta del valor de la densidad de flujo magnético y el potencial vectorial para una configuración específica de un material superconductor.

2. **Magnetización:** Para entender este concepto se puede recurrir, como en el punto anterior, a realizar un análisis desde el electromagnetismo, y qué mejor manera que empleando la analogía que hace Matsushita (2004c) entre una esfera conductora y una esfera superconductora. Para esto, inicialmente se considera el gráfico de la figura 2.5 en el cual se observa un superconductor esférico de radio a , sobre el cual se está aplicando una densidad de flujo magnético B_a paralelo al eje z .

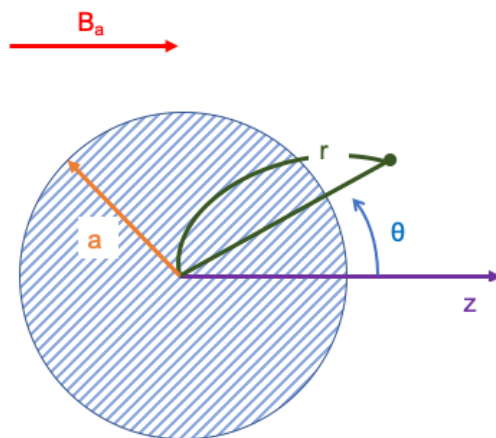


Figura 2.5. Esfera superconductora. Gráfico tomado y adaptado de Matsushita (2004d)

Si en lugar de tener una esfera superconductora, se tiene una esfera conductora sobre la cual se aplica un campo eléctrico, sobre la superficie de ésta aparece una carga eléctrica que cancela el campo eléctrico en el conductor, lo cual se conoce como la inducción electrostática. Antes de aplicar un campo eléctrico E_0 las cargas positivas y negativas se distribuyen uniformemente en el conductor esférico. Como las cargas positivas van en la dirección del campo eléctrico y las cargas negativas en dirección opuesta, entonces se da una distribución de carga que mantiene al conductor en el interior neutro, pero con exceso de carga positiva a la derecha y exceso de carga negativa a la izquierda, como se muestra en la figura 2.6a.

La Ley de Gauss establece que el flujo eléctrico neto a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga neta encerrada por la superficie dividida entre ϵ_0 (Serway, 2002), por lo cual se puede decir que el campo eléctrico producido por la carga positiva es el mismo que se produce cuando toda la carga positiva (o negativa) se concentra en el centro. Esto podría dar paso a la aparición de un dipolo eléctrico como se observa en la figura 2.6b.

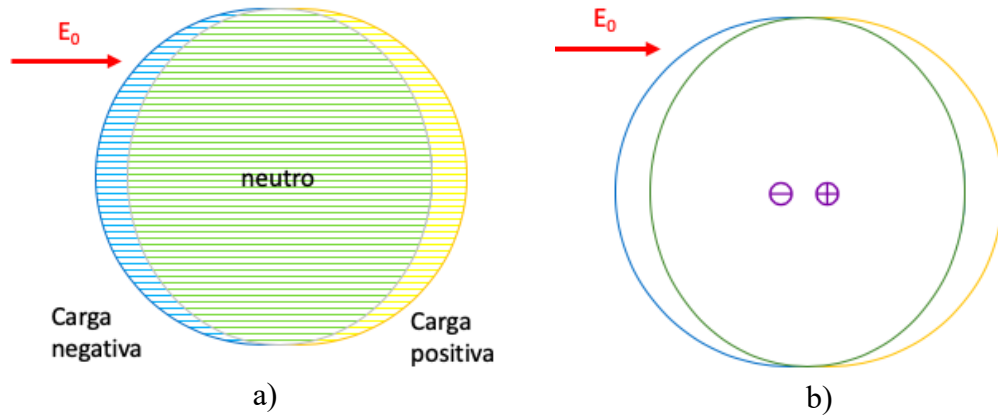


Figura 2.6. a) esfera conductora en la cual se evidencia el desplazamiento de las cargas positivas y negativas debido al campo eléctrico aplicado. b) formación de un dipolo eléctrico en el centro del conductor. Imágenes tomadas y adaptadas de Matsushita (2004e)

De tal modo que el potencial eléctrico ϕ fuera del conductor se compone del potencial debido al campo eléctrico ϕ_E y del potencial debido al dipolo que se encuentra en el centro del conductor esférico ϕ_d . El valor de cada uno de estos potenciales eléctricos corresponden a $-E_0 r \cos\theta$ y $p \cos\theta / 4\pi\epsilon_0 r^2$ que al sumarlos dan como resultado

$$\phi = \cos\theta \left(-E_0 r + \frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \quad (8)$$

Donde $p = 4\pi\epsilon_0 a^3 E_0$ dando como resultado un potencial eléctrico igual a

$$\phi = E_0 \cos\theta \left(r + \frac{a^3}{r^2} \right) \quad (9)$$

Teniendo en cuenta las coordenadas polares, se puede encontrar la componente en r , θ y ϕ del campo eléctrico aplicando que $E = -\nabla\phi$, desde las cuales se puede concluir que el momento dipolar eléctrico del conductor esférico es $p = 3\epsilon_0 E_0$.

Ahora bien, si se cambia el campo eléctrico por un campo magnético aplicado y se considera dentro de la esfera un *dipolo de cargas magnéticas* en el centro, podría realizarse un procedimiento similar para encontrar el momento del dipolo magnético considerando $B = -\nabla\phi_m$ y encontrando que el momento es igual a $m = q_m d$, siendo d la distancia de separación de las “cargas magnéticas”. Como se menciona en el libro de texto de Matsushita (2004f) es importante tener en cuenta que *nunca se ha observado una carga magnética*, pero que la comparación entre las cargas “virtuales” magnéticas y las eléctricas, son un buen referente para establecer el momento dipolar magnético en los superconductores, que a su vez contribuyen a la comprensión del concepto de la magnetización.

Volviendo a la figura 2.5 y retomando la analogía que se presentó anteriormente con la esfera conductora, se concluye que *la corriente virtual cerrada en el centro, fluye a lo largo de la dirección azimutal, de manera similar a la corriente real en la superficie* (Matsushita, 2004g), por lo cual se retoma el punto d) del apartado anterior desde el cual se podría afirmar que fuera de la esfera superconductora el potencial vectorial sólo tiene componente azimutal que corresponde a la dirección de la corriente. De tal modo que esta componente azimutal del vector potencial A , es causado por la densidad de flujo magnético B_a aplicado en dirección paralela al eje z y al momento magnético m generado por el “dipolo magnético” del interior del superconductor.

Para que el vector potencial sea cero en la superficie del superconductor el momento magnético debe ser $m = -2\pi a^3 B_0 / \mu_0$, por lo cual se tendría de manera análoga a la ecuación (9) que el vector potencial es:

$$A_\phi = \frac{B_0}{2} \sin\theta \left(r - \frac{a^3}{r^2} \right) \quad (10)$$

La ecuación (10) sugiere que la densidad de flujo magnético fuera del superconductor en la dirección azimutal es cero. Respectivamente las componentes con respecto al eje radial y al cenital de la densidad del flujo magnético son:

$$B_r = B_0 \cos\theta \left(1 - \frac{a^3}{r^3} \right) \quad (11)$$

$$B_\theta = -B_0 \sin\theta \left(1 + \frac{a^3}{2r^3} \right) \quad (12)$$

Finalmente al tener el momento magnético m dividido entre la unidad de volumen esférica, se encuentra:

$$M = \frac{m}{V} = -\frac{2\pi a^3 B_0}{4\pi r^3 \mu_0 / 3} = -\frac{3B_0}{2\mu_0} \quad (13)$$

La ecuación (13) hace referencia al concepto de *Magnetización* que justamente indica el momento magnético por unidad de volumen.

Aunque todos los conceptos ya mencionados en estos apartados son importantes y relevantes para entender el fenómeno de la superconductividad, sin la cuántica no se podría entender completamente lo que ocurre en los materiales superconductores cuando presentan este cambio de fase, por tal razón a continuación se abordará la explicación del fenómeno basándose en conceptos estudiados desde la mecánica cuántica.

3. **Efecto Meissner-Ochsenfeld y tipos de superconductores:** Uno de los aspectos que más llaman la atención en la observación del fenómeno de la superconductividad es, sin lugar a duda, la levitación magnética presente entre un imán y un material superconductor como se muestra en la figura 2.7. Esta levitación magnética depende del tipo de superconductor que se esté empleando para la realización del experimento: Si el superconductor es de *tipo I*, el fenómeno responsable de esta levitación se conoce como el *Efecto Meissner-Ochsenfeld*, el cual se discutirá en este punto; mientras que si el conductor es de *tipo II* entonces, además del efecto Meissner-Ochsenfeld, se hace evidente un estado mixto, que más adelante se explicará como el estado *vórtice*.



Figura 2.7. Fotografía tomada en la implementación realizada con los estudiantes de último año del Colegio Clermont.

En el año 1933 los físicos Walther Meissner y Robert Ochsenfeld encontraron que para un campo magnético bajo, es decir con una intensidad menor al valor del campo magnético crítico, aplicado sobre un superconductor, el campo magnético en el interior del material superconductor es igual a cero (Magaña, 2012a). Este descubrimiento, agregaba al conocimiento acerca de los superconductores la presencia de campos magnéticos críticos en el material cuando éste no presentaba resistividad eléctrica y además estaba en presencia de una temperatura crítica. La figura 2.8 muestra el cambio entre un material superconductor que no ha caído hasta cierto valor por debajo de la temperatura crítica y uno que ya se encuentra en el estado superconductor. Es posible observar que la densidad de flujo magnético originalmente presente es expulsada de la muestra.

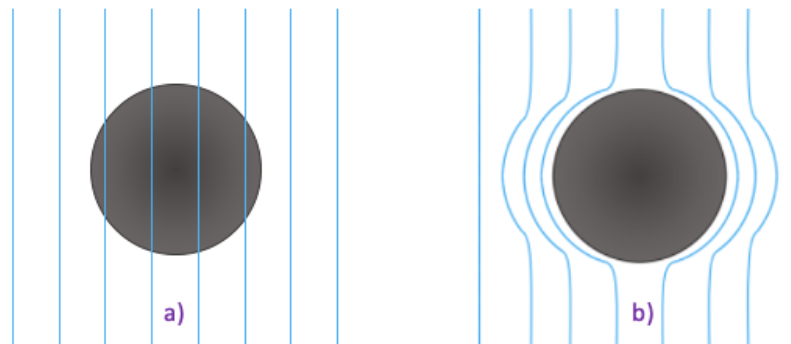


Figura 2.8. Flujo magnético atravesando un material superconductor cuando se encuentra en a) el estado normal y en b) el estado superconductor. Imagen tomada y adaptada de Kittel (1993c)

La razón por la cual el flujo magnético es igual a cero dentro del superconductor es por la inducción de una *corriente de apantallamiento* en la superficie del material.

Establecer la supercorriente le “cuesta” al superconductor una cantidad de energía por unidad de volumen igual a $B_a^2/2\mu_0$ donde μ_0 es la permeabilidad magnética en el vacío (Tipler y Llewellyn, 2008a). Por lo tanto se puede decir que si $B_a > B_c$, siendo B_c el campo magnético crítico, entonces no habría la energía suficiente para establecer la supercorriente y el material superconductor estaría en la fase del estado normal.

Es importante mencionar que sólo los superconductores *tipo I* presentan el Efecto Meissner-Ochsenfeld completo (la gráfica de la figura 2.8 corresponde a un superconductor de esta clase). La figura 2.9, muestra un gráfico de magnetización (explicada en el apartado anterior) en función de la densidad de flujo magnético para estos superconductores. La condición necesaria para obtener este comportamiento es que el campo magnético aplicado sea pequeño comparado con el campo crítico, ya que para valores mayores la superconductividad desaparece con un salto a cero de magnetización, en este caso el material presentaría resistencia eléctrica.

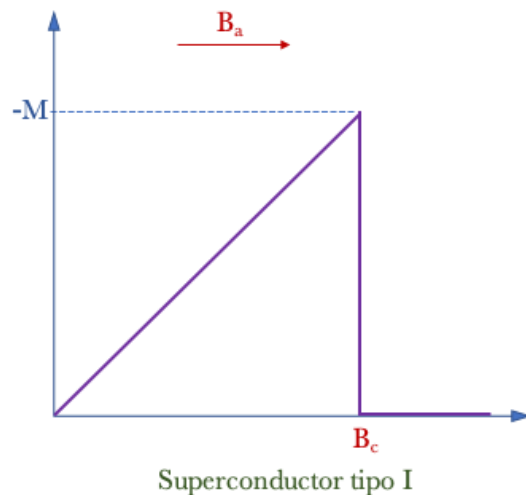


Figura 2.9. Gráfica de magnetización en función del campo magnético para un superconductor tipo I. Tomado y adaptado de Kittel (1993d).

Desde las características anteriores se puede decir que los superconductores tipo I son diamagnéticos perfectos y se caracterizan por ser materiales puros. En la siguiente figura se puede apreciar una tabla periódica de elementos presentada por el National High Magnetic Field Laboratory (2020), en la que se resaltan los elementos de la tabla periódica que son superconductores para condiciones específicas de presiones ambientales, presiones altas y aquellos que sufren alguna modificación en su forma para lograr alcanzar este estado. Además, ciertos semiconductores pueden hacerse superconductores en condiciones adecuadas, por ejemplo, como aplicaciones de alta presión o preparación de la muestra en películas muy delgadas; y la lista de aleaciones cuyas propiedades superconductoras se han medido se extiende a miles (Ashcroft & Mermin, 1976).

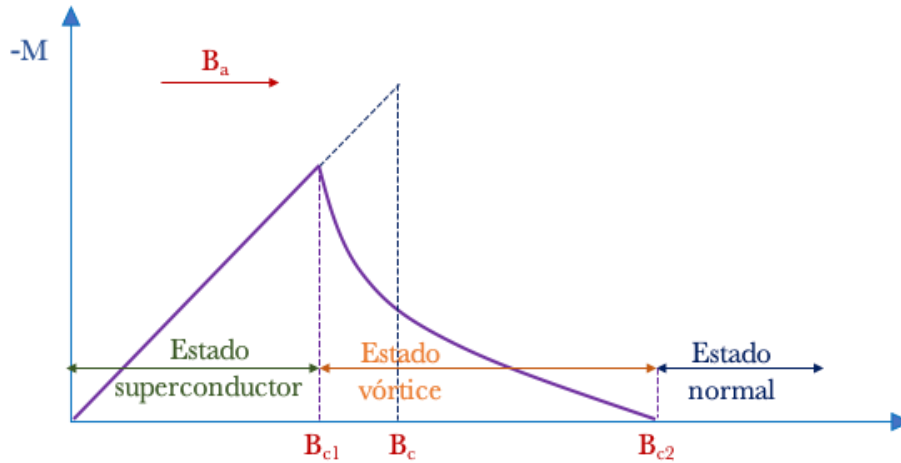


Figura 2.11. Gráfica de magnetización en función del campo magnético para un superconductor tipo II. Tomado y adaptado de Kittel (1993f).

En el estado mixto del superconductor tipo II, es decir, cuando éste se encuentra entre B_{c1} y B_{c2} , se puede decir, que las líneas de campo están atravesando una especie de tubos, llamados vórtices el cual contiene un *cuanto de flujo magnético* llamado *fluxoide* (figura 2.12) que tiene un valor de $2,0678 \times 10^{-15} Tm^2$ que se encuentra mediante la expresión

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} \quad (14)$$

de la cual se hablará más adelante.

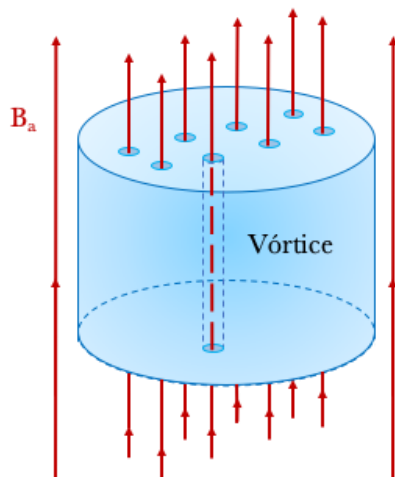


Figura 2.12. Esquema de un material superconductor tipo II en estado vórtice. Tomado y adaptado de Tipler y Llewellyn (2008b).

4. **Ecuación de London:** Al hablar de los fenómenos electromagnéticos que están vinculados con la superconductividad, es importante mencionar que la ecuación de London está estrechamente relacionada con el Efecto Meissner-Ochsenfeld y se deduce a partir las ecuaciones de electricidad y magnetismo. En primer lugar, se considera la fuerza sobre una partícula cargada en un campo eléctrico, $F = qE$, siendo q la carga de la partícula. Además, si la partícula se encuentra en movimiento debido al campo eléctrico aplicado sobre el material, se tiene que $\vec{F} = m d\vec{v}/dt$. Si el material está en el

estado superconductor, se pueden combinar estas ecuaciones de fuerza reemplazando q por $-e^*$ que hace referencia a un par de electrones (éstos se conocen como *pares de Cooper* y se abordarán en la explicación de la teoría BCS) y v por v_s que hace referencia a la velocidad del electrón en el superconductor. Se tendría entonces la expresión:

$$-e^* \vec{E} = m \frac{d\vec{v}_s}{dt} \quad (15)$$

Adicionalmente, se define la densidad de corriente j en el superconductor como:

$$\vec{j} = -e^* n_s \vec{v}_s \quad (16)$$

Ahora, si se combinan las ecuaciones (15) y (16) despejando la intensidad del campo eléctrico y quitando el término de velocidad de un electrón superconductor, entonces se obtiene:

$$\vec{E} = \frac{m}{n_s e^{*2}} \frac{d\vec{j}}{dt} \quad (17)$$

Si se aplica el rotacional a la ecuación (17), para combinarlo con las ecuaciones de Maxwell $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$ y $\nabla \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t$, se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\vec{B} + \frac{m}{\mu_0 n_s e^{*2}} \nabla \times \nabla \times \vec{B} \right) = 0 \quad (18)$$

Además, si se reemplaza el valor de $(m/\mu_0 n_s e^{*2})^{1/2}$ por λ_L , y se tiene en cuenta que los términos que se encuentran dentro del paréntesis corresponden a un valor constante, se podría decir que:

$$\vec{B} + \lambda_L^2 \nabla \times \nabla \times \vec{B} = 0 \quad (19)$$

Ahora si sobre la ecuación (19) se aplica una de las identidades del cálculo vectorial¹ y se tiene en cuenta que la divergencia del campo magnético es igual a cero, entonces se puede reescribir esta ecuación como:

$$\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{\lambda_L^2} \vec{B} = 0 \quad (20)$$

La cual se conoce como *Ecuación de London*. La ecuación (20) es muy importante para el estudio de la superconductividad porque a partir de ella se describe el efecto *Meissner-Ochsenfeld*. El término de λ_L se conoce como *Longitud de Penetración de London* e indica la profundidad a la que llega el flujo magnético en el superconductor.

¹ $\nabla \times (\nabla \times C) = \nabla(\nabla \cdot C) - (\nabla \nabla)C$

En el texto de Kittel (1993g) se describe otro camino alternativo para encontrar la ecuación de London, en donde se considera que la densidad de corriente en el estado superconductor es proporcional al potencial vectorial, a partir de la ecuación:

$$\vec{j} = -\frac{1}{\lambda_L^2 \mu_0} \vec{A} \quad \nabla \times \vec{j} = -\frac{1}{\lambda_L^2 \mu_0} \vec{B} \quad (21)$$

Sobre la cual se aplicó el rotacional para obtener la segunda expresión de la ecuación (21), ahora, si se realiza el mismo proceso antes mencionado y sobre la ecuación de Maxwell $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$ se aplica el rotacional se obtiene $\nabla \times \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \nabla \times \vec{j}$ que al combinarla con la segunda parte de la ecuación (21) se llega a la ecuación (20) que corresponde a la *Ecuación de London*. Vale la pena mencionar que la ecuación (21) es también una ecuación constitutiva del medio (en este caso para relacionar la densidad de corriente eléctrica con el campo electromagnético) válida en la fase superconductora. En la fase no superconductora, en donde la sustancia se comporta como un conductor resistivo normal, la correspondiente ecuación constitutiva es, en general, la ley de Ohm, que en forma vectorial se expresa con la siguiente ecuación:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (22)$$

donde σ es la conductividad del material.

La *Ecuación de London* (21) muestra que no puede existir un flujo magnético uniforme en el superconductor. En efecto, puede demostrarse que las soluciones de esta ecuación cerca de la superficie de un superconductor se comportan como exponenciales decrecientes (Vucetich, 1983b), por lo que se puede decir que la penetración del campo magnético en el superconductor se encuentra de cierta manera amortiguada. La solución para el campo magnético en el interior del superconductor es de la forma:

$$B(x) = B(0)e^{-x/\lambda_L} \quad (23)$$

Donde $B(0)$ es el campo en el límite del plano y $B(x)$ corresponde al campo en el interior del superconductor. Si se supone un superconductor semi-infinito como el de la figura 2.13, sobre el cual se aplica un campo paralelo a z, es decir paralelo al contorno que se ubica en $x=0$ entonces se obtiene una gráfica de campo en función de x como se muestra en la figura 2.14 donde se observa cualitativamente la *profundidad de penetración* λ mostrando el decrecimiento de la densidad de flujo magnético.

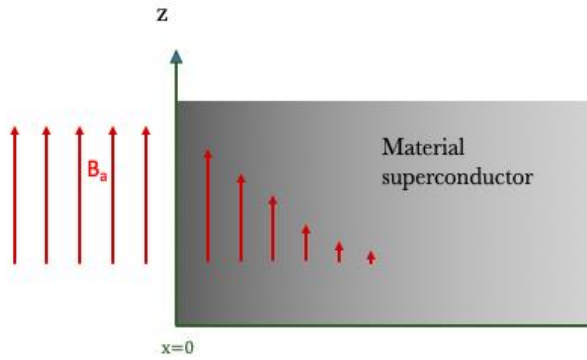


Figura 2.13. Dibujo de un superconductor semi-infinito sobre el cual se aplica un flujo magnético. Tomado y adaptado del libro de Introducción a la física del estado sólido de Charles Kittel. (2008h).

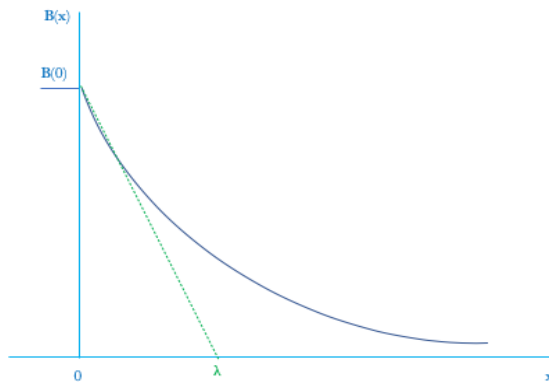


Figura 2.14. Densidad de flujo magnético en función de x de un superconductor semi-infinito. Tomado y adaptado de Matsushita (2004h).

La longitud de penetración de London se puede definir con la permeabilidad magnética en el vacío ó sin ella así:

$$\lambda_L = \left(\frac{m}{\mu_0 n_s e^{*2}} \right)^{1/2} \quad \text{ó} \quad \lambda_L = \left(\frac{\epsilon_0 c^2 m}{n_s e^{*2}} \right)^{1/2} \quad (24)$$

De esta ecuación es importante recordar que m corresponde a la masa del electrón ($m \approx 9.1 \times 10^{-31} kg$), μ_0 es la permeabilidad magnética en el vacío ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Tm A^{-1}$), n_s corresponde a la densidad de electrones superconductores ($n_s \approx 1 \times 10^{29} m^{-3}$) para los metales, e^* equivale a la carga de dos electrones ($e^* = 2e \approx 2(1.6 \times 10^{-19} C)$), ϵ_0 corresponde a la permitividad eléctrica en el vacío ($\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$) y finalmente c equivale al valor de la velocidad de la luz en el vacío ($c = 3 \times 10^8 m s^{-1}$). Ahora bien, reemplazando estos valores en cualquiera de las expresiones de la longitud de penetración que se muestran en (24), se tiene que:

$$\lambda_L \approx 10^{-8} m \approx 10^{-6} cm \quad (25)$$

La longitud de penetración depende del material y de la temperatura crítica (Vucetich, 1983c).

La longitud de penetración de London λ_L , no es la única longitud que interviene en la teoría de la superconductividad, además se tienen otras dos longitudes que están relacionadas con la primera y que son fundamentales para establecer las características principales de los materiales superconductores.

La primera de ellas, se trata de la *Longitud de Coherencia* ξ , la cual se define como: “una medida de la distancia dentro de la cual la concentración de electrones superconductores no puede variar drásticamente en un campo magnético con variación espacial...” es decir, “...es una medida de la extensión espacial mínima de una capa de transición entre el estado normal y el superconductor.” (Kittel, 1993i). En esta medida de distancia, se puede producir una gran variación de la función de onda del superconductor, para esto se requiere energía para modular la concentración de electrones superconductores, de manera que la ecuación (26) muestra una ecuación de onda fuertemente modulada.

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}(e^{i(k+q)x} + e^{ikx}) \quad (26)$$

Además, se tiene una onda plana $\psi(x) = e^{ikx}$, cuya densidad de probabilidad es uniforme espacialmente como: $\psi^*\psi = e^{-ikx}e^{ikx} = 1$, mientras que la densidad de probabilidad asociada con la ecuación (26), está modulada por el vector de onda q así:

$$\varphi^*\varphi = \frac{1}{2}(e^{-i(k+q)x} + e^{-ikx})(e^{i(k+q)x} + e^{+ikx}) = \frac{1}{2}(2 + e^{-iqx} + e^{iqx}) = 1 + \cos qx \quad (27)$$

La energía cinética de la onda plana está dada por $\hbar^2 k^2 / 2m$, entonces si se encuentra la energía cinética de la onda modulada se tendría:

$$\int dx \varphi^* \left(\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \right) \varphi = \frac{1}{2} \left(\frac{-\hbar^2}{2m} \right) [(k+q)^2 + k^2] \cong \frac{\hbar^2}{2m} k^2 + \frac{\hbar^2}{2m} kq \quad (28)$$

Como se puede observar en la ecuación (28) aparece un término adicional debido a la modulación, este término corresponde a $\hbar^2 kq / 2m$, por tal razón se puede decir que la energía cinética de una onda modulada sería mayor que la energía cinética de una onda plana. En ese orden de ideas, es importante aclarar que si el término responsable de incrementar esta energía supera el intervalo prohibido de energía E_g (también llamado como el gap de energía), se destruye la superconductividad. Entonces, el intervalo prohibido de energía estaría dado por:

$$\frac{\hbar^2}{2m} k_F q_0 = E_g \quad (29)$$

Desde el cual se puede definir la longitud de coherencia intrínseca ξ_0 , la cual destruye la superconductividad:

$$\xi_0 = \frac{2\pi}{q_0} \cong \frac{\hbar^2 k_F}{2mE_g} = \frac{\hbar v_F}{2E_g} \quad (30)$$

Donde v_F corresponde a la velocidad de los electrones en la superficie de Fermi. De acuerdo con Kittel (1993j) la longitud de coherencia intrínseca mostrada en la ecuación (30) es propia de los superconductores puros, mientras que en los superconductores impuros o aleaciones (que por lo general son de tipo II) la longitud de coherencia ξ es más corta que la intrínseca ξ_0 .

La segunda longitud fundamental para describir y caracterizar los materiales superconductores, que acompaña a la longitud de penetración de London y a la longitud de coherencia es: *la longitud que establece el recorrido libre medio de los electrones normales* ℓ . Sin duda alguna, con la medición de ℓ en el estado normal, es posible encontrar las relaciones entre λ_L y ξ de la siguiente manera:

- ❖ Superconductores tipo I: El recorrido libre medio de los electrones ℓ es largo, la longitud de coherencia es más larga que la longitud de penetración. $\lambda_L < \xi$.
- ❖ Superconductores tipo II: El recorrido libre medio de los electrones ℓ es corto, la longitud de coherencia es más corta que la longitud de penetración. $\lambda_L > \xi$

5. **Teoría BCS:** En 1972 los físicos John Bardeen, Leon Cooper y John Robert Schrieffer recibieron el premio Nobel de Física por el desarrollo de la teoría que permitió entender el fenómeno de la superconductividad y por quienes se da el nombre de *Teoría BCS* haciendo alusión a las iniciales de sus apellidos. La teoría describe una interacción atractiva entre los electrones en el estado superconductor, lo cual visto desde la física clásica no podría ser posible porque los electrones al tener carga negativa se repelen. Esta atracción entre los electrones puede conducir a un estado fundamental separado de los estados excitados mediante una *banda prohibida de energía* E_g (Kittel, 1993k), como se muestra en la figura 2.15, donde es posible ver que los electrones en un metal normal ocupan todos los estados en los cuales la energía sea menor que la *energía de Fermi*, mientras que en un material superconductor, se evidencia una diferencia alrededor de la energía de Fermi con una región cuya anchura corresponde a la banda prohibida de energía E_g .

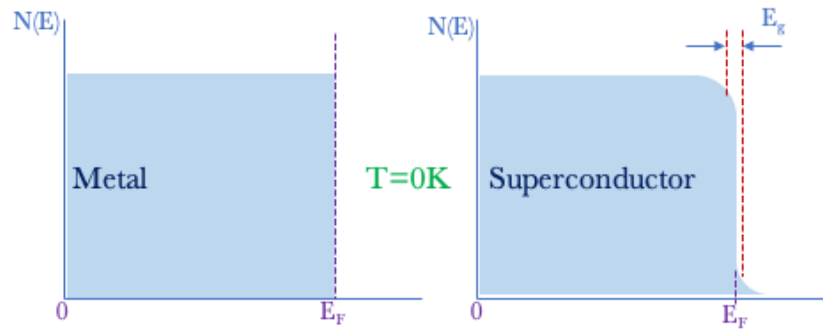


Figura 2.15. Electrones ocupando el estado fundamental del gas de Fermi de un metal normal y un superconductor a cero grados kelvin. Tomado y adaptado del libro de Introducción a la física del estado sólido de Charles Kittel (1993).

Es importante mencionar que todos los materiales que se encuentran en la naturaleza están formados entre otras partículas por electrones, y que particularmente los electrones en los cristales están repartidos en *bandas de energía* separadas por regiones en las que no existen orbitales electrónicos ondulatorios, las cuales se conocen como *bandas prohibidas de energía* y son el resultado de la interacción de las ondas de los electrones de conducción con los núcleos iónicos del cristal (Kittel, 1993m).

En el caso de los superconductores, la atracción de los electrones se da, debido a la interacción electrón-red-electrón, como se muestra en la figura 2.16, en la cual un electrón superconductor pasa a través de la red de iones positivos, los cuales están unidos entre ellos por fuerzas elásticas, haciendo que ésta se desplace ligeramente. Esa deformación conformada por el paso del electrón y por una cantidad de iones positivos de la red cristalina, genera una región en la cual hay una acumulación de densidad de carga positiva, la cual se propaga a través del material como una onda vibratoria de la red y la cual es conocida como *fonón*. Teniendo en cuenta que no habría en la red una acumulación de carga positiva sin la presencia del electrón, se podría decir que es esta partícula negativa la responsable de emitir dicho fonón que genera, entre otras cosas la atracción con otro electrón presente en la red cristalina y que permite explicar la atracción entre dos electrones superconductores lo cual recibió formalmente el nombre de *Pares de Cooper*.

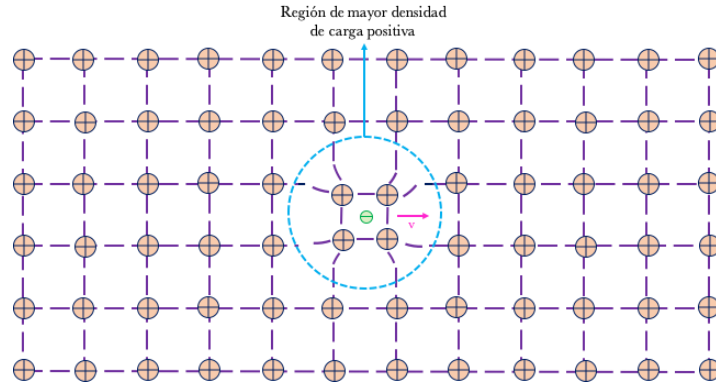


Figura 2.16. Gráfico de la red cristalina formada por iones positivos en el estado superconductor.

La razón por la cual en las ecuaciones de cada uno de los puntos expuestos en este trabajo alrededor del tema de la superconductividad se ha empleado en lugar de carga q del electrón, el valor de $2e$ que corresponde a la carga eléctrica de dos electrones, es porque gracias a la teoría BCS, se demostró que la interacción entre estas dos partículas es la responsable de originar el fenómeno de la superconductividad. De acuerdo con el *Principio de Exclusión de Pauli*, dos electrones (que pertenecen a los fermiones cuyo espín es semientero) que tengan sus números cuánticos idénticos, no pueden ocupar el mismo estado, sin embargo en los superconductores los orbitales de una partícula están ocupados por parejas, de tal manera que si un orbital está ocupado por un vector de onda k y espín hacia arriba entonces también estará ocupado el orbital con vector de onda $-k$ y espín hacia abajo, lo cual le da a la pareja de electrones atributos de bosones.

Adicionalmente, se resalta la importancia de mencionar que en el año 1950, se observó experimentalmente el *Efecto Isótopo*, que consistía en la variación de la temperatura crítica del superconductor con la *masa isotópica* de los elementos. La ecuación con la cual se puede describir este efecto es:

$$M^{\alpha}T_c = \text{constante} \quad (31)$$

Donde M representa la masa isotópica promedio del elemento y α corresponde a una constante que varía de acuerdo con el material. La importancia de esta ecuación permite ver que las interacciones entre los electrones mediados por los fonones no pueden ser ignoradas en las vibraciones de red porque están estrechamente relacionadas con el fenómeno de la superconductividad, desde lo cual se puede concluir que la temperatura crítica depende del número de neutrones del núcleo atómico².

Algunas conclusiones que pueden escribirse a partir de la teoría BCS son:

² Es importante recordar que los isótopos son átomos que tienen en sus núcleos atómicos el mismo número de protones pero diferente número de neutrones.

- ❖ Cuando la temperatura del material superconductor es menor que la temperatura crítica los electrones interactúan entre ellos formando los pares de Cooper, razón por la cual superan la repulsión electrostática.
- ❖ Los electrones que forman el par de Cooper poseen impulsos y espines opuestos, lo que genera un sistema de impulso y espín total iguales a cero.
- ❖ Cualquier número de pares de Cooper puede estar en el mismo estado cuántico con la misma energía, se puede entonces decir que forman un estado cuántico colectivo macroscópico.
- ❖ Para que los electrones superconductores puedan emitir o absorber energía, los pares deben romperse. El gap de energía o la banda prohibida de energía está en el orden de 10^{-3} eV y está dado por la expresión:

$$E_g = 3.5K_B T_c \quad (32)$$

Entonces, si se quisiera medir el gap de energía para el mercurio, se debe considerar que su temperatura crítica es 4.2 K y se puede calcular entonces que esta banda prohibida de energía tiene un valor aproximado dado por:

$$E_g = \frac{3.5(1.38 \times 10^{-23} JK^{-1})(4.2K)}{1.6 \times 10^{-19} J eV^{-1}} \approx 1.27 \times 10^{-3} eV$$

- ❖ La banda de energía prohibida para un semiconductor es del orden de 1 eV y para un metal es de 10 eV; se observa que para un superconductor esta brecha de energía es mucho menor.
- ❖ La condición para que los pares de Cooper se encuentren en el mismo estado, es que la temperatura sea del cero absoluto, cuando esta temperatura empieza a aumentar los pares de Cooper empiezan a romperse.
- ❖ Si se quisiera encontrar una estimación de la separación Δx de los dos electrones que forman un Par de Cooper, se puede suponer que la energía de enlace del par corresponde a la brecha de energía E_g que se centra en la energía de Fermi, además se deben considerar las relaciones de incerteza de Heisenberg así:

La energía de un electrón está dada por:

$$E = \frac{p^2}{2m} \quad (33)$$

Si se despeja de la ecuación (33) el momento, se tiene:

$$p = \sqrt{2mE} \quad (34)$$

Si se encuentra Δp de la ecuación anterior, entonces:

$$\Delta p = \frac{\sqrt{2m\Delta E}}{2\sqrt{E}} \quad (35)$$

Si se despeja de la ecuación (33) m y se reemplaza en la ecuación (35), se obtiene:

$$\Delta p = \frac{\sqrt{2(p^2/2E)} \Delta E}{2\sqrt{E}} = \frac{p}{2E} \Delta E \quad (36)$$

Teniendo en cuenta que la relación de Incerteza de Heisenberg muestra que:

$$\Delta x \sim \hbar/\Delta p \quad (37)$$

Reemplazando en (37) el resultado de (36) se tiene:

$$\Delta x \sim \frac{\hbar}{\frac{p}{2E} \Delta E} \quad (38)$$

Considerando una de las relaciones de Broglie en la cual el momento se relaciona con el número de onda k , se tiene:

$$\Delta x \sim \frac{\hbar}{\frac{\hbar k}{2E} \Delta E} \sim 2 \frac{E}{k \Delta E} \quad (39)$$

Considerando que la brecha de energía ΔE corresponde a $E_g \sim 10^{-3}$ eV, la energía E corresponde a la energía de Fermi $E_F \sim 10$ eV y $k = \pi/a$ en la banda en la cual la energía es E_F , es decir con un valor aproximado de $a \sim 0.1$ nm, entonces se tiene:

$$\Delta x \sim 2 \frac{E_F}{k_F E_g} \sim 2 \frac{10eV \cdot 0.1nm}{\pi \cdot 10^{-3} eV} \sim 640 \text{ nm} \sim 1\mu m \quad (40)$$

- ❖ Con el resultado que se muestra en la ecuación (40), es posible notar que la distancia de separación entre los electrones que forman el Par de Cooper, es supremamente grande; su tamaño se puede comparar, por ejemplo, con la longitud de onda visible que se encuentra aproximadamente entre los 390 y los 750 nm. Además, esta pareja de electrones acoplados es mucho más grande que un virus, Palacios y Santos (2020) de la Sociedad Española de Medicina

Interna, publicaron en la Revista Clínica Española que el tamaño del virus del covid-19 que tanto está afectando actualmente a la sociedad mundial, está entre 80 y 120 nm, lo que indica que abarca alrededor de un 15% del tamaño de un par de Cooper, lo cual es impactante en la física que estudia la superconductividad. Siguiendo el documento de superconductividad de Vucetich (1983d), por el largo alcance de la función de onda de los pares de Cooper y por su superposición con otros pares, estos electrones acoplados en parejas tienen la facilidad de detectar impurezas en la estructura cristalina de los materiales superconductores para no chocar con ellas, lo que garantiza que estos materiales se caractericen por tener resistencia nula.

6. **Cuantificación del flujo y corrientes persistentes:** La cuantización del flujo magnético toma relevancia al hablar de los materiales superconductores porque da cuenta del fluxoide mostrado en la ecuación (14) que se presenta en el estado vórtice de los superconductores tipo II. Para poder llegar a la expresión final presentada en la sección de *efecto Meissner-Ochsenfeld y tipos de superconductores*, se tiene en cuenta un anillo como el que se muestra en la figura 2.17, donde se evidencia que un flujo magnético está pasando a través de él y que en su interior se muestra un contorno C.

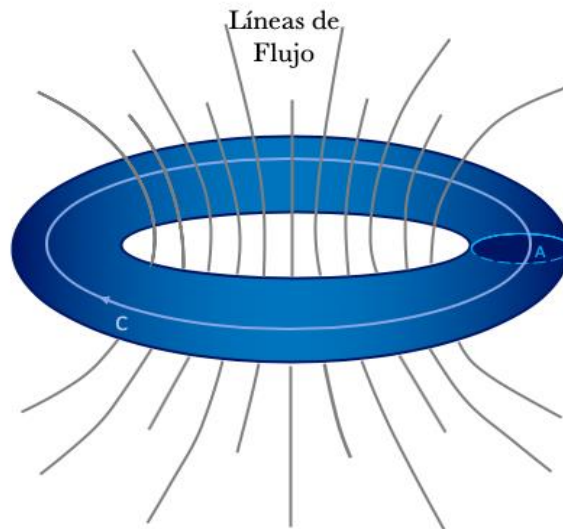


Figura 2.17. Anillo superconductor atravesado por líneas de flujo magnético, con longitud L y área transversal A. Imagen tomada y adaptada del libro de Introducción a la física del estado sólido de Charles Kittel. (1993n)

Teniendo en cuenta la densidad de corriente en un superconductor presentada en la ecuación (16), se puede reemplazar el término de v_s por la velocidad de una partícula desde la mecánica de Hamilton así:

$$\vec{j} = qn_s \left[\frac{1}{m} (\vec{p} - q\vec{A}) \right] \quad (41)$$

Si se aplica el rotacional a ambos lados de la ecuación (41) se obtiene:

$$\nabla \times \vec{j} = -\frac{q^2 n_s}{m} \vec{B} \quad (42)$$

Y si se tiene en cuenta el valor de la longitud de penetración de London expuesta en la ecuación (24), es posible ver que la ecuación anterior conduce a la ecuación de London presentada en la ecuación (21). Ahora bien, si se considera que por el Efecto Meissner Ochsensfeld que tanto B como j son cero en el interior del anillo superconductor entonces para que la ecuación (41) sea cero entonces

$$\vec{p} = q\vec{A} \quad (43)$$

Por lo cual, al integrar a lo largo del camino C presentado en la figura 2.17 se tiene que:

$$\oint_C \vec{p} \cdot d\vec{s} = q \oint_C \vec{A} \cdot d\vec{s} = q \oint_C \nabla \times \vec{A} \cdot d\vec{\sigma} = q \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\sigma} = q\Phi \quad (44)$$

Considerando nuevamente, que $p = \hbar k$ y teniendo en cuenta que $k = 2\pi n/l$ la primera integral de la ecuación (44) da como resultado:

$$\oint_C \vec{p} \cdot d\vec{s} = \hbar 2\pi n \quad (45)$$

Combinando las ecuaciones (43) y (44) se obtiene que el flujo es:

$$\Phi = \frac{2\pi\hbar}{q} n = \frac{\hbar}{q} n = \frac{\hbar}{2e} n \quad (46)$$

En la ecuación (46) se reemplazó el término de q por $2e$ teniendo en cuenta que en el superconductor la carga del par de Cooper corresponde a la carga de dos electrones. Además, considerando que el flujo en el superconductor está cuantizado en números enteros de $\hbar/2e$ entonces se llega a la ecuación (14) en la cual se muestra el cuanto correspondiente a un fluxoide que se presenta en el estado vórtice de los superconductores tipo II.

Como se mencionó anteriormente, el flujo que atraviesa el anillo debe estar cuantizado, ante lo cual, es importante considerar que este flujo representa la suma entre el flujo exterior que no está cuantizado, generado por un campo magnético específico y el flujo del superconductor, el cual es producido por las corrientes superconductoras de la superficie del anillo que se conocen como las *corrientes persistentes*. Siguiendo el texto de Kittel (1993ñ), estas corrientes mantienen el flujo a través del anillo dado por un número entero de fluxoides, ya que estos no pueden escapar del material a menos que

exista una fluctuación térmica que genera que una parte del anillo quede en estado normal. dI/dt ha sido medido experimentalmente en anillos superconductores (Vucetich, 1983e) encontrándose que el tiempo de reducción a la mitad de la corriente es de 10^5 años, por lo cual se puede decir que la corriente se mantiene constante y que realmente es persistente durante un muy prolongado lapso de tiempo.

El valor del cuanto de flujo magnético, toma gran importancia en los superconductores tipo II, ya que son precisamente éstos los que presentan el estado vórtice, que como se había mencionado anteriormente, está entre dos campos magnéticos críticos. La figura 2.18, tomada del libro Introducción a la física del estado sólido de Charles Kittel (1993o), muestra una imagen obtenida por un microscopio electrónico en la que puede observarse una red de fluxoides de la capa superior de un cilindro superconductor que han sido decoradas con partículas ferromagnéticas, reflejando una sección del superconductor en estado vórtice. Estos campos ya mencionados pueden estimarse a partir de los conceptos que se han mencionado a lo largo de este capítulo. Para poder encontrar el valor aproximado del campo crítico B_{C1} se debe considerar el valor de la longitud de penetración y tener en cuenta que en el núcleo normal del fluxoide el campo será B_{C1} cuando el campo aplicado sea B_{C1} . De manera que:

$$B_{C1} \approx \Phi_0/\pi\lambda^2 \quad (47)$$

Este campo crítico se extiende fuera del núcleo del fluxoide hasta una longitud λ del entorno del superconductor, por tal razón se puede mencionar que el flujo asociado con un núcleo es ϕ_0 que corresponde al valor que se muestra en la ecuación (14) y a su vez debe ser igual a $\pi\lambda^2 B_{C1}$.

A diferencia de este primer campo crítico, cuando el superconductor alcanza el campo crítico B_{C2} , el campo externo penetra la muestra casi uniformemente con pequeñas ondulaciones a la escala de la red de fluxoides (Kittel,1993p), lo cual se puede interpretar como un acercamiento muy estrecho (tanto como lo permita longitud de coherencia ξ) de los fluxoides que garantice que el material esté en estado superconductor. Así como el campo crítico 1 dependía de la longitud de penetración λ , el campo crítico 2 depende de la longitud de coherencia ξ , de manera que:

$$B_{C2} \approx \Phi_0/\pi\xi^2 \quad (48)$$

El campo B_{C2} es mucho mayor que el campo B_{C1} , y es posible conseguir campos críticos B_{C2} mayores a 40 tesla (Vucetich,1983f).

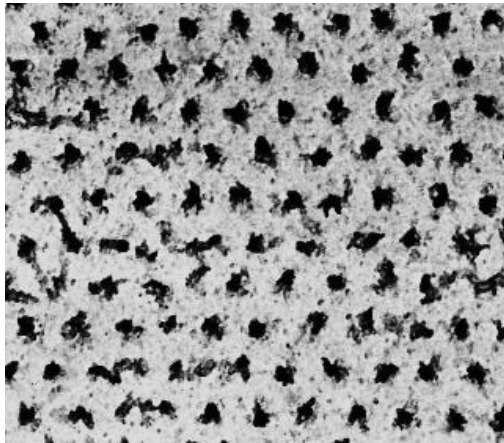


Figura 2.18. Imagen obtenida por un microscopio electrónico en la cual puede observarse una red de fluxoides que evidencian el estado vórtice.

En la figura 2.11 se evidencia la magnetización en función del campo magnético, se puede observar la presencia de un campo crítico B_c que está ubicado entre los campos críticos B_{c1} y B_{c2} , este valor se conoce como el *campo crítico termodinámico* el cual mide la densidad de energía en la cual el estado superconductor se encuentra estable, de tal manera que las relaciones entre los campos críticos 1 y 2 con el termodinámico estaría dada por:

$$\frac{B_{c2}}{B_c} \approx \frac{\lambda_L}{\xi} \approx \frac{B_c}{B_{c1}} \quad (49)$$

7. **Efecto Josephson:** Para entender el efecto Josephson, se considera la figura 2.19 en la cual los materiales A y B son metales normales y el material C es un aislante, el cual actuará como una barrera al flujo de electrones de electrones de conducción del metal A al B o viceversa. Si la barrera aislante C es muy delgada puede que un electrón logre pasar al otro metal, lo que bien se conoce como el efecto túnel.

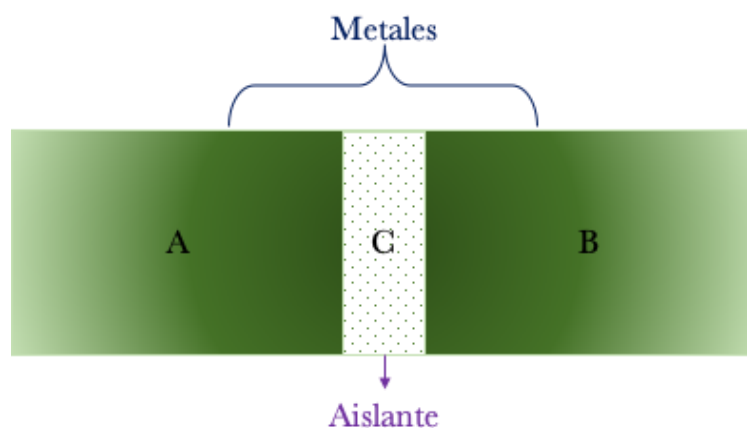


Figura 2.19. Dos metales separados por un aislante delgado.

Al ser los materiales A y B metales, entonces la relación entre voltaje y corriente estaría dado por la Ley de Ohm (gráfica 2.20a), pero si uno de los dos materiales se cambia

por su superconductor la relación entre el voltaje y la corriente estaría representado por la gráfica b de la figura 2.20, donde se observa que no hay corriente en el cero absoluto a menos que se aplique un voltaje V mayor que un voltaje crítico V_c dado por:

$$V_c = \frac{E_g}{2e} \quad (50)$$

La razón por la cual el voltaje crítico se relaciona con E_g , es por el gap de energía que se centra en el nivel de Fermi, tal como se puede observar en la figura 2.15. Esta banda prohibida de energía corresponde a la ruptura de un par de electrones en el estado superconductor (Kittel, 1993q), con la formación de dos electrones o un electrón y un hueco en el estado normal.

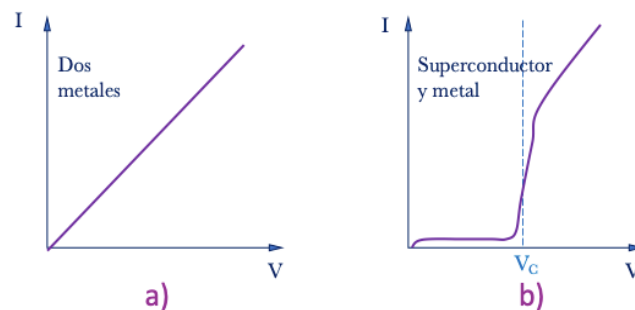


Figura 2.20. Gráficas de corriente en función del voltaje para a) los metales de la figura 2.19 y b) un metal y un superconductor.

Como se ilustra en la figura 2.20b, la corriente salta abruptamente cuando el voltaje es lo suficientemente grande como para romper un par de Cooper (Tipler & Llewellyn, 2008c). Además, a temperaturas mayores al cero absoluto, hay corriente porque algunos electrones en los superconductores no se encuentran en pares.

Si ahora se cambian los metales A y B de la figura 2.19 por materiales superconductores separados por el aislante C, entonces se podría presentar el *efecto túnel Josephson en materiales superconductores*. Brian Josephson, propuso que cuando dos superconductores forman una unión de Josephson, (como en la figura 2.19 cambiando los dos metales por materiales superconductores) los pares de Cooper podrían hacer un túnel de un superconductor a otro sin resistencia alguna a través de la capa delgada aislante C, los cuales se originan a partir de dos efectos: 1. Efecto Josephson de corriente continua y 2. Efecto Josephson de corriente alterna.

1. Efecto Josephson de corriente continua: Para entender el primero de estos efectos, se debe considerar la amplitud de probabilidad de los pares de Cooper que pertenecen al superconductor A (ψ_1) y la amplitud de probabilidad de los pares de Cooper que pertenecen al superconductor B (ψ_2). Si hay una diferencia de potencial entre ambos

sistemas, satisfacen la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo $i\hbar\partial\Psi/\partial t=H\Psi$ (Vucetich, 1983g), de manera que se obtiene:

$$i\hbar\frac{\partial\psi_1}{\partial t} = \hbar T\psi_2 \quad ; \quad i\hbar\frac{\partial\psi_2}{\partial t} = \hbar T\psi_1 \quad (51)$$

Donde, siguiendo a Kittel (1993r), T corresponde al efecto del acoplamiento del par de Cooper a través del aislante y está en unidades de frecuencia. Con las ecuaciones del numeral (51) se puede considerar que:

$$\psi_1 = n_1^{1/2} e^{i\theta_1} \quad ; \quad \psi_2 = n_2^{1/2} e^{i\theta_2} \quad (52)$$

Donde n_1 y n_2 corresponden a la densidad de los pares y θ_i es una fase, entonces si se encuentra la derivada parcial con respecto al tiempo de ψ_1 y ψ_2 de se tiene respectivamente:

$$\frac{\partial\psi_1}{\partial t} = \frac{1}{2} n_1^{-1/2} e^{i\theta_1} \frac{\partial n_1}{\partial t} + i\psi_1 \frac{\partial\theta_1}{\partial t} = iT\psi_2 \quad (53)$$

$$\frac{\partial\psi_2}{\partial t} = \frac{1}{2} n_2^{-1/2} e^{i\theta_2} \frac{\partial n_2}{\partial t} + i\psi_2 \frac{\partial\theta_2}{\partial t} = -iT\psi_1 \quad (54)$$

Ahora si se multiplica (53) por $n_1^{-1/2} e^{i\theta_1}$ y (54) por $n_2^{-1/2} e^{i\theta_2}$, se obtiene:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial n_1}{\partial t} + in_1 \frac{\partial\theta_1}{\partial t} = -iT(n_1 n_2)^{1/2} e^{i(\theta_2 - \theta_1)} \quad (55)$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial n_2}{\partial t} + in_2 \frac{\partial\theta_2}{\partial t} = -iT(n_1 n_2)^{1/2} e^{-i(\theta_2 - \theta_1)} \quad (56)$$

Si se igualan las partes reales y las partes imaginarias entonces:

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = 2T(n_1 n_2)^{1/2} \sin(\theta_2 - \theta_1) \quad ; \quad \frac{\partial n_2}{\partial t} = -2T(n_1 n_2)^{1/2} \sin(\theta_2 - \theta_1) \quad (Real)(57)$$

$$\frac{\partial\theta_1}{\partial t} = -T \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^{1/2} \cos(\theta_2 - \theta_1) \quad ; \quad \frac{\partial\theta_2}{\partial t} = -T \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^{1/2} \cos(\theta_2 - \theta_1) \quad (Imag.)(58)$$

Si, además, se considera que los superconductores 1 y 2 son idénticos entonces se puede decir que $n_1 \cong n_2$ por lo cual de la ecuación imaginaria (58) se puede concluir que:

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t} = \frac{\partial \theta_2}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial}{\partial t}(\theta_2 - \theta_1) = 0 \quad (59)$$

Y de la ecuación real (57) se puede concluir:

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = - \frac{\partial n_2}{\partial t} \quad (60)$$

Considerando que el flujo de corriente es proporcional a $\partial n_1/\partial t$ o $-\partial n_2/\partial t$, teniendo en cuenta nuevamente que $n_1 \cong n_2$ y retomando la ecuación real (57), se encuentra una expresión de la corriente I que pasa a través de la *unión de Josephson* como:

$$I = I_0 \sin[\theta_2 - \theta_1] \quad (61)$$

Donde I_0 es proporcional a T . La ecuación (62) indica que cuando no hay potencial eléctrico, la corriente depende de la diferencia de fases, esto quiere decir, que a través de la unión fluye una corriente continua que va desde I_0 hasta $-I_0$ de acuerdo con el valor de la diferencia de las fases entre el superconductor 2 y 1. Vucetich (1983h) muestra en su escrito sobre la superconductividad, la gráfica de corriente en función de la diferencia de potencial de una unión de Josephson (figura 2.21) donde se puede observar que las corrientes de corriente continua fluyen desde hasta con un potencial nulo.

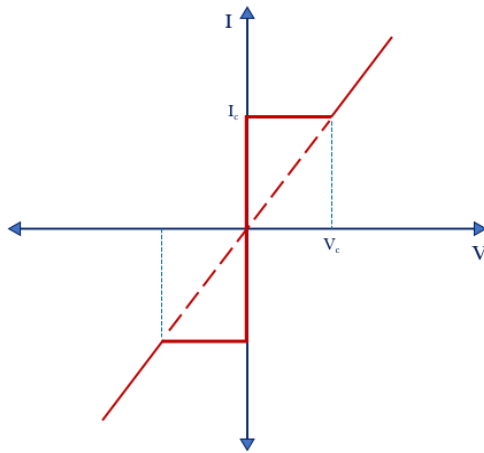


Figura 2.21. Gráfica de corriente vs tensión en la unión de Josephson.

2. Efecto Josephson de corriente alterna: En la gráfica presentada en la figura 2.21, se observa que para valores mayores al potencial V_c se presenta el efecto Josephson de corriente alterna. Este valor de corriente, surge al aplicar una tensión continua a través de la unión de Josephson de manera que un par de electrones que forman el par de Cooper experimentan una energía potencial igual a eV . Si se considera esta energía potencial que experimentan los pares de electrones ubicados en cada uno de los superconductores que se encuentran a la derecha e izquierda del material aislante C ,

entonces se tendrían que reescribir las ecuaciones del numeral (51) con este término adicional, las cuales quedarían como:

$$i\hbar \frac{\partial \psi_1}{\partial t} = \hbar T \psi_2 - eV \psi_2 \quad ; \quad i\hbar \frac{\partial \psi_2}{\partial t} = \hbar T \psi_1 + eV \psi_1 \quad (62)$$

El signo positivo y negativo que antecede la energía eV , hace referencia a la energía potencial a un lado y al otro de la unión. Si sobre las dos ecuaciones (62) se realizan los mismos pasos que se llevaron a cabo para encontrar el efecto Josephson de corriente continua, entonces se obtiene que la corriente está dada por:

$$I = I_0 \sin \left[(\theta_2 - \theta_1) - \frac{2eV}{\hbar} t \right] \quad (63)$$

La ecuación (63) representa el *Efecto Josephson de corriente alterna*, ya que la corriente oscila con una frecuencia que tiene el valor de $\omega = 2eV/\hbar$. Kittel (1993s) menciona que a partir de esta frecuencia, se puede decir que un fotón de energía $\omega\hbar = 2eV$ es emitido o absorbido cuando un par de electrones cruza la barrera C.

8. ***Superconductores de alta temperatura (SAT)***: Cuando Kamerling Onnes realizó el experimento que dio paso al desarrollo de la superconductividad, utilizó mercurio cuya temperatura crítica es de alrededor de 4 K que equivale aproximadamente a -269°C . Desde ese momento las investigaciones realizadas alrededor de este fenómeno, estaban destinadas a encontrar materiales cuya temperatura crítica fuera más alta, y que también presentasen corrientes y campos magnéticos críticos más elevados.

En el año 1986 los físicos Alexander Müller y Georg Bednorz fabricaron un material cerámico que adquiere las propiedades de un superconductor a una temperatura de 30K. Por este hallazgo se les otorgó el premio Nobel de física un año después, considerando la importancia de este descubrimiento que marcó la historia de la superconductividad por dos razones importantes: la primera, porque los materiales cerámicos se caracterizan por ser aislantes y los superconductores en su estado normal son por lo general metales; y la segunda porque era la mayor temperatura crítica en la cual un material experimentaba el cambio de estado a superconductor. El gráfico presentado en la figura 2.22, tomado del Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid (2020) muestra una línea de tiempo sobre el avance en el descubrimiento de materiales superconductores de alta temperatura crítica.

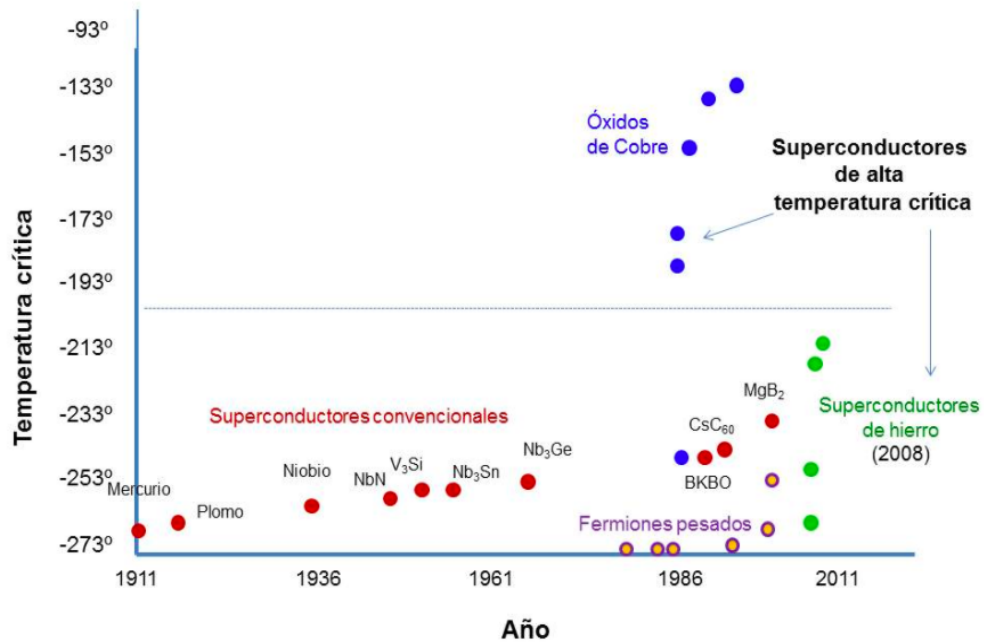


Figura 2.22. Temperatura crítica de materiales superconductores y su año de descubrimiento.

