

Acercamiento al concepto de corriente, a partir de una contextualización histórica, desde las primeras nociones hasta las consideraciones de Maxwell.

Presentado por:

Cristian Leonardo Beltrán Tarazona

Línea de profundización: Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias: Enfoques didáctico.

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología.

Licenciatura en Física

Acercamiento al concepto de corriente, a partir de una contextualización histórica, desde las primeras nociones hasta las consideraciones de Maxwell.

PRESENTADO POR:

Cristian Leonardo Beltrán Tarazona

Trabajo de investigación como requisito para optar por el título de:

Licenciado en Física.

Línea de profundización: Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias: Enfoques didáctico.

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología.

Licenciatura en Física

Bogotá, Colombia.

2024

Índice.

Introducción

Capítulo I

- 1. Características de la contextualización histórica de la corriente.**
 - 1.1 Problemática 1
 - 1.2 Pregunta Problema 5
 - 1.3 Objetivo 5
 - 1.4 Objetivos específicos 6
 - 1.5 Antecedentes 6

Capítulo II

- 2. Fundamento teórico de la electrificación.**
 - 2.1 El origen del concepto de electricidad 10
 - 2.2 Los primeros conceptos de materiales conductores y aislantes 18
 - 2.3 La aparición de dos tipos de electricidad, gracias a la repulsión 24
 - 2.4 El fluido eléctrico y el principio de la carga 28

Capítulo III

- 3. La electricidad, debido a la carga en movimiento.**
 - 3.1 La relación de la corriente eléctrica y el magnetismo 37
 - 3.2 La Electrodinámica, una definición a la corriente eléctrica 42
 - 3.3 La dependencia del material en la corriente eléctrica 48

Capítulo IV

- 4. La teoría electromagnética. La unificación de la electricidad y el magnetismo.**
 - 4.1 La definición al estado electro-tónico 53
 - 4.2 El concepto de corriente de desplazamiento de Maxwell 58
- Conclusiones 62**
- Bibliografía 64**

Índice de imágenes

- ❖ Imagen 1 (Maquina propuesta por Otto para simular el movimiento de la Tierra).....18
- ❖ Imagen 2 (maquina usada por Francis Houksbee, para generar electricidad mediante fricción)19
- ❖ Imagen 3 (experimento de Stephan Gray, para cargar cuerpos a distancia)22
- ❖ Imagen 4 (experimento de Gray con la intervención de Wheler, para cargar cuerpo gracias a un medio físico) 23
- ❖ Imagen 5 (experimento de Du Fay, con el cual hizo la primera definición de repulsión eléctrica. Las láminas de oro serán los cuadros amarillos y el tubo de vidrio el rectángulo azul. En el primer caso las láminas caen sobre el tubo, en la mitad estas laminas adquieren la carga del tubo y por último estas se repelen, debido al tipo de carga adquirida) 25
- ❖ Imagen 6 (experimento utilizado por Coulomb para calcular la fuerza eléctrica) 35
- ❖ Imagen 7 (experimento de Ørsted con el que describe la relación entre la electricidad y el magnetismo) 38

Introducción.

Desde los principios de la humanidad, la electricidad ha fascinado a las mentes curiosas y ha iluminado el camino hacia el progreso humano. En este proceso a través del tiempo, nos adentramos en los difíciles caminos de descubrimientos, innovaciones y revoluciones que han dado forma al mundo tal como lo conocemos hoy. Desde los primeros conceptos de electricidad estática en la antigua Grecia como lo dicho por Tales de Mileto, hasta los relámpagos de creatividad que desataron la Revolución Industrial, cada chispa de conocimiento ha encendido variedad de posibilidades. A lo largo de los siglos, filósofos naturales y científicos han tejido una red de comprensión y aplicación de la electricidad que ha tejido los hilos de la sociedad moderna.

En esta contextualización histórica de la corriente eléctrica, se explorará los decisivos momentos, desde los experimentos de William Gilbert que pusieron los cimientos de la teoría eléctrica, pasando por los avances de Benjamín Franklin que iluminaron el misterio de los rayos, hasta el nacimiento de la era de la electrificación con las contribuciones de figuras como André-Marie Ampere y James Maxwell.

En este momento crucial de la historia, se reflexiona sobre el legado de aquellos que forjaron el camino hacia la electrificación y nos enfrentamos al desafío de mantenernos fieles a la visión de un futuro más brillante, donde la electricidad no solo sea una herramienta de progreso, sino también un símbolo de estudio e investigación para las futuras generaciones.

Por ello en este trabajo se encontrará con cuatro capítulos, en los cuales se encuentra las descripciones de los procesos de investigación y avances que forjaron a la electricidad. En el primer capítulo se encontrará toda la parte de la justificación y los objetivos, los cuales permite describir la meta principal de la investigación, es decir, el propósito general que se busca lograr

con la contextualización, adicional esto permite que se explique por qué es importante abordar el tema propuesto y qué contribuciones se espera que el estudio aporte al concepto de electricidad.

En el ámbito educativo, el estudio de la historia de la electricidad y los aportes de estas figuras clave no solo es esencial para comprender los fundamentos de este fenómeno, sino que también promueve el desarrollo del pensamiento crítico y analítico. Al examinar la evolución de los conceptos a lo largo del tiempo, los estudiantes pueden apreciar cómo se construyó el conocimiento científico acerca de la electricidad, lo que contribuye a una comprensión más profunda de la ciencia y su relevancia en el mundo actual.

En el segundo capítulo se encuentra los primeros conceptos de electricidad, presentando el desarrollo inicial del principio de la electricidad, desde las primeras observaciones de Tales de Mileto sobre la atracción entre objetos hasta los aportes fundamentales de Gilbert, quien definió por primera vez el concepto de electricidad y estableció la distinción entre los efectos magnéticos y eléctricos. A partir de los trabajos de Gilbert, una serie de experimentadores y filósofos naturales, como Otto Von Guericke, Francis Hauksbee y otros, ampliaron el estudio de la electricidad centrado en la atracción de objetos eléctricos, antes de asociar también la repulsión a este fenómeno. Posteriormente, figuras como William Watson, Benjamín Franklin y Charles Coulomb contribuyeron a la teoría de la electrostática, demostrando que la electricidad se comporta como un fluido y puede experimentar tanto atracción como repulsión, según la carga eléctrica.

En el tercer capítulo se aborda los avances realizados por Ørsted, cuya observación fue crucial de que los efectos eléctricos podían desviar la aguja de una brújula, pues reveló una conexión profunda entre la electricidad y el magnetismo. Este descubrimiento, que causó asombro entre destacados científicos como Ampere y Faraday, desencadenó investigaciones simultáneas desde perspectivas complementarias. Ampere replicó el experimento para comprender, la

desviación de la brújula, mientras que Faraday indagaba en la naturaleza subyacente de este fenómeno.

El estudio realizado en el cuarto y último capítulo se centra en la definición del estado electro-tónico y el concepto de corriente de desplazamiento según la perspectiva de Maxwell. Inicialmente, se explora el papel de Faraday como precursor de la teoría electromagnética, destacando su enfoque en el estudio de la electricidad y su relación con los fenómenos magnéticos. El concepto de estado electro-tónico, inicialmente propuesto por Faraday, se redefine por Maxwell como un medio geométrico que explica los fenómenos eléctricos y magnéticos. Se detalla cómo Maxwell asoció propiedades eléctricas y magnéticas al espacio, en contraposición a Faraday, quien lo asociaba con la materia.

En cuanto a la corriente de desplazamiento, se presenta como una noción innovadora introducida por Maxwell en su Tratado sobre Electricidad y Magnetismo. Se explica su importancia en la interacción entre campos eléctricos y magnéticos en presencia de cargas en movimiento, así como su papel en la divergencia de la corriente total en sistemas electromagnéticos cerrados. Se resalta su papel en completar circuitos en situaciones donde las corrientes convencionales no lo hacen, ofreciendo una explicación de cómo se produce la circulación de carga en sistemas electromagnéticos más complejos.

Características de la contextualización histórica de la corriente.

1.1 Problemática:

A lo largo del tiempo, la humanidad ha buscado satisfacer sus necesidades y explorar los misterios de la naturaleza, dando lugar a un proceso en el cual la ciencia ha desempeñado un papel fundamental en su desarrollo. En muchas ocasiones, la historia del avance científico es pasada por alto, es decir, se narra la evolución de un concepto sin considerar su trasfondo. Sin embargo, es importante reconocer que toda investigación surge a partir de una base previa, lo que resalta la necesidad de explorar la historia de la ciencia. Este enfoque no solo promueve un crecimiento conceptual, sino que también permite una comprensión más profunda de la ciencia al presentar un enfoque interdisciplinario. (Kuhn, 1985)

Uno de los avances más significativos en la historia de la ciencia, que ha contribuido enormemente al desarrollo y progreso de la humanidad, es el uso de la corriente eléctrica. Este fenómeno, tan fundamental en la cotidianidad, ha sido objeto de estudio y experimentación por parte de destacados científicos a lo largo de la historia. Comúnmente, se atribuye el avance en el entendimiento de la corriente eléctrica a los trabajos realizados por André Ampere y Simón Ohm. Sin embargo, es importante destacar que estos avances no surgen en un vacío histórico, sino que tienen sus raíces en investigaciones previas que sentaron las bases para su comprensión.

Uno de los antecedentes relevantes en el estudio de la electricidad es el trabajo realizado por Charles Coulomb, quien investigó las fuerzas eléctricas y magnéticas en el siglo XVIII. No obstante, es crucial reconocer también la influencia de Christian Ørsted en el desarrollo de la teoría de la corriente eléctrica. Ørsted descubrió la relación entre la electricidad y el magnetismo, sentando así las bases para futuras investigaciones en el campo del electromagnetismo.

Por otro lado, es interesante observar cómo en los textos universitarios actuales, como los de Serway y Buffa, se describe la corriente eléctrica como un flujo de cargas en un tiempo determinado, asociándolo directamente con el movimiento de los electrones.

“Como son electrones los que se mueven en los alambres del circuito, el flujo de la carga se aleja de la terminal negativa de la batería. Sin embargo, históricamente, el análisis de los circuitos ha sido hecho en términos de corriente convencional, que es en el sentido en que fluirán las cargas positivas, o en sentido opuesto al flujo de electrones. Cuantitativamente la corriente eléctrica se define como la razón temporal de flujo de carga neta”.
(Buffa 2003, pág. 581)

Este enfoque parece implicar un conocimiento previo sobre la naturaleza de la estructura de la materia, pues hablan de los electrones, como si al momento que se plantearon estas teorías ya se hubiese indagado sobre los electrones. Se sugiere que se mencione previamente, antes que se permitan proponer ejercicios relacionados con la cantidad de electrones que pasan en un tiempo determinado cuando se encuentra calculada la carga neta.

El arrancador del motor de un automóvil extrae 50A de la batería al echarlo andar. Si el tiempo de arranque es de 1,5s ¿Cuántos electrones pasaran por una localidad del en el circuito durante ese tiempo? (Buffa 2003, pág. 596)

Este caso pone de manifiesto la importancia de entender la historia de la ciencia para apreciar plenamente los avances y descubrimientos científicos. Pues pareciera que la investigación acerca de la naturaleza de la materia se hubiese hecho en simultanea con dicha teoría, y no fue así, ya que los electrones fueron descubiertos en 1879 y dichas teorías son de 1827. Reconocer la evolución del conocimiento y cómo las ideas se han construido a lo largo del tiempo, ayuda a comprender mejor el estado actual de la ciencia y a valorar el papel crucial que desempeñan los científicos en el avance de la humanidad. (Popper 1962)

Los avances en el entendimiento y aplicación de la corriente eléctrica han tenido un impacto significativo a lo largo del tiempo, transformando la forma en que la identificamos y calculamos. Sin embargo, es fundamental reconocer que este progreso no ocurre en un vacío histórico, sino que está arraigado en una larga trayectoria de descubrimientos y avances científicos.

Al analizar las perspectivas desde el ámbito educativo y los estándares de enseñanza del Ministerio de Educación Nacional, es evidente una carencia en la contextualización histórica de la corriente eléctrica. Los enfoques educativos suelen limitarse a establecer la relación entre el voltaje y la resistencia como justificación de la medición de la corriente eléctrica, sin abordar los primeros hallazgos y avances que llevaron a comprender la naturaleza de este fenómeno. En este sentido, persiste una aproximación netamente clásica en la enseñanza de la corriente eléctrica.

Los fundamentos de la electricidad se presentan de manera abstracta y desvinculada de su evolución histórica. Es esencial que los programas educativos incorporen una contextualización histórica adecuada al enseñar conceptos relacionados con la corriente eléctrica.

En el plan de estudios de la licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, se observa que este, carece de un enfoque histórico más profundo en el tema de electromagnetismo I y II. El análisis realizado se centra principalmente en el paradigma clásico, omitiendo la discusión sobre el electrón como portador de carga eléctrica. Sin embargo, es importante destacar que la comprensión de la conducción eléctrica requiere considerar el contexto histórico y la evolución del concepto de carga eléctrica. Desde los principios fundamentales de la ley de Ampere, se ha reconocido la cuantización de la carga eléctrica, lo que plantea interrogantes sobre la atribución de esta carga en ese contexto histórico. Es decir, es necesario entender como Ampere comprendía la carga eléctrica, y así lograr comprender que esta pueda fluir, dado que en ese momento no se hablaba de electrones fluyendo.

Se llevó a cabo una contextualización histórica exhaustiva de la corriente eléctrica, destacando el proceso y las diversas concepciones que se tenían sobre este fenómeno. Como futuro maestro, resulta de vital importancia estudiar y analizar la corriente eléctrica, iniciando con un examen detallado del contexto histórico. Siguiendo la propuesta de Karl Popper (1962), quien sostiene que la historia de la ciencia es esencial para comprender el método científico, se puede observar cómo las ideas sobre la corriente eléctrica han evolucionado con el tiempo.

Este trabajo se encuentra enfocado en los fundamentos históricos de la electricidad, lo que nos permitirá acercarnos al concepto de la corriente eléctrica. Además, este trabajo servirá como apoyo para los futuros maestros en formación que deseen comprender mejor el proceso que dirigió al desarrollo de la conceptualización de la corriente eléctrica. Es crucial que los maestros en formación de la licenciatura amplíen sus conocimientos disciplinarios, y este estudio proporcione una base sólida para ello.

La integración de la historia en la enseñanza de la ciencia es crucial para una comprensión profunda y significativa de los conceptos científicos. Como señala Kuhn (1970), "La historia de la ciencia es esencial para la enseñanza de la ciencia, porque ciencia no es solo lo que los científicos han dicho, sino cómo lo han dicho". Al abordar la historia de las teorías y descubrimientos científicos, los estudiantes no solo adquieren conocimientos sobre los conceptos científicos en sí, sino que también comprenden el proceso mediante el cual se desarrollaron y se llegó a ellos.

