

Construcción del concepto de campo a través del vínculo de la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales.

Alejandro Villamil Turga.

2013146069

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de Física

Línea de profundización:

Bogotá D.C

2019

Construcción del concepto de campo a través del vínculo de la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales.

Alejandro Villamil Turga.

2013146069

Director del trabajo:

Juan Carlos Castillo Ayala, Ph. D.

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de Física

Línea de profundización:

Bogotá D.C

2019

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formación de Educadores</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 7	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Construcción del concepto de campo a través del vínculo de la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales.
Autor(es)	Villamil Turga, Alejandro
Director	Castillo Ayala, Juan Carlos
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2019. 58 Pág.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional-Bogotá
Palabras Claves	CAMPO, FUERZA, CARGA, FLUJO, SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES, LÍNEAS DE FUERZA, ELECTRIFICACIÓN POR FRICCIÓN, ELECTRIFICACIÓN CON INDUCCIÓN, RECONTEXTUALIZACIÓN.

2. Descripción
Este es un documento que presenta algunas reflexiones de carácter disciplinar y pedagógico al rededor del concepto de campo y los problemas que presentan los estudiantes de los cursos de electromagnetismo para la comprensión de este. Esto conlleva que la investigación se vea orientada al rededor del vínculo que tiene la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales en la construcción del concepto, haciendo una comparativa entre las ideas expuestas por Faraday y algunos experimentos electroestáticos usados por Maxwell para la formalización de este. Estas consideraciones se sitúan en un análisis detallado alrededor de la construcción del concepto de campo y la importancia de la recontextualización de saberes para el maestro y el estudiante del curso de electromagnetismo, con el fin de crear una perspectiva que permita establecer una postura alrededor de ¿que se enseña?, ¿cómo se enseña?, ¿qué se puede proponer?, de una teoría y su trasfondo.

3. Fuentes
Ayala Manrique, M. M., Malagón, F., & Lugo, P. (1992). UNA PERSPECTIVA FENOMENOLOGICA PARA LA ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO A NIVEL INTRODUCTORIO. <i>REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA</i>, 5(2), 39-44.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formadora de Formadores</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 7	

- Ayala Manrique, M. M., Romero Chacón, Á. E., Malagón Sánchez, J. F., Rodríguez Rodríguez, O. L., Aguilar Mosquera, Y., & Garzón Barrios, M. (2008). Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos. Bogotá, Colombia: Kimpres.
- Ayala, M. M. (2005). *CANTIDAD DE ELECTRIFICACION Y POTENCIAL ELECTRICO*. Bogotá: Licenciatura en Física-UPN.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis historico-Criticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-posicoes*, 17. I (49).
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid, España: Alianza Editorial S.A.
- Blanco, J. D. (2014). Modelacion del concepto de campo electromagnético: caracterización del razonamiento seguido por Maxwell. Bogotá D.C. Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional.
- Castillo, J. C. (2006). De los Fenómenos Mecánicos al Mecanicismo.
- Castillo Ayala, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. (U. P. Nacional, Ed.) *Nodos Y Nudos*, 3(25), 73-80. Obtenido de <https://doi.org/10.17227/01224328.1388>
- Feynman, R., & Leighton, R. B. (1987). *Física, Vol. II. Electromagnetismo y Materia*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.
- MAXWELL, J. c. (1954). *A treatise on electricity and magnetism* (Vol. I). New York: Dover Publications Inc.
- Paque Burgos, D. A., & Ulloa Castaño, A. E. (2014). Caracterización de los fenomenos electrostaticos desde una pespectiva de campos. *Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional*.
- Puga Antunez, D. (Mayo de 2006). El Pensamiento Clasico en la epoca actual Democrito de Abdera. *Avances*, 106, 10.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Revolución en Educación	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB		Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012		Página 3 de 7

4. Contenidos

Capítulo 1.

En el primer capítulo, se presenta un trabajo histórico alrededor de la génesis de la problemática entre las perspectivas con las cuales se concebían los fenómenos eléctricos y magnéticos y como estos lograron tener gran influencia en la construcción del concepto de campo, iniciando en la antigua Grecia con las diferentes concepciones que se tenían de la materia y el espacio, hasta llegar a el siglo XVIII en el cual se tenían dos formas diferentes de concebir el mundo, que encaminarían a Faraday a buscar una vía que le permitiera relacionar la teoría con los fenómenos electromagnéticos.

Capítulo 2

Se muestra las diferentes consideraciones que Faraday tuvo en relación con los fenómenos que se presentaban en el experimento de Oersted, y cómo esto lo llevo a pensar en una serie de experimentos que le permitieran organizar estos fenómenos con las ideas de campos de fuerza. Por otro lado, se muestran las ideas de Maxwell alrededor del concepto de campo y sus discrepancias que luego lo conducirían a establecer una línea de trabajo que le permitiría construir una formalización alrededor de las ideas de Faraday.

Capítulo 3

En este capítulo, se ha recurrido a la lectura del texto de (Berkson, 1981) con el fin de establecer una serie de referentes históricos alrededor de los textos originales, con los cuales se pueda determinar el contexto y la trayectoria en la cual se plantean las ideas alrededor del concepto de campo. Esta serie de referentes permiten en primera instancia establecer un criterio alrededor de los campos de fuerza, y tener en cuenta las diferentes perspectivas que se presentaron a lo largo de la historia para poder construir una teoría formal alrededor del concepto de campo y los elementos que lo constituyen. Además, estos referentes y perspectivas permiten guiar el trabajo de investigación en la dirección de un estudio histórico-crítico y la posibilidad de llevar a cabo una

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Revolución en Educación</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 7	

recontextualización de saberes, para poder establecer una estructura de trabajo alrededor del diálogo entre el maestro y el conocimiento científico en contexto, y llegar a forjar la respectiva formalización y conceptualización del campo.

Capítulo 4

La electrificación por inducción y los experimentos que en este se muestran son la clave para Maxwell, ya que le permiten establecer una serie de propiedades alrededor de las diferentes manifestaciones que se presentan en el medio. Estos experimentos se configuraron alrededor de un trozo de material cargado vítreamente, un recipiente hueco cerrados con una condición que este fuese conductor y un electroscopio para observar si se presentaban algunos cambios o alteraciones en las experiencias.