Como se puede ver en la figura los superconductores cuyas aleaciones presentan oxígeno, son los que tienen una mayor temperatura crítica en la actualidad seguidos por los superconductores de hierro, que, de acuerdo con el gráfico, abarcan las investigaciones más recientes. Los materiales que contienen óxido de cobre pueden ser enfriados con temperaturas de alrededor de 80 K, que representa la temperatura del nitrógeno líquido el cual se puede conseguir fácilmente.

Algunos de los elementos que forman SAT son: Bario (Ba), Plomo (Pb), Bismuto (Bi), Oxígeno (O), Lantano (La), Cobre (Cu), Itrio (Y), Talio (Tl), Estroncio (Sr) y Calcio (Ca). De acuerdo con Kittel (1993p) algunos de los SAT formados con dichos elementos han sido relevantes para el estudio de la superconductividad con temperaturas críticas elevadas, estos se presentan en la tabla 2.1.

Material	Temperatura Crítica (K)	Nombre abreviado
$\text{BaPb}_{0,75}\text{Bi}_{0,25}\text{O}_3$	12	BPBO
$\text{La}_{1,85}\text{Ba}_{0,15}\text{CuO}_4$	36	LBCO
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	92	YBCO
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	120	TBCO

Tabla 2.1. SAT con temperatura crítica y nombre abreviado. Tomado del libro *Introducción a la Física del Estado Sólido* de Charles Kittel.

Por ejemplo, la figura 2.23 muestra el superconductor YBCO, que como puede observarse forma una red cuadrada en la que los átomos de cobre se ubican en los vértices y los de oxígeno en la mitad de cada arista. En el trabajo de investigación de Bascones, Calderón & Valenzuela (2012a) mencionan que en los cupratos la aparición de la superconductividad está ligada a la cantidad de electrones que se mueven en la capa de cobre-oxígeno. Si se añaden o quitan electrones de esta capa desaparece la característica aislante del material y aparece la superconductividad, lo cual es anómalo debido a la fuerte repulsión que se presenta entre los electrones.

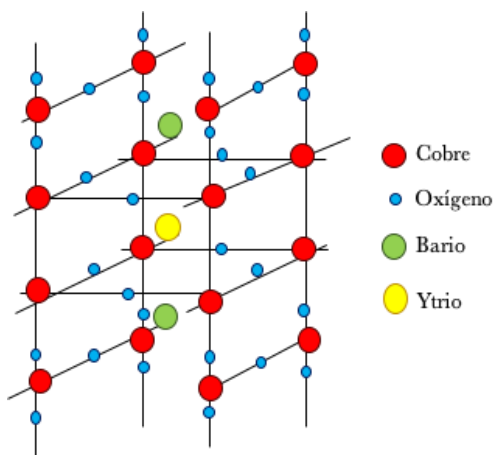


Figura 2.23. Estructura del cuprato YBCO. Tomado y adaptado de Bascones, Calderón & Valenzuela (2012b)

Aunque la teoría alrededor del fenómeno de la superconductividad se aplica para todos los superconductores convencionales, los SAT presentan características particulares que se salen un poco de los parámetros establecidos. A continuación se mencionan algunas características de estos materiales las cuales se extraen de tres fuentes de información: (Kittel, 1993u), (Ibach & Lüth, 2009) y (Bascones, Calderón & Valenzuela, 2020c)

- ❖ El efecto Josephson de corriente alterna se presenta en los SAT con los pares de Cooper con carga eléctrica $2e$.

- ❖ Se duda que el acoplamiento de los electrones, debido a los fonones, puedan dar lugar a los valores de temperatura crítica en los SAT, ya que cuando se da la interacción electrón-fonón, se espera que el material sea estructuralmente más rígido, lo que genera que la temperatura crítica disminuya. Además de acuerdo a la teoría BCS para que se de la interacción mostrada en la figura 2.16, es necesario que la temperatura sea muy baja.
 - ❖ Una temperatura crítica muy alta implica un valor muy alto de κ , pequeñas longitudes de coherencia ξ y grandes longitudes de penetración λ , de tal modo que la relación de κ conduce a un comportamiento extremo de un superconductor tipo II, lo cual sugiere que los SAT se pueden clasificar en este tipo de superconductores.
 - ❖ Una temperatura crítica alta no asegura aplicaciones útiles de corrientes intensas.
 - ❖ Para lograr que la temperatura crítica sea la temperatura ambiente, se debería generar una novedosa interacción que pueda hacer posible una condensación del mar de Fermi en pares de Cooper, no necesariamente mediada por fonones.
 - ❖ Al observar la cuantización del flujo en los materiales cerámicos, se sabe que los pares de Cooper son los responsables de la superconductividad. Pero para la mayoría de los SAT estos pares no consisten en dos electrones sino en dos huecos³ (como en los semiconductores).
 - ❖ Si se consiguiera de alguna manera la formación de los pares de Cooper ya se tendría el estado superconductor.
 - ❖ Poder entender el origen de los SAT es uno de los principales retos de la ciencia actual.
9. **Aplicaciones:** Los científicos que desde inicios del siglo XX han trabajado alrededor del fenómeno de la superconductividad, no sólo se han centrado en entender la física que subyace a estos materiales, sino han buscado la manera de obtener este estado con materiales que requieran mayores temperaturas y que a su vez generen campos magnéticos más intensos. Sin lugar a duda, la experimentación ha jugado un papel fundamental en la búsqueda de estos materiales, ya que, al someterlos a las condiciones adecuadas para el cambio de estado, es posible notar a simple vista particularidades de estos materiales, por ejemplo la levitación magnética. En la figura 2.7 se mostró un imán levitando sobre un material superconductor, en el cual se excluyen las líneas

³ De acuerdo con Ibach & Lüth (2009) un electrón faltante en un enlace químico o un estado vacío en una banda electrónica casi completa, actúa como un portador de carga positiva o hueco en el proceso de conducción

de campo magnético y se presenta una fuerza hacia arriba sobre el imán que lo hace levitar y mantenerse sobre la superficie del superconductor. Esta aplicación de los materiales superconductores puede ser usada como principio de funcionamiento para muchas aplicaciones en el mundo moderno, por ejemplo en el tren Maglev de Japón los campos magnéticos intensos que permiten su levitación son generados por los superconductores.

Magaña (2012c) narra en su libro *Los Superconductores*, algunos usos de estos materiales en diferentes áreas del conocimiento. En primer lugar, describe la aplicación de la superconductividad en la electrónica con los dispositivos llamados criotrones, como el que se muestra en la figura 2.24. Un criotrón consta de dos materiales superconductores enrollados y aislados entre sí, los cuales se encuentran en estado superconductor. Entonces, una corriente I pasa por el material A (el cual presenta en el estado superconductor menor campo magnético crítico que el material B), sin resistencia alguna y una corriente crítica I_c pasa a través del alambre B generando un campo magnético que envuelve a alambre A. Como la corriente I_c es muy intensa, de acuerdo con la curva de corriente de la unión de Josephson presentada en la figura 2.21, el material A vuelve a su estado normal (deja de ser superconductor) presentando una resistencia eléctrica reduciendo el valor de la corriente I que inicialmente transcurría a través de él. Inicialmente se emplearon estos criotrones como interruptores rápidos en el uso de computadoras, sin embargo, con el desarrollo de los transistores que funcionan a temperatura ambiente estos se dejaron de lado.

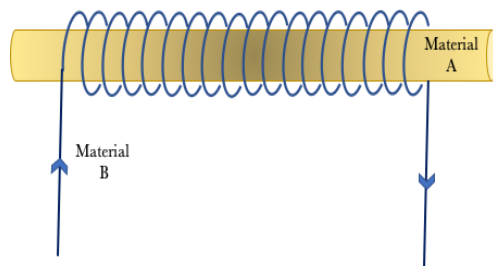


Figura 2.24. Esquema de un criotrón.
Tomado y adaptado de Magaña (2012e)

Y en segundo lugar, presenta a los *electroimanes superconductores* que han servido para: la creación de campos magnéticos intensos en el estudio del crecimiento de plantas y animales en el campo de la biología; la observación de los cambios en las reacciones químicas; la evaluación de las funciones vitales del cuerpo humano a partir de dispositivos llamados SQUID⁴ (Superconducting Quantum Interference Device), los cuales detectan los campos magnéticos del cerebro; entre otros.

Una de las aplicaciones más importantes de la superconductividad en la física se da en el estudio de las altas energías, ya que los materiales superconductores proporcionan

⁴De acuerdo con Tipler & Llewellyn (2008c) Si se tiene un anillo superconductor con dos uniones Josephson de corriente continua, la supercorriente muestra efecto de interferencia que dependen de la intensidad del campo magnético, lo cual puede usarse para medir campos magnéticos débiles (del orden de 10^{-4} T) lo cual puede usarse como principio de funcionamiento del SQUID

los campos magnéticos necesarios para los colisionadores que se encuentran alrededor del mundo. La revista CERN Courier (2011) que presenta cada dos meses informes sobre la física de altas energías, publicó en Noviembre del 2011, un artículo en el cual mencionaba los retos que tuvieron que asumir los físicos del CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) para garantizar el óptimo funcionamiento del LHC (*Large Hadron Collider*) con la producción de campos magnéticos altos. En ese orden de ideas, a finales de los 80s, el CERN bajo la dirección de los ingenieros Romeo Perin y Daniel Leroy, realizó el primer diseño de la bobina del LHC y proporcionó el primer cable grande superconductor a una compañía italiana, que fabricó un dipolo de 1m de largo y que alcanzaba un campo de 9T a 1.8K a partir de una aleación de Niobio-Titanio.

Algunas décadas después, entre los años 2003 y 2008 se realizó el montaje del LHC en el cual “los protones colisionan en choques frontales para alcanzar energías nunca antes obtenidas a esa escala. El colisionador está situado en un túnel de casi 27 km de perímetro circular ($r = 4243$ m) y a unos 100 metros bajo tierra.” (Cid Vidal & Cid Manzano, 2003a). Este funciona con 1232 dipolos magnéticos que se forman a partir de cables superconductores (Figura 2.25), requiere la utilización de helio superfluido que se encuentra a una temperatura de 1.9 K y logra producir un campo constante de 8.33T, que a su vez garantiza que los protones que viajan al interior de los tubos de vacío, se mantengan en la trayectoria curva del acelerador y se encuentren centrados en los puntos de interacción.

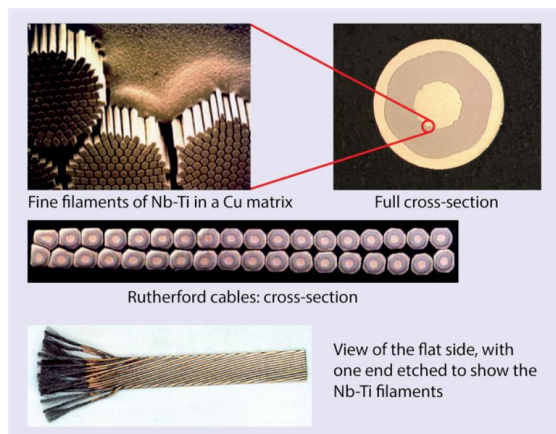


Figura 2.25. Estructura de un cable superconductor de Nb-Ti. Desde filamento hasta cable final. Tomado de CERN (CERN Courier, 2011)

En la página oficial del CERN (2020) se menciona que los imanes aceleradores basados en el superconductor Nb_3Sn (compuesto intermetálico de Niobio y Estaño descubierto en 1954), servirán como trampolín para futuros imanes aceleradores, ya que proporcionará el aumento de energía en los colisionadores. Específicamente, será empleado en el HL-LHC (High Luminosity – LHC), porque alcanza un campo crítico hasta de 30T y se comporta como material superconductor al caer hasta una temperatura crítica de 18K. Sin embargo, para lograr su óptimo funcionamiento, es importante enrollar la bobina magnética con cables aislados de fibra de vidrio, como se muestra en la figura 2.26, y someterlos a un tratamiento térmico con una temperatura alta. Estos

cables superconductores serán necesarios para la producción de hasta 100 TeV de energía, con campos magnéticos intensos alrededor de los 16T.



Figura 2.26. Cables de Nb₃Sn que muestra el aislamiento de fibra de vidrio parcialmente desenvuelto. Tomado de CERN (CERN Courier, 2020)

Finalmente, una de las aplicaciones de los materiales superconductores que son hoy de uso cotidiano en casi todo el mundo, se encuentra en el campo de la medicina, específicamente con el procedimiento clínico de la resonancia magnética, mediante el cual se obtienen imágenes detalladas de los órganos y estructuras del cuerpo humano. El doctor Jaume Gili (2020) en su libro *Introducción a la Resonancia Magnética en Neuroimagen*, menciona que la resonancia magnética es un fenómeno físico por el cual algunas partículas pueden absorber selectivamente energía de radiofrecuencia al ser colocados bajo un potente campo magnético. La figura 2.27, muestra una imagen de la estructura de un escáner de resonancia magnética, mostrando los componentes.

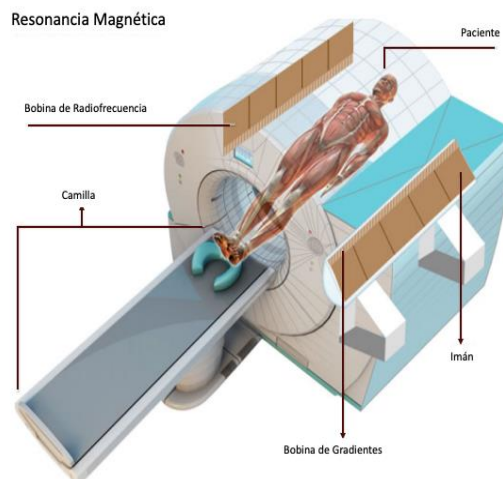


Figura 2.27. Componentes del escáner de resonancia magnética. Tomado y adaptado de Molina (2017)

El escáner de Resonancia Magnética tiene electroimanes que pueden ser resistivos o superconductores, éstos últimos son los encargados de alcanzar el mayor campo magnético del dispositivo al ser enfriados en una cámara que contiene Helio líquido. Al igual que en el CERN, los imanes están formados por bobinas que contienen cables hechos de la aleación de Niobio-Titanio dentro de una matriz de cobre.

CAPÍTULO 3

Enseñanza para la Comprensión: Aspectos teóricos

El marco conceptual de la Enseñanza para la Comprensión EpC, manifiesta la importancia de lograr que los estudiantes *comprendan* las diferentes temáticas que se trabajan en clase y no se reduzca el aprendizaje a la reproducción de información suministrada por el maestro. Tina Blythe y David Perkins (1999), quienes son pioneros en el estudio de la EpC, sugieren que la comprensión se entiende como el poder llevar a cabo una diversidad de acciones o “desempeños” que demuestren que los estudiantes entienden el tópico que se aborda en el aula y al mismo tiempo lo amplía, es capaz de asimilar el conocimiento y lo utiliza de forma innovadora. Desde esta definición de comprensión, se presentan cuatro partes fundamentales del marco conceptual de EpC, que garantizan que los estudiantes alcancen niveles de comprensión esperados en cada una de las actividades que se abordan en la clase, para lograr que ellos se apropien de conocimiento, estos son: tópicos generativos, metas de comprensión, desempeños de comprensión y evaluación diagnóstica continua.

Tópicos generativos

Tina Blythe en colaboración con Verónica Boix, Phillip James y Rosario Jaramillo (1999) menciona que los tópicos generativos son temas, cuestiones, conceptos, ideas, etc., que proporcionan hondura, significación, conexiones y variedad de perspectivas en un grado suficiente como para apoyar el desarrollo de comprensiones profundas por parte del alumno. Estos deben ser accesibles, es decir tener una gran cantidad de recursos que le permitan al estudiante investigar alrededor del tema en particular; además deben ser atractivos para el estudiante de modo que se logre una vinculación entre el tópico generativo y la experiencia de él dentro y fuera del contexto educativo.

Metas de comprensión

Las metas de comprensión identifican los conceptos, los procesos y las habilidades que se espera que alumnos comprendan como lo menciona Blythe & Outerbridge en el capítulo 5: Metas de comprensión (1999). Estas pueden formularse como enunciados y como preguntas teniendo en cuenta dos enfoques, el primero hace referencia a las metas de comprensión abarcadoras, que también se conocen como *hilos conductores* los cuales expresan la comprensión del estudiante al finalizar un curso específico; el segundo hace referencia a las metas de comprensión de la unidad, las cuales se ocupan de los aspectos centrales de cada uno de los tópicos generativos que se quieren abordar en el proceso de enseñanza.

Desempeños de comprensión

Tina Blythe en colaboración con Dorothy Gould (1999a), describe que los desempeños de comprensión, son actividades que exigen a los alumnos usar sus conocimientos de forma

novedosa para que construyan la comprensión del tópico generativo que se aborda en la unidad, dando paso a que los estudiantes reconfiguren, expandan, extrapolen y apliquen las ideas y conceptos que van adquiriendo en la unidad didáctica. Una idea fundamental de los desempeños de comprensión, es que estos deben ser planteados de tal manera que puedan ser observables para poder ser valorados desde la evaluación diagnóstica continua que se expone desde el enfoque de EpC. Estos desempeños de comprensión se plantean en tres momentos diferentes de la implementación en el aula y hacen referencia a las actividades específicas que los estudiantes deben llevar a cabo para cumplir con las metas de comprensión de la unidad o del curso. En un primer momento se plantean los *Desempeños preliminares*, los cuales corresponden a las actividades que los estudiantes desarrollan al inicio de la unidad y que dan cuenta de la *exploración* y primera aproximación a los tópicos generativos. En segundo lugar, se encuentran los *Desempeños de investigación guiada* que se centran en el desarrollo de la comprensión de los conceptos fundamentales que giran en torno a los tópicos generativos. Y finalmente, se plantean los *Desempeños finales de síntesis* a partir de los cuales los estudiantes concluyen y demuestran la comprensión de los tópicos generativos y dan cuenta del alcance de las metas de comprensión abarcadoras.

Evaluación diagnóstica continua

El proceso de evaluación dentro del marco conceptual de Enseñanza para la Comprensión, contribuye significativamente al aprendizaje, ya que hace referencia al proceso de brindar respuestas claras a los desempeños de comprensión de los alumnos, de modo tal que les permita mejorar sus próximos desempeños (Blythe, Bondi, & Kendall, Capítulo 7: Evaluación diagnóstica continua, 1999). Esta evaluación permite que tanto los docentes como los estudiantes evalúen el grado de desarrollo de la comprensión de los tópicos generativos planteados en la unidad didáctica, por tal razón es importante establecer criterios de evaluación diagnóstica y proporcionar retroalimentación a los estudiantes periódicamente.

Los cuatro pilares mencionados anteriormente constituyen la base para el desarrollo de la implementación en el aula. Estos están relacionados entre sí, de manera que la teoría alrededor del modelo pedagógico de la Enseñanza para la Comprensión no presenta un orden determinado para la ejecución e implementación de los pilares en la construcción de la estrategia pedagógica que se lleva a cabo en el aula de clases. A partir de lo anterior, se puede decir que los estudiantes son los encargados de poner en acción su comprensión, mientras que el docente evalúa el trabajo de sus alumnos, dando cuenta del nivel de comprensión en el cual se encuentran y brindando estrategias para elevar dicho nivel si así se requiere. Por esta razón Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner (1999a), presentan en el libro *Enseñanza para la Comprensión: Vinculación entre la teoría y la práctica*, cuatro dimensiones de la comprensión de tal manera que puedan ser válidas en diferentes dominios o disciplinas y que permitan evaluar y clasificar las actividades que se desarrollen en el aula de acuerdo con niveles de comprensión. Las dimensiones de comprensión que mencionan estos autores son: *contenido, métodos, propósitos y formas de comunicación*; las cuales a su vez describen ciertos criterios que pueden ser clasificados a partir de cuatro niveles de comprensión: *1. ingenua, 2. de principiante, 3. de aprendiz y 4. de maestría*. A continuación, se muestran cuatro tablas en las

cuales se sintetiza la información presentada por Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner en cuanto a las dimensiones de la comprensión.

Contenido: Evalúa el nivel hasta el cual los alumnos han trascendido las perspectivas intuitivas o no escolarizadas y el grado hasta el cual pueden moverse con flexibilidad entre ejemplos y generalizaciones en una red conceptual coherente (Stone, Boix & Gardner, 1999b).

CONTENIDOS	
Criterios	Niveles de comprensión que alcanzan los estudiantes
1. Creencias intuitivas transformadas Transformación de las creencias intuitivas de los estudiantes a partir de las teorías y conceptos.	1. Prevalencia del conocimiento cotidiano, falta de manejo de conceptos disciplinares.
	2. Mezcla de conocimientos propios de la disciplina con el cotidiano, prevaleciendo el cotidiano.
	3. Se da importancia a los conceptos disciplinares, pero no se vincula con el sentido común. Pueden prevalecer algunas creencias intuitivas.
	4. Refinan y relacionan el sentido común con el conocimiento disciplinar.
2. Redes conceptuales coherentes y ricas Razonamiento dentro de redes conceptuales organizadas teniendo en cuenta detalles, visiones generales ejemplos y generalizaciones.	1. No hay conexión entre los ejemplos y las generalizaciones.
	2. No se vinculan los ejemplos con las generalizaciones o marcos del dominio.
	3. Se mueven de forma espontánea entre ejemplos específicos y generalizaciones de la disciplina, aunque aparecen algunas contradicciones.
	4. Muestran redes organizadas de ideas, variedad de ejemplos específicos y generalizaciones disciplinarias. Crean nuevas asociaciones, ejemplos, interpretaciones o respuestas que son coherentes con marcos e ideas disciplinarias.

Tabla No. 1. Niveles de comprensión de los criterios que hacen parte de la dimensión de contenido. Adaptación de Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner (1999c).

Métodos: Teniendo en cuenta la descripción realizada por Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner (1999d) sobre esta dimensión, se reconoce que el conocimiento del pasado, la naturaleza y la sociedad, contrastan con las creencias del sentido común porque no están a disposición de los individuos. Por tal razón, es importante buscar metodologías que posibiliten la comprensión de los tópicos generativos para que los estudiantes sean capaces de llevarlas a cabo demostrando su conocimiento.

MÉTODOS	
Crterios	Niveles de comprensión que alcanzan los estudiantes
1. Sano escepticismo Hacia sus propias creencias y hacia fuentes conocimiento tales como libros de texto, opiniones y medios de comunicación	1. No se cuestiona el mundo, éste es entendible tal cual como se encuentra.
	2. No hay escepticismo, su imagen del mundo la respalda con información sin cuestionarla.
	3. Dudan, critican, reflexionan acerca de lo que piensan, aunque se basan en procedimientos éstos son escasos.
	4. Dudan, critican, reflexionan los contenidos disciplinares, basados en la construcción del propio conocimiento, reconociendo las limitaciones de los diferentes procedimientos.
2. Construir conocimiento dentro del dominio Uso de estrategias, métodos, técnicas y procedimientos empleados para la construcción del conocimiento.	1. La construcción de conocimiento está basada en el ensayo y error.
	2. Les dan importancia a los procedimientos, pero los utilizan de manera mecánica para la construcción de conocimiento.
	3. Tienden a usar un método para construir conocimiento.
	4. Usan métodos simples en forma sofisticada, se hacen discusiones acerca de éstos y sus construcciones.
3. Validar el conocimiento en el dominio Uso de métodos sistemáticos y argumentos racionales	1. No validan el conocimiento, las cosas son aceptables por propia evidencia.
	2. Hacen juicios estéticos, por medio de fuentes de información y se centran en la experiencia inmediata.
	3. Usan normas de validación mecánicamente, viendo estas normas como ciertas e incuestionables.
	4. Validan el conocimiento por medio de métodos y criterios, los seleccionan de forma argumentada y los presentan cuestionables.

Tabla No. 2. Niveles de comprensión de los criterios que hacen parte de la dimensión de métodos. Adaptación de Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner (1999e).

Propósitos: De acuerdo con Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner (1999f) la dimensión de propósitos se basa en la convicción de que el conocimiento es una herramienta para explicar, reinterpretar y operar en el mundo, demostrando dominio de su comprensión.

PROPÓSITOS	
Criterios	Niveles de comprensión que alcanzan los estudiantes
1. Conciencia de los propósitos del conocimiento Intereses que apuntan a la investigación.	1. No son conscientes de lo que aprenden.
	2. Aunque se reconocen las cuestiones y los objetivos no se vinculan con la investigación.
	3. Impulsan la construcción del conocimiento, reflexionando sobre la importancia de su aprendizaje.
	4. Son autónomos a la hora de identificar cuestiones y objetivos para la reflexión acerca de lo que aprenden, las relacionan como un aspecto significativo de su formación.
2. Múltiples usos del conocimiento Consecuencias del uso de conocimiento – Variedad de usos posibles de lo que aprenden.	1. No exploran el potencial de lo que aprenden, se limitan a las tareas.
	2. Empiezan a conectar lo que aprenden con sus experiencias cotidianas, siempre y cuando estén en la escuela.
	3. Relacionan lo que aprenden en la escuela de forma creativa con su vida cotidiana.
	4. Utilizan el conocimiento de maneras nuevas y múltiples, para predecir la naturaleza, orientar la acción humana o mejorar su entorno social y el mundo físico.
3. Buen manejo y autonomía Manejo y autonomía para usar lo que saben – Posición personal alrededor de lo que aprenden.	1. El uso del conocimiento requiere apoyo, no hay posiciones personales acerca de lo que aprenden.
	2. Necesitan un poco de ayuda, pero ven lejanos los planteamientos de expertos en los diferentes dominios.
	3. Usan lo que aprenden libremente, pero no consideran el conocimiento del otro.
	4. Se adueñan de su propio conocimiento, consideran otras posiciones y son conscientes de la relación entre sujetos para la construcción del conocimiento.

Tabla No. 3. Niveles de comprensión de los criterios que hacen parte de la dimensión de propósitos. Adaptación de Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner (1999g).

Formas de comunicación: Evalúa el uso por parte de los alumnos de sistemas de símbolos para expresar lo que saben, dentro de géneros o tipos de desempeños establecidos. (Stone, Boix & Gardner, 1999h).

FORMAS DE COMUNICACIÓN	
Criterios	Niveles de comprensión que alcanzan los estudiantes
1. Dominio de los géneros de realización Actividades comunicativas orales y escritas para dar cuenta de su conocimiento	1. No dan importancia a sus actos comunicativos.
	2. Siguen pautas establecidas para comunicarse, éstas no se hacen de forma voluntaria.
	3. Se mueven con flexibilidad en la realización de los actos de comunicación.
	4. Tienen flexibilidad y expresividad con diferentes formas de comunicación, se apropian de su proceso comunicativo.
2. Efectivo uso de sistemas de símbolos Representar el conocimiento a partir de analogías	1. No hay claridad en la utilización de símbolos, no se ve ninguna intención comunicativa.
	2. Familiaridad con algunos símbolos, sólo utilizan un sistema para expresarse.
	3. Dominio de diferentes símbolos, aunque su atención la remiten en un sistema que interfiere con el desempeño.
	4. Dominio flexible en diferentes formas de representación, mostrando un dominio perfecto en un sistema específico.
3. Consideración de la audiencia y el contexto Contexto comunicativo en sus presentaciones orales y escritas.	1. Comunicación egocéntrica, los públicos y contextos no se toman en cuenta.
	2. La audiencia se toma en cuenta, pero se espera que el público se adecue al pensamiento propio.
	3. Toman en cuenta algunos aspectos del público, pero no se consideran a ellos mismos como público de otros.
	4. Toman en cuenta al público, se consideran público y son capaces de ofrecer una retroalimentación reflexiva.

Tabla No. 4. Niveles de comprensión de los criterios que hacen parte de la dimensión de formas de comunicación. Adaptación de Marta Stone, Verónica Boix y Howard Gardner (1999i).

Teniendo en cuenta las dimensiones de comprensión, que sirven como guía para evaluar las actividades que se llevan a cabo los estudiantes en la estrategia de aula, es posible conectar todos los aspectos fundamentales que hacen parte de la Enseñanza para la Comprensión (particularmente los cuatro pilares) y ajustarlos, de manera tal que permitan crear métodos de enseñanza que generen la comprensión de un tema, buscar estrategias que den paso al desarrollo del conocimiento científico de temas actuales y finalmente generar interés por parte de los estudiantes alrededor de un tema que hace parte de la física contemporánea.

CAPÍTULO 4

Diseño de estrategia de aula desde el enfoque de Enseñanza para la Comprensión

En este capítulo se presentan las etapas de Contextualización, Diseño y Ejecución del plan de acción de la estrategia de aula que se construye desde el enfoque pedagógico de Enseñanza para la Comprensión.

Contextualización de la población

El último año (grado undécimo) que cursan los estudiantes en el Colegio Bilingüe Clermont, tiene un total de 31 adolescentes (16 mujeres y 15 hombres), que tienen edades entre los 16 y 18 años. Se caracterizan por ser estudiantes receptivos, participativos, interesados en su aprendizaje, responsables, seguros de sí mismos, innovadores, reflexivos y respetuosos; cualidades que se hacen evidentes en la clase de física. Particularmente manifiestan actitudes en la clase como:

- La escucha asertiva y la participación activa ante situaciones que plantean sus compañeros y docente, con preguntas que aclaren sus dudas con respecto a temas específicos o para aumentar su bagaje conceptual y entender a partir de ejemplos de la cotidianidad los conceptos vistos.
- Entrega puntual y diligente de las actividades que se plantean en la clase o para desarrollar como trabajo adicional en casa.
- Toma de apuntes en sus cuadernos de manera organizada, creatividad para la presentación y elaboración de actividades que den cuenta de los conocimientos adquiridos en la clase y respeto ante las opiniones, comentarios y observaciones de sus pares y docente.

Para el desarrollo de la implementación, es importante mencionar que los estudiantes se organizaron en grupos de 3 a 5 personas, para la ejecución de las clases que hacen parte del plan de acción que se presenta a continuación.

Diseño del plan de acción: Plan general

A partir del enfoque pedagógico de Enseñanza para la Comprensión, se presenta un esquema general de la implementación que se lleva a cabo en el aula alrededor del tema de superconductividad. En este se presenta:

- 1) la asignatura desde la cual se abordará la temática.
- 2) La meta de comprensión abarcadora, en la que se presenta lo que se espera que los estudiantes comprendan al finalizar la implementación.
- 3) El tópico generativo, que de acuerdo con Blythe (1999b) debe proporcionar a los estudiantes la oportunidad de hacer conexiones con otras clases y con la vida cotidiana.
- 4) Las metas de comprensión de la unidad, que hacen referencia a lo que se espera que los estudiantes comprendan en las diferentes etapas que se llevan a cabo.
- 5) Los desempeños que permiten que los estudiantes construyan y demuestren su comprensión de distintas maneras; en esta última parte, se incluyen los desempeños particulares que los estudiantes realizan en cada una de las etapas del proceso, además de los criterios que hacen parte de la evaluación diagnóstica continua que evalúa las sesiones que se desarrollen en el aula de clase.

Asignatura	Física grado undécimo
Meta de comprensión abarcadora	Los estudiantes comprenderán el fenómeno de la superconductividad a partir de la puesta en práctica de experimentos que los ayuden a entender conceptos de la física clásica y contemporánea. Además, comprenderán la relación entre el fenómeno de la superconductividad, los avances tecnológicos actuales y las implicaciones sociales que trae el desarrollo de la ciencia en los diferentes contextos mundiales.
Tópico Generativo	Superconductividad: Principios físicos y sus aplicaciones.
Metas de comprensión unidad	1. ¿Cuáles son los principios físicos clásicos, desde el campo del electromagnetismo, que son necesarios para explicar el fenómeno de la superconductividad? Los alumnos comprenderán conceptos del electromagnetismo a partir de actividades experimentales.
	2. ¿Cómo se puede entender microscópicamente el fenómeno de la superconductividad? Los alumnos comprenderán los conceptos de la mecánica cuántica necesarios a partir de actividades experimentales, particularmente con el uso de simulaciones.
	3. ¿Cómo se puede explicar el fenómeno de la superconductividad desde los principios físicos clásicos y contemporáneos? y ¿qué relación presenta este fenómeno con el mundo actual? Los alumnos comprenderán el fenómeno de la superconductividad a partir de algunos conceptos de la física clásica y contemporánea y logran conectar sus conocimientos con aplicaciones presentes en la actualidad.

Etapa del desempeño	Meta	Desempeños de comprensión	Evaluación Diagnóstica Continua
Desempeños preliminares Física clásica.	1	Los estudiantes realizan experimentos en los cuales son capaces de entender los principios físicos del electromagnetismo con los cuales se puede explicar el fenómeno de la superconductividad.	Contenido: -Creencias intuitivas transformadas Método: -Construir conocimiento dentro del dominio -Sano escepticismo Propósitos: -Múltiples usos del conocimiento -Conciencia de los propósitos del conocimiento Comunicación: -Dominio de los géneros de realización -Consideración de la audiencia y el contexto -Efectivo uso de sistemas de símbolos
Desempeños de Investigación guiada Conceptos de superconductividad	2	Los estudiantes describen y organizan características de trabajos prácticos relacionados con los conceptos contemporáneos de la física que explican el fenómeno de la superconductividad.	Contenido: -Redes conceptuales coherentes y ricas Método: -Validar el conocimiento en el dominio Propósito: -Múltiples usos del conocimiento Comunicación: -Efectivo uso de sistemas de símbolos
Proyecto final de síntesis Explicación de superconductividad a partir de conceptos clásicos y contemporáneos.	3	Los alumnos en grupos reflexionan alrededor del fenómeno de la superconductividad, explicándolo desde los principios de la física clásica y contemporánea y analizando sus aplicaciones en el mundo actual.	Contenido: -Creencias intuitivas transformadas -Redes conceptuales coherentes y ricas Método: -Sano escepticismo -Validar el conocimiento en el dominio Propósito: -Buen manejo y autonomía -Conciencia de los propósitos del conocimiento Comunicación: -Consideración de la audiencia y el contexto

Tabla No. 5. Esquema general de la unidad de superconductividad aplicada a los estudiantes de undécimo del Colegio Bilingüe Clermont.

Como resultado del plan general de acción, se diseñan nueve clases que tienen como objetivo principal, abordar con los estudiantes de último año del Colegio Bilingüe Clermont temas relacionados con electromagnetismo y física moderna que den paso a la comprensión de la superconductividad vista como un tópico de la física contemporánea.

Planes específicos

A continuación se presenta un esquema de los planes de clase particulares que se desarrollan para cada una de las etapas del proceso de comprensión de los estudiantes alrededor del tema de superconductividad.

CLASE 1			
Conocimientos previos:	Los estudiantes tienen conocimientos de cinemática, dinámica, energía. Cuentan con algunas nociones de electrostática.		
Título:	Carga eléctrica y sus manifestaciones.		
Materiales:	Hojas iris, generador de Van de Graff, esfera de descarga, esfera aislada, electroscopio, dos soportes universales con un hilo aislante y una tira de polietileno, una piel de conejo, un paño de franela, otro de seda y un trozo de polietileno, barras de vidrio, acrílico y plástico PVC, una punta metálica afilada, un muestreador, una cajetilla de fósforos, fibras de algodón.		
Introducción:	En la clase se pretende que los estudiantes comprendan los conceptos relacionados con electrostática, particularmente el concepto de carga eléctrica, a partir de diferentes prácticas experimentales.		
Desarrollo			
Inicio:	Actividad:	Cierre:	
Para iniciar y conectar a los estudiantes con el tema, se propone una pequeña discusión acerca de cuánto saben acerca de las cargas y fuerzas eléctricas.	Para la actividad central se tomará una adaptación de la práctica 1 del Manual de experimentos de electromagnetismo del ITAM (Reyes, C; González, A; Carrillo, F., 2017a). La guía de trabajo se muestra en el <i>Anexo 1</i> .	Después de realizar la actividad, se genera una socialización a través de las preguntas de la hoja de actividad 1 y se hace una discusión alrededor de ellas.	
Evaluación Diagnóstica Continua			
Contenido:	Propósitos:	Métodos:	Formas de comunicación:
Creencias intuitivas transformadas: Transformación de las creencias intuitivas de los estudiantes a partir de las teorías y conceptos.	Múltiples usos del conocimiento: Consecuencias del uso de conocimiento – Variedad de usos posibles de lo que aprenden.	Construir conocimiento dentro del dominio: Uso de estrategias, métodos, técnicas y procedimientos empleados por profesionales para la construcción del conocimiento.	Dominio de los géneros de realización: Actividades comunicativas orales y escritas para dar cuenta de su conocimiento.

Tabla No. 6. Clase No. 1.

CLASE 2			
Conocimientos previos:	Los estudiantes tienen claridad en los conceptos relacionados con la carga eléctrica y la forma como ésta se transfiere.		
Título:	Superficies equipotenciales y campo eléctrico.		
Materiales:	Multímetro, cables banana-caimán, caja con arena, electrodos de distintas características.		
Introducción:	En la clase se pretende que los estudiantes comprendan los conceptos relacionados con electrostática, particularmente el concepto de campo y potencial eléctrico, a partir de diferentes prácticas experimentales.		
Desarrollo			
Inicio:	Actividad:	Cierre:	
Se muestra un video corto (Reich, 2013) en el cual se explica el efecto gravitacional de los objetos sobre otros, de manera que los estudiantes realicen una analogía de este suceso con la interacción entre las cargas eléctricas.	La clase inicia con una simulación de Phet (University of Colorado, 2019a), en la cual se evidencia la diferencia entre campo y potencial eléctricos de forma visual. Para la actividad central se tomará una sección de la práctica 2 del Manual de experimentos de electromagnetismo del ITAM (Reyes, C; González, A; Carrillo, F., 2017b).	Después de realizar la actividad, se genera una socialización a través de las preguntas de la hoja de actividad 2 y se hace una discusión alrededor de ellas. La guía de trabajo se muestra en el <i>Anexo 2</i> .	
Evaluación Diagnóstica Continua			
Contenido:	Propósitos:	Métodos:	Formas de comunicación:
Creencias intuitivas transformadas: Transformación de las creencias intuitivas de los estudiantes a partir de las teorías y conceptos.	Múltiples usos del conocimiento: Consecuencias del uso de conocimiento – Variedad de usos posibles de lo que aprenden	Sano escepticismo: Hacia sus propias creencias y hacia fuentes de conocimiento tales como libros de texto, opiniones y medios de comunicación.	Consideración de la audiencia y el contexto: Contexto comunicativo en sus presentaciones orales y escritas.

Tabla No. 7. Clase No. 2.

CLASE 3			
Conocimientos previos:	Los estudiantes reconocen la existencia del campo eléctrico como una perturbación en el espacio debida a las cargas eléctricas.		
Título:	Resistencia, resistividad y variación de la resistencia con la temperatura		
Materiales:	3 m de alambre de nicromo de calibre 32, cables banana-caimán, multímetro, 2 soportes universales, electrodos superficiales, alambre de hierro, fuente de corriente, amperímetro, óhmetro.		
Introducción:	En la clase se pretende que los estudiantes comprendan los conceptos relacionados con electrostática, particularmente el concepto de resistencia, resistividad y variación de la resistencia con la temperatura, a partir de diferentes prácticas experimentales.		
Desarrollo			
Inicio:	Actividad:	Cierre:	
Se explican las actividades experimentales que se llevan a cabo en la clase, además de los datos y gráficos que deben tener en cuenta para la hoja de actividad 3. La guía de trabajo se muestra en el <i>Anexo 3</i> .	En primer lugar, los estudiantes realizarán una adaptación de la primera parte de la práctica 5 del Manual de experimentos de electromagnetismo del ITAM (Reyes, C; González, A; Carrillo, F., 2017c) y en segundo lugar observarán una simulación relacionada con los temas propuestos. (University of Colorado, 2019b).	Los estudiantes a partir de las actividades experimentales, presentan los resultados obtenidos y las conclusiones respectivas.	
Evaluación Diagnóstica Continua			
Contenido:	Propósitos:	Métodos:	Formas de comunicación:
Creencias intuitivas transformadas: Transformación de las creencias intuitivas de los estudiantes a partir de las teorías y conceptos.	Conciencia de los propósitos del conocimiento: Intereses que apuntan a la investigación	Construir conocimiento dentro del dominio: Uso de estrategias, métodos, técnicas y procedimientos empleados por profesionales para la construcción del conocimiento.	Efectivo uso de sistemas de símbolos: Representar el conocimiento a partir de analogías

Tabla No. 8. Clase No. 3.

CLASE 4			
Conocimientos previos:	Los estudiantes tienen conocimiento de las cargas eléctricas, los campos que se generan a partir de éstas, los circuitos eléctricos, la relación entre corriente, voltaje y resistencia y cómo la resistencia y la resistividad varían con la temperatura.		
Título:	Introducción al magnetismo		
Materiales:	Imanes de diferentes formas, limadura de hierro, hojas blancas, computador y hoja de actividad.		
Introducción:	En la clase se pretende que los estudiantes comprendan los conceptos relacionados con magnetismo, particularmente el concepto de campo magnético, la interacción entre imanes y sus características fundamentales, a partir de diferentes prácticas experimentales.		
Desarrollo			
Inicio:	Actividad:	Cierre:	
Se explican las actividades experimentales y las simulaciones que se llevarán a cabo en la clase. La guía de trabajo se muestra en el Anexo 4.	En la actividad central los estudiantes llevarán a cabo las actividades de <i>magnetismo</i> presentadas en Leonardo da Vinci programme (2011a) al mismo tiempo registran en la hoja de actividad su progreso.	Una vez hayan concluido las actividades de la página, comprobarán la existencia del campo magnético experimentalmente con los materiales que se indicaron al inicio.	
Evaluación Diagnóstica Continua			
Contenido:	Propósitos:	Métodos:	Formas de comunicación:
Creencias intuitivas transformadas: Transformación de las creencias intuitivas de los estudiantes a partir de las teorías y conceptos.	Buen manejo y autonomía: Manejo y autonomía para usar lo que saben – Posición personal alrededor de lo que aprenden.	Sano escepticismo: Hacia sus propias creencias y hacia fuentes conocimiento tales como libros de texto, opiniones y medios de comunicación.	Dominio de los géneros de realización: Actividades comunicativas orales y escritas para dar cuenta de su conocimiento.

Tabla No. 9. Clase No. 4.

CLASE 5			
Conocimientos previos:	Los estudiantes identifican las propiedades de los imanes, incluyendo la manifestación del campo magnético.		
Título:	Explicación de la superconductividad		
Materiales:	Computador y hoja de actividad.		
Introducción:	En la clase se pretende que los estudiantes comprendan que los conceptos vistos de electricidad, magnetismo y los cambios de temperatura, son principios físicos que subyacen el fenómeno de la superconductividad.		
Desarrollo			
Inicio:	Actividad:	Cierre:	
Se explican las actividades experimentales que se realizan en la clase a partir de simulaciones. La guía de trabajo se muestra en el <i>Anexo 5</i> .	En la actividad central los estudiantes llevarán a cabo las actividades 2 al 10 de explicación de superconductividad presentadas en Leonardo da Vinci programme (2011b) al mismo tiempo registran en la hoja de actividad su progreso, de manera que se pueda evidenciar la transformación de conocimiento desde las ideas intuitivas hasta la comprensión del Efecto Meissner-Ochsenfeld.	Por grupos de trabajo los estudiantes presentan los resultados obtenidos y las conclusiones respectivas relacionadas con el efectos Meissner-Ochsenfeld.	
Evaluación Diagnóstica Continua			
Contenido:	Propósitos:	Métodos:	Formas de comunicación:
Creencias intuitivas transformadas: Transformación de las creencias intuitivas de los estudiantes a partir de las teorías y conceptos.	Buen manejo y autonomía: Manejo y autonomía para usar lo que saben – Posición personal alrededor de lo que aprenden.	Sano escepticismo: Hacia sus propias creencias y hacia fuentes conocimiento tales como libros de texto, opiniones y medios de comunicación.	Dominio de los géneros de realización: Actividades comunicativas orales y escritas para dar cuenta de su conocimiento

Tabla No. 10. Clase No. 5.

CLASE 6		
Conocimientos previos:	Los estudiantes tienen conocimientos relacionados con el efecto Meissner. Tienen nociones sobre diamagnetismo perfecto, Estado Meissner mixto y diferencia entre el superconductor y el diamagnético perfecto.	
Título:	Tipos de superconductores y vórtices	
Materiales:	No aplica	
Introducción:	En la clase se pretende que los estudiantes comprendan que de acuerdo con cada tipo de material superconductor existen una serie de características físicas que son necesarias tener en cuenta.	
Desarrollo		
Inicio:	Actividad:	Cierre:
Se retoman las actividades realizadas en la clase anterior en la cual los estudiantes hacen una aproximación conceptual a los principios físicos del efecto Meissner observando a partir de simulaciones las características de los materiales en estado superconductor.	Se muestra a los estudiantes una presentación en power point en la cual se pueden apreciar las características físicas y las diferencias entre cada tipo de superconductor. Además se presentará información acerca de la definición de los vórtices en los materiales en estado superconductor.	Se resuelven preguntas alrededor de las diferencias de los tipos de superconductores y de los vórtices. Los estudiantes escriben una conclusión alrededor del tema.
Evaluación Diagnóstica Continua		
Contenido:	Propósitos:	Formas de comunicación:
Redes conceptuales coherentes y ricas: Razonamiento dentro de redes conceptuales organizadas teniendo en cuenta detalles, visiones generales ejemplos y generalizaciones.	Buen manejo y autonomía: Manejo y autonomía para usar lo que saben – Posición personal alrededor de lo que aprenden.	Dominio de los géneros de realización: Actividades comunicativas orales y escritas para dar cuenta de su conocimiento.

Tabla No. 11. Clase No. 6.

CLASE 7		
Conocimientos previos:	Los estudiantes además del efecto Meissner, reconocen los tipos de superconductores y sus características principales.	
Título:	Pares de Cooper.	
Materiales:	Lectura “Pares de Cooper” – Cámara fotográfica.	
Introducción:	En la clase se pretende que los estudiantes comprendan a qué hace referencia la atracción de los electrones en los materiales que se encuentran en estado superconductor.	
Desarrollo		
Inicio:	Actividad:	Cierre:
Se hace entrega de la lectura que deben hacer los estudiantes alrededor de los pares de Cooper. La lectura está disponible en el <i>Anexo 6</i> .	En grupos de trabajo los estudiantes hacen la lectura de Pares de Cooper disponible en la página de cuentos cuánticos (2013) en el cual se hace una presentación de los pares de Cooper a partir de gráficos y explicaciones sencillas para estudiantes.	Los estudiantes responder preguntas relacionadas con los pares de Cooper, con el objetivo de verificar su nivel de comprensión. Las respuestas son grabadas en videos.
Evaluación Diagnóstica Continua		
Contenido:	Métodos:	Formas de comunicación:
Redes conceptuales coherentes y ricas: Razonamiento dentro de redes conceptuales organizadas teniendo en cuenta detalles, visiones generales ejemplos y generalizaciones	Construir conocimiento dentro del dominio: Uso de estrategias, métodos, técnicas y procedimientos empleados por profesionales para la construcción del conocimiento.	Dominio de los géneros de realización: Actividades comunicativas orales y escritas para dar cuenta de su conocimiento

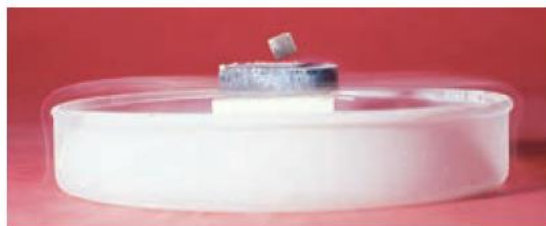
Tabla No. 12. Clase No. 7.

El experimento realizado en la siguiente clase (clase 8), es considerado como la actividad central de toda la implementación, ya que proporciona a los estudiantes un acercamiento a la superconductividad a partir de la observación del fenómeno, de la manipulación de los materiales y de la discusión que se da en el momento de la realización de la práctica. El material que se empleó en la clase, hace parte de un catálogo de experimentos científicos diseñados para la enseñanza de las ciencias en escuela media y alta llamado CAROLINA STEM CHALLENGE. El kit de superconductividad implementado constaba de un disco superconductor de alta temperatura (BSCCO), un imán de neodimio, unas pinzas especiales para las bajas temperaturas y un disco de petri. El nitrógeno líquido empleado, no estaba incluido en el kit, sin embargo fue sencillo adquirirlo. En la figura 4.1 se muestra la imagen del experimento junto con su descripción.

CLASE 8		
Conocimientos previos:	Los estudiantes pueden explicar el comportamiento de los superconductores a partir de los pares de Cooper.	
Título:	Experimento	
Materiales:	Superconductor, caja de Petri, pinzas especiales, imanes de neodimio, nitrógeno líquido.	
Introducción:	Los alumnos comprenderán el fenómeno de la superconductividad a partir de la observación del fenómeno y lograrán explicar los conceptos vistos previamente en clase.	
Desarrollo		
Inicio:	Actividad:	Cierre:
Se hace la presentación de los materiales que se necesitan para realizar el experimento y se procede a realizar el experimento con los estudiantes de grado undécimo.	Los estudiantes observan el fenómeno de levitación magnética y generan algunas conclusiones sobre el tipo de superconductor con el cual se está realizando el experimento, los campos magnéticos, la relación de la resistividad con la temperatura y el efecto Meissner-Ochsenfeld.	Se hace cierre de la actividad escuchando los comentarios de los estudiantes alrededor del experimento.
Evaluación Diagnóstica Continua: No aplica		

Tabla No. 13. Clase No. 8.

Super Conductor



756541 BSCCO Levitation Kit (in use)

BSCCO Levitation Kit

Demonstrates the astonishingly superior Meissner levitation capabilities of the Bismuth Strontium Calcium Copper Oxide (BSCCO) superconductor. With instruction manual. Requires liquid nitrogen.

756541 Per kit \$90.25

Figura 4.1. Experimento de superconductividad. Tomado de catálogo CAROLINA STEM CHALLENGE.

CLASE 9			
Conocimientos previos:	Los estudiantes son capaces de explicar el fenómeno de la superconductividad a partir de la atracción y repulsión de cargas eléctricas, cambio de la resistencia en función de la temperatura, efecto Meissner-Ochsenfeld, campos magnéticos, tipos de superconductores y pares de Cooper.		
Título:	Actividad final		
Materiales:	Cámara fotográfica		
Introducción:	Los estudiantes comprenderán la superconductividad teniendo en cuenta los temas vistos en clase, dan cuenta de sus conocimientos a partir de una presentación creativa.		
Desarrollo			
Inicio:	Actividad:	Cierre:	
Cada grupo prepara una presentación creativa para relacionar los conceptos vistos a lo largo de la estrategia didáctica sobre la superconductividad, de manera que puedan dar cuenta del manejo conceptual que tienen para explicar completamente el fenómeno estudiando.	Los estudiantes presentan los trabajos realizados a sus compañeros, teniendo en cuenta la relación de uno de los temas vistos durante la estrategia didáctica con la superconductividad.	Los estudiantes presentan de manera creativa las conclusiones acerca de la superconductividad.	
Evaluación Diagnóstica Continua			
Contenido:	Propósitos:	Métodos:	Formas de comunicación:
Creencias intuitivas transformadas: Transformación de las creencias intuitivas de los estudiantes a partir de las teorías y conceptos. Redes conceptuales coherentes y ricas: razonamiento dentro de redes conceptuales organizadas teniendo en cuenta detalles, visiones generales, ejemplos y generalizaciones.	Múltiples usos del conocimiento: Consecuencias del uso de conocimiento – Variedad de usos posibles de lo que aprenden. Conciencia de los propósitos del conocimiento: intereses que apuntan a la investigación.	Construir conocimiento dentro del dominio: Uso de estrategias, métodos, técnicas y procedimientos empleados por profesionales para la construcción del conocimiento. Validar el conocimiento en el dominio: uso de métodos sistemáticos y argumentos racionales.	Dominio de los géneros de realización: Actividades comunicativas orales y escritas para dar cuenta de su conocimiento. Consideración de la audiencia y el contexto: Contexto comunicativo en sus presentaciones orales y escritas.

Tabla No. 14. Clase No. 9.

CLASE 10		
Conocimientos previos:	Los estudiantes son capaces de discutir acerca de las aplicaciones de los superconductores en la actualidad	
Título:	Aplicaciones	
Materiales:	Cámara fotográfica	
Introducción:	Los alumnos comprenderán las aplicaciones actuales de la superconductividad.	
Desarrollo		
Inicio:	Actividad:	Cierre:
Los estudiantes buscan información alrededor de las aplicaciones de la superconductividad .	Los estudiantes presentan a sus compañeros la información consultada acerca de las aplicaciones de la superconductividad en contextos actuales.	Se hace cierre de la actividad escuchando los comentarios de los estudiantes alrededor del tema.
Evaluación Diagnóstica Continua: No aplica		

Tabla No. 15. Clase No. 10.

Las anteriores tablas muestran de forma sintetizada, las actividades que se llevan a cabo en cada una de las clases que hacen parte de la implementación. Es importante mencionar que no necesariamente una clase corresponde a una hora de clase con los estudiantes de undécimo grado, ya que la totalidad de las clases se abordaron durante tres meses y medio, tiempo destinado en el currículo para abordar la rama de electromagnetismo para este curso de escuela media. Por otro lado, en las clases cuya evaluación diagnóstica continua no aplica, se realizaron actividades interesantes en las cuales los estudiantes voluntariamente daban su opinión alrededor del fenómeno estudiado o de los temas abordados, razón por la cual no se establecieron categorías para evaluar la comprensión de los estudiantes. Las descripciones del desarrollo de cada una de las clases, pueden profundizarse en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5

Descripción de la ejecución del plan de acción y sistematización de resultados

El plan de acción explicado en el capítulo anterior, muestra una serie de actividades guiadas por parte de la docente, cuyo objetivo principal era que progresivamente los estudiantes adquirieran el conocimiento necesario para poder dar cuenta del fenómeno de la superconductividad. En este capítulo se realizará una explicación detallada del desarrollo de cada una de las clases y los resultados que se obtuvieron por parte de los estudiantes.

Clase 1: Carga eléctrica y sus manifestaciones.

Actividad: Los estudiantes llevaron a cabo una serie de actividades experimentales, como puede verse en la figura 5.1, a partir de la guía de trabajo que se presente en el anexo 1.



Figura 5.1. Actividades experimentales clase 1

Inicialmente se les solicitó a los estudiantes que escribieran sus conocimientos previos acerca de los conceptos de carga y fuerza eléctrica.

Los ejemplos de las ideas que ellos presentaron se ven en las figuras 5.2 a 5.5, en las cuales es posible observar que los estudiantes tienen conceptos aproximados de carga y fuerza eléctrica. Sin embargo, en algunos casos (Figura 5.4 y 5.5) puede evidenciarse que cambian el término de carga por polo y que mencionan que cargas iguales se atraen y opuestas se repelen.

¿Qué saben acerca de la carga y la fuerza eléctrica?
Sabemos que puede haber carga positiva, negativa o neutra; así mismo, la fuerza eléctrica depende de la cantidad de carga.

Figura 5.2. Preconcepto de carga y fuerza eléctrica de grupo 5

¿Qué saben acerca de la carga y la fuerza eléctrica?
Las cargas positivas y negativas, dadas por los protones y electrones, respectivamente, la fuerza que se genera por la reacción de las cargas positivas y negativas.

Figura 5.3. Preconcepto de carga y fuerza eléctrica del grupo 2

¿Qué saben acerca de la carga y la fuerza eléctrica?
Sabemos que en la carga existe el polo positivo y el polo negativo. También que la electricidad se relaciona con el magnetismo.

Figura 5.4. Preconcepto de carga y fuerza eléctrica del grupo 8

¿Qué saben acerca de la carga y la fuerza eléctrica?
Cargas eléctricas del mismo tipo se atraen, mientras que cargas de diferentes tipos se repelen eg: (-) y (+) se atraen. La fuerza eléctrica es un derivado de una de las cuatro fuerzas principales, la fuerza electromagnética.

Figura 5.5. Preconcepto de carga y fuerza eléctrica del grupo 1.

Siguiendo con la guía de trabajo, los estudiantes debían llevar a cabo una práctica de laboratorio, en la cual observarían que al acercar un objeto cargado a una tira de polietileno, ésta se iba a cerrar o abrir, ante lo cual, debían indagar acerca del tipo de fuerza que se evidenciaba a partir de la observación. De los 8 grupos de trabajo 4 afirmaron que la fuerza que se evidenciaba en el experimento correspondía a la electrostática, mientras que los otros 4 afirmaron que se debía a otro tipos de fuerza, como fricción, electromagnética, magnética, gravitacional y tensión. Además, 7 de los 8 grupos afirmaron que con el experimento se podían observar 2 tipos de carga la positiva y la negativa. Estas explicaciones, permiten concluir que los estudiantes relacionan la atracción y la repulsión que observan en el experimento con el comportamiento de las cargas cuando son iguales u opuestas. Sin embargo, era necesario formalizar dichas ideas a partir de una lectura del libro Fundamentos de Física, escrito por Serway & Vuille (2018a), en la cual se menciona una explicación de: las propiedades de las cargas eléctricas, las características de los aislantes y conductores y los tipos de carga. Una vez terminada esta lectura, se realizó una segunda práctica de laboratorio, en la cual los estudiantes debían observar, describir y escribir conclusiones del experimento con el generador de Van de Graaff (contruido con materiales reciclables) y su funcionamiento, algunos resultados fueron:

7. ¿Qué tipo de carga tiene la esfera del generador de Van de Graff y cuál la base? Describa el funcionamiento del aparato.

La base es negativa y la esfera es positiva. Una polea activada por un motor mueve una banda a través de agujas metálicas, cargadas positivamente. Las cargas negativas se atraen a estas agujas, dejando la base con los negativos y creando un campo positivo que sube al ~~top~~ domo.

8. Aproxime la esfera metálica aislada, neutra, a la esfera cargada del generador y demuestre que un extremo de ésta tiene exceso de electrones y el otro manifiesta deficiencia de éstos. ¿Cómo se puede comprobar esto?

Si se acerca un elemento neutro al extremo deficiente de él se evidencia el salto de los electrones al neutro.

Figura 5.6. Explicación del funcionamiento del Generador y explicación de salto de electrones realizado por el grupo 2

7. ¿Qué tipo de carga tiene la esfera del generador de Van de Graff y cuál la base? Describa el funcionamiento del aparato.

La carga de la esfera del generador de Van de Graff es positiva. Ya que en la base del generador existe un cepillo metálico que mantiene las cargas negativas en la base, generando que por la banda de fomi solo pasen las cargas positivas. Por esta razón la carga de la esfera del generador de Van de Graff es positiva.

8. Aproxime la esfera metálica aislada, neutra, a la esfera cargada del generador y demuestre que un extremo de ésta tiene exceso de electrones y el otro manifiesta deficiencia de éstos. ¿Cómo se puede comprobar esto?

La esfera metálica tenía deficiencia de electrones y el generador exceso, esto se puede comprobar porque al acercar la esfera metálica al generador la carga negativa se pasó a la esfera.

Figura 5.7. Explicación del funcionamiento del Generador y explicación de salto de electrones realizado por el grupo 4

7. ¿Qué tipo de carga tiene la esfera del generador de Van de Graff y cuál la base? Describa el funcionamiento del aparato.

La esfera del generador de Van de Graff está cargada positivamente, y en la base almacena los electrones, cargándola abajo negativamente. Al frotar el cepillo de aluminio con fomi, la fricción produce que la carga positiva se almacene en la esfera del generador. Por el otro lado, impide a los electrones seguir arriba y son almacenados abajo.

8. Aproxime la ^{mano neutra de Sam} esfera metálica aislada, neutra, a la esfera cargada del generador y demuestre que un extremo de ésta tiene exceso de electrones y el otro manifiesta deficiencia de éstos. ¿Cómo se puede comprobar esto?

Al aproximar la mano neutra de Samuel, las partículas negativas saltan al generador debido a que éste está cargado negativamente. Se comprueba que hay exceso de electrones debido a que vemos que éstos saltan al generador. De la misma manera, el mismo brillo comprueba que la mano de Samuel solo quedó cargada positivamente. En realidad queda neutra. Los electrones saltan de su mano para que la esfera del generador quede neutra.

Figura 5.8. Explicación del funcionamiento del Generador y explicación de salto de electrones realizado por el grupo 1

Mientras los estudiantes realizaban la actividad, uno de los estudiantes acercó a mano al generador observando que de ésta saltaban los electrones, lo cual generó que los estudiantes escribieran conclusiones con respecto a la transferencia de carga, como puede verse en la Figura 5.8.

Durante toda la práctica experimental que se llevó a cabo en la clase, los estudiantes trabajaron por grupos y tuvieron supervisión constante por parte de la profesora, quien iba indicando los pasos que debían seguir. Es importante mencionar que se realizó retroalimentación en el proceso, con el fin de garantizar que los conceptos fueran discutidos y comprendidos. Finalmente, los estudiantes debían cerrar la actividad de forma individual escribiendo conclusiones relacionadas con la carga eléctrica, tipos de carga eléctrica, procesos de carga y procesos de descarga. A partir de esta última actividad, es posible aplicar la evaluación diagnóstica continua, en la cual se pudo observar el avance que tuvieron los estudiantes en la clase 1.