Esta comprensión contextualizada promueve una apreciación más profunda de la naturaleza y la evolución de la ciencia, así como del papel fundamental que juega en la sociedad. Además, al mostrar cómo las ideas científicas han cambiado con el tiempo, se fomenta el pensamiento crítico y la capacidad de evaluar y cuestionar el conocimiento científico establecido. Integrar la historia de la ciencia en la educación científica es esencial para cultivar una

comprensión completa y significativa de la ciencia y su impacto en el mundo. (Cano, Gómez, Cely 2009)

Por ende, esta contextualización histórica brinda oportunidades para reflexionar y debatir sobre aspectos epistemológicos de la ciencia, los cuales suelen ser pasados por alto en la enseñanza convencional. Como demuestran investigaciones previas (Bravo, 2005; Quintanilla, 2005), la inclusión de la historia en el estudio de la ciencia ha sido notablemente escasa. En particular, permite capacitar para comprender la ciencia como un proceso en constante evolución, formado de manera colectiva y con sus propios dilemas humanos. (Anabel Cardoso Raicik, 2015)

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la siguiente pregunta problema en la cual se centra el presente trabajo de grado.

1.2. Pregunta problema

¿De qué manera la contextualización histórica puede facilitar la comprensión del concepto de la corriente eléctrica para los estudiantes de la licenciatura en física de la Universidad Pedagógica Nacional, desde sus primeras nociones hasta las aportaciones de Maxwell?

1.3. Objetivo general.

Analizar la evolución histórica de la corriente mediante una contextualización que permita generar un acercamiento al concepto de corriente, desde las primeras nociones hasta las consideraciones de Maxwell para los estudiantes de la licenciatura en física de la Universidad Pedagógica Nacional.

1.4. Objetivos específicos.

- ❖ Establecer las primeras nociones de corriente a partir de una revisión bibliográfica, con el fin de identificar la evolución del concepto.
- ❖ Identificar cómo la evolución del concepto de corriente eléctrica puede ser utilizada como herramienta pedagógica en la enseñanza del concepto de corriente eléctrica.
- ❖ Identificar el entorno histórico que rodeó a Maxwell y que lo llevó a proponer su idea de corriente.

1.5. Antecedentes:

Los siguientes trabajos de investigación se destacan como antecedentes fundamentales para el trabajo presente. Estas investigaciones han servido como apoyo crucial en la construcción de este estudio, ya que abordan y exponen temas curriculares de suma importancia. Además, explican cómo el análisis histórico de la corriente en diversos contextos contribuye significativamente a la comprensión de este fenómeno. El trabajo realizado en este escrito se basa en gran medida en las perspectivas y hallazgos presentados en estos estudios previos.

- ❖ La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico-epistemológico/ Cano J, Gómez J y Cely L/Universidad Nacional de Antioquia/2009: este trabajo realiza una investigación a las ideas previas de los estudiantes de secundaria respecto al concepto de corriente, ya que en la investigación realizada en este documento se encuentra que los estudiantes carecen del concepto de corriente, pues ignora consideraciones teóricas asociadas a la construcción atómica de un conductor. Este trabajo asegura que existe un distanciamiento entre lo que se enseña y lo que se vive en la actualidad, ya que en

la forma que se aborda está asociado a un principio de memorizar lo dicho por el docente y no desde la parte de la construcción del concepto, esto puede ocurrir porque no se aborda desde la génesis de la construcción del concepto, para que se haga algo más familiar y simplificado, por lo tanto se propone realizar un concepto de corriente para los estudiantes, partiendo desde un enfoque histórico.

- ❖ Modelos y concepciones sobre el tema de la corriente eléctrica: A estudiantes de la facultad de ciencias de la electrónica/ Osorio F/Universidad Autónoma de Puebla/2016: este trabajo expone las posibles problemáticas de los estudiantes, al momento de salir de la educación básica y media cuando se quiere hablar sobre el concepto de corriente, aunque el trabajo se realizó en México, la problemática no es ajena a nuestro país, como se mencionó en el trabajo anterior existen una problemática al momento de expresar el concepto de corriente. El análisis lo realiza con estudiantes de la facultad de ciencias de la electrónica de la universidad de Puebla, esto le permite demostrar la existencia de los vacíos conceptuales, acerca de la corriente, dado por el mal proceso de la formalización del concepto en el ámbito escolar, debido al proceso de los docentes.
- ❖ Enseñanza y aprendizaje de circuitos eléctricos en la localidad de Usme/Pinzón, C/Universidad Pedagógica Nacional/2016: en este trabajo el autor pone de manifiesto la necesidad de comprender el concepto de corriente, para lograr que estudiantes interioricen el concepto de tal manera que puedan interpretar las diferencias entre los circuitos serie y paralelo, esto debido al comportamiento de la corriente eléctrica. De esta manera el autor expone la necesidad de comprender la naturaleza de la corriente eléctrica, para lograr interiorizar los conceptos básicos de

corriente y así llegar a analizar las demás temáticas técnicas y de temas propios de la tecnología. Si en la educación formal existe una carencia en la construcción del concepto de corriente, en la educación acelerada (estudio de validación) el concepto se maneja de manera muy superficial, como lo comenta el autor es casi nulo, por ello él ve la necesidad de abordar el concepto de corriente eléctrica.

2. Fundamento teórico de la electrificación.

En este capítulo se describe el principio de la electricidad. Se comienza con las primeras descripciones hechas por Tales de Mileto en el siglo VI aC, las cuales están enfocadas en la acción de atracción entre objetos. Seguidamente, se describen los aportes hechos por Gilbert en el año 1600, los cuales se fundamentaron como el principio de la electricidad, ya que Gilbert fue el primero en hacer una descripción de qué es la electricidad y en establecer la diferencia entre los efectos magnéticos y eléctricos, por ello es de suma importancia abordar los efectos magnéticos, ya que en la época de Gilbert los efectos eléctricos eran desconocidos.

Los trabajos de Gilbert fueron una gran inspiración para muchos experimentadores y filósofos naturales de la época, como Otto Von Guericke, Francis Houksbee, Stephen Gray, Graville Wheler y Charles Du Fay, quienes desarrollaron trabajos relacionados con la electricidad. Todos estos trabajos se enfocaron en el estudio de la atracción entre objetos eléctricos, ya que en ese momento Gilbert no asociaba la repulsión con la electricidad. A medida que se perfeccionaban estos estudios, se buscaba constantemente aportar nuevas ideas y avances al conocimiento existente. Finalmente, se llegó a atribuir el efecto de la repulsión a la electricidad, antes considerado exclusivo del magnetismo. Este cambio de perspectiva fue el resultado de una evolución gradual en el entendimiento de los fenómenos eléctricos, marcando un hito importante en la historia de la ciencia.

Los aportes e investigaciones sobre la electricidad no se limitaron al ámbito académico, sino que también se presentan los trabajos realizados por William Watson, Benjamín Franklin y Charles Coulomb. Los trabajos y aportes de este nuevo grupo de experimentadores y filósofos naturales permitieron determinar que la electricidad tiene la característica de un fluido. Además, afirmaron que la electricidad también puede experimentar la acción de repulsión, debido a la

condición de carga eléctrica, la cual puede ser positiva o negativa, descripción hecha por Franklin. De esta manera, los trabajos realizados por cada uno de los filósofos naturales mencionados anteriormente permitieron construir la teoría de la electrostática, dichos trabajos se mencionarán a continuación.

En el contexto educativo, el estudio de la historia de la electricidad y los aportes de figuras como Tales de Mileto, Gilbert, Franklin y otros, juega un papel crucial. La comprensión de cómo se desarrollaron los conceptos y teorías a lo largo del tiempo no solo ayuda a los estudiantes a entender los fundamentos de la electricidad, sino que también les permite apreciar el proceso de construcción del conocimiento científico. Además, estudiar la historia de la electricidad fomenta el pensamiento crítico y la capacidad de análisis, según Kuhn desde su propuesta del paradigma, ya que los estudiantes pueden evaluar cómo las ideas han evolucionado y cómo influyeron en el progreso científico y tecnológico. La historia de la electricidad no solo es importante para comprender los conceptos actuales, sino también para cultivar una apreciación más profunda de la ciencia y su impacto en la sociedad.

2.1. El origen del concepto de electricidad.

Los principios de la idea de carga eléctrica se remontan al siglo VI a. C, cuando Tales de Mileto descubrió la atracción y la repulsión que existía entre los objetos, dicho descubrimiento es lo que hoy en día se conoce como electrostática. El descubrimiento lo halló mientras frotaba una barra de ámbar (entiéndase el ámbar como un material fosilizado) con lana o con alguna piel de animal, notó que al frotar el ámbar este adquiría la capacidad de atraer o repeler otros materiales, como lo podría ser hilos cabellos y madera. Dicho descubrimiento para la época no obtuvo la relevancia que años más adelante sería el principio de la teoría del electromagnetismo. (Pelkowski, 2006)

Los conocimientos acerca de la electricidad en la antigüedad no están netamente enfocados a los desarrollados por Tales, adicionalmente se encuentra lo descrito por Teofrasto (371 -264 a. C.), que fuese quien identificara que, mediante condiciones térmicas, algunos objetos tendrían la capacidad de atraer a los demás cuerpos. Esta propiedad la podrían cumplir la turmalina. Es decir, dicho material al calentarse, estaría adquiriendo las condiciones que hasta el momento eran netamente del cumplimiento del ámbar, de atraer o repeler objetos ligeros. Lo anterior fue lo primero que se encontró escrito acerca de la electrificación de los materiales. (Pelkowski, 2006)

De esta manera, el descubrimiento realizado por Teofrasto, en donde él hace un acercamiento directo al trabajo establecido previamente por Tales de Mileto, permite hacer una relación entre los dos hallazgos. Siendo así, que las descripciones realizadas por Tales tuviesen condiciones netamente espirituales, proponiendo que el ámbar llegase a tener un alma, que despierta al ser frotada. El propósito de Teofrasto era establecer una similitud entre ambos descubrimientos, otorgándoles la misma condición a los materiales, aunque logrados de manera diferente. (Pelkowski, 2006)

Tuvo que transcurrir más de 2000 años para volver a hablar acerca de la atracción y repulsión, que existía entre los materiales, esta vez no solo ocurriría al momento de frotar el ámbar, ahora se hablará que esto ocurrirá en otros materiales. William Gilbert (1544-1603), médico de la corona británica, además de determinar la existencia de los campos magnéticos de la Tierra, lo determinó mediante un experimento con una esfera magnetizada y agujas sobre puestas, para así afirmar que la brújula se orientaría.

De Magnete fue la obra hecha por William Gilbert, en la cual plasma y describe las diferencias que existe entre electricidad y magnetismo, esto lo hace basándose en una serie de experimentos, los cuales los hace obteniendo resultados netamente cualitativos. Gilbert realiza esta

obra, pues se siente atraído por las grandes cualidades de la magnetita y en búsqueda de las propiedades beneficiosas para la medicina.

Según Paolo Rossi, la obra de Gilbert representa la culminación de la magia natural, tal como se describe en su libro 'El nacimiento de la ciencia moderna en Europa'. Rossi sugiere que la obra de Gilbert puede considerarse como un ejemplo del renacimiento moderno y una de las primeras incursiones en la experimentación científica. Aunque el libro de Gilbert carece de cálculos o demostraciones matemáticas, presenta de manera precisa los experimentos realizados, los cuales permitieron la descripción inicial del campo magnético terrestre.

De esta manera los trabajos de Gilbert estarían relacionados con experimentos magnéticos, lo cual lo llevaría a realizar un análisis de los demás procesos de atracción y de repulsión de los materiales, hasta el punto de determinar la diferencia entre la atracción no magnética. Gilbert se permitió describir sus trabajos a un enfoque propio de la filosofía natural.

Para vosotros, verdaderos filósofos, hombres honestos, que buscáis el conocimiento no sólo en los libros, sino en las cosas mismas, dirijo estos principios magnéticos hacia una nueva forma de filosofar... a partir de la cual deseo realizar las pruebas de algunos experimentos, permitiendo manejar sustancias, no con negligencia y descuido, sino con prudencia y habilidad y a mi manera... porque puse en estos libros todo lo que he explorado, ejecutado y repetido innumerables veces. (GILBERT 1958)

Es notable que para Gilbert la experimentación se convertiría en una estrategia muy importante al momento de justificar y analizar los fenómenos ocurridos en la naturaleza.

A través del análisis de una simple brújula y la revisión de libros sobre su comportamiento, Gilbert llevó a cabo uno de sus experimentos magnéticos más destacados. Utilizando mapas e imanes en forma de globo, Gilbert realizó observaciones detalladas del comportamiento de la brújula y propuso que la Tierra actuaba como un gran imán, lo que influyó en la navegación y en

la comprensión de la geografía terrestre. Sin embargo, para determinar la latitud de la Tierra en sí misma, los métodos y técnicas empleados por Gilbert pueden haber sido diferentes. Es posible que haya utilizado observaciones astronómicas o mediciones geodésicas, simulando el efecto del campo magnético de la Tierra, para si lograr determinar la latitud. Lo que le permitió concluir que nuestro planeta posee un campo magnético intrínseco. Este descubrimiento llevó a Gilbert a postular que la Tierra se comporta como un inmenso imán, cuya dirección de la aguja de la brújula es constante, lo que sugiere que el eje de la Tierra debe ser invariable. Asimismo, sugirió que los polos magnéticos de la Tierra no coincidirían con los polos geográficos. (ROSSI 2001)

El análisis realizado por Gilbert sobre la interacción entre la aguja de la brújula y la Tierra le llevó a caracterizar a nuestro planeta como un enorme imán. Además, pudo concluir que no había un medio de propagación específico para la acción magnética y descartar la posible existencia de pequeñas partículas como resultado de esta acción, pues anteriormente se había concebido la idea de que podrían existir partículas en la acción magnética, pero los hallazgos de Gilbert desafiaron esta noción, al no encontrar la evidencia de estas en los imanes.

A partir de las definiciones anteriores, Gilbert logró recopilar una serie de evidencias que respaldaban la existencia de la atracción magnética, lo que le permitió demostrar la acción a distancia. En sus experimentos, Gilbert observó la interacción magnética incluso a través de una superficie de madera, utilizando dos imanes colocados entre un trozo de dicho material. Sorprendentemente, la acción magnética persistió a pesar de la presencia de la madera, lo que llevó a Gilbert a descartar la idea de que la atracción y repulsión magnética fueran el resultado de partículas magnéticas. (Gilbert 1958)

Ahora, Gilbert realizaría un análisis de las condiciones por las cuales algunos materiales (metales) tenían la condición de atraerse en presencia de la magnetita, una acción que para Gilbert

sería algo recíproco, a lo cual lo denominó como cópula magnética. Seguido, haría una distinción de la no atracción que existe entre otros materiales (ámbar, resina, vidrio y azufre), en presencia de la magnetita. Aunque entre estos materiales si existía una atracción cuando uno de ellos era frotado, de esta manera Gilbert concluyó que existían dos tipos de fenómenos, los cuales eran capaces de atraer o de repeler objetos, uno sería al magnetismo y el otro lo denominó como fenómeno eléctrico. Nombre derivado de la palabra electrón, como se le llamaba al ámbar en la antigua Grecia, de allí la derivación de la palabra a todos los fenómenos relacionados. (ROSSI 2001)

En su obra *De Magnete*, William Gilbert dedica un capítulo titulado 'Sobre la cópula magnética', que explora la relación entre la acción magnética y la búsqueda de la atracción del ámbar, o más precisamente, 'sobre la unión de cuerpos al ámbar'. A través de este enfoque, Gilbert comienza a distinguir entre los procesos de atracción magnética y eléctrica, marcando así un paso importante en la comprensión de estos fenómenos.