5. Metodología

En primera instancia, se procedió a revisar el contexto histórico alrededor de las ideas que influenciaron a Faraday a pensar en un campo de fuerzas, y las diferentes formas de concebir el mundo de otros pensadores que se veían influenciados por una postura newtoniana y no newtoniana, lo que suscitó, una revisión detallada del texto “Las teorías de los campos de fuerza Desde Faraday hasta Einstein” de (Berkson, 1981) en el cual se exponen cronológicamente y detalladamente los textos originales de filósofos y científicos como Newton, Leibniz, Descartes, Kant y Bosovich, donde influenciados por un contexto y una forma particular de concebir el mundo, plasmaron sus ideas alrededor del espacio, la materia, los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Posterior a esto, se realizó una revisión detallada de la cosmovisión de Faraday acerca de los campos de fuerza, y los diferentes elementos que consideraba importantes para la construcción de la idea de campo, paralelamente se revisaron los planteamientos de Maxwell alrededor de las ideas de Faraday y los experimentos electrificación por fricción y electrificación por inducción que dieron paso a una formalización del concepto de campo. Esta primera parte, constituyó una base importante, que permitiría hacer una selección detallada de los experimentos que Maxwell realizó alrededor de los fenómenos electrostáticos.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Revolución de la Educación	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB		Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012		Página 5 de 7

En segunda instancia, se procedió a revisar el texto “Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades” (Ayala, 2006), el cual permitiría enmarcar el trabajo de investigación en el contexto pedagógico con el fin de establecer una serie de consideraciones y análisis desde una perspectiva histórico-crítica, brindando las herramientas necesarias para hacer una recontextualización de saberes adecuada, donde estaría presente la interpretación del problema en contexto y el significado que este tiene para establecer una solución pertinente.

Por otro lado, se llevó a cabo un análisis y descripción detallada de la construcción del concepto de campo teniendo como referentes el texto *De los Fenómenos Mecánicos al Mecanicismo* (Castillo, 2006) el cual permitiría mostrar con detalle su relación con los elementos de fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales, permitiendo dilucidar una imagen más completa de características que permiten describir el medio y que posteriormente serían de gran importancia para llevar a cabo la respectiva formalización. Esto permitió la construcción de un documento que contuviera las reflexiones y consideraciones alrededor de la conceptualización del campo.

6. Conclusiones

El estudio de la historia, ha permitido configurar una mirada alrededor de las perspectivas que se tienen para abordar los fenómenos y dar una explicación de los sucesos que se evidencian en la naturaleza. Además, la interacción con los textos originales y o textos que permiten ver a detalle los rasgos característicos de las teorías y del pensamiento de los científicos, permiten al maestro construir una forma de interpretar y dar significación a los fenómenos que en su contexto le generan una problemática. Es el caso en el que durante la investigación se recurrió a fuentes que permitieran entender el problema del campo en un contexto en específico, lo que permitió sentar precedentes alrededor de la forma en que se concebía el mundo y el cómo se atacaban los problemas desde su contexto.

Esta actividad de recurrir a la historia, le permite al maestro en la acción pedagógica, proponer nuevas formas de abordar los problemas, ya que, no es sólo la acción de leer o mirar un

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formadora de Formadores</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 6 de 7	

texto, sino que éste le permita reflexionar alrededor de los hechos y posteriormente traer esa reflexión a un nuevo contexto, con el fin de hacer un trabajo reflexivo alrededor de la solución de problemas y la construcción del conocimiento. De acuerdo con lo anterior uno de los criterios que permitió el desarrollo de la investigación fue la construcción del contexto problema de la época en la que surgen nuevas formas de concebir la problemática de interacción entre cuerpos, lo cual permitió configurar la problemática alrededor de una perspectiva.

Esta perspectiva permitió, tener en cuenta inicialmente las ideas y teorías que habían influenciado a Faraday, con el fin de que éstas permitieran entender con mayor claridad las ideas que Faraday plantearía alrededor de los fenómenos electromagnéticos desde una perspectiva de campos. Esto permitió, entender que Faraday fue quien se tomó el trabajo de conceptualizar el campo y que la experimentación fue una parte importante dentro de la construcción de la teoría que permitiera unificar los fenómenos eléctricos, magnéticos y lumínicos.

Este como uno de los resultados de la recontextualización, permitió escoger una serie de experimentos enmarcados alrededor de la electrificación por fricción y la electrificación por inducción. Siendo estos los que a través de la interpretación bajo la perspectiva de campos brindarían las herramientas necesarias que permitirían la conceptualización del campo. Habiendo ya elegido los experimentos y la perspectiva bajo la cual se pretendían analizar, se dio inicio a la interpretación de los experimentos alrededor de la descripción hecha por Maxwell. Además, esto permitió construir una serie de representaciones gráficas que permitieran hacer inteligible la descripción del experimento. Esta actividad es importante para el maestro, ya que le permite pensar en estrategias alrededor de diferentes problemas con el fin de construir herramientas que le faciliten la comprensión e interpretación de los conocimientos científicos creando así una experiencia enriquecedora alrededor de la interpretación.

La sola interpretación del experimento no permite como tal mostrar la relación entre los diferentes elementos que permiten construir el concepto de campo, por lo cual se recurrió a la formalización, la cual permitió a través de la relación interpretación fenómenos y matematización, construir y ratificar algunos conceptos que se evidenciaban en los fenómenos. Además, esta brindó

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Realizando la Pedagogía</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 7 de 7	

las herramientas necesarias para establecer que el campo es el medio en el que se manifiestan los fenómenos eléctricos. Así pues, se logró relacionar la idea de campo de Faraday con los experimentos permitiendo construir una imagen más clara del campo y las características que este presenta.

Para finalizar, se logró mostrar la relación que tienen la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales, las cuales permitieron brindar características al medio en el cual se presentan los fenómenos electrostáticos, siendo la polarización uno de estos y el segundo es la relación de las superficies equipotenciales con el campo no como una propiedad de los cuerpos electrificados sino una propiedad del medio en el cual se manifiestan estos.

Elaborado por:	Alejandro Villamil Turga
Revisado por:	Juan Carlos Castillo Ayala

Fecha de elaboración del Resumen:	14	11	2019
--	----	----	------

Agradecimiento

A Dios por sus bendiciones

A mi familia por su apoyo incondicional

A mis maestros por sus enseñanzas

A mi director por guiarme en este proceso

Contenido

Introducción	1
Problemática.....	4
1. Visiones sobre la naturaleza de la acción y el medio.	11
1.1 Antigua Grecia	11
1.2 Cosmovisión Newtoniana	12
1.3 Cosmovisión antinewtoniana	15
1.4 La ciencia en el contexto de Faraday	19
2. Faraday y Maxwell. Cosmovisión de los campos de fuerza.	23
2.1 Cosmovisión de Faraday	23
2.2 Campo de Faraday.....	27
2.3 Cosmovisión de Maxwell	29
3. Criterios para la construcción del concepto de campo y los elementos que lo componen.	31
3.1 Estudios histórico-críticos	31
4. Electrostática	36
4.1 Electrificación por fricción.....	36
4.2 Electrificación por inducción	39
4.2.1 Primer experimento de electrificación por inducción.	39
4.2.2 Segundo experimento de inducción.	41
4.3 Superficies equipotenciales	43
4.4 Distribución de las superficies equipotenciales, líneas de fuerza y polarización del medio. 44	
4.5 Relación formalización y experimentos	48
5. Reflexión final.....	53
6. Referencias bibliográficas	55
7. Anexos	57