Evaluación diagnóstica continua clase 1: Como se mencionó en el capítulo de EpC, cada una de las dimensiones que se evalúan en la puesta en práctica de la implementación, tienen cuatro niveles de comprensión, en este caso se presentarán los resultados de los 31 estudiantes de grado undécimo.

La primera dimensión que se evaluó fue **Contenidos**, en la cual los estudiantes debían demostrar una transformación en sus ideas intuitivas sobre carga y fuerza eléctrica (ver criterio 1 en Tabla No. 1). La siguiente gráfica muestra porcentualmente el posicionamiento de los estudiantes en cinco niveles de comprensión. Los niveles del 1 al 4 dan cuenta de los niveles mencionados en la explicación de la evaluación diagnóstica continua y el nivel cero indica el porcentaje de aquellos estudiantes que por razones ajenas a la clase no pudieron completar la actividad.



Figura 5.9. Resultados de los niveles de comprensión que alcanzaron los estudiantes en la dimensión de contenidos.

En la gráfica anterior, se muestra que el 6% de los estudiantes no completaron la actividad que estaba programada en la primera clase. El 13% alcanzaron el primer nivel de comprensión, el cual evidencia falta de manejo en los conceptos disciplinares. Como ejemplo, se puede observar en la siguiente figura, que una estudiante menciona que “es lo mismo hablar de carga eléctrica y de iones”, lo cual representa que se quedó con los conocimientos adquiridos en la clase de química.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
Es un proceso en el cual <u>iones</u> positivos y negativos reaccionan, de dos maneras, atrayéndose o repulsándose de su carga eléctrica. <i>No está bien utilizado el término.</i>	Hay dos tipos de carga eléctrica, positiva y negativa. Donde cuando ambos objetos tienen la misma carga, se repelen pero cuando tienen diferentes cargas estas se atraen. Cuando un objeto es tiene una carga eléctrica negativa es que tiene la misma cantidad de <u>iones</u> positivos como <u>iones</u> negativos. <i>carga.</i>	por conducción y por inducción. por conducción es que los dos objetos se tocan para pasar energía. <i>energía</i> por inducción es que no se tocan pero se pasan energía. <i>como?</i> <i>Puedes profundizar tu explicación.</i>	Por contacto, ya que muchos materiales son conductores, hay en algunos casos. por contacto, ya que si un objeto tiene una carga y otro le manda otra carga, convirtiendo el objeto con una carga neutra. <i>Ampliar explicación</i>

Figura 5.10. Conclusiones actividad 1 de una estudiante del grupo 8, quien obtuvo Nivel 1 en la dimensión de contenidos.

Por otro lado, el 32% de los estudiantes, alcanzaron en esta dimensión el nivel 2 de comprensión. En la figura 5.11 se muestra un ejemplo de un estudiante que habla de la existencia de cargas positivas y negativas, sin embargo, menciona que las cargas positivas se llaman positrones. Además, al hacer referencia a la atracción y a la repulsión, no emplea los términos de *cargas iguales u opuestas* sino *fuerzas iguales u opuestas*, lo cual indica una mezcla de conocimientos entre lo cotidiano y lo disciplinar.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>La carga eléctrica es una propiedad de todos los materiales que se define por la cantidad de <u>positrones</u> y <u>electrones</u> dentro del átomo. Normalmente, el elemento es balanceado, teniendo la misma cantidad de <u>electrones</u> y <u>positrones</u> para generar una carga neutra y balanceada.</p> <p>Cuando hay una mayor <u>concentración</u> de <u>electrones</u>, <u>signo</u> la carga <u>cambiaría</u> y así ocurre con los materiales <u>Regular</u>.</p> <p><u>Puedes mejorar tu descripción</u></p>	<p>Existen dos tipos de <u>cargas</u>: la carga <u>negativa</u> y la <u>carga positiva</u>. En la <u>carga de la</u> <u>ausencia de</u> las dos, se <u>denomina</u> carga <u>neutra</u>.</p> <p>La carga <u>negativa</u> se <u>denomina</u> <u>electron</u>, y la <u>positiva</u> <u>positron</u> <u>protonos</u> <u>cargas</u> <u>opuestas</u> se <u>atraen</u>, es decir, la <u>negativa</u> con la <u>positiva</u>; mientras que las <u>fuerzas</u> <u>cargas</u> <u>del mismo</u> <u>polo</u> (ejemplo: <u>negativa</u> con <u>negativa</u>), se <u>repelen</u>.</p> <p>Para <u>identificar</u> el tipo de <u>carga</u> es necesario <u>saber</u> el <u>materia</u> de los <u>cuerpos</u> en <u>acción</u>.</p>	<p>Existen dos <u>metodos</u> para el <u>proceso</u> de <u>carga</u>: <u>inducción</u> y <u>conducción</u>.</p> <p>El <u>metodo</u> de <u>conducción</u> es cuando se genera un <u>contacto</u> <u>directo</u> entre dos <u>cuerpos</u>, generando un <u>paso</u> de <u>electrones</u> y a su vez una <u>carga</u> <u>eléctrica</u>.</p> <p>Por otro lado, la <u>inducción</u> ocurre cuando no hay <u>contacto</u> entre los <u>cuerpos</u> y debido a la <u>fuerza</u> de <u>atracción</u> y el <u>acto</u> de <u>repeler</u>, los <u>electrones</u> "saltan" y <u>que</u> son de <u> tamaño</u> <u>diminuto</u> y necesitan <u>llegar</u> al <u>otro</u> <u>cuerpo</u>.</p> <p><u>OK</u></p>	<p>Al momento de <u>descargar</u> un <u>cuerpo</u>, se <u>requiere</u> otro <u>cuerpo</u> <u>neutro</u>.</p> <p>Al tener <u>estos</u> <u>dos</u> <u>cuerpos</u>, se <u>necesita</u> <u>contacto</u> <u>directo</u> para el <u>proceso</u> de <u>descarga</u>. Si por <u>ejemplo</u> se tiene un <u>borrador</u>, y se <u>quiere</u> <u>descargar</u> se <u>coloca</u> un <u>dedo</u> que <u>permite</u> que el <u>borrador</u> de el <u>electron</u> y así, <u>descarga</u> el <u>cuerpo</u>.</p> <p><u>No es claro el ejemplo que presentas del borrador</u></p>

Figura 5.11. Conclusiones de actividad 1 de un estudiante del grupo 5, quien obtuvo Nivel 2 en la dimensión de contenidos.

El 26% de los estudiantes, alcanzaron el nivel 3 de comprensión en la dimensión de contenidos. Estos 8 estudiantes, se caracterizaron por aproximarse a la comprensión esperada en la primera clase en relación con cargas eléctricas; sin embargo, al escribir sus conclusiones presentaron algunos errores conceptuales, por ejemplo el cambio del término *carga* por *polo*. En la figura 5.12, se muestra un ejemplo de un estudiante que alcanzó este nivel de comprensión.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>La carga eléctrica se puede referir a la interacción y reacción que ocurre entre los tipos de cargas, negativas y positivas.</p> <p>Se deberá tener en cuenta que los electrones se quieren se encargan de cambiar el tipo de carga. ✓</p> <p>Son ellos los que vibran para cargar un objeto.</p> <p>Las cargas eléctricas se pueden definir como una propiedad.</p>	<p>Los tipos de cargas eléctricas son los positivos y los negativos. Se tiene que tener en cuenta que (polos) cargas.</p> <p>opuestos se atraen, es decir que positivo siempre se va a unir con negativo. Mientras que polos cargas iguales se repelen. Redacción.</p> <p>Esas cargas son representadas por partículas. Llevan el nombre de electrones y protones. ✓</p> <p>Se reconoce una carga neutra cuando las dos cargas (+)(-) se cancelan. Regular.</p> <p>Un objeto neutro tiene la misma cantidad de carga positiva y negativa.</p>	<p>Existen tres procesos de carga para pasar electricidad. Inducción, conducción y fricción. Cada uno pasan y generan cargas.</p> <p>Inducción es cuando existe un campo con cargas negativas y positivas y la electricidad pasa sin haber ningún tipo de contacto. Puedes profundizar la explicación</p> <p>Conducción se puede identificar cuando existe un contacto para pasar la electricidad.</p> <p>fricción ocurre cuando existe frotamiento en los materiales. Creando cargas eléctricas.</p> <p>No se crean, se transfieren!</p>	<p>Un proceso de descarga puede ser neutralizar las cargas de un objeto cargado negativamente a través del contacto. Cuando nosotros tocamos un elemento cargado, lo neutralizamos haciendo un acto de descarga.</p> <p>¿Qué otro?</p>

Figura 5.12. Conclusiones de actividad 1 de una estudiante del grupo 2, quien obtuvo Nivel 3 en la dimensión de contenidos.

Finalmente, el 23% de los estudiantes obtuvo nivel 4 de comprensión en la dimensión de contenidos. Estos estudiantes se caracterizaron por escribir conclusiones acertadas y adecuadas en relación con la carga eléctrica. En la figura 5.13 se muestran las conclusiones de una de las 7 personas que obtuvo este nivel de comprensión superior, en donde es posible observar la claridad conceptual en cada una de las 4 conclusiones.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>La carga eléctrica es una propiedad física la cual se puede observar por medio de la fuerza de atracción, la cual ocurre cuando los dos objetos tienen cargas diferentes es decir uno está cargado negativamente y el otro positivamente.</p> <p>También pueden ser observadas en la fuerza de repulsión que es cuando los objetos tienen el mismo tipo de carga.</p>	<p>Existen 2 tipos de carga eléctrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> la positiva, la cual tiene más protones que electrones la negativa que son los que tienen más electrones que protones 	<p>Algunos procesos de carga que podemos evidenciar en el laboratorio son:</p> <ul style="list-style-type: none"> la inducción, en la cual no se requiere el contacto para el traspaso de partículas con cargas eléctricas. la conducción en la cual se requiere del contacto para pasar las cargas ya sea positiva o negativa. fricción en la cual se frotan los objetos y por medio de esto la carga logra pasar. 	<p>Un proceso de descarga puede ser el contacto. Por ejemplo cuando una persona genera una carga por medio de la fricción y al momento hace contacto con otra persona se genera una descarga ya que al hacer contacto con alguien cargado y alguien no cargado se hacen al cuerpo no cargado por que en este hay menos partículas con cargas eléctricas.</p>

Figura 5.13. Conclusiones de actividad 1 de una estudiante del grupo 4, quien obtuvo Nivel 4 en la dimensión de contenidos.

La segunda dimensión que se evaluó fue **Propósitos** en la cual los estudiantes debían demostrar la flexibilidad y el correcto manejo del conocimiento adquirido en la clase (ver criterio 2 en Tabla No. 3). Al igual que con la dimensión anterior, se presenta una gráfica de los niveles de comprensión adquiridos por los estudiantes en la dimensión de propósitos.



Figura 5.14. Resultados de los niveles de comprensión que alcanzaron los estudiantes en la dimensión de propósitos.

En la figura 5.14, se puede ver que ningún estudiante se clasificó en el primer nivel de comprensión, lo cual indica que los 29 estudiantes, no se limitaron a realizar la actividad a cambio de una calificación, sino que fueron capaces de explorar el potencial de los conceptos adquiridos en relación con la carga eléctrica.

En primer lugar, el 26% de los estudiantes, que corresponde a un total de 8 alumnos alcanzaron el nivel 2 de comprensión en este criterio. Por ejemplo en la figura 5.15, se muestran las conclusiones de una estudiante que en la conclusión de tipos de carga, afirma “...La segunda carga es la negativa, en esta carga se pueden identificar con materiales no metálicos como el plástico.” Esta afirmación sugiere, que a pesar de hacer una identificación de los tipos de carga, lo está asociando con la observación de los fenómenos de la práctica de laboratorio, es decir con su experiencia cotidiana, tal vez la relación que hace no es la más acertada, pero muestra una relación directa entre el conocimiento y el contexto en el cual se encuentra.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>La carga es ^{son} eléctrica ^{por medio} de los ^{iones}, ya sean positivos o negativos. Cuando hay la misma cantidad es cuando la carga es neutra, de lo contrario tienen una carga positiva o negativa.</p> <p>El término conductividad lo veremos con mayor profundidad posteriormente.</p> <p>Ten en cuenta que el metal es buen conductor, diferente a tener gran cantidad de carga positiva.</p>	<p>Existen dos tipos de cargas eléctricas. La primera carga es positiva, y se da en materiales como el metal. La segunda carga es la negativa, en esta carga se pueden identificar con materiales no metálicos como el plástico.</p> <p>Cuando dos objetos tienen la misma carga, se repelen, y cuando tienen cargas opuestas se atraen.</p> <p>Recuerda que los objetos son neutros hasta que haya alguna interacción que genere una redistribución de cargas.</p>	<p>Existen tres formas de cargas. La primera es por medio de fricción y ocurre cuando se frotan dos materiales diferentes y se cargan, la otra es por medio de la conducción, en donde los materiales se tienen que tocar para obtener una carga y la última es ^{inducción} inducción, en donde la carga se pasa sin necesidad de que los objetos se toquen. Cómo se pasa esta carga</p> <p>No podemos decir que el plástico se caracteriza por ser negativo, porque estamos afirmando que es una propiedad del material.</p>	<p>Uno de los procesos de descarga es por medio del tacto, ya que al momento de tocar el objeto uno de estos está neutro y el otro tiene una carga positiva o negativa y al tocarlo se pasa la carga y queda neutro. El otro es por medio de los cables que se conectan a la parte inferior del generador o a la parte positiva.</p>

Figura 5.15. Conclusiones de actividad 1 de una estudiante del grupo 8, quien obtuvo Nivel 2 en la dimensión de propósitos.

En segundo lugar, el 48% de los estudiantes, que corresponde a un total de 15 alumnos, obtuvo el nivel 3 de comprensión en el criterio evaluado de la dimensión de propósitos. Un ejemplo de este resultado, se puede ver en la figura 5.16, la cual muestra en la conclusión de tipos de carga, que la estudiante menciona la transferencia de electrones de los cuerpos cargados positiva y negativamente con un lenguaje cotidiano, sin interferir con el contenido disciplinar y fácil de entender en todas las conclusiones que presenta.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>Propiedad que evalúa la interacción entre las cargas y todas sus reacciones. Los electrones hacen que las cargas varíen, pues son estos los que al aumentar hacen <u>crean</u> carga negativa y al disminuir <u>crean</u> una carga positiva.</p> <p>Recuerda que la carga no se crea, se transfiere!</p>	<p>Positivo: es cuando tiene más protones que electrones porque los electrones han dejado el cuerpo.</p> <p>Negativo: cuando tiene más electrones que protones porque los electrones de otro cuerpo han llegado a él.</p> <p>Se dice que algo está cargado neutramente cuando la cantidad de positivos es igual a la de negativos.</p>	<p>Conducción: se pasa la carga por contacto.</p> <p>Inducción: se pasa la carga sin contacto, por cercanía, es necesario que el objeto que se va a cargar este aislado.</p> <p>Fricción: al frotar un elemento con otro, se cargan.</p> <p>Puedes explicar con más detalle los procesos de carga.</p>	<p>Un objeto cargado pierde su carga al entrar en contacto con un objeto de carga opuesta o neutro y ambos quedan con carga neutra al final.</p> <p>Puedes profundizar los procesos de descarga.</p>

Figura 5.16. Conclusiones de actividad 1 de una estudiante del grupo 2, quien obtuvo Nivel 3 en la dimensión de propósitos.

Y en tercer lugar, 6 estudiantes que corresponden al 19% de la población de estudio, obtuvieron el cuarto nivel de comprensión en la dimensión de propósitos. Particularmente, con la primera clase, estos estudiantes fueron un poco más allá que sus compañeros, porque no solo lograron dar cuenta de su conocimiento, sino que evidenciaron claridad en la explicación de los conceptos, hicieron comparaciones en cuanto a las conclusiones que expresaron y lograron dejar en evidencia su comprensión en relación con el tema. Un ejemplo de lo anterior, se puede observar en las conclusiones dadas por una estudiante del grupo 4 (figura 5.17) que hace uso

de ejemplos cotidianos para dar cuenta de sus conclusiones, explica de manera clara cada una de las ideas y da cuenta de un alto nivel de comprensión con respecto a esta dimensión.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>La carga eléctrica es una propiedad física en las partículas. La principal forma de notar que un objeto como la esfera de metal o una bomba está cargada es por medio de la repulsión y la atracción. Esto se da ya que si las cargas son iguales se repelen, pero si las cargas son diferentes estas se atraen. Otra forma de ver si un objeto está cargado es por medio del electroscopio.</p>	<p>Existen 2 tipos de carga eléctrica. 1 tipo de carga es positivo, que es cuando existen más protones que electrones en una partícula.</p> <p>El segundo tipo de carga eléctrica es negativo, este es cuando una <u>partícula</u> tiene más electrones que protones.</p> <p>Objeto!</p>	<p>Se puede concluir que existen 2 procesos de carga. Por conducción e inducción.</p> <p>Por conducción significa que hay contacto para cargar. Como al frotar un globo en el pelo. Mientras que por inducción no hay contacto para cargar. Como al acercar la mano al generador de Van de Graaff.</p> <p>Teniendo en cuenta el ejemplo del globo otra forma para cargar es por medio de la fricción.</p>	<p>Un proceso de descarga es por medio del contacto. En el laboratorio pudimos ver varias situaciones donde se vio este proceso.</p> <p>Un claro ejemplo es el del globo que se frota en el pelo. Este al principio estaba con una carga neutra, después de frotarlo queda cargada. Después de acercarlo a la bolita del electroscopio vimos que tenía una carga pero tras el contacto la bomba deja de tener carga ya que la descarga en el electroscopio.</p>

Figura 5.17. Conclusiones de actividad 1 de una estudiante del grupo 4, quien obtuvo Nivel 4 en la dimensión de propósitos.

La tercera dimensión que se evaluó en la primera actividad, hace referencia a los **Métodos** desde la cual se pretendía que los estudiantes construyeran el conocimiento dentro del dominio, es decir usaran estrategias, métodos, técnicas y procedimientos empleados para la construcción del conocimiento (Ver criterio 2 en Tabla No. 2). La siguiente gráfica, presenta los niveles de comprensión que alcanzaron los estudiantes en esta dimensión.

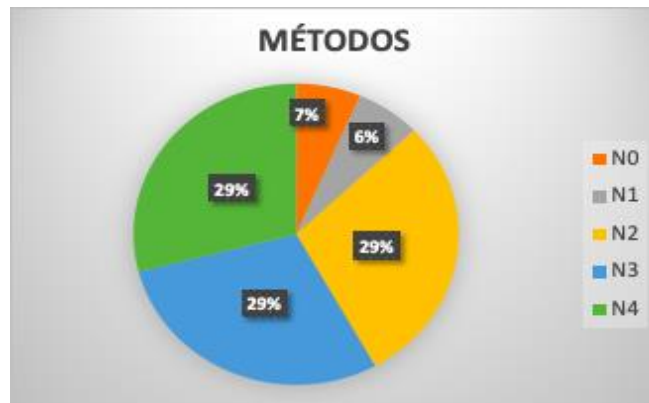


Figura 5.18. Resultados de los niveles de comprensión que alcanzaron los estudiantes en la dimensión de métodos.

En la gráfica anterior, se evidencia que el 7% de los estudiantes, no se encuentra en ningún nivel de comprensión debido a que no realizaron la actividad como el resto de sus compañeros. Por otro lado, se puede ver que el 6% de los estudiantes, que corresponde a dos alumnos, alcanzó el primer nivel de comprensión. En la siguiente figura, que corresponde a un estudiante que alcanzó este nivel de comprensión se puede evidenciar esta construcción del conocimiento a partir del ensayo y error particularmente en la primera conclusión sobre carga eléctrica, ya que se evidencia una mezcla de conceptos relacionados con la electricidad, pero no profundizar en ninguno de ellos. En la segunda conclusión se evidencia una explicación corta de los tipos de carga. En la tercera conclusión, el estudiante hace mención de los procesos de carga por inducción y por conducción, sin embargo menciona la que la masa juega un papel fundamental en la reorganización de la carga eléctrica en los procesos de carga. Finalmente, en la cuarta conclusión, menciona que la carga positiva es la que pasa de un objeto a otro para lograr el proceso de descarga.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>La carga eléctrica es la fuerza que se debe a la impedancia de flujo de en cambio la carga eléctrica es aquella que potencia dispositivos que necesitan energía cuya energía la den tiene cantidad de protones y electrones.</p> <p>Además de eso la carga eléctrica es una propiedad de la fuerza eléctrica que puede tener en cuenta, o un importante factor del electromagnetismo la carga eléctrica genera un campo o fuerza entre dos o varios objetos con ciertas cargas que los objetos poseen.</p>	<p>Los protones son aquellas partículas que son positivas, y los electrones son cargas negativas y ambas hacen parte y forman lo que es la carga eléctrica.</p> <p><i>Regular</i></p> <p><i>Es necesario que retomes la lectura del libro en la cual se explican estos temas.</i></p> <p><i>o Si es una propiedad, pero no de la fuerza</i></p>	<p>Hay 2 procesos de carga: por inducción el cual consiste en cambiar las cargas según la <u>masa</u> y cada <u>masa</u> tiene tanto de protones como de neutrones. El proceso de carga de conducción consiste en aproximar cierto elemento tanto neutral como con cierta carga para cargarlo de protones o falta de protones y electrones. El generador de Van der Graff tiene la particularidad de tener protones cuando el generador el cual queda cargado a otro objeto de protones por medio de inducción o conducción.</p>	<p>Los procesos de descarga se dan cuando dos objetos siendo ciertos carga y cuando uno de ellos tiene más protones que electrones que el otro, y hay contacto los protones de un objeto pasan a el otro objeto ganando un objeto a el otro objeto solo con electrones.</p> <p><i>Recuerda que los electrones son los que se transfieren</i></p>

Figura 5.19. Conclusiones de actividad 1 de un estudiante del grupo 1, quien obtuvo Nivel 1 en la dimensión de métodos.

Continuando con el análisis de esta dimensión de comprensión, es posible ver en la gráfica 5.18 que la misma cantidad de estudiantes obtuvieron los niveles 2, 3 y 4 de comprensión respectivamente. Esto sugiere, que los estudiantes hacen uso de estrategias y métodos para la construcción del conocimiento con diferentes niveles de complejidad.

Un ejemplo puntual de de un estudiante que se ubica en el nivel 2 de comprensión, se ve reflejado en la siguiente figura, en la cual se puede observar que una estudiante presenta conclusiones acertadas con respecto a los cuatro puntos que debían explicar; sin embargo, estas explicaciones responden de forma muy básica y reducida a los temas, es decir, responden de forma mecánica a las indicaciones dadas en la clase para la solución de la hoja de actividad.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>la carga eléctrica es como se pueden diferenciar las partículas si tienen carga positiva, negativa o no tienen. Esto se puede observar cuando las partículas se atraen o se repelen según su carga.</p> <p>Las partículas que tienen la misma carga se repelen y las de diferente carga se atraen.</p>	<p>la carga positiva es cuando la partícula tiene mayor cantidad de protones que de electrones por lo cual su carga eléctrica es positiva.</p> <p>Mientras cuando la cantidad de protones es menor en comparación con los electrones entonces tendría carga negativa.</p>	<p>Hay dos procesos de carga. Inducción que es cuando los objetos no necesitan estar en contacto para pasar la carga de un objeto al otro.</p> <p>Por otro lado en conducción es necesario que ambos objetos tengan contacto para pasar la carga de un objeto a otro.</p> <p>Puedes explicar mejor el proceso de carga por inducción.</p>	<p>Teniendo en cuenta los experimentos hechos en el laboratorio, un proceso de descarga es el contacto.</p> <p>Esto se refiere a cuando un objeto altamente cargado pasa parte de su carga eléctrica a un objeto con una carga menor. Por lo cual el objeto altamente cargado pasa por un proceso de descarga.</p> <p>Cómo se transfiere esta carga?</p>

Figura 5.20. Conclusiones de actividad 1 de una estudiante del grupo 4, quien obtuvo Nivel 2 en la dimensión de métodos.

Por otra parte, se observan 9 estudiantes que se clasifican en el nivel 3 de comprensión, que se ve reflejado en la organización conceptual que utilizan para presentar información que represente la comprensión de la temática en particular. La siguiente figura, muestra un ejemplo de un estudiante que se encuentra en este nivel de comprensión. Este estudiante mostró en sus cuatro conclusiones que organizó las ideas de manera adecuada para presentar la información, ya que consideró las prácticas de laboratorio que se llevaron a cabo, las lecturas que se realizaron alrededor del tema y las discusiones que se realizaron por grupos para poder presentar acertadamente la información.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
Podemos concluir acerca de la carga eléctrica que puede aumentar cuando esta se frota y además, leyendo en el libro puede ver como la humedad puede afectar la carga eléctrica ya que en un día seco esta sería mejor que en un día húmedo. Además la carga eléctrica contiene protones (+) y electrones (-)	Se puede concluir mediante la lectura y todos los procedimientos que puede percibir y averiguar que existen 2 tipos + y - y que además si son opuestas, mientras que si son iguales se repelen, cabe aclarar que los protones tienen carga positiva y los electrones la negativa	Para concluir mediante el experimento puede observar que hay varios tipos de carga como la conducción que es cuando el objeto se está cargando y queda con la misma carga al objeto cargado. Por inducción que es la carga sin contacto. Polarización es cuando el objeto tiene más carga + a un lado que al otro	De los procesos de carga podemos concluir que existe un tipo, como lo es el contacto y esto se presenta ya que hay 2 polaridades y la descarga ocurre única y precisamente cuando estos son opuestos y se atraen y es así como se produce una descarga quedando con una carga igual en los dos objetos
		Puedes profundizar procesos de carga	

Figura 5.21. Conclusiones de actividad 1 de un estudiante del grupo 3, quien obtuvo Nivel 3 en la dimensión de métodos.

Para finalizar la dimensión de métodos, 9 estudiantes alcanzaron el nivel superior. Estos alumnos presentaron la información de manera organizada, evidenciando que comprendieron los conceptos trabajados y que podían dar cuenta de ellos a partir de ejemplos, explicaciones avanzadas y detalladas. Es importante mencionar, que no necesariamente estos estudiantes presentan el máximo nivel de comprensión en todas las dimensiones evaluadas. Particularmente, en la siguiente figura, se pueden observar las conclusiones de uno de los estudiantes que alcanzó el cuarto nivel de comprensión en la dimensión de métodos, pero no en la dimensión de contenidos. Es posible observar que este estudiante se refiere a la carga eléctrica como una propiedad física de los objetos, describe las cargas positivas y negativas de manera acertada explicando su organización y redistribución en los objetos neutros, además explica de forma coherente y organizada los procesos de carga y de descarga (aunque no profundiza en el proceso de carga por inducción), evidenciando organización en la presentación de sus ideas.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>es una propiedad física de los partículas, la cual se ve por medio de fuerzas de atracción y repulsión. La carga eléctrica se da por medio de la creación de campos electromagnéticos y sus propiedades permiten el cambio de cargas</p>	<p>Existen dos tipos de carga eléctrica: positiva y negativa. Cabe resaltar que se generan por el movimiento de los electrones, no de los protones. La carga positiva es aquella que contiene más protones que electrones, y la negativa es exactamente lo contrario. Un objeto cargado positivamente es aquel que tiene la misma cantidad de protones que de electrones.</p>	<p>Existen dos tipos de procesos de carga: inducción, la cual se caracteriza por ser por medio de contacto y la inducción, que es sin contacto.</p> <p>Un ejemplo de conducción es una barra de caucho cargada con carga negativa TOCA una esfera neutra, la esfera neutra por medio del contacto adquiere carga negativa por medio de electrones.</p> <p>Te faltó explicar inducción.</p>	<p>Por lo visualizado en el laboratorio el método de descarga visto fue el contacto por este medio la carga en un objeto se traslada a otro al tocarse. Por ejemplo es algodón que llevaba una carga, descargaba esta o en el generador o el electroscope para posteriormente recibir otra carga distinta. Un ejemplo cotidiana es una persona cargada de cierta carga generada por fricción, toca a otra y le da un "shock eléctrico".</p>

Figura 5.22. Conclusiones de actividad 1 de un estudiante del grupo 4, quien obtuvo Nivel 4 en la dimensión de métodos.

Por último, la figura 5.23 muestra los niveles de comprensión que alcanzaron los estudiantes en cuanto a la dimensión de **Formas de Comunicación**. Esta dimensión evaluó el dominio de los géneros de realización (ver criterio 1 en Tabla No. 4), es decir las actividades comunicativas orales y escritas que daban cuenta del conocimiento de los estudiantes. De los 29 estudiantes que realizaron la actividad, ninguno se ubicó en el primer nivel de comprensión, lo cual indica que todos dieron importancia a sus actos comunicativos para dar cuenta del conocimiento relacionado con carga eléctrica.



Figura 5.23. Resultados de los niveles de comprensión que alcanzaron los estudiantes en la dimensión de formas de comunicación.

Para empezar, el 19% de los estudiantes, se ubicó en el nivel 2 de comprensión en la dimensión de formas de comunicación, lo cual indica que les costó un poco de trabajo expresar sus ideas con coherencia, la presentación de éstas no se hizo de forma clara y faltó flexibilidad al momento de expresar sus comentarios en relación con las conclusiones que se solicitaron. Un ejemplo de este nivel de comprensión, se puede ver reflejado en la figura 5.24, la cual muestra las conclusiones de un estudiante que expresa de forma desorganizada la información. Por ejemplo, en la primera columna se puede ver que el estudiante menciona las fuerzas de atracción y repulsión, pero no lo relaciona con los tipos de carga; además, incluye información que no se relaciona con los temas que se abordaron en la clase como la mención de “cargas inductivas” y “cargas resistivas”.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>Es una propiedad física de partículas ^{todas} partículas que se manifiesta mediante fuerza de fricción. La carga eléctrica se caracteriza que el material proceso puede haber atracción o repulsión, que puede que las cargas se atraigan o se repelen.</p>	<p>Los tipos de carga eléctrica son: las positivas, negativas, inductivas, resistivas y entre otras.</p> <p>En la negativa hay más electrones que protones, y mientras que en la positiva es viceversa. Ambos se atraen, los opuestos se atraen.</p> <p>No son tipos de carga.</p>	<p>Existen 2 procesos de carga: mediante se para la energía, conducción, con contacto, inducción sin contacto. La idea de ambas cargas son pasar particular en otros objetos que pueden recibirlas.</p>	<p>El proceso de descarga en el laboratorio es el contacto, al contacto produce la descarga cuando uno acerca la mano al generador después de que esta se activa y se descargara con el albedar o la mano.</p>

Figura 5.24. Conclusiones de actividad 1 de un estudiante del grupo 4, quien obtuvo Nivel 2 en la dimensión de formas de comunicación.

Por otro lado, el nivel 3 de la dimensión de formas de comunicación, tuvo un 29% de la población, que corresponde a 9 estudiantes de último año. Estos estudiantes mostraron en la presentación de sus conclusiones, facilidad para expresar sus ideas y organización para dar cuenta de la comprensión de los contenidos relacionados con la carga eléctrica. En la figura 5.25, se puede observar la hoja de actividad de una estudiante que presentó de manera clara y organizada sus ideas, dejando en evidencia que puede dar cuenta del conocimiento, presentando en primer lugar el concepto, en segundo lugar un ejemplo y en tercer lugar una conclusión, como se observa en la columna de procesos de descarga.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
Se puede concluir que la carga eléctrica varía según el material con el cual se frota el hilo. Esta carga se manifiesta en la apertura y en el cierre del hilo. Igualmente se puede manifestar con el movimiento del hilo. Igualmente las cargas eléctricas son propiedades de los objetos y texturas, ya que estos adquieren y liberan energía de diferentes maneras.	Existen dos tipos de cargas eléctricas. El primer tipo es la carga positiva que se encuentran en los protones. Por el otro lado, existen las cargas negativas. Es importante tener en cuenta que las cargas contrarias se atraen y las semejantes se repelen.	<ul style="list-style-type: none"> Los objetos se pueden cargar por medio de inducción, es decir, acercando un objeto al que ya está cargado. Un ejemplo es el generador de Van der Graaf. Los objetos se pueden cargar también por medio de fricción, es decir, frotando un objeto con una textura. Un ejemplo de esto es el hilo. Finalmente, los objetos se pueden cargar por medio de conducción, que se traduce en poner dos objetos en contacto, para que la carga se transporte de uno a otro. 	Un objeto se puede descargar por medio del contacto. Por ejemplo, cuando una persona adquiere cargas y se pone en contacto con otra, la otra persona sentirá una energía parecida a un 'pellizco'. En ese momento, ese 'pellizco' que siente la otra persona es el resultado del proceso de descarga.

Figura 5.25. Conclusiones de actividad 1 de un estudiante del grupo 3, quien obtuvo Nivel 3 en la dimensión de formas de comunicación.

Por último, se encuentra el nivel 4 de comprensión en la dimensión de formas de comunicación el cual indica que los estudiantes se apropian de su proceso comunicativo, expresan de forma coherente sus ideas, no presentan problemas de redacción ni de ortografía, son conscientes del acto comunicativo y consideran al lector en el momento de escribir. Un ejemplo de esto, se ve reflejado en la figura 5.26, en la cual se observa la organización de las ideas, la coherencia de las conclusiones y la apropiación del proceso comunicativo de un estudiante que logró este nivel de comprensión.

Carga eléctrica	Tipos de carga eléctrica	Procesos de carga	Procesos de descarga
<p>La carga eléctrica es aquella en la que los objetos son eléctricamente cargados. Los objetos pueden ser cargados de manera positiva y negativa, al producirse en un área un exceso o agrupamiento de protones, quienes cargan el objeto positivamente, o de electrones, quienes cargan el objeto negativamente. Al acercar un objeto a otro de cargas diferentes, estos se atraen. Por el otro lado, objetos con cargas iguales se repelen. Finalmente, dentro de las propiedades más destacadas, se destaca que la carga se conserva.</p>	<p>La carga positiva es el primer tipo de carga eléctrica. Los principales portadores de la carga positiva son los protones, quienes nunca saltan de un objeto a otro.</p> <p>La carga de tipo negativa es el segundo tipo de carga eléctrica. Los principales portadores de la carga negativa son las electrones, quienes pueden ser traídas en paquetes discretos de un objeto al otro. A diferencia de los protones, estos sí pueden saltar de un objeto o persona a otro.</p>	<p>Conducción: Es la carga mediante el contacto directo entre el objeto que efectúa la carga y el que la recibe. El objeto cargado siempre queda cargado con el mismo signo que el objeto que produce la carga.</p> <p>Inducción: Es la carga que se efectúa sin que se produzca ningún contacto físico. Los electrones o protones pueden ser atraídos o alejados de la zona que se acerca al objeto cargado positivamente o negativamente. Puedes profundizar más inducción</p>	<p>El proceso de descarga se realiza mediante el contacto directo. Dependiendo del caso, los electrones saltarán de un objeto o persona al objeto con el que se produce el contacto.</p> <p>Si el objeto se encuentra cargado positivamente, los electrones del otro objeto se trasladarán para igualar la carga de protones y electrones, dejando el objeto en un estado neutro y de descarga.</p> <p>Si por el otro lado dicho objeto está negativamente cargado, los electrones de ese objeto saltarán para regular el número de protones y electrones.</p>

Figura 5.26. Conclusiones de actividad 1 de un estudiante del grupo 1, quien obtuvo Nivel 4 en la dimensión de formas de comunicación.

Como se puede observar, cada una de las cuatro dimensiones que hacen parte del enfoque de EpC, evalúan y ubican a los estudiantes en diferentes niveles de comprensión, garantizando que el estudiante logra comprender los conceptos que se trabajan en la clase. Es importante recalcar que un estudiante puede alcanzar diferentes niveles de comprensión dependiendo de la dimensión que se está evaluando, es decir cada una de estas es independiente de las demás, esto resulta motivante para los estudiantes porque al realizar retroalimentación de las actividades con ellos, logran identificar en cuál de las dimensiones deben mejorar para lograr ubicarse en el nivel máximo de comprensión.

Al finalizar la actividad 1, se realizó una charla con los estudiantes en la cual se expresaron aquellas falencias en cuanto a contenidos, métodos, propósitos y formas de comunicación de la actividad que se llevó a cabo. Los estudiantes pudieron, expresar las dudas que aún presentaban en relación con el tema de carga eléctrica y se hizo una aclaración magistral del tema.

Clase 2: Superficies equipotenciales y campo eléctrico.

Actividad: A partir de la guía de trabajo, los estudiantes realizaron las actividades experimentales, que se observan en la figura 5.27, las cuales se pueden ver en el anexo 2.

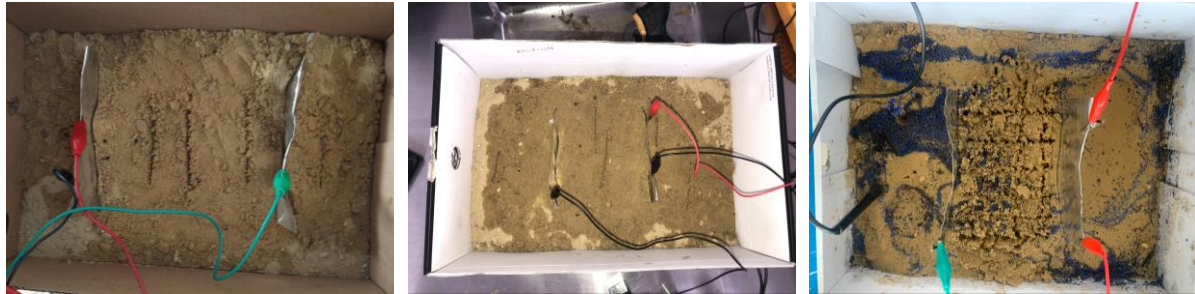


Figura 5.27. Actividades experimentales clase 2

Teniendo en cuenta que la finalidad de la clase era que los estudiantes comprendieran los conceptos de campo eléctrico y potencial eléctrico, se decidió iniciar con la presentación de un video (Reich, 2013) en el cual se explica el efecto gravitacional de los objetos sobre otros, de manera que los estudiantes lograran establecer analogías entre el campo gravitacional, que es más cotidiano para ellos, y el campo eléctrico, de manera que entendieran el campo eléctrico como una perturbación en el espacio que genera cierto comportamiento en los objetos cargados. Una vez que los estudiantes observaron el video, completaron la pregunta 1 y 2 de la hoja de actividad 2, en la cual debían escribir características que les llamaran la atención del video y cómo consideraban ellos que podrían relacionarse dichas ideas con el tema visto en la clase anterior: carga eléctrica. Algunos ejemplos de las respuestas dadas por los estudiantes pueden observarse en las figuras 5.28 y 5.29. En las cuales, se observa que hacen uso de analogías para relacionar lo que saben acerca de la fuerza gravitacional con las cargas eléctricas.

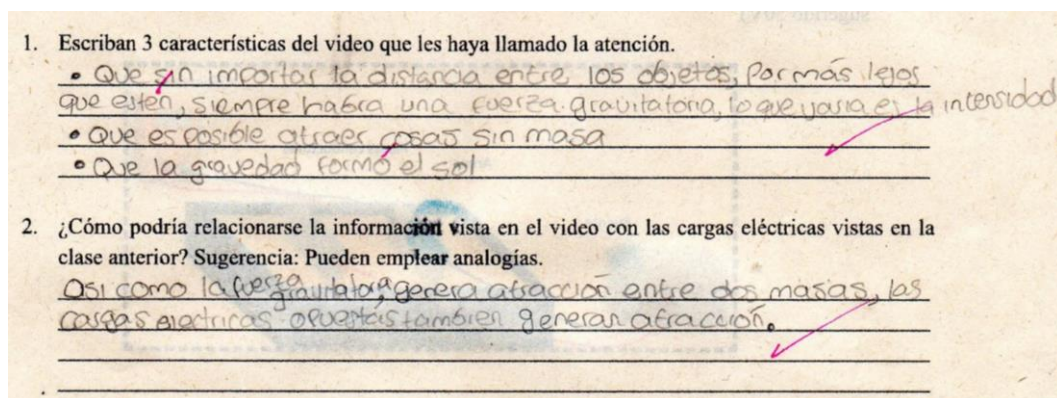


Figura 5.28. Respuestas 1 y 2 del grupo 6

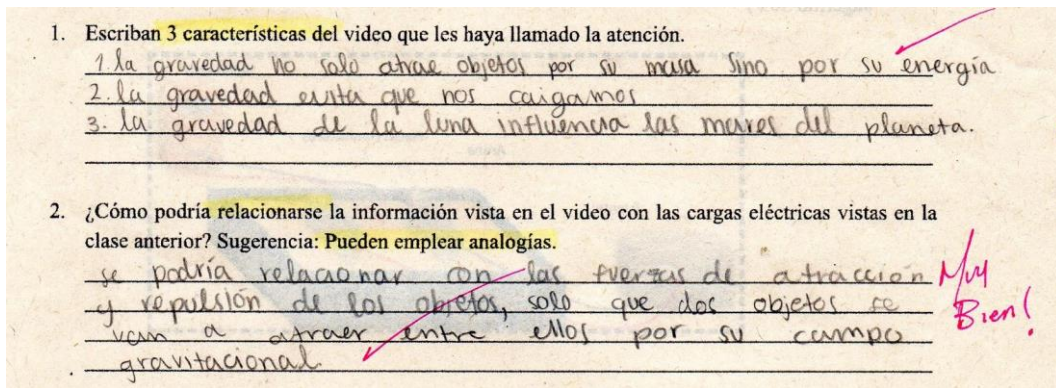


Figura 5.29. Respuestas 1 y 2 del grupo 5

Siguiendo con la guía de trabajo, se les pidió a los estudiantes que por grupos describieran 2 experimentos con los cuales se pudiera demostrar la existencia de los campos gravitacionales y eléctricos. Algunas respuestas dadas por los estudiantes pueden observarse en las figuras 5.30 y 5.31. En la figura 5.30 se puede ver que el grupo de trabajo hace uso de los experimentos que se hicieron en la clase anterior para explicar la existencia del campo eléctrico. Y en la figura 5.31, se puede observar que los estudiantes recurren a un experimento de la cotidianidad para explicar la existencia del campo eléctrico.

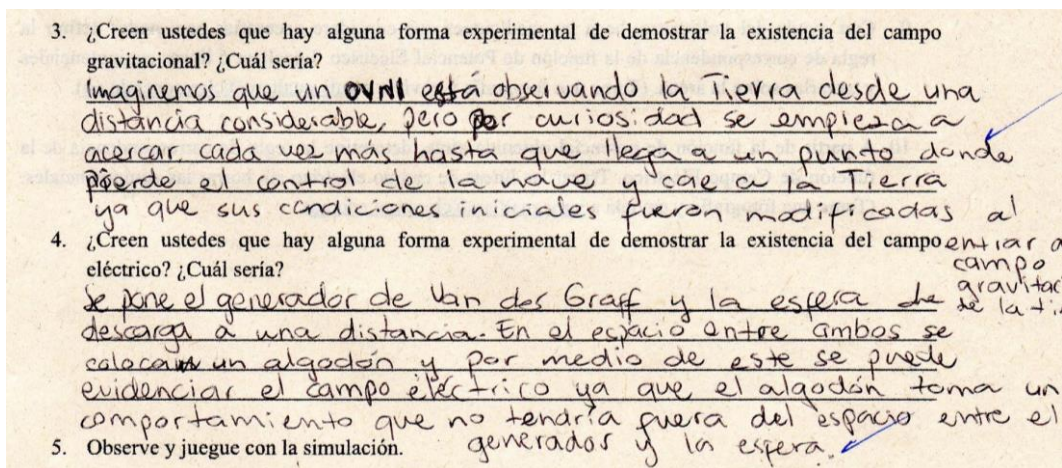


Figura 5.30. Respuestas de preguntas 3 y 4 del grupo 2

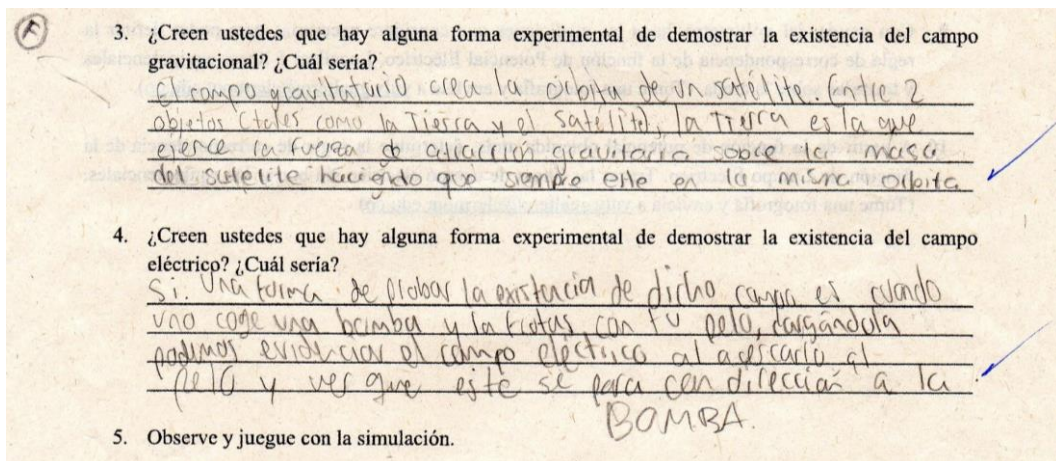


Figura 5.31. Respuestas de preguntas 3 y 4 del grupo 4

Continuando con la actividad, los estudiantes debían entrar a una página de la Universidad de Colorado (University of Colorado, 2019a) en la cual ellos encontraron una simulación que les mostraba la variación de las líneas de campo y las líneas equipotenciales. La idea de esta actividad, era que los alumnos pudieran jugar con la simulación y al mismo tiempo pudieran entender la relación entre el campo y el potencial eléctrico. En la figura 5.32 se observan algunas de las imágenes tomadas de la simulación, en la cual se pueden observar las flechas blancas que representan el campo eléctrico y las líneas verdes que simulan el potencial eléctrico.

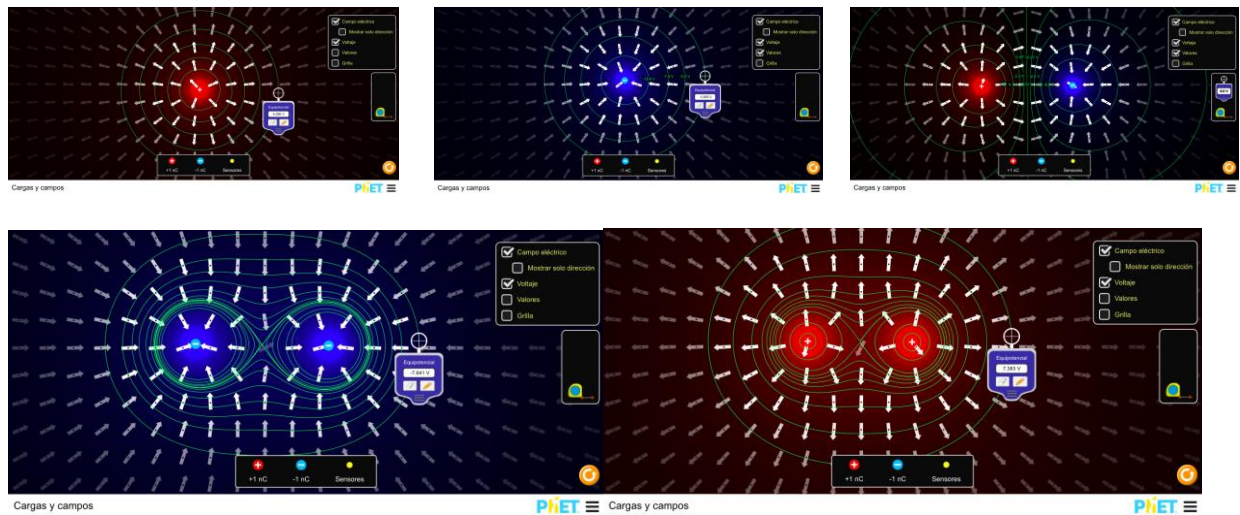


Figura 5.32. Imágenes tomadas de la simulación que emplearon los estudiantes para comprender la relación entre campo y potencial

Una vez los estudiantes terminaron de ver la simulación, se les pidió que escribieran dos conclusiones de la actividad que habían desarrollado virtualmente, la primera debía hacer alusión al campo eléctrico y la segunda al potencial eléctrico. Como puede observarse en la figura 5.33, los estudiantes del grupo 7 escriben conclusiones relacionadas con la dirección de las líneas de campo eléctrico y las comparan con la fuerza de atracción y repulsión entre cargas eléctricas, además concluyen la relación inversamente proporcional entre el potencial eléctrico y la distancia. Por su parte, los estudiantes del grupo 1 afirman que el campo eléctrico es la región que rodea una carga eléctrica, hablan acerca de la dirección de las líneas de campo negativas y positivas respectivamente y explican la definición del potencial eléctrico a partir de las observaciones que hacen de la simulación. Es posible notar que estos grupos mencionan la relación de proporcionalidad entre el potencial eléctrico y las cargas.

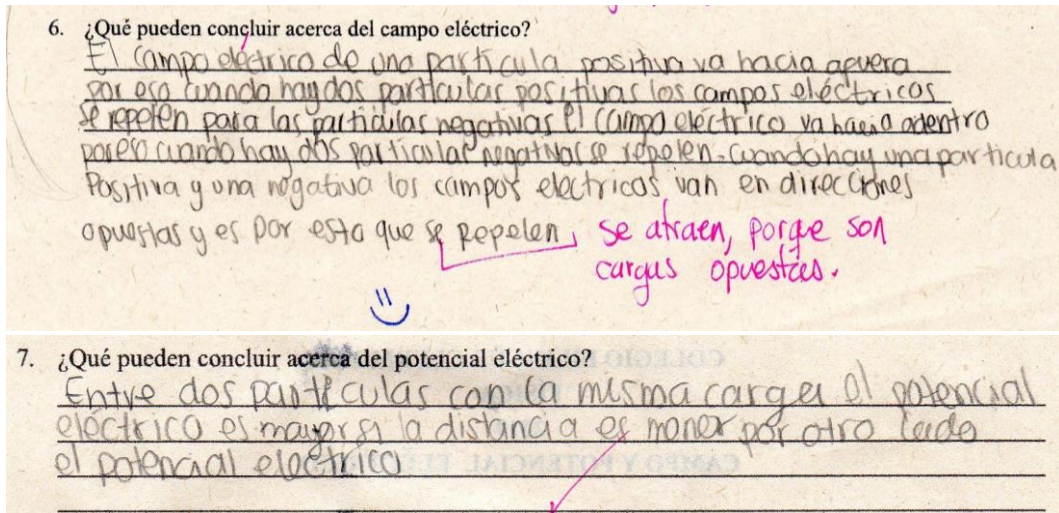


Figura 5.33. Respuestas 6 y 7 del grupo de trabajo 7.

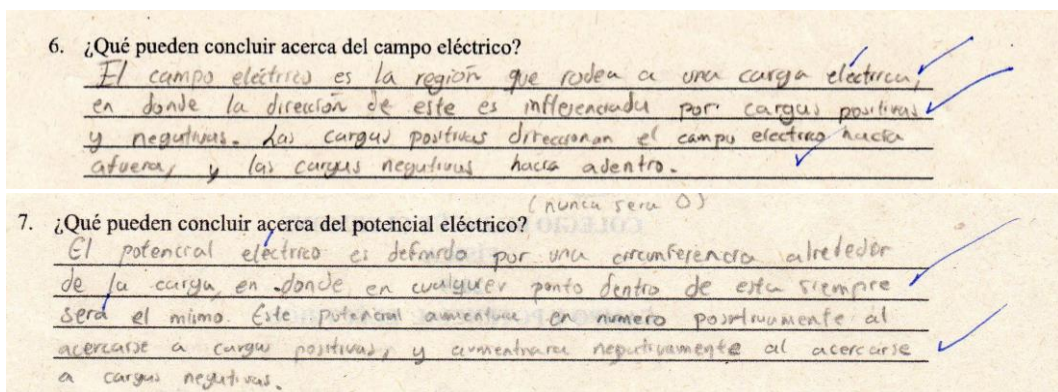


Figura 5.34. Respuestas 6 y 7 de grupo de trabajo 1

Finalmente, los estudiantes realizan la práctica experimental que se encuentra en el anexo 2, en la cual, deben medir con voltímetros las diferencias de potencial de la configuración mostrada en la guía de trabajo y marcar estas líneas en la arena. Una vez realizado el primer paso y teniendo en cuenta las conclusiones que pudieron hallar de la relación del campo con el potencial eléctrico, deben marcar las líneas de campo eléctrico. En la figura 5.1 se pueden observar estos resultados.

Evaluación diagnóstica continua clase 2: De acuerdo con el desarrollo de la clase dos, los estudiantes escribieron conclusiones relacionadas con campo y potencial eléctrico de forma grupal, de tal manera que las gráficas que se presentan en la figura 5.35 corresponden a los resultados obtenidos por cada estudiante de acuerdo con el grupo de trabajo al cual perteneció.

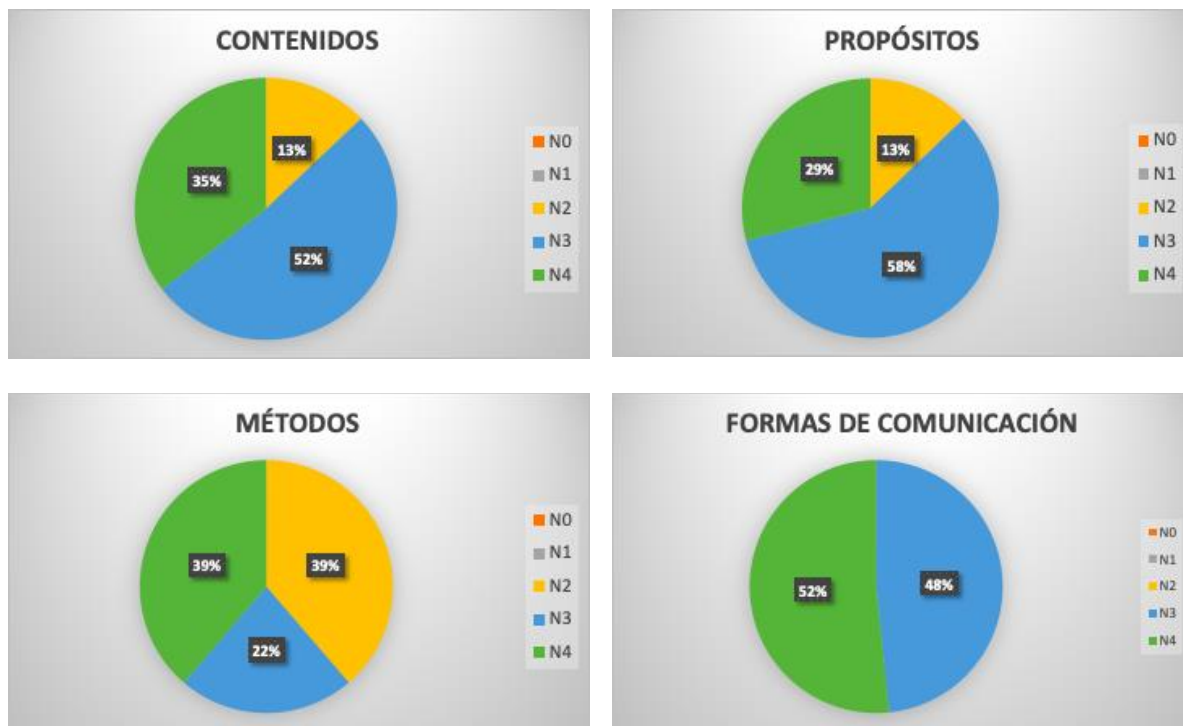


Figura 5.35. Gráficas de resultados porcentuales de las cuatro dimensiones

Al analizar la figura 5.35 puede observarse que ningún estudiante de grado undécimo, se clasificó en los niveles 0 y 1 de comprensión en ninguna de las dimensiones, lo cual indica que de manera grupal, los estudiantes alcanzaron niveles de comprensión altos en cuanto a los conceptos de potencial eléctrico y campo eléctrico.

Particularmente en la dimensión de **contenidos**, se evaluó el criterio 1, (ver criterio 1 en tabla No. 1) y puede observarse que un 13% de la población obtuvo el nivel 2. Por otro lado, el 52% de los estudiantes se clasificó en el nivel 3. Finalmente se puede observar que un 35% de los estudiantes obtuvo el nivel 4 de comprensión en esta dimensión.

Por otro lado en la dimensión de **propósitos**, la cual hace alusión a los múltiples usos del conocimiento (ver criterio 2 Tabla No. 3) es posible ver que una mayor cantidad de estudiantes se ubica en el nivel 3 de comprensión. Además, se observa que, al igual que en la dimensión de contenidos, el 13% de los estudiantes se clasificó en el nivel dos. Finalmente, de los 8 grupos de trabajo, 2 se clasificaron en el cuarto nivel de comprensión.

Adicionalmente, en la dimensión de **métodos** se observa que el porcentaje de estudiantes que se clasificaron en el segundo nivel de comprensión aumentó hasta un 39%. Sin embargo, de los 8 grupos de trabajo, 2 grupos obtuvieron el tercer nivel de comprensión en esta dimensión, y 3 grupos de estudiantes lograron obtener el máximo nivel de comprensión, lo cual es posible observar en las conclusiones escritas por los estudiantes sobre campo y potencial.

Finalmente, se ve un resultado favorable en la dimensión de **formas de comunicación**, ya que la

totalidad de los estudiantes se clasificó en los niveles más avanzados. Esto indica que fueron capaces de expresar de forma clara sus ideas y lograron a partir del lenguaje empleado, dar cuenta de la comprensión de los dos conceptos trabajados durante la clase.

Es importante tener en cuenta que los grupos alcanzaron diferentes niveles de comprensión de acuerdo a la dimensión que se estaba evaluando, es decir, que no necesariamente el grupo que alcanzó nivel dos en la dimensión de contenidos obtuvo nivel dos en la dimensión de métodos. Ya que, como se mencionó en la evaluación de la clase 1, es posible evaluar cada una de las dimensiones de forma independiente. La intención de la segunda clase, era que los estudiantes pudieran comprender, a partir de las actividades que se realizaron, los conceptos de potencial y campo eléctrico. En ese orden de ideas, los estudiantes debían escribir las conclusiones de estos dos temas para dar cuenta de su nivel de comprensión. A continuación, se presentan las conclusiones de cada grupo de estudiantes y los niveles de comprensión que alcanzaron en cada una de las dimensiones.

Grupo 1: En la figura 5.36 se puede observar la hoja de actividad de la clase dos, en la cual los estudiantes presentaron sus conclusiones alrededor de los temas de potencial y campo eléctrico. En la dimensión de contenidos este grupo obtuvo el nivel 4, lo cual es notable en la sección en la que los estudiantes concluyen que *“El campo eléctrico es la región determinada alrededor de una carga positiva o negativa”* mostrando una relación entre lo que aprendieron en la clase y los contenidos disciplinares que se abordaron.

En la dimensión de propósitos los estudiantes lograron nivel 3 de comprensión, lo cual se ve reflejado en la explicación que presentan sobre la formación del potencial eléctrico alrededor de una carga positiva y negativa.

Además, en la dimensión de métodos, donde logran ubicarse en el nivel 3, los estudiantes reflexionaron acerca de los conocimientos adquiridos partiendo de las experiencias realizadas con la simulación, sin embargo, no tuvieron en cuenta al pie de la letra las evidencias de la clase; esto puede verse en la sección que presentan de campo eléctrico en la cual afirma que *“cuando se encuentra una carga negativa presente, el campo eléctrico va dirigido hacia fuera”*.

Finalmente, obtienen el máximo nivel de comprensión en la dimensión de formas de comunicación, lo cual evidencia que su presentación escrita es clara y que presentan coherentemente los términos que se estudiaron.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>El campo eléctrico es la región determinada alrededor de una carga positiva o negativa. Este campo es recto, infinito y nunca llega a 0. El campo eléctrico va dirigido hacia afuera cuando se encuentra cerca a una carga positiva. Alternativamente, cuando se encuentra una carga negativa presente, el campo eléctrico va dirigido hacia adentro.</p> <p>La variable que determina el campo eléctrico es E <i>E mayúscula</i>.</p> <p>Con respecto al campo eléctrico y el potencial eléctrico, ambos son correspondientes, por lo que cuando hay una carga presente, el campo y el potencial se vuelven perpendiculares entre sí.</p>	<p>El potencial eléctrico es el área circular que determina el voltaje de la carga. Tal voltaje es exactamente el mismo en cualquier punto de la circunferencia.</p> <p>El potencial eléctrico cuando son dos cargas positivas cercanas, se vuelve aproximadamente el mismo para ambos. Al haber una carga positiva y negativa, el potencial se va alterado y produce no un círculo, más otra figura que (o) una o ambas. (o por ejemplo)</p>

Figura 5.36. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 1.