Así, Gilbert comienza a hacer una serie de distinciones entre los procesos de atracción que existe en los fenómenos eléctricos y los magnéticos. Distinguiendo los procesos de atracción magnético como cópula magnética, donde esta hace referencia a una acción recíproca de atracción entre los materiales magnéticos, mientras que en los procesos de atracción eléctrica solo dependería de un cuerpo que atrae a otro, este cuerpo sería el que adquiriera la electricidad, desligándola a las ideas de atracción a fenómenos oscuros o consecuencia del alma.

Varios eruditos han celebrado la fama de la piedra magnética y el ámbar. La piedra magnética y el ámbar hacen que algunos filósofos los invoquen cuando, al explicar muchos secretos, sus percepciones se oscurecen y el razonamiento no puede ayudarles. Los teólogos curiosos también buscan explicar los misterios divinos más allá del alcance de los sentidos humanos a través de la piedra magnética y el ámbar; de la misma manera,

cuando los metafísicos enseñan sobre fantasmas inútiles, recurren a la piedra magneto como si fuera una espada délfica, ilustración siempre aplicada a cualquier cosa.
(Gilbert 1958)

Adicional Gilbert descarta que los cuerpos por acción eléctrica se pudiesen repeler, aunque hubiese notado experimentalmente que los cuerpos tenían ligeros movimientos no los describió como una repulsión, pues no contaba con los argumentos para definir dicho suceso, como si lo podía hacer para los fenómenos magnéticos, que era debido a los polos.

De esta manera Gilbert describe que la electricidad debía ser perteneciente a las sustancias sólidas, las cuales debían ser frotadas para presentar cierta atracción, distinto a los efectos naturales que podían presentar la cópula magnética, demostrando que en el caso de la atracción eléctrica no era un proceso mutuo, sino únicamente del elemento frotado, el cual no cambiaría la naturaleza del cuerpo mismo, siendo así que los cuerpos que requieren de un estímulo, obtengan la capacidad de atraer otros cuerpos cuando este alcance cierto grado de temperatura. Siendo el cambio de temperatura uno de los referentes en el proceso de frotar un objeto para atraer otro. (Gilbert 1958)

Como método de justificación de la electrificación que ocurren en otros cuerpos, Gilbert hace las siguientes referencias acerca de los procesos de la electricidad, para darle razón a los fenómenos de atracción o de repulsión. (Poveda 2003)

- ❖ Que existen muchos más materiales que se puedan electrizar mediante el proceso de la frotación con trozos de lana o seda.
- ❖ Caracteriza los cuerpos que son electrizables y los que no lo son. Los cuerpos que son electrizables los denominó cuerpos eléctricos y los que no lo son no eléctricos, es decir los cuerpos que experimentan la atracción de otros cuerpos al momento de ser frotados.

- ❖ Hace referencia en la diferencia entre la fuerza eléctrica y la fuerza magnética. Habla de la fuerza como la acción mecánica que existe al moverse un objeto al ser atraído.
- ❖ La disipación de la electricidad estática ocurre de manera más rápida en ambientes húmedos en comparación con ambientes secos, donde el proceso puede tardar más tiempo en completarse. Sin embargo, es importante destacar que esta diferencia se aplica específicamente a la electrificación y no al magnetismo. En otras palabras, mientras que la humedad facilita la disipación de la electricidad estática, no tiene un efecto similar en los fenómenos magnéticos.
- ❖ La atracción eléctrica entre dos cuerpos es directa, pues no requieren de un medio para su interacción, ya que no involucra factores externos y no se ve afectada por la presencia de aire entre ellos. Además, se ha observado que la temperatura disminuye el poder de atracción eléctrica entre los cuerpos. Este fenómeno sugiere que la interacción eléctrica entre dos cuerpos es influenciada por la distancia y las condiciones ambientales, como la temperatura.

En el caso de exponer al contacto a las piedras magnéticas, William Gilbert expresaría que dichas piedras magnéticas serían repelidas más lentamente que atraídas, a diferencia de la descripción del comportamiento de dos piedras magnéticas expuestas por sus polos iguales, es decir que se encuentran enfrentados, como una disposición a unirse en armonía y no como una repulsión mutua. De esta manera no existiría algo llamado antipatía magnética, debido a la no atracción. La cópula magnética sería un movimiento de la piedra magnética y del hierro, no la acción de uno solo de ellos: una acción conjunta, más que una simpatía. La antipatía magnética

sería inexistente, ya que se produciría un giro completo de las extremidades mediante la acción conjunta en la búsqueda de la unidad. (Gilbert 1958)

Gilbert, al buscar hacer una distinción entre los dos fenómenos, argumentaría que tanto la electricidad estática como el magnetismo no están ocultos en el sentido de ser acciones fuera de la física. Más bien, sostendría que ambos pueden explicarse mediante fundamentos físicos sólidos. En este sentido, la atracción y repulsión observadas en ambos fenómenos se explicarían a través de principios físicos bien establecidos, permitiendo una comprensión detallada de los mismos. De esta manera, Gilbert exponen que existen dos consideraciones asociadas a los fenómenos eléctricos y magnéticos. La primera consideración, la expone como un mundo dividido en magnético y no magnético, y las sustancias susceptibles a la fricción deben dividirse en eléctricas y no eléctricas. La siguiente consideración, expone que las sustancias magnéticas serían productos puros de la tierra y se atraerían entre sí mediante el efecto de la cópula magnética. Ahora, las sustancias eléctricas serían fluidos solidificados y exhibirían su atracción cuando se enfrenten a la fricción. (Gilbert 1958)

Surge una importancia de unificar los conceptos magnéticos y eléctricos, dado que en uno de ellos solo se evidencia la atracción, como lo es en el efecto eléctrico, mientras que en el efecto magnético se evidencia la cópula magnética.

En todos los cuerpos del mundo se establecen dos causas o principios, a partir de los cuales se producen los cuerpos, asunto Es molde. Los movimientos eléctricos adquieren el poder de asunto, pero los magnéticos principalmente de molde. Se diferencian mucho entre sí, siendo uno más eficaz y ennoblecido por muchas virtudes, el otro insignificante, con un poder menor confinado dentro de ciertas barreras y por esta razón tal poder a veces puede ser estimulado por fricción, hasta generar un calor débil en el material y así llegue a liberar un efluvio adquiriendo el cuerpo cierto grado de pulimento. (Gilbert 1958)

El término 'efluvio' se relaciona con el efecto del contacto, siendo aplicado especialmente al fenómeno observado con el ámbar. Esta definición le permitiría a William Gilbert sostener que la acción eléctrica no era una fuerza oculta, sino más bien un fenómeno que surgía del contacto directo.

Para Gilbert el fenómeno de atracción que existe entre los cuerpos electrificados ocurre por la excitación producida por el calor que ejerce la fricción. Esta condición es propia de los cuerpos eléctricos, que atraen a los demás, mientras la electricidad se disipa, en su capítulo dedicado a los objetos que atrae el ámbar concluyó que el fenómeno de la electrificación era momentáneo, cosa contraria con el fenómeno del magnetismo ya que era un efecto natural y que a su vez ocurren en una atracción mutua. (Gilbert 1958)

2.2. Los primeros conceptos de materiales conductores y aislantes.

Después de los trabajos realizados por Gilbert muchos experimentadores comenzaron a trabajar acerca de los fenómenos de electricidad, entre ellos Otto Von Guericke (1602 – 1686) quien creó un dispositivo capaz de generar electricidad. El dispositivo consistía en un globo de azufre que se movía sobre su propio eje, de esta manera Otto quería simular el movimiento de la Tierra.

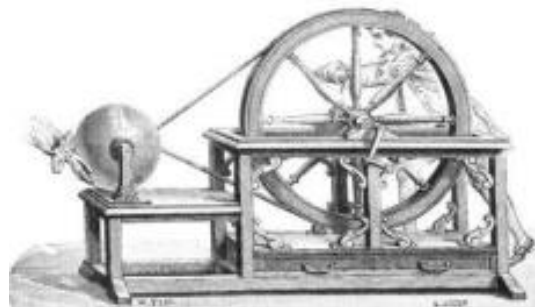


Imagen 1 tomada de (www.sutori.com)

Maquina propuesta por Otto para simular el movimiento de la Tierra.

Al frotar el globo de azufre notó que una pelusa (entiéndase como pelusa un pequeño fragmento de pelo o lana) que de casualidad se encontraba cerca del globo, esta se atraía y al instante se repelía, a lo que Otto le atribuiría a la de afinidad de los dos cuerpos. Pues recordemos que en los trabajos elaborados por Gilbert no se describe que los materiales que se repelen ocurrían en las acciones de electricidad. Aunque Otto logra atribuirle algunas virtudes a la tierra como lo sería la virtud conservadora y la virtud expulsiva, siendo la única asociada a la electricidad. (Cardoso, 2015)

El siguiente experimentador en elaborar un instrumento que pudiese generar electricidad fue Francis Houksbee (1666 – 1713), pues gracias al trabajo hecho por Otto se obtuvo una idea de cómo pudiese generar electricidad. Houksbee realizó una modificación al trabajo hecho por Otto, cambiaría el globo de azufre por uno de vidrio, el cual giraría con la ayuda de una polea, de esta manera garantizaría que el globo adquiriera mayor fricción y que al entrar en contacto con otros elementos este genere una reacción, tal como la que se generó con el mercurio, pues este llegó a producir un destello de luz. Fenómeno que inmediatamente fue asociado a la electricidad, pues es generado mediante la fricción. (Cardoso, 2015)

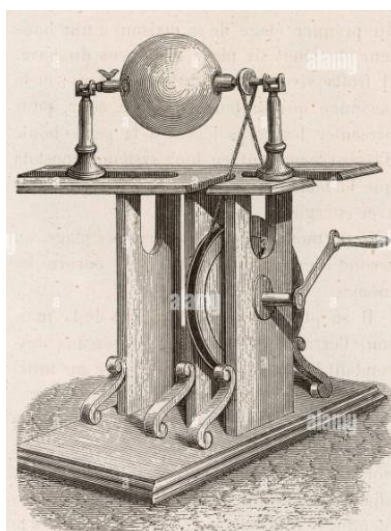


Imagen 2 tomada de <https://prints.alamy.com>

(maquina usada por Francis Houksbee, para generar electricidad mediante fricción)

Poco tiempo después los experimentos de Stephen Gray (1666 – 1736) mostraron que la carga de cuerpos electrificados se podía transportar a otros cuerpos utilizando otro material el cual debía ponerlos en contacto. (Poveda, 2003)

Los trabajos de Gray fueron contribuidos desde el empirismo de la experimentación, los cuales entraron a ser parte de los movimientos filosóficos de la época, ya que toda teoría estará asociada a una experimentación, la cual satisfaga lo dicho.

En el camino del estudio de la electricidad, la experimentación de Stephen Gray marcará un hito significativo. Sus investigaciones señalarán una nueva comprensión de los aspectos fundamentales necesarios para la generación y conducción de la electricidad. En particular, su descubrimiento de la conductividad eléctrica y su distinción entre conductores y aislantes serán cruciales. Estos hallazgos proporcionarán una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la electricidad, allanando el camino para avances adicionales en el entendimiento y aplicación de este fenómeno fundamental.

Muchos de los trabajos de Gray fueron objeto de plagios, pues la condición económica de Gray no era favorable, que le diera la relevancia y la creencia de la palabra. Gray plasmó en una serie de cartas los experimentos que realizaba, estas cartas eran dirigidas a la Royal Society, de allí que dichas cartas llegaran a Houksbee, pues en su momento era quien se encontraba trabajando en temas de electricidad, de esta manera, él los publicaba como propios. Luego de la muerte de Newton la dirección de la Royal Society cambió, esto le permitió que Gray enviara una nueva carta explicando tal vez su mayor experimento y que se le atribuyeran los experimentos ya realizados. (Cardoso, 2015)

En esta carta explicaba los conceptos y las características de los cuerpos electrificados y los no electrificados, adicional la virtud atractiva de los cuerpos. Fue Stephan Gray el primero en intentar en electrificar un metal, mediante la fricción, el cual no obtuvo la respuesta esperada. Seguido optó por electrificar un tubo de vidrio hueco, este logró adquirir la capacidad de atraer otros materiales. Ahora Gray cierra el tubo en los extremos para obtener un mejor resultado, pero dicha mejora en el resultado no fue obtenida. (Cardoso, 2015)

En ese momento, Gray notó algo sumamente peculiar, uno de los corchos situados en el extremo del tubo tenía la habilidad de atraer una pluma. Sin embargo, en un intervalo de tiempo determinado, también era capaz de repelerla. Esto ocurría cuando se generaba fricción sobre el tubo, lo que provocaba que el corcho en su parte plana adquiriera la propiedad atractiva. En este contexto, Gray pudo determinar que el vidrio había transmitido esta cualidad de atracción al corcho. Para Gray, resultó sorprendente descubrir que el corcho también tenía la capacidad de repeler la pluma, ya que hasta ese momento no se había observado el fenómeno de repulsión eléctrica en ese contexto. Gray especuló que esta acción podría deberse a la antipatía entre los materiales o incluso a un fenómeno mecánico. Gray relaciona la antipatía la falta de atracción entre dos objetos, que se encuentran cargados de la misma manera. (Gray 1731)

Gray continuó desarrollando experimentos de este corte, para así determinar cuáles materiales tendría la misma capacidad de transmitir la virtud eléctrica o el mismo comportamiento de repeler.

El objeto de estudio de Gray se centraba en determinar las distancias a las cuales un cuerpo podía adquirir la carga eléctrica. Para ello, desarrolló un montaje experimental que consistía en un tubo de vidrio que era cargado mediante frotación para adquirir la carga eléctrica. Luego, la carga eléctrica era transferida a una bola de marfil a través de un alambre. Esta bola de marfil estaba suspendida por el mismo alambre, que a su vez estaba sujeto a una puntilla clavada en el techo.