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Esquema de fuerza de Boscovich para representar la impenetrabilidad de la materia. Tomado de (Berkson, 1981).	17
Ilustración 2: Representación del experimento de oersted. Tomado de: http://elfisicoloco.blogspot.com/2013/02/experimento-de-oersted.html	19
Ilustración 3: Electroimán que actúa sobre un circuito próximo al imantado. Tomado de: https://fisica.laguia2000.com/wp-content/uploads/2011/03/INDUCCION.jpg	26
Ilustración 4. Representación de la electrificación por fricción. Fuente: Autor.	37
Ilustración 5. Fenómenos de repulsión y atracción entre materiales electrificados por fricción. Fuente: Autor.	38
Ilustración 6. Experimento de una carga vítrea dentro de un recipiente conductor. Fuente: Autor.	40
Ilustración 7. . Experimento de una carga vítrea por fuera de un recipiente conductor. Fuente: Autor.	41
Ilustración 8. . Experimento de una carga vítrea encerrada por una serie de recipientes conductores. Fuente: Autor.	42
Ilustración 9. Superficies equipotenciales de láminas conductoras infinitas cargadas positiva y negativamente respectivamente. Tomado de: (Ayala, 2005)	45
Ilustración 10. Superficies equipotenciales de láminas infinitas con cargas opuestas. (Ayala, 2005)	45
Ilustración 11. líneas de campo y superficies equipotenciales de láminas con cargas opuestas. (Ayala, 2005)	46
Ilustración 12. Superficies equipotenciales y líneas de fuerza de una lámina conductora cargada positivamente. (Ayala, 2005)	46
Ilustración 13. Superficies equipotenciales y líneas de fuerza de láminas finitas con cargas opuestas. (Ayala, 2005)	47
Ilustración 14. polarización del medio. Fuente: Autor.	47

Ilustración 15. Objeto electrificado encerrado dentro de dos recipientes conductores. Fuente Autor.	48
Ilustración 16. líneas de campo que pasan por una superficie. Fuente: Autor.	49

Lista de tablas

Tabla 1. Antecedentes. Fuente: Autor.	8
---	---

Lista de esquemas

Esquema 1. La recontextualización alrededor de la teoría de campos. Fuente: Autor.	33
--	----

Introducción

Este es un documento que presenta algunas reflexiones de carácter disciplinar y pedagógico al rededor del concepto de campo y los problemas que presentan los estudiantes de los cursos de electromagnetismo para la comprensión de este. Esto conlleva que la investigación se vea orientada al rededor del vínculo que tiene la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales en la construcción del concepto, haciendo una comparativa entre las ideas expuestas por Faraday y algunos experimentos electrostáticos usados por Maxwell para la formalización de este. Estas consideraciones se sitúan en un análisis detallado alrededor de la construcción del concepto de campo y la importancia de la recontextualización de saberes para el maestro y el estudiante del curso de electromagnetismo, con el fin de crear una perspectiva que permita establecer una postura alrededor de ¿que se enseña?, ¿cómo se enseña?, ¿qué se puede proponer?, de una teoría y su trasfondo.

En primera instancia, se procedió a revisar el contexto histórico alrededor de las ideas que influenciaron a Faraday a pensar en un campo de fuerzas, y las diferentes formas de concebir el mundo de otros pensadores que se veían influenciados por una postura newtoniana y no newtoniana, lo que suscitó, una revisión detallada del texto “Las teorías de los campos de fuerza Desde Faraday hasta Einstein” de (Berkson, 1981) en el cual se exponen cronológicamente y detalladamente de los textos originales de filósofos y científicos como Newton, Leibniz, Descartes, Kant y Boscovich, donde influenciados por un contexto y una forma particular de concebir el mundo, plasmaron sus ideas alrededor del espacio, la materia, los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Posterior a esto, se realizó una revisión detallada de la cosmovisión de Faraday a cerca de los campos de fuerza, y los diferentes elementos que consideraba importantes para la construcción de la idea de campo, paralelamente se revisaron los planteamientos de Maxwell alrededor de las ideas de Faraday y los experimentos de electrificación por fricción y electrificación por inducción que dieron paso a una formalización del concepto de campo. Esta primera parte, constituyó una

base importante, que permitiría hacer una selección detallada de los experimentos que Maxwell realizó alrededor de los fenómenos electrostáticos.

En segunda instancia, se procedió a revisar el texto Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades (Ayala, 2006), el cual permitiría enmarcar el trabajo de investigación en el contexto pedagógico con el fin de establecer una serie de consideraciones y análisis desde una perspectiva histórico-crítica, brindando las herramientas necesarias para hacer una recontextualización de saberes adecuada, donde estaría presente la interpretación del problema en contexto y el significado que este tiene para establecer una solución pertinente.

Por otro lado, se llevó a cabo un análisis y descripción detallada de la construcción del concepto de campo teniendo como referentes el texto de *De los Fenómenos Mecánicos al Mecanicismo* (Castillo, 2006) el cual permitiría mostrar con detalle su relación con los elementos de fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales, permitiendo dilucidar una imagen más completa de las características que permiten describir el medio y que posteriormente serían de gran importancia para llevar a cabo la respectiva formalización. Esto permitió la construcción de un documento que contuviera las reflexiones y consideraciones alrededor de la conceptualización del campo.

Contenido general

En el primer capítulo, se presenta un trabajo histórico alrededor de la génesis de la problemática entre las perspectivas con las cuales se concebían los fenómenos eléctricos y magnéticos y como estas lograron tener gran influencia en la construcción del concepto de campo, iniciando en la antigua Grecia con las diferentes concepciones que se tenían de la materia y el espacio, hasta llegar a el siglo XVIII en el cual se tenían dos formas diferentes de concebir el mundo, que encaminarían a Faraday a buscar una vía que le permitiera relacionar la teoría con los fenómenos electromagnéticos.

En el segundo capítulo, se muestra las diferentes consideraciones que Faraday tuvo en relación con los fenómenos que se presentaban en el experimento de Oersted, y como esto lo llevó a pensar en una serie de experimentos que le permitieran organizar estos fenómenos con las ideas de campos de fuerza. Por otro lado, se muestran las ideas de Maxwell alrededor del concepto de campo y sus discrepancias que luego lo conducirían a establecer una línea de trabajo que le permitiría construir una formalización alrededor de las ideas de Faraday.

En el tercer capítulo, se ha recurrido a la lectura del texto de (Berkson, 1981) con el fin de establecer una serie de referentes históricos alrededor de los textos originales, con los cuales se pueda determinar el contexto y la trayectoria en la cual se plantean las ideas alrededor del concepto de campo. Esta serie de referentes permiten en primera instancia establecer un criterio alrededor de los campos de fuerza, y tener en cuenta las diferentes perspectivas que se presentaron a lo largo de la historia para poder construir una teoría formal alrededor del concepto de campo y los elementos que lo constituyen. Además, estos referentes y perspectivas permiten guiar el trabajo de investigación en la dirección de un estudio histórico-crítico y la posibilidad de llevar a cabo una recontextualización de saberes, para poder establecer una estructura de trabajo alrededor del diálogo entre el maestro y el conocimiento científico en contexto, y llegar a forjar la respectiva formalización y conceptualización del campo.