Grupo 2: Este grupo de estudiantes obtiene nivel 3 de comprensión en las dimensiones de contenidos, propósitos y formas de comunicación.

Particularmente, en la dimensión de contenidos faltó profundizar la explicación del potencial eléctrico, como puede verse en la figura 5.37.

Con respecto a la dimensión de propósitos, los estudiantes logran alcanzar el tercer nivel de comprensión, evidenciando explicaciones concretas de cada conclusión que realizan acerca al campo eléctrico, por ejemplo “*el campo es el espacio donde interactúan las cargas*”.

Por otro lado, en la dimensión de formas de comunicación los estudiantes toman en cuenta algunos aspectos del público, expresando de forma concisa sus ideas con respecto al campo y al potencial eléctrico. Sin embargo, es posible evidenciar falta de claridad o profundidad en algunas conclusiones que presenta este grupo. Por ejemplo cuando afirman que “*entre más carga haya, mayor fuerza tendrá el campo*”.

En la dimensión de métodos el grupo obtiene el nivel dos de comprensión lo cual puede observarse en la manera como los estudiantes escriben las conclusiones basándose en las actividades que se realizaron en clase, sin verificar la información que presentan.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>Si no hay cargas, no hay campo. El campo es el espacio donde interactúan las cargas. Cuando las cargas son positivas las líneas de campo van hacia afuera, si son negativos, van hacia adentro. Entre más carga haya, mayor fuerza tendrá el campo. Si es negativo, será negativamente más fuerte, si es positivo será positivamente más fuerte. Dentro del campo hay fuerza eléctrica, donde 2 opuestos se atraen y dos iguales se repelen.</p>	<p>Las líneas de potencial solo incluyen 1 tipo de carga, si es positivo solo mide el potencial positivo, si es negativo solo mide el potencial negativo. Se puede evidenciar el potencial eléctrico en forma de círculo y se forma cuando las cargas se mantienen estables con valores similares.</p> <p><u>Faltó profundidad</u></p>

Figura 5.37. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 2.

Grupo 3: Este grupo se caracterizó por obtener nivel 2 de comprensión en las dimensiones de contenidos y métodos. Estos estudiantes afirmaron que “En un campo eléctrico se encuentra tanto cargas positivas como negativas”, lo anterior, evidencia que mezclan el conocimiento adquirido de campo eléctrico y potencial eléctrico, con sus conocimientos previos adquiridos en clases anteriores, prevaleciendo estos últimos, razón por la cual se clasificaron en el segundo nivel de comprensión en la dimensión de contenidos.

Teniendo en cuenta que la instrucción para escribir las conclusiones, era relacionar los dos conceptos que se estudiaron en la clase con los conceptos vistos en la clase anterior, los estudiantes de este grupo escribieron “las líneas de campo ayudan a visualizar la manera en la que varía la fuerza del campo eléctrico”, este tipo de expresiones hace que los estudiantes se ubiquen en el nivel 2 de comprensión en la dimensión de métodos, ya que su imagen con respecto a los conceptos trabajados en la clase se respalda con información que no ha sido cuestionada, antes de ser escrita.

Por otro lado, los estudiantes obtuvieron el tercer nivel de comprensión en la dimensión de propósitos y formas de comunicación. Ellos expresaron que “el potencial eléctrico siempre irá alrededor de las cargas ya que es perpendicular al campo eléctrico”, con esta frase se hace evidente que establecieron una relación entre lo que aprendieron en la clase y lo que conocen acerca de los conceptos de campo y potencial eléctrico, característica del tercer nivel de comprensión en la dimensión de propósitos.

Particularmente este grupo de estudiantes no obtiene el nivel 4 de comprensión en la última dimensión, porque teniendo en cuenta el criterio evaluado, no se consideraron a ellos mismos como público de sus compañeros, lo cual se evidenció en la socialización de la actividad.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>Puede ser conductor que en un campo eléctrico se encuentran tanto cargas positivas como negativas. El campo eléctrico no rodea constantemente a la carga, la potencia de un campo eléctrico, la dirección del campo depende de la carga que lo rodea. El campo va hacia afuera si la carga es positiva y hacia dentro si es negativa.</p>	<p>Se puede decir que el potencial eléctrico puede tener tanto carga positiva como negativa y esto siempre irá al alrededor de las cargas ya que el potencial eléctrico en cualquier punto de la superficie hacia el voltaje el mismo, entre más cerca de la placa el voltaje será mayor y viceversa.</p>
<p>Las líneas de campo ayudan a visualizar la manera en la que varía la fuerza del campo eléctrico.</p>	

Figura 5.38. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 3.

Grupo 4: Este grupo escribió sus conclusiones basándose en las experiencias realizadas en clase, sin embargo, no consideraron la totalidad de los procedimientos para cuenta de los conceptos de campo y potencial eléctrico. Esto puede verse reflejado en la figura 5.39 con las dos conclusiones iniciales que el grupo escribe para cada uno de los conceptos, lo cual hace que se clasifiquen en el nivel 3 de comprensión en la dimensión de métodos.

De la misma manera, estos estudiantes escriben conclusiones como “*el campo eléctrico es un vector, por lo tanto tiene magnitud, dirección y sentido*”, relacionando los conocimientos previos adquiridos en la clase de física con los conceptos vistos en la clase, por lo cual obtienen nivel 3 en la dimensión de propósitos.

Por otro lado, los estudiantes que pertenecen a este grupo, obtienen nivel 4 de comprensión en las dimensiones de contenidos y formas de comunicación, lo cual refleja que manejan con flexibilidad los conocimientos adquiridos sobre campo y potencial y expresan sus ideas de forma clara, de manera que sea amigable para el lector, evidenciando conocimiento.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>El campo eléctrico es la fuerza eléctrica que se encuentra en las partículas positivas y negativas. El campo eléctrico de una partícula positiva va a ir hacia afuera de la partícula mientras que en la negativa se dirige hacia adentro el campo eléctrico.</p>	<p>El potencial eléctrico es un punto del campo eléctrico de una partícula positiva o negativa.</p>
<p>El campo eléctrico es un vector por lo tanto tiene magnitud, dirección y sentido.</p>	<p>La línea potencial es una línea alrededor de una partícula en donde el voltaje va a ser el mismo en cualquier punto de esta línea.</p>
<p>Cuando 2 cargas opuestas se encuentran, la positiva va a dirigirse hacia la negativa. La negativa sigue su rumbo normal, hacia adentro.</p>	<p>Dos partículas positivas o 2 partículas negativas tienen una misma línea de potencial. 2 partículas opuestas nunca van a tener la misma línea potencial.</p>

Figura 5.39. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 4.

Grupo 5: Este grupo conformado por 3 estudiantes obtuvo el máximo nivel de comprensión en las dimensiones de contenidos, métodos y formas de comunicación, evidenciando que los conceptos de campo eléctrico y potencial eléctrico fueron comprendidos en su totalidad.

En la figura 5.40 pueden apreciarse las conclusiones escritas por estos estudiantes que apuntan los niveles máximos de comprensión de los criterios evaluados, descritos en el capítulo de la EpC.

No alcanzaron el máximo nivel de comprensión en la dimensión de propósitos, porque les faltó proponer la variedad de usos posibles del conocimiento adquirido alrededor del campo y del potencial eléctrico. No alcanzaron el máximo nivel de comprensión en esta dimensión porque no hicieron uso de ejemplos específicos del entorno, en donde se hicieran evidentes los conceptos estudiados.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>Es una perturbación generada por una carga ya sea (positiva o negativa) o un objeto cargado que es ocasionada en el espacio. Para formar un campo eléctrico solo se necesita una carga y al representarla visualmente las líneas de campo varían si es positivo o negativo. El campo eléctrico es vectorial lo que quiere decir que tiene dirección y magnitud y en eso reside las diferencias gráficas de las cargas. En las cargas positivas, la dirección de las líneas de campo van hacia afuera mientras que en las negativas van para adentro. Por la relación que hay entre cargas iguales y opuestas (de atracción y repulsión), todos los campos eléctricos se ven afectados cuando una carga entra en el mismo espacio que otra. El campo eléctrico no puede ser negativo.</p>	<p>A diferencia del campo, el potencial es escalar. Simplemente mide la cantidad de perturbación que genera una carga dentro del campo, lo que quiere decir que no hay dirección y se encara en el alcance. Todos los cuerpos cargados y las cargas tienen potencial eléctrico y este puede ser negativo. La equidistancia del potencial hace un círculo alrededor del objeto cargado debido al grado de carga que este emite pero cuando hay dos cargas opuestas el potencial se ve afectado porque la equidistancia se vuelve un elipse ya que nunca se tocan y entre estas dos cargas el potencial es 0 pero cuando hay dos cargas iguales el potencial va a dibujar un círculo incluyendo las dos cargas. Todo esto dentro del campo.</p>

Figura 5.40. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 5.

Grupo 6: Este grupo de estudiantes alcanzó el nivel 3 de comprensión en todas las dimensiones de la clase dos. Esto indica, que aunque se acercaron mucho al nivel máximo de comprensión, les faltó relacionar el sentido común con el conocimiento adquirido de campo y potencial eléctrico, analizar los procesos que se hicieron en la clase para la construcción de su propio conocimiento, utilizar el conocimiento de maneras nuevas y múltiples para dar cuenta de los conceptos trabajados y finalmente considerar a sus compañeros en la retroalimentación reflexiva alrededor de dichos temas.

Con respecto a las conclusiones que realizaron acerca del campo eléctrico, se puede observar en la figura 5.41 que presentan información veraz de acuerdo con los procedimientos realizados en clase, tienen claridad en la definición del campo eléctrico como una perturbación en el espacio y realizaron la explicación de las líneas de campo eléctrico debidas a cargas positivas y negativas respectivamente. Además, para la explicación de potencial eléctrico, utilizaron la fórmula para establecer la relación inversamente proporcional entre el potencial y la distancia. Con respecto a la dimensión de formas de comunicación, es posible observar que se repiten las conclusiones hechas en potencial eléctrico. Y se puede observar que los estudiantes relacionaron lo que aprendieron a partir de la simulación y de la actividad experimental, con los conocimientos que se habían adquirido anteriormente en la clase de física.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>El campo eléctrico se puede definir como una perturbación en el espacio generada por una carga eléctrica (positiva o negativa) o un objeto cargado, las líneas de campo eléctrico puede ser curvas o lineal, esto depende de como se encuentran ubicadas las cargas, si se colocan varias cargas positivas frente a varias cargas negativas, la líneas de campo, serán lineales, pero si hay únicamente una carga positiva y una carga negativa, las líneas de campo serían curvas. Cabe recordar que el campo es vectorial, y tiene magnitud y dirección. Además al momento de representarlos, se representan con líneas salientes de las cargas positivas y entrando a las cargas negativas.</p>	<p>El potencial eléctrico se puede definir como la cantidad de voltios existente dentro de un sistema. Este se mide en Voltios. Además el potencial eléctrico es perpendicular a las líneas de campo, por ende se deforma con este. El potencial eléctrico, en adición, si tomamos en cuenta que la fórmula de potencial eléctrico es $V = kq/r$, se podría decir que el potencial eléctrico disminuye a medida que la distancia aumenta.</p>

Figura 5.41. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 6.

Grupo 7: Aunque este grupo de estudiantes muestra un cambio de las creencias intuitivas que tenían al inicio de la clase, logran obtener nivel 3 de comprensión en la dimensión de contenidos, porque prevalecen algunas ideas previas mencionadas al inicio de la actividad, particularmente con el tema de potencial eléctrico.

Los estudiantes de este grupo requirieron la supervisión constante de la profesora para poder escribir las conclusiones con respecto a campo y a potencial eléctrico, y respaldaron sus conclusiones sin cuestionarlas por la premura del tiempo, por lo cual se clasificaron en el nivel 2 en la dimensiones de propósitos y métodos.

Por otra parte, con respecto a la dimensión de formas de comunicación, es posible observar en la figura 5.42 que faltó claridad y coherencia en las conclusiones de potencial eléctrico.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>El campo eléctrico se define como una perturbación en el espacio generada por una carga eléctrica o un objeto cargado. Al ser representado vectorialmente es posible marcar su magnitud y dirección desde la carga que la está generando. Por esta razón, el campo de la carga es representado con un vector que va hacia afuera de la carga si es positivo. AUN ASÍ, si la carga es negativa el campo es representado con un vector que va hacia adentro de la carga.</p>	<p>es la cantidad de voltaje que hay en un sistema eléctrico. Este voltaje depende de la distancia que existe entre la carga y un lugar del sistema. El voltaje es distribuido a todo el sistema en distintas cantidades y es por eso que a mayor o menor distancia de donde se encuentre la carga y el voltaje máximo el potencial del sistema cambia.</p>

Figura 5.42. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 7.

Grupo 8: Este grupo obtuvo nivel 4 en todas las dimensiones, ya que hacen conclusiones detalladas de acuerdo con el campo eléctrico y potencial eléctrico haciendo uso de las prácticas que se realizaron en clase y procurando la construcción de su propio conocimiento lo cual puede evidenciarse en la figura 5.43.

Adicionalmente, se puede ver que relacionaron el sentido común con el conocimiento adquirido de campo eléctrico como puede verse en la primera conclusión escrita, donde lo definen como “una perturbación en el espacio generada por una carga eléctrica o un objeto cargado”.

Finalmente, reconocen la importancia de la práctica de laboratorio que se llevó a cabo en clase y hacen mención de los instrumentos de medición, lo cual los clasifica en el máximo nivel de comprensión en la dimensión de propósitos.


Campo eléctrico	Potencial eléctrico
<p>se puede definir Campo eléctrico como una perturbación en el espacio generada por una carga eléctrica o un objeto cargado.</p> <p>Como se pudo observar en la aplicación, cuando las flechas salían de las cargas o entraban hacia ellas, podíamos ver que estas eran vectoriales ya que tenían magnitud y dirección. También se observó que las líneas de campo salen de las cargas positivas y entran a las negativas. Además se representa de forma perpendicular al potencial eléctrico. De acuerdo con lo visto en clase, también podemos decir que solo se necesita una carga para calcular el campo. Por otro lado se puede decir que un dipolo eléctrico es cuando una carga positiva y negativa interactúan como en la fig. 1, pero el nombre dipolo está mal ya que polo</p>	<p>se puede definir como potencial eléctrico la cantidad de voltios que se produce en un sistema a partir de una carga.</p> <p>Además, se puede decir que el potencial eléctrico es radial si se trata de una sola carga, pero de lo contrario depende de la posición de la carga.</p> <p>Se pudo observar en el experimento de la caja de arena que se crea un potencial al conectar los cables caiman a las pilas y las laminas de Aluminio incrustadas en la arena.</p> <p>Para medir el potencial eléctrico se hace uso de un voltímetro.</p> <p>Retomando el ejemplo del experimento se puede decir que el potencial eléctrico tiende a aumentar o disminuir dependiendo de la carga.</p>
<p>se refiere a imanes y no cargas, por lo tanto sería di carga</p> <p>Fig. 1.</p> 	<p>En este caso si recibe el nombre de dipolo eléctrico</p>

Figura 5.43. Conclusiones de Actividad 2 del grupo 8.

Clase 3: Resistencia, resistividad y variación de la resistencia con la temperatura.

Actividad: Para lograr que los estudiantes comprendieran los conceptos de resistencia y resistividad y la relación de éstos con la temperatura, se llevaron a cabo dos actividades específicas. La primera fue una guía de actividades experimentales tomadas y adaptadas del Manual de experimentos de electromagnetismo del ITAM (Reyes, C; González, A; Carrillo, F., 2017c) desde las cuales los estudiantes encontraron experimentalmente el significado de resistencia eléctrica a partir de la ley de Ohm. Y la segunda fue la observación de una simulación (University of Colorado, 2019b), desde la cual, los estudiantes notaron la variación de la resistencia eléctrica en función de la resistividad, la longitud y el área transversal en un cable eléctrico; junto con una lectura correspondiente a la variación de la resistencia eléctrica con la temperatura (Serway & Vuille, 2018b).

Inicialmente los estudiantes realizaron un circuito eléctrico que consta de una conexión en serie de una fuente de voltaje, un amperímetro y una resistencia, desde el cual completan una tabla de datos en la que registran los valores de corriente obtenidos a partir de los cambios de voltaje que ellos realizan en la fuente. Además, realizan una gráfica en la cual se evidencia la relación directamente proporcional entre el voltaje y la corriente, como se puede ver en la figura 5.44. En el laboratorio, los estudiantes notaron que las resistencias que estaban utilizando para llevar a cabo el experimento, tenían 4 colores diferentes, los cuales fueron anotados para poder analizar después los resultados obtenidos. Además, pudieron notar que cada uno de los grupos tenía una resistencia diferente, lo que generaba que los resultados de la diferencia de potencial y de la corriente fueran diferentes para todos.

Aunque los grupos obtuvieron gráficas semejantes, en cuanto a la función lineal que se observaba a partir del experimento, algunos graficaron el voltaje como abscisa y la corriente como ordenada, encontrando como constante de proporcionalidad el valor de $1/\text{resistencia}$.

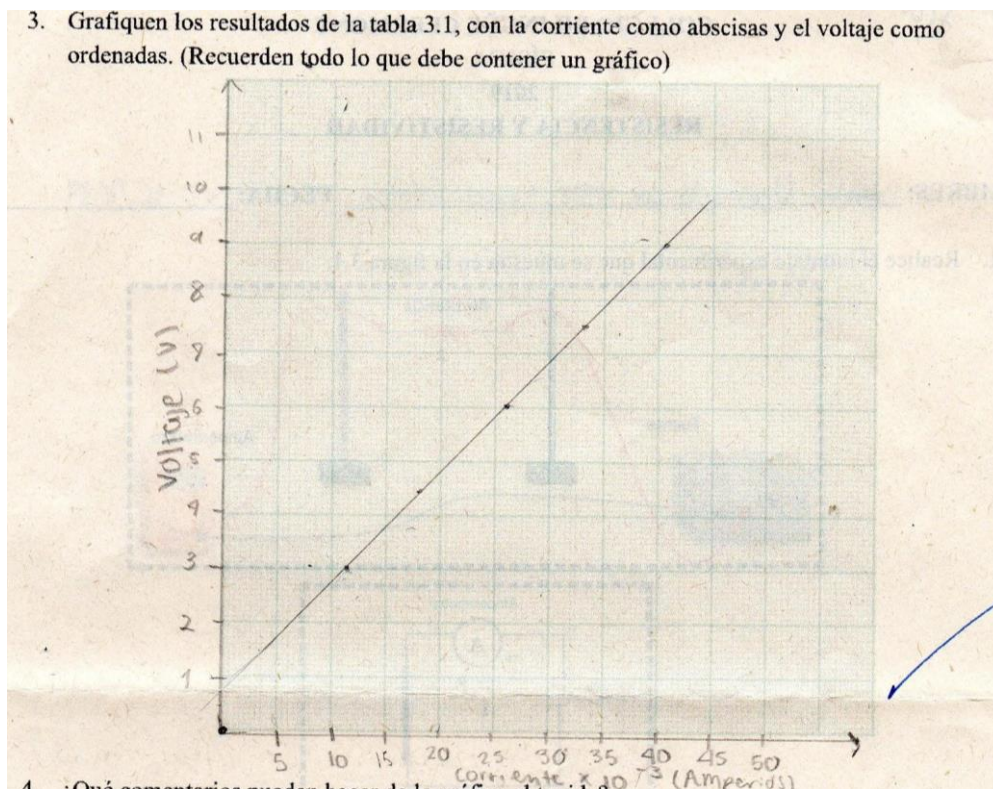


Figura 5.44. Gráfica realizada por los estudiantes del grupo 5.

Una vez los estudiantes realizaron la gráfica, debían escribir algunos comentarios que estuvieran relacionados con los resultados obtenidos en la tabla y en la gráfica respectiva. Las ideas escritas por algunos estudiantes pueden verse de la figura 5.45 a la 5.48, donde mencionan la relación de proporcionalidad entre las dos magnitudes físicas y la dependencia lineal entre el voltaje y la corriente.

4. ¿Qué comentarios pueden hacer de la gráfica obtenida?
La gráfica representada por la variación de los Amperios acorde al voltaje usado, muestra una tendencia a incrementar. Por lo tanto, a medida que se aumentan los voltios de la fuente, la corriente será mayor. De igual forma, debido a que los puntos están muy cerca de la línea que representa la tendencia y no dispersos y lejanos a la recta, la gráfica representa una correlación positiva y proporcional conforme al voltaje y la corriente.

Figura 5.45. Comentarios realizados por los estudiantes del grupo 1.

4. ¿Qué comentarios pueden hacer de la gráfica obtenida?
A medida que aumenta el voltaje, aumenta la corriente, es decir, la corriente es directamente proporcional al voltaje. Es ascendente, teniendo una correlación positiva.

Figura 5.46. Comentarios realizados por los estudiantes del grupo 2.

4. ¿Qué comentarios pueden hacer de la gráfica obtenida?
La corriente en amperios y el voltaje en voltios son directamente proporcionales. Esto lo demuestra la gráfica, ya que cuando incrementamos el voltaje, la corriente obtenida crece de la misma forma, casi igual. Cuando habíamos un voltaje de 3V y 6V, las corrientes son de 0.3A y 0.6A. Se podría decir que si el voltaje sigue en aumento, la corriente también crece de forma proporcional al número del voltaje.

Figura 5.47. Comentarios realizados por los estudiantes del grupo 4.

4. ¿Qué comentarios pueden hacer de la gráfica obtenida?
Se puede observar en la gráfica que hay una relación directamente proporcional entre la corriente y el potencial, pues a mayor potencial (voltios), mayor corriente (Amperios) se produce. También se puede observar que la tendencia de la línea es creciente y la relación entre los puntos es lineal.

Figura 5.48. Comentarios realizados por los estudiantes del grupo 8.

A partir de la gráfica los estudiantes encontraron el valor de la constante de proporcionalidad entre el voltaje y la corriente. Y a partir de la definición de la ley de Ohm, los estudiantes pudieron establecer que el valor de la constante de proporcionalidad coincidía con el valor experimental de la resistencia eléctrica que utilizaron. El proceso que realizó cada uno de los grupos para encontrar el valor experimental de la resistencia, se consignó en la hoja de actividad y adicionalmente se comparó este valor con el valor teórico de la resistencia, el cual se obtuvo a partir de una explicación en clase que realizó la docente sobre el código de colores de las resistencias. Algunos de los procesos que llevaron a cabo los estudiantes se pueden observar

en las imágenes 5.49 y 5.50. Particularmente en la figura 5.50, puede observarse que hay una diferencia entre el valor experimental de la resistencia eléctrica obtenido por el grupo 5, con el valor teórico, razón por la cual ellos argumentan que la diferencia se debe a factores experimentales que son importantes considerar al utilizar dispositivos electrónicos.

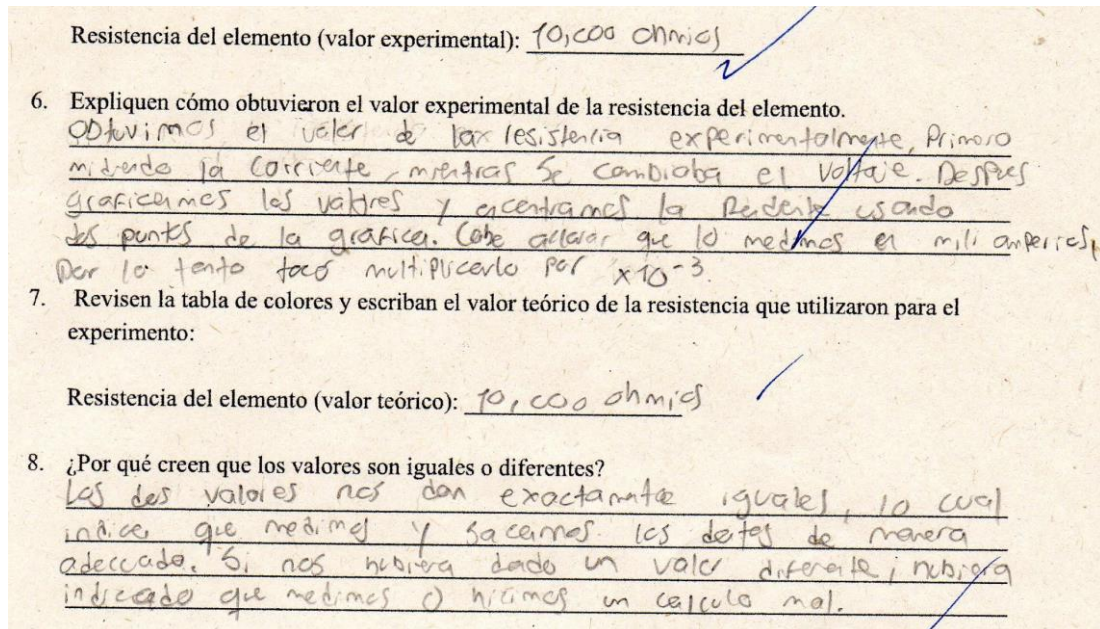


Figura 5.49. Comentarios realizados por los estudiantes del grupo 3.

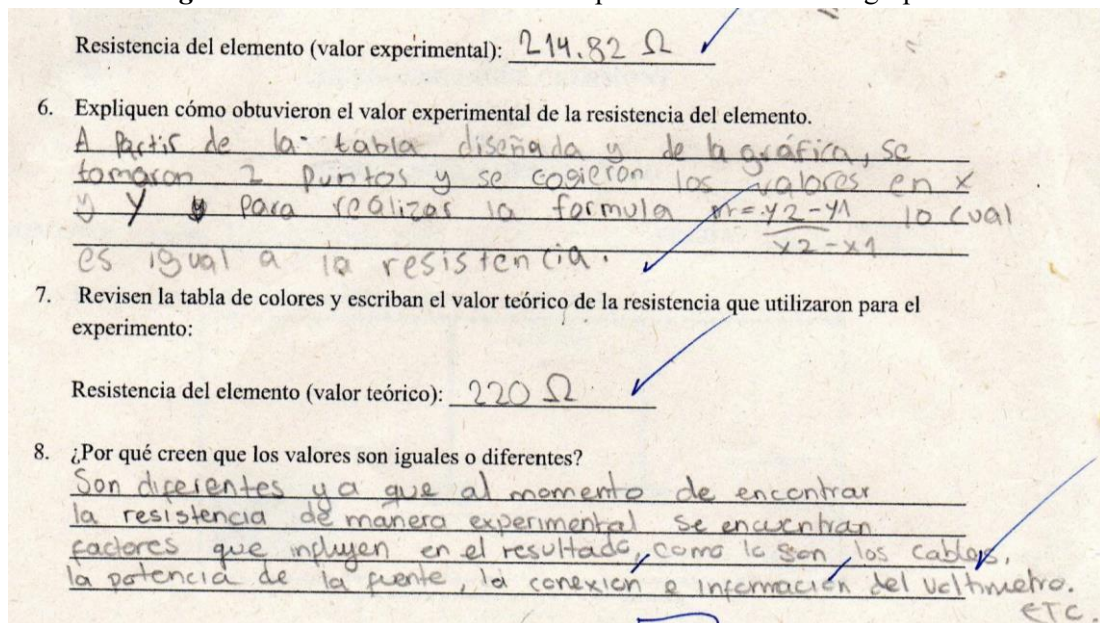


Figura 5.50. Comentarios realizados por los estudiantes del grupo 5.

La segunda parte de la actividad, se centró en la simulación de Phet relacionada con la definición de la resistencia eléctrica en función de la resistividad. Como se puede observar en la figura 5.51 los estudiantes podían variar los valores de la resistividad, la longitud y el área para observar el comportamiento de la resistencia eléctrica.

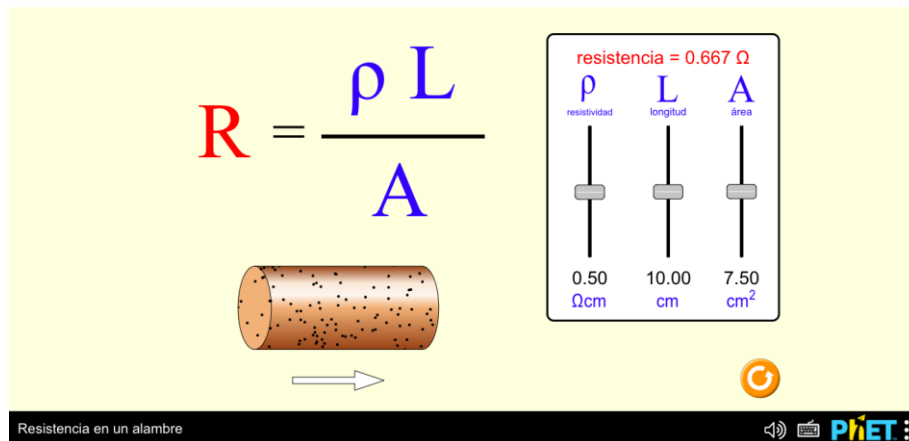


Figura 5.51. Actividad de Phet relacionada con resistencia y resistividad eléctrica.

A partir de la actividad, los estudiantes escribieron una serie de conclusiones que relacionan la resistencia con la longitud de un alambre, la resistividad y el área transversal. La siguiente figura 5.52, muestra algunas conclusiones dadas por los estudiantes, en las cuales se evidencian las relaciones directas e inversas de proporcionalidad entre las magnitudes vistas. Es importante mencionar, que todos los grupos de trabajo llegaron a conclusiones similares en cuanto a la relación de las magnitudes mencionadas con la resistencia eléctrica.

Respondan las siguientes preguntas teniendo en cuenta la actividad de Phet

9. ¿Qué relación encuentra entre la Resistencia de un material con el área transversal?
 Se puede evidenciar una relación existente entre el área transversal y la resistencia de un material ya que la actividad de Phet se muestra que a manera que el área aumenta la resistencia disminuye, se podría decir que son inversamente proporcionales.
10. ¿Qué relación encuentra entre la Resistencia de un material con la longitud del material?
 Se puede evidenciar en la actividad de Phet que a medida que la longitud aumenta, la resistencia aumenta también, siendo directamente proporcional.
11. ¿A qué hace referencia el valor de la resistividad del material?
 La resistividad se puede definir como la capacidad de un material en específico para disminuir el paso de corriente, cabe resaltar que dependiendo del material puede variar el valor de ρ .

Figura 5.52. Comentarios realizados por los estudiantes del grupo 6.

Finalmente, los estudiantes hacen dos lecturas del libro de texto que manejan en el colegio, Fundamentos de física de Serway & Vuille (2018b). La primera menciona aspectos relevantes acerca de Resistencia, resistividad y ley de Ohm, desde la cual se buscaba que los estudiantes aclararan los conceptos trabajados en clase a partir de las prácticas experimentales; y la segunda menciona aspectos detallados de la variación de la resistencia con la temperatura, de manera que los estudiantes pudieran dar cuenta de la dependencia entre las dos magnitudes.

Evaluación diagnóstica continua clase 3: Para la clase de resistencia, resistividad y variación de la resistencia con la temperatura, se realizaron dos tipos de evaluación. La primera buscaba observar el nivel de comprensión de los estudiantes en relación con los conceptos de resistencia y resistividad, esta evaluación se realizó de forma grupal. Y la segunda buscaba observar el nivel de comprensión de los estudiantes con respecto a la variación de resistencia con la temperatura, ésta se realizó de forma individual. Al igual que las anteriores clases, la comprensión alcanzada por los estudiantes se evaluó desde las 4 dimensiones dadas a conocer desde el enfoque de comprensión de la EpC para la evaluación grupal. Mientras que para la evaluación individual sólo se tuvo en cuenta el primer criterio de la dimensión de contenidos.. En la siguiente gráfica, se pueden observar los niveles de comprensión que alcanzaron los estudiantes en la evaluación de los dos primeros conceptos trabajados en la tercera clase.

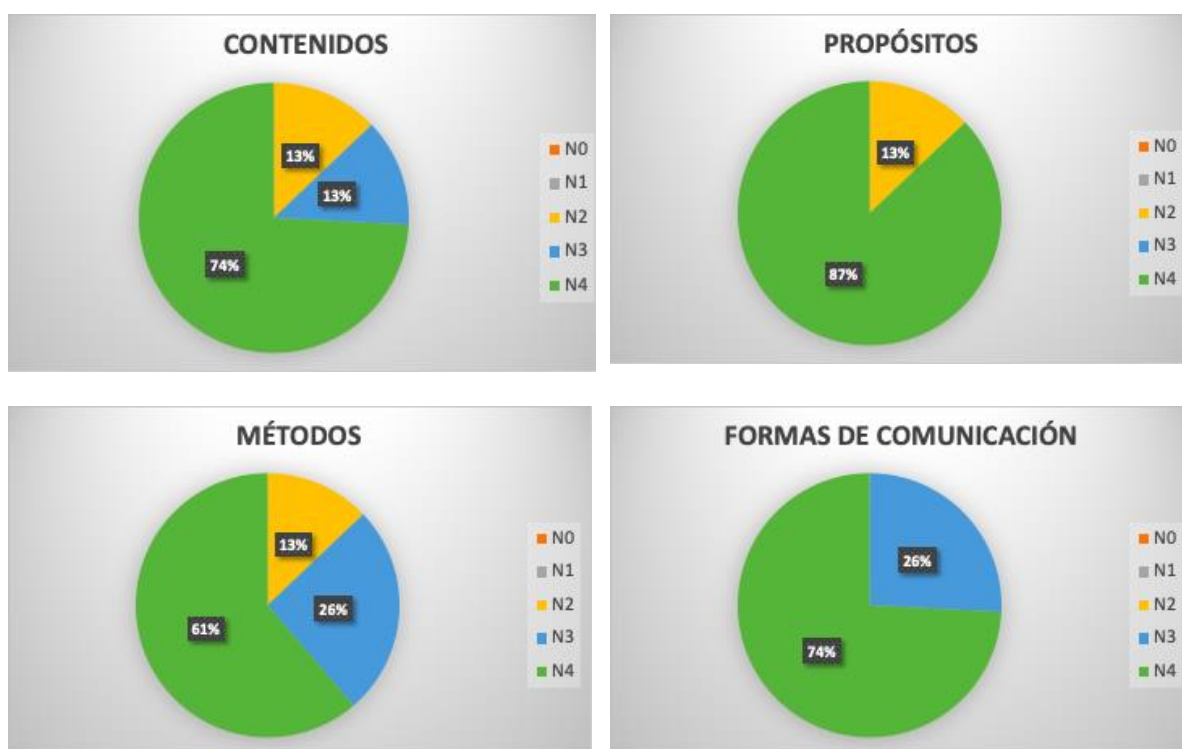


Figura 5.53. Gráficas de resultados porcentuales de las cuatro dimensiones

A partir de los resultados presentados en la figura 5.53, se puede decir que ningún grupo se clasificó en el primer nivel de comprensión en ninguna de las 4 dimensiones, lo cual indica que los estudiantes comprendieron satisfactoriamente las temáticas trabajadas en la clase, ya que como puede observarse en los resultados, la mayoría de los grupos de trabajo alcanzan en todas las dimensiones los dos máximos niveles de comprensión, que al compararlos con los resultados de las dos clases anteriores, indica que comprendieron favorablemente los temas abordados.

Particularmente en la dimensión de **contenidos**, se evaluó el criterio 1, (ver criterio 1 en tabla

No. 1) y puede observarse que al igual que la clase de potencial y campo eléctrico, un 13% de la población obtuvo el nivel 2. Además, es posible observar una reducción del número de estudiantes que obtuvo nivel 3 de comprensión en este criterio y un aumento de los estudiantes que se clasificaron en el último nivel de comprensión, el 13% y el 74% son los resultados en los niveles 3 y 4 respectivamente. Resultados que permiten concluir, que una mayor cantidad de estudiantes logró entender cabalmente los conceptos vistos en clase alrededor de la resistencia eléctrica.

En segundo lugar, considerando la dimensión de **propósitos**, la cual hace referencia a la conciencia de los propósitos del conocimiento (ver criterio 1 Tabla No. 3), es posible notar que un 87% de los estudiantes, que corresponde a 7 grupos de trabajo, alcanzó el máximo nivel de comprensión. Mientras que el 13% de los estudiantes se clasificó en el nivel dos.

Por otro lado, en la dimensión de **métodos**, que evalúa para la clase el criterio 2 (ver tabla No. 2), se puede observar que nuevamente la mayoría de los estudiantes, con un porcentaje del 61%, que corresponde a 5 grupos de trabajo, obtuvo el nivel 4 de comprensión, el 26% de los estudiantes se clasificaron en el nivel 3 y el 13% en el nivel 2.

Por último, se puede observar el resultado favorable en la dimensión de **formas de comunicación**, el cual se evalúa desde el criterio 2 (ver tabla No. 4), ya que la totalidad de los estudiantes se clasificó en los niveles más avanzados. Teniendo en el nivel 4 de comprensión un porcentaje del 74% que refleja la evaluación de 6 grupos de trabajo y un porcentaje del 24% que se ubican en el tercer nivel de comprensión.

A continuación, se presentan los resultados particulares de los grupos de trabajo, teniendo en cuenta los niveles de comprensión que lograron obtener los estudiantes en las cuatro dimensiones. Se decide presentar los resultados de esta manera, teniendo en cuenta que muchos grupos cumplieron con los criterios de las dimensiones de formas semejante.

Nivel 4 de comprensión en todas las dimensiones: De los 8 grupos de trabajo, cuatro de ellos obtuvieron el nivel 4 de evaluación en todas las dimensiones de comprensión, lo cual sugiere que los 14 estudiantes que conforman estos grupos, comprendieron satisfactoriamente el tema de resistencia y resistividad eléctrica, a partir de las actividades que se llevaron a cabo durante la clase.

De la Figura 5.54 a la 5.57, se pueden observar las conclusiones que los estudiantes escriben en relación con los conceptos mencionados. En la dimensión de **contenidos**, estos grupos logran obtener el máximo nivel de comprensión, debido a las relaciones que establecen entre las magnitudes físicas trabajadas. Por ejemplo, la explicación que hace el grupo 1, ya que empleando las ecuaciones $V/I=R$ o $R=\rho L/A$, da conocer las relaciones de proporcionalidad en cada caso, o la explicación de las ecuaciones que realiza el grupo 5 de forma escrita.

Con respecto a la dimensión de **propósitos** es posible observar que los estudiantes del grupo 1, hacen uso de ejemplos para dar a entender los conceptos, cuyas conclusiones debían estar

plasmadas en la hoja de actividad, mostrando una relación significativa entre lo que están estudiando y lo que están aprendiendo, lo cual se refleja en la sección en la que mencionan el valor de la resistividad de la plata. Otro ejemplo es la importancia que le da el grupo 6 a las unidades de la resistividad, y cómo relacionan este término con la estructura electrónica de los materiales.

Por otro lado, en la dimensión de **métodos**, los estudiantes demuestran que a partir de explicaciones sencillas logran evidenciar su comprensión con respecto a los fenómenos estudiados. Por ejemplo, el grupo 2 muestra las relaciones entre la resistividad de los materiales, la conductividad y la energía de los mismos.

Finalmente, la claridad en la presentación de las ideas, la coherencia al escribir y el uso correcto de simbología que los estudiantes muestran en las conclusiones alrededor de resistencia y resistividad, los ubica en el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación**.

Resistencia	Resistividad
<p>La resistencia eléctrica es la obstrucción o oposición de electricidad, o dicho en otras palabras, el impedimento del paso de electrones en un circuito eléctrico. La unidad principal es el Ohm, y cada dispositivo conectado en un circuito eléctrico poseerá cierta resistencia.</p>	<p>La resistividad es la capacidad propia de un objeto para impedir el flujo de electrones de un circuito eléctrico. Esta variable es una constante ÚNICA de cada objeto, que depende de la estructura electrónica y temperatura de dicho objeto.</p>
<p>La resistencia es igual al cociente de voltaje y corriente del circuito eléctrico ($V = R \cdot I$)</p>	<p>La resistividad es representada mediante la variable (ρ) la cual posee un valor diferente dependiendo de que material se use. (Ej: la resistividad de la Plata siempre será $1.64 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, pero la resistividad del Oro, aluminio o hierro tendrán valores de resistividad diferentes.</p>
<p>Igualmente la resistencia puede ser denominada como el producto de la resistividad de un objeto y la longitud del mismo, divididos ambos por el área transversal del objeto. ($R = \rho \frac{L}{A}$)</p>	<p>A mayor resistividad de un objeto, mayor resistencia del</p>
<p>Por lo tanto, la Resistencia y longitud de un objeto son directamente proporcionales, y la resistencia y el área transversal son inversamente proporcionales.</p> <p style="text-align: center;">$C = 4$ $N = 4$</p>	<p>circuito, y por ende, menor flujo de electrones (Amperios). Por otro lado, a menor resistencia y mayor flujo de electrones. (Buenos conductores de electricidad)</p>

Figuras 5.54. Conclusiones realizadas por el grupo 1

Resistencia	Resistividad
<p>La resistencia y resistividad son directamente proporcionales. La resistencia es lo que permite o no que pasen los electrones, es decir que fluya la carga. Existen los conductores, semi-conductores, aislantes y la resistencia en cada uno cambia ya que la resistividad de cada elemento es lo que determina que cantidad de electricidad pasa.</p>	<p>Es la capacidad que tiene cada objeto o material para retener o dejar pasar la electricidad. La resistividad depende de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipos de materiales - Área transversal - Temperatura - Longitud. <p>Se puede decir que los aislantes tienen mayor resistividad ya que dejan pasar menor electricidad. En cambio, los grandes conductores tienen menor resistividad por esto el flujo de energía es mayor.</p>

Figuras 5.55. Conclusiones realizadas por el grupo 2

Resistencia	Resistividad
<p>La resistencia es la razón del voltaje sobre la corriente. En otras palabras, es el impedimento que tiene la carga para moverse en un conductor. Esta se ve afectada por la longitud y el área y a su vez es directamente proporcional con la resistividad de un material por lo que se puede entender que la temperatura también es un factor en la resistencia por su influencia en la resistividad. Gracias al surgimiento de la ley de Ohm se puede medir la resistencia en Ohmios.</p>	<p>La resistividad es una característica propia de cada material, esto quiere decir que no es influenciada por variables como el área y la longitud, pero no se puede decir que no afecte la resistencia puesto que la resistividad es directamente proporcional a la resistencia. La resistividad hace referencia al movimiento de carga que permite cada material son datos establecidos que pueden variar según la temperatura.</p>

Figuras 5.56. Conclusiones realizadas por el grupo 5

Resistencia	Resistividad
<p>Resistencia se puede definir de 2 formas: la razón del voltaje a través de un conductor (corriente), o como el resultado de la resistividad por la longitud del conductor sobre el área del conductor. La resistencia incrementa si el área del conductor es pequeña, ya que los electrones chocan con mayor frecuencia y se detienen más, o si la longitud del conductor es larga. La resistencia se da en Ohmios, los materiales que tienen resistencias constantes en varios voltajes son materiales óhmicos, los que varían con el voltaje son no óhmicos.</p>	<p>La resistividad es la capacidad de un material en disminuir el paso de corriente por el mismo dependiendo de su estructura electrónica y su temperatura. Un material con alta resistividad es un buen aislante eléctrico, mientras que los mejores conductores eléctricos tienen baja resistividad se da en Ohms/metro (Ω/m).</p>

Figuras 5.57. Conclusiones realizadas por el grupo 6

Nivel 4 de comprensión en 3 dimensiones: Los estudiantes del grupo 4 se caracterizaron por alcanzar el nivel máximo de comprensión en tres de las dimensiones evaluadas desde la EpC. Particularmente en las dimensiones de **métodos**, **propósitos** y **formas de comunicación**, lo cual indica que la descripción realizada para los primeros grupos aplica también para éste en las dimensiones mencionadas. Sin embargo, en la dimensión de **contenidos**, los estudiantes lograron el nivel 3 de comprensión, debido a que aún muestran algunas ideas intuitivas relacionadas con los temas estudiados. Esta caracterización se puede evidenciar en la conclusión de resistividad en la figura 5.58 en la que escriben la misma idea dos veces y no se hace una profundización del concepto teniendo en cuenta lo aprendido en la clase.

Resistencia	Resistividad
<p>Es la oposición que presentan los materiales para que fluya la corriente eléctrica a través de ellos, se presentan colisiones entre los electrones el movimiento y los átomos del material. La resistencia puede disminuir o hacer el flujo de los circuitos y se puede ver como un obstáculo para la corriente eléctrica.</p> <p>La resistencia depende del material, área transversal, longitud, voltaje y corriente. Por lo cual sus fórmulas son $R = \frac{P}{I}$ $R = \frac{V}{I}$</p>	<p>Es la resistencia eléctrica específica de un determinado material, que tanto se opone al material al paso de corriente eléctrica. Tiene unidades de ohms sobre metros. La resistividad es una característica propia de un determinado material. La resistividad puede variar dependiendo de factores como el tipo de material, el tipo de tenores, humedad, temperatura y salinidad. La resistividad no es constante en el tiempo.</p>

Figura 5.58. Conclusiones realizadas por el grupo 4

Nivel 4 de comprensión en 2 dimensiones: Los grupos 3 y 8 se caracterizaron por obtener el nivel máximo de comprensión en dos dimensiones. Particularmente, el grupo 3 obtuvo el nivel 4 en las dimensiones de **propósitos** y **formas de comunicación**. Mientras que en la dimensiones de **contenidos** y **métodos** obtuvo nivel 3.

En la dimensión de **contenidos**, como se observa en la figura 5.59, en la primera conclusión de resistencia, los estudiantes escriben empleando un lenguaje cotidiano como la utilización de la palabra “aleatoriza” para referirse a la disminución de la velocidad y expresiones como “la dirección opuesta del campo eléctrico en los circuitos”.

Y en la dimensión de **métodos**, obtienen este nivel de comprensión debido a la exposición de sus ideas sin tener completa claridad de ellas, lo cual se ve reflejado en la primera conclusión que escriben acerca de la resistencia eléctrica.

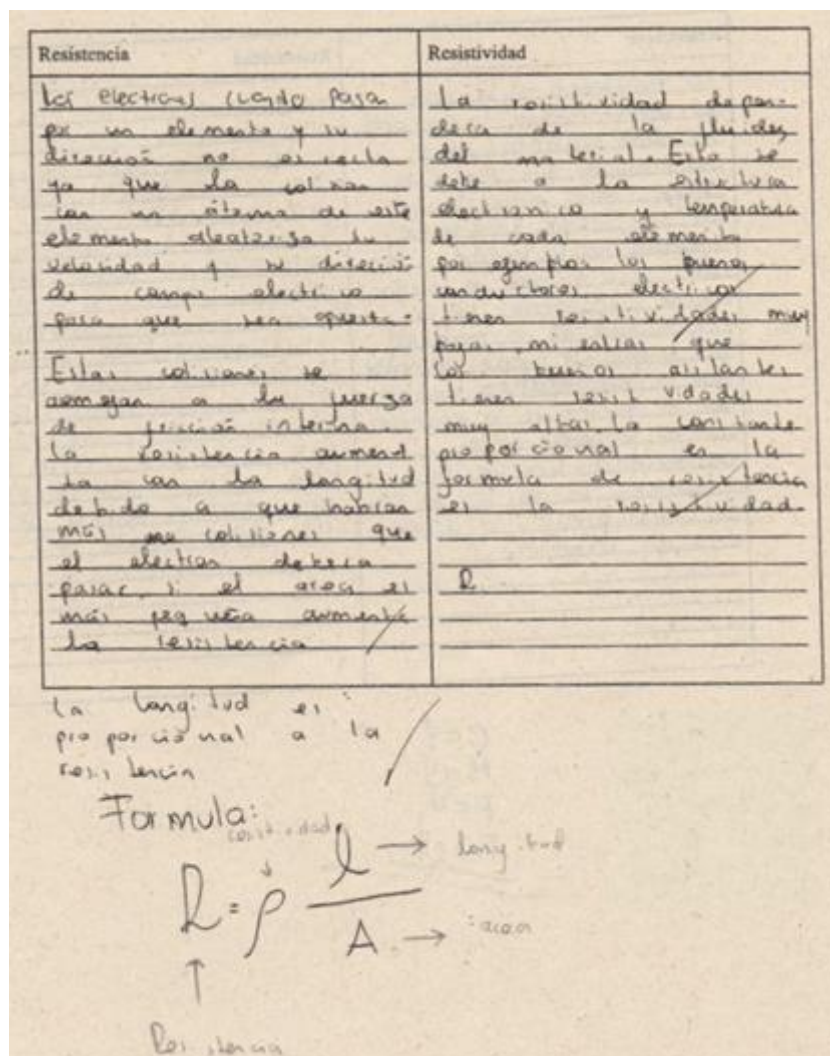


Figura 5.59. Conclusiones realizadas por el grupo 5

Por su parte las conclusiones del tema presentadas por los estudiantes del grupo 8 (Figura 5.60), los clasifican en nivel 4 de comprensión en las dimensiones de **contenidos** y **propósitos**, pero en nivel 3 en las dimensiones de **métodos** y **formas de comunicación**.

Con respecto a la dimensión de **métodos**, es posible observar que, aunque los estudiantes tienen la claridad conceptual de los temas trabajados, no presentan sus ideas de forma sofisticada, cometiendo algunos errores en cuanto a la escritura de las unidades de las magnitudes físicas. Además, en las conclusiones de resistividad, mencionan información únicamente de la resistencia eléctrica.

En la dimensión de **formas de comunicación**, también se ubican en el nivel 3 de comprensión, ya que, al hacer uso de ejemplos para la explicación de los términos, cometen algunos errores que interfieren con la comprensión del conocimiento, específicamente se puede observar esto en la explicación que hacen de la fórmula de resistencia y resistividad.

Resistencia	Resistividad
Es la colisión que se genera entre los electrones que llevan la corriente y un átomo fijo. La resistencia es directamente proporcional a la longitud del conductor. La unidad de la resistencia es <u>Volumen</u> / amperio, lo que es equivalente a Ohms Ω .	se puede decir que un electron gana velocidad cuando la fuerza electrica que tiene que ver con el campo electrico interno lo acelera, así le da una velocidad hacia la dirección opuesta. y cuando una colisión con un átomo ocurre reaccionan generando una dirección opuesta al campo, por lo tanto esto genera una resistencia a cierta material.
En un circuito, cuando se aplica más voltaje, hay más corriente, por el contrario cuando hay más resistencia, hay menos corriente.	Se puede decir que la resistencia de un conductor ohmico aumenta con la longitud.
También se puede decir que la resistencia es inversamente proporcional a la sección transversal del conductor.	También se puede decir que la resistencia es proporcional a la longitud del conductor y la longitud es inversamente proporcional al área de su sección transversal.
También se puede decir que la resistencia permanece constante en un amplio rango de voltaje o corrientes aplicadas, y esto es lo que se conoce como ley de Ohm.	por otro lado, se conoce ρ como resistividad del material, los buenos conductores tienen una baja resistividad, y los aislantes tienen una mejor resistividad
$\Delta V = IR$	$R = \rho \frac{L}{A}$

Figura 5.60. Conclusiones realizadas por el grupo 8

Niveles 3 y 2 de comprensión: El grupo 7 se caracterizó por obtener nivel 3 de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación** y nivel 2 en las dimensiones de **contenidos**, **métodos** y **propósitos**. En la figura 5.61, se puede observar que, en cuanto a la dimensión de **contenidos**, los estudiantes aún no tienen la claridad esperada de los términos de resistencia y resistividad. Por ejemplo, en la primera conclusión afirman que “la resistencia desde la fórmula describe la cantidad de voltios que hay en una cantidad de corriente.”

Con respecto a las dimensiones de **métodos** y **propósitos**, se observa una repetición en las ideas presentadas en el término de resistividad, lo cual refleja la falta de vinculación entre las actividades que se llevaron a cabo durante la clase con las conclusiones presentadas y el afán por la entrega rápida de las conclusiones, sin revisar lo escrito.

Finalmente, con respecto a la dimensión de **formas de comunicación**, se clasifican en el nivel 3 de comprensión, particularmente por la explicación que realizan de las ecuaciones de resistencia y resistividad en función de las relaciones de proporcionalidad entre estas magnitudes.

Resistencia	Resistividad
<p>la resistencia, desde la fórmula, describe la cantidad de voltios que hay en una cantidad de corriente. La función de la resistencia es controlar el flujo de corriente que pasa por un circuito, y es dada en unidades de ohmios (Ω) que es el resultado de voltios dividido en amperios. Además de esto, cabe mencionar que la resistencia depende de la resistividad, pues esta cambia de manera proporcional con respecto a la resistividad.</p>	<p>La resistividad, desde la fórmula, describe el área multiplicada por la resistencia en una cierta longitud. El valor de la resistividad depende de la temperatura y el material. Además, de esto, la resistividad es un factor importante que influye en el valor de la resistencia.</p>

Figura 5.61. Conclusiones realizadas por el grupo 7

Evaluación de la variación de la resistencia en función de la temperatura: Teniendo en cuenta que la evaluación del concepto de la variación de la resistencia eléctrica en función de la temperatura, se realizó de forma individual, se tuvo en cuenta sólo el criterio 2 en la dimensión de **contenidos** para evaluar la comprensión de los estudiantes alrededor de este tema. En la siguiente gráfica se muestra el resultado porcentual obtenido por los estudiantes en esta dimensión.



Figura 5.62. Resultado porcentual en la dimensión de contenidos para la comprensión de la resistencia en función de la temperatura.

Como se puede observar en la gráfica anterior, un estudiante se clasificó en el nivel cero de comprensión, lo que indica que no completó la actividad propuesta en cuanto a la conclusión

de la variación de la resistencia con la temperatura. Por otro lado, uno de los estudiantes se clasificó en el primer nivel de comprensión debido a que prevalecieron sus conocimientos previos con respecto al tema como se puede observar en el siguiente fragmento escrito por la estudiante del grupo 4, en donde se menciona la idea que la resistencia es inversamente proporcional a la temperatura:

“Cuando aumenta la temperatura del conductor disminuye la resistencia. Normalmente en los circuitos se usa un conductor metálico y debido a la electricidad que pasa por el conductor se produce un aumento en la temperatura del conductor, Yo opino que se da este cambio debido al tipo de material que se usa y las reacciones del experimento al usarlo, también porque la temperatura es una variable que siempre hay que tener en cuenta.”

Con respecto al nivel 2 de comprensión, se puede observar que el 33% de los estudiantes mezclan el conocimiento previo alrededor del tema de la variación de la resistencia en función de la temperatura, con el conocimiento disciplinar. En los siguientes fragmentos se encuentran 3 conclusiones realizadas por estudiantes del grupo 2, 7 y 8, en las cuales se subrayan aquellas ideas en las cuales prevalece el conocimiento cotidiano.

“Dependiendo si el cambio de la temperatura incremente esto genera que la resistencia aumente el flujo pero la integridad de este puede ser comprometida más fácil, al causar dentro del elemento el movimiento de las partículas con una mayor rapidez, dejando más espacio donde puede estar la carga. Por lo contrario al reducirse la temperatura la resistencia puede que disminuya la energía que pasa pero el material tiene una mayor integridad.”

“La temperatura puede variar la resistencia de un material ya que el metal reacciona diferente dependiendo de la temperatura. Si la temperatura aumenta la resistencia del material aumenta y cuando esta disminuye la resistencia del material disminuye. Esto se puede ver en los metales, si la temperatura aumenta estos se dilatan y si la temperatura disminuye estos se contrae, esto es lo que hace que la resistividad del cable cambie.”

“La resistencia puede llegar a ser de mayor fuerza (aumenta la resistividad) en el momento en que la temperatura aumenta, por lo tanto puede llegar a afectar la potencia del voltaje dentro de un circuito eléctrico. Considero que esto sucede porque la resistencia es como un obstáculo para la corriente por lo tanto cuando la temperatura está aumentando dentro del circuito esta se acumula a través de la resistencia evitando que la misma temperatura avance.”

Por otro lado, 10 estudiantes de undécimo alcanzan un nivel 3 de comprensión, demostrando que sus conocimientos con respecto a la variación de la resistencia con respecto a la temperatura son los esperados. Estos estudiantes no se clasificaron en el máximo nivel de comprensión por la falta de profundización en sus respuestas, sin embargo, no se evidencian en sus conclusiones errores conceptuales. En los siguientes fragmentos se observan dos

conclusiones escritas por estudiantes de los grupos 3 y 6 que alcanzaron este nivel de comprensión.

“Teniendo en cuenta todo lo visto en clase, es posible darnos cuenta cómo a menor temperatura la resistencia es menor y a mayor temperatura, mayor será la resistencia. Este cambio se da debido a que a mayor temperatura de un material, la energía cinética aumenta debido a su aumento de velocidad de las moléculas y en el caso de menor temperatura, las moléculas tendrán una velocidad inferior y la energía cinética será menor.”

“A medida que incrementa la temperatura en una resistencia, esta incrementa. Este fenómeno se debe al calor en la resistencia. Pensemoslo así, los electrones están pasando con los cables, esto incluyendo la resistencia, y lo que hacen estos electrones es que chocan las paredes de los materiales. Al calentar la resistencia, lo que sucede es que ahora los electrones que vayan a pasar por la resistencia u energía cinética se incrementa, y al estarse moviendo más rápido chocaran más con la resistencia ralentizando su velocidad.”

Finalmente, se muestra la conclusión escrita por una estudiante del grupo 5 que alcanzó el máximo nivel de comprensión del tema estudiado. Es interesante observar la claridad de las ideas que presenta la estudiante y la relación que hace con el trabajo de la clase y con sus conocimientos previos.

“La resistencia que hay en función de la temperatura es una relación positiva porque al aumentar la temperatura también lo hace la resistencia, y si el objeto se enfría su resistencia se reduce. Creo que esto ocurre porque todos los materiales se ven afectados por la temperatura, de una forma u otra, porque el impacto radica directamente en la composición misma de la materia. Al haber más temperatura, las partículas del material se mueven más rápido por lo que al agregarle corriente a la ecuación, se van a producir más colisiones dentro del material (por ejemplo: un cable de cobre). Debido a estas colisiones, la corriente se demora más en pasar lo que se traduce en una resistencia más efectiva. Cuando el material está frío, el movimiento de las partículas dentro de este se reduce considerablemente, por ende también lo hace el número de colisiones y la corriente puede pasar más rápidamente.”

Clase 4: Introducción al magnetismo.

Actividad: En el anexo 4, puede observarse la guía de trabajo que llevaron a cabo los estudiantes alrededor del tema de magnetismo. Por un lado, la intención de la primera parte de la actividad, era que a partir de unas sencillas simulaciones sobre magnetismo, los estudiantes pudieran dar cuenta del campo magnético terrestre, del comportamiento de las líneas de campo magnético de acuerdo a los polos de los imanes y de la relación entre la electricidad y el magnetismo. Por otro lado, se pretendía que con la segunda parte de la actividad, los estudiantes pudieran observar con experimentos sencillos, la formación de las líneas de campo magnético empleando imanes de diferentes formas y limadura de hierro.

Parte 1: En primer lugar y de forma individual, los estudiantes accedieron a la página de Supercomet (2019a) y desarrollaron paso a paso cada una de las actividades que allí se proponían. Al mismo tiempo, debían realizar el registro de sus conclusiones en relación con las lecturas que hacían y las simulaciones que se presentaban.

La primera pregunta de la guía, tenía como finalidad conocer las ideas previas de los estudiantes en relación con el campo magnético, de manera que se mostró un arreglo de imanes en la página web, para que los alumnos dibujaran las líneas de campo magnético que permitían que entre los imanes hubiera fuerza de repulsión. En la siguiente figura puede observarse los dibujos de las líneas de campo magnético, realizados por 6 estudiantes que dan evidencia de su conocimiento intuitivo alrededor del tema.

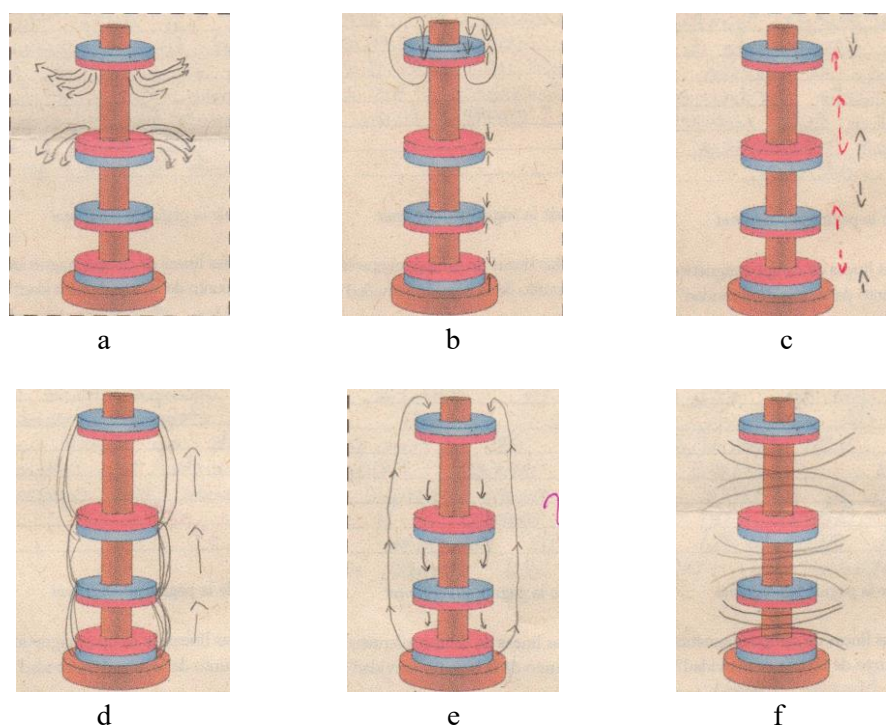


Figura 5.63. Dibujos de las líneas de campo magnético

La segunda pregunta de la guía de trabajo, se vinculaba con la existencia del campo magnético terrestre. En las siguientes figuras se observan algunas conclusiones escritas por los estudiantes que muestran los conocimientos alrededor del magnetismo terrestre. En estas respuestas puede observarse que los estudiantes concluyen que la tierra es un gran imán que ubica su polo norte magnético en el polo sur geográfico y el polo sur magnético en el polo norte geográfico, por otro lado atribuyen esta formación del campo magnético alrededor del planeta a las corrientes eléctricas en el interior del núcleo fundido.