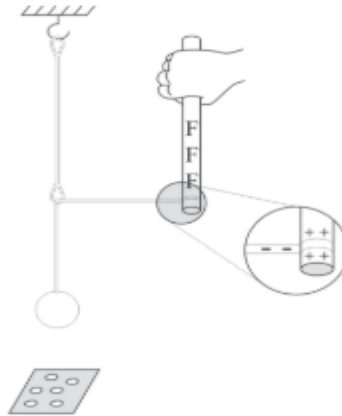


Imagen 3 tomada de "A history of rescue and philosophical studies of Stephen Gray"

(experimento de Stephan Gray, para cargar cuerpos a distancia)

A pesar de sus esfuerzos experimentales, el estudio de Gray no arrojó resultados concluyentes. Incluso al variar la longitud del alambre o del tubo de vidrio, no se obtuvieron resultados significativos. Sin embargo, Gray concluyó que la carga eléctrica debía haber ascendido hacia la puntilla. Por lo tanto, la bola de marfil no alcanzó la carga eléctrica debido a este fenómeno. (Gray, 1731)

Al no obtener respuesta de lo esperado, Gray toma la decisión de comentar el trabajo que estaba realizando a Graville Wheler (1701 – 1770) quien fuese miembro de la Royal Society, Wheler le sugiere que en vez de una puntilla ponga dos para que luego ate un hilo de seda a cada extremo de las puntillas, para que así no escape la virtud eléctrica, pues el diámetro del hilo de seda será más pequeño y así la virtud no escapara. Ahora, el alambre que transporte la virtud eléctrica pase por encima de dicho hilo de seda, de esta manera la virtud no se fugara. Esta vez el resultado fue positivo, la bola de marfil adquirió la virtud eléctrica. (Assis, 2011)

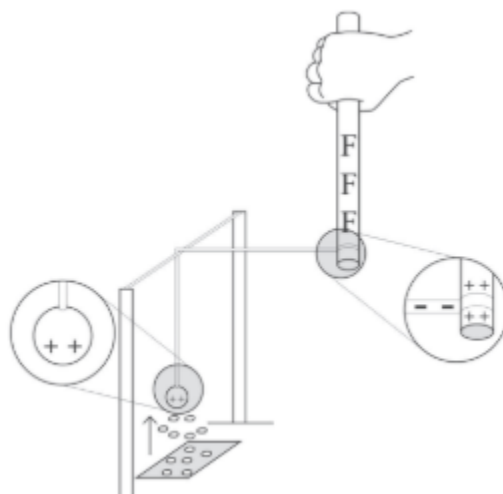


imagen 4 obtenida de “A history of rescue and philosophical studies of Stephen Gray” (experimento de Gray con la intervención de Wheler, para cargar cuerpo gracias a un medio físico)

Seguido, Wheler y Gray determinaron cambiar el material de la seda, pues era un material demasiado frágil, de esta manera usaron hilo de cobre y latón. En este caso el resultado no fue el esperado con el de la seda, pues la virtud no llegó a la bola de marfil. Al obtener este resultado Gray determinó que la condición de que la virtud sea transportada no depende del diámetro, pues el diámetro del cobre y el latón eran iguales al de la seda. (Assis, 2011)

De esta manera, Gray logra concluir que existe materiales que permite la conducción de la virtud eléctrica, mientras que hay otros materiales que no permite que la virtud pase. Ahora la

nueva terminología para los materiales que permita el paso de la virtud eléctrica será conductores y para los materiales que no permita el paso de la virtud eléctrica será aislantes. (Cardoso, 2015)

Adicional notó que no necesitaba una línea de conducción para que el efluvio eléctrico sea transportado, pues logro identificar que existía la acción a distancia en la electricidad, esto le permitió identificar que cuerpos eran conductores y cuales no lo eran, mediante la acción a distancia. (Cardoso, 2015)

2.3. La aparición de dos tipos de electricidad, gracias a la repulsión.

Hasta el momento, el estudio por los fenómenos eléctricos no contaba con una definición del todo concreta, pues no se había podido dar una definición lo suficientemente argumentada para hablar acerca de la repulsión. Para Hauksbee la atracción era consecuencia de los efluvios eléctricos, los cuales eran los causantes de la atracción y a su vez de la repulsión. Pero la definición no era del todo sostenida bajo la argumentación.

En 1733, los trabajos realizados por Gray y Hauksbee le sirvieron de motivación a Charles Du Fay (1698 – 1739), quien fuese un miembro más de la Royal Society. Al sentir la motivación por el estudio de la electricidad, Du Fay tuvo la oportunidad de leer los trabajos acerca de los fenómenos eléctricos, los cuales carecían de una claridad acerca del fenómeno de la repulsión. Estos escritos le causaron gran intriga y motivación por el estudio de la electricidad, lo cual llevo a Du Fay ha replicara los experimentos ya realizados, para dar su propia definición de la atracción y la repulsión y así definir la naturaleza de la electricidad.

En su primera carta dirigida a la Royal Society, Du Fay presenta una discusión sobre la virtud eléctrica, la cual define como una fuerza general que subyace a los fenómenos de atracción y repulsión. Según él, esta fuerza única es la responsable de manifestar ambos comportamientos

en los cuerpos electrificados. Du Fay profundiza en la naturaleza de la repulsión y la atracción entre estos cuerpos, señalando que la repulsión no es un fenómeno constante. En ocasiones, un cuerpo que inicialmente es atraído puede, después de un tiempo, no experimentar repulsión, mientras que en otros casos sí lo hace. (Du Fay, 1733)

El aporte principal de Du Fay radica en su intento por ofrecer una explicación al fenómeno de la repulsión eléctrica, aunque reconoce la complejidad y la variabilidad de este comportamiento en sus observaciones.

Una de las réplicas experimentales hechas por Du Fay, fue utilizando una hoja de oro sobre un cristal, que, al momento de acercarle un tubo de vidrio electrificado por la parte inferior del cristal, haría que las hojas de oro comenzaran a levitar, esto se debía a la acción de repulsión. Este experimento le permitió atribuirle esta acción a la repulsión eléctrica, sosteniendo que la separación de cuerpos es un fenómeno eléctrico. Du Fay expone como justificación de la repulsión que los cuerpos menos electrificados se sentirán más atraídos, por aquellos cuerpos que se encuentran más electrificados, adicional expone que los cuerpos eléctricos tienen la capacidad de atraer a los cuerpos que no son eléctricos y repele a todos los cuerpos que fueron electrificados, por la comunicación de la virtud eléctrica. (Du Fay, 1733)



Elaboración propia de la imagen 5 (experimento de Du Fay, con el cual hizo la primera definición de repulsión eléctrica. Las láminas de oro serán los cuadros amarillos y el tubo de vidrio el rectángulo azul. En el primer caso las láminas caen sobre el tubo, en la mitad estas láminas adquieren la carga del tubo y por último estas se repelen, debido al tipo de carga adquirida)

Du Fay continúa elaborando experimentos, los cuales le permiten afianzar la idea de repulsión eléctrica, de esta manera replica el experimento elaborado por Otto, el cual consistía en la electrificación de un tubo de vidrio al cual le dejaría caer una hoja de oro. Al momento en el que la hoja toca el tubo, esta adquiere la condición eléctrica, de esta manera hace que la hoja inmediatamente sea repelida por el tubo. Esta repulsión la describe como si la hoja entrara en un torbellino eléctrico, pues inicialmente la hoja de oro no cuenta con condiciones eléctricas. Durante el experimento, cuando la hoja se encuentra en el torbellino, Du Fay opta por tocar la hoja. Nota que la hoja pierde las condiciones eléctricas, inmediatamente la hoja caerá de nuevo al tubo, de esta manera la hoja adquirirá de nuevo la condición eléctrica del tubo y entrará nuevamente en el torbellino eléctrico, experimentando la acción de repulsión. (Du Fay, 1733)

Du Fay a descubierto que los cuerpos que inicialmente no cuentan con la virtud eléctrica, serán atraídos por los cuerpos electrificados, al entrar en interacción con el cuerpo electrificado, bien sea por contacto o por proximidad, este adquiere la virtud eléctrica e inmediatamente será repelido. Con base a ello agrego que, dado que dos cuerpos entran en contacto y en donde uno de ellos cuenta con la virtud eléctrica, otorgara la misma virtud eléctrica, de esta manera se vuelven cuerpos eléctricos, el cual será repelido por quien le otorgaron la virtud eléctrica. (Du Fay, 1733)

Los grandes hallazgos de Du Fay, lo llevaron a motivarse más por el tema. De esta manera, continuó desarrollando experimentos que le permitirán fortalecer los argumentos acerca de la repulsión eléctrica.

En la búsqueda por fortalecer los argumentos de la repulsión eléctrica Du Fay desarrolla un experimento con dos láminas de oro, las cuales se encuentran separadas por un tubo de vidrio electrificado, este tubo de vidrio les otorgó la virtud eléctrica a las láminas de oro, lo cual haría

que estas dos se separaran. De esta manera comprobaría que la repulsión entre cuerpos eléctricos existe.

Así pues, Du Fay afianzaría lo descubierto por él, “los cuerpos se repelerán al conducir la virtud eléctrica la cual es otorgada por un cuerpo electrificado a aquel que no se encuentra electrificado”. (Du Fay, 1733)

El experimento no culminaría de esta manera, pues Du Fay realizaría algo simple, tan simple que hasta el momento no se le había ocurrido a ningún otro filósofo natural. Du Fay cambiaría el vidrio por otro tipo de material eléctrico, esto lo haría para comprobar que la repulsión existe y que se da solo sobre el cuerpo que otorga la virtud eléctrica. Al cambiar el vidrio por una barra de resina, el resultado obtenido fue algo sorprendente, pues las láminas no presentaron una repulsión, sino todo lo contrario las láminas fueron atraídas hacia la barra de resina. Lo sucedido llevo a Du Fay a realizar una variedad experimentos con materiales eléctricos, para así poder determinar qué fue lo que sucedió anteriormente.

De esta, Du Fay llegó a una conclusión crucial en su estudio de la electricidad: identificó la existencia de dos tipos distintos de electricidad, a las que denominó "vítrea" y "resinosa". Sus experimentos con diversos materiales eléctricos le permitieron observar patrones consistentes: cuando objetos de electricidad vítrea (como piedras preciosas, cristales, pelo de animal y lana) entraban en contacto, se repelían entre sí, mientras que al entrar en contacto con materiales de electricidad resinosa (como ámbar, papel, goma, hilos y seda), se atraían. Sin embargo, también notó que los objetos cargados con electricidad resinosa se repelían entre sí al entrar en contacto. Estas observaciones sentaron las bases para una comprensión más profunda de los fenómenos eléctricos. (Du Fay, 1733)

La caracterización de Du Fay de dos tipos de electricidad proporciona una mejor comprensión de los diferentes fenómenos que ocurren en ella, como la atracción y la repulsión. Además, ofrece un método para caracterizar los materiales eléctricos. Este método implica exponer un material no caracterizado a un material ya caracterizado con respecto a su tipo de electricidad, como el vidrio o el ámbar. Supongamos que, al acercar el material no caracterizado al vidrio, se produce atracción; en este caso, estaríamos hablando de un material con propiedades eléctricas resinosas. Por otro lado, si al acercarlo se produce repulsión, entonces estaríamos frente a un material con propiedades eléctricas vítrea. Este enfoque de clasificación facilita la identificación y comprensión de los comportamientos eléctricos de diferentes materiales, lo que es fundamental para avanzar en el estudio y la aplicación de la electricidad.

2.4. El fluido eléctrico y el principio de la carga.

El efecto de repulsión le sirvió a William Watson (1715 – 1787) como objeto de estudio, para describir la polaridad de la electricidad, la cual la denominaría como la carga más y menos, de allí que los trabajos desarrollados lo motivara para escribir un libro, titulado “Nature and Properties of Electricity”, en donde plasmó experimentos, tales como encender materiales inflamables con ayuda de la electricidad. (Poveda, 2003)

Watson quería desarrollar un caso similar al sucedido en Alemania, en el que se utilizaba la electricidad para encender un material inflamable. Al no tener un resultado positivo le otorgó esta un factor negativo en el clima, al cual le atribuyó la causa de su fracaso. Para Watson contar con un aire seco sería de mayor utilidad para que funcione los efectos eléctricos. (Watson, 1745)

Los intentos de Watson por lograr un experimento exitoso lo han llevado a enfocarse en los días secos, ya que en los días húmedos el aire contiene partículas de agua, como lo señaló el Dr.

Defaguliers. El agua actuaría como un conductor, lo que podría alterar el experimento. Este experimento se centra en lograr que el fuego eléctrico tenga la capacidad de encender un elemento mediante el espíritu. Watson hace referencia al fuego eléctrico debido a que los cuerpos frotados experimentan un cambio en su temperatura, lo cual permitiría que, a través del espíritu, es decir, la chispa, se encendiera alguna sustancia inflamable. Esta chispa es el efecto de la repulsión entre los cuerpos, que se encuentran cargados, provocando la descarga de los mismos. (Watson, 1745)

Además, Watson replicó el experimento, ya realizado previamente por los filósofos naturales Gray y Du Fay, el de la pluma repelida por el tubo. Watson argumenta que el fenómeno de repulsión entre la pluma y el tubo cesará una vez que el tubo libere su fuerza de excitación o cuando la pluma absorba la humedad del aire. De esta manera, Watson llega a la conclusión de que los cuerpos electrificados experimentan un esfuerzo constante por descargar su electricidad. (Watson, 1745)

Los trabajos desarrollados por Watson, fueron de gran interés para Benjamín Franklin (1706 – 1790), quien realizó una serie de análisis al fenómeno de la electricidad, se enfocaría en buscaba el cómo y no el porqué de la electricidad. (Poveda, 2003)

Franklin plantea un experimento, que le permita atraer rayos de la atmósfera y así demostrar que los rayos de las nubes estarían relacionados con la electricidad y si es así demostrar que la electricidad se comporta como un fluido. Primero, Franklin planteó atraer el fuego eléctrico de las nubes con una vara puntiaguda, para así demostrar que los rayos eran fenómenos relacionados con la electricidad, adicional que este también se comportaría como un fluido. Al no obtener respuesta de la primera idea, Franklin utiliza una cometa, que hace llegar hasta las nubes y comienza a notar que de la cuerda de la cometa se levantan unos pequeños pelitos, a los cuales le acerca el dedo,

esto hace que se genere unas pequeñas chispas, de esta manera su experimento tiene éxito. (Pelkowski, 2006)

Con lo obtenido anterior mente Franklin logra relacionar los fenómenos eléctricos con los fenómenos de los rayos de las nubes y demostrar que se comportan como un fluido, pues estos se dirigen por la cuerda de la cometa.

Posteriormente, al confirmarse que los rayos eran fenómenos de descargas eléctricas, se interpretaron como una relación entre electricidad y magnetismo. Guiado por esta idea, Benjamín Franklin, logró magnetizar agujas mediante descargas eléctricas provenientes de botella de Leyden. (entiéndase como una botella de Leyden como uno de los primeros artefactos capaces de almacenar carga eléctrica, producida por fricción). Al poseer carga este artefacto Franklin optaba por acercarlos a unas agujas y evidenciaba como entre la botella y las agujas se producía una pequeña chispa, algo similar a los rayos, de esta manera lograba magnetizar las agujas. Aunque hoy en día esto podría parecer una evidencia experimental clara de la relación entre electricidad y magnetismo, en aquella época la situación no era tan clara, como se evidencia en un análisis detallado de los estudios de Franklin. (Magarotto, 1805)

Franklin estaba al tanto de que, durante las tormentas, las brújulas de los barcos a veces invertían su magnetización. Sus experimentos para investigar estos fenómenos consistían principalmente en producir descargas eléctricas a través de agujas de acero, algunas inicialmente no magnetizadas, para observar si la descarga causaba la magnetización, y en otros casos mediante agujas previamente magnetizadas, para observar si la descarga cambiaba la polaridad. (Magarotto, 1805)

Sin embargo, los experimentos de Franklin no arrojaron conclusiones definitivas. La variedad de resultados obtenidos no permitió demostrar que una descarga eléctrica fuera la única causa de la magnetización de una aguja, ya que surgieron hipótesis de que el calentamiento de la aguja podría ser la causa de la imantación, pero para probar esta hipótesis se necesitaban descargas de mayor intensidad, y en algunos casos, lo que se observaba era que la aguja se fundía.