En el cuarto capítulo, se presenta la electrificación por inducción y los experimentos que en este se presentan son la clave para Maxwell, ya que le permiten establecer una serie de propiedades alrededor de las diferentes manifestaciones que se presentan en el medio. Estos experimentos se configuraron alrededor de un trozo de material cargado vítreamente, un recipiente hueco cerrado con una condición que este fuese conductor y un electroscope para observar si se presentaban algunos cambios o alteraciones en las experiencias.

Problemática

Dentro de los cursos que se abordan en las facultades de ciencia e ingeniería, se encuentra la física, que por cierto su estudio se hace alrededor de unas derivaciones de esta, en la mayoría de los casos dando inicio con el curso de mecánica, en el cual se sientan algunas bases que permiten luego abordar los siguientes cursos como electromagnetismo, termodinámica, ondas y algunas veces física moderna. En este caso tomaremos como referente el curso de electromagnetismo, ya que en este se presentan conceptos como carga, fuerza, flujo y superficies equipotenciales, donde los estudiantes no logran encontrar una relación evidente entre los elementos mencionados anteriormente. Claro, una de las excepciones es el concepto de fuerza, el cual ha sido abordado previamente en los cursos de mecánica, permitiendo al estudiante tener una noción alrededor de una serie de fenómenos abordados desde una perspectiva en especial (perspectiva newtoniana) la cual consiste en eventos que son dados a través de la acción mediata, acción a distancia, generando cierto conflicto a la hora de abordar otro tipo de fenómenos como lo son eléctricos y magnéticos enmarcados en una perspectiva de campos.

Alrededor de este curso, surgen una serie de cuestionamientos acerca de la forma en que tanto el maestro como el estudiante relacionan y le dan sentido a los conceptos abordados, siendo esta una de las problemáticas más grandes que se presentan, dado que el concepto es parte fundamental tanto de la enseñanza como del aprendizaje así como lo menciona (Blanco, 2013, págs. 9-10)

“los conceptos contienen toda una representación que involucra un conocimiento intrínseco, dinámico y, en general, abarcador, además que ellos son estructuras bastante complejas y abstractas. Ellos contienen un entresijo de elementos que son los que le dan sentido y vida a su existencia, pero quizás lo más importante de lo expuesto hasta aquí, es que se ha fundamentado que lo imperativo de los conceptos, especialmente, desde el marco de la enseñanza, está en la “conceptualización que se hace de ellos”. La conceptualización es el timón que dirige el barco de navegación sobre el mar de la comprensión y el conocimiento de las teorías físicas. (Blanco, 2013)”

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante que estos errores conceptuales que se presentan en la enseñanza y el aprendizaje de la física en este caso alrededor del tópico de electromagnetismo, se puedan corregir, con el fin de tener una mejor aproximación e interpretación de las teorías físicas y de la realidad en un determinado contexto. Por ejemplo, uno de los errores conceptuales que se puede evidenciar en estos cursos es el concepto de carga, ya que este muchas veces es concebido como un elemento corpóreo (esférico) a la hora de hacer las ejemplificaciones, cuando se menciona el término “carga puntual” el estudiante relaciona este enunciado no con una propiedad de la partícula que se está analizando, sino con la morfología del objeto.

Otro caso puntual, en el curso de electromagnetismo, es que el estudiante no logra relacionar los diferentes conceptos abordados alrededor de los fenómenos eléctricos, ya que se profundiza en la realización de ejercicios y solución de problemas, pero no se ahonda en la asociación de los conceptos con los fenómenos, generando así, un espacio en el cual el estudiante no logra darle sentido físico a los conceptos abordados en el curso y creando una noción difusa alrededor del fenómeno. Además, se incurre en mostrar la enseñanza de la física en una división sin relación, en la cual se muestra la conceptualización por un lado y la matematización por el otro, lo que genera que se,

“...termine en una falta de comprensión tanto del concepto físico, como del modelo matemático, de tal forma que no se llega nunca a la elaboración de una visión del mundo físico, y se genera una distancia enorme entre la teoría y el campo fenoménico al que se refiere (Ayala Manrique, y otros, 2008)”

Teniendo en cuenta lo anterior, y los diferentes problemas evidenciados en el proceso de formación como docente en ciencias físicas, se presentan algunos errores conceptuales, que surgen durante el curso introductorio de física del electromagnetismo, los cuales son mostrados a continuación:

[1]. El estudiante no logra relacionar los conceptos de carga, fuerza, flujo y superficies equipotenciales, ya que, en algunos casos el maestro no es el que propicia que esto pase, sino que por el contrario hace que el estudiante llega a considerar que estos conceptos son ajenos unos de otros.

[2]. El estudiante no logra construir una imagen en relación con los conceptos que le permita entender qué es un campo, y cómo este se presenta en los diferentes fenómenos.

[3]. El maestro incurre en interpretaciones equivocadas, lo cual no le permite tener claridad alrededor de lo que se está enseñando.

[4]. El estudiante no logra establecer un vínculo entre las ecuaciones, el fenómeno y el concepto, dado a la metodología de enseñanza del maestro.

Siendo este último, uno de los factores más importantes para el desarrollo y comprensión de los diferentes conceptos, ya que muchos de estos que son abordados en el curso y en diferentes libros de texto, que se implementan como guía para que el estudiante refuerce a través de un trabajo autónomo y logre la comprensión adecuada de los conceptos, no permite mostrar la relación entre las perspectivas y la forma de análisis de los conceptos aplicados al fenómeno en sí. Lo que suscita conocer los diferentes modelos de mundo desde los cuales se busca establecer la relación teoría, fenómenos y el contexto en el cual se desarrollaron, esto con el fin de sentar un precedente que permita tener un punto de referencia para hacer un adecuado análisis y poder construir una imagen inteligible del campo en relación con los conceptos abordados.

Pero no podemos dejar de lado, que algunos conceptos que no se pueden concebir a través de los sentidos y que requieren más del razonamiento y de un análisis detallado que permita relacionar algunos elementos para la construcción del conocimiento, son importantes, y que muchas veces no se logra establecer dicha relación, dado que no se llega a conocer el contexto en que estos surgen, el cual permitiría ampliar el panorama de tener una postura crítica que conlleve a mostrar que los diferentes elementos no son ajenos unos de otros, sino que tienen un hilo conductor que permite mostrar el concepto de una forma inteligible. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, y como docente en formación surge un interrogante ¿cómo se pueden vincular la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales en la construcción del concepto de campo electrostático?