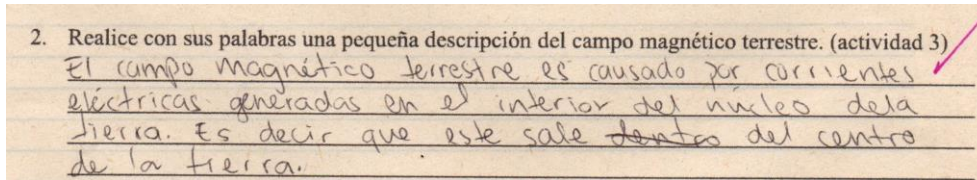


Figura 5.64. Descripción del campo magnético terrestre realizado por una estudiante del grupo 2

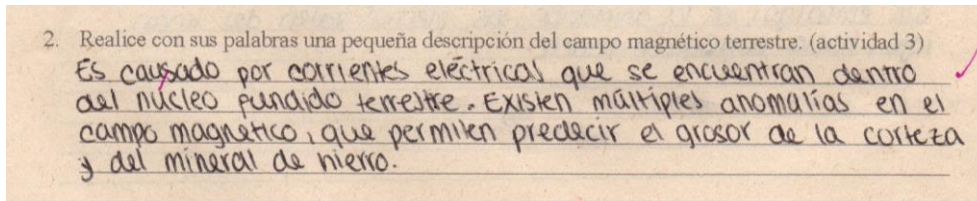


Figura 5.65. Descripción del campo magnético terrestre realizado por una estudiante del grupo 3

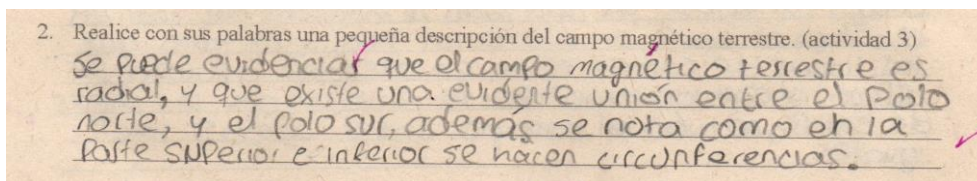


Figura 5.66. Descripción del campo magnético terrestre realizado por una estudiante del grupo 6

Por otro lado, en la actividad 4 de la página web, muestran el experimento de Ørsted (figura 5.67) que permitía observar las alteraciones de la dirección de la corriente en presencia de campos magnéticos.

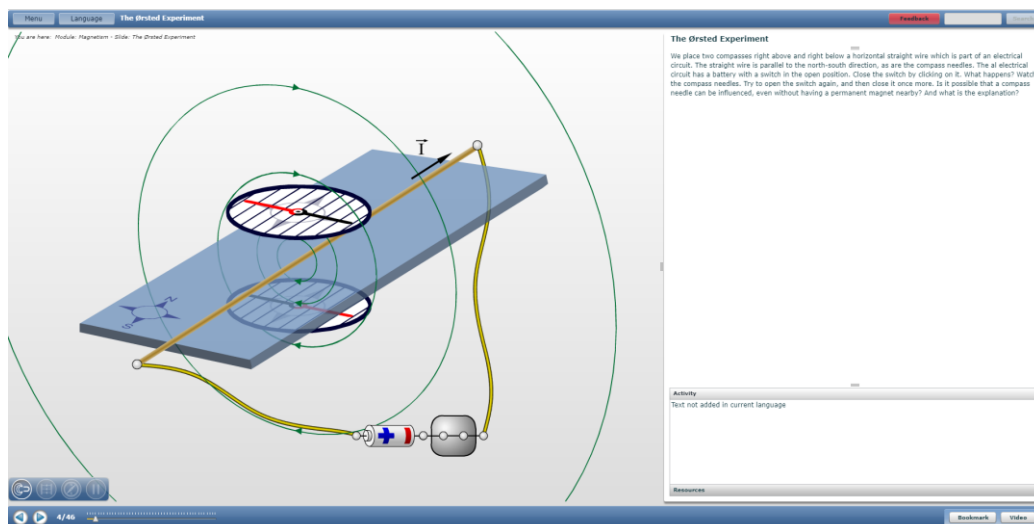


Figura 5.67. Experimento de Ørsted

Esta actividad pretendía que los estudiantes iniciaran la construcción de una relación entre los eventos eléctricos y los magnéticos, lo cual se hace evidente en la conclusión escrita por ellos en la pregunta 3 de la hoja de actividad de campo magnético. En las siguientes figuras se pueden observar algunas de las conclusiones a las cuales llegaron los estudiantes con la observación de esta simulación. En estas conclusiones, se hace evidente la vinculación de la corriente con

el magnetismo ya que los estudiantes mencionan que las alteraciones en la dirección de la corriente genera cambios en la dirección del campo magnético.

3. Al cerrar el circuito de la actividad 4 *The Ørsted Experiment*, ¿Es posible que una aguja de la brújula pueda verse influenciada, incluso sin tener un imán permanente cerca? ¿Y cuál es la explicación? (actividad 4)

la brújula puede verse afectada, debido a que la misma corriente de la pila el campo de invertir el campo magnético y por ende cambia la dirección de la aguja

Figura 5.68. Conclusión del experimento de Ørsted escrita por un estudiante del grupo 3.

3. Al cerrar el circuito de la actividad 4 *The Ørsted Experiment*, ¿Es posible que una aguja de la brújula pueda verse influenciada, incluso sin tener un imán permanente cerca? ¿Y cuál es la explicación? (actividad 4)

Si es posible que una aguja de la brújula pueda verse influenciada, incluso cuando no hay un imán cerca ya que puede existir un campo magnético, se genera corriente eléctrica, y esa corriente la de la pila (en este experimento)

Figura 5.69. Conclusión del experimento de Ørsted escrita por un estudiante del grupo 4.

3. Al cerrar el circuito de la actividad 4 *The Ørsted Experiment*, ¿Es posible que una aguja de la brújula pueda verse influenciada, incluso sin tener un imán permanente cerca? ¿Y cuál es la explicación? (actividad 4)

Si ya que al invertir los polos de la Batería también cambia en la brújula esto pasa porque la electricidad y el magnetismo están relacionados

Figura 5.70. Conclusión del experimento de Ørsted escrita por un estudiante del grupo 7.

Una vez los estudiantes concluyeron con la actividad del experimento de Ørsted, se buscaba que a partir de las actividades 5 y 6 de la página web, fueran capaces de puntualizar la relación entre la electricidad y el magnetismo, y cómo las corrientes eléctricas generan una perturbación magnética en el espacio. Algunos resultados de estas conclusiones se muestran desde la figura 5.71 a la figura 5.74, donde es posible observar que los estudiantes organizan de forma clara sus ideas y presentan la relación electromagnética haciendo uso del lenguaje apropiado y retomando las actividades que observan en las simulaciones.

4. ¿Qué sucede al cambiar los signos de la batería? (actividad 5)
 Si se invierten los signos de una batería, la corriente eléctrica fluye de manera contraria al circuito. Por lo tanto, dado que el alambre (por donde fluye una corriente) produce un campo magnético diferente al terrestre, al invertir los signos también se invierte el sentido del campo magnético.

5. ¿Qué crees que sucederá si inviertes la dirección de la batería, como en el experimento Ørsted? (actividad 6)
 Al igual que en la actividad anterior, tanto la dirección de la corriente como la orientación del campo magnético se invierten al momento en que se cambia el sentido de una batería.

6. ¿Qué puedes concluir de estos experimentos?
 Se puede concluir que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos, es decir, la electricidad y el magnetismo son dos términos altamente ligados entre sí, que se relacionan en el campo de la física conocido como electromagnetismo. De igual forma, podemos concluir esto ya que el fenómeno que produce que una aguja magnética se desvíe de su orientación normal (campo magnético terrestre) se debe a un segundo magneto: un alambre con corriente eléctrica.

Figura 5.71. Conclusión de la relación entre electricidad y magnetismo escrita por un estudiante del grupo 1.

4. ¿Qué sucede al cambiar los signos de la batería? (actividad 5)
 Al cambiar los signos de la batería, la dirección/sentido del campo magnético cambia consecuentemente, las agujas del reloj cambian de sentido también.

5. ¿Qué crees que sucederá si inviertes la dirección de la batería, como en el experimento Ørsted? (actividad 6)
 Crees que la dirección de la corriente se invierte también similar al anterior, las agujas forman un hexágono delimitando el campo magnético.

6. ¿Qué puedes concluir de estos experimentos?
 El campo magnético formado por el comportamiento de la corriente de un circuito eléctrico, es capaz de afectar el comportamiento de un elemento que se basa en el campo terrestre magnético, como la brújula se vio que al cambiar la dirección de la batería, y esto también afecta la dirección de campo y las brújulas.

Figura 5.72. Conclusión de la relación entre electricidad y magnetismo escrita por un estudiante del grupo 4.

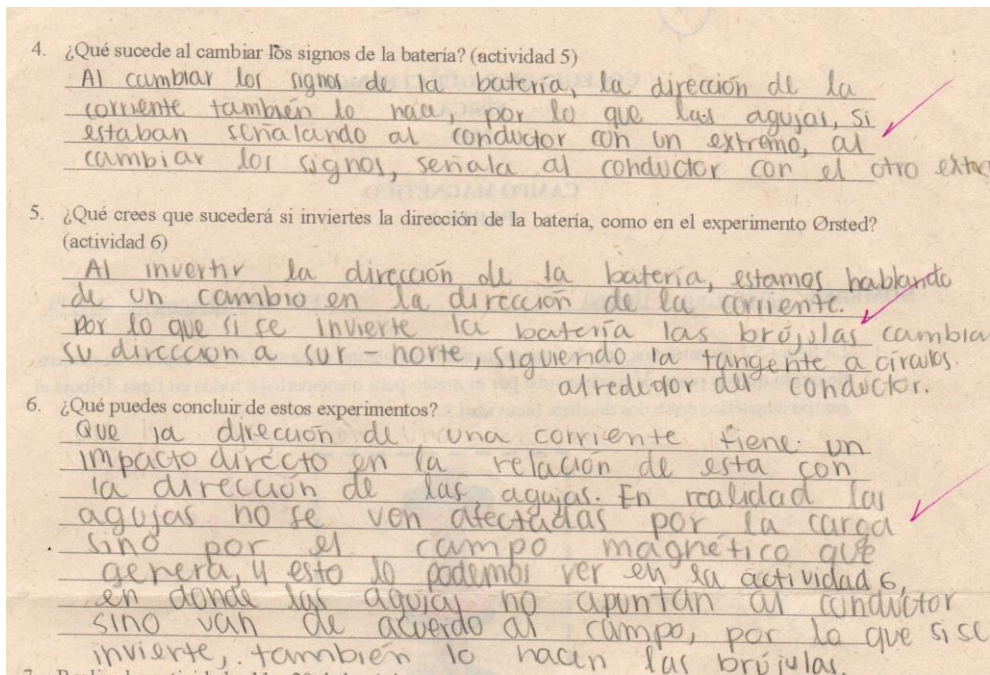


Figura 5.73. Conclusión de la relación entre electricidad y magnetismo escrita por un estudiante del grupo 5.

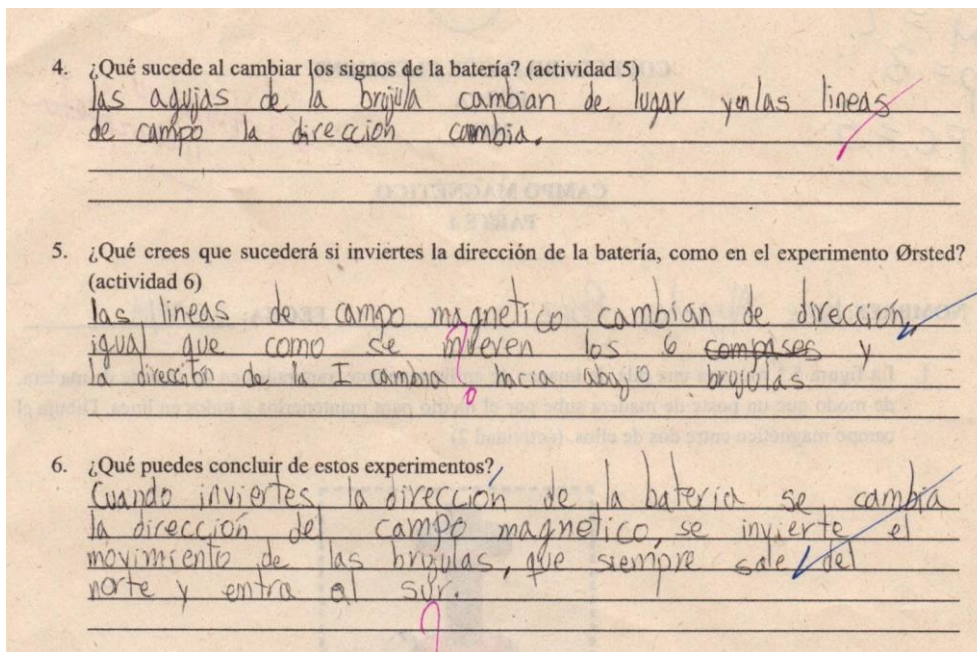


Figura 5.74. Conclusión de la relación entre electricidad y magnetismo escrita por un estudiante del grupo 4.

Una vez que los estudiantes mencionan la relación entre la electricidad y el magnetismo, inician con una serie de actividades sencillas propuestas en la página web, desde la cual debían seleccionar la configuración correcta de imanes para cada grupo de líneas de campo magnético que se mostraban en las imágenes (figura 5.75). Además se muestra la configuración correcta de las líneas de campo magnético para los imanes de la actividad 1. (figura 5.76)

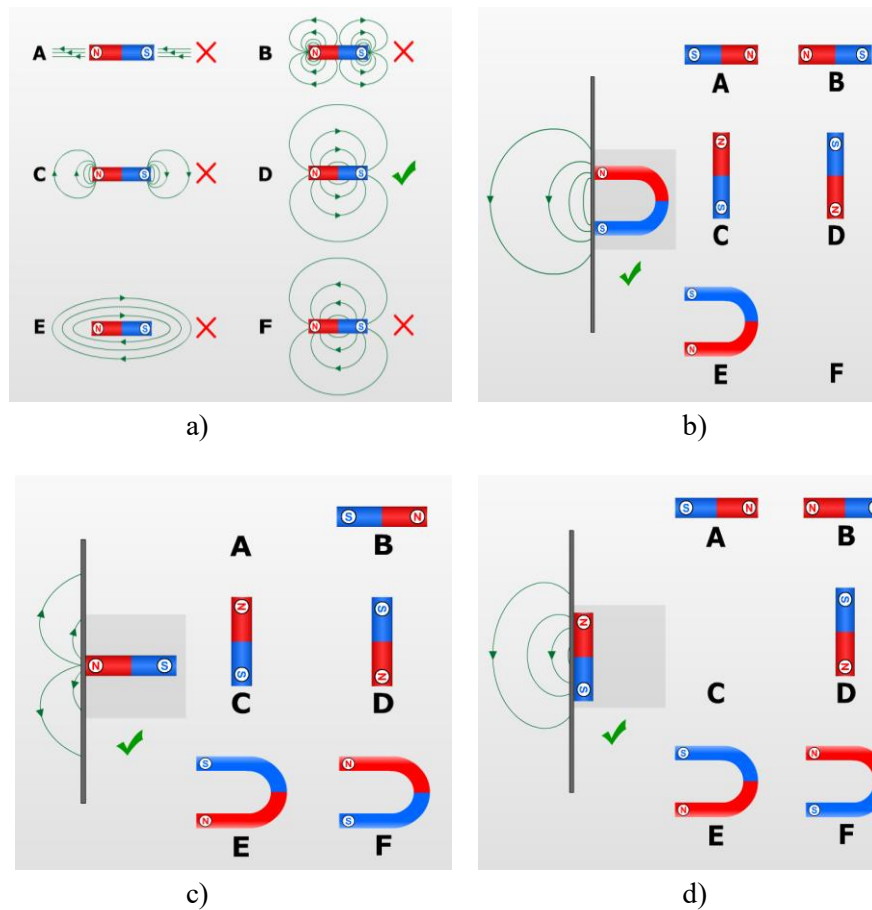


Figura 5.75. Actividades realizadas por los estudiantes

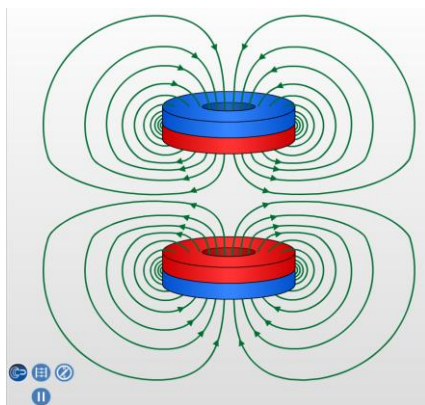


Figura 5.76. Líneas de campo magnético actividad 1

La actividad que desarrollaron los estudiantes, tenían como finalidad que reconocieran la manera correcta de dibujar las líneas de campo magnético de un imán y los diferentes caminos que recorren éstas de acuerdo con su configuración. A partir de dichas actividades, se pide a los estudiantes que expliquen si las líneas de campo magnético que hicieron al inicio de la actividad (Figura 5.63) tenían algún error y qué diferencia podían encontrar con las líneas mostradas en la figura 5.76. La conclusiones escritas por los estudiantes, en las cuales se

evidencia la explicación de los errores que cometieron al inicio de la clase y la justificación del por qué se cometieron dichos errores se observan en las figuras mostradas a continuación.

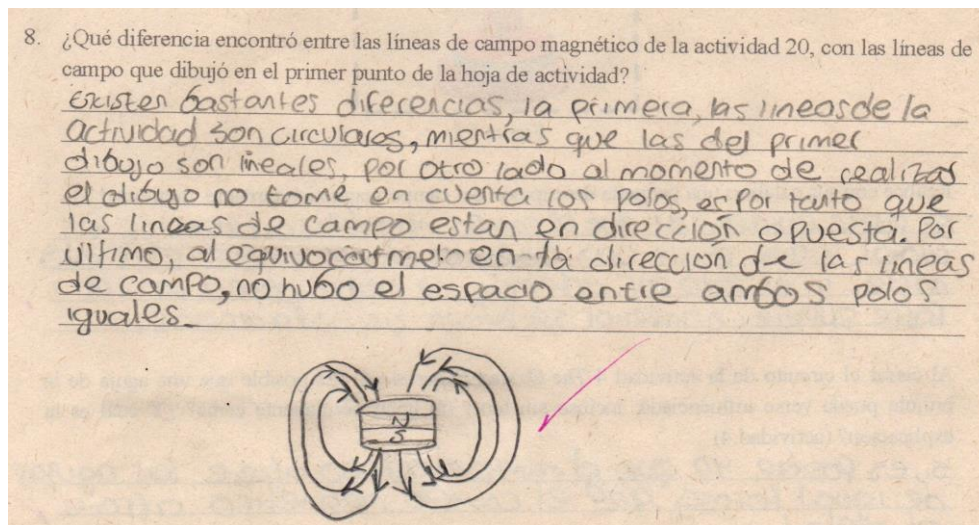


Figura 5.77. Corrección campo magnético actividad 1 realizada por un estudiante del grupo 6.

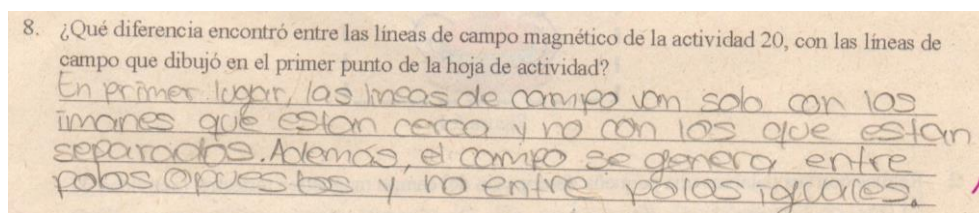


Figura 5.78. Corrección campo magnético actividad 1 realizada por una estudiante del grupo 7.

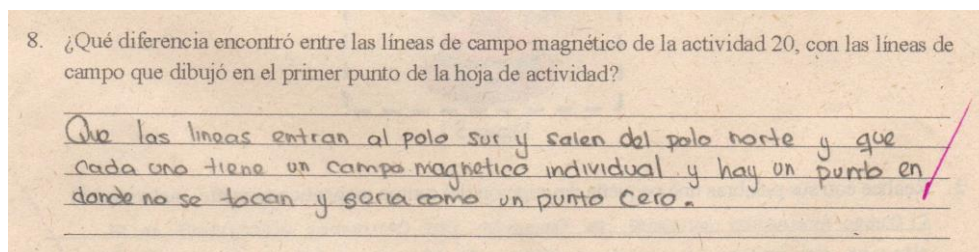


Figura 5.79. Corrección campo magnético actividad 1 realizada por una estudiante del grupo 8.

Parte 2: Por grupos de trabajo, los estudiantes diseñaron y ejecutaron un experimento en el cual fuera posible observar la formación de líneas de campo magnético empleando diferentes configuraciones de imanes. La siguiente figura muestra las fotografías tomadas por algunos grupos.

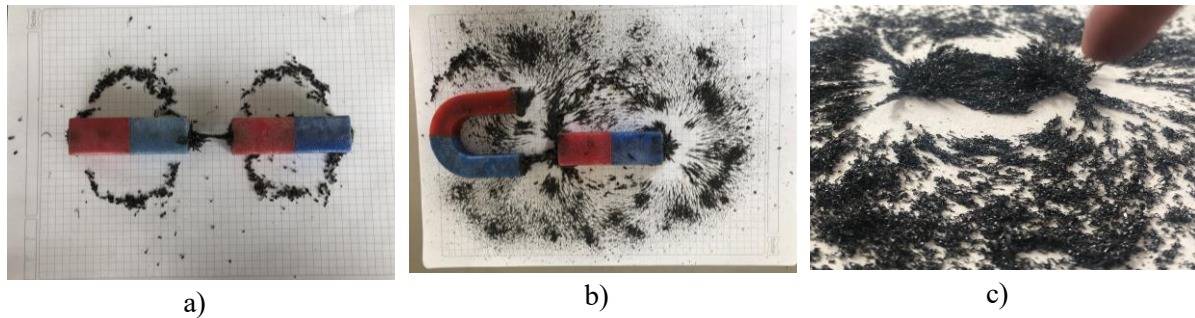


Figura 5.80. Fotografías de experimentos realizados por los estudiantes para evidenciar el campo magnético alrededor de un imán.

Además, los estudiantes respondieron la pregunta 10 de la hoja de actividad, que hacía referencia a la manera de reconocer la polaridad de un imán con la implementación de algún dispositivo que diera cuenta de la existencia de campos magnéticos. La mayoría de los grupos, hace mención de la brújula como el dispositivo adecuado para dar cuenta de la existencia de un campo magnético debido a un imán (figura 5.81). Los estudiantes indicaron, que al saber que la aguja de la brújula apunta al norte geográfico que corresponde al polo sur magnético, al acercar la brújula a un imán cuyos polos son desconocidos, sabrían que el norte de la aguja siempre apuntará al polo sur magnético de dicho imán y de esa forma podrán saber la dirección de las flechas que se dibujan para dar cuenta del campo magnético alrededor de un imán determinado. Así, se da por terminada la actividad de forma grupal.

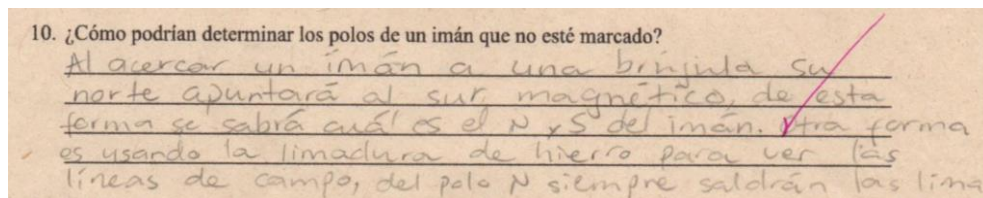


Figura 5.81. Fotografías de experimentos realizados por los estudiantes para evidenciar el campo magnético alrededor de un imán.

Evaluación diagnóstica continua clase 4: Teniendo en cuenta que la actividad de magnetismo se realizó de forma individual, se presentan los resultados que obtuvieron los estudiantes en las cuatro dimensiones de comprensión evaluadas, en las siguientes gráficas.

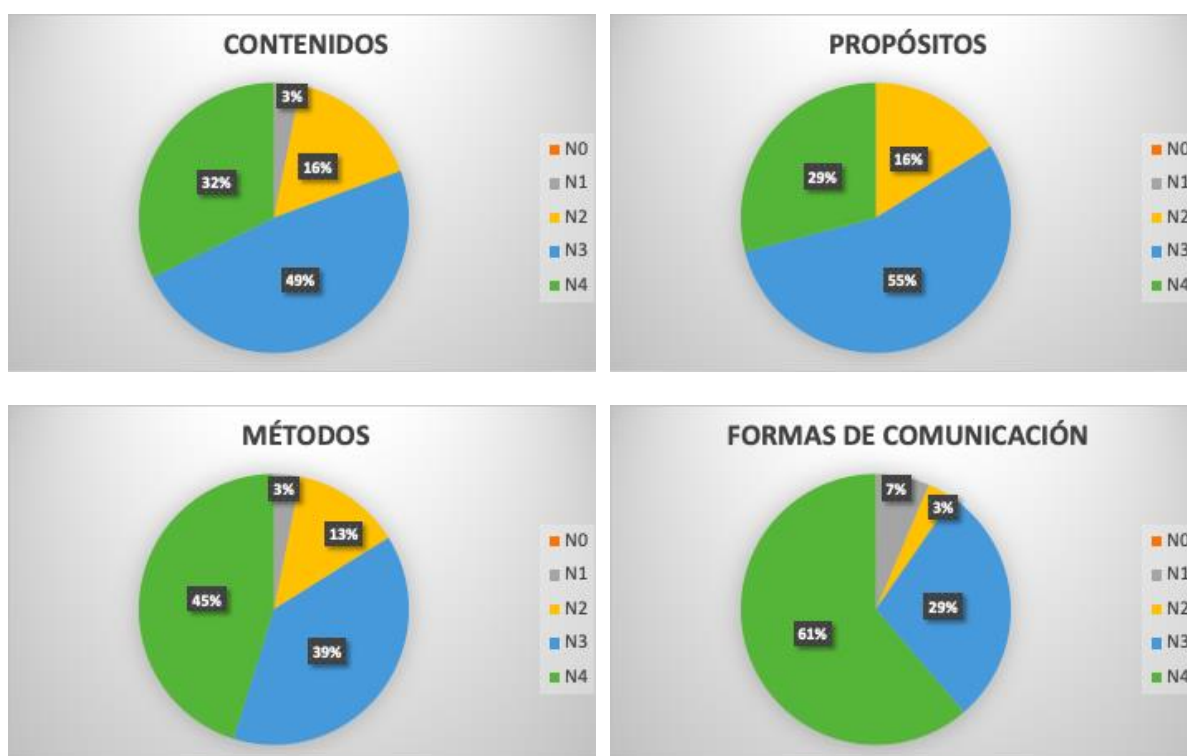


Figura 5.82. Resultado porcentual en la dimensión de contenidos para la comprensión de la resistencia en función de la temperatura.

Como se puede observar, en la dimensión de **contenidos** la mayoría de los estudiantes se clasificó en los niveles 3 y 4 de comprensión en el criterio de creencias intuitivas transformadas (ver tabla 1), con porcentajes del 49% y 32% respectivamente. Lo cual, muestra que en el transcurso de la actividad planteada, los alumnos adquirieron los conocimientos necesarios en cuanto al campo magnético, la relación de la electricidad y el magnetismo y la configuración del campo en relación con diferentes configuraciones de imanes. Un ejemplo de un estudiante que alcanzó el nivel 4 de comprensión se observa en la figura 5.71, donde explica claramente el resultado de invertir los signos de la batería en un circuito eléctrico, escribiendo: “*se puede concluir que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos, es decir, la electricidad y el magnetismo son dos términos altamente ligados entre sí*”. Por otro lado, el 19 % de los estudiantes obtuvo los niveles 1 y 2 de comprensión, lo cual evidencia que a pesar de las actividades realizadas, su conocimiento previo en relación con el magnetismo se mantuvo por encima de los conceptos disciplinares abordados. En las siguientes figuras, se pueden observar respuestas dadas por dos estudiantes, en las cuales se refleja nivel 1 y 2 de comprensión en esta dimensión.

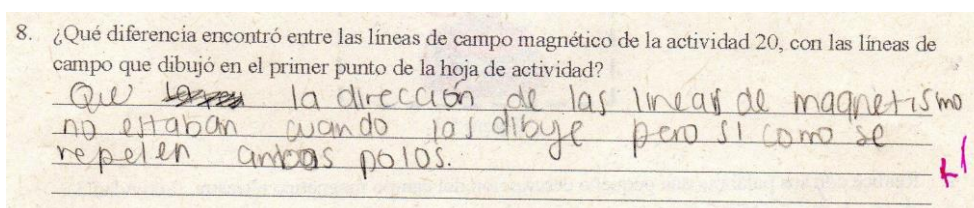


Figura 5.83. Respuesta de la pregunta 8 dada por un estudiante del grupo 8 que obtuvo nivel 1 de comprensión en la dimensión de contenidos.

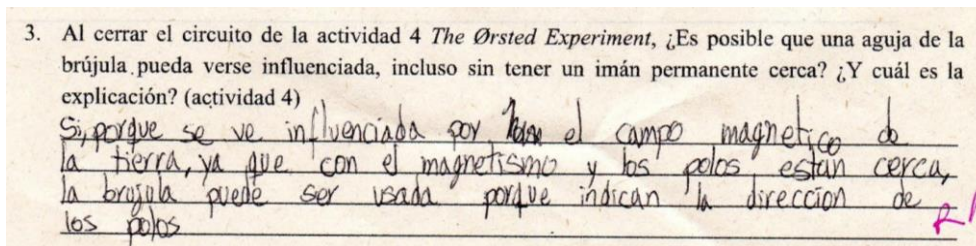


Figura 5.84. Respuesta de la pregunta 3 dada por un estudiante del grupo 4 que obtuvo nivel 2 de comprensión en la dimensión de contenidos.

Por otro lado, en la dimensión de **propósitos** se puede observar que el 84% de los estudiantes se ubicaron en los máximos niveles de comprensión, por lo cual se puede decir que los estudiantes cumplieron cabalmente el criterio 2 de esta dimensión (ver tabla 3) que corresponde a los múltiples usos del conocimiento. Un ejemplo de un estudiante que alcanzó el nivel 3 de comprensión en esta dimensión, se puede observar en la figura 5.72, ya que en la conclusión del punto 6, el estudiante no consideró la mayoría de los aspectos disciplinares vistos a partir de las simulaciones, escribiendo que “*el campo magnético, formado por el comportamiento de la corriente, es capaz de afectar el comportamiento de un elemento que se basa en el campo magnético terrestre*”. Aunque el estudiante en esta idea está haciendo referencia a la alteración de las brújulas en presencia de los circuitos eléctricos, no es clara la intención que quiere dar a conocer en relación con el tema, lo cual evidencia que se apropia de su conocimiento sin considerar al otro. Por otro lado, un pequeño porcentaje de estudiantes se ubica en el segundo nivel de comprensión en esta dimensión, ya que solicitaron ayuda constantemente para la realización de las simulaciones, particularmente con las presentadas en la figura 5.75.

Al igual que en la dimensión de contenidos, se puede observar que en la dimensión de **métodos**, la cual se evaluó teniendo en cuenta el criterio 1 que corresponde al sano escepticismo (ver tabla 2), sólo el 16% de los estudiantes se ubicaron en los niveles 1 y 2 de comprensión. Estos estudiantes se caracterizaron por la falta de análisis en las conclusiones presentadas sobre las prácticas de laboratorio virtual, ideas que se pueden ver reflejadas en la figura 5.74, donde el estudiante escribe conclusiones superficiales en relación con las simulaciones observadas. Por otro lado, el 84% de los estudiantes alcanzan los niveles 3 y 4 de comprensión, lo cual se evidencia en la profundidad y el sentido de cada una de las conclusiones escritas sobre la temática de electromagnetismo, por ejemplo las presentadas en las figuras 5.77 y 5.78.

Finalmente, en las gráficas de porcentaje, se refleja que la mayoría de los estudiantes alcanzó el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación**, lo cual permite decir, que los estudiantes demuestran habilidades orales y escritas, que se reflejan en la coherencia y en la forma como dan a conocer las conclusiones de electromagnetismo evidenciadas en la descripción de la clase No. 4. Por otro lado, un 10% de los estudiantes se clasificaron en los niveles 1 y 2 por la forma como dieron a conocer sus ideas en relación con el tema, mostrando falta de claridad y coherencia. En las siguientes figuras, se pueden observar respuestas dadas por dos estudiantes, en las cuales se refleja nivel 1 y 2 de comprensión en esta dimensión.

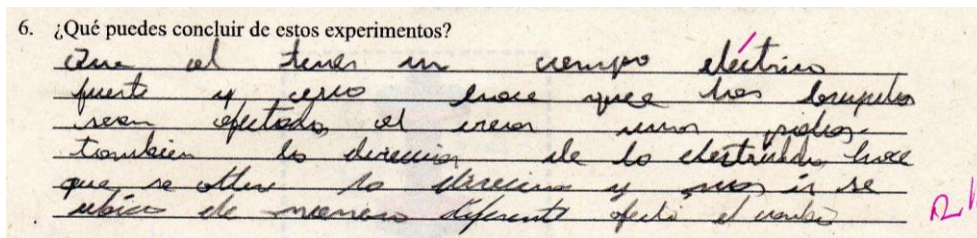


Figura 5.85. Respuesta de la pregunta 6 dada por un estudiante del grupo 2 que obtuvo nivel 1 de comprensión en la dimensión de formas de comunicación.

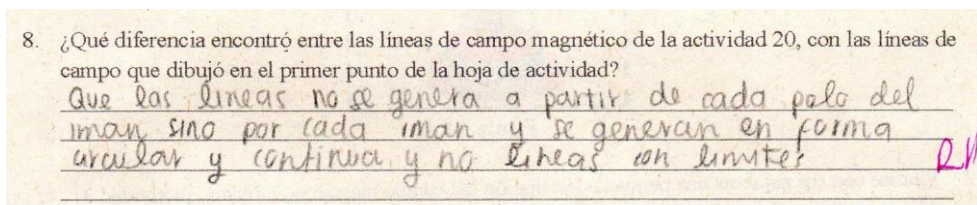


Figura 5.86. Respuesta de la pregunta 8 dada por un estudiante del grupo 8 que obtuvo nivel 2 de comprensión en la dimensión de formas de comunicación.

Clase 5: Explicación de superconductividad

Actividad: Nuevamente se hizo uso del material suministrado por la página de Supercomet (2019b), pero esta vez se empleó el módulo llamado *Explicación de la superconductividad*. En esta sección de explicación, era posible observar una serie de actividades que tenían como objetivo, acercar a los estudiantes a la comprensión de los conceptos que subyacen el fenómeno de la superconductividad de manera guiada y pausada, garantizando que los ellos entendieran sencillamente qué es la superconductividad y a que hace referencia el *Efecto Meissner-Ochsenfeld*. Esta actividad, al igual que la anterior, se llevó a cabo en el aula de sistemas del colegio, que permite que los estudiantes puedan trabajar fácilmente en los grupos de trabajo. (Ver anexo 5).

Inicialmente los estudiantes observaron el experimento que se muestra en la figura 5.87, donde se puede observar un recipiente de vidrio en cuyo interior se encuentra un material superconductor y sobre éste último (haciendo contacto) un imán. Además, se puede observar un termómetro, sobre el cual se muestra un cambio de temperatura. En el experimento de la simulación, se observó que bajo una temperatura de 93K el imán dejaba de mantener contacto con el material superconductor y se elevaba sobre él.

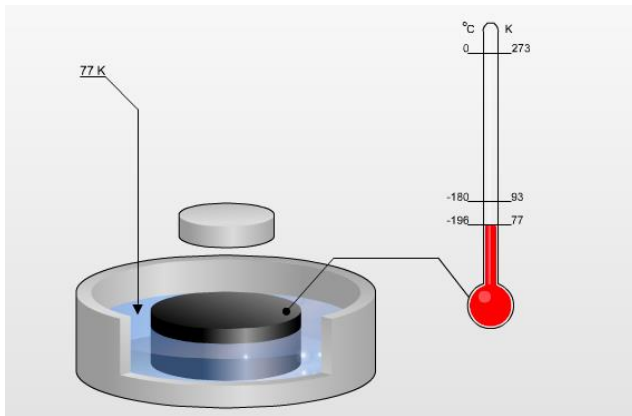
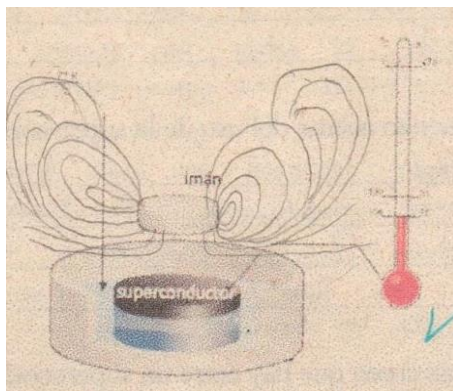
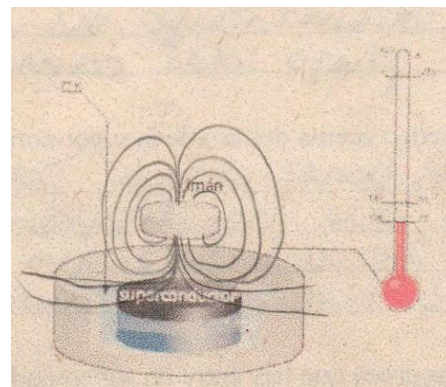


Figura 5.87. Experimento mostrado en la página web sobre superconductividad.

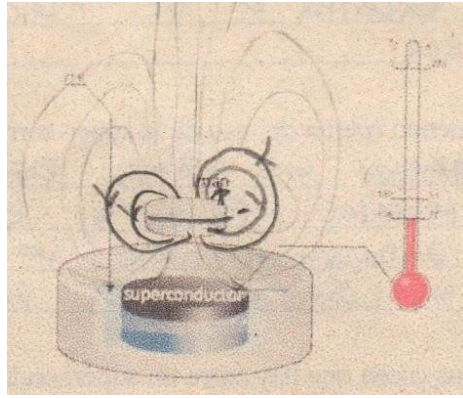
Con respecto a este experimento, los estudiantes debían dibujar alrededor del imán levitando las líneas de campo magnético que ellos creían que se presentaban en este fenómeno tan particular. Los resultados de estos dibujos de los 8 grupos de trabajo se presentan en la figura 5.88. En esta figura es posible observar que 5 de los 8 grupos utilizaron el conocimiento previo adquirido en la clase anterior para dibujar las líneas de campo del imán teniendo en cuenta su polaridad. El grupo 1 y el grupo 2, consideraron adicionalmente que el campo magnético debía ser influenciado, de cierta manera, por el superconductor que se encontraba en el recipiente y adicionaron a su dibujo algunas líneas de campo que se salían de los parámetros vistos en las clases anteriores. También, puede observarse que los estudiantes del grupo 4 dibujaron líneas de campo magnético que evidenciaban fuerza de atracción magnética entre el imán y el superconductor, y finalmente, los grupos 5 y 6 dibujaron líneas de campo incompletas que salían de un polo del imán sin llegar al otro.



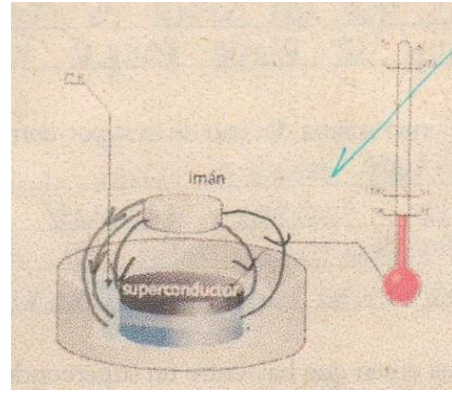
Grupo 1



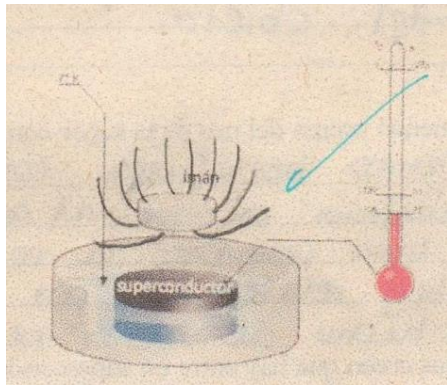
Grupo 2



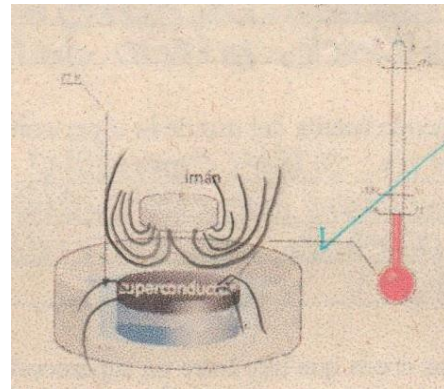
Grupo 3



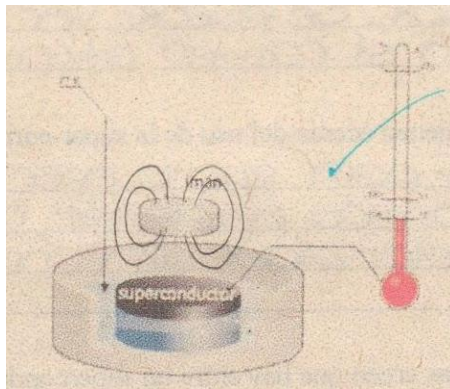
Grupo 4



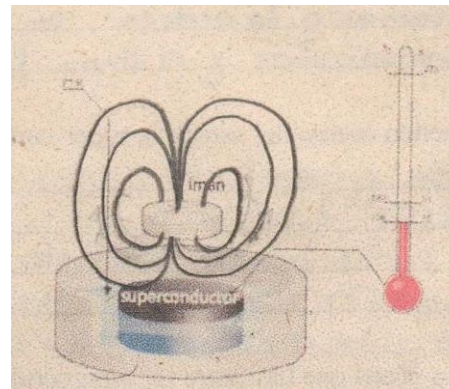
Grupo 5



Grupo 6



Grupo 7



Grupo 8

Figura 5.88. Dibujo de las líneas de campo magnético del imán bajo el efecto del estado superconductor

Una vez que los estudiantes realizaron la observación del experimento virtual, explicaron con sus palabras la descripción de lo que ocurría allí. Como se puede observar en las siguientes figuras, que muestran las respuestas dadas por los 8 grupos de trabajo. Los grupos 1 y 7, relacionaron el experimento con circuitos eléctricos realizados con materiales superconductores, lo que sugiere que buscaron información adicional del tema, porque al parecer no sabían cómo responder la pregunta realizada. Los estudiantes del grupo 8, relacionaron el experimento con brújulas, lo que indica que recordaron los conceptos vistos en

la clase anterior para dar cuenta de la polaridad del imán que estaba levitando, aunque no se percibe una profundidad en la explicación que realizan alrededor del experimento. Por otro lado, es interesante ver que los grupos 2, 3, 4, 5 y 6 relacionan de formas creativas los que aprendieron en la clase anterior con la observación del fenómeno que se muestra en la simulación. Por ejemplo, los estudiantes de los grupos 2 y 5 atribuyen la levitación magnética que se observa en el experimento a la repulsión de los polos eléctricos entre el imán y el superconductor, mientras que los grupos 3, 4 y 6 mencionan que la levitación magnética se debe a la variación de temperatura que se observó en el experimento.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento? *No es una explicación del experimento*
 A diferencia de los conductores normales, los circuitos fabricados con superconductores pueden generar una corriente eléctrica sin detenerse incluso cuando se les quita la batería de su circuito.

Figura 5.89. Descripción del experimento realizada por el grupo 1.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?
 Al disminuir la temperatura del superconductor no permite el paso del campo, por lo tanto el imán y el superconductor quedan con el mismo polo, lo que hace que se repelan y levite.

Figura 5.90. Descripción del experimento realizada por el grupo 2.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?
 Se puede observar en el experimento que la temperatura baja gradualmente, mientras que el nivel del nitrógeno líquido sube hasta cierto punto, y después baja. En el momento en el que el nitrógeno baja el imán se eleva.

Figura 5.91. Descripción del experimento realizada por el grupo 3.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?
 En el experimento podemos ver que al bajar la temperatura a 77K, el agua llega a su punto máximo y el imán se eleva del superconductor, quedando suspendido en el aire.

Figura 5.92. Descripción del experimento realizada por el grupo 4.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?
 Al poner la cara de un imán con una carga idéntica del superconductor estas se repelen y permiten que este levite.

Figura 5.93. Descripción del experimento realizada por el grupo 5.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?
En el experimento de la actividad 3 se evidencia que el imán con el superconductor, a $77K$, sus líneas de campo permanecen constantes, sin importar si se cambian los polos del otro imán.

Figura 5.94. Descripción del experimento realizada por el grupo 6.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?
Cuando se quita la batería, en el circuito con conductor normal pierde la corriente circulada. Por el contrario, en el circuito con el superconductor, a pesar de que no hay batería la corriente sigue circulando en el circuito.

Figura 5.95. Descripción del experimento realizada por el grupo 7.

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?
Se puede observar que cuando se cambian los polos del imán la brújula apunta al noreste o al noroeste y la temperatura queda constante. En cambio el otro imán siempre apunta al norte independientemente de que polo este

Figura 5.96. Descripción del experimento realizada por el grupo 8.

Con la segunda pregunta de la guía de actividad, fue posible observar lo que pensaban los estudiantes sobre la razón por la cual se observaba en el experimento el fenómeno de la levitación. Las respuestas de los estudiantes se presentan en las siguientes figuras (5.97 a la 5.104), donde puede observarse que los grupos 1, 3 y 8 relacionan el evento observado de la levitación magnética con las bajas temperaturas, acercándose a la explicación fenomenológica del Efecto Meissner. Los grupos 2, 4, 5 y 7, mantienen sus ideas relacionadas con la levitación magnética debida a la repulsión magnética entre el imán y el superconductor. Y finalmente el grupo 6, relaciona lo observado con uno de los conceptos vistos en la clase 3: resistividad.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
El imán se eleva debido a que el superconductor expulsa completamente el campo magnético. Sin embargo, para que se produzca esta propiedad, el superconductor debe enfriarse por debajo de su temperatura crítica.

Figura 5.97. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 1.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
Porque al crearse el campo magnético, igual al del imán se repelen y por eso, al ser tan fuerte el creado por el superconductor, el imán levita.

Figura 5.98. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 2.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
El imán se eleva debido a que el nitrógeno líquido
baja la temperatura del superconductor debajo de su punto
crítico (93 K), haciendo super conductor, generando el
efecto de Meissner

Figura 5.99. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 3.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
El imán se eleva porque al bajar la temperatura el
superconductor pierde su campo magnético y eso hace
que el campo magnético se repele con el super conductor, y
saca el imán de ahí, generando una elevación del
imán.

Figura 5.100. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 4.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
Al ser cargas idénticas quiere decir que no se
van a tocar. Además el superconductor tiene un
área superficial mayor y al poner el imán en el
centro esto hace que haya un balance entre ambos.

Figura 5.101. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 5.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
porque esta por debajo de su temperatura crítica, lo
cual causa que su resistividad se a nula, causando
que flote.

Figura 5.102. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 6.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
Porque cuando hay menor temperatura el
superconductor genera mayor repulsión hacia
el imán y por lo tanto se eleva.

Figura 5.103. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 7.

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?
En el caso del conductor ordinario, el imán se eleva constantemente debido
a que este resiste distintas temperatura, por el contrario, en el
super conductor el imán solo se eleva al llegar a la temperatura crítica,
debido a que este no ofrece una resistencia a bajas temperaturas

Figura 5.104. Explicación de la levitación del imán realizada por el grupo 8.

Siguiendo con la ruta de trabajo, en la simulación se puede observar que se muestra la diferencia de las líneas de campo magnético del imán cuando el sistema está a una temperatura superior a los 93K y cuando alcanza la temperatura crítica como se puede ver en la figura 5.105.

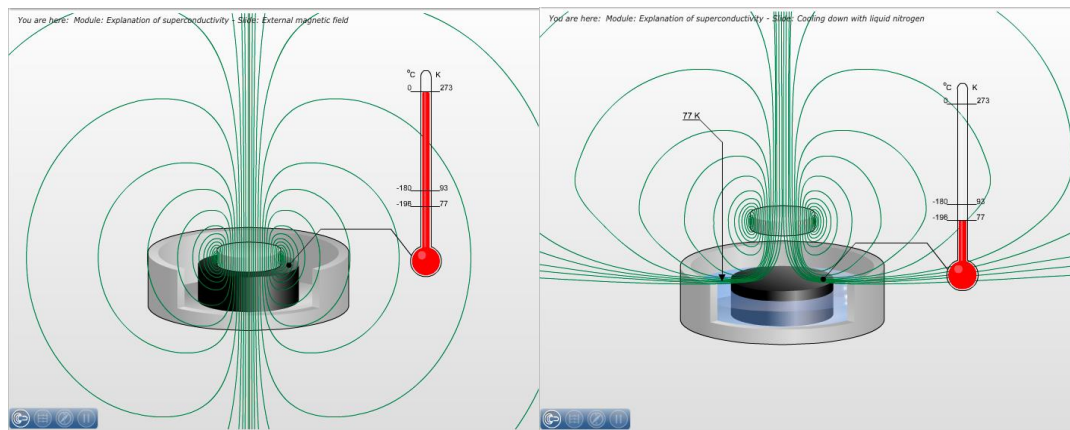


Figura 5.105. Campo magnético del imán en presencia de un material normal y un material en estado superconductor

A partir de la observación del campo magnético del imán cuando el superconductor se enfría a una temperatura crítica, los estudiantes escriben sobre las diferencias que encontraron entre su dibujo inicial de las líneas del campo magnético, que realizaron sobre el imán que se encontraba bajo el efecto del material superconductor y las líneas de campo presentadas en la figura 5.105. Las diferencias escritas por los estudiantes se presentan en las siguientes 8 figuras. De los 8 grupos, es posible notar que los 6 primeros establecen que las líneas de campo magnético se dibujaban sobre el imán y que se repelen del material superconductor. Los estudiantes del grupo 7 y 8 respondieron la pregunta sin evaluar el contenido de su respuesta.

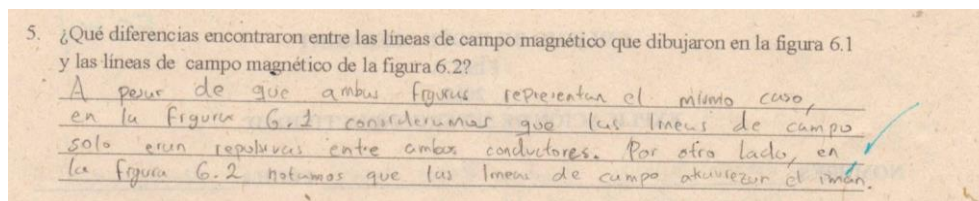


Figura 5.106. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 1.

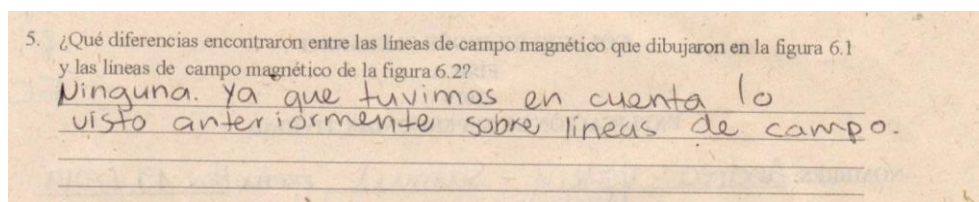


Figura 5.107. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 2.

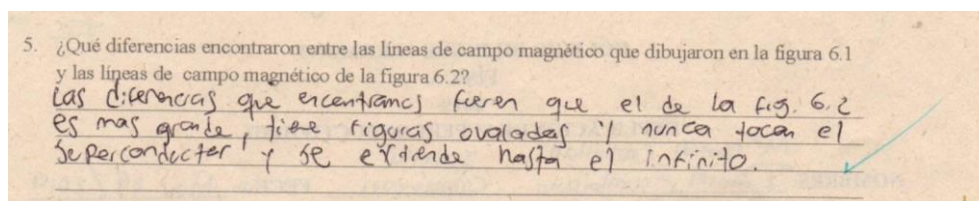


Figura 5.108. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 3.

5. ¿Qué diferencias encontraron entre las líneas de campo magnético que dibujaron en la figura 6.1 y las líneas de campo magnético de la figura 6.2?

En la figura 6.1 las líneas de campo magnético son entre el super-conductor y el imán, es decir, ellas salen del imán y entran al super-conductor, en la figura 6.2 las líneas de campo no tocan el super-conductor ya que este y el imán se repelen, es decir, ellas solo salen y entran al imán

Figura 5.109. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 4.

5. ¿Qué diferencias encontraron entre las líneas de campo magnético que dibujaron en la figura 6.1 y las líneas de campo magnético de la figura 6.2?

que en la 6.2 no estábamos teniendo en cuenta que el campo era para todo el imán por lo que en realidad hicimos un dibujo de cargas y no de campo magnético

Figura 5.110. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 5.

5. ¿Qué diferencias encontraron entre las líneas de campo magnético que dibujaron en la figura 6.1 y las líneas de campo magnético de la figura 6.2?

se ve como evidencias que en la figura 6.2, existían dos campos eléctricos, sin embargo en la figura 6.1 nos dimos cuenta que únicamente hay un campo electromagnético.

Figura 5.111. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 6.

5. ¿Qué diferencias encontraron entre las líneas de campo magnético que dibujaron en la figura 6.1 y las líneas de campo magnético de la figura 6.2?

Que las líneas de campo que dibujamos al principio son más pequeñas que las de la figura 6.2

Figura 5.112. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 7.

5. ¿Qué diferencias encontraron entre las líneas de campo magnético que dibujaron en la figura 6.1 y las líneas de campo magnético de la figura 6.2?

Ninguna, ya que se infiere que la elevación del imán ocurre debido a las bajas temperaturas

Figura 5.113. Diferencias entre líneas de campo escritas por el grupo 8.

Continuando con la guía de trabajo, los estudiantes debían observar nuevamente el fenómeno, junto con las líneas de campo magnético alrededor del imán y realizar la lectura de la explicación del *Efecto Meissner-Ochsenfeld*, de manera que pudieran escribir con sus palabras lo que entendían alrededor de dicho fenómeno. Estas explicaciones se pueden detallar desde la figura 5.114 hasta la figura 5.121. Como se puede observar, las conclusiones dadas por los estudiantes alrededor de la explicación del *Efecto Meissner-Ochsenfeld*, van muy acorde con lo que se espera que comprendan alrededor del fenómeno de levitación magnética debida a la superconductividad, ya que los estudiantes relacionan las bajas temperaturas del material superconductor con la expulsión del campo magnético generado por el imán, ocasionando que el imán se eleve.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
El efecto Meissner-Ochsenfeld es una propiedad de los superconductores. Este efecto consiste en la expulsión completa del campo magnético cuando los superconductores se enfrían por debajo de su temperatura crítica. Por otro lado, si están por encima de su temperatura crítica, el campo magnético atravesará los superconductores.

Figura 5.114. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 1.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
Consiste en cómo un superconductor permite el flujo del campo magnético de un imán y cuando se disminuye su temperatura no permite el flujo del campo, este lo rodea.

Figura 5.115. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 2.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
Este efecto consiste en que cuando se pone un superconductor por debajo de su temperatura crítica el flujo del campo magnético que se encuentra en el interior del superconductor desaparece.

Figura 5.116. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 3.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
El efecto Meissner-Ochsenfeld se basa en que el campo magnético del superconductor se pierde por causa de la baja temperatura haciendo que las líneas de campo sean expulsadas del material y el imán se eleva porque los campos magnéticos se repelen.

Figura 5.117. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 4.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
El efecto Meissner-Ochsenfeld determina que al haber una temperatura mayor a 93 K, el campo magnético pasa a través del objeto.

Figura 5.118. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 5.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
El efecto Meissner-Ochsenfeld es un efecto que indica que los superconductores tienen la capacidad de conducir corriente sin resistencia, y repele todo campo magnético a su alrededor, esto es llamado perfecto diamagnetismo.

Figura 5.119. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 6.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
El efecto Meissner consta de la relación entre la temperatura y el campo causado por un superconductor. Se puede ver a altas temperaturas cuando el campo atraviesa el superconductor.

Figura 5.120. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 7.

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld
El efecto Meissner-Ochsenfeld es aquel que hace que el iman flote, debido a que pasa de una temperatura ambiente a una temperatura menor a la crítica, por lo tanto el material se vuelve un superconductor y el iman flota

Figura 5.121. Explicación del Efecto Meissner-Ochsenfeld realizada por el grupo 8.

A partir de las actividades 8, 9 y 10 de la página de *Explicación de la superconductividad*, se buscaba que los estudiantes interpretaran físicamente las implicaciones de la supercorriente generada a partir del experimento de la superconductividad y las razones por las cuales un conductor perfecto no se comporta igual que un material superconductor, cuando éste último alcanza la temperatura crítica. Las respuestas de los estudiantes pueden observarse en las siguientes figuras, desde las cuales es posible determinar el modo como los estudiantes relacionan las supercorrientes con el aprovechamiento de energía, teniendo en cuenta que podría ser útil para la invención de nuevos dispositivos electrónicos. Por otro lado, mencionan las diferencias de los superconductores y los conductores perfectos basándose en la observación del fenómeno de la simulación.

7. (actividad 8) ¿Qué opinión tienen acerca del uso de la super-corriente?
Creemos que la super corriente es una fuente de energía eléctrica sostenible y posiblemente permanente. Si disponemos de superconductores podemos enfriarlos debajo de su temperatura crítica para reclamar sus propiedades. De esta forma, no necesitamos del uso constante de una batería dentro de un circuito.

8. (actividad 9) ¿Qué diferencias creen que hay entre un superconductor y un conductor perfecto?
Un conductor perfecto y un superconductor son aquellos que pueden producir una infinita conductividad eléctrica. Sin embargo, para que un superconductor posea esas propiedades, se requiere primero de enfriarlo. Creemos, que el conductor perfecto, no necesita de este tipo de transición.

Figura 5.122. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 1.

7. (actividad 8) ¿Qué opinión tienen acerca del uso de la super-corriente?
Puede ser muy beneficiosa, pues son corrientes de electrones que no disipan energía, por lo tanto, no pierden energía por la generación de calor. Esto hace que duren mucho más.

8. (actividad 9) ¿Qué diferencias creen que hay entre un superconductor y un conductor perfecto?
Un superconductor no permite el flujo del campo magnético al tener una disminución de temperatura. En cambio, el conductor perfecto permite un flujo constante del campo magnético en todo

Figura 5.123. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 2.

7. (actividad 8) ¿Qué opinión tienen acerca del uso de la super-corriente?
 Creemos que al generar un campo eléctrico más grande tiene diferentes aplicaciones en el campo de la electrónica. Sin embargo al bajar la temperatura la resistencia cambia, cambiando sus propiedades

8. (actividad 9) ¿Qué diferencias creen que hay entre un superconductor y un conductor perfecto?
 El conductor perfecto no necesita de un cambio de temperatura (más frío) para ejercer zero resistencia, mientras que el superconductor si necesita de un enfriamiento

Figura 5.124. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 3.