Basándose en las ideas newtonianas, Franklin concibe la electricidad como un fuego eléctrico, término definido previamente por Watson, al que se le atribuiría el comportamiento de un fluido. En consonancia con esta perspectiva, Franklin describe que la electricidad emana de los cuerpos y tiene la capacidad de permeabilizarlos por completo. Según esta visión, el fuego eléctrico no sería el resultado del roce entre cuerpos, sino que estaría intrínsecamente ligado a las propiedades de los materiales, pudiendo ser almacenado en los cuerpos, a su vez este no sería creado ni destruido por sí mismo. (Magarotto, 1805)

Según la perspectiva de Franklin, la electricidad es de un solo tipo, lo que significa que no existen distinciones entre la electricidad vítrea y la resinosa. Él conceptualiza la electricidad como un fluido que puede llenar todo un cuerpo o no hacerlo completamente. Cuando un cuerpo está saturado con este "fuego eléctrico", se dice que está cargado positivamente, ya que su capacidad para adquirir carga está completamente satisfecha. Por otro lado, si el "fuego eléctrico" no puede llenar por completo el cuerpo, este experimentará un déficit de electricidad y se considerará cargado negativamente. Esta interpretación unificada de la electricidad propuesta por Franklin simplifica el entendimiento de los fenómenos eléctricos al reducir la complejidad de las clasificaciones múltiples.

De esta manera, los cuerpos que se logran atraer o que se logren repeler, será consecuencia por el déficit de electricidad (negativa), la cual comenzará a interactuar con aquel cuerpo que posee

el exceso de electricidad (positivo), estos cuerpos tendrán la capacidad de formar una atmósfera eléctrica, consecuencia del exceso de la carga positiva. La cual permitirá que los cuerpos con electricidad negativa y los cuerpos con electricidad positiva se entrelacen. (Magarotto, 1805)

Así pues, Franklin asocia el concepto de carga eléctrica, caracterizando la carga positiva a los cuerpos con exceso de fuego eléctrico y la carga negativa a los cuerpos con déficit de fuego eléctrico. Franklin fundamenta esta asociación basándose en la capacidad que poseen los cuerpos para adquirir o retener el fuego eléctrico.

Durante sus experimentos, Franklin observó que en los objetos puntiagudos que estaban electrificados, era más fácil generar chispas. A partir de esta observación, pudo describir el concepto de la distancia de descarga, que definió como la capacidad de un cuerpo con una carga eléctrica para producir una chispa a través del aire. Estas chispas eran el resultado de la interacción entre cuerpos con una carga mayor y cuerpos con una carga menor. (Magarotto 1805)

Franklin al determinar la existencia de dos tipos de carga, una negativa y otra positiva, y a partir de esta observación se pudo atribuir que los cuerpos cargados podrían atraerse o repelerse entre sí. Por ejemplo, si dos cargas positivas están presentes, se repelerán debido a la atmósfera eléctrica que estas cargas crean. Aunque Franklin no logró determinar la causa exacta de la repulsión entre cargas negativas, sí describió este fenómeno. En el caso de tener una carga positiva y otra negativa, estas deberían atraerse mutuamente. Además, los cuerpos que no posean ninguna de estas dos cargas, es decir, los cuerpos que no están cargados, podrían ser atraídos tanto por cargas positivas como por cargas negativas

Los cuerpos pueden adquirir carga a través de varios procesos. Uno de ellos es la carga por fricción, donde dos cuerpos, como un trozo de lana y una varilla de plástico, se frotan juntos.

Durante este proceso, la lana transfiere carga al plástico debido al contacto, y la cantidad de carga transferida depende de los materiales involucrados.

Otro método es la carga por conducción, que implica el contacto de un cuerpo cargado, ya sea positiva o negativamente, con un cuerpo sin carga. Esto hace que el cuerpo sin carga adquiera la misma carga que tenía inicialmente el cuerpo cargado.

Por último, la carga por inducción es un proceso en el que un cuerpo afecta la carga de otro sin que haya contacto directo entre ellos. En este proceso, se observa una distribución de carga que puede ocurrir a una distancia considerable, determinada por la intensidad de la carga. (Hecht, 1998)

Conociendo los tipos de carga y la interacción que existe entre ellas, se podrá concluir que la interacción que existe entre dos o más cargas, deberá estar relacionado con la experimentación de una fuerza de repulsión o de atracción, esta será según sea el tipo de carga (positiva o negativa), de este modo la fuerza que las cargas experimente se denominara como fuerza eléctrica. La medición de este tipo de fuerza, fue realizada por Charles Coulomb (1736 – 1806) durante un experimento utilizando una balanza de torsión. Para llegar al desarrollo de dicho experimento Coulomb se sintió atraído por los trabajos desarrollados por Jean Nollet (1700 – 1770) cuando Coulomb trabajo como asistente, pues el campo disciplinar de Coulomb era la ingeniería. (Falconer, 2004)

Aunque las ideas de Coulomb no coincidían con las de Nollet, pues Nollet para determinar la fuerza eléctrica, las describe en términos de contacto directo entre corpúsculos de materia, solo cuando estos se encontraban en movimiento, adicional Nollet nombró que los cuerpos eléctricos estaban rodeados por atmosferas eléctricas, las cuales se producían cuando las cargas entraban en movimiento. (Falconer, 2004)

De esta manera los planteamientos de Nollet no eran del todo correctos, pues las ideas de Coulomb eran más del corte newtonianas, él optaba por las ideas de la acción a distancia.

Uno de los primeros trabajos de Coulomb en relación con los fenómenos eléctricos y magnéticos se centró en el magnetismo, específicamente en la acción magnética de las brújulas. Coulomb se enfrentaba al desafío de resolver el problema de la fricción de la aguja de la brújula. Para abordar esta cuestión, optó por suspender la aguja de la brújula mediante un hilo. Este enfoque le permitió observar que la aguja se movía con mayor libertad. Coulomb llegó a la conclusión de que la fuerza de torsión ejercida por el hilo era insignificante en comparación con la fuerza magnética actuante sobre la aguja. Este movimiento resultaba en un movimiento armónico simple, donde la fuerza de torsión era proporcional al ángulo de giro. (Falcone, 2004)

De esta manera, Coulomb decide hacer un experimento que le permitiese evidenciar la fuerza eléctrica. Dicho experimento consistía, en una varilla aislante suspendida por un hilo de plata, en cada uno de los extremos de la varilla se encontraban dos esferas, una de estas esferas debía entrar en interacción con una tercera esfera la cual se encontraba fija. Al electrificar ambas bolas se notaba inmediatamente la repulsión de la esfera suspendida de la esfera fija, ocurriendo la repulsión se produciría la torción del hilo de plata alcanzando un momento de reposo a una distancia discreta del origen. La medición de la fuerza necesaria para la torción del hilo para un ángulo cualquiera, ya estaba predeterminada por Coulomb, es decir Coulomb ya contaba con una serie de datos para los posibles ángulos que obtendría la balanza. (Hecht, 1998)

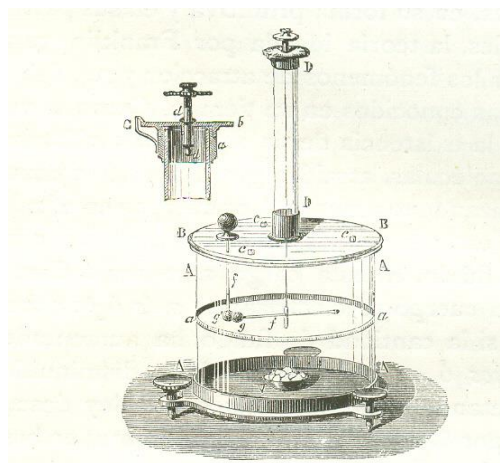


Imagen 6 tomada de estudiosdelafisica.wordpress.com (experimento utilizado por Coulomb para calcular la fuerza eléctrica)

Aunque en una de las memorias Coulomb habla solo de la atracción entre cargas de diferente tipo (positivas y negativas), el trabajo de Coulomb también se aplicable para cargas del mismo tipo (positiva, positiva y negativa, negativa). Determinó que la fuerza es proporcional al producto de las masas que posean los cuerpos electrificados, aunque nunca lo quiso demostrar y tampoco hablo de una unidad de medida para las cargas, luego se determinó que la unidad de medida para la carga sería los Coulomb. Pues siempre trabajó con supuestos de que la masa eléctrica estaba localizada y es análoga a la masa gravitacional. (Falcone, 2004)

De esta manera, Coulomb logró determinar que la fuerza eléctrica entre dos cargas del mismo tipo de electrificación estaba directamente relacionada con el producto entre ellas, a su vez, que la distancia que las separaba era inversamente proporcional al cuadrado de dicha distancia. Además, pudo establecer que cuando dos esferas idénticas, una cargada y la otra no, entraban en contacto, la carga de ambas se igualaba. Esto significa que la carga inicial de la esfera cargada se compartía con la esfera descargada, disminuyendo la carga de la esfera inicial a la mitad. A partir de estos hallazgos, Coulomb pudo concluir que la fuerza eléctrica era proporcional al producto de

las cargas de las esferas involucradas. Coulomb logró establecer una ley, la cual se debe aplicar únicamente a cargas puntuales. (Hecht, 1998)

Al entrar en consideración de las fuerzas que actúan a distancia y al modo de carga, que existe entre dos cuerpos que no entran en contacto, debe existir una explicación concreta, que permita sostener dichas teorías. La explicación soportada de dichos acontecimientos está asociada a los trabajos realizados por Michael Faraday quien fuese el primero en dar una explicación mediante las líneas de fuerza. (Berkson, 1985).

Supongamos que a un cuerpo cargado positivamente le acercamos una (carga de prueba) esfera cargada positivamente la cual debería ser repelida por el cuerpo, dicha fuerza de repulsión dependerá de que tanto acerque la esfera, en cuanto más aleje la esfera más débil será la fuerza de repulsión. La fuerza de repulsión deberá ser igual en todos los puntos circundantes. La interpretación de la fuerza eléctrica cuanto a tamaño y dirección estaría representada por un diagrama de flechas que también representarían la magnitud de la repulsión. (Hechr, 1998)

Ahora las líneas de fuerzas que se ven reflejadas en el espacio, serán la representación de un campo de fuerza eléctrico, cuantas más líneas se encuentre en el espacio mayor será el campo, ahora todo cuerpo electrizado producirá una serie de líneas de fuerza hacia el espacio, dichas líneas se convertirán en líneas de atracción o de repulsión. (Berkson 1985).

3. La electricidad, debido a la carga en movimiento.

Este capítulo describe los trabajos hechos por Ørsted, quien identificó que los efectos eléctricos generaban una perturbación en la orientación de la brújula, esta observación le permitió identificar una relación entre los efectos magnéticos y eléctricos.

El trabajo de Ørsted causó gran asombro a científicos como Ampere y Faraday. Quienes simultáneamente se encontraban trabajando en el fenómeno de la perturbación de un cuerpo magnético por efecto de la electricidad, cada uno desde una perspectiva diferente. Por el lado de Ampere se replicó el experimento con el fin de establecer lo sucedido en la desviación de la aguja de la brújula. Mientras que por parte de Faraday buscaba la naturaleza del efecto sucedido.

Los trabajos de Ampere y de Faraday llegaron a grandes conclusiones, las cuales permitieron llevar a la electricidad a un escalón más alto, esto debido a las definiciones y demostraciones realizadas. De esta manera se constituyó la relación entre los efectos eléctricos y magnéticos.

3.1. La relación de la corriente eléctrica y el magnetismo.

Según lo dicho en el capítulo anterior, en el cual se habla de cargas puntuales o de cargas estáticas, ahora si entramos en consideración, que las cargas experimenten un movimiento y así que estas pudieran fluir como agua, se obtendría una energía, que sería la causa de realizar un trabajo, este flujo de carga se conoce como corriente. En términos de campo podemos decir que la cantidad de corriente debe ser directamente proporcional al campo que fluye y que toda corriente genera un campo magnético alrededor de esta corriente, estas conclusiones fueron hechas por André Ampere. En conceptos más claros la corriente está dada por la cantidad de carga que fluye en un intervalo de tiempo.

Ahora para encontrar fuentes de corriente, se debe obtener una cantidad de carga fluyendo, hasta el momento se tenía corrientes en forma de chispas o se tenía una serie de generadores con la capacidad de producir, voltajes altos pero corrientes bajas, para generar corrientes altas sería necesario almacenar la carga. Esto llevó a tener instrumentos que permitieran el almacenamiento de carga (capacitores o condensadores). (Hecht, 1998)

Continuando con las ideas de Ampere, es necesario hablar de los trabajos hechos por Christian Ørsted (1777 – 1853), pues estos trabajos desviaron toda la atención de Ampere por la electricidad.

El trabajo de Ørsted se centraba en la conducción eléctrica a través de un alambre conductor, lo cual tenía el efecto de desviar la aguja de una brújula cuando se colocaba sobre dicho alambre conductor por el que circulaba una corriente eléctrica. Cuando la corriente dejaba de fluir, la aguja volvía inmediatamente a su posición normal. (Ørsted, 1820)

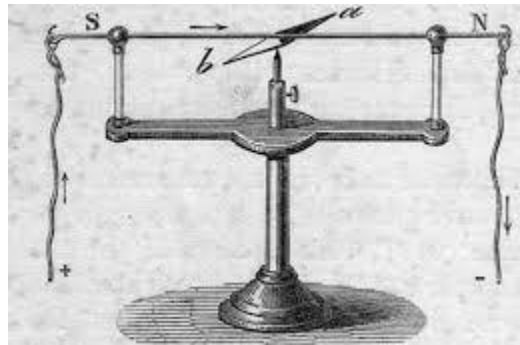


Imagen 7 tomada de www.timetoast.com (experimento de Ørsted con el que describe la relación entre la electricidad y el magnetismo)

Este experimento lo realizó mientras dictaba una clase de electricidad y magnetismo, trabajo hecho en 1820. El experimento le permitió describir, la posible relación entre la electricidad y el magnetismo. (Hecht, 1998)

Los trabajos de Ørsted se fundamentan en la representación de dichos acontecimientos de la desviación de la aguja, pues se daría bajo la idea de un nuevo concepto, de allí que se encontrarían asociadas dos teorías con algo de similitud, pero que hasta el momento no estarían relacionadas entre sí. Ahora, se podría implementar la idea de campos magnéticos, como justificación del acontecimiento. (Hecht, 1998)

Ørsted para respaldar el descubrimiento, busca una justificación sólida. Por lo tanto, procede a replicar el experimento para obtener una explicación más detallada y precisa de los acontecimientos. De esta manera, utilizará una pila voltaica, un cable conductor y una aguja magnetizada suspendida sobre el cable, que al momento de pasar la corriente eléctrica por el cable conductor se evidencie un fenómeno similar al observado con la brújula. Esto lo lleva a Ørsted describir una serie de resultados de la siguiente manera:

- ❖ La dirección del cable deberá coincidir con la dirección de la aguja, de hacer circular la corriente, cuando esta comience a circular se tiene una desviación, entre la aguja y el cable, formando así un ángulo entre la aguja y el cable conductor. Este ángulo deberá variar con la intensidad de voltaje y la distancia que existe entre ambos en esa posición.
- ❖ Si la aguja se coloca en el extremo opuesto, es decir, en una posición contraria a la anterior, su ángulo de desviación será menor que en el caso anterior. A pesar de esta diferencia, la aguja se desviará en la misma dirección que en el caso anterior, aunque con un ángulo reducido. Este resultado llevó a Ørsted a concluir que la desviación de la aguja no estaría asociada a la atracción o la repulsión que experimenten.