Bajo el interrogante planteado anteriormente, se realiza una investigación alrededor de los estudios histórico-críticos y la recontextualización de saberes como un proceso que permita interpretar y dar un significado alrededor de la génesis en la cual surge el problema inicial y cómo alrededor de diferentes teorías y posturas fue posible llegar al concepto de campo. También es importante tener en cuenta los fenómenos que se presentan alrededor de esta problemática y su respectiva formalización ya que esto permite una relación pertinente para la construcción del concepto de campo. De acuerdo con esto, se establecen los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Realizar un estudio histórico-crítico desde la perspectiva de recontextualización de saberes que permita vincular fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales en la construcción del concepto de campo.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión del texto “Las teorías de los campos de fuerza Desde Faraday hasta Einstein” (Berkson, 1981), con el fin de establecer un referente histórico de las cosmovisiones y posturas alrededor del concepto de campo.
- Escoger y analizar los experimentos electrostáticos planteados por Maxwell para caracterizar el medio aplicando la recontextualización de saberes.
- Interpretar la relación que tiene la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales en los experimentos electrostáticos.
- Realizar la respectiva formalización de los elementos que caracterizan el campo.

Antecedentes

Aquí se muestran los diferentes trabajos de grado en torno a la enseñanza y la construcción de conocimiento que tienen relación directa con el concepto de campo, los experimentos planteados alrededor de la perspectiva de campo y las diferentes formalizaciones en relación con

la conceptualización. Estos posibilitan ampliar en gran manera la visión que se tiene alrededor de la investigación en torno al campo como concepto que se desea trabajar y la posibilidad de poder precisar en la estructuración de la investigación. Así pues, dentro de los antecedentes que apoyan la investigación se encuentran:

Tabla 1. Antecedentes. Fuente: Autor.

TITULO	AUTOR(ES)	DESCRIPCIÓN	APORTE AL TRABAJO
La Relación luz, electricidad, magnetismo y la perspectiva de campos	Jhayson León Palacio Rangel. Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá D.C. 2017	Aborda la obra de Faraday y establece la perspectiva de campos para abordar los fenómenos eléctricos, magnéticos y lumínicos. Además, realiza una descripción detallada del concepto de campo que tenía Faraday.	Este trabajo de grado aportó a la investigación, la importancia de la cosmovisión de Faraday en el desarrollo del concepto de campo.
Caracterización de los fenómenos electrostáticos desde una perspectiva de campos	Andrea Estefanía Ulloa Cataño. David Alexander Paque Burgos Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá D.C. 2014	Plantean como alternativa una ruta teórica que permitiera la caracterización de los fenómenos electrostáticos, poniendo como eje central la perspectiva de campos propuesta	Este trabajo de grado aportó a la investigación, una idea valiosa que permitió una adecuada representación gráfica de los experimentos en los que se presentan

		por Maxwell y Faraday.	fenómenos de electrificación por fricción y electrificación por inducción en contraste con el texto de (MAXWELL, 1954).
Modelación del concepto de campo electromagnético: caracterización del razonamiento seguido por Maxwell.	Juan David Blanco Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá D.C. 2013	Muestra una alternativa para conceptualizar sobre la noción de campo electromagnético, de acuerdo con los desarrollos de Maxwell	Este trabajo de grado aportó a la investigación, la importancia del concepto en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.
Estrategia de enseñanza de las líneas de campo eléctrico de una partícula cargada en movimiento	María de los Ángeles Quintero García Yeison Eduardo Torres García. Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá D.C. 2016	Se analizó matemáticamente la representación del campo que generan partículas cargadas eléctricamente y en movimiento. Las simulaciones se utilizaron para conceptualizar física y gráficamente las líneas de fuerza.	Este trabajo de grado aportó a la investigación, una idea alrededor de la conceptualización en relación con la matematización.
DE LA ACCIÓN A DISTANCIA AL	William Alejandro Prada Coronado.	Plantea abordar detalladamente el	Este trabajo de grado aportó a la

CONCEPTO DE CAMPO Una discusión sobre la acción a distancia en términos del desarrollo de la teoría de campos de Faraday hasta Maxwell.	Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá D.C. 2015	concepto de acción a distancia para plantear una discusión sobre los puntos donde ésta teoría falla, haciendo necesario el desarrollo de la teoría de campos.	investigación, dos tipos de perspectivas que son relacionadas con la forma de concebir el mundo de los pensadores, permitiendo configurar así un análisis alrededor de la cosmovisión.
---	--	---	--

Tabla: elaboración propia.

1. Visiones sobre la naturaleza de la acción y el medio.

En este capítulo, se busca mostrar las diferentes cosmovisiones que contribuyeron al desarrollo de la teoría de campos, iniciando en la antigua Grecia con las diferentes concepciones que se tenían de la materia y el espacio, hasta llegar a el siglo XVIII en el cual se tenían dos formas diferentes de concebir el mundo, que encaminarían a Faraday a buscar una vía que le permitiera relacionar la teoría con los fenómenos electromagnéticos. Es importante mirar la historia, ya que esto se hace para tener una perspectiva amplia de la génesis de las teorías físicas, lo cual implica una serie de compromisos conceptuales, epistemológicos y ontológicos alrededor de una teoría, en este caso la teoría de campos. Además, la historia le permite al maestro construir unos criterios alrededor de la acción pedagógica que lo sitúen y le permitan abordar una problemática alrededor de un contexto específico y una perspectiva. (Castillo Ayala, 2008)

1.1 Antigua Grecia

Desde la antigüedad, los griegos ya se habían cuestionado acerca de los elementos que conformaban los cuerpos y cómo estos interactúan unos con otros. Demócrito¹ fue uno de estos, quien consideraba que en la naturaleza existía el ser y el no ser, donde el ser representaba los átomos y el no ser el vacío, él creía que los átomos se movían en el infinito y que eran partículas indivisibles y tan pequeñas que no podían ser detectadas por nuestros sentidos, de lo cual se creía estaba compuesto todo lo que existe en la naturaleza y que tenía una constante interacción en el vacío.

La idea planteada por Demócrito era un poco descabellada ya que sólo se podía concebir a través de la razón y no de los sentidos, además surgía una cuestión importante alrededor de ésta y era ¿cómo se pueden mantener los átomos unidos?, ¿qué es eso que hace que un cuerpo en

¹ Filósofo y matemático griego que vivió entre los años 460 a.C y 370 a.C, quien es considerado como uno de los padres de la física y reconocido por su concepción atomista de la materia.

interacción con otro no sea atravesado?, estas preguntas llevaron a Demócrito a establecer unas propiedades a los átomos tales como que tenían diferentes formas, tamaños y pesos, pero según (Puga Antunez, 2006) en el documento de investigación “*El pensamiento clásico en la Europa actual Demócrito de Abdera*” menciona lo que para Demócrito fueron los principios fundamentales de su teoría:

- a) Principio de conservación de la materia.
 - Reordenación- nada se produce en lo existente, nada se destruye en lo existente, todo está en constante arreglo.
- b) Determinismo natural.
 - Por necesidad están preordinadas todas las cosas que fueron, son y serán “la naturaleza en igualdad de circunstancias produce los mismos efectos”
- c) Negación del azar, en el sentido de indeterminación porque “nada se produce por casualidad, sino que para todas las cosas hay una causa”

Demócrito establece estos principios basado en la razón y en un pensamiento netamente mecanicista haciendo uso de la ciencia natural, sin embargo, luego de establecer estas propiedades y principios quedaba inconclusa la pregunta de qué era eso que hacía que los cuerpos pudieran interactuar por contacto entre sus átomos.