7. (actividad 8) ¿Qué opinión tienen acerca del uso de la super-corriente?
 La super corriente tiene muchos usos y aplicaciones, ya que gracias a esto se pueden generar campos magnéticos fuertes, pero a temperatura baja la resistencia de estos se desvanece, cambiando sus propiedades.

8. (actividad 9) ¿Qué diferencias creen que hay entre un superconductor y un conductor perfecto?
 El super-conductor crea una resistencia al campo de energía, lo que hace que el campo magnético sea expulsado. Por otro lado, el conductor perfecto no genera ninguna resistencia al paso de corriente en temperatura baja.

Figura 5.125. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 4.

7. (actividad 8) ¿Qué opinión tienen acerca del uso de la super-corriente?
 que este tiene tanto beneficios como factores en contra. Uno de estos beneficios es que al quitarle la batería, en un sistema con un super conductor la corriente permanece constante, además de esto no hay resistencia por lo que el flujo de corriente mejora. Sin embargo el hecho de tener que mantener

8. (actividad 9) ¿Qué diferencias creen que hay entre un superconductor y un conductor perfecto?
 La principal diferencia que existe entre los superconductores y los conductores perfectos es la temperatura, ya que los perfectos funcionan a cualquier temperatura mientras que los otros deben llegar a una crítica. Además, los "conductores perfectos" es un concepto que no se puede probar experimentalmente.

Figura 5.126. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 5.

7. (actividad 8) ¿Qué opinión tienen acerca del uso de la super-corriente?
 Consideramos que la super corriente da paso a nuevos dispositivos y maneras de almacenamiento de corriente, le impide la pérdida de corriente, dando paso a descubrimientos inéditos.

8. (actividad 9) ¿Qué diferencias creen que hay entre un superconductor y un conductor perfecto?
 La principal diferencia que hay entre estos dos términos es que un conductor perfecto es aquel que no tiene resistencia, no obstante no expulsa ningún campo magnético mientras que los superc. si expulsan el campo magnético

Figura 5.127. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 6.

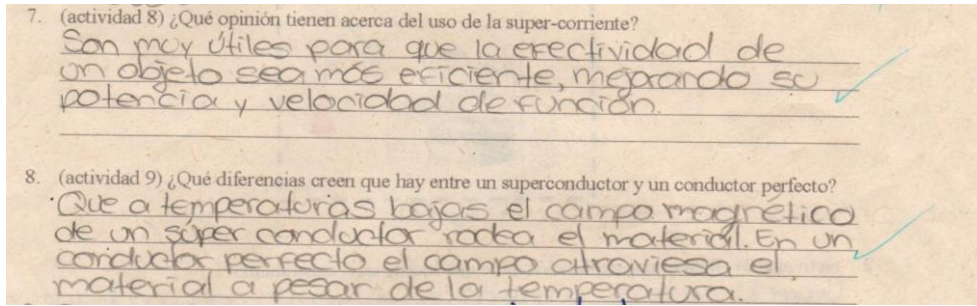


Figura 5.128. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 7.

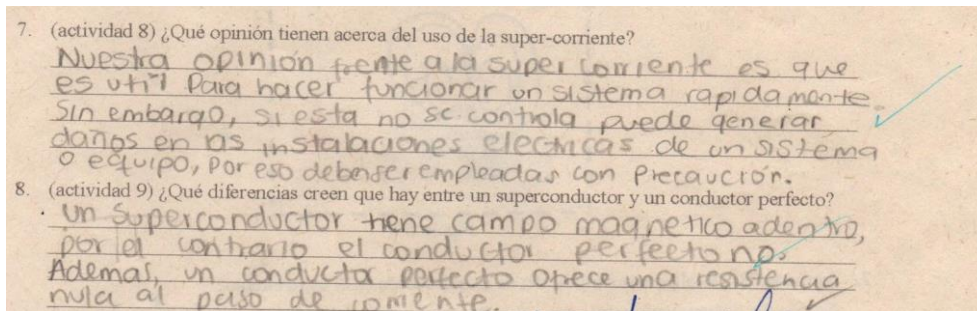
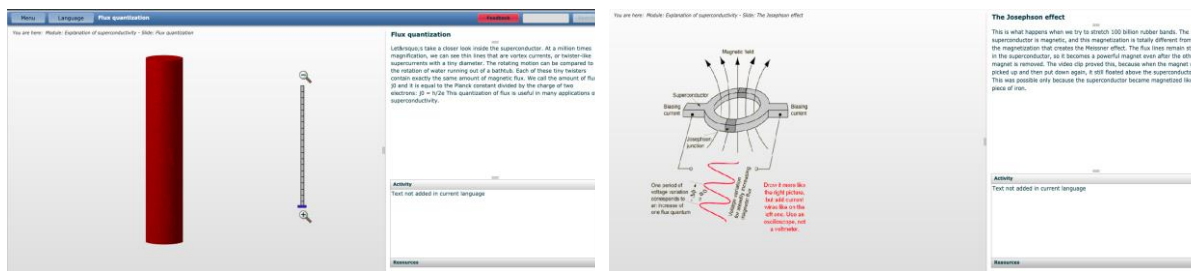


Figura 5.129. Conclusiones de super-corriente y diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Grupo 8.

Una vez los estudiantes terminan con la explicación de las diferencias entre los superconductores y los conductores perfectos, continúan con la observación de las imágenes, simulaciones y explicaciones disponibles en la página de supercomet, particularmente las que hacen referencia a la cuantización del flujo, magnetización por fijación del flujo y efecto Josephson, las cuales se presentan en la figura 5.130. Desde la cual se hace una discusión en clase para aclarar las preguntas de los estudiantes.



Magnetization by flux pinning

The rotating magnet levitates above the superconductor. If we try to move the hovering magnet, we need to pull all the vortex lines along, and they stretch out. To stretch the vortex lines we need a big force, and compared to the weight of the magnet, we need a considerable force indeed. The nitrogen boils off and the YBa₂Cu₃O₇ superconductor becomes warmer than 93K (its critical temperature), the flux pinning stops and the magnet settles down.

Figura 5.130. Actividades sobre cuantización del flujo, magnetización por fijación del flujo y efecto Josephson.

Finalmente, a partir de las actividades realizadas, los estudiantes escriben una conclusión relacionada con todos los conceptos adquiridos en la clase. Esta conclusión, que puede observarse en las siguientes figuras, permite notar el avance que tuvieron los estudiantes en cuanto a la transformación de sus ideas previas hacia la comprensión del efecto Meissner-Ochsenfeld, generando una aproximación a la comprensión del fenómeno de la superconductividad.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

En la clase hoy pudimos aprender las bases y conceptos primordiales de la superconductividad y la ley de Faraday. Por un lado, esta ley consiste en que la fuerza electromagnética de un imán dentro de una bobina en un circuito es proporcional al voltaje generado por la variación del flujo magnético del imán. Por otro lado, los superconductores no poseen una resistencia de campo magnético. Adicionalmente, cuando se enfrían por debajo de sus temperaturas críticas, estos pueden producir el efecto Meissner-Ochsenfeld, el cual es la repulsión completa del campo magnético. Finalmente, estos superconductores pueden generar un tipo de corriente infinita, la cual en algún futuro próximo puede llegar a ser un tipo de energía eléctrica sostenible y renovable. Este tipo de circuitos eléctricos no necesitarán del uso constante de las baterías eléctricas. En pocas palabras, esta ha sido otra clase productiva!

Figura 5.131. Descripción del experimento realizada por el grupo 1.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

Aprendimos que un superconductor es un material que a bajas temperaturas no permite el flujo del campo magnético; lo expulsa. Se le llama "diamagnetismo perfecto". Esto causa que al haber un imán sobre el superconductor, a bajas temperaturas, este levite. (Efecto Meissner). La super-corriente es una corriente eléctrica que nunca para y que no necesita baterías para generarse, esto puede traer muchos beneficios. Sin embargo, no es sencillo ni económico llegar a temperaturas tan bajas. Las temperaturas a las que deben estar los materiales para volverse superconductores, se le llama temperatura crítica.

Figura 5.132. Descripción del experimento realizada por el grupo 2.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

En la clase de hoy, aprendimos que un superconductor es un material que necesita de un enfriamiento de temperatura, para dejar de ejercer resistencia sobre la corriente. Igualmente, aprendimos que un conductor perfecto no ejerce resistencia alguna, naturalmente. Adicionalmente, aprendimos que el efecto Meissner-Ochsenfeld consiste en que un campo magnético no desaparece completamente, sino que está delimitado por filamentos de un material determinado.

Figura 5.133. Descripción del experimento realizada por el grupo 3.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

Podemos concluir que en la clase de hoy aprendimos que la conductividad es la capacidad que un material tiene para que la electricidad pase. Asimismo, explicaron esta en el experimento maissner - Ochiai field que nos muestra como los superconductores pierden su campo magnético en temperaturas bajas y expulsan este haciendo que el iman se eleve ya que el campo magnético se repete. El campo magnético de un superconductor se pierde a temperaturas bajas porque esto crea una resistencia al paso de electricidad, haciendo que el campo magnético se pierda. Aprendimos que en el diamagnetismo el campo magnético permanece igual a la resistencia eléctrica es cero y así en este concepto el conductor se opone a cualquier cambio en el campo magnético.

Figura 5.134. Descripción del experimento realizada por el grupo 4.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

En la clase aprendimos sobre la relación que existe entre campos magnéticos y cargas. Así mismo se puede concluir que existen diferentes propiedades de los superconductores entre las cuales se encuentra el Efecto Meissner, cuya definición recae en la posibilidad de un superconductor a temperaturas cercanas al cero absoluto, de expulsar un campo magnético proveniente del interior del objeto. Cuando el objeto se acerca a una temperatura, éste pierde toda su resistencia eléctrica, lo cual genera que se expulse el campo.

Figura 5.135. Descripción del experimento realizada por el grupo 5.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

Durante la clase aprendimos que los superconductores son aquellos que expulsan su propio campo magnético causando que un determinado objeto pueda levitar sobre él (efecto meissner). La propiedad superconductor de estos materiales se mantienen a temperaturas extremadamente bajas que solo se comparan a la temperatura del nitrógeno líquido (temperatura crítica). Los conductores perfectos son aquellos que no presentan ninguna resistencia por lo que no se disipa la energía, estos no son atraídos por un campo magnético. Es posible decir que los superconductores son conductores perfectos con cero resistencia eléctrica por lo cual son capaces de generar un flujo de energía perfecto y veloz.

Figura 5.136. Descripción del experimento realizada por el grupo 6.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

En primer lugar aprendimos que existe una súper corriente, la cual ayuda a que un objeto sea más eficiente; causando que este mejore la potencia y velocidad de función. También aprendimos sobre el efecto Meissner-Ochsenfeld, que además de la relación que tiene con la temperatura y el campo como se menciona anteriormente, este también consiste en la desaparición absoluta del flujo del campo magnético en el interior de un superconductor por debajo de su temperatura crítica, finalmente también aprendimos a saber las diferencias entre un superconductor y un conductor perfecto. Por ejemplo el conductor perfecto es de un material cuya resistencia es igual a cero, mientras que un superconductor además de presentar resistencia 0, presenta también el efecto Meissner-Oschenfeld.

Figura 5.137. Descripción del experimento realizada por el grupo 7.

10. ¿Qué aprendieron en la clase de hoy? Escriban detalladamente una conclusión.

Aprendimos a profundidad como sale el campo magnético de un iman. También aprendimos que la electricidad afecta los campos magnéticos creando así una relación directa entre los campos eléctricos y R/L magnéticos de un objeto. Además, vimos a profundidad el efecto de Meissner en el cual se plantea el comportamiento de un iman en a temperatura crítica.

Figura 5.138. Descripción del experimento realizada por el grupo 8.

Evaluación diagnóstica continua: Teniendo en cuenta que la actividad del efecto Meissner-Ochsenfeld se desarrolló de forma grupal y que la intención de la clase era lograr que los estudiantes comprendieran fenomenológicamente el efecto, se planteó la evaluación diagnóstica continua a partir de la evolución de la comprensión del conocimiento por parte de los estudiantes. De manera que, para la evaluación de la clase se considera la evolución de cada grupo de trabajo y su clasificación desde las 4 dimensiones de evaluación.

Inicialmente, en la figura 5.139 se presentan las gráficas correspondientes a los niveles de comprensión alcanzados por los estudiantes en cada uno de los criterios evaluados.

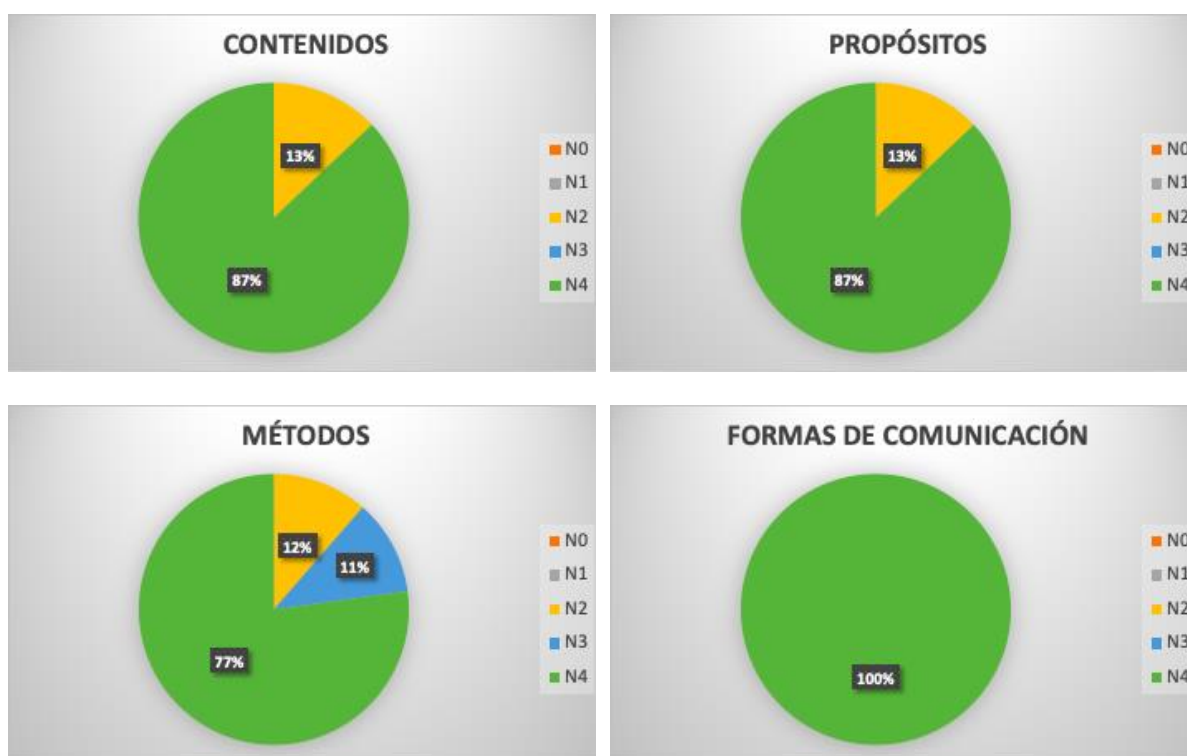


Figura 5.139. Resultado porcentual en las cuatro dimensiones para la comprensión del efecto Meissner-Ochsenfeld

Con respecto a los resultados, se puede observar que todos los estudiantes alcanzaron el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación**, lo cual indica que plasmaron de forma clara y coherente sus ideas para dar cuenta de su conocimiento en relación con el efecto Meissner-Ochsenfeld en la hoja de actividad. En las imágenes que se mostraron en la descripción de la clase, se evidencia una apropiación de su proceso comunicativo y flexibilidad frente al conocimiento que adquirieron los grupos de trabajo, características del criterio 1 en esta dimensión (ver tabla 4).

En segundo lugar, en las dimensiones de **contenidos** y **propósitos** se puede observar que el 87% de los estudiantes se ubicaron en el nivel máximo de comprensión en los criterios 2 y 3 respectivamente (ver tablas 1 y 2), lo cual indica que la evolución del conocimiento relacionado con el tema de estudio evolucionó satisfactoriamente desde el inicio de la actividad.

En tercer lugar se puede observar que en la dimensión de **métodos** (ver criterio 2, tabla 2), el 23% de los estudiantes alcanzaron los niveles 2 y 3 de comprensión mientras que el 77% alcanzaron el máximo nivel. El aumento del número de estudiantes en los niveles 2 y 3 se relacionan con la dificultad para entender las indicaciones dadas en la hoja de actividad, lo que originó que los estudiantes respondieran las preguntas basándose en otra información.

Teniendo en cuenta la descripción general de la evaluación, se muestra a continuación un resumen de las razones por las cuales 6 grupos de trabajo (grupos: 2, 3, 4, 5, 6, 7) alcanzaron los máximos niveles de comprensión en las 4 dimensiones, un grupo (grupo 2) obtuvo en la

dimensión de métodos el nivel 3 y en las otras dimensiones el nivel máximo; y el grupo 8 obtuvo nivel 2 en tres de las dimensiones.

Grupos que alcanzaron niveles máximos de comprensión en las 4 dimensiones: Estos seis grupos de trabajo se caracterizaron por evidenciar una evolución del conocimiento en el transcurso de la actividad. Esto se puede concluir a partir de las siguientes observaciones:

- ❖ Al comparar el dibujo inicial que realizan los estudiantes del campo magnético del imán que está levitando sobre el superconductor (figura 5.88) con la respuesta a la pregunta 5 en donde debían escribir las diferencias entre su dibujo y las líneas de campo mostradas en la simulación (figura 5.105), se puede ver que los estudiantes son conscientes de las diferencias que encuentran, particularmente los estudiantes del grupo 3 (figura 5.108) mencionan que las líneas de campo no tocaban al superconductor, a diferencia del dibujo inicial realizado por ellos; lo cual posiciona a los grupos de trabajo en el nivel 4 de comprensión en la dimensión de **propósitos**, dejando ver la posición personal de los estudiantes frente al conocimiento.
- ❖ Se pueden comparar las respuestas de las preguntas 2 y 3 que hacen alusión a las percepciones previas de los estudiantes frente al tema, mencionando las razones que creen ellos con respecto a la levitación del imán sobre el superconductor, con las respuestas de la pregunta 6, que busca que los estudiantes escriban una conclusión relacionada con el efecto Meissner-Ochsenfeld después de realizar el trabajo propuesto a partir de las simulaciones. Con esta comparación se puede observar que los grupos de trabajo (ver figuras 5.114 a 5.121) mencionan conceptos altamente ligados con el efecto Meissner-Ochsenfeld, como la temperatura crítica, la expulsión del campo magnético en el superconductor y la levitación magnética, razón por la cual obtienen nivel máximo en las dimensiones de **contenidos y métodos**.
- ❖ En las conclusiones finales escritas por los grupos 1 a 7 se puede evidenciar que toman en cuenta lo aprendido en la clase y lo relacionan con los conceptos vistos en las clases anteriores, lo cual evidencia que los estudiantes construyen el conocimiento de forma grupal a partir de la guía de trabajo propuesta. Además, es posible evidenciar que los estudiantes se apropiaron del conocimiento para dar cuenta de forma clara, lo aprendido en la clase, razón por la cual obtienen nivel 4 en la dimensión de **formas de comunicación**. De las figuras 5.131 a la 5.138, es posible observar la claridad de las ideas en relación con los contenidos estudiados. Por ejemplo, el grupo 1 menciona que: *“cuando se enfría por debajo de su temperatura crítica, estos pueden producir el efecto Meissner-Ochsenfeld, el cual es la repulsión completa del campo magnético.”* También, el grupo 2 menciona: *“aprendimos que un superconductor es un material que a bajas temperaturas no permite el flujo del campo magnético, lo expulsa”* Y el grupo 4 argumenta que: *“aprendimos que el efecto Meissner mixto consiste en que un campo magnético no desaparece completamente sino que está delimitado por filamentos de un material determinado”*.

Grupos que alcanzaron niveles máximos de comprensión en 3 dimensiones: Como se mencionó anteriormente, el grupo 1, obtuvo nivel 3 en el criterio 2 de la dimensión de **métodos**. Teniendo en cuenta que este criterio evalúa la construcción del conocimiento dentro del dominio, es decir el uso de estrategias, métodos, técnicas y procedimientos empleados por profesionales para la construcción del conocimiento; se puede observar en la figura 5.89 que los estudiantes no responden la pregunta basándose en las prácticas de laboratorio virtuales de la actividad, sino que relacionan el experimento con sus ideas previas. Aunque la idea que mencionan es correcta, no responde a la pregunta que se estaba realizando en la hoja de actividad, por tal razón no obtienen nivel máximo de comprensión en la dimensión mencionada.

Grupos que alcanzaron el nivel máximo de comprensión en una dimensión: Los estudiantes del grupo 8, obtuvieron nivel 4 en la dimensión de formas de comunicación y nivel 2 en las otras tres dimensiones de evaluación. Sus resultados se deben a la falta de relación entre las preguntas de la actividad y las respuestas escritas por los estudiantes; lo cual se puede evidenciar en la pregunta 2, donde no explican el experimento a partir de la observación sino lo relacionan con las actividades realizadas en la clase de magnetismo, esto se observa cuando los estudiantes escriben: *“se puede observar que cuando se cambian los polos del imán la brújula apunta al noroeste o al noreste y la temperatura queda constante”* ya que en el experimento no hay brújulas. Por otra parte se puede observar que en la pregunta 5, no consideran las líneas de campo magnético expulsadas por el superconductor cuando baja la temperatura, solo consideran las líneas de campo del imán, lo cual se puede observar en el dibujo inicial que presentan en la figura 5.88 comparado con la explicación de la figura 5.113. Finalmente se puede observar que en la conclusión final de la actividad, los estudiantes afirman que:

- ❖ Aprendieron cómo sale el campo magnético de un imán.
- ❖ La electricidad afecta los campos magnéticos.
- ❖ El efecto Meissner plantea el comportamiento de un imán a temperatura crítica.

Como se puede ver las primeras dos conclusiones apuntan a la clase de electromagnetismo y la conclusión del efecto Meissner, no se vincula con las actividades realizadas.

Clase 6: Tipos de superconductores.

Actividad: En las primeras 4 clases que se llevaron a cabo con los estudiantes, se abordaron algunas temáticas de la física clásica que son fundamentales para entender el fenómeno de la superconductividad desde el electromagnetismo. En la clase 5, los estudiaron pudieron interpretar y comprender el Efecto Meissner-Ochsenfeld, gracias a los conocimientos previos adquiridos al inicio de la implementación de la estrategia didáctica. En ese orden de ideas, la clase 6 buscaba que los estudiantes comprendieran los diferentes tipos de superconductores, a partir de una clase magistral, en la cual puedan escuchar las características de estos materiales y cuestionarse alrededor de su funcionamiento. De tal manera, que se presentaron unas diapositivas en PowerPoint desde las cuales es posible entender las diferencias entre los tipos de superconductores así como la formación de vórtices y las implicaciones que éstos presentan en los materiales. La siguiente figura muestra las seis diapositivas donde se hace mención de los aspectos más importantes relacionados con los tipos de superconductores.



Figura 5.140: Slides presentados sobre tipos de superconductores.

Una vez se realiza la presentación en el salón de clases, los estudiantes realizan preguntas como: ¿En los dos tipos de superconductores presentados se forman vórtices? ¿Qué tipo de superconductor es más fácil de conseguir? ¿Entre qué costos oscila un superconductor? ¿A qué hace referencia el estado mixto en la superconductividad? Preguntas que generan discusión en el aula de clase y que ayuda a formalizar los conceptos por parte de los estudiantes.

Una vez que los estudiantes manifiestan claridad en relación con el tema, se les solicita que completen un formulario en el cual deben escribir lo entendido con respecto a los tipos de superconductores. Este formulario, es el material que se considera para realizar la evaluación diagnóstica continua de la clase.

A continuación se presentan las respuestas dadas por los estudiantes en el formulario, desde las cuales se establecieron los niveles de comprensión en las tres dimensiones presentadas.

Grupo 1:

Respuesta de los estudiantes: *“En primer lugar, un superconductor es aquel material o aleación que al enfriarlo a una temperatura muy baja, adquiere dos importantes propiedades: Resistencia nula y diamagnetismo perfecto. Por lo tanto, puede llegar a fluir una corriente eléctrica sin pérdida de energía, así como también es capaz de expulsar campos magnéticos de un imán. Considerando lo anterior, existen dos tipos de superconductores:*

Tipo I: Los superconductores de tipo I se caracterizan por ser en su mayoría materiales puros. Al ser materiales puros, estos tienen únicamente 1 temperatura crítica que les permite alcanzar el estado de superconductividad. El estado, lo que genera a bajas temperaturas es una expulsión total del campo magnético, que quiere decir que básicamente repele de sí mismo toda línea de magnetismo que se encuentre cerca. Si así entonces, consideramos un imán, un superconductor cercano a este expulsará sus líneas de campo magnético, produciendo de esta forma un efecto de levitación magnética conocido como efecto "Meissner Ochsensfeld".

Tipo II: El superconductor de Tipo II consta principalmente de aleaciones, el cual nuevamente es sometido a temperaturas bajas para adquirir las características de superconductividad. Al igual que los superconductores de tipo I, si este se encuentra por debajo de su temperatura crítica, el flujo del campo magnético llega a ser nulo, por lo cual a simple vista puede la completa levitación del superconductor. Sin embargo, este tipo de superconductor tiene dos temperaturas críticas. Si se da el caso de que el superconductor este por debajo de la primera, entonces se repele completamente el campo magnético como en los tipo I. No obstante, si la temperatura está entre las dos temperaturas críticas del superconductor, se crean vórtices. Esto se debe a que la corriente del superconductor fluye en forma circular para que algunas de las líneas de campo magnético pasen a través de este, mientras que otras sí sean expulsadas. Por estos mismos orificios es que se debe que el efecto de levitación no sea completo.”

Grupo 2:

Respuesta de los estudiantes: *“En los superconductores tipo I se expulsa el campo magnético hasta un punto crítico donde se destruye el estado superconductor. Los tipo I son superconductores que en presencia de un campo magnético crean corrientes que no permiten el paso del campo por medio del material. Se conoce como efecto Meissner. La superconductividad se basa en pares de electrones acoplados por interacciones vibracionales de red. Los superconductores tipo I son elementos puros, por ejemplo: aluminio, Mercurio y plomo. Sin embargo, los superconductores tipo I son un comportamiento característico de casi todos los elementos. Adicionalmente, tienen una única temperatura crítica, esta es muy baja, no supera los 7 grados Kelvin. También tienen un campo magnético crítico bajo, usualmente no supera los 0.2 Teslas.*

Por otro lado, en los superconductores tipo 2 se expulsa el campo magnético hasta un primero punto crítico, luego se forma un estado mixto donde pueden entrar líneas de campo por los vórtices (tubos por los que pasa el campo magnético, estos se denominan vórtices porque la corriente del superconductor fluye en espiral de tal forma que permite el paso del campo magnético) destruyendo así la superconductividad de dicho material. Entre más aumenta el

campo magnético aparecen más vórtices hasta llegar a un segundo punto crítico. Cuando estos dos campos magnéticos críticos se fusionan, destruyen el estado superconductor. Estos son algunos de los superconductores tipo dos: Nb₃Ge, La_{2-x}BaxCuO₄ entre otros.”

Grupo 3:

Respuesta de los estudiantes: “Para comenzar, todos los superconductores tipo I son elementos puros. Además, en este tipo de superconductor, los campos magnéticos se repelen totalmente. En consecuencia, el imán puede levitar. Además, una característica importante de los superconductores tipo I es que estos suelen pasar del estado superconductor al estado normal de manera brusca. Adicionalmente, en los superconductores tipo uno nunca se generan vórtices.

Por otro lado, los superconductores tipo 2 no son materiales puros, ya que normalmente estos son aleaciones de diferentes materiales. En este tipo de superconductores hay un estado mixto que se hace evidente. Además, en esta fase superconductor se forman vórtices que son atravesados por líneas de campo, momento en el que se destruye la superconductividad local; dichos vórtices hacen que el imán levite pero de manera poco estable. En adición, es importante tener en cuenta que la cantidad de vórtices de la superficie superconductor es proporcional al campo magnético.”

Grupo 4:

Respuesta de los estudiantes: “Existen 2 tipos de superconductores: Los superconductores de tipo I y los superconductores de tipo II. Por un lado, los superconductores de tipo I son aquellos que tienen un solo campo magnético y cambian de estado superconductor al normal de una manera rápida, es decir, el campo magnético es expulsado a un punto crítico en el cual se destruye el estado superconductor. Algunas de las características de este tipo de superconductor son: cero resistividad por debajo de su temperatura crítica, cero campo magnético interno, y un campo eléctrico crítico por el cual se interrumpe la superconductividad. Por otro lado, en el superconductor tipo II se consideran dos campos magnéticos críticos, en los cuales, en uno, se está plenamente en el estado superconductor y, en el otro, en el estado normal, creando un estado mixto, es decir, en este tipo de superconductor el campo magnético es expulsado, pero las líneas de campo pueden atravesar los vórtices de corrientes superconductoras, destruyéndose la superconductividad localmente. También, existe un punto en donde ambos campos se fusionan y destruyen la superconductividad.”

Grupo 5:

Respuesta de los estudiantes: “Existen 2 tipos de superconductores: el tipo I consta de elementos puros, en donde las líneas de campo no tocan el superconductor y además no tienen vórtices. Por ello, al poner un elemento encima del superconductor, este levita sin rotar. Para llegar a ser superconductores, necesitan llegar a una temperatura crítica (la cual es muy baja). En caso dado en donde la temperatura sea un poco mayor o menor de la temperatura crítica, el cambio de superconductor sería brusco.

Los superconductores tipo dos son aleaciones por lo que al no ser un único elemento, se generan vórtices en donde pasan pequeñas líneas de campo. A diferencia de los superconductores de tipo 1, si se coloca un objeto encima de los de tipo 2 este levita rotando sobre su eje debido a los vórtices generados.”

Grupo 6:

Respuesta de los estudiantes: “Tipo 1: Los superconductores tipo uno son aquellos que son materiales puros tales como El Oro, y que una vez pasan su temperatura crítica las propiedades de este se pierden. Sin estados intermedios. Tipo 2: los superconductores tipo dos son aquellos que son materiales compuestos, aleaciones de elementos puros. Estos tienen estados intermedio en su temperatura crítica y no pierden su superconductividad inmediatamente si no que se abren unos “vórtices” cuánticos en el elemento que permiten que ciertas líneas de campo pasen. Entre más alta la temperatura en su punto crítico, más vórtices se abren hasta el punto que finalmente se pierde toda superconductividad.

Ambos superconductores al estar más abajo que su temperatura crítica mueven todas las líneas de campo a su alrededor hacia afuera repeliendo cualquier objeto que entre cerca del campo. También generan resistencia casi nula y por eso conducen electricidad sin casi pérdida alguna. Así mismo no cualquier elemento es superconductor y tiene una temperatura crítica.”

Grupo 7:

Respuesta de los estudiantes: “En los tipo 1, las líneas del campo magnético son expulsadas por completo desde el superconductor. Por el contrario, los conductores tipo 2 son aquellos en los que se forman vórtices y, por lo tanto, algunas líneas de campo magnético atraviesan el material y otras no. Esto se denomina "estado mixto". Los vórtices se definen como los espacios que se forman en un material superconductor y que permiten el paso del campo magnético en forma de espiral. Es importante recordar que cualquier material superconductor puede perder su superconductividad o cambiar entre tipo 1 y tipo 2 al llegar a un punto crítico en su temperatura.”

Grupo 8:

Respuesta de los estudiantes: “Existen superconductores tipo 1 y 2. El superconductor tipo 1 es aquel que está hecho con materiales puros, en este superconductor se expulsa el campo magnético hasta un punto crítico, en donde ahí se destruye el estado superconductor. El superconductor tipo 2 es aquel formado por aleaciones. además, se forma un estado mixto donde pueden entrar líneas de campo por los vórtices, destruyendo la superconductividad localmente. Por otro lado, entre más se aumenta el campo magnético, aparecen más vórtices hasta llegar a un punto crítico 2. Cuando estos dos campos críticos se fusionan, se destruye el estado superconductor. Superconductor tipo 2 también se conoce como el efecto mediante mixto, que se encuentra en un estado vórtice y no excluye completamente el campo magnético, además puede ser sometido a campos magnéticos externos mucho más altos y permanecer en un estado superconductor.”

Evaluación diagnóstica continua: A partir de las conclusiones escritas por los estudiantes alrededor del tema de *tipos de superconductores*, se realizó la evaluación diagnóstica continua teniendo en cuenta el criterio 2 de la dimensión de contenidos, el criterio 3 de la dimensión de propósitos y el criterio 1 de la dimensión de formas de comunicación (ver tablas 1, 3 y 4). Las conclusiones de la evaluación teniendo en cuenta las ideas presentadas por los estudiantes son:

- ❖ Todos los grupos lograron alcanzar el nivel 4 de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación** (Figura 5.141), debido a la manera como escribieron sus conclusiones con respecto al tema, evidenciando en primer lugar bagaje conceptual y en segundo lugar claridad y apropiación de su proceso comunicativo.



Figura 5.141. Resultado porcentual de la dimensión de formas de comunicación.

- ❖ Siete grupos logran alcanzar el nivel 4 de comprensión en la dimensión de **contenidos** (Figura 5.142), debido a que explicaron claramente las diferencias entre los tipos de superconductores incluyendo aspectos importantes como: los puntos críticos, la levitación magnética, los vórtices y la exclusión del campo magnético. Solo el grupo 5 obtuvo nivel 3 de comprensión en esta dimensión, porque en la explicación presentada de los tipos de superconductores, los estudiantes escriben: “*Por ello, al poner un elemento encima del superconductor, este levita sin rotar.*”, es decir, no mencionaron explícitamente que el objeto que levita sobre el material superconductor es un imán y tampoco aclararon que el campo excluido en el estado superconductor es el magnético.



Figura 5.142. Resultado porcentual de la dimensión de contenidos.

- ❖ En la dimensión de **propósitos** nuevamente 7 grupos lograron catalogarse en el nivel máximo de comprensión, porque lograron explicar los conceptos determinados desde una posición personal, dando a conocer lo que habían comprendido a partir de las actividades planteadas en la clase. Sin embargo, el grupo 2 obtuvo nivel 3 de comprensión, debido a que la información que presentaron en las conclusiones no fueron de su completa autonomía, sino que buscaron información adicional en internet para plasmarla en sus conclusiones, lo que se puede evidenciar en la escritura de ejemplos puntuales de superconductores tipo II así: “*Estos son algunos de los superconductores tipo dos: Nb3Ge, La2-xBaxCuO4 entre otros.*”



Figura 5.143. Resultado porcentual de la dimensión de propósitos.

Clase 7: Pares de Cooper.

Actividad: Al inicio de la clase se mencionó la importancia de poder explicar el fenómeno de la superconductividad, no solo desde el electromagnetismo, sino empleando algunos conceptos propios de la física moderna y contemporánea, que si bien es cierto no los iban a poder entender formalmente con las ecuaciones respectivas, si iban a lograr acercarse a la explicación cuántica del fenómeno de forma conceptual. Es por esta razón, que cada uno de los grupos de trabajo realizó la lectura que se encuentra en el anexo 6 obtenida de cuentos cuánticos (2013), cuyo objetivo era lograr que los estudiantes explicaran microscópicamente lo que ocurre en los materiales cuando se encuentran en el estado superconductor.

Esta lectura resultó siendo un reto para los estudiantes, ya que se mencionaba algunos conceptos que no eran familiares para ellos, por ejemplo: spin, fermiones, principio de exclusión de Pauli, condensación de bosones y fonones. Razón por la cual, ellos buscaron información relacionada con dichos conceptos para entender cabalmente la lectura que se proponía para la clase. Cada grupo trabajó de manera independiente y la idea era que cuando ya tuvieran claros los conceptos, lograran explicar con sus palabras el fenómeno de la superconductividad empleando la terminología de los Pares de Cooper.

Para esto se les dió un cuestionario con 6 preguntas. Cada grupo debía responder al azar dos de estas, que incluía una pregunta relacionada con los vórtices en los superconductores vistos en la clase anterior, de tal manera que debían tener claridad en los conceptos para poder dar cuenta del fenómeno de la superconductividad explicada a partir de los Pares de Cooper. Hubo

una dificultad técnica con los videos de 2 grupos de trabajo, el 3 y el 7, razón por la cual se realizó una sesión virtual, posterior a la clase, para que quedara evidencia audiovisual de las intervenciones realizadas por los estudiantes.

Las 6 preguntas fueron:

1. ¿Cómo se relaciona el término de resistencia eléctrica con las redes metálicas de los superconductores?
2. ¿Qué es un fonón y cómo se relacionan con los pares de Cooper?
3. ¿A qué hace referencia el término red metálica en los superconductores?
4. ¿Explique cómo se forman los pares de Cooper?
5. ¿Qué relación hay entre las bajas temperaturas y los pares de Cooper?
6. ¿Qué diferencia hay entre los fermiones y los bosones?
7. ¿Qué son los vórtices en los superconductores y qué efecto generan?
8. ¿A qué hace referencia el estado mixto en la superconductividad?

Como se puede observar, las preguntas realizadas a los estudiantes buscaban que ellos fueran capaces de explicar el fenómeno de la superconductividad, mezclando los temas iniciales vistos en la estrategia didáctica, con los temas más elaborados que se empezaron a estudiar a partir de la clase de *Explicación de la superconductividad*. A partir de las respuestas dadas por los estudiantes, se establecieron las clasificaciones en los diferentes niveles de comprensión en relación con el tema de Pares de Cooper, de tal manera que cada descripción está acompañada con la respectiva evaluación desde las dimensiones de contenidos, métodos y formas de comunicación.

Grupo 1: La primera pregunta que le correspondió a los estudiantes de este grupo (Figura 5.144) fue ¿Qué es un fonón y cómo se relacionan con los pares de Cooper? Uno de los estudiantes contestó: *“A partir de los pares de Cooper se puede evidenciar que la cuasipartícula que permite la unión de un electrón con el otro electrón es por medio del fonón, ya que es la que permite la unión de estos aunque sea muy débil. Normalmente los electrones no se atraen porque tienen la misma carga eléctrica, pero pasa al sentir atracción hacia las partículas positivas y por intermedio del fonón”*.

La segunda pregunta que le correspondió a este grupo fue: ¿Qué son los vórtices y qué efecto generan? Otro estudiante del grupo responde: *“Son unos orificios por los que pasa el campo magnético cuando el superconductor es expulsado, estos vórtices se dan por la misma expulsión del campo magnético porque se crea una corriente alterna que genera los vórtices y por ahí mismo pasa el campo magnético. El efecto que genera es el efecto Meissner, que es cuando por la misma expulsión del campo magnético se crean unas corrientes superficiales que crean un campo que es opuesto al campo externo lo cual genera la levitación del imán que es lo que se representa en el efecto Meissner: la levitación del imán a partir de las temperaturas bajas y donde se da la expulsión del campo magnético en el superconductor.”*



Figura 5.144. Presentación grupo 1.

Resultados de la evaluación grupo 1: Nivel 4 de comprensión en las tres dimensiones.

- ❖ **Contenidos:** Los integrantes de este grupo lograron obtener el máximo nivel de comprensión en la dimensión de contenidos debido a la exactitud con la que responden las preguntas asignadas. En primer lugar, hacen referencia al fonón como una cuasipartícula que permite la atracción entre dos electrones, explicando la razón de la formación de los pares de Cooper. Adicionalmente, mencionan la atracción de los electrones frente a la red del material superconductor compuesta por los iones positivos. Con respecto a la segunda pregunta, es posible observar que explican los vórtices a partir de un lenguaje cotidiano para ellos, lo cual refleja su manera de interpretar el concepto. En una parte de la segunda respuesta, mencionan que la corriente que se crea alrededor de los vórtices es alterna, sin embargo en el resto de su discurso se refleja la relación de este concepto con las bajas temperaturas en los superconductores, con el fenómeno de levitación magnética y con el efecto Meissner-Ochsenfeld.
- ❖ **Métodos:** Teniendo en cuenta que desde la dimensión de métodos, se evalúan las técnicas empleadas por los estudiantes para la construcción del conocimiento, es posible catalogar a este grupo en el máximo nivel de comprensión debido al estudio riguroso que realizan alrededor de los conceptos vistos, para poder dar respuesta a las preguntas asignadas. Esto se manifiesta en las relaciones que los estudiantes hacen del tema con los conceptos aprendidos en las clases anteriores, particularmente la explicación de la atracción entre cargas negativas y de los campos magnéticos generados por el imán y expulsados por el superconductor.
- ❖ **Formas de comunicación:** Con respecto a la dimensión de formas de comunicación es posible observar la facilidad y la claridad con la cual hablan los estudiantes respondiendo las preguntas asignadas en la clase. Es por esto, que los estudiantes obtienen nivel 4 en esta dimensión. Ya que se puede observar en sus respuestas un excelente manejo del tema, buena expresión oral y fluidez, que refleja conocimiento alrededor de los fonones y los vórtices.

Grupo 2: La primera pregunta que le correspondió a este grupo fue: ¿A qué hacer referencia el término red metálica en los superconductores? Una de las integrantes del grupo responde

mientras hace el dibujo de una red metálica (Figura 5.145): “Una red metálica es una estructura cristalina que está conformada con iones positivos y por en medio de ésta pasan los electrones”. Una de sus compañeras, complementa su respuesta diciendo que “en los superconductores se deben considerar las vibraciones térmicas, es decir que a un superconductor cuando está a baja temperatura evita esas vibraciones, mantiene todo quieto mientras que en los otros materiales estas redes se van a mover mucho más.”

La segunda pregunta del grupo fue: ¿Cómo se relaciona el término de resistencia eléctrica con las redes metálicas de los superconductores?. La respuesta dada por una de las integrantes del grupo fue: “Nosotros vimos que la resistencia en el superconductor es nula, entonces esa sería la relación de la resistencia con los superconductores”. Sin embargo, la respuesta de la estudiante no estaba relacionada con la pregunta, ya que la idea era que ellos hicieran mención de la relación entre la resistencia y las redes metálicas de los superconductores. Es así como un segundo estudiante del grupo responde haciendo uso del dibujo que realizaron en el tablero diciendo: “Esta es la red, cuando pasa el electrón en el superconductor se va a deformar porque los positivos se atraen hacia los negativos, cuando el superconductor está frío va a permitir el flujo normal de los electrones sin ninguna resistencia eléctrica” Finalmente una integrante del grupo, retoma la pregunta y dice: “Se supone que van los electrones por aquí /señalando el dibujo del tablero (Figura 5.145) / esto se tiende a juntar, entonces lo que hace es crear un cierto espacio más positivo, que lo que hace es atraer a más electrones para que sigan el camino, entonces esto es lo que permite que haya un flujo de todos los demás electrones, lo que genera menos resistividad”



Figura 5.145. Presentación grupo 2

Resultados de la evaluación grupo 2: Nivel 3 de comprensión en la dimensión de contenidos y nivel 4 de comprensión en las dimensiones de métodos y formas de comunicación.

- ❖ **Contenidos:** En esta primera dimensión, los estudiantes obtienen nivel 3 de comprensión porque la respuesta que dan a la primera pregunta relacionada con la red metálica en los superconductores, carece de profundidad y consolidación conceptual. Sin embargo, se puede observar que en la segunda pregunta, las intervenciones realizadas por los estudiantes que pertenecen al grupo, sugieren la comprensión del tema: relación de la resistencia eléctrica y las redes metálicas en los materiales superconductores. Es importante aclarar que una vez que los estudiantes responden sus

preguntas se aclaran las dudas que hayan quedado alrededor del tema de pares de Cooper.

- ❖ **Métodos:** En la dimensión de métodos, los estudiantes alcanzan nivel 4 de comprensión, ya que la técnica empleada para construir el conocimiento fue el trabajo grupal y la complementariedad de la información dada por los estudiantes en relación con los temas de las preguntas.
- ❖ **Formas de comunicación:** Los estudiantes obtienen nivel 4 en esta dimensión, porque al expresar sus ideas relacionadas con las redes metálicas en los superconductores y con la relación de la resistencia eléctrica con ellas, se expresan con claridad, fluidez y muestran dominio de sus conocimientos.

Grupo 3: La primera pregunta que le correspondió al grupo 3 fue: ¿Qué diferencia hay entre los fermiones y los bosones? Uno de los estudiantes respondió *“El fermión es un electrón con medio spin, es decir 1/2, 3/2 y así, mientras que el bosón tiene como spin un número entero”* *“El fermión cumple el postulado de Pauli”*

La segunda pregunta fue: ¿Qué es un fonón y cómo se relacionan con los pares de Cooper? Una de las estudiantes mencionó *“El fonón se crea porque los enlaces entre los átomos se ven como resortes elásticos, entonces cuando uno de los átomos se desplaza, pierde su posición de equilibrio, y cuando eso pasa se desata un fonón. El comportamiento de los fonones se modela haciendo arreglos periódicos a átomos o moléculas y esto se hace, porque de acuerdo a muchos estudios se ha podido demostrar que la vibración de un material es la suma de las microvibraciones del material. Además, la diferencia entre un fotón y un fonón es que los fotones no interactúan entre sí cuando tienen distintas frecuencias y los fonones así tengan distintas frecuencias se superponen unos con otros y crean patrones complejos”*



Figura 5.146. Presentación grupo 3

Resultados de la evaluación grupo 3: Nivel 2 de comprensión en la dimensión de contenidos y nivel 4 de comprensión en las dimensiones de métodos y formas de comunicación.

- ❖ **Contenidos:** Con respecto a la dimensión de contenidos, los estudiantes del grupo 3 se catalogan en el segundo nivel de comprensión, lo cual se puede justificar desde dos factores importantes. El primero, se debe al cambio temporal con respecto a la ejecución de la evaluación, ya que los estudiantes resolvieron esas preguntas dos meses después de la implementación de la clase, lo cual evidencia desconexión de la actividad y falta de relación con la temática de los superconductores. Y el segundo, debido a la búsqueda de información sin tener en cuenta el fragmento de la lectura de los pares de Cooper que hablaba de los conceptos trabajados, lo que ocasionó que no se vinculara el tema de fonones con la unión de los electrones. Además, se puede evidenciar que la respuesta de los estudiantes en relación con la diferencia de fermiones y bosones, se redujo a la información encontrada en internet sin una vinculación directa al comportamiento de los pares de Cooper como bosones.
- ❖ **Métodos:** Aunque los estudiantes obtuvieron nivel dos en la dimensión de contenidos es posible observar en la presentación de las respuestas a las dos preguntas, que hacen una construcción grupal del conocimiento, complementando la información dada por sus compañeros para que las preguntas quedaran completamente solucionadas. Por esta razón el grupo obtiene el máximo nivel de comprensión la dimensión de métodos.
- ❖ **Formas de comunicación:** Su expresividad oral y la manera cómo comunican la información, hace que los estudiantes obtengan nivel 4 comprensión en la dimensión de formas de comunicación. Ya que, aunque faltó relación de los términos con los pares de Cooper, es posible notar en sus respuestas que leyeron información relacionada con los fermiones y los bosones y fueron capaces transmitirla de forma clara y precisa a través de su discurso oral.

Grupo 4: La primera pregunta de este grupo fue: *¿Explique cómo se forman los pares de Cooper? Una de las estudiantes del grupo dice: “Lo primero que debemos tener en cuenta es que existe una red metálica en los superconductores formada por iones y electrones. Entonces lo que ocurre es que los iones son positivos y generan una atracción cuando pasan los electrones, como éstos son opuestos tratan de atraerse. Sin embargo, cuando están pasando dos electrones, el campo que generan en los iones positivos hacen que estos se atraigan, logrando formar los pares de Cooper.”* Una estudiante complementa la idea de su compañera diciendo: *“y logrando que ambos electrones actúan como uno”* Otra estudiante complementa la idea aún más afirmando que: *“si un electrón se mueve hacia la derecha, entonces el otro lo va siguiendo”*.

La segunda pregunta para el grupo cuatro fue: *¿Qué relación hay entre las bajas temperaturas y los pares de Cooper? Los estudiantes del grupo respondieron: “En la red metálica están los iones y los electrones, cuando hay una baja temperatura hay menor energía cinética y por lo tanto los iones se quedan quietos donde están y los electrones...”, “... pueden pasar libremente porque los iones están quietos entonces no los afectan”. “Si, en cambio si hay más temperatura entonces se empiezan a mover y los pares de Cooper no se van a poder formar. Otra cosa es*

que los pares de Cooper son muy débiles, entonces si cambia la temperatura se afectan.” Se complementa la información diciendo que: “Cuando el superconductor se calienta, el imán se cae porque aumenta la energía cinética por el aumento de temperatura, entonces ya no se quedarían quietos los iones por lo tanto ya no tendríamos los pares de Cooper.”



Figura 5.147. Presentación grupo 4

Resultados de la evaluación grupo 4: Nivel 4 de comprensión en las tres dimensiones.

- ❖ **Contenidos:** De todos los grupos de trabajo, se puede evidenciar que estos estudiantes prepararon las respuestas que socializaron alrededor de las 2 preguntas asignadas, de tal manera que lograron transmitir el conocimiento de manera clara y precisa. La forma como explicaron la formación de los pares de Cooper y la relación de estos con las bajas temperaturas en los superconductores, evidencia que los estudiantes comprendieron el 100% los fenómenos relacionados con la superconductividad explicados desde la formación de los pares de electrones en las redes metálicas de los materiales superconductores, que adquieren sus propiedades a partir de las bajas temperaturas, razón por la cual estos estudiantes obtienen el máximo nivel de comprensión en la dimensión de contenidos.
- ❖ **Métodos:** Con respecto a la dimensión de métodos, es posible observar que los estudiantes realizan dibujos en el tablero para dar cuenta de la formación de los pares de Cooper, a partir de la atracción de estas partículas hacia la red de iones positivos. Además, expresan la facilidad con la que estas pasan a través de la red por las bajas vibraciones térmicas que presenta el material. Lo cual sugiere que los estudiantes, construyen su conocimiento a partir de ayudas visuales que permiten dar cuenta de su comprensión y a partir de las intervenciones individuales, para complementar las ideas dadas por sus compañeros, lo que se traduce en una construcción grupal del conocimiento acerca de los pares de Cooper. Nuevamente estos estudiantes obtienen el máximo nivel de comprensión en esta dimensión.
- ❖ **Formas de comunicación:** Finalmente, el uso de ayudas visuales para la explicación de la formación de los pares de Cooper y su relación con las bajas temperaturas, acompañadas por el discurso de los integrantes del grupo para explicar estos conceptos, generan que tengan nivel 4 comprensión en la dimensión de formas de comunicación,

porque es posible reflejar con sus intervenciones la comprensión de los temas estudiados en la clase.

Grupo 5: La primera pregunta del grupo 5 fue ¿A qué hace referencia el estado mixto en la superconductividad? Uno de los estudiantes responde: *“Existen dos tipos de superconductores, el tipo I que son materiales puros y el tipo II que son aleaciones. Entonces el efecto Meissner en el tipo dos, lo que genera es que, en el normal las líneas de campo pasan alrededor del material (expulsan todas las líneas de campo) y esto hace que levite el imán, en cambio con el superconductor tipo II el imán también levita, pero las líneas de campo también van alrededor, pero pasan a través del superconductor y además vibra porque tienen los vórtices.”* Su compañera del grupo complementa la idea diciendo que: *“... y se genera una corriente por eso es que también rota y siempre va a rotar en una misma dirección”*.

La segunda pregunta del grupo fue: ¿Qué relación hay entre las bajas temperaturas y los pares de Cooper? El estudiante responde: *“Ustedes saben que los pares de Cooper es la unión entre dos electrones, pero entonces los electrones tienen cargas negativas y las cargas negativas se repelen. Entonces lo que pasa a temperaturas bajas es que reducen las vibraciones térmicas que existen en las redes y hacen que estos electrones se unan, formando los pares de Cooper.”*



Figura 5.148. Presentación grupo 5.

Resultados de la evaluación grupo 5: Nivel 3 de comprensión en la dimensión de contenidos y nivel 4 de comprensión en las dimensiones de métodos y formas de comunicación.

- ❖ **Contenidos:** Teniendo en cuenta las respuestas dadas por los estudiantes ante las preguntas ¿A qué hace referencia el estado mixto en la superconductividad y qué relación hay entre las bajas temperaturas y los pares de Cooper?, obtienen nivel 3 de comprensión en esta dimensión por la falta de profundidad con la que hablaron acerca del efecto Meissner mixto, porque los estudiantes mencionan el paso de las líneas de campo magnético alrededor de los vórtices, pero olvidan decir que el estado mixto de la superconductividad hace referencia a la mezcla entre la expulsión de campo magnético y la filtración de algunas líneas de campo a través del superconductor. Además, en la respuesta de la segunda pregunta, los estudiantes relacionan las bajas temperaturas con la reducción de las vibraciones térmicas de las redes de los

superconductores, pero no explican la atracción de estos hacia los iones positivos que conforman estas redes metálicas.

- ❖ **Métodos:** En esta dimensión, los estudiantes obtienen nivel 4 de comprensión, porque construyen su conocimiento a partir de los conceptos que han adquirido en las clases anteriores particularmente en las clases de efecto Meissner, tipos de superconductores, y cargas eléctricas.
- ❖ **Formas de comunicación:** En la dimensión de formas de comunicación los estudiantes obtienen nivel 4, ya que expresan claramente sus ideas, evidenciando conocimiento alrededor del tema y empleando el lenguaje adecuado visto desde las clases de física.

Grupo 6: La primera pregunta del grupo 6 fue: ¿A qué hacer referencia el término red metálica en los superconductores? Uno de los integrantes del grupo responde: *“se supone que en los superconductores se forman estas redes, que se caracterizan porque el núcleo se separa del electrón y no se vería como normalmente vemos el átomo /el estudiante hace el dibujo de la red y del átomo/ oscilando alrededor del núcleo conformado por protones y neutrones. Entonces estas redes metálicas, lo que hacen es atraer a los electrones, además cabe resaltar que los electrones tienen diferentes ondas y son antisimétricos. En las redes eléctricas los electrones deforman la red, intentando evadir la atracción que generan los iones que forman las redes. Todo esto se debe a la baja temperatura ya que la energía cinética disminuye causando que el movimiento de los electrones sea menor y se puedan mantener ambos unidos formando el par de Cooper”*

La segunda pregunta que tenían los estudiantes era: ¿Qué diferencia hay entre los fermiones y los bosones? Uno de los estudiantes del grupo responde la pregunta afirmando que: *“los fermiones y los bosones son partículas elementales, los fermiones y los bosones son diferentes porque uno de ellos cumple el principio de exclusión de Pauli y el otro no. El principio de exclusión de Pauli dice que dos o más partículas no pueden estar en el mismo estado. La característica de los fermiones es que tienen un spin de fraccionarios puede ser $1/2$, $3/2$, $5/2$ o sus variantes negativas. Mientras que los bosones tienen un spin en números enteros 1, 2, 3, 4. Dentro de los tipos de bosones pueden estar el bosón W, el bosón Z, el gluón, el bosón de Higgs, el fotón y un ejemplo del fermión puede ser el electrón, muón, leptón. Entonces los pares de Cooper se forman cuando uno de los electrones tiene un spin de $1/2$ y el otro electrón tiene un spin de $-1/2$, esto genera que se comporten como un bosón, quiere decir que pueden estar en el mismo estado”*



Figura 5.149. Presentación grupo 6.

Resultados de la evaluación grupo 6: Nivel 4 de comprensión en las tres dimensiones.

- ❖ **Contenidos:** Las razones por las cual es los estudiantes del grupo 6 obtienen máximo nivel de comprensión en esta dimensión, se relacionan con la interpretación que hacen de la lectura propuesta en la clase y la búsqueda de información adicional para dar cuenta de los conceptos estudiados. Se resalta en este grupo el interés por entender la diferencia entre los fermiones y los bosones y la relación de éstos con los pares de Cooper. Además, en la pregunta asociada con la red metálica en los superconductores, los estudiantes adaptan los conceptos que conocen alrededor del átomo para hacer la explicación de la formación de las redes de iones positivos en los materiales.
- ❖ **Métodos:** Estos estudiantes obtienen nivel 4 de comprensión en la dimensión de métodos, debido a la búsqueda de estrategias para dar a conocer sus conocimientos en relación con los temas planteados. Se resalta en este grupo la búsqueda adicional de información, la utilización de conceptos vistos en las clases anteriores y los dibujos que hacen en el tablero, los cuales utilizan como ayuda visual para la explicación de cada una de las preguntas asignadas.
- ❖ **Formas de comunicación:** El máximo nivel de comprensión obtenido por los estudiantes en la dimensión de formas de comunicación, se debe a la excelente expresión oral en las respuestas a las preguntas asignadas evidenciando la construcción del conocimiento alrededor de los temas vistos.

Grupo 7: La primera pregunta de este grupo fue: ¿Qué relación hay entre las bajas temperaturas y los pares de Cooper? Los estudiantes respondieron: *“La red es una estructura cristalina en la que los átomos están distribuidos de manera que se puedan juntar y dentro de la red están los electrones, lo que quiere decir que la resistencia que tiene la red depende del movimiento de los electrones”. “Ahí juega un papel importante la temperatura, porque como los electrones se están moviendo dentro de la red, cuando se enfría el material, los electrones se quedan quietos y se unen entre ellos, entonces es como si ya no se reconocieran como dos negativos sino como uno positivo y otro negativo, entonces se unen”*. Se complementa la información diciendo *“yo entiendo que está la red, la red se enfría y los electrones al pasar deforman la red, entonces ellos despliegan una energía positiva y después se unen y ahí forman*

el par de Cooper” “...los electrones nunca dejan de ser negativos, pero si hay una fuerza positiva que supera la negatividad que hace que ellos se repelen haciendo que ellos se junten”. Interviene una estudiante del grupo afirmando que a uno de los electrones le cambia el spin es decir que uno tendría el spin positivo y el otro negativo.

La segunda pregunta de este grupo fue: ¿Qué son los vórtices en los superconductores y qué efecto generan? Una de las integrantes del grupo respondió: “ *Los vórtices son como remolinos que aparecen en un tipo de superconductor, en el superconductor tipo II*” “...son los que permiten el paso del campo magnético y cuando pasa, se crea una corriente cíclica dentro del vórtice”.



Figura 5.150. Presentación grupo 7.

Resultados de la evaluación grupo 7: Nivel 3 de comprensión en la dimensión de contenidos y nivel 4 de comprensión en las dimensiones de métodos y formas de comunicación.

- ❖ **Contenidos:** Los estudiantes de este grupo de trabajo obtienen nivel 3 en la dimensión de contenidos, porque en la segunda pregunta les faltó profundizar alrededor del tema de los vórtices en los superconductores. Sin embargo, se puede evidenciar que en el transcurso de las respuestas los estudiantes van complementando información para dar cuenta de sus conocimientos alrededor del tema.
- ❖ **Métodos:** Se puede observar, que al igual que otros grupos, los estudiantes hacen una construcción grupal del conocimiento y complementan las ideas dadas por sus compañeros, de tal manera que pueden dar una respuesta completa ante cada pregunta asignada. Es importante mencionar, que al igual que el grupo 3, las respuestas a estas preguntas se grabaron dos meses después de haber visto el tema de superconductividad, por lo cual es importante ver que los estudiantes adquirieron sus conocimientos de forma consciente y pudieron dar cuenta del fenómeno de la superconductividad desde escalas microscópicas, a pesar que el tiempo transcurrido desde la actividad fue mucho mayor que para los otros grupos.
- ❖ **Formas de comunicación:** Con respecto a la dimensión de formas de comunicación, se puede evidenciar la facilidad y la claridad con la que los estudiantes hablan alrededor

de los temas asignados, lo cual refleja adquisición del conocimiento. Por esta razón, estos estudiantes obtienen el cuarto nivel de comprensión en esta dimensión.

Grupo 8: La primera pregunta de este grupo fue: ¿Explique cómo se forman los pares de Cooper? Las estudiantes responden: *“Los pares de Cooper se dan dentro de la red cristalina de un material. Entonces la red cristalina es una alineación que se da entre los iones positivos que están alineados por el núcleo. Entonces, dentro de este material están los electrones.”* *“Se supone que cada uno de éstos (señalando el dibujo hecho en el tablero que se muestra en la figura 5.151) son átomos, en el núcleo están los protones que son los iones positivos y alrededor están los electrones. Entonces cuando tú pones un material a temperatura crítica, es decir a temperatura muy baja los electrones pierden esa atracción hacia el núcleo y empiezan a flotar por el material, entonces los electrones lo que hacen es que empiezan a viajar por las alineaciones que se dan entre los iones positivos y lo que hacen es que si pasa un electrón en medio entonces estos materiales se empiezan a deformar”*. La primera estudiante que hizo su intervención mencionó que *“el electrón no se puede mover libremente entre toda la red cristalina sino de forma ordenada en el cuadradito que se ve en el dibujo y una particularidad es normalmente los electrones no se perseguiría el uno al otro, pero por la baja temperatura esto ocurre”*

La segunda pregunta del grupo fue: ¿Qué es un fonón y cómo se relacionan con los pares de Cooper? Una de las estudiantes respondió: *“Un fonón es una cuasipartícula que representa una vibración por lo tanto es una onda”*



Figura 5.151. Presentación grupo 8.