- ❖ Aunque se cambie la naturaleza de los materiales conductores los resultados serán los mismos, esto lo llevó a concluir al utilizar diferentes materiales conductores, además no existirá algún dieléctrico que impida la alteración entre la aguja y el cable. Aunque se ponga la aguja debajo del cable conductor, dicho efecto seguirá siendo igual, no se experimentará un hecho contrario.
- ❖ La aguja debe ser netamente de un material con condiciones magnéticas, no se podrá aplicar en materiales aislantes. (Ørsted 1820)

Ørsted define que lo sucedido no se podrá explicar mediante los modelos y métodos de electricidad. Dado que la explicación para los fenómenos observados en los polos norte y sur, relacionados con la electricidad negativa y positiva. Sugiere que la electricidad negativa se mueve en una línea espiral que se curva hacia la derecha, afectando al polo norte, mientras que la electricidad positiva se mueve de manera opuesta y afecta al polo sur, es decir que la electricidad actúa como si tuviese condiciones magnéticas, siendo la electricidad negativa el polo sur y la electricidad positiva el polo norte. Para lo cual concluye.

“Todos los efectos mencionados anteriormente sobre el polo norte se entienden fácilmente, suponiendo que la electricidad negativa se mueve en una línea espiral que va doblando hacia la derecha e impulsa al polo norte, sin actuar sobre el polo sur. Los efectos sobre el polo sur se pueden explicar de un modo similar, si le atribuimos a la electricidad positiva un movimiento contrario y el poder de actuar sobre el polo sur, sin afectar al polo norte”
(Ørsted 1820)

De la definición anterior se dirá que la corriente toma una dirección, que será la influencia para que la aguja tome una desviación, con respecto al alambre. Con los trabajos de Ørsted tomaría mayor relevancia lo estipulado con anterioridad por Franklin.

Ørsted durante su formación académica siempre ha estado influenciado por la teoría eléctrica, llegando a determinar una hipótesis acerca de la electricidad en 1806, es decir antes de su experimento, describiendo lo como el conflicto eléctrico:

“Cuando comencé mis investigaciones acerca de la naturaleza de la electricidad, concebí la idea de que la propagación de la electricidad consiste en una incesante perturbación y restauración del equilibrio y que de este modo incluye una abundante actividad que no está prevista si se la considera como una corriente uniforme. Por lo tanto, consideraré a la transmisión de electricidad como un conflicto eléctrico y me encontré inducido a mostrar que dos fuerzas eléctricas opuestas en un conductor calentado por su acción, se combinan entre sí y de este modo escapan a toda observación. Pero, sin embargo, incluso después de haber alcanzado un perfecto equilibrio, siguen manifestando gran actividad que ya no puede llamarse propiamente eléctrica.” (Ørsted 1820)

A la definición hecha por Ørsted sobre la corriente, en donde postula el término de conflicto, se podrá decir: El concepto de conflicto eléctrico surge cuando Ørsted intentaba explicar la existencia de la luz polarizada. Supuso que la polarización de la luz era de naturaleza eléctrica y postuló que la electricidad positiva y negativa siempre impregnan tanto al conductor como al espacio que lo rodea. Incluso en ausencia de una carga neta, estas cargas pueden vibrar rápidamente de un lado a otro, lo que constituye lo que él llamó conflicto. Cuando se trata de un cable incandescente, los rayos emergen del eje de tal manera que la polarización podría formar un ángulo recto con la línea perpendicular que une un punto del espacio con el eje del alambre. Por lo tanto, es posible que Ørsted estuviera buscando efectos magnéticos producidos por un alambre incandescente en una dirección transversal. Este enfoque revela cómo Ørsted estaba explorando las conexiones entre la electricidad y el magnetismo. (Berkson, 1892)

De lo anterior, podremos definir que los efectos de la polarización de la luz, entrarían hacer parte de los fundamentos del electromagnetismo, pues al asociar los efectos eléctricos a los efectos

lumínicos, determinando que la luz se podría polarizar mediante el conflicto eléctrico, al entrar en consideración que el efecto magnético y eléctrico actúen en simultaneo, formando así un efecto de polarización. Para Ørsted existían dos tipos de fluidos, uno de ellos positivo y otro negativo. De allí que los movimientos opuestos de los dos fluidos eléctricos a través de un conductor generarán algún tipo de conflicto entre las electricidades. En lugar de tener un flujo de electricidad continuo, se generará un movimiento discontinuo. En el cable conductor, la electricidad se propagará a través de una acción que perturba el equilibrio y lo restablece en el instante siguiente. La propagación de la electricidad se produce entonces en forma ondulatoria, lo que sugiere la existencia de un constante vaivén entre los dos fluidos eléctricos que se mueven en direcciones opuestas a través del conductor. Este concepto refleja la idea de que el flujo eléctrico no es simplemente un movimiento lineal, sino que implica interacciones complejas entre las cargas eléctricas en el conductor.

Al momento que Ørsted plantea el conflicto eléctrico, no lo hacía para definir la corriente eléctrica, es decir que el conflicto no es lo mismo que la corriente eléctrica, propone que la dirección para la corriente eléctrica sería netamente negativa. Por este motivo se podría justificar el trabajo realizado por Ørsted, pues la acción entre la dirección de la corriente en el medio conductor está dado por la carga negativa que actúa sobre el polo norte y no en el polo sur, sugiriendo una dirección específica y concreta para la corriente eléctrica. (Ørsted 1820)

3.2. La Electrodinámica, una definición a la corriente eléctrica

Siguiendo la línea de los trabajos de Ørsted, nos adentramos en las investigaciones realizadas por André Ampere. Ampere continuó la indagación iniciada por Ørsted, llevando a cabo experimentos similares que involucraban el paso de corriente eléctrica a través de un medio

conductor. Con estos experimentos, Ampere buscaba llegar a las mismas definiciones y conclusiones que Ørsted, pero con la ambición de expresarlas en términos matemáticos

En los trabajos replicados por Ampere, logra prever la posibilidad de medir las corrientes eléctricas, obteniendo tanto su intensidad como su dirección. Para ello, propone el desarrollo de un instrumento capaz de realizar dichas mediciones, al que denomina galvanómetro. Al llevar a cabo el experimento de Ørsted, observa que la aguja del galvanómetro se desvía al interactuar con la pila, lo que indica que la pila es capaz de conducir corriente eléctrica. Este hallazgo sugiere que la pila ya no puede ser explicada dentro del marco de la teoría electrostática, que hasta ese momento había dominado la comprensión de los fenómenos eléctricos. (Berkson, 1985)

El trabajo hecho por Ørsted fue de gran motivación para Ampere, pues él retomó la idea plasmada en la desviación de una aguja imantada, para ahora proponer un trabajo, en el cual le permite asociar la idea de que si pasa una corriente por dos cables rectilíneos se podrán atraer, al momento de conducir una corriente en el mismo sentido y que si por uno de estos pasa una corriente en otro sentido las barras se repelen. A partir de estos descubrimientos, se puede inferir que una barra recta por la cual fluye una corriente exhibirá un comportamiento magnético, comportándose como un imán. Este hallazgo lleva a la proposición de que dentro de un imán circulará una corriente eléctrica. Esta idea se extrapola entonces para sugerir que en el interior de la Tierra también circulan corrientes eléctricas, lo que permite una interacción con la aguja de una brújula y explica el fenómeno de la magnetización terrestre. (Blondel y Wolf, 2009)

Del trabajo realizado, Ampere no encuentra como definir la corriente, aunque para él sí se puede definir como un flujo de electricidad, siendo una propuesta de polarización entre las partículas del material de extremo a extremo del conductor. Para Ampere surge una diferencia entre las ideas de electricidad de tensión y electricidad de corriente, haciendo la siguiente distinción.

Siendo la electricidad de tensión la que tiene la capacidad de generar chispas y de obtener atracción y repulsión de cargas eléctricas, asociado a las condiciones electrostáticas. Ahora para la electricidad de corriente es la que se asocia a la corriente que pasa por un circuito, la cual podrá generar dos tipos de corrientes, una positiva y la otra corriente negativa, denominándola como una doble corriente, lo que podría generar la desviación de agujas magnetizadas, lo que para Ørsted sería conflicto. (Blondel y Wolf, 2009)

Ampere propone ahora una nueva rama de la electricidad, como lo es la electrodinámica, de esta manera sería él, el primero en agregar este nuevo termino.

“El nombre de acción electromagnética, que he usado aquí para adaptarme al uso habitual, puede que ya no sea adecuado para describir este tipo de interacción. Creo que se la debe denominar acción electrodinámica. Este nombre expresa los fenómenos de atracción y repulsión que caracterizan a la electricidad que se mueve en los conductores. Las acciones atractivas y repulsivas debidas a los fluidos eléctricos en reposo ya se conocen hace mucho tiempo y hay que distinguirlas de las anteriores, denominándolas acciones electrostáticas” (Ampere 1822)

Para Ampere no es suficiente definir la corriente desde las definiciones logradas anteriormente, pues estas fueron obtenidas mediante los resultados experimentales, dichos resultados no serían suficientes para definir el concepto de corriente, de allí que Ampere proponga buscar las ideas primitivas, para lograr explicar las definiciones de la corriente, las cuales deberán estar respaldadas mediante un método matemático y todo lo que subyace de este se debe explicar desde este hecho.

Para Ampere todos los fenómenos electrodinámicos, serian consecuencia de la interacción que existe entre partículas de fluidos eléctricos (cargas). Ahora el trabajo a realizar por Ampere sería realizar un formalismo de trabajos matemáticos que satisfaga y cumpla la dinámica de Newton. Pues se piensa que la corriente se debe a micro partículas propias del material. (Ampere, 1827)

Pues las propuestas realizadas por Ampere de las corrientes moleculares, estarán asociadas a las ideas de la circulación de corrientes eléctricas al interior de una barra imantada, esto debido a la condición asociada al momento de transportar una corriente por un conductor. Evidenciando la interacción de atracción entre dos cables conductores al momento de generar una corriente, entonces se podrá asociar al funcionamiento de dos imanes, definiendo su atracción o repulsión a corrientes internas dentro del material. Describe que esta sería una fuerte justificación a lo ocurrido en las siguientes definiciones:

- ❖ La atracción o repulsión entre dos polos. Asociando las ideas de las corrientes internas de los imanes, entonces al pasar las corrientes por la vara inmediatamente se formará un imán con dos polos, los cuales experimentarán la atracción y la repulsión.
- ❖ Las fuerzas de interacción que se produce entre las corrientes. Esta segunda acción permite describir que las interacciones que existe entre los imanes se deben a corrientes internas dentro de ellos, generando una acción de repulsión o de atracción, según sea el sentido de la corriente, definiendo que existe previamente a la magnetización. De esta manera puede encontrar un fundamento de las acciones entre partículas, apoyándose en las ideas newtonianas.

“es un resultado necesario de la inercia de la materia, como Newton estableció como uno de los principales fundamentos de la teoría física del universo, en el último de sus tres axiomas que enunció al comienzo de sus Philosophiae Naturalis Principia Matemática, diciendo que la acción es siempre igual y opuesta a la reacción” (Ampere, 1827)

Al mismo tiempo Ampere se encontraba trabajando y determinando los alcances de la corriente, también se encontraba trabajando Michael Faraday. Él también lo hacía partiendo del

trabajo de Ørsted, pues este trabajo cautivó la atención de los físicos del momento, Faraday no sería la excepción. Faraday quiso determinar primero que toda la naturaleza de la corriente, algo que no tuvo en cuenta Ampere. (Berkson, 1985)

Para Faraday la teoría de Ørsted entra en consideración, por el hecho de usar el término de conflicto, para describir los fluidos, además Faraday no quería seguir estudiando las definiciones ya establecidas por Ørsted y Ampere, como lo era la relación entre la corriente al pasar por un medio conductor y el campo magnético que era producido. Faraday deseaba encontrar el efecto contrario, el producir una corriente mediante un campo magnético. (Berkson 1985)

Faraday influenciado por el planteamiento de Ampere en donde determinó mediante en un experimento, en cual se tenían dos conductores rectos y se situaban de tal manera que quedaran paralelos, y que se hacía pasar una corriente en la misma dirección, estos terminaban atrayéndose, como si estos dos conductores fuesen imanes. Aunque Ampere ya había intentado determinar el efecto contrario, propuso la producción de una corriente en un anillo de material conductor, el cual se encuentra en el interior de una bobina conductora, a una distancia muy corta del anillo. Mediante este experimento determino que era imposible inducir corriente eléctrica sobre un conductor. (Ross, 1965)

Para Faraday la producción de una corriente mediante el campo magnético, no era algo ya establecido por Ampere, puesto que Ampere ya había establecido que esto no era algo que se pudiese dar. Faraday tenía la idea ya planteada de que si era posible producir una corriente por medio de un campo magnético. Tanto era la convicción de Faraday que ya contaba con una definición de inducción:

“el poder que posee la tensión eléctrica al producir un estado eléctrico opuesto en sus proximidades. Poder que pueden poseer las corrientes eléctricas de inducir algún estado particular sobre la materia en su inmediata proximidad” (Faraday 1832)

De allí que a Faraday le causo una gran curiosidad de que la corriente inducía un campo magnético, de este modo el exclamó lo anterior como si fuese una afirmación de lo que probablemente llegaría a pasar.