En conclusión, se considera que Demócrito logró establecer una de las bases fundamentales a través del planteamiento de su teoría atomista, de la cual surgiría uno de los cuestionamientos más importantes alrededor de las propiedades de la materia y sus interacciones.

1.2 Cosmovisión Newtoniana

Cuando Faraday² inició su carrera como científico una de las cosmovisiones más marcadas a principios del siglo XIX fue la newtoniana, sin embargo, se encontraban otras concepciones alternas a esta, como las planteadas por Leibniz y Descartes que eran consideradas no newtonianas.

² Michael Faraday fue quien creó la base de la teoría de campos, nació en Londres en el año 1791 el 22 de septiembre, es considerado como uno de los científicos más influyentes de la historia quien llevó a cabo una carrera experimental importante que le permitió construir una nueva forma de concebir el mundo.

La concepción newtoniana, lograba mostrar una aproximación a las explicaciones de fenómenos físicos que se presentaban en la naturaleza constantemente en especial los que tenían afinidad con la interacción de los cuerpos.

Esta concepción newtoniana de acuerdo (Berkson, 1981), es afín con las ideas que Demócrito había expuesto años atrás en su teoría atomista, sin embargo, esta dista en una entidad, la fuerza. Aquí se expresan unos conceptos importantes como la acción a distancia, la cual es atribuida a cada uno de los corpúsculos que ejercen fuerzas directas e indirectas sobre los demás cuerpos del universo, lo cual le permitió a Newton desarrollar la mecánica y la teoría de la gravitación universal. En la teoría de gravitación universal actúa una fuerza que es ejercida desde el centro de las partículas con una dirección uniendo los centros de los cuerpos que se encuentran en interacción.

Los pensadores que compartían la cosmovisión de Newton, creían que las leyes que regían la teoría de gravitación universal podían ser aplicadas a otros fenómenos en los cuales se evidencia que en la interacción entre diferentes cuerpos presentaba un ente como la fuerza, en este caso se pensaba que se podían aplicar estas leyes a fenómenos de electricidad, magnetismo, cohesión, química, luz entre otros. Se esperaba que estas tres leyes de la mecánica Newtoniana fueran aplicables a fenómenos en acción de otras fuerzas, teniendo en cuenta como se consideraban lo corpúsculos y en cumplimiento de dos condiciones como son: estar en el espacio, y tener fuerzas actuando a distancia, de esta manera las leyes de Newton se cumplirían. La fuerza central mostrada en este apartado se rige bajo las siguientes leyes

- a) Un cuerpo en reposo permanece en reposo o en movimiento uniforme rectilíneo, siempre y cuando no actúen sobre el fuerzas externas que lo obliguen a cambiar dicho estado (Primera ley de Newton)
- b) La fuerza produce una variación en el momento de un cuerpo que es proporcional a la fuerza aplicada (Segunda ley de newton)
- c) La fuerza que ejerce un cuerpo sobre otro es igual y opuesta a la ejercida por el segundo sobre el primero (Tercera le de Newton)

estructuradas por newton para que se cumpliera que la acción a distancia y esa fuerza que interactúa entre los cuerpos, más conocida por la siguiente ecuación $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, pudiesen cumplirse. Hay

que tener en cuenta que esta fuerza es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa a los cuerpos que experimentan esta fuerza, en pocas palabras la fuerza se va hacer más débil a medida que incrementa la distancia entre los cuerpos.

Para que lo anteriormente mencionado se pueda cumplir se requiere que el espacio en el cual se efectúan las interacciones entre dos cuerpos que experimentan fuerzas centrales.,y que la intensidad de estas depende del cuadrado de la distancia, está fundamentado en la hipótesis de un espacio isótropo y homogéneo. Esto llevó a pensar, que en otros fenómenos no gravitatorios se podría presentar fuerzas no centrales dado a las condiciones de uniformidad del espacio.

Así pues, la cosmovisión Newtoniana que era defendida y que se creía podía ser aplicada a la gran mayoría de fenómenos en los cuales se evidenciara el ente de una fuerza, lamentablemente no se podía aplicar a los fenómenos eléctricos y magnéticos en su gran mayoría, sino sólo a algunos casos puntuales enmarcados en la estática, lo cual conllevaría a tener unas consideraciones diferentes en el espacio en que se manifiesta este fenómeno, ya no se podría considerar un espacio isótropo y homogéneo, lo cual haría que las condiciones del sistema cambiaran, esto sucede dado que el reposo o el movimiento es considerado como un estado que se mantiene a través del tiempo, mostrando así que todo aquello que no se encuentre enmarcado dentro de la conservación de ese estado será contradictorio a un espacio homogéneo.

Sin embargo, científicos como Coulomb y Ampere que creían y fundamentaban sus investigaciones en las teorías Newtonianas, y que ya las habían aplicado a fenómenos electrostáticos y magnetostáticos, obteniendo excelentes resultados en las predicciones y aproximaciones al fenómeno, no contaban con un enorme descubrimiento que por accidente relacionaría la electricidad y el magnetismo, siendo que ellos creían que cada uno de estos fenómenos no tenían relación alguna entre sí, sino que por el contrario tenía unos flujos independientes que les permitiría interactuar.

En resumen, Newton deja una teoría sólida que sirve para establecer las bases de los planteamientos de Coulomb que lograba relacionar la teoría de gravitación universal con la interacción entre dos cargas, dando así una solución mecanicista a fenómenos electrostáticos y magnetostáticos, haciendo uso de los corpúsculos, el espacio y un ente llamado fuerza,

coincidiendo cada uno de los fenómenos con la teoría atomista de Demócrito y aplicando unas variaciones significativas a esta.

1.3 Cosmovisión antinewtoniana

Los grandes exponentes de la cosmovisión no Newtoniana son descartes y Leibniz, quienes compartían vicisitudes con la teoría de Newton como los cuerpos (corpúsculos), espacio absoluto y el ente de una fuerza, y quienes serían un gran referente para el planteamiento del problema que formularía Faraday. Descartes por el contrario de Newton planteaba que los cuerpos no tienen ninguna relación con la fuerza, por el contrario, estos tenían contacto directo materia-espacio, estableciendo de este modo que no podía haber espacios vacíos, por el contrario, se consideraba que las partículas podrían llegar a ser tan pequeñas como corpúsculos infinitesimales, a los cuales se les atribuiría una propiedad de fluidez de la cual dependería su movimiento.