Resultados de la evaluación grupo 8: Nivel 3 de comprensión en la dimensión de contenidos y nivel 4 de comprensión en las dimensiones de métodos y formas de comunicación.

- ❖ **Contenidos:** Es posible evidenciar en el discurso de las 4 estudiantes que pertenecen al grupo 8, que reflejan conocimiento, comprensión y son capaces de explicar de forma coherente y clara las preguntas que les fueron asignadas. No sólo hacen uso de la palabra para dar a conocer las respuestas, sino que emplean ayudas visuales para lograr transmitir sus conocimientos relacionados con la formación de los pares de Cooper. Sin embargo, al responder la pregunta relacionada con el término fonón, les faltó relacionarlo con la superconductividad. Razón por la cual se ubicaron en el nivel 3 de comprensión en esta dimensión.

- ❖ **Métodos:** Es posible observar, cómo las estudiantes se organizaron para presentar las respuestas de las preguntas asignadas, lo cual indica un método para la construcción del conocimiento que se basó en asignar papeles específicos para dar cuenta de los contenidos estudiados. Además es posible notar, cómo las estudiantes complementaban la información de sus compañeras en relación con la pregunta de la formación de los pares de Cooper en los superconductores. Razón por la cual el grupo obtiene el nivel 4 de comprensión en este criterio específico de la dimensión de métodos

- ❖ **Formas de comunicación:** Finalmente, se puede evidenciar en el discurso de las estudiantes, que muestran conocimiento alrededor de la primera pregunta por medio de la excelente expresión oral y la ayuda de dibujos, que permiten dar cuenta de la relación entre las redes metálicas de los materiales superconductores y la atracción de los electrones hacia ellas. Esto las ubicó en el nivel máximo de comprensión.

Clase 8: Experimento.

Actividad: Teniendo en cuenta que desde las primeras clases se buscó orientar a los estudiantes para que logran explicar el fenómeno de la superconductividad, era fundamental pasar de las simulaciones, lecturas y experimentos de electromagnetismo básico a la ejecución del experimento de superconductividad, con el objetivo de lograr que los estudiantes pudieran observar el comportamiento del material al enfriarlo con nitrógeno líquido, la levitación magnética debida a la expulsión del campo magnético y la permanencia del estado superconductor hasta alcanzar los puntos críticos que se mencionaron en las clases anteriores. Los estudiantes manifestaron emoción al observar el nitrógeno líquido, específicamente al ser depositado en la caja de petri donde se encontraba el superconductor con un pequeño imán en la parte superior. Y más aún cuando observaron la levitación del imán sobre el superconductor (Figura 5.152).



Figura 5.152. Estudiantes observando el experimento..

Durante el experimento fue un poco difícil levantar con las pinzas el material superconductor (Figura 5.153) para que se pudiera observar el fenómeno, sin embargo, todos los estudiantes pudieron apreciar el experimento, ya que se acercaron a la mesa donde se estaba desarrollando.



Figura 5.153. Fotografía del experimento.

Al inicio del experimento, los estudiantes realizaron preguntas como: ¿cuál fue el costo del material superconductor? ¿Cuál fue el costo del nitrógeno líquido y cuánto costó el alquiler contenedor?. Una vez se responden a estas preguntas, los estudiantes se animan a realizar ellos mismos el experimento, con la condición, que al ir haciendo los procedimientos determinados explicaran físicamente el fenómeno que se observaba. El primer estudiante que realizó el

experimento (Figura 5.154) bajo esta condición pertenece al grupo 2 de trabajo. El estudiante afirmó:

“Este es un material superconductor que a temperatura ambiente no está siendo afectado, por lo tanto lo atraviesa el flujo del campo magnético del imán, pero en el momento que es enfriado a un punto crítico, no permite el flujo del campo magnético y levita. También es como si creara el mismo polo en el superconductor y hace que los dos se repelen”



Figura 5.154. Estudiante del grupo 2 explicando el fenómeno.

Con respecto a lo que menciona el estudiante, la docente pregunta a todo el grupo ¿qué tipo de superconductor creen que es el del experimento?, ante la cual responden los estudiante en coro que corresponde al superconductor tipo II y una estudiante que pertenece al grupo 7 argumenta que es tipo I porque *“se puede ver que el imán no está tambaleándose, así como cuando veíamos los imanes tipo II, se nota que hay una fuerza que está permitiendo que el imán esté quieto, es decir que no se mueva”*; sin embargo, una estudiante del grupo del grupo 8 la interrumpe y dice que ella está en desacuerdo con lo que acaba de decir su compañera, la estudiante dice *“yo creo que este superconductor tipo II, porque a pesar de que el imán levita, no dura mucho tiempo que tú digas está quieto, sino que después de unos segundos ya está temblando, eso significa que puede que se estén generando unos vórtices y que las líneas de campo estén pasando, entonces ahí se ve”*. La docente pide a sus estudiantes que recuerden las diferencias entre los dos tipos de superconductores. Ellos recuerdan la formación de los vórtices en el superconductor tipo II, la diferencia entre materiales puros y aleaciones y la creación de corrientes en los superconductores tipo II alrededor de los vórtices que permiten el estado mixto de la superconductividad (idea mencionada por un estudiante del grupo 5).

Otra de las preguntas que realiza la docente está relacionada con las líneas de campo magnético del imán antes y después de observar el fenómeno de la superconductividad. Nuevamente, vuelve a participar la estudiantes del grupo 7 quien antes había mencionado que el superconductor del experimento era de tipo I. Ella argumenta que *“antes del estado superconductor, las líneas de campo bajan derecho, porque el superconductor aún no estaba en la temperatura crítica. Se podría decir que hay dos tipos de líneas de campo, unas son las que atraviesan el imán al este ser de tipo dos y las líneas de campo magnético excluido del material superconductor”*. Con la intervención de esta estudiante, se puede ver una construcción conjunta del conocimiento, porque ante la corrección de su compañera con la pregunta anterior, la estudiante logró dar cuenta del comportamiento de las líneas de campo magnético teniendo en cuenta el tipo de superconductor.

La siguiente pregunta quería relacionar el experimento que los estudiantes estaban observando con la primera clase que se llevó a cabo en la implementación: ¿qué tiene que ver el experimento con la carga eléctrica?. Un estudiante del grupo 3 menciona que la relación del experimento con la carga es que en el interior del superconductor las cargas negativas se atraen y la mayoría de los estudiantes dicen en coro, que esa atracción se conoce como los pares de Cooper. Un estudiante del grupo 5 complementa la idea del estudiante del grupo 3 diciendo que *“los electrones trabajan dentro de una red y al momento de pasar el electrón por esta red se genera una perturbación en este espacio que genera que haya una carga positiva que se sienten atraídos hacia el electrón en el momento que éste pasa”*. Con las respuestas que dan los estudiantes se puede decir que sin lugar a duda, ellos hacen relaciones adecuadas entre el fenómeno observado y los conceptos que se han trabajado a lo largo de la implementación.

Continuando con la clase, otra estudiante del grupo 2, quien tomó el liderazgo en la realización del experimento (Figura 5.155), responde otra de las preguntas realizadas por la profesora, en la cual se pretende que indique la relación entre la resistencia y la temperatura. La estudiante menciona *“que a mayor temperatura mayor resistencia, son directamente proporcionales”*, frase desde la cual se puede inferir que los conceptos clásicos estudiados de electricidad, quedaron claros para los estudiantes.



Figura 5.155. Fotografía de la estudiante del grupo 2 haciendo el experimento

La siguiente pregunta apuntaba a la relación de la resistencia eléctrica con el estado superconductor, una estudiante del grupo 5 respondió: *“como a mayor temperatura hay mayor resistencia, porque las partículas dentro del elemento se mueven más rápido y colisionan con la corriente que está pasando, entonces en este caso como la resistencia es nula, no hay muchas vibraciones por lo cual no hay choques y los electrones pasan sin obstáculos por la red”*. Con la finalización del experimento, la docente hace la pregunta ¿qué se les ocurre que se pueda hacer con el experimento en una aplicación de la vida real? Un estudiante del grupo 6 responde: *“Circuitos eléctricos perfectos debido a que la supercorriente que se genera no permitiría pérdidas de energía.”*

Finalizando la clase, la docente concluye que lo más interesante del experimento es que los principios físicos que subyacen la superconductividad, no pertenecen solo a la rama del electromagnetismo, sino también a la física cuántica, y que al ser un fenómeno que se puede observar directamente permite el estudio y la comprensión del conocimiento de temas que hacen parte de la modernidad.

Al terminar la clase, un grupo de estudiantes decidió mostrar el experimento a diferentes cursos del colegio, teniendo en cuenta que aún quedaba nitrógeno líquido en el contenedor, y la explicación que ellos hicieron en relación con el experimento incluyó todos los conceptos previos que se habían estudiado desde el inicio de la implementación. Es importante mencionar que los estudiantes no solo quisieron hacer esta presentación a sus compañeros de otros grados de secundaria, sino a estudiantes de primaria y administrativos de la institución, a continuación se presentan algunas fotografías de estas exposiciones.



Figura 5.156. Presentación del experimento a la comunidad educativa.

Clase 9: Actividad final.

Actividad: Para la actividad final, los estudiantes debían presentar de forma creativa lo que habían aprendido de la superconductividad relacionándolo con un tema en específico (carga eléctrica, resistencia, efecto Meissner-Ochsenfeld y tipos de superconductores), de tal manera que a continuación se realizará una descripción de la presentación realizada por cada grupo de estudiantes, para dar paso a la evaluación diagnóstica continua alrededor de estas actividades.

Grupo 1: El primer grupo debía hacer su presentación alrededor del tema tipos de superconductores. Inicialmente uno de los estudiantes toma la vocería del grupo y personifica a un profesor, cuyos estudiantes son sus compañeros de grado undécimo. Inicia la clase preguntando a la audiencia ¿cuáles son las dos características más importantes de los superconductores? Él dice que la primera característica tiene que ver con la resistencia, uno de sus compañeros que está sentado en el auditorio, menciona que la resistencia es igual a cero. Además, afirma que la segunda característica tiene que ver con el diamagnetismo, explicando a sus compañeros que dicho término se refiere a la repulsión de los campos magnéticos al interior del superconductor.

La siguiente pregunta que realiza a sus compañeros es: ¿saben cuántos tipos hay de superconductores? Ante la cual todos los estudiantes responden en coro: dos. Luego inicia una dramatización de todos los integrantes del grupo, siendo el estudiante que personifica a un profesor quien presenta a sus compañeros, al primero lo llama “Señor Mercurio”, el profesor explica que necesitan enfriar al señor mercurio con nitrógeno líquido, a una temperatura por debajo de 30K. El profesor pregunta a sus compañeros del auditorio ¿Por qué necesitamos enfriar al señor mercurio? Un estudiante del grupo 2 responde: “Para que llegue a un punto crítico” y una estudiante del grupo 4 refuerza esta idea con “para lograr que esté en el estado superconductor”. El profesor vuelve a dirigirse a la audiencia preguntando ¿cómo son las líneas de campo magnético del imán (presenta a otro de sus compañeros como el “señor imán” y lo acerca a 1.5 metros al señor mercurio) antes que el señor mercurio se convierta en un superconductor? Un estudiante del grupo 4 responde “Atraviesan a Pacho” (así llaman al señor mercurio en la cotidianidad). El profesor, afirma que el estudiante del grupo 4 tiene razón, pero que “al enfriar el superconductor, se crean unas corrientes de apantallamiento, que en el superconductor tipo I generan una superficie completa en el superconductor (Utilizan una cuerda para representar dicha superficie). Entonces cuando las líneas de campo del imán intenten acercarse al superconductor, el imán está completamente repelido y quieto. Está repeliendo las líneas de campo como pueden ver” Figura 5.157.



Figura 5.157. Fotografía presentación final grupo 1.

El estudiante que personifica al profesor, presenta a otro de sus compañeros del grupo como un superconductor tipo II, afirmando que éste no es un material puro como el señor mercurio sino una aleación, además menciona que cuando se acerca un imán al superconductor, se presentan dos campos críticos, si no se llega al primer campo crítico, entonces las líneas de campo se formarían igual que en un superconductor tipo I, lo cual se manifiesta a partir del efecto Meissner. Pero si se llega al primer punto crítico, se crean unos vórtices y alrededor de ellos unas supercorrientes (Los estudiantes representan la supercorriente con un estudiante girando alrededor del vórtice que es otro estudiante del grupo, ver Figura 5.158).



Figura 5.158. Fotografía representación de vórtices y supercorriente.

Para terminar la presentación, el estudiante menciona que las líneas de campo magnético en el superconductor tipo II se representan de forma diferente a las vistas anteriormente, ya que algunas logran atravesar al material por medio de los vórtices (los estudiantes representan las líneas de campo con una cuerda, como se muestra en la figura 5.159). El estudiante concluye la presentación diciendo que el mercurio fue el primer superconductor descubierto y que cuando un superconductor tipo II llega al segundo campo crítico pierde sus propiedades.



Figura 5.159. Fotografía representación de las líneas de campo atravesando el superconductor.

Evaluación grupo 1: Como se pudo observar en la descripción, el primer grupo de trabajo decide hacer su presentación final a partir de una dramatización donde los estudiantes personifican los materiales y eventos que suceden alrededor del fenómeno de la superconductividad. Esta presentación, se caracterizó por ser innovadora y creativa, evidenciando el conocimiento de los estudiantes frente al tema presentado. El estudiante que personificó al profesor, se encargó de interactuar con sus compañeros con el fin de tener en cuenta sus aportes frente al tema específico de tipos de superconductores. Adicionalmente, con las respuestas de los estudiantes a las preguntas que creó el grupo, se agrega información que consultaron para poder dar cuenta de la comprensión alrededor de los tipos de superconductores. Esta interacción con la audiencia y la facilidad para comunicar sus ideas frente a los contenidos ya mencionados, permitió que el grupo 1 obtuviera el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación**, ya que no sólo tuvieron en cuenta la transmisión de la información, sino que verificaron que los conceptos fueran entendidos por sus compañeros de clase.

En la puesta en escena realizada por los estudiantes del grupo 1, fue posible evidenciar la organización de las ideas, el razonamiento que hicieron alrededor de los tipos de superconductores y la evolución del conocimiento con respecto a lo aprendido en clases anteriores. Términos como: corrientes de apantallamiento, puntos críticos, vórtices y efecto meissner mixto, permiten determinar que los estudiantes comprendan el fenómeno de la superconductividad a partir de las diferencias existentes entre los superconductores tipo I y II; razón por la cual logran obtener el nivel 4 de comprensión en la dimensión de **contenidos**.

Por otro lado, es interesante observar, que los estudiantes emplearon una forma de presentar los temas específicos de forma poco convencional. Sin embargo, la dramatización que hicieron fue tan clara, que mostró manejo conceptual y comprensión de los temas estudiados; por esta razón obtiene el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **propósitos**.

Finalmente, los 4 integrantes del grupo 1 obtiene el nivel 4 de comprensión en la dimensión de **métodos** teniendo en cuenta el uso de estrategias, metodologías, y técnicas para la construcción del conocimiento; y en este caso, para dar a conocer su comprensión en relación con la superconductividad.

Grupo 2: El tema que le correspondió al segundo grupo fue el Efecto Meissner. Así que los estudiantes decidieron hacer una maqueta (Figura 5.160) con la cual se pudieran observar las características principales de este efecto. Inicialmente, explican que la maqueta consta de un termómetro, un imán, un superconductor y nitrógeno líquido, el cual permite que las líneas de campo magnético sean expulsadas por el superconductor. Deciden hacer un juego en el cual los estudiantes expliquen las funciones principales de cada uno de los materiales que hacen parte de la maqueta.

El primer material que le correspondió a uno de los estudiantes fue el nitrógeno líquido, él respondió que su función principal era mantener el estado superconductor, uno de los integrantes del grupo agrega que con el nitrógeno líquido el superconductor expulsa las líneas del campo magnético del imán. El segundo material del juego es el imán, la estudiante mencionó que el imán es el responsable que muestra el efecto Meissner, ya que el superconductor genera un campo a su alrededor que hace que imán levite. Una de las estudiantes del grupo 2 confirma que cuando la temperatura del superconductor es muy baja y el material adquiere sus propiedades, el imán se repele con el material generando dicha levitación mencionada por la estudiante del público. El siguiente elemento del juego es el superconductor, el estudiante menciona que “existen dos tipos de superconductores, el tipo I y tipo II. El tipo I a temperaturas muy bajas repele el campo magnético del imán, generando la levitación del mismo. Mientras que en el tipo II se generan unas corrientes que a su vez generan unos vórtices dentro del superconductor por los cuales pasan algunas líneas del campo magnético.” El último material del juego corresponde al termómetro, el estudiante afirma que el termómetro hace referencia a la temperatura que convierte al material en un superconductor. Una de las integrantes del grupo 2, recuerda que el termómetro es importante para medir la temperatura crítica sobre la cual el material pierde sus propiedades como superconductor.



Figura 5.160. Fotografía presentación de la maqueta grupo 2.

Evaluación del grupo 2: Para la presentación final del tema de superconductividad, el grupo dos decide hacer una maqueta que muestre el efecto Meissner-Ochsenfeld. Para la presentación de esta, realizaron un juegos con sus compañeros, desde el cual el público daba cuenta de la

importancia de cada uno de los objetos que presentan en su maqueta para explicar el efecto mencionado. En la presentación de este grupo, se resalta la importancia de interactuar con sus compañeros en búsqueda de la claridad de los conceptos, con la implementación de estrategias grupales para la construcción del conocimiento alrededor de la superconductividad. En ese orden de ideas, los estudiantes obtienen nivel 4 de comprensión en la dimensión de **métodos**.

Al revisar los diálogos entre el grupo dos y sus compañeros en el transcurso de la actividad, es posible notar que ante las ideas dadas por el público con respecto a la importancia de cada material en la evidencia del efecto Meissner, los integrantes del grupo agregan información complementaria para tener una definición más completa del tema estudiado desde la superconductividad. Sin embargo, se evidencia falta de profundización en la explicación del efecto meissner mixto para los superconductores tipo II, motivo por el cual los estudiantes obtiene el tercer nivel de comprensión en la dimensión de **contenidos**.

La manera como se dirigen a sus compañeros para dar a conocer los conceptos relacionados con el efecto Meissner y la explicación de la maqueta, los catalogó en el nivel máximo de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación**, ya que consideraron a sus compañeros como agentes fundamentales en la consolidación del conocimiento alrededor del efecto ya mencionado.

Finalmente, se puede decir que la presentación de una maqueta por parte de los estudiantes del grupo dos, generó la posibilidad de discutir alrededor del tema, reforzar los conceptos estudiados y evaluar datos adicionales sobre la explicación de la superconductividad a partir del efecto Meissner, lo cual posiciona al grupo dos en el nivel 4 de comprensión teniendo en cuenta la dimensión de **propósitos**.

Grupo 3: El tema para el grupo 5 correspondía a resistencia, resistividad y la relación de estos términos con la temperatura. Los estudiantes de este grupo, al igual que el grupo 2 realizan una maqueta, pero esta vez utilizando dulces (Figura 5.161) para explicar los conceptos mencionados y su relación con la superconductividad.



Figura 5.161. Fotografía maqueta de dulces presentada por el grupo 3.

Inician recordando la ley de Ohm, particularmente mencionando la ecuación $V=IR$. A partir de la ecuación, mencionan en primer lugar la relación entre resistencia y superconductividad indicando que un superconductor es un material que a temperaturas muy bajas reduce su resistencia a cero, permitiendo el paso de todos los electrones. Y en segundo lugar relacionan la corriente con los tipos de superconductores, indicando que en el tipo I se crean corrientes de apantallamiento que hacen que el imán se separe de superconductor y en el tipo II la corriente genera los vórtices por los que pueden pasar las líneas de campo magnético. Además mencionan que esta corriente que se genera en el segundo tipo de superconductores podría ser capaz de darle energía a una ciudad completa, sin embargo, el problema radica en mantener las temperaturas muy bajas para poder extraer toda esta energía.

Una estudiante del grupo menciona que ellos decidieron hacer una maqueta de dulces para explicar un circuito eléctrico, donde la chocolatina es la batería, los masmelos representan las resistencias, las gomas son los cables y el chocolate líquido es la corriente. Además, deciden calentar una de las resistencias de dulce con un encendedor (Figura 5.162), afirmando que “a mayor temperatura mayor es el paso corriente”, afirmación que corrige un integrante del grupo diciendo que “a mayor temperatura, mayor resistencia y menor paso de corriente”.



Figura 5.162. Fotografía presentación grupo 3.

Evaluación grupo 3: La intención de los estudiantes del grupo 3 era presentar el tema de resistencia, resistividad y la relación de estos dos conceptos con la temperatura de forma creativa y diferente a la de sus compañeros, por tal razón decidieron utilizar dulces como analogías de cada uno de los componentes de un circuito eléctrico. En la descripción que presenta el grupo 3, es posible notar la explicación de la función de cada uno de los dispositivos que conforman el circuito eléctrico. Además, simulan quemar una de las resistencias que conforman el circuito explicando que a mayor temperatura mayor resistencia eléctrica se genera y menor paso de corriente se permite; determinando la relación directa con la superconductividad al explicar que a bajas temperaturas los electrones fluyen libremente por medio del material superconductor, ya que las redes metálicas que lo conforman se encuentran casi estáticas debido a que la temperatura es cercana al cero absoluto. Estas explicaciones

realizadas por los estudiantes, los catalogan en el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **contenidos**.

Por otro lado, los estudiantes retoman algunos conceptos dados en las presentaciones de sus compañeros, para profundizar el tema relacionado con su investigación y tienen en cuenta los conceptos estudiados en clases anteriores, evidenciando variedad en los usos posibles del conocimiento, lo cual cataloga a los estudiantes de este grupo, en el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **propósitos**.

En la presentación oral que hacen los estudiantes del grupo 3 con respecto a la maqueta realizada con dulces, es posible evidenciar que todos poseen el conocimiento necesario para dar cuenta de la función de los componentes de los circuitos eléctricos y la relación de la resistencia y la resistividad con la temperatura. Además, tienen en cuenta a la audiencia para transmitir la información de forma clara y precisa, lo cual genera que este grupo de trabajo obtenga nivel 4 en la dimensión de **formas de comunicación**.

Con respecto a la dimensión de **métodos**, es posible observar que los estudiantes hacen uso de técnicas innovadoras para demostrar su comprensión alrededor del tema correspondiente, demostrando procesos altos de argumentación con respecto a los contenidos estudiados. Los estudiantes del grupo 3 logran obtener nivel 4 de comprensión en esta dimensión de la evaluación diagnóstica continua.

Grupo 4: Los estudiantes de este grupo debían hablar acerca la carga eléctrica, por lo cual decidieron hacer una dramatización (ver guión en el anexo 7) personificando a algunos científicos que contribuyeron a la evolución de dicho concepto. Al inicio de la presentación, uno de los estudiantes menciona que en el transcurso de la dramatización cada uno va a personificar distintos personajes, por lo cual es muy importante observar detenidamente el cartel que tendrán en las manos para que todos puedan entender quién está hablando. Los estudiantes de este grupo buscaban a partir de la puesta en escena, narrar de forma diferente, cómo la cargas eléctricas están relacionadas con el fenómeno de la superconductividad. A continuación se muestran algunas imágenes de la presentación de este grupo.

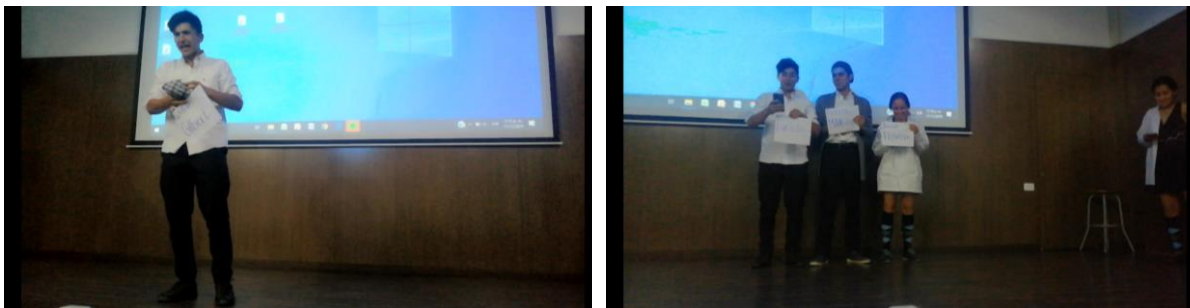




Figura 5.163. Fotografía presentación grupo 4.

Es importante mencionar que en la presentación realizada por este grupo mencionan los términos de carga eléctrica, fuerza eléctrica, métodos de carga y de descarga. Además, recurren al uso de analogías para explicar implícitamente la atracción de los electrones, conocidos como los pares de Cooper en los superconductores.

Evaluación grupo 4: Como puede observarse en la descripción anterior y en el guión presentado en el anexo 7, los estudiantes del grupo 4 buscaron explicar la evolución de los conceptos eléctricos a partir de la personificación de personajes relevantes que hicieron aportes con respecto a la electricidad. En el anexo 7, es posible observar la planeación de este grupo para poder dar cuenta de la comprensión de los conceptos relacionados con las cargas eléctricas, fuerzas eléctricas y campos eléctricos. En ese orden de ideas, considerando las estrategias que llevaron a cabo los estudiantes para la validación del conocimiento y los argumentos dados en las dramatizaciones en relación con la evolución de los conceptos mencionados, los estudiantes obtienen nivel 4 de comprensión en la dimensión de **métodos**.

Además, es posible observar cómo desde la primera clase los estudiantes transformaron sus ideas intuitivas o sus conceptos previos para dar cuenta de los conceptos trabajados alrededor de la carga eléctrica y su estrecha relación con la superconductividad, explicando la diferencia entre la repulsión de cargas con el mismo signo teniendo en cuenta la electrostática clásica y la atracción de las cargas con el mismo signo dentro de los materiales superconductores llamados pares de Cooper. Estas relaciones descritas por los estudiantes del grupo 4 en la presentación final, los catalogó en el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **contenidos**.

Por otro lado, su expresividad oral y corporal mostraron completo entendimiento de los temas estudiados. Además, lograron captar la atención de la audiencia y consideraron el contexto educativo para dar cuenta del conocimiento adquirido, por lo tanto los estudiantes logran obtener nivel 4 en la dimensión de **formas de comunicación**.

Por último, fue posible observar en la presentación de los estudiantes, que no sólo tuvieron en cuenta los conceptos vistos durante la implementación, sino que hicieron uso información adicional que apunta a la investigación relacionada con el tema de superconductividad explicados desde el principio básico de la carga eléctrica. Lo cual generó que los estudiantes logran nivel 4 en la dimensión de **propósitos**.

Grupo 5: Al igual que el grupo 3, el grupo 5 debía presentar de forma creativa el concepto de resistencia y relacionarlos con la superconductividad. Estos estudiantes decidieron hacer una canción (Figura 5.164) con estos términos (ver la letra de la canción en el anexo 8). En la letra de la canción, se puede identificar, cómo los estudiantes hacen mención de los tipos de carga y de la ley de Ohm, enfatizando la canción en este último concepto, ya que mencionan la relación entre corriente, voltaje y resistencia y hablan acerca de la composición de circuitos en serie, paralelos y mixtos. Además, explican la relación entre resistencia, resistividad y cómo estas cambian en función de la temperatura. Una observación particular de este grupo es que en la letra de la canción no hacen mención de la relación de los conceptos con el fenómeno de la superconductividad, razón por la cual la evaluación en la dimensión de contenidos se vería afectada. Sin embargo, teniendo en cuenta que los integrantes de este grupo en la clase del experimento hicieron mención de la relación entre resistencia eléctrica y superconductividad, se tendrá en cuenta dicha explicación junto con la letra de la canción para realizar la evaluación diagnóstica.



Figura 5.164. Fotografía presentación de la canción grupo 5.

Evaluación grupo 5: Al igual que el grupo 3, los estudiantes pertenecientes al grupo 5 debían explicar los conceptos de resistencia, resistividad y relación de estos dos términos con la temperatura. Por lo tanto decidieron presentar una canción que puede observarse en el anexo 8. La letra de esta canción explica la relación entre la corriente, el voltaje y la resistencia dando cuenta de la ley de Ohm. Además, en la canción se puede observar la relación que los estudiantes hacen entre resistencia, resistividad, longitud y área transversal en un cable. Con respecto a la dimensión de contenidos, los estudiantes explican las relaciones de proporcionalidad entre los conceptos anteriormente mencionados, pero olvidan hacer la relación con la superconductividad, lo cual puede deberse a la falta de claridad a la hora de dar la instrucción con respecto al trabajo que debían presentar los estudiantes. Sin embargo, los estudiantes que pertenecen al grupo 5, manifestaron a lo largo de la implementación, específicamente en el experimento de superconductividad, sus amplios conocimientos sobre la relación de los temas correspondientes a resistencia, resistividad y relación con la temperatura con el fenómeno que estaban observando en el laboratorio. Por esta razón, considerando los

aportes realizados por los estudiantes en el experimento, lograron obtener nivel 4 de comprensión en la dimensión de **contenidos**.

La estrategia de buscar una actividad creativa e innovadora para presentar sus conocimientos alrededor de los temas ya mencionados, posiciona a los estudiantes en el nivel 4 comprensión en la dimensión de **métodos**, ya que la estrategia utilizada sí permite dar cuenta de su conocimiento a partir de la argumentación y comprensión de los contenidos estudiados.

La presentación realizada por los estudiantes, se caracterizó por ser clara y elocuente, lo cual permitió que todos los estudiantes apreciaran y entendieran lo que el grupo quería transmitir a partir de la canción realizada. Además, con su presentación oral, pudieron dar cuenta del manejo conceptual alrededor de los temas relacionados con la resistencia eléctrica, motivo por el cual los estudiantes obtienen nivel 4 comprensión en la dimensión de **formas de comunicación**.

Finalmente, es posible observar en la letra de la canción, que los estudiantes buscaron una manera sencilla de dar cuenta de su conocimiento y la estrategia utilizada sirvió para comprobar aquellos conceptos adquiridos en la tercera clase de la implementación, por tal razón los estudiantes obtienen máximo nivel de comprensión la dimensión de **propósitos**.

Grupo 6: Este grupo, al igual que el anterior, está conformado por tres estudiantes. Decidieron presentar el tema del efecto Meissner-Ochsenfeld a partir de un cuento (ver anexo 9). En el cuento, los estudiantes intentan explicar con analogías las características principales de los materiales superconductores. Implícitamente, hacen mención de los términos de tipos de superconductores, pares de Cooper, resistencia, variación de la resistencia con la temperatura y finalmente levitación magnética. La forma cómo deciden presentarlo, es por medio de su lectura, frente a sus compañeros (Figura 5.165).



Figura 5.165: Fotografía lectura del cuento grupo 6.

Evaluación grupo 6: Retomando el concepto de comprensión del capítulo 2 desde el enfoque de enseñanza para la comprensión, se puede decir que comprender hace referencia a la flexibilidad del conocimiento y a la facilidad para poder dar cuenta de él. El grupo 6, manifiesta completamente la comprensión del fenómeno de la superconductividad, ya que a partir del cuento que escribieron, se pueden observar las analogías empleadas por los estudiantes para cada uno de los conceptos que están relacionados con los superconductores. Esos estudiantes, no solo se encargaron de transmitir de forma creativa la explicación del fenómeno, sino que buscaron la manera de dar cuenta de la comprensión que logran obtener alrededor de todos los

temas que se relacionan con la superconductividad. Demostraron con su escrito organización de las ideas y cómo desde el inicio de las clases de la implementación, transformaron sus conocimientos previos para lograr un entendimiento completo del fenómeno. Lograron hacer relaciones, utilizar ejemplos y establecer analogías para dar cuenta de su comprensión. Por estas razones los estudiantes pertenecientes al grupo 6, logran el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **contenidos**.

Es interesante observar que en el cuento los estudiantes dieron cuenta de todos los usos posibles del conocimiento que apuntaban a la investigación para la comprensión del fenómeno estudiado, razón por la cual los estudiantes obtienen nivel 4 en la dimensión de **propósitos**.

Por otro lado, la creación de una historia a partir de analogías permite observar la planeación de una metodología sistemática y la utilización de estrategias, métodos y técnicas innovadoras para dar a conocer su comprensión en relación con la superconductividad. Además la comunicación del cuento ante sus compañeros de grado 11°, mostró claridad y elocuencia en la transmisión del conocimiento. Por esta razón los estudiantes obtienen el máximo nivel de comprensión en las dimensiones de **métodos** y **formas de comunicación**.

Grupo 7: Al igual que el grupo 4, los estudiantes del grupo 7 debían presentar el tema de cargas eléctricas, de manera que deciden hacer un video en el cual muestran las definiciones de los conceptos relacionados con dicho tema. Inicialmente, muestran a un niño que tiene que hacer un reporte sobre cargas, fuerzas y campos eléctricos (Figura 5.166); muestran como definición de carga “es una propiedad de la materia, existen cargas positivas y negativas, las cuales se atraen o se repelen entre ellas” y mencionan que “las cargas iguales se repelen y las opuestas se atraen”. Después el niño del video, afirma “Yo creo que el campo es la tensión que se siente entre dos imanes cuando se repelen, pero creo que es mejor informarme”; la siguiente imagen que se muestra en el video indica que el campo eléctrico es “una perturbación en el espacio generada por una carga eléctrica o un objeto cargado. Es vectorial y se representa con líneas saliendo de las cargas positivas y entrando a las negativas”. Finalmente, en el video se muestra que el niño cree que la fuerza es “el impulso con el que chocan dos cargas” aclarando en la siguiente imagen del video que estaba equivocado ya que “es la fuerza que ejerce una carga sobre otra(s)”. Además, mencionan que existen las fuerzas de atracción y repulsión que dependen de los signos de las cargas eléctricas.

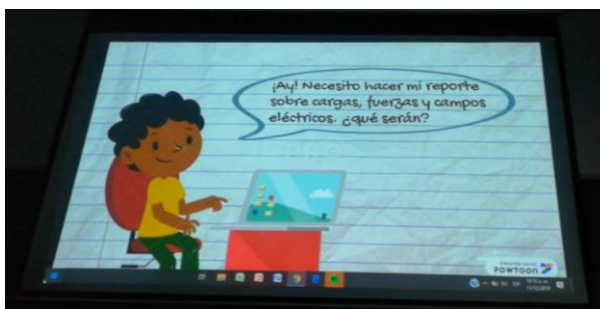


Figura 5.166. Fotografía presentación de la canción grupo 7.

Evaluación grupo 7: Los estudiantes de este grupo decidieron hacer su presentación final a partir de un vídeo, en el cual se mostraba la transformación del conocimiento previo en relación con la carga y fuerza eléctrica. Es posible observar que los estudiantes hacen un paralelo entre lo que pensaban antes y los conocimientos adquiridos después de la realización de las actividades. Sin embargo, es posible observar que no relacionan los conceptos mostrados con la superconductividad, tal vez por qué no fue clara para ellos la instrucción. Por esa razón los estudiantes obtienen en la dimensión de **contenidos** nivel dos de clasificación. Pero es importante aclarar, que los estudiantes son capaces de dar cuenta los fenómenos involucrados con la superconductividad ya que en clases anteriores, desarrollaron cabalmente todas las actividades que fueron planteadas.

Con respecto a la dimensión de **propósitos**, los estudiantes obtienen nivel 4 de comprensión porque hacen uso de consultas adicionales para complementar los conocimientos que tiene alrededor del tema de carga y fuerza eléctrica. Por otro lado los estudiantes organizan y plantean una estrategia para dar a conocer sus conocimientos a la audiencia. Esta presentación, está acompañada de ayudas visuales que permiten observar que los estudiantes pueden dar cuenta del conocimiento de forma clara y precisa. Por la implementación de estrategias para dar cuenta de su comprensión y la forma en que éstas fueron presentadas, los estudiantes obtienen nivel 4 comprensión en la dimensión de **métodos y formas de comunicación**.

Grupo 8: Finalmente, las estudiantes que pertenecen al grupo 8, hablaron sobre el tema de tipos de superconductores a partir de una presentación en power point (Figura 5.167). Inician mencionando que “un material diamagnético se opone a la acumulación del campo magnético en su interior, es decir que estos materiales en lugar de ser atraídos se repelen de los imanes”. Además, mencionan las características principales de los materiales que logran tener una resistencia igual a cero, afirmando que en los materiales superconductores, es posible observar el fenómeno de la resistencia igual a cero cuando estos se someten a bajas temperaturas, generando bucles de corriente, que al ser aprovechados, podrían generar muchísima energía. En tercer lugar hacen una pequeña explicación del experimento de Faraday y de la ley de Lenz, resaltando la importancia de la creación de corriente a partir del movimiento de los imanes, es decir hacen mención de la relación entre la electricidad y el magnetismo. Finalmente, mencionan las características de los superconductores tipo I y II, indicando que “*los primeros son a base de elementos puros, por ejemplo el oro. Algo particular de este tipo de superconductores es que no permiten que el campo magnético del imán pase a través de él, por eso el imán va a levitar perfectamente. En cambio, el tipo II son aleaciones; y en este tipo de superconductores ocurren dos fases del campo magnético. En la primera, ocurre lo mismo que pasa con el primer tipo de superconductor y en la segunda fase es que el superconductor genera una especie de huequitos que se llaman vórtices y estos huecos permiten que el campo pase entre ellos, es por esto que el imán empieza a tambalear en vez de estar levitando normalmente. Y luego cuando pasa el efecto y llega al punto crítico el imán se cae*”. Finalmente hacen una mención del efecto Meissner-Ochsenfeld, en la que explican la forma como se repelen las líneas de campo magnético del material superconductor.



Figura 5.167. Fotografía presentación grupo 8.

Evaluación grupo 8: Las integrantes del grupo 8 decidieron hacer su presentación a partir de una presentación, desde la cual explican diferentes conceptos relacionados con la superconductividad. Es posible observar en su discurso, que las estudiantes no solo se remitieron la información que conocían en relación con cada uno de los temas presentados, sino que buscaron información adicional en otras fuentes, de tal manera que pudieran dar cuenta de un completo conocimiento relacionado con la superconductividad.

La explicación realizada por las estudiantes, teniendo en cuenta la relación que realizaron con la superconductividad y la profundización de los contenidos correspondientes, catalogó a las integrantes de este grupo en el máximo nivel de comprensión en la dimensión de **contenidos**. Ya que organizaron las ideas para poder transmitir las con claridad, establecieron relaciones directas entre los conceptos y la superconductividad y mostraron ejemplos para dar cuenta de su comprensión.

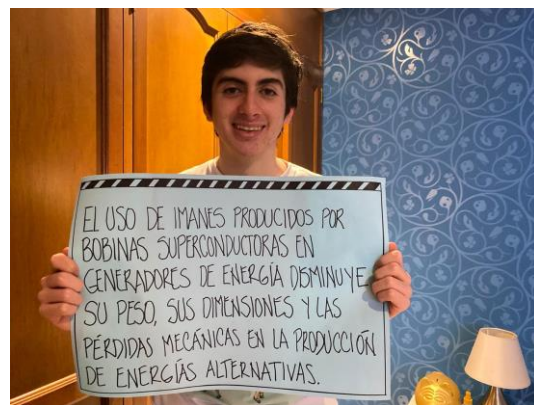
Por otro lado, las estudiantes se apropiaron del conocimiento apuntando a la explicación correcta de cada uno de los conceptos trabajados y emplearon estratégicamente la metodología de la presentación magistral para explicar a sus compañeros el efecto Meissner. Por lo cual, las estudiantes obtienen máximo nivel de comprensión en las dimensiones de **propósitos** y **métodos**.

Finalmente, este grupo de estudiantes logra entablar conversaciones conceptuales con sus compañeros, dando paso a la construcción grupal del conocimiento. Además, presentan claramente y organizadamente los conceptos relacionados con el Efecto Meissner para dar cuenta de la explicación del fenómeno de la superconductividad, razones que otorgaron al grupo 8 el nivel máximo de comprensión en la dimensión de **formas de comunicación**.

Clase 10: Aplicaciones.

Actividad: Para la actividad de cierre los estudiantes estuvieron divididos en dos grupos de trabajo. Los primeros 4 grupos realizaron una discusión alrededor de las aplicaciones de la superconductividad en la cotidianidad. Mientras que los grupos 5 al 8 se especializaron en una de las aplicaciones generales y la presentaron a sus compañeros de la clase. A continuación se escriben las ideas principales que los estudiantes mencionaron en relación con las aplicaciones de la superconductividad en diferentes campos, es importante mencionar que estas ideas se exponen de acuerdo a las intervenciones realizadas por los estudiantes y no se hace evaluación diagnóstica, teniendo en cuenta que corresponde a la actividad de cierre de la implementación.

- ❖ Para el revestimiento del colisionador circular del CERN se emplean materiales superconductores para reemplazar el cobre.
- ❖ La superconductividad se usa en el gran acelerador de hadrones, el colisionador más grande del mundo, para redireccionar los protones que permiten hacer descubrimientos como el bosón de Higgs.
- ❖ Los superconductores se pueden usar para hacer motores más eficientes (más ligeros).
- ❖ El Maglev, funciona teniendo en cuenta el fenómeno de la superconductividad a temperatura ambiente. Este se encuentra en Shanghai, es más eficiente y genera menor contaminación que los medios de transporte tradicionales.
- ❖ Una de las aplicaciones de los superconductores en la medicina, se relaciona con las resonancias magnéticas, porque los imanes más potentes funcionan a base de bobinas y cables superconductores.
- ❖ Existe una máquina llamada squid que hace uso de superconductores y que detecta los pequeños campos emitidos por el cerebro generando una imagen llamada magnetoencefálica.
- ❖ Los cables superconductores no solo ahorran energía sino que transfieren mucho más voltaje que un cable de cobre normal.
- ❖ Al usar un cable superconductor, se puede producir 50% más de la energía que se produce actualmente.
- ❖ Los superconductores se emplean en los aerogeneradores para producir energía eléctrica. Antes usaban imanes muy pesados.



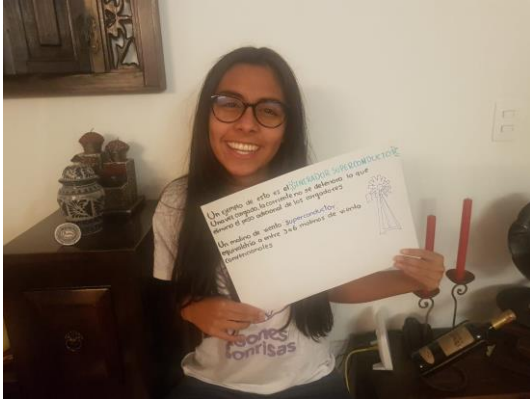


Figura 5.168. Algunas aplicaciones presentadas por los estudiantes del grupo 7

Como se había mencionado anteriormente, la última clase en la cual se mencionaron aspectos relacionados con las aplicaciones de la superconductividad, no tuvo una evaluación diagnóstica continua, sin embargo, hubo una construcción grupal del conocimiento en la cual cada uno de los grupos de trabajo dio a conocer sus ideas en cuanto a lo aprendido alrededor de las aplicaciones de la superconductividad en el mundo contemporáneo. Con la clase 10, se da por terminada la implementación de la estrategia de aula alrededor del fenómeno de la superconductividad.

CAPÍTULO 6

Consideraciones Finales

Impacto de la implementación para los estudiantes

Uno de los aspectos más importantes alrededor de la implementación de una estrategia de aula que implique la enseñanza de un tópico de física, es sin lugar a duda, la percepción con la que quedan los estudiantes después de llevar a cabo dicha implementación. Lo cual es supremamente relevante, porque más allá de la evaluación que el docente realiza sobre las actividades que presentan los estudiantes, son ellos quienes realmente pueden decir si lograron cumplir el objetivo prefijado, en este caso, el de comprender el fenómeno de la superconductividad.

Es por esto, que se creó un formulario en el cual los estudiantes debían medir su nivel de satisfacción en 10 aspectos diferentes, siendo 1 poco satisfecho y 5 muy satisfecho. Los aspectos evaluados fueron los siguientes:

- ❖ Estructura de la clase: parte teórica y experimental.
- ❖ Claridad en las instrucciones.
- ❖ Evaluación de las actividades desde las 4 dimensiones de EpC.
- ❖ Trabajo en grupo.
- ❖ Simulaciones empleadas.
- ❖ Actividades experimentales realizadas.
- ❖ Comprensión de los conceptos de física clásica: electricidad y magnetismo.
- ❖ Comprensión de conceptos avanzados de física: Efecto Meissner, vórtices, tipos de superconductores y pares de Cooper.
- ❖ Comprensión del fenómeno superconductividad a partir de conceptos de física clásica y contemporánea.
- ❖ Guía de la profesora Yuly para la comprensión del fenómeno de la superconductividad.

Los resultados del nivel de satisfacción de los 31 estudiantes se muestran en la figura 6.1.

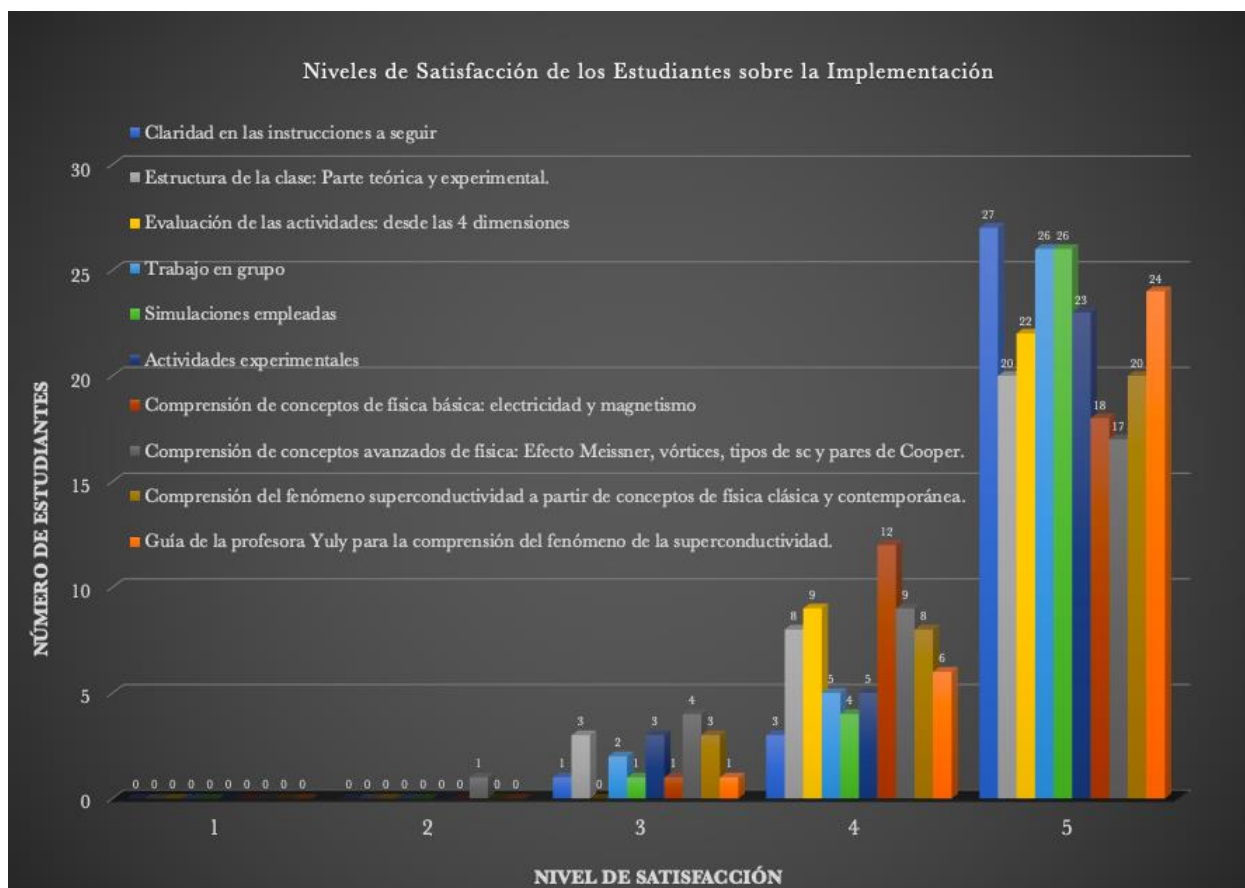


Figura 6.1. Resultados de satisfacción de los estudiantes en relación con la experiencia realizada alrededor del fenómeno de la superconductividad.

La gráfica anterior, deja en evidencia que, desde la perspectiva de los estudiantes, la implementación fue relativamente exitosa en todos aspectos, ya que es posible observar que más del 50% de los estudiantes eligió la opción de mayor nivel en los 10 aspectos. Sin embargo, obtener niveles de satisfacción 2, 3 y 4 en algunos de los puntos para los estudiantes, abre la posibilidad de evaluar las acciones que se llevaron a cabo durante la implementación, de manera que en futuras estrategias de enseñanza de la física contemporánea en el nivel medio, en las cuales se consideren estos mismos aspectos, se pueda obtener nivel máximo de satisfacción de todos los estudiantes.

Es interesante señalar que aunque la sistematización de la información muestre resultados positivos alrededor de unos criterios de evaluación, siempre es importante generar autoevaluaciones, desde las cuales se pueda apreciar cómo se percibe así mismo el estudiante en cuanto a la comprensión de las temáticas estudiadas. Esto se menciona porque los dos aspectos que presentan menor cantidad de estudiantes con un nivel superior de satisfacción son los relacionados con la comprensión de los conceptos físicos trabajados en la experiencia lo cual no está en concordancia con las respuestas dadas por los estudiantes en las actividades planteadas durante las 10 clases de implementación, ya que a partir de los criterios de evaluación planteados, se evidenció que todos lograron alcanzar niveles 3 y 4 de comprensión en cuanto a la dimensión de contenidos.

Un aspecto positivo de los resultados presentados en la gráfica 6.1, es que ningún estudiante presenta un nivel de satisfacción bajo en ninguno de los aspectos evaluados y que solo 1 de los 31 estudiantes, considera que no comprendió a la perfección los temas avanzados vistos alrededor del fenómeno de la superconductividad. Por otro lado, los estudiantes consideran que las instrucciones dadas en la clase, el uso de simulaciones y el trabajo en grupo, cumplió con sus expectativas, de modo que se continuará en próximas prácticas pedagógicas con el manejo adecuado de estos aspectos, de manera que posibilite la construcción del conocimiento trabajado en las clases.

La evaluación de satisfacción realizada por los estudiantes, es una herramienta que permite considerar diferentes aspectos a la hora de la creación de una nueva estrategia de aula para la enseñanza de un tópico de la física contemporánea, ya que es posible observar aquellos aspectos en los cuales los estudiantes percibieron un mayor impacto en cuanto a su comprensión para seguir empleándolos en futuras intervenciones, y tomar aquellos aspectos que no obtuvieron el resultado esperado, re-evaluarlos para ser implementados en futuras experiencias.

Aparte de la evaluación de satisfacción realizada por los estudiantes alrededor de los aspectos mencionados anteriormente, se formularon dos preguntas abiertas relacionadas con los comentarios alrededor de la estrategia de aula empleada para la enseñanza de la superconductividad. La primera pregunta fue ¿Qué comentarios puede hacer sobre la estrategia empleada para enseñar el fenómeno de la superconductividad? Y la segunda fue ¿Qué sugerencias puede hacer con respecto a la estrategia empleada y a la metodología?.

De las respuestas de los estudiantes, que pueden observarse en el anexo 10, es posible notar el gusto de ellos por ser parte de una estrategia dinámica y divertida, en la cual tuvieron la oportunidad de aprender el tema de la superconductividad a partir de actividades experimentales y explicaciones lúdicas, que de manera progresiva, fueron enriqueciendo sus conocimientos de física clásica y cuántica para finalmente dar cuenta del fenómeno de manera acertada. También, valoraron el hecho de relacionar los aspectos teóricos con los experimentales, ya que en primer lugar, las prácticas de laboratorio que se llevaron a cabo dieron paso a una mejor comprensión de los temas trabajados; en segundo lugar, el orden de los temas desde los conceptos del electromagnetismo hasta la superconductividad, permitieron entender éste tópico de la física contemporánea; y en tercer lugar, la manera como fue aumentando la complejidad de las temáticas, estaba en concordancia con las actividades que se llevaron a cabo en la clase, donde ellos debían dar cuenta de los aspectos teóricos a partir de lecturas, análisis de experimentos y observación de simulaciones, notando la conexión entre cada uno de los temas trabajados en la clase. Finalmente, los estudiantes sugieren que este tipo de estrategias deben seguir implementándose en la enseñanza de la física ya que a su modo de ver, lograron interiorizar los temas vistos, realizar experimentos de ellos y comprender el tema propuesto en la experiencia.

Impacto de la implementación para la docente

La creación, aplicación y evaluación de una estrategia de aula para la enseñanza de un tópico de física contemporánea en el nivel medio, requiere que el maestro esté dispuesto a asumir un gran reto: lograr que los estudiantes comprendan un tema complejo que se estudie desde el campo de la física, considerando que en la secundaria los alumnos no cuentan con la matemática que se requiere para abordar el tema con el formalismo esperado y que particularmente en la educación colombiana, se establecen unos estándares de educación en ciencias que deben ser enseñados en las escuelas y que están lejos de llegar a la física que se desarrolló a partir del siglo XIX.

Con la estrategia de aula que se presentó en este trabajo, es posible observar que se asumió el reto de enseñar la superconductividad, como tópico de la física contemporánea y que los resultados que se describen en los capítulos anteriores y en el impacto de la estrategia para los estudiantes, demuestran un resultado satisfactorio en cuanto a la comprensión del fenómeno por parte del alumnado de nivel medio. Sin embargo, es importante resaltar que el requisito necesario para enseñar un tema de física, es que el maestro sea un experto, que logre entender la complejidad del fenómeno y que a partir de su comprensión, sea capaz de esoger la mejor manera de llevar el tema a sus estudiantes, que si bien es cierto no analizarán el tema con las ecuaciones de la cuántica que lo describen, si van a realizar una caracterización de la superconductividad desde el aspecto fenomenológico, dando cuenta de lo conceptual que tiene como base el formalismo matemático.

Por otro lado, con la ejecución de cada clase que hacía parte de la estrategia de aula, fue posible observar, cómo los estudiantes relacionaban los temas del electromagnetismo con la explicación del fenómeno, y cómo al hablar de la superconductividad, mencionaban con propiedad aspectos importantes como el efecto Meissner-Ochsenfeld y los Pares de Cooper, cuya explicación subyace en el estudio de la cuántica. Esto sugiere, que fue posible bajar el nivel de complejidad de estos conceptos para que los estudiantes de último año del Colegio Bilingüe Clermont logran dar cuenta de este tópico de la física contemporánea.

Los resultados que se presentan en este trabajo, resultan siendo positivos para la docente que llevó a cabo la implementación, porque sin lugar a duda, logró demostrar en primer lugar, que es posible enseñar la física contemporánea en la escuela; en segundo lugar, que la creación e implementación de una estrategia de aula en la cual se consideren actividades experimentales acompañadas con estudios de la teoría, favorece la comprensión de los estudiantes; y en tercer lugar, que el hecho de innovar en el campo de la enseñanza de la física, permite que los estudiantes logren ver el encanto de comprender los fenómenos que se encuentran a su alrededor, lo cual en un futuro puede generar que más estudiantes de secundaria se inclinen por escoger la física como proyecto de vida.

De la estrategia que se llevó a cabo, la actividad que más demandó tiempo fue la sistematización de los resultados, la cual se realizó considerando la rúbrica de evaluación

propuesta desde el enfoque pedagógico de la Enseñanza para la Comprensión. Esta demanda de tiempo se le atribuye a la revisión minuciosa de las ideas que daban a conocer los estudiantes, para clasificarlas de acuerdo con el nivel de comprensión que ellos lograban en cada una de las actividades. Teniendo en cuenta esto, para próximas implementaciones de aula en las cuales se considere el enfoque pedagógico de la Enseñanza para la Comprensión, se destinaría para la evaluación y análisis del nivel de comprensión de los estudiantes a partir de una actividad que se desarrolle en clase, un máximo de dos dimensiones, para lograr hacer retroalimentación con los estudiantes de manera oportuna. Sin embargo, es importante mencionar que los alumnos percibieron que la metodología de evaluación empleada en la estrategia, que buscó clasificarlos teniendo en cuenta el nivel de comprensión que lograban, favoreció el aprendizaje de los temas y evidenció gusto e interés por las actividades que llevaron a cabo, dejando atrás la necesidad de seguir instrucciones a cambio de una nota.

Impacto de la estrategia para el futuro

Es importante replicar aquellas experiencias pedagógicas en las cuales se logren los objetivos educativos planteados en un inicio. Particularmente, esta estrategia de aula apuntaba a que los estudiantes comprendieran el fenómeno de la superconductividad y con los resultados que se muestran en este trabajo, es posible evidenciar que el objetivo se cumplió. De tal forma que se presentan tres caminos en los cuales puede emplearse este trabajo en el futuro. El primero de ellos muestra este impacto para la docente que diseñó, implementó y evaluó la estrategia de aula y las acciones a futuro que ella realizará considerando el relativo éxito de esta investigación. El segundo, menciona la posibilidad de que otros profesores de física que enseñen en el nivel medio, puedan implementar esta estrategia para incluir la enseñanza de la física contemporánea en sus instituciones educativas. Y el tercer camino, habla acerca de emplear esta investigación como herramienta pedagógica para el trabajo con maestros en formación de física.

1. Generalmente, los profesores tienen la tendencia de repetir año tras año aquellas prácticas y metodologías, que a su modo de ver, resultan siendo exitosas para el aprendizaje de diferentes conceptos, procurando mejorar los aspectos que presentaron algunas fallas, intentando perfeccionar las experiencias que requieren mayor enfoque, controlando de manera más acertada el tiempo y agregando aspectos que resultan siendo relevantes para el aprendizaje de los temas. En este sentido, al culminar la estrategia de aula con los estudiantes del Colegio Bilingüe Clermont, en la cual se abordó el tema de la superconductividad como tópico de la física contemporánea, notando el impacto que tuvo dicha experiencia en los estudiantes y considerando que se enseñaron los temas estipulados a nivel nacional, sin lugar a duda se seguirá empleando con los estudiantes de último año de la institución esta estrategia, ya que a partir de la enseñanza guiada del electromagnetismo, es posible incluir en el currículo el fenómeno de la superconductividad como tópico de física contemporánea.

Esta implementación periódica de la estrategia, dará paso a que los estudiantes conozcan las investigaciones actuales alrededor de la superconductividad, comprendan su aplicación en diferentes áreas del conocimiento que tiene un gran impacto en la actualidad y logren ver que al igual que otras áreas, el estudio de la física sigue avanzando y con el paso del tiempo se van dando más investigaciones que permiten que el hombre comprenda el mundo que lo rodea.

Un proyecto para el futuro es considerar otros tópicos de la física contemporánea como las altas energías, la teoría de cuerdas, la cosmología moderna, entre otros, que también hacen parte de las investigaciones sobre las cuales millones de físicos se enfocan en la actualidad. De manera que, esta investigación abre la posibilidad de incluir estos temas en el currículo, buscando la conexión entre los estándares que presenta el Ministerio de Educación Nacional y la física contemporánea.

2. Pocas veces en la práctica docente, se dan los espacios que permitan repensar la enseñanza de la física, en los cuales se mencione la posibilidad de incluir temas que hagan parte de los últimos estudios realizados en este campo del conocimiento. Es por esta razón, que la investigación que se presentó en este trabajo, puede emplearse como insumo para otros profesores de física, que también quieran incluir en sus prácticas pedagógicas, la enseñanza de tópicos de física contemporánea.

Como se ha podido observar, este trabajo muestra en detalle el antes, el durante y el después de una implementación pedagógica en la cual se abordó el tema de la superconductividad en la enseñanza de la física para alumnos del nivel medio, lo cual puede ser tomado como referencia para otros docentes de física que hagan parte de otras instituciones educativas, para ser implementado con sus estudiantes teniendo en cuenta que no se presentaría una ruptura con los estándares de educación nacional.

Una de las estrategias que se realizarán para que los profesores de otras instituciones educativas tengan acceso a los pasos que se siguieron en esta investigación y de este modo puedan implementar esta estrategia en sus aulas de clase, será la realización y posterior presentación de un artículo en el cual se describa de manera general la estrategia de enseñanza de la superconductividad como tópico de la física contemporánea en el nivel medio. La otra estrategia es hacer público un canal de YouTube en el cual se mencionen aspectos teóricos de la física clásica y contemporánea de la superconductividad, particularidades del experimento y consejos para la enseñanza de este fenómeno en la educación media.