Los primeros experimentos planteados por Faraday lo llevaron al error, pues no lograba evidenciar que dicha acción, de inducir una corriente por medio de campo magnético fuese producida, ya que los experimentos realizados todos se realizaban con campos magnéticos provocados por una corriente. Hasta que tomó la decisión de hacerlo con el campo de un imán, el cual lo introdujo al interior de una caja, donde esta contaba con una cantidad significativa de vueltas de alambre de cobre, al momento de entrar el imán, en dicha caja pudo notar en el galvanómetro, que se encontraba conectado a la caja, notó que la aguja de este se iba hacia un lado del galvanómetro y que al sacar el imán de la caja la aguja tomaba otra dirección, en dicho medidor. Entonces Faraday considero determinar que dichas líneas de campo del imán podrán ser perpendiculares con el alambre de la caja. (Faraday, 1832)

De lo anterior Faraday pudo determinar que esta acción en la que la aguja del galvanómetro se movía hacia un lado y que de repente se detenía, debería tener efecto a las líneas de campo del imán, que entraban en la espira rectangular, entonces dichas líneas perpendiculares producirían una corriente en ambos sentidos, de tal manera que al ser un circuito cerrado esta chocaría, provocando que en algún punto esta corriente inducida se anule, y así la aguja del galvanómetro se detenga.

“Esta doble acción depende de las dos mitades de la espiral (dividida por una línea que pasa por su centro perpendicularmente a la dirección de su movimiento) que actúan en sentidos opuestos” (Faraday 1832)

Todo este trabajo lo asoció inmediatamente con la idea de líneas de campo magnético, las cuales debería variar dentro de la espira, pues notó que al dejar el imán dentro de la espira no ocurría nada. Lo anterior le permitiría hacer una hipótesis de las corrientes moleculares, a lo que también responde que no entiende como podrían funcionar las corrientes internas del imán. Idea planteada anteriormente por Ampere. (Berkson, 1985)

3.3. La dependencia del material en la corriente eléctrica.

Se conoce que la corriente es un flujo de carga, esto asociándolo a la idea molecular de la corriente. Ahora si analizamos los trabajos hechos por Simón Ohm (1789 – 1854) quien fuera un físico y matemático, y quien habría establecido que, al aplicar una diferencia de temperatura entre los extremos de una varilla conductora, esto la llevará a producir un flujo de calor, donde este será proporcional a la diferencia de temperatura que se encontraba en los extremos de la misma. Esto llevo a Ohm a pensar que pasaría lo mismo aplicando una diferencia de potencial, esperando un flujo de carga entre la varilla. Ohm empleo una diferencia de potencial con una batería voltaica por diferentes materiales, a los que le media la corriente, de esta manera logro concluir que la corriente que podía producir la diferencia de potencial dependía de los materiales, del área y la longitud.

De esta manera Ohm busca dar explicación a lo ocurrido en los fenómenos eléctricos, cuando se encuentra la carga fluyendo en un circuito cerrado, pues en este caso la carga se encontrará excitada y se moverá en una sola dirección.

Ohm comienza exponiendo lo que para él serian leyes de la electricidad, estas leyes están enfocadas para el hecho de la electricidad circundante.

- ❖ Como se dispersa la electricidad dentro de un mismo cuerpo: la comunicación de la electricidad de un elemento cercano se produce de manera directa, por lo tanto, no existirá transferencia a ningún otro elemento lejano. Por lo tanto, Ohm ha establecido el concepto de distancia en la transferencia de potencial, que guarda relación con la proporcionalidad entre las diferencias en las fuerzas eléctricas. De manera análoga, en el ámbito de la termodinámica, la transferencia de calor entre dos elementos se debe a la diferencia entre sus temperaturas.
- ❖ Como se dispersa en el aire: esto lo hace conservando la ley de Coulomb, ya que un cuerpo electrificado que se encuentre rodeado de aire, será proporcional a la intensidad de electricidad y a un coeficiente dependiente del ambiente, aunque Coulomb demostró que en los experimentos galvánicos (entiéndase como un circuito) el aire se desprecia.
- ❖ Como surge: se plantea simplemente que esta dependerá del punto de contacto, el cual será consecuencia de la diferencia de sus fuerzas.

(Ohm, 1827)

En los anteriores postulados, Ohm plantea que se podrá explicar el movimiento de la electricidad en los cuerpos de diferentes formas y tipos. Ohm siempre quiso expresar estos movimientos de forma matemática, sin dejar de lado los puntos conceptuales, hasta el punto de comparar los trabajos hechos por Fourier y Poisson, para el movimiento térmico. Ohm afirmaba que los aparatos galvánicos permitían que el movimiento de la electricidad fuese en una sola dimensión, adicional permitiría que sean independientes del tiempo. De esta manera permite que la matemática aplicada sea esta vez incluida y no excluida. (Ohm 1827)

De esta manera Ohm propone un experimento. Imaginemos un anillo homogéneo, al cual se le aplica la misma tensión eléctrica por el interior de este, si por situaciones inesperadas las dos superficies del anillo entran en contacto, se alteraría el equilibrio eléctrico, entonces la electricidad fluiría a ambos lados del anillo, aunque se debe tener en cuenta el tipo de tensión. Ohm describe que esto ocurrirá cuando la tensión es simplemente algo momentáneo, de esta manera pronto se encontrara estable el equilibrio; si, es todo lo contrario la tensión es permanente, nunca se establecerá un equilibrio, pero la electricidad en su condición de expansión la cual no es perceptible, produce un instante de equilibrio, dicho instante no es perceptible a la sensibilidad del hombre, siendo difícil de detectar. (Ohm, 1827)

Siendo así, el tipo de distribución de la electricidad en un anillo quedará determinada por sus consideraciones, pero la intensidad absoluta de la electricidad en los diferentes puntos será incierta. Ahora, se propone extender el anillo como un alambre, para así encontrar la electricidad en cada punto que sea necesario, debido a esto Ohm propone varias hipótesis, en las cuales estará en consideración el espesor del material. Si se obtiene diferentes valores para cada una de las partes, esto sería causa de la conductividad de la electricidad (entiéndase como conductividad la capacidad que tiene el material para que fluya la carga eléctrica). (Ohm, 1827)

Ohm propone que el anillo se vuelva un alambre recto, para luego partirlo en varias sesiones y así llegar a calcular las propiedades eléctricas en cada una de las sesiones para luego llegar a construir una intensidad total. Los estudios matemáticos de Ohm, lo llevaron hacer la siguiente afirmación:

La intensidad de la electricidad en cualquier punto de la cadena galvánica formada por varias partes se obtiene cuando se tiene en cuenta la longitud reducida de toda la cadena, la longitud reducida de la parte de la cadena perteneciente a la abscisa y la suma de todas las tensiones busca la cuarta recta proporcional y aumenta o disminuye la diferencia entre

ésta y la suma de todas las tensiones saltadas por la abscisa en una cantidad aún indeterminada que es la misma para todos puntos de la cadena. (Ohm 1827)

Ohm ha establecido que si se determina la fuerza eléctrica en cada punto de la cadena (entiéndase como cadena el conductor que ha sido fraccionado), de esta manera solo queda determinar la corriente eléctrica. Ahora bien, la cantidad de electricidad que fluye en un tiempo determinado en los diferentes puntos debe ser la misma, ya que esta debe entrar por uno de los extremos de la cadena, a lo cual la corriente no tendrá ningún otro camino. Pero si se quiere transmitir dicha electricidad a una siguiente cadena esta tendría una variación, así lo expresa Ohm.

Ya se ha demostrado que en cada momento la intensidad de la transferencia de electricidad de un elemento del cuerpo al siguiente está determinada por la diferencia eléctrica entre los dos existentes al mismo tiempo y por una cantidad que depende del tipo y estructura del elemento. (Ohm 1827)

Ohm determinó que, si la corriente eléctrica se debe a la diferencia de potencial de la batería que atraviesa el material, entonces esta debe estar relacionada con la resistencia del mismo. De esta manera, cuanto mayor sea la resistencia, menor será la corriente que circule. Por lo tanto, la resistencia será inversamente proporcional a la corriente, mientras que el voltaje será directamente proporcional. (Hecht, 1998)

4. La teoría electromagnética. La unificación de la electricidad y el magnetismo.

La teoría electromagnética, una de las teorías más importantes en la historia de la física, representa la culminación de un proceso intelectual que se desarrolló durante décadas, a partir de las observaciones y experimentos de científicos como Michael Faraday. En sus investigaciones sobre la electricidad, Faraday logró observar una íntima relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, siguiendo los pasos de Ørsted, quien había descubierto la interacción entre la electricidad y el magnetismo. Estas observaciones sentaron las bases para la teoría de la inducción eléctrica, cuya formalización matemática fue enriquecida por William Thompson.

Sin embargo, las descripciones hechas por Faraday carecían de formalismo matemático, lo que despertó el interés de varios matemáticos y filósofos naturales por contribuir a su desarrollo. Entre ellos se encontraba James Clerk Maxwell, cuyo genio matemático y admiración por Faraday lo llevaron a profundizar en los trabajos de este último. Maxwell, graduado como matemático en la Universidad de Cambridge, se sintió atraído por la metodología de Faraday, que comenzaba con la totalidad del fenómeno para luego descomponerlo analíticamente.

Gracias a su cercanía con William Thompson, Maxwell obtuvo acceso a las "Investigaciones Experimentales sobre Electricidad" de Faraday, una obra que lo inspiraría profundamente. Convencido de la necesidad de una teoría matemática que unificara los fenómenos eléctricos y magnéticos, Maxwell se propuso en establecer un formalismo matemático, las famosas ecuaciones que llevan su nombre y a introducir conceptos revolucionarios como el de la corriente de desplazamiento. A través de su incansable trabajo, Maxwell no solo proporcionó una base matemática sólida para la teoría electromagnética, sino que también transformó nuestra comprensión del universo electromagnético, dejando un legado perdurable en la historia de la ciencia.

4.1. La definición al estado electro-tónico

Los trabajos realizados por Faraday serían la gran apertura a la teoría electromagnética. Dichos trabajos estarían enfocados en el estudio de la electricidad, en donde se logró observar una relación con los fenómenos magnéticos. Esto a partir del trabajo de Ørsted, en el cual se enfocó Faraday para llegar a la teoría de la inducción eléctrica.

De allí que muchos matemáticos y filósofos naturales se interesaran por generar aportes a los trabajos de Faraday, pues las descripciones hechas por Faraday carecían de formalismo matemático, por ello William Thompson (1824 - 1907) realizaría una serie de aportes matemáticos a dicha teoría de la inducción eléctrica. De esta manera los trabajos relacionados con la electricidad y los trabajos realizados por Faraday llegaron a manos de James Clerk Maxwell (1831 – 1879) quien después de graduarse como matemático de la universidad de Cambridge se interesó por los trabajos realizados por Faraday. Quien fuese un personaje que Maxwell admiraba y de quien dijo de sus métodos “empieza por el todo y llega a las partes por análisis, mientras que los métodos matemáticos ordinarios se fundamentaron sobre el principio de comenzar por las partes y construir el todo por síntesis” (Chamizo, 2017)

De esta manera se permitió escribirle una carta a Thompson, pues era el personaje más cercano para él, que estuviese trabajando acerca de los fenómenos eléctricos, por este motivo Maxwell obtuvo acceso a *Experimental Researches in Electricity*, de Faraday. (Chacón, 2013)

Los avances en el estudio de los fenómenos electromagnéticos llevaron a Maxwell a pensar que era necesaria una teoría matemática que unificara la acción de la electricidad estática, la atracción amperiana, las corrientes permanentes y la inducción electromagnética. Con este objetivo en mente, Maxwell comenzó a pensar en el electromagnetismo como algo dependiente de un medio

de transmisión fluido, algo similar al éter propuesto para la luz y donde la tensión fuera capaz de almacenar energía y de transmitir su acción a una velocidad finita y que le permitiera cumplir con una acción a distancia. De esta manera llega a publicar su primer artículo “On Faraday’s Lines of Force”. Maxwell postuló que el espacio estaba permeado por un medio invisible y omnipresente al que llamó éter, pero en este caso Maxwell se permite atribuirle propiedades mecánicas que permitan la transmisión de ondas electromagnéticas a través de él, haciendo así una distinción del éter que se encontraba ya propuesto para la luz, esto le permitiría desarrollar sus famosas ecuaciones del electromagnetismo basándose en la idea de que el éter era el medio a través del cual se propagaban dichas ondas. (Grattan, 2005)

Los trabajos matemáticos de Maxwell le permitieron dar definiciones a los trabajos previos de la electricidad, explicando que la electrostática contiene unos conceptos y leyes basados en el empirismo, pues muchos carecían de argumentación matemática, a lo que Maxwell le introduce la noción de electricidad como una cantidad física medible, independiente a la hipótesis de fluido eléctrico, adicional expone la ley de Coulomb de la misma manera, para luego definir la noción de desplazamiento eléctrico, como “la cantidad de electricidad que es forzada en la dirección de la fuerza electromotriz a través de una unidad de área”. Determinando así, que la cantidad de electricidad que debe ser forzada en la dirección de la fuerza electromotriz a través de una unidad de área, hace referencia a la densidad de corriente eléctrica. Este concepto describe la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de una sección transversal específica de un conductor por unidad de tiempo. (Grattan, 2005)

Maxwell basó su estudio de la conducción eléctrica en las ideas newtonianas, pues utilizó los trabajos relacionados por Coulomb acerca de la electricidad para determinar su propio concepto. De esta manera utilizando algunos resultados hechos por Laplace y de Lagrange sobre

la teoría gravitacional, encontró una relación en los resultados matemáticos y los experimentales, lo que le permitió establecer una suposición de la electricidad, en donde afirma que la electricidad está compuesta por dos fluidos eléctricos, de esta manera se encontraría una coincidencia con Coulomb. (Romo, 1991)

La concordancia de Maxwell no solo se limita en los efectos de la electricidad, si no también logró describir una teoría magnética acerca del magnetismo, esto lo hizo basado en la ley de coulomb para la acción magnética y la hipótesis de que la magnetización es resultado de la separación de dos fluidos magnéticos en el interior del material, siendo algo molecular. (Romo, 1991)

Una de las referencias utilizadas por Maxwell para describir su tratado de electricidad y magnetismo, son los trabajos hechos por Faraday, pues estos trabajos carecían de un fundamento matemático, lo que llevo a Maxwell a desarrollar una investigación y una argumentación matemática de lo hecho por Faraday. Previamente Thompson había realizado una propuesta matemática a los trabajos hechos por Faraday, pero para Maxwell estos trabajos carecían de una implementación de los fenómenos electromagnéticos, adicional faltaban nociones de Faraday, como lo era la dualidad de cantidades e intensidad y el estado electro-tónico. (Romo 1991)

Aunque se piensa que el estado electro-tónico es una propuesta hecha por Maxwell, fue una propuesta inicialmente hecha por Faraday, el cual lo utilizaba para establecer la inducción eléctrica.

Faraday definió el estado electro-tónico, como el estado estático de la fuerza magnética, que debe existir para preservar la correspondencia con el estado estático de la fuerza eléctrica,

siendo este el estado que agrupa las partículas de la materia en su transmisión de la fuerza magnética. (Romo 1991)

Faraday introduce el concepto de estado electro-tónico para poder describir la inducción eléctrica, definiéndolo como la consecuencia del estado estático de la fuerza magnética que es necesaria para así mantener la correspondencia con el estado estático de la fuerza eléctrica. Siendo la definición de Faraday, donde establece que el estado electro-tónico representa la condición en la que las partículas de la materia se deben agrupar durante la transmisión de la fuerza magnética. En esencia, Faraday estaba articulando cómo ciertas fuerzas magnéticas estáticas están intrínsecamente relacionadas con las fuerzas eléctricas y cómo estas interacciones afectan la estructura y disposición de las partículas en un material dado, provocando así la inducción eléctrica.

Maxwell utilizando la definición del estado electro-tónico, considera que la acción magnética era la responsable del cambio del medio que genera la inducción eléctrica, que a su vez sería dependiente del número de líneas de fuerza que actúan con el circuito, las cuales serán capaces de producir la corriente inducida. Además, Maxwell le asignaría propiedades eléctricas y magnéticas al espacio, a diferencia con Faraday, pues él lo asociaba con el estado en el que se encontraba la materia. Esto le permitió a Maxwell afirmar que el cambio en el estado del medio por la acción magnética, permitiría darle dirección a la fuerza electromotriz inducida. (Rozo, Ávila y Walteros 2015)

Maxwell al atribuirle propiedades eléctricas y magnéticas al espacio, sugeriría que el cambio en el estado del medio (es decir, el cambio en las propiedades eléctricas y magnéticas del espacio circundante) debido a la acción magnética tendría un efecto en la dirección de la fuerza electromotriz inducida. Dicho de otra manera, Maxwell argumentó que la alteración en las

características eléctricas y magnéticas del espacio causada por la influencia magnética modificaría la dirección en la que se induce la fuerza electromotriz. Lo anterior propone que la interacción entre el campo magnético cambiante y las propiedades eléctricas y magnéticas del espacio circundante son fundamentales para determinar la dirección de la fuerza electromotriz inducida. (Rozo, Ávila y Walteros 2015)

Maxwell, acudiendo a lo establecido acerca de la electrodinámica de Ampere y a la explicación del experimento de Oersted, establece que, en el caso de los circuitos cerrados, teniendo en cuenta el movimiento de las cargas, la expresión para la fuerza electromotriz de la inducción se encuentra en función de un potencial. De esta manera se establece una conexión entre la teoría electromagnética, debido a que la fuerza electromotriz ejercida sobre uno de los circuitos se obtiene diferenciando el potencial con respecto a las coordenadas espaciales.

Aunque para Faraday no era de su importancia el estado electro-tónico, hasta el punto de abandonarlo, pues la inducción se lograba explicar, sin aplicar este concepto, Maxwell lo vio con suma importancia para realizar formalismos matemáticos, sobre la inducción de la corriente. Esto lo realizó caracterizando el estado del espacio como un medio, donde se encontraba en un estado electro-tónico, seguido le asoció una función matemática al estado electro-tónico, relacionado con las componentes espaciales, utilizando el teorema de Stokes, y así determinar la relación de las componentes de la fuerza electromotriz, adicional la variación temporal de las componentes del estado electro-tónico produjo una fuerza electromotriz inducida. Esto le permitiría hacer una relación con la inducción magnética. Así se podría justificar la importancia del estado electro-tónico, quedando normalizado como una magnitud física, pues Maxwell le otorgó características geométricas, por las cuales se ejecutan las acciones magnéticas. (Rozo, Ávila y Walteros 2015)

Aunque obtuvo dicho resultado Maxwell optó por cambiar el nombre del estado electro-tónico por el de momento electromagnético, para así justificar la fuerza electromotriz inducida. La definición para el momento magnético estaría dada como: “ μ es la permeabilidad magnética que depende de la naturaleza del medio, la temperatura y la cantidad de magnetización”. (Rozo, Ávila y Walteros 2015)

4.2. El concepto de corriente de desplazamiento de Maxwell.

La corriente de desplazamiento, una noción innovadora introducida por Maxwell en su Tratado sobre electricidad y magnetismo, se destacó como una de las características más significativas de su teoría electromagnética. Maxwell reconoció su importancia al señalar que apareció en todas las deducciones de las ondas electromagnéticas, lo que sugiere su papel fundamental en el comportamiento del campo electromagnético.

La corriente de desplazamiento es un concepto clave en la teoría electromagnética que surge cuando hay cambios en el campo eléctrico en un medio originalmente, Maxwell consideraba la corriente de desplazamiento como algo similar a la corriente de conducción, pero más tarde la reconoció como una entidad distinta. Para entender esto, primero necesitamos hablar sobre el desplazamiento eléctrico, y su relación con la corriente de polarización.

Al imaginar que se tiene un medio material, como un dieléctrico, en el que hay partículas cargadas con la libertad de moverse dentro del material. Cuando se aplica un campo eléctrico externo, estas partículas se polarizan, se reorganizan de tal manera que crean un campo eléctrico adicional opuesto al campo externo. Siendo así, el desplazamiento eléctrico es precisamente este campo eléctrico adicional que se crea dentro del material debido a la polarización de las partículas. Cuando este desplazamiento eléctrico cambia en el tiempo, ya sea porque el campo externo cambia

o porque el material se está polarizando o desmagnetizando, se genera lo que llamamos corriente de polarización. (Suarez, Martin, Zuza, Guisasola 2022)

La existencia de la corriente de desplazamiento tuvo un profundo impacto en la comprensión de los fenómenos electromagnéticos. Pues es Maxwell quien demostró lo esencial para explicar la interacción compleja entre campos eléctricos y magnéticos en presencia de cargas en movimiento. Anticipó que, sin la corriente de desplazamiento, las teorías basadas únicamente en a distancia no podrían explicar adecuadamente estos fenómenos. (Cánovas, 2006)

Una de las implicaciones más significativas de la corriente de desplazamiento fue su influencia en la divergencia de la corriente total, una propiedad matemática fundamental en la teoría electromagnética de Maxwell. Esta condición de divergencia, sugiere que todas las corrientes totales en un sistema electromagnético cerrado se equilibren entre sí. Lo anterior permite contribuir a una comprensión más completa de la naturaleza de los campos electromagnéticos. (Herreno, 2012)

Ahora, la corriente de desplazamiento no implica el movimiento físico de cargas como lo hace la corriente eléctrica convencional. Entonces, haciendo una definición de las corrientes convencionales, son aquellas corrientes donde las cargas eléctricas tienen la capacidad de fluir y desplazarse a través de un material conductor, como un alambre metálico, bajo la influencia de un campo eléctrico, siguiendo la dirección opuesta, del polo positivo al negativo, como fue originalmente definido por Benjamín Franklin.

Volviendo a la corriente de desplazamiento, esta representará lo contrario al desplazamiento eléctrico, pues la corriente de desplazamiento se encuentra cambiando en el tiempo en un medio determinado. En su trabajo, estableció que la corriente de desplazamiento puede ser

parte de la ecuación de continuidad que describe cómo la carga se mueve en un sistema dado. Entonces, esta corriente es una consecuencia natural de cómo las partículas cargadas responden a los cambios en el campo eléctrico en un medio material. Aunque no implica el movimiento físico de cargas, es un concepto fundamental en la teoría electromagnética que nos ayuda a comprender cómo la electricidad y el magnetismo están intrínsecamente relacionados. (Suarez, Martin, Zuza, Guisasola, 2022)

Maxwell también propuso que la corriente de desplazamiento podría completar circuitos en situaciones donde las corrientes convencionales no lo hacían, como en el caso de la descarga de un condensador a través de un aislante. Si imaginamos un condensador, como lo puede ser una botella de Leyden, donde esta tiene la capacidad de almacenar carga. Ahora, si se descarga a través de un cable al que está conectado. Si este fuese un circuito convencional, la corriente fluiría a través del cable, completando así el circuito. Sin embargo, en este caso específico, el cable no forma un circuito cerrado ya que termina en los dos lados del aislante del condensador. (Cánovas, 2006)

Entonces, aunque aparentemente no hay un camino conductor continuo a través del cual la corriente pueda fluir, la presencia de la corriente de desplazamiento en el aislante completa efectivamente el circuito, permitiendo que la carga fluya desde un extremo del condensador hacia el otro, esto es debido al campo eléctrico que se produce en los extremos del cable, pues al no haber una continuidad en el cable no existirá un flujo de carga eléctrica. De allí que se pueda deducir que existe una corriente ficticia, producida por los campos eléctricos de los extremos de los cables. (Cánovas, 2006)

Según la teoría de Maxwell, cuando se produce la descarga del condensador, la corriente de desplazamiento que tiene lugar en el aislante completa el circuito. Esta corriente de

desplazamiento es esencialmente una corriente eléctrica ficticia, pues no se concibe como una corriente convencional, pero sí podrá producir una corriente debido a la variación del campo eléctrico en el dieléctrico. (Cánovas, 2006)

Según la teoría expuesta por Maxwell, la corriente de desplazamiento cumple un papel fundamental al completar circuitos en situaciones donde las corrientes convencionales no pueden hacerlo. Este concepto ofrece una explicación crucial sobre cómo se produce la circulación de carga en sistemas eléctricos más complejos, como podría ser entre dos placas capaces de almacenar carga. Ahora, si se establece un campo eléctrico variable en el tiempo entre estas placas, se genera un flujo eléctrico. Aunque este flujo no transporta cargas, desempeña un papel sumamente importante al acomodar las cargas dentro del dieléctrico. Es decir, mientras el campo eléctrico evoluciona temporalmente, las cargas en el dieléctrico se reorganizan sin necesidad de moverse físicamente para adaptarse a estos cambios, y así lograr generar una corriente virtual entre las placas.

Conclusiones

- ❖ La revisión bibliográfica permite identificar la importancia de comprender la evolución histórica de los conceptos de electricidad para apreciar plenamente su significado y su relevancia en el contexto contemporáneo. A lo largo de la contextualización, se ha explorado cómo las ideas sobre la corriente eléctrica han evolucionado desde las primeras observaciones y experimentos hasta los modelos teóricos más sofisticados de la actualidad.
- ❖ Se observa cómo la formación académica sólida, el acceso a conocimientos científicos contemporáneos y el ambiente intelectual colaborativo jugaron un papel crucial en el avance del conocimiento científico. Los trabajos previos a Maxwell permiten identificar las inconsistencias y limitaciones del concepto de corriente eléctrica en su estado inicial. Esto resalta la necesidad de estudiar estos antecedentes para comprender cómo Maxwell llegó a sus conclusiones finales, proporcionando una visión integral de la evolución de las teorías electromagnéticas y su impacto en la comprensión moderna de la corriente eléctrica.
- ❖ Esta contextualización subraya como los cambios de conceptos de corriente a través del tiempo fueron variando, pero que nunca se dejó de lado la relación entre los fenómenos magnéticos y los eléctricos, hasta el punto de evidenciar como la variación de campos magnéticos, permite generar corrientes inducidas. Al comprender cómo las ideas científicas surgieron y evolucionaron en el pasado, los estudiantes pueden desarrollar una apreciación más completa de la naturaleza dinámica de la ciencia y estar mejor preparados para contribuir al avance del conocimiento en el futuro.

- ❖ La contextualización histórica ha permitido apreciar no solo la progresión de las ideas científicas. Desde las primeras observaciones empíricas de Gilbert hasta la síntesis teórica de Maxwell, se ha evidenciado cómo la investigación científica se construye sobre los cimientos establecidos por generaciones anteriores de científicos.

Bibliografía.

- Ampere, André-Marie (1827). Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduit de l'expérience. Mémoires de L'Académie Royale des Sciences de L'Institut de France. Disponible en: <http://www.ampere.cnrs.fr>.
- Assis, A. K.T. (2011) Os fundamentos experimentais e históricos de eletricidade.
- Berkson, William (1985). Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein. Madrid: Alianza Editorial.
- Blondel, Christine y Wolff, Bertrand (2009). Ampère jette les bases de l'électrodynamique. Disponible en: <http://www.ampere.cnrs.fr>.
- Buffa, AJ, Willson, JD y Wilson, JD (2004). Física. Prentice Hall.
- Cachón Guillen Vladimir (2013). Las analogías en la formulación de la teoría electromagnética de la luz de Maxwell.
- Cánovas Picón Francisco. (2006) James Clerk Maxwell. Universidad de Murcia.
- DU FAY, F. R. S. (1733) Quatrième mémoire sur l'électricité. De l'attraction et répulsion des corps électriques. Traducido por: Rafaela Rejane Samagaia. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences.
- Enseñanza y aprendizaje de circuitos eléctricos en la localidad de Usme/Pinzón, C/Universidad Pedagógica Nacional/2016
- Falconer Isabel (2004) Charles Augustin Coulomb y la ley fundamental de la electrostática.
- Faraday, Michael (1832). "Experimental Researches in Electricity", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/107956>. Versión española en Investigaciones experimentales de electricidad. Series I a V. Traducción de Rosa Schapsis y revisión técnica de Ernesto Galloni.
- Garnett William. (1888). ELEMENTARY TREATISE ON ELECTRICITY.
- Gilbert, William. (1958) On the Magnet, magnetick Bodies Also, and on the great magnet the earth; a new Physiology, demonstrated by many arguments & experiments. Trad. inglesa de Silvanus P. Thompson. New York, Basic Books, 1958.
- GRAY, S. A (1731) letter concerning the Electricity of Water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. Philosophical Transactions.
- Hecht, E. (1998). Física En Perspectiva. Singapur, Singapur: Addison Wesley Longman.

- Popper, Karl R (1980) La lógica de la investigación científica.
- Kuhn, TS (1998). La estructura de las revoluciones científicas.
- Magarrotto Antonio (1805) Franklin Theoria de electricitatis principio.
- Modelos y concepciones sobre el tema de la corriente eléctrica: A estudiantes de la facultad de ciencias de la electrónica/ Osorio F/Universidad Autónoma de Puebla/2016.
- La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico-epistemológico/ Cano J, Gómez J y Cely L/Universidad Nacional de Antioquia/2009.
- Ohm G. S. (1827) Galvanische Katte, mathematisch bearbeitet.
- Ørsted, Hans Christian (1820). Expériences sur l'effet du conflict électrique sur l'aiguille aimantée. Annales de chimie et de physique.
- Pelkowski, J. 2006: Los albores de la electricidad atmosférica en las calendas de Benjamin Franklin. Meteorol. Colomb.
- Pérez Marcos Moisés (2022). Benjamín Franklin: Un puritano ilustrado.
- Poveda Ramos Gabriel. (2003) la electricidad antes de Faraday. Revista de ingeniería de la universidad de Antioquia.
- Romo Feito José. (1991) El conceto de estado electro-tonico en Faraday. Tesis doctoral.
- Rossi Paolo (2001) O nascimento da ciencia moderna na Europa. Editora da Universidade do Sagrado Coracao.
- Roza, M., Ávila, S. y Walteros, A. (2015). Sobre el estado electro-tónico y su interpretación: El potencial vectorial, Revista Científica, 22, 45-56. Doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2015.
- Suarez A. Martí A.C. Zuna K. Guisasola J. (2022) Las relaciones causa-efecto en las ecuaciones de Maxwell y sus implicancias en la enseñanza del electromagnetismo en los cursos introductorios de Física.