Por otra parte Descartes hacía una comparativa como lo muestra (Berkson, 1981, pág. 44), en la cual da inicio al planteamiento de su sistema metafísico estableciendo cuáles son esas propiedades de la materia y donde empieza describiendo su propuesta

...la materia sigue siendo materia cuando se alteran sus propiedades (color, forma, olor, etc.), excepto cuando varia su extensión o cualidad de ocupar espacio. El concepto de materia no tiene sentido sin el de extensión o cualidad de ocupar espacio, y por lo tanto materia y extensión son una misma cosa.

esto quiere decir que si lo anteriormente mencionado se compara con la materia y en vacío arrojaría una incoherencia, la cual conduciría a Descartes a decir que no puede existir el vacío, o en pocas palabras si existe el vacío no puede haber átomos y si existen átomos no puede haber vacío.

Posterior a esto, Descartes hace otra afirmación y al parecer una de las más importante que coincide con la pregunta que quedó en vilo cuando Demócrito planteó su teoría atomista. Si bien Demócrito se preguntaba por eso que hacía que los cuerpos no se atravesaran cuando interactuaban estando compuestos de átomos, y ¿qué era lo que hacía que los átomos se mantuvieran unidos?, pues Descartes según (Berkson, 1981, pág. 44) decía:

...las fuerzas no existen. Si suponemos, por ejemplo, que las fuerzas de cohesión son como un pegamento que mantiene unida la materia, cabría entonces preguntarse qué es lo que mantiene unido el pegamento, y así ad infinitum. Según descartes, la cohesión es sólo reposo: las partículas en reposo relativo constituyen un cuerpo; mientras que las partículas fluidas (aire) en torno a un cuerpo están en rápido movimiento.

esto indica que para Descartes lo fundamental era la conservación del momento, ya que las fuerzas no tenían cabida en el modelo metafísico que había planteado. Él afirmaba que el momento no se creaba ni se destruía, pero que sí podía haber una transferencia de éste cuando los cuerpos entraban en interacción. Aunque las ideas planteadas por él, fueron corregidas luego por otros pensadores y que a su vez no tuvo tanta influencia sobre Faraday, pero sí la tuvo sobre Leibniz.

Leibniz años más tarde retomó lo planteado por Descartes e hizo algunas modificaciones a su planteamiento, forjando una crítica acerca de la pregunta que aún continúa en vilo, si bien, Descartes había planteado unas ideas que se contraponían a Newton, no daban una luz al cuestionamiento inicial, el cual era que los cuerpos en interacción por qué no se atravesaban. Leibniz luego de analizar la teoría planteada por descartes se preguntó el ¿por qué? si esta teoría se basaba en el contacto de las superficies de los corpúsculos y siendo estos objetos geométricos no se atraviesan como lo dictaría la razón (Berkson, 1981), esto hizo que Leibniz considerara la fuerza como un ente necesario para dar solución al problema ya que el modelo metafísico de Descartes no lograba satisfacerlo.

La fuerza se la atribuía Leibniz a la materia como una de sus propiedades, y, no obstante, él creía que la fuerza no se podía atribuir a un solo punto de un corpúsculo como tal, sino que, por el contrario, esta se debería asignar a cada uno de los puntos de la materia sin importar su tamaño. Por consiguiente, él introdujo el término de continuidad en las interacciones, con lo cual indicaba que en la interacción de dos corpúsculos si estos eran rígidos y no se atravesaban tenía que haber un cambio brusco en la velocidad lo que indicaba una discontinuidad.

Posterior a esto le atribuye una propiedad a los corpúsculos que es la elasticidad y como ya se había mencionado antes una fuerza no central, que se encontraba distribuida en cada punto de éste, la cual tendría un carácter repulsivo, lo que permitiría que en contacto con otro corpúsculo

presentaran una leve deformación por el choque, que posterior a este retomarían su forma inicial evitando así una discontinuidad. Además Leibniz no lograba concebir que existiera un espacio vacío, por lo cual él creía que dios no sería igual de perfecto si el vacío llegase a existir, esto hizo que su teoría se quedara planteada en los dos conceptos que son acción a distancia y un espacio no vacío en el cual está lleno de un campo de materia o de fuerzas (Berkson, 1981).

Estos planteamientos de Leibniz fueron retomados por Boscovich y Kant quienes intentaron fusionar las dos teorías Newton y Leibniz, sin tener un resultado alguno, pero quienes lograron inquietar a Faraday, quien pudo establecer una teoría de fuerzas. Lo planteado por Boscovich es básicamente que en un punto se asocia una fuerza, y que esta será repulsiva o atractiva depende de la distancia entre las fuerzas que interactúan allí, entre más cerca la fuerza va a ser mayor, a la cual se le atribuye la fuerza de atracción, y entre más lejos la fuerza va a ser menor, a esta se le asigna la fuerza contraria, una fuerza repulsiva. Esto indica que debe existir un punto de *repulsión inicial*, permitiéndole plantear una hipótesis muy interesante que manifiesta el por qué los cuerpos posiblemente no se atraviesan entre sí.

Para esto Boscovich realiza un gráfico con el cual logra explicar su hipótesis, en este se evidencia cómo actúan las fuerzas cuando dos cuerpos interactúan, véase la **Ilustración 1**.

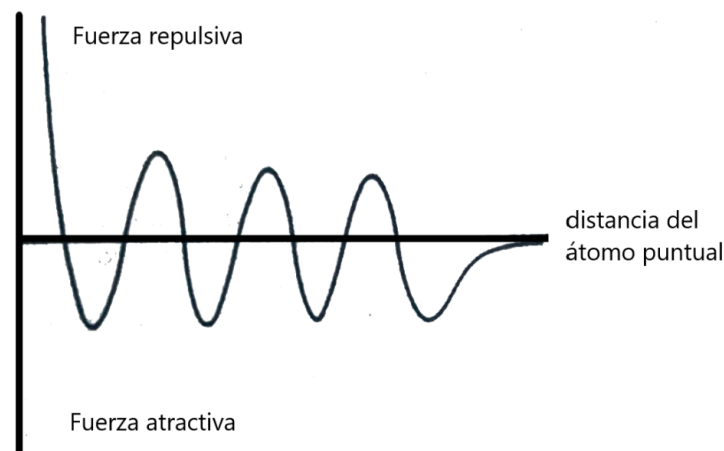


Ilustración 1: Esquema de fuerza de Boscovich para representar la impenetrabilidad de la materia. Tomado de (Berkson, 1981).

esto indica que a medida que se van acercando los dos cuerpos la fuerza repulsiva se convierte en una fuerza atractiva, la cual luego de superar el punto de *repulsión inicial*, la fuerza repulsiva empieza a crecer a medida que se acerca al otro cuerpo generando una fuerza lo suficientemente grande para hacer que los cuerpos no se traspasen. Dado a este planteamiento surgen dos fenómenos alrededor de la fuerza, uno de atracción y otro de repulsión que serían usados posteriormente en los planteamientos de Kant.

Kant había creado un sistema en el cual hacía uso de las fuerzas atractivas y repulsivas, pero donde también el vacío hacía parte del mundo. Esto lo llevó a establecer que el espacio vacío estaba lleno de fuerzas repulsivas y que estas interactuaban entre sí mediante puntos contiguos y no a distancia. Así pues, Kant pensaba que los cuerpos llenaban los espacios que ocupaban con fuerzas repulsivas en cada punto, y como estos interactuaban solo en puntos contiguos, por eso es que cuando un cuerpo se acercaba al otro lo suficientemente cerca no se atravesaban a causa de la fuerza de repulsión que estos dos experimentaban en ese punto, ya que en ese momento las dos fuerzas actuaban contiguamente. Por otro lado, las fuerzas atractivas solo podían actuar a distancia y por el contrario estas no llenan el espacio en el cual funcionan, esto le permitió establecer un equilibrio entre ambas fuerzas para los cuerpos en interacción.

En síntesis, desde Descartes con el planteamiento (materia – momento) y la negación de la existencia de las fuerzas, pasando por Leibniz y sus planteamientos en los cuales indicaba que toda la materia era fuerza, la idea de Boscovich y Kant de unificar las teorías de Leibniz y Newton, conllevaron cada vez más al planteamiento de una cosmovisión alterna en la cual se esperaba mostrar de una forma más elaborada y convincente, que los fenómenos de otro tipo como los eléctricos no podrían ser abordados bajo la mecánica de Newton, sino que, tenía que construirse una teoría que pudiera hacer posible esa idea.

Además, sentaron un precedente alrededor de un problema filosófico acerca de la interacción de los cuerpos, que no encontraría la solución todavía pero que inquietaría a otros pensadores a reflexionar acerca de las hipótesis planteadas por ellos, la cual se veía enmarcada por las diferentes propiedades que eran atribuidas al espacio en el cual se llevaban a cabo las interacciones, a diferencia del espacio newtoniano el cual era isotrópico y homogéneo.

1.4 La ciencia en el contexto de Faraday

Faraday es considerado el creador de la teoría de campos, o bien uno de los que estableció las bases de la teoría. Aquí analizaremos cómo era el contexto en el que Faraday se encontraba y cuales eran esas problemáticas que lo inquietaban a buscar una teoría que lograra unificar los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Uno de los fenómenos que apareció en el siglo XVII que revolucionaría la física y que pondría a prueba las cosmovisiones anteriormente expuestas, sería el experimento de Hans Christian Oersted, el cual consistía en un alambre al que se le inducía una corriente eléctrica y a su vez este tendría una brújula que estaría posicionada bajo el alambre como se muestra en la **Ilustración 2**, el cual presentaría un fenómeno inesperado. Cuando la corriente fluye por el alambre esta hace que la aguja de la brújula presente una desviación, lo cual indicaría que una corriente que transita alrededor de un conductor generaría una fuerza magnética.

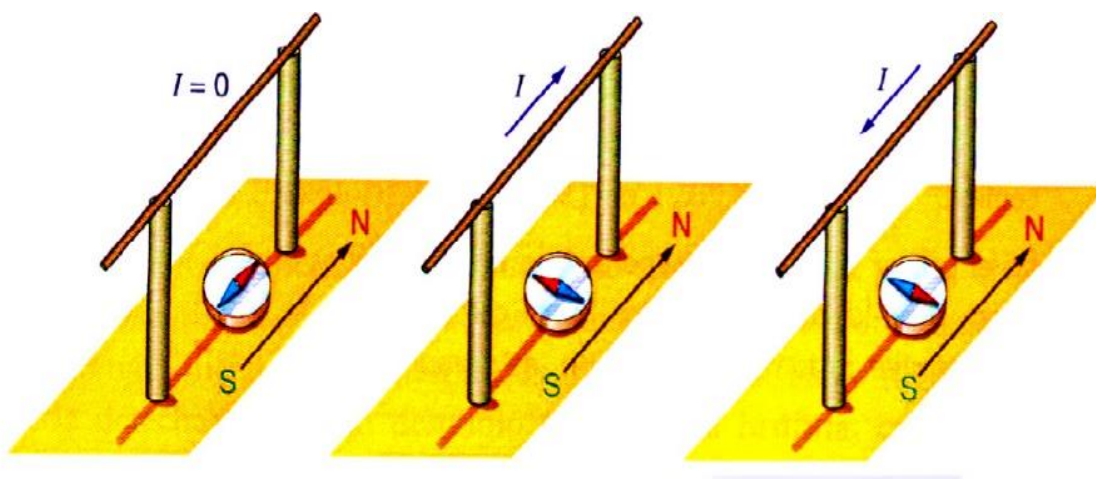


Ilustración 2: Representación del experimento de Oersted. Tomado de: <http://elfisicoloco.blogspot.com/2013/02/experimento-de-oersted.html>

Oersted despertó una gran curiosidad por este experimento y empezó a revisarlo a detalle lo cual le permitiría deducir a través de la experiencia visible, que, si se ponía un alambre sobre la brújula con una corriente en dirección sur-norte, el norte de la aguja magnética cambiaría y ahora tomaría una posición más cercana al oeste, y si por el contrario ubicaba el alambre por debajo de

la brújula, se presentaría el mismo fenómeno solo que ahora cambiaba la posición de la aguja magnética la cual tomaría la dirección contraria a la anterior, ubicándose hacia el este.

Esto le permitió a Oersted deducir dos cosas muy importantes, la primera sería que la fuerza magnética que se genera alrededor del alambre, sería una fuerza perpendicular a la dirección de la corriente, y la segunda, sería que esta fuerza tendría una forma circular concéntrica al alambre. Estas deducciones permitirían afirmar que Oersted estaría pensando en una teoría de campos ya que estaría exponiendo al fenómeno en términos de lo que sucede alrededor del cable y no al interior de este, donde se atribuye indirectamente los sucesos al espacio.

De acuerdo con Pergamon, London (1965) citado en Berkson (1981) “De los hechos anteriormente mencionados se deduce evidentemente que el conflicto³ eléctrico no está confinado en el conductor, sino que se encuentra ampliamente disperso por el espacio circundante” (pág.59). Oersted había sido influenciado por Kant, su cosmovisión se encontraba enmarcada en una mirada no newtoniana, lo que le permitía concebir las fuerzas como una unidad no confinadas dentro del conductor, de tal manera que todas estas se pudieran manifestar a través de fuerzas repulsivas y atractivas en el espacio circundante, lo que indica que estas se podrían convertir unas en otras.

A demás de esto, Oersted se dio cuenta que este fenómeno dependía del grosor del alambre también, dado que, si el alambre tenía mayor diámetro este se hacía más evidente, entre mayor fuera el diámetro del alambre el fenómeno era más visible, y entre más pequeño este