3. En las carreras colombianas de formación de profesores en física, el currículo se divide en dos, por un lado, está la preparación disciplinar que incluyen aquellas asignaturas propias de la física y por otro lado está la preparación pedagógica en las cuales se estudian modelos de enseñanza-aprendizaje desde diferentes corrientes didácticas. En los últimos semestres, los profesores en formación realizan sus prácticas pedagógicas en diferentes instituciones educativas públicas y privadas. Inicialmente hacen una observación de las clases de física en la escuela, las cuales sirven como referencia para diseñar, implementar y evaluar una estrategia de aula para la enseñanza de algún concepto físico como requisito para la obtención del título

profesional. Sin embargo, en la mayoría de las instituciones educativas los maestros de física enseñan conceptos que hacen parte de la física clásica, de manera que, podría decirse que los maestros se gradúan de la carrera de profesorado en física con carentes estrategias pedagógicas para abordar en la escuela la enseñanza de conceptos que hacen parte de la física moderna y contemporánea.

En este orden de ideas, incluir en el pensum de la licenciatura en física (en Colombia el título de licenciado en física lo obtiene una persona que realizó su carrera de 5 años para enseñar física en instituciones educativas) un espacio curricular en el cual se enseñen a los maestros en formación, las estrategias necesarias para abordar tópicos de la física moderna y contemporánea en la escuela, podría ser ideal para que puedan llevar ideas innovadoras a la práctica docente.

Teniendo en cuenta que la presente investigación muestra una secuencia didáctica ideal para la enseñanza la superconductividad en el nivel medio, podría servir de material de enseñanza para futuros profesores de física, ya que la experiencia obtenida responde a la conexión entre los conceptos estudiados que hacen parte de la física contemporánea con los estándares de educación nacional. De tal manera que una de las perspectivas para el futuro es poder guiar el proceso de estudiantes en formación del profesorado en física de diferentes instituciones educativas superiores, para dar herramientas necesarias para la enseñanza de la física contemporánea en la escuela.

CONCLUSIONES

- En esta Tesis de Maestría se han presentado los resultados de una investigación sobre la ejecución de una experiencia de enseñanza de un tópico de física contemporánea, la superconductividad, realizada ante un alumnado de nivel medio. En los distintos capítulos que componen el cuerpo de esta Tesis, se han desarrollado en detalle todos los aspectos que han sido necesarios considerar para llevar satisfactoriamente a término esta experiencia educativa experimental, a saber:
 1. Selección de un tópico de física contemporánea que se vincula con los Estándares Educativos propuestos por el Ministerio de Educación Nacional Colombiano.
 2. Estudio del fenómeno de la superconductividad considerando aspectos teóricos y experimentales, e incluyendo su descripción teórica tanto clásica como cuántica. Por las características del tema seleccionado, esto ha demandado la realización de una extensa búsqueda bibliográfica que incluye una laboriosa tarea de condensación y adaptación de contenidos de textos y artículos de nivel muy avanzado tanto en Física como Matemáticas.
 3. Estudio del marco pedagógico sobre el que se basa esta investigación sobre la enseñanza de un tópico de física contemporánea: el enfoque de Enseñanza para la Comprensión.
 4. Diseño y desarrollo del plan de acción necesario para llevar a cabo esta experiencia educativa, considerando todos los aspectos prácticos involucrados, y debiendo tomar en cuenta que el estudiantado asiste simultáneamente a otras actividades que también les demandan tiempo y esfuerzo.
 5. Reporte sobre los resultados obtenidos, incluyendo la evaluación sobre el impacto que tuvo la experiencia de aula tanto sobre estudiantes como sobre la docente.
- Se ha realizado una descripción alrededor de los estándares de educación nacional para la enseñanza de las ciencias naturales, particularmente para la enseñanza de la física, donde se evidenció que en las instituciones educativas colombianas no se abordan los temas que hacen parte de la física moderna y contemporánea. Teniendo en cuenta esto, se ha considerado que los conceptos físicos que subyacen el fenómeno de la superconductividad, se relacionan con los estándares propuestos por el Ministerio de Educación Nacional, lo que dio paso a que la estrategia no estuviera desvinculada de los parámetros nacionales para la enseñanza de la física y además lograra la inclusión de la enseñanza de la física contemporánea en la educación media. Además, se ha presentado la justificación por la cual la superconductividad es considerada como un tópico de la física contemporánea, dejando de manifiesto que este fenómeno es tópico de las investigaciones que se llevan a cabo en la actualidad. Por otro lado, se ha presentado el objetivo general de la investigación el cual apuntaba al análisis de la incidencia de la estrategia de aula creada bajo el marco de la física contemporánea y se vincula con la comprensión de estudiantes del nivel medio sobre la superconductividad, objetivo que se cumplió teniendo en cuenta las etapas específicas que se llevaron a cabo

en el proceso de investigación y que se encuentran descritas en los numerales 1 al 5 de las presentes conclusiones.

- Se ha constuido un marco disciplinar expuesto en el capítulo 2 de la Tesis, desde el cual puede describirse el fenómeno de la superconductividad a partir de la teoría clásica y cuántica, considerando aspectos experimentales desde su descubrimiento con el experimento de Kamerlingh Onnes hasta la actualidad. En este capítulo, se ha presentado una mirada electromagnética de la superconductividad, desde la cual se consideran las ecuaciones de Maxwell para explicar el diamagnetismo perfecto que caracteriza a los materiales superconductores. Por otro lado, se han explicado los tipos de superconductores y cómo estos pueden presentar el efecto Meissner-Ochsenfeld, que se puede deducir a partir de la ecuación de London, y el estado vórtice, que se relaciona estrechamente con la cuantificación del flujo magnético y las corrientes persistentes. Además, se ha realizado en primer lugar, una explicación de la teoría BCS que describe el comportamiento particular de los electrones al formar los Pares de Cooper, y en segundo lugar una descripción del efecto Josephson que menciona cómo los pares de Cooper pueden atravesar la union de Josephson a partir del efecto túnel, tema que es fundamental en la mecánica cuántica. Finalmente, se han mostrado las características generales de los superconductores de alta temperatura que son objeto de estudio en la actualidad y las aplicaciones más relevantes de los superconductores en el campo de la física y en otras áreas del conocimiento.
- La superconductividad vista como un tema de física contemporánea, cumplió con las expectativas esperadas desde el diseño de la estrategia de aula, ya que se evidenció que es un tema que está a la vanguardia del avance tecnológico mundial y que responde a los desarrollos físicos que se han dado a partir de inicios del siglo XX. Además, la enseñanza de un tema de física contemporánea requiere una preparación conceptual rigurosa por parte del maestro, ya que la explicación de un concepto, que a simple vista puede parecer sencillo, se fundamenta en conceptos físicos contemporáneos que implican un desarrollo conceptual desde la física clásica.
- Se han presentado aspectos fundamentales relacionados con el enfoque pedagógico de la Enseñanza para la Comprensión, describiendo los cuatro pilares del enfoque, a saber: tópicos generativos, metas de comprensión, desempeños de comprensión y evaluación diagnóstica continua, los cuales dieron paso a la esquematización de las clases que se llevaron a cabo en el aula, a la ejecución y desarrollo de las mismas y finalmente a la sistematización de la información obtenida a partir de cada una de las actividades que realizaron los estudiantes. Lo cual, permitió que el desarrollo de la investigación se realizara de manera organizada sin dejar de lado el objetivo principal que apuntaba a la comprensión del fenómeno de la superconductividad por parte de los estudiantes de último año del Colegio Bilingüe Clermont.

- En cuanto a los desempeños de comprensión, se han presentado las actividades experimentales como estrategias metodológicas que permiten que el estudiante comprenda con niveles superiores las temáticas específicas que se abordan en la clase de física. En ese orden de ideas, es importante mencionar que los dispositivos necesarios para realizar las prácticas experimentales planteadas en la estrategia de aula, se pueden realizar con materiales de bajo costo, lo cual abre la posibilidad de la réplica de este trabajo por parte de otros profesores de física, que quieran incluir en su práctica docente el tema de la superconductividad como tópico de la física contemporánea. El experimento final realizado en la implementación, que es precisamente con el uso de un superconductor real, excede un poco el costo de los kits que se adquieren para los laboratorios de física de los colegios, sin embargo es posible poder emplear otras metodologías para el cierre de la implementación, que incluyen por ejemplo, el apoyo audiovisual de fuentes confiables de información.
- Se ha realizado una descripción de los resultados obtenidos a partir de cada una de las clases que se llevaron a cabo en el aula. El trabajo minucioso de la sistematización de la información a partir de las dimensiones de la evaluación diagnóstica continua que presenta el enfoque de la enseñanza para la comprensión, ha dejado en evidencia que no todos los estudiantes logran entender a la perfección los conceptos que se trabajan en el aula, pero cada uno de ellos puede dar cuenta desde su experiencia, que transformó su conocimiento con la adquisición de nueva información, lo cual se evidencia a partir de las prácticas experimentales, discusiones, solución de ejercicios y presentaciones orales y escritas. Razón por la cual es importante valorar el conocimiento adquirido por cada uno de ellos y procurar que alcancen niveles de comprensión superiores.
- Con todas las actividades realizadas en la clase de física y con los datos que pudieron extraerse de ella, se podría decir que el diseño, la ejecución y la evaluación de la estrategia fue todo un éxito, no sólo porque dio paso a modernizar el campo de la enseñanza de la física, sino porque se pudo probar que a partir del diseño de estrategias innovadoras que no se desvinculen del todo con lo establecido desde el Ministerio de Educación Nacional, es posible incluir temas de física contemporánea en la escuela media, lo cual sugiere un cambio de paradigma en la enseñanza tradicional de la física para lograr que los estudiantes vinculen los conocimientos con sus experiencias cotidianas. En ese orden de ideas, abordar en la cotidianidad de las clases de física el enfoque pedagógico de la enseñanza para la comprensión, no es una tarea sencilla porque requiere de mucho tiempo de análisis para poder clasificar a los estudiantes en cada uno de los niveles de comprensión, cuando la actividad que se está realizando se evalúa desde las cuatro dimensiones. Sin embargo, podría considerarse evaluar solo un aspecto de una dimensión para una actividad específica, considerando que las cuatro dimensiones apuntan de la misma manera al objetivo de lograr que los estudiantes demuestren su comprensión alrededor de un tema en particular. Del mismo modo, es importante establecer tiempos flexibles para la realización de las actividades, teniendo en cuenta que física no es la única materia que los estudiantes ven en el colegio, y que

las actividades que se propongan en la institución pueden interferir con la implementación de las actividades.

- A partir de los comentarios realizados por los estudiantes, se puede concluir que para ellos la implementación tuvo un impacto positivo y realmente comprendieron los conceptos necesarios para dar cuenta del fenómeno de la superconductividad. Además, resaltan el trabajo de implementación, las actividades experimentales y la construcción conceptual realizada alrededor de los superconductores.
- Es importante resaltar que la investigación que se presenta en este trabajo, ha mostrado que uno de los aspectos más importantes como docente, es la satisfacción de ver que los estudiantes gozan del trabajo experimental en la clase, se interesan por ampliar sus conocimientos y se sienten motivados por aprender temas nuevos, con la gran expectativa de dejarse sorprender con las maravillas que la física puede ofrecer. Del mismo modo, es fundamental replicar en el futuro esta experiencia pedagógica con otros estudiantes de último año, ya que se abre la posibilidad de enseñar conceptos de electromagnetismo y cuántica, a partir del fenómeno de la superconductividad, acercando a los estudiantes a uno de los tópicos de la física contemporánea. También, se abre la posibilidad de explorar otros tópicos de la física actual, que se vinculen con los lineamientos educativos para la enseñanza de la física en la institución y que logren generar motivación en los estudiantes para que comprendan diferentes tópicos de la física contemporánea.
- Finalmente, se ha presentado en este trabajo, la posibilidad de compartir esta experiencia pedagógica de la enseñanza de la superconductividad en el nivel medio, con otros docentes de física que estén interesados en innovar sus prácticas pedagógicas, y con maestros en formación en física que necesitan consolidar herramientas de enseñanza que puedan implementar en su futuro profesional.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrikosov, A. (2003). Type II superconductors and the vortex lattice. Nobel Lecture
- Altland, A., Simons, B. (2010). Condensed Matter Field Theory. New York: Cambridge.
- Ashcroft, N., & Mermin, D. (1976). Solid State Physics. New York: Harcourt College Publishers.
- Baquero, R. (2014). La Superconductividad: sus orígenes, sus teorías, sus problemas candentes hoy. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas. Físicas y Naturales. Volumen 38, 18-33.
- Bardeen, J., Cooper, L. N., & Schrieffer, J. R. (1957). Theory of Superconductivity. University of Illinois. Physical Review. Volume 108, Number 5.
- Bascones, L., Calderón, M., & Valenzuela, B. (2020). Superconductividad (ICMM-CSIC). Obtenido de Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid - Consejo Superior de Investigaciones Científicas: <https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/>
- Blythe, T., & Outerbridge, D. (1999). Metas de comprensión. En T. Blythe, La Enseñanza para la Comprensión Guía para el docente (págs. 65-85). Buenos Aires: PAIDÓS.
- Bondy, E., Kendall, B., & Blythe, T. (1999). Evaluación diagnóstica Continua. En T. Blythe, La Enseñanza para la Comprensión Guía del docente (págs. 107-127). Buenos Aires: PAIDÓS.
- Boix, V., James, P., & Jaramillo, R. (1999). Tópicos Generativos. En T. Blythe, La Enseñanza para la Comprensión, Guía para el docente (págs. 53-63). Buenos aires: Paidós.
- Cooper, L. (1972). Microscopic quantum interference effects in the theory of superconductivity. Brown University. Rhode Island: Nobel Lecture.
- Cuentos cuánticos. (9 de Abril de 2019). Cuentos cuánticos. Obtenido de <https://cuentos-cuanticos.com/2013/04/26/par-de-cooper/>.
- CERN. (22 de Mayo de 2020). Obtenido de Superconducting magnets of the future in the making at CERN: <https://home.cern/news/news/accelerators/superconducting-magnets-future-making-cern>
- CERNCourier. (Octubre de 2011). CERNCourier. CERNCOURIER, 51, 21-27. Obtenido de Superconductivity and the LHC: the early days: <https://cerncourier.com/a/superconductivity-and-the-lhc-the-early-days-2/>
- CERNCourier. (Mayo de 2020). CERNCourier. CERNCOURIER, In Focus Magnets, 23-26. Obtenido de Taming the superconductors of tomorrow: <https://cerncourier.com/wp-content/uploads/2019/11/CERNCourier2019MagnetsSupplement-digitaledition.pdf>

Cid Vidal, X., & Cid Manzano, R. (2003). Acercádonos al LHC. Obtenido de https://www.lhc-closer.es/taking_a_closer_look_at_lhc/1.home

De la Fuente, A., Perrotta, M., Dima, G., Gutierrez, H., Capuano, V., & Follari, B. (2003). Estructura Atómica: Análisis y Estudio de las Ideas de los Estudiantes (8o DE EGB). Enseñanza de las Ciencias, 21(1), 123-134.

Estándares de Educación en Ciencias Naturales, E. B. (2004). Ministerio de Educación Nacional. Obtenido de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-81033_archivo_pdf.pdf

Feynman, R. (1991). FÍSICA Volumen III: Mecánica cuántica. Addison-Wesley Iberoamericana.

Gil, D., Senent, F., & Solbes, J. (1986). Análisis Crítico de la Introducción de la Física Moderna en la Enseñanza Media. Revista de Enseñanza de la Física, II(1), 16-21.

Gili, J. (2020). Introducción Biofísica a la Resonancia Magnética en Neuroimagen. Barcelona: BooksMedicos.

Ginzburg, V. (2003). On superconductivity and Superfluidity. Lebedev Physics Institute. Moscow: Nobel Lecture.

Gould, D., & Blythe, T. (1999). Desempeños de comprensión. En T. Blythe, La Enseñanza para la Comprensión Guía del docente (págs. 87-104). Buenos Aires : PAIDÓS.

HyperPhysics. (2001). Hyper Physics. Obtenido de <http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbasees/solids/coop.html>

Ibach, H., & Lüth, H. (2009). Solid-State Physics. Aachen, Germany: Springer.

Josephson, B. (1973). The Discovery of tunnelling supercurrents. Cavendish Laboratory. Cambridge, England: Nobel Lecture.

Kittel, C. (1993). Introducción a la Física del Estado Sólido. Barcelona: Reverté.

Leggett, A. (2003). Superfluid 3-He: The early days as seen by a theorist. University of Illinois, Nobel Lecture.

Magaña, L. F. (2012). Los superconductores. México, D. F: Fondo de Cultura Económica.

Matsushita, T. (2004). Electricity and Magnetism: New Formulation by Introduction of Superconductivity. Tokyo: Springer.

Molina, B. (6 de Julio de 2017). Resonancia Magnética de Imagen para el Diagnóstico de Deficiencias Oculares. Sevilla: Universidad de Sevilla.

National Science Foundation. (2020). Magnet Academy. Obtenido de National High Magnetic Field Laboratory: <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/learn-the-basics/stories/superconductivity-101>

Onnes, H. (1913). Investigations into the properties of substances at low temperatures, which have led, amongst other things, to the preparation of liquid helium. Nobel Lecture.

Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Física Contemporánea en la Escuela Secundaria: Una Experiencia en el Aula Involucrando Formación De Profesores. Enseñanza de las Ciencias, 18(3), 391-404.

Perkins, D. (1999). Comprender la comprensión. En T. Blythe, La Enseñanza para la Comprensión, Guía para el docente. (págs. 35-42). Buenos Aires : Paidós.

Reyes, C., Salcedo, A., & Carrillo, F. (Mayo de 2000). Manual de Experimentos de Electromagnetismo. Ciudad de México, México: ITAM.

Serway, R., Jewett, J. (2008). FÍSICA para ciencias e ingeniería (Séptima ed.). México D.F: CENGAGE Learning.

Stone, M. (1999). La Enseñanza para la Comprensión, vinculación entre la investigación y la práctica. Buenos Aires: Paidós.

Supercomet. (12 de Febrero de 2019). Supercomet. Obtenido de Supercomet: <http://online.supercomet.no/>

Tinkham, M., Introduction to Superconductivity (Segunda ed.), Dover (New York, 1996).

Tipler, P., & Llewellyn, R. (2008). Modern Physics. New York: W. H. Freeman and Company.

University of Colorado Boulder. (2 de Mayo de 2019). PhET Interactive Simulations. Obtenido de PhET Interactive Simulations: https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_es.html

University of Colorado Boulder. (2 de Mayo de 2019). PhET Interactive Simulations. Obtenido de PhET Interactive Simulations: https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_es.html

Vucetich, H. (1983). Serie de Física de Partículas y Campos N° 5. Superconductividad, 5. La Plata, Argentina: Laboratorio de Física Teórica

ANEXOS

Anexo 1: Guía carga eléctrica

COLEGIO BILINGÜE CLERMONT
FÍSICA
2019

NOMBRES: _____ FECHA: _____

¿Qué saben acerca de la carga y la fuerza eléctrica?

Desarrolle la siguiente práctica de laboratorio.

1. Frote la tira de polietileno con la franela y colóquela sobre el hilo aislante según se indica en la figura 1.1.

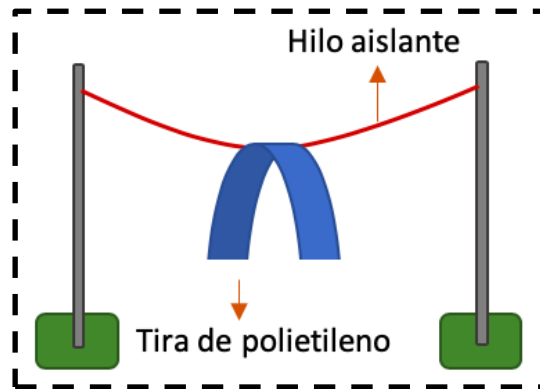


Figura 1.1

2. Aproxime un fósforo encendido a la tira y observe. Frótelas nuevamente y suspéndala. Frote cada una de las barras con los paños, la piel y el polietileno. Luego acérquelas a la tira y observe el efecto.

Realice las siguientes actividades explicando detalladamente sus respuestas:

- a. ¿Cuántos tipos de fuerza existen en los experimentos realizados?

- b. ¿Qué diferencia hay entre la propiedad observada en los experimentos y la masa gravitatoria?

c. ¿Cuántos y cuáles tipos de carga eléctrica se detectan?

d. Lea las páginas 513, 514, 515 y 516 del libro de física (capítulo 15)

e. ¿Qué ocurre al aproximar cuerpos que tienen el mismo tipo de carga y qué ocurre cuando tienen tipo diferente?

3. Coloque las fibras de algodón entre las dos esferas conductoras, como se muestra en la figura 1.2, haga funcionar el generador.

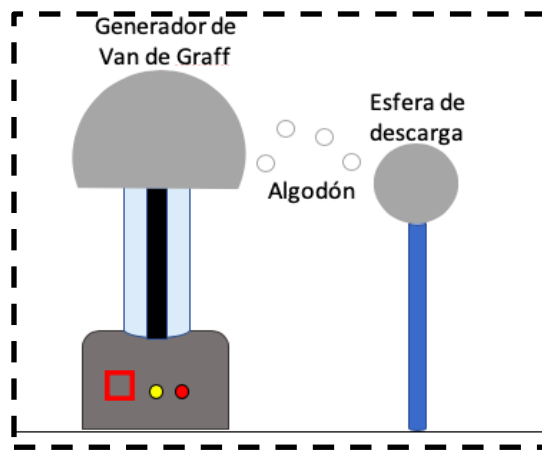


Figura 1.2

Describe sus observaciones:

4. Compruebe que la esfera está cargada por medio de la tira de polietileno y del electroscopio.

5. Describa el proceso para lograr la carga de la esfera. Si quisiera identificar el tipo de carga, ¿cómo lo haría?

6. Describa el funcionamiento del electroscopio

Anexo 2: Guía de campo y potencial eléctrico

COLEGIO BILINGÜE CLERMONT
FÍSICA
2019

NOMBRES: _____ FECHA: _____

1. Escriban 3 características del video.

2. ¿Cómo podría relacionarse la información vista en el video con las cargas eléctricas vistas en la clase anterior? Sugerencia: Pueden emplear analogías.

3. ¿Creen ustedes que hay alguna forma experimental de demostrar la existencia del campo gravitacional? ¿Cuál sería?

4. ¿Creen ustedes que hay alguna forma experimental de demostrar la existencia del campo eléctrico? ¿Cuál sería?

5. Observe y juegue con la simulación.

6. ¿Qué pueden concluir acerca del campo eléctrico?

7. ¿Qué pueden concluir acerca del potencial eléctrico?

8. Realicen el montaje que se presenta en la figura 2.1. Alise la arena lo mejor posible. (Voltaje sugerido 30V)

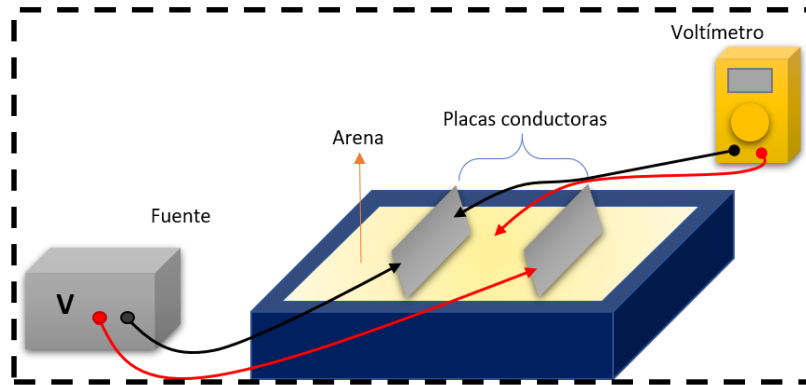


Figura 2.1

9. Con ayuda del voltímetro, haga las mediciones que considere necesarias para poder definir la regla de correspondencia de la función de Potencial Eléctrico. Localizar 5 líneas equipotenciales y trazarlas sobre la arena. (Tome una fotografía y envíela a yuly.gualtero@clermont.edu.co).
10. A partir de la función de potencial obtenida atrás, determine la regla de correspondencia de la función de Campo Eléctrico. Trazar las líneas de campo eléctrico sin borrar las equipotenciales. (Tome una fotografía y envíela a yuly.gualtero@clermont.edu.co).
11. Escriba detalladamente una conclusión para cada uno de los conceptos que se muestran en la siguiente tabla. No olvide relacionar en sus conclusiones los dos conceptos vistos en clase y los conceptos vistos en la clase anterior.

Campo eléctrico	Potencial eléctrico
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Anexo 3: Guía de resistencia, resistividad y variación de la resistencia con la temperatura.

COLEGIO BILINGÜE CLERMONT
FÍSICA
2019

NOMBRES: _____ FECHA: _____

1. Realice el montaje experimental que se muestra en la figura 3.1.

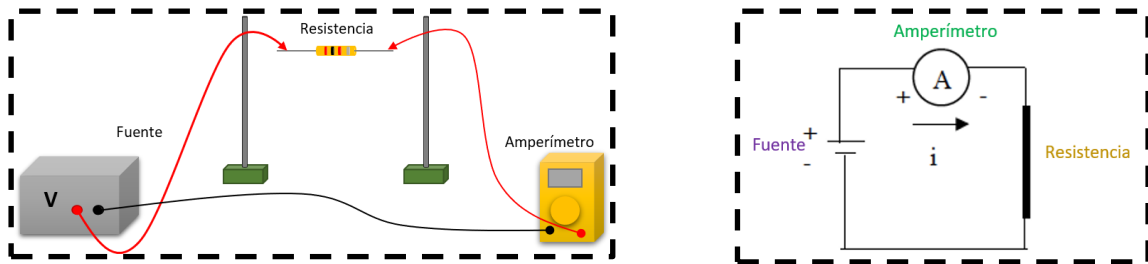


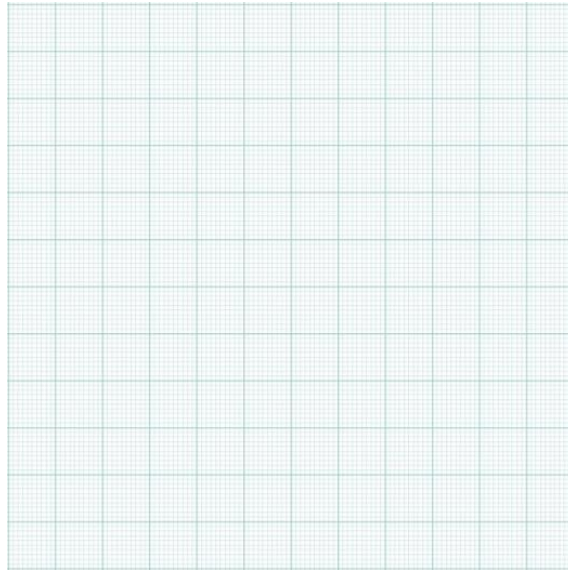
Figura 3.1

2. Establezcan 5 valores de diferencia de potencial y escriban los valores de corriente que registren en el amperímetro.

Diferencia de potencial V V (Voltios)	Corriente i A (Amperios)
0	

Tabla 3.1

3. Grafiquen los resultados de la tabla 3.1, con la corriente como abscisas y el voltaje como ordenadas. (Recuerden todo lo que debe contener un gráfico)



4. ¿Qué comentarios pueden hacer de la gráfica obtenida?

La pendiente m de la recta obtenida se denomina resistencia del elemento:

$$V = m \times i(t) \quad \text{ley de Ohm} \quad m = R = \text{Resistencia}; [V/A] = [\text{Ohms}] = [\Omega]$$

5. Anote el valor de la pendiente de la recta, es decir, de la resistencia del elemento.

Resistencia del elemento (valor experimental): _____

6. Expliquen cómo obtuvieron el valor experimental de la resistencia del elemento.

Revisen la tabla de colores y escriban el valor teórico de la resistencia que utilizaron para el experimento:

Resistencia del elemento (valor teórico): _____

7. ¿Por qué creen que los valores son iguales o diferentes?

Respondan las siguientes preguntas teniendo en cuenta la actividad de Phet

8. ¿Qué relación encuentra entre la Resistencia de un material con el área transversal?

13. Escriba detalladamente una conclusión en la cual explique la variación de la resistencia con la temperatura.

Anexo 4: Campo magnético.

COLEGIO BILINGÜE CLERMONT
FÍSICA
2019
PARTE 1

NOMBRES: _____ FECHA: _____

1. La figura 5.1 muestra una pila de imanes de anillo repelente, ranurados en un soporte de madera, de modo que un poste de madera sube por el medio para mantenerlos a todos en línea. Dibuja el campo magnético entre dos de ellos. (actividad 2)

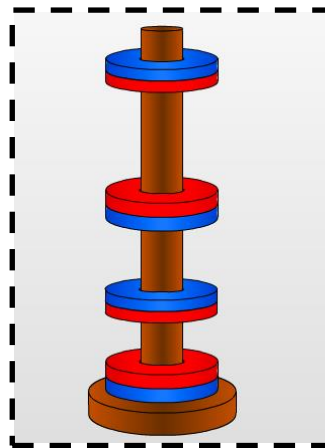


Figura 5.1

2. Realice con sus palabras una pequeña descripción del campo magnético terrestre. (actividad 3)

3. Al cerrar el circuito de la actividad 4 *The Ørsted Experiment*, ¿Es posible que una aguja de la brújula pueda verse influenciada, incluso sin tener un imán permanente cerca? ¿Y cuál es la explicación? (actividad 4)

4. ¿Qué sucede al cambiar los signos de la batería? (actividad 5)

5. ¿Qué crees que sucederá si inviertes la dirección de la batería, como en el experimento Ørsted? (actividad 6)

6. ¿Qué puedes concluir de estos experimentos?

7. Realice las actividades 11 a 20 de la página *supercomet*

8. ¿Qué diferencia encontró entre las líneas de campo magnético de la actividad 20, con las líneas de campo que dibujó en el primer punto de la hoja de actividad?

PARTE 2

9. Por grupos de trabajo, diseñar y ejecutar un experimento en el cual sean visibles las líneas de campo magnético de imanes de diferentes configuraciones. Haga un dibujo de los resultados obtenidos.



10. ¿Cómo podrían determinar los polos de un imán que no esté marcado?

Anexo 5: Explicación de Superconductividad.

COLEGIO BILINGÜE CLERMONT
FÍSICA
2019

NOMBRES: _____ FECHA: _____

1. (actividad 2) Dibujen (como ustedes consideren) las líneas de campo magnético del imán que se encuentra levitando sobre el material superconductor que se encuentra a una temperatura menor a los 93K.

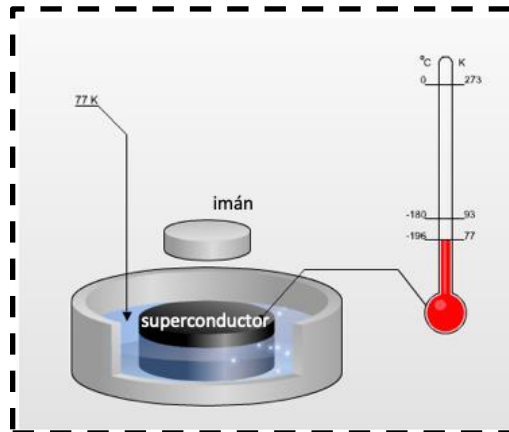


Figura 6.1

2. (actividad 3) ¿Realice una explicación de lo que sucede en el experimento?

3. (actividad 4) ¿Por qué creen que el imán se eleva?

4. (actividad 5) Dibuje nuevamente las líneas del campo magnético del imán que se encuentra levitando sobre el material superconductor que se encuentra a una temperatura menor a los 93K.

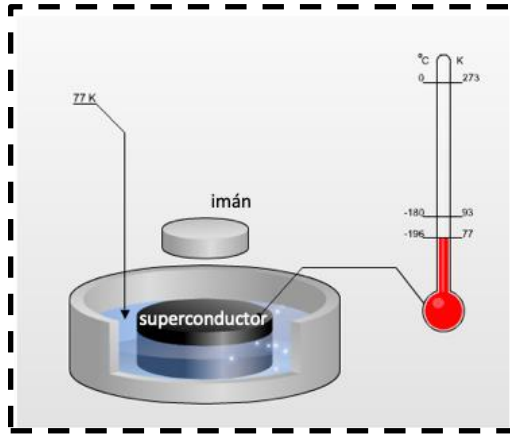


Figura 6.2

5. ¿Qué diferencias encontraron entre las líneas de campo magnético que dibujaron en la figura 6.1 y las líneas de campo magnético de la figura 6.2?

6. (actividad 7) Expliquen con sus palabras el efecto Meissner-Ochsenfeld

7. (actividad 8) ¿Qué opinión tienen acerca del uso de la super-corriente?

8. (actividad 9) ¿Qué diferencias creen que hay entre un superconductor y un conductor perfecto?

9. ¿Qué aprendiste en la clase de hoy? Escribe detalladamente una conclusión.

Anexo 6: Lectura sobre pares de Cooper.

Adaptado de: cuentos-cuanticos.com/2013/04/26/par-de-cooper



- Cuentos Cuánticos +

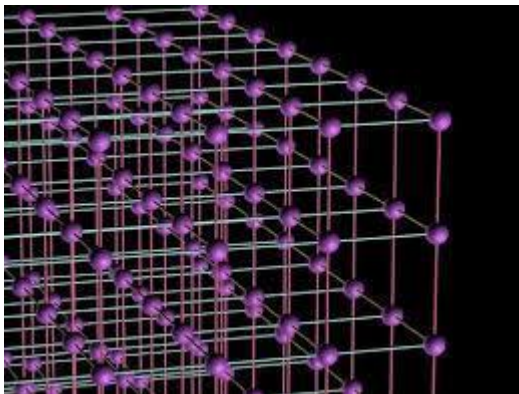
Cooper, con un par

No, no vamos a hablar de los atributos del gran Gary, ni de los huevos (con puntillas) que le hacía Sara Montiel.

En esta ocasión vamos a intentar fundamentar el divertido comportamiento que tienen los electrones en algunos materiales que les permiten formar estados ligados (entre dos de ellos) y hacer que el material presente propiedades superconductoras. A estos estados ligados se les denomina, **pares de Cooper**.

Redes metálicas

En un metal encontramos una estructura cristalina. Los átomos se disponen de tal forma que se le puede asociar (en promedio) una posición fija a sus iones positivos (núcleos, tal vez con electrones en alguna capa) y unos electrones que se pueden mover por la red.



La conductividad o la resistencia eléctrica de un metal está relacionada con el hecho de que los electrones no se pueden mover libremente por la red. Estos se ven dispersados en su camino por los iones que conforman la estructura metálica. Así pues, desde un punto de vista fundamental, si pudiéramos eliminar la dispersión de los electrones en la red tendríamos una situación en la que la resistencia eléctrica de la misma sería nula, esto nos lleva al concepto de **superconductividad**.

Parecería que es difícil conseguir tal objetivo, la solución estaría en que la red fuera incapaz de dispersar los electrones al estar estos en un estado colectivo. Pero los electrones son partículas cargadas negativamente y por lo tanto se repelen entre sí. Sin embargo, hay una salida, ¿qué pasaría si existiera una atracción entre pares de electrones?

Pares de Cooper

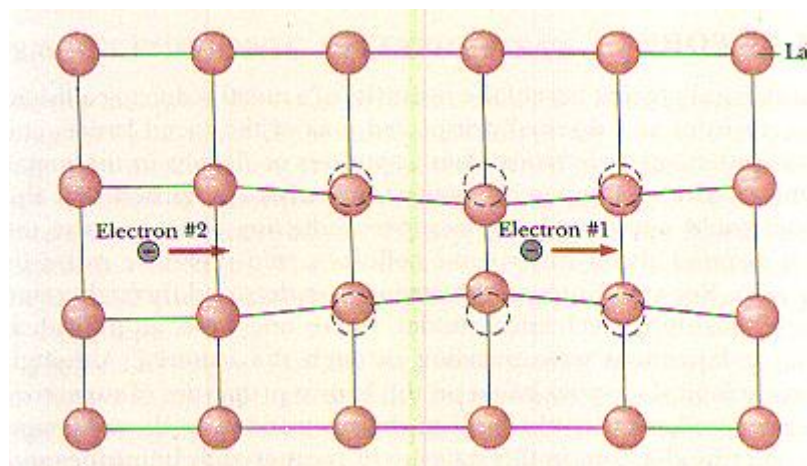
Primero imaginemos que tenemos un metal y que le hemos bajado la temperatura de forma que hemos reducido casi completamente las vibraciones térmicas de su red. La imagen sería la de una red

de iones con electrones por ahí circulando (imagen totalmente clásica, no entraremos demasiado, en esta entrada, en la discusión cuántica).

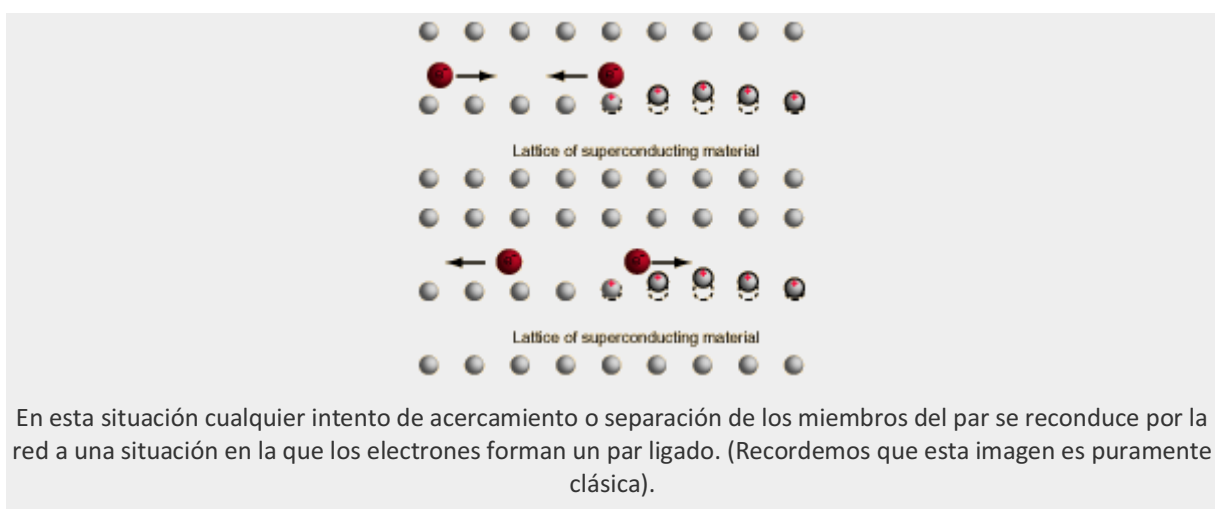
En esta situación es posible imaginar un mecanismo, conjunto entre electrones y red metálica, en el cual se formen pares ligados electrón-electrón.

Sigamos los siguientes pasos:

- Un electrón se mueve por la red metálica. Por lo tanto produce una deformación de la misma a su paso. Un pequeño desplazamiento de los iones más cercanos. Evidentemente esto no se extiende mucho más allá de sus inmediaciones por efecto de apantallamiento de la red y de otros electrones por ahí.
- Cuando un electrón produce este hecho, la modificación en la red hace que aparezca una región con una densidad de carga positiva superior a los alrededores. Esta región atraerá a otros electrones circundantes.



- Estos electrones se moverán como una única entidad por la red ya que se puede calcular (no es nada fácil) que esta situación es energéticamente favorable.



En esta situación cualquier intento de acercamiento o separación de los miembros del par se reconduce por la red a una situación en la que los electrones forman un par ligado. (Recordemos que esta imagen es puramente clásica).

Es evidente que este fenómeno se dará preferentemente a temperaturas bajas porque cualquier vibración de la red destruiría esta imagen y no se podrían formar estos pares ligados de electrones.

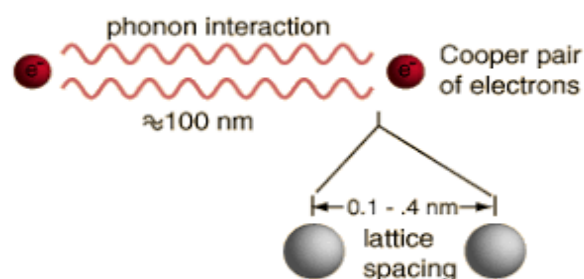
Por lo tanto, los pares, una vez formados, se comportan como una única entidad, es lo que se conoce como una cuasipartícula en el contexto de la física de la materia condensada.



Unas pinceladas cuánticas

Sin entrar en mucho detalle, ya tendremos tiempo, daremos algunas ideas cuánticas acerca de este proceso. No está de más puntualizar que evidentemente la descripción de este fenómeno y de la superconductividad es puramente cuántica, pero volveremos sobre ello más adelante.

- Los electrones tienen espín, de hecho tienen espín $1/2$. Esto los hace comportarse como fermiones. Los fermiones tienen la manía que no les gusta estar en el mismo estado, ya sabéis, por el principio de exclusión de Pauli.
- Pero, oh sorpresa, a un nivel cuántico esta interacción entre pares de electrones tiene la preferencia de agruparlos con los espines apuntando en sentidos opuestos, un electrón con $+1/2$ y el otro con $-1/2$ (en tercera componente, por lo que tenemos un estado singlete o triplete). Por lo tanto la agrupación ya no se comporta como un fermión, lo cual da la posibilidad de que aparezcan comportamientos similares a los de la condensación de bosones.
- Además, si cuantizamos el comportamiento de la red, las excitaciones (vibraciones) de la misma se comportan como partículas, los llamados fonones. Estas partículas, igual que en el caso de los fotones, median la interacción que hace posible que los dos miembros del par formen un estado ligado.



Esta interacción es, por supuesto, muy débil y su rango es mayor que la separación típica de la red metálica. Por lo tanto, cualquier perturbación térmica destruye la posibilidad de tener tales pares de Cooper.

Referencias

R. Vaquero, Brief introduction to Superconductivity, Dto. de Física, CINVESTAV, México (2005), www.fis.cinvestav.mx/~rbaquero/brief.pdf. Unas interesantes lecciones, técnicas pero sencillas, sobre la superconductividad y sobre los pares de Cooper.

Anexo 7: Guión de dramatización realizada por el grupo 4.

Personajes:

Germán Martel

Jose Nicolás Rubiano

Alejandra Guzmán

Alejandra Pérezari

Manuela Franco

ESCENA 1: Cargas eléctricas

//HISTORIA DE LAS CARGAS

//En la Antigua Grecia

Hombre 1: ¡WOOOWWW! ¿Qué es esto?

el hombre tiene un ámbar en la mano

Hombre 2: ¿Qué pasó buen amigo?

Hombre 1: Mira este ámbar, ¡es mágico!

Hombre 2: Piénsalo bien, ¿en serio es magia?

Hombre 1: Creería, mira lo que es capaz de hacer. Lo froté con una piel, y ahora es capaz de atraer pequeños cuerpos.

Hombre 2: Buen hombre, acabas de descubrir algo increíble...frotar el ámbar le da la capacidad de atraer pequeñas cosas. ¡Asombroso!

//Año 1600 en Reino Unido

William Gilbert: Es sorpréndete como varios elementos que he usado son capaces de crear una fuerza de atracción al frotarlos. (momento de iluminación). ¡Ya sé, de ahora en adelante llamaré a los cuerpos con estos comportamientos con el término eléctricos!

Narrador: Y fue así como el descubrimiento de Gilbert dio nacimiento a los términos de electricidad y carga eléctrica.

Debate entre Franklin y Charles du Fay

Benjamín Franklin: ¡YO DESCUBRÍ Y NOMBRÉ LAS CARGAS PRIMERO QUE TÚ!

Charles: MENTIROSO, yo nunca me copiaría de alguien como tú ¿ACASO TÚ DESCUBRISTE LA ATRACCIÓN Y REPULSIÓN DE ELEMENTOS? NO.

Todos los científicos en fila.

Todos: ¡Pero nosotros hicimos más!

Faraday: con mis experimentos de electrólisis sabemos cuál es la relación entre electricidad y materia.

Joseph Thomson: por mí sabes que es un electrón!

Robert Millikan: y yo medía las cargas!

Todos: aplauso para nosotros.

//CONCEPTO DE LAS CARGAS

carga positiva: (gritando) SOY FELIZ, AMO EL PLANETA Y LA VIDA. LOS AMO LOS AMO.

carga negativa 1: Odio todo, odio absolutamente todo, el mundo es el peor lugar del universo. mátenme.

Ambos: ¿QUÉ ESTÁ PASANDO? aléjate de mí, deja de acercarte!

carga negativa 1: no me puedo alejar. algo raro está pasando.

carga positiva: SOY FELIZ. TENGO UN NUEVO AMIGO INSEPARABLE. VIVA LA VIDA.

carga negativa 1: ahora me tendré que aguantar a esta carga el resto de mi vida. Nada puede ser peor.

Narrador: Y así es como las cargas de nuestro universo, al ser opuestas, siempre se atraerán.

carga negativa 1: Uy parece que mamera todo. La pereza consume mi ser, la tristeza y soledad me invaden.

carga negativa 2: ¡Qué mamera! Suficiente tengo con mis problemas. La vida es horrible. Hasta luego, no te quiero ver nunca.

Narrador: Por otro lado, en el mundo molecular de nuestro universo, los opuestos nunca podrán unirse, ni llevarse la idea.

RELACIÓN CON LOS SUPERCONDUCTORES

Narrador: pero en el mundo de los superconductores, las cosas son bastante diferentes. Los superconductores son capaces de hacer que las cargas iguales, logren juntarse y llevarse la idea en su amistad.

carga negativa 1: Que fastidio! Ya no puedo más, no quiero ver a nadie, y ningún amigo sirve para nada.

carga negativa 2: Uyyy si, me siento igual. Tengo la misma situación que tú, mi vida es una asco.

carga negativa 1: Nunca me había sentido tan identificado con alguien, ¿vamos por un café?

carga negativa 2: Sin mente. Vamos.

ESCENA 2: Contacto

Narrador: Hace muchos años un cavernícola estaba limpiando la piel de un león frotando sus manos sobre ella.

Cavernícola 1: uga uga (*frotando la piel con fuerza*)

Narrador: Al terminar los electrones que se encontraban en los átomos de la piel del león fueron liberados y cedidos a el cavernícola , cargándolo. Sin embargo, cuando la piel del león estaba limpia el cavernícola decidió ir a buscar a su amigo para contarle que había casado un león.

Cavernícola 1 y 2 se encuentran

Cavernícola 1: gdhshs

Cavernícola 2: jsisnsk

Los dos amigos están emocionados

Narrador: Los dos amigos estaban muy felices y decidieron abrazarse. A continuación pasó algo muy extraño que los confundió a los dos. Al abrazarse sintieron una descarga eléctrica.

Cavernícola 2: Oooo uga uga?

Cavernicola 1 y 2 están confundidos

Narrador: Y desde ese momento no solo se dieron cuenta de que por medio de la frotación un cuerpo puede ser cargado, a eso se le llama fricción. Si no que también notaron que un cuerpo cargado previamente, puede cargar a un cuerpo neutro por medio del contacto físico, a esto se le llama método de contacto.

//FRICCIÓN 1883

James Winshurst: Quiero inventar una máquina generadora de carga electrostática.

Holtz, Toepler y Voss: nosotros ya creamos una.

James Winshurst: Voy a inventar una mejor entonces.

Narrador: James junto dos grandes discos y estos contra-rotaron en un plano vertical cruzó dos barras de cepillos metalizados y dos esferas de metal.

James Winshurst: La mía no cambia de polaridad lo cual la hace más eficiente. Funciona!!!!

Narrador: Con esto se demuestra que el rozamiento de los dos discos produce una carga que alimenta el resto de la máquina y produce las chispas entre las dos esferas de metal.

ESCENA 3: Fuerza eléctrica

Narrador: Nos encontramos en 1785 en la Academia de Ciencias de París. Coulomb presentó una memoria en la que recogía sus experimentos realizados sobre cuerpos cargados.

Coulomb: Les vengo a presentar mis memorias, lo que he logrado comprender por medio de mis experimentos.

Hombre 1: ¿Qué has comprendido?

Coulomb: Tras haber desarrollado una serie de experimentos con cuerpos cargados, he llegado a la conclusión de que los cuerpos cargados sufren una fuerza entre ellos. Esta fuerza se conocerá como Fuerza eléctrica.

Todos: Wow! Ha encontrado la Fuerza eléctrica!!

Coulomb: Adicionalmente, esta fuerza puede ser atractiva o repulsiva. Con base en mis experimentos, puedo concluir que la fuerza eléctrica es proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Gracias.

Todos: aplausos.

HISTORIA

Coulomb trabajaba en algo

Coulomb: Me han pedido que trabajara en una brújula, no sé cómo vaya a terminar este experimento, pero estoy muy emocionado...

Aparece Benjamin Franklin de la nada

Franklin: Mi querido Coulomb, lo que tú estás haciendo ahora mismo lo inicié hace varios años. Todo comenzó con una simple cometa y una llave, una cosa dio paso a la otra e inventé el pararrayos...

Coulomb: Eres muy habilidoso Benjamin, sin embargo lo que haré es... no sé qué haré, pero bueno. Si pongo esta esfera aquí...

Franklin: Si, en esta balanza, después pon otra misma esfera cargada a otra distancia.

Coulomb: Mira cómo gira la barra, el ángulo hace que podamos definir la ley que rige la fuerza entre dos cargas eléctricas.

Franklin: Te felicito amigo, te dejaré este descubrimiento a ti, llámalo como quieras, yo ya seré recordado por otras cosas y soy millonario por el pararrayos...

Coulomb: Eres muy chistoso Benjamin, gracias por tu colaboración.

¡Fin!

Anexo 8: Letra de la canción presentada por el grupo 5.

Hay una relación
Entre voltaje y corriente
Se llama ley de Ohm
Y resulta en resistencia.

Existen dos circuitos
En paralelo y serie
Y al juntarlos
se, forma uno mixto.

Al sumar las resistencias
No todo es igual
En serie es directo
Y en paralelo fraccional.

Ley de Ohm
Ley de Ohm
Georg Simon Ohm
Para entender la resistencia.

Ley de Ohm
Ley de Ohm
Georg Simon Ohm
Ese man es una chimba.

(Instrumental)

Entre más calor

Existe más movimiento
Entre partículas
Dentro del elemento.

La corriente se choca
La resistencia cambia
Hay una relación
Directamente proporcional.

Cada material,
Puede conducir,
O impedir el paso,
De la corriente.

Resistividad,
Depende de su área,
De su longitud,
Y de la Resistencia.
Ley de Ohm
Ley de Ohm
Georg Simon Ohm,
La resistencia es la pendiente

Ley de Ohm
Ley de Ohm
Georg Simon Ohm,
Ese man es una chimba

Anexo 9: Cuento presentado por el grupo 6.

ÉRASE UN SUPERCONDUCTOR

Nombres: Juan Alejandro Olmos, Juan Felipe Dueñas, Simón Fuquen.

No fue ayer, mucho menos hoy, fue hace mucho tiempo cuando la tierra era desconocida para la humanidad. Era Pangea, una gran extensión de tierra que cubría todo el planeta. En el centro vivía una tribu, demasiado grande en extensión, que estaba por correr un peligro inminente. Fue a mitad del año solar cuando Meissner el líder de la tribu Ochsenfeld miro al horizonte mientras pensaba en el probable ataque de la tribu del oeste, la tribu de Doofenshmirtz malvados y asociados. Estos querían robarle a la tribu Ochsenfeld la comida que durante 3 generaciones habían guardado pensando en la sequía, es por eso, que tomando en cuenta estas razones decidieron seguir acciones desesperadas. Meissner decidió seguir una de las leyendas más antiguas de la tribu, una que sonaba descabellada y remota, pero que podría ser una solución. La leyenda decía:

“EN EL NORTE, DONDE EL AMBIENTE ES HOSTIL Y DESPIADADO, SOLO ALGUNOS POCOS, ALGUNOS DIFERENTES A LOS DEMÁS CONSEGUIRÁN MEJORAR, SU ALMA Y SU CUERPO RESPLANDECERÁN AL SON DE LAS VENTISCAS. PERO SOLO EN EL NORTE OBTENDRÁN DICHO PODER, Y UNA VEZ FUERA DE ÉL, HOMBRES COMUNES VOLVERÁN A SER”

Es por eso, que Meissner inicia la preparación para guiar a su tribu al norte, a donde únicamente hay felicidad, libertad, y triunfo. Primero Meissner ordena a su segundo al mando Keanu Faraday preparar a su pueblo, para adentrarse en una extensa travesía. Luego escogió cinco honoríficos soldados que se encargaran de proteger el contenedor que salvaguarda la comida, y por último Meissner se encargó de aliviar las tensiones en torno a la travesía en su pueblo. Tras disminuir un poco la tensión entre el pueblo y sus gobernantes, el pueblo estuvo de acuerdo con ir en busca de un mejor estilo de vida. Inicialmente Meissner junto con los tenientes de la tribu, idearon una estructura, en caso de algún ataque de Doofenshmirtz y asociados, primero irían los caballos y los soldados más condecorados por su valentía y experiencia al momento de batallar, luego iría el pueblo dentro del pueblo irían los 5 soldados que se encargaran de dar su vida si es necesario, por el contenedor de comida, después irían los miembros del clero y de la aristocracia, y por último estaban los demás soldados.

Había llegado el momento de enfrentar la travesía, y sin importar el miedo, la tribu tomó valor y emprendió su camino hacia el norte. Notaron poco a poco el cambio a su alrededor, los campesinos de la región eran antes completamente distintos, tenían otra vibra, y su manera de ver las cosas era distinta, ellos pensaron que esto se debe a la distancia a la que se encuentra del norte y lo cerca que estaba en alcanzar la prometida leyenda. Lo que nadie sabía es que Meissner ya había experimentado la totalidad del mítico poder, él estaba completamente seguro de que sería su única salida para impedir la catástrofe.

A medida que se acercaban a su destino, las complicaciones fueron aumentando intempestivamente, primero llegó el cansancio, todos se sentían agotados, luego poco a poco el clima los fue afectando, cada vez la temperatura iba disminuyendo, luego; por alguna extraña razón, los sentidos de los viajeros se vieron afectados haciendo que perdieran la noción del tiempo. De igual forma sus sensaciones fueron cambiando, cada vez caían más personas por las extremas condiciones, la esperanza de obtener lo prometido se fue esfumando con el tiempo.

Todo parecía perdido, Meissner veía como sus compañeros, su pueblo, personas con las que a lo largo del tiempo habían forjado una estrecha relación, se iban quedando atrás en el olvido, finalmente Meissner vio un destello en el horizonte, fue ahí cuando se dio cuenta que aunque había muy pocos, había valido la pena, por último llegaron al templo sagrado de los monjes, y aunque lamentablemente hubo unos que tuvieron que quedarse afuera porque no eran lo suficientemente especiales, lo había valido. Admiraron el templo, hecho de columnas de hielo, salía humo de los pilares, el techo era de hielo también. Cuando entraron por las escaleras de nieve del templo, se percataron que al lado de la puerta que daba con el templo había dos tipos de soldados, los puros y los impuros.

Los puros eran aquellos que tenían el poder mítico siempre, mientras que los impuros únicamente contaban con este poder mítico cuando estaban bajo peligro. Además, para poder usarlo debían pasar por una transición que tomaba autoconocimiento, mindfulness. Es acá, donde a los sobrevivientes de la tribu comenzaron a sentirse diferentes. Aquellos que descienden de los puros, obtuvieron el poder mítico. Era algo así como Telekinesis, solo que lo podían hacer con rocas grandes y metales

Lo empezaron a usar, y aprendieron todo del poder gracias a los monjes del templo. Es así como, el plan de Meissner tomó efecto. Meissner ya sabía de este poder, además de ser un puro, lo aprovechó. A su tribu les dejó la tarea de guiar a Doofenshmirtz malvados y asociados, hacia el borde donde los poderes existen, así la tribu enemiga no tendría poderes, y los Ochsenfeld lograron usar sus nuevos poderes contra ellos. La batalla fue épica, dura y ruda,

pero al final Doofenshmirtz malvados y asociados cayeron, y con su derrota los Ochsensfeld lograron proteger a su tribu y consiguieron un nuevo poder, el poder de la superconductividad. Con el pasar de los años, y el avance tecnológico, los puros lograron conducir electricidad directa de los rayos durante las tempestades sin morir y construyeron una enorme civilización, la más grande de todas. Es así como los Ochsensfeld consiguieron un futuro próspero y lleno de frío, mucho frío.

Anexo 10: Evaluación de la estrategia realizada por los estudiantes

1. ¿Qué comentarios puede hacer sobre la la estrategia empleada para enseñar el fenómeno de la superconductividad?
 - Fue una estrategia muy dinámica y divertida con la cual se puede aprender más fácil y de una manera más rápida. El hecho de que sean actividades más dinámicas y experimentales hacen que el aprendizaje sea más placentero.
 - Fue bastante creativa, y la forma de hacerlas explicaciones era muy lúdica, además que los experimentos eran super interesantes.
 - No me gustaban las hojitas que hacíamos. Siento que así me costaba mucho entender, prefiero las clases tradicionales.
 - Realmente buena, ya que el método de comenzar con lo teórico y después pasar a lo práctico fue un método eficiente y efectivo.
 - Estuvo muy innovadora y me gusto mucho, ya que nunca habíamos hecho algo así!
 - Considero que podríamos hacer más uso de videos y medios audiovisuales para aprender. Siento que esa fue mi parte favorita.
 - Muy buena y organizada, el orden tanto de explicación como de práctica siguió el orden lógico para entender el fenómeno de la superconductividad.
 - Creo que podría mejorarse la metodología utilizada para explica los fenómenos por una metodología más interactiva y/o lúdica.
 - Fue una forma bastante adaptada a nuestro conocimientos bases, que nos permitió entender un tema tan complejo con estrategias simples.
 - Yo creo que el uso de material audiovisual ayudó mucho a la comprensión del tema.
 - Considero que fue completamente apropiada, adicionalmente pienso que la manera de aprender y entender fue esa.
 - Me encantó. No solo ver la teoría, pero también visualizar de manera experimental el efecto Meissner-Ochsenfeld me incentivó a aprender por mi mismo más acerca del tema.
 - Fue muy interesante la forma como se desarrolló la clase muy didáctica y divertida.
 - Me parece muy adecuada pues va de lo más básico a lo específico de superconductividad.
 - Me pareció una estrategia muy creativa y efectiva.
 - Miss me encantó la forma en la cual se explico el tema, al hacerlo de forma experimental hace que los conceptos queden más claros.
 - Esta muy bien elaborada, ya que uno tiene la oportunidad de interactuar y entender cada parte de superconductores.
 - Creo que las estrategias fueron empleadas de manera efectiva ya que se emplearon muchas ayudas visuales y experimentales.

- Se utilizaron varios recursos tanto analíticos como experimentales es decir aplicativos que nos permiten adentrarnos más en un tema desde varias perspectivas y de igual manera entender más a profundidad el tema.
- Hace que los estudiantes puedan desarrollar y comprobar que con este método de aprendizaje permite que la información se interiorice de mejor manera. Adicionalmente permite que se sea más emocionante y dinámico.
- La metodología de clase me parece súper dinámica y fluida. Hermoso todo.
- Fue muy eficiente los métodos empleados ya que se aprendió del tema al ser un tema complejo.
- La metodología me gusto mucho, en especial la parte en que pudimos ver el experimento en tiempo real.
- Brutal, no solo teórico, sino fue experimental. Wow nitrógeno líquido. Wow superconductores, super wow.
- Me pareció súper interesante porque sí fue como un proceso completo. Primero empezamos sin saber absolutamente nada pero ya después fuimos aprendiendo y pudimos proponer y exponer el tema.
- Fue una estrategia muy bien implementada porque era diferente a los que estábamos acostumbrados y fue un tema muy interesante de entender. Personalmente, los experimentos fueron lo mejor porque todo era visual.

2. ¿Qué sugerencias puede hacer con respecto a la estrategia empleada y a la metodología?

- Hacer una breve introducción al tema antes de empezar los experimentos como tal, ya que a veces había cosas que no eran claras, sin embargo a lo largo de los experimentos estas dudas fueron resueltas.
- Nada, sinceramente me gusto bastante y no cambiaría nada.
- Podría ser utilizar ambas estrategias, explicación tuya y los simuladores y las hojitas esas. Pero no solo las hojitas!!!!
- Emplearla más y más seguido.
- La metodología empleada en la clase de física ha sido muy buena.
- Brindar más tiempo para experimentos.
- Repaso de temas en un corto tiempo, a veces se me olvidaba antes de la clase
- Emplear más tiempo, pero los recursos del colegio no lo permitieron.
- Considero que es mucho mejor si uno ve cómo funcionan los superconductores, no mientras que solo vea la teoría.
- Volver a repetirlo. Me gustaría volver a ver el experimento.
- Ninguna, honestamente me pareció muy buena. :)
- Realizar aun más actividades experimentales.
- En lo personal a mi me gusta que me expliques directamente y no tener que buscar información por mi misma ya que puede que esa información sea errónea.

- Siento que la clase fue muy recursiva, desde métodos audiovisuales hasta teorías y experimentos. Siento que la clase ha sido dinámica e interesante y no se ha tornado aburrido, por lo tanto siento que la clase ha sido muy bien planteada y interesante hasta el momento.
 - Continuar con esta estrategia es muy chévere.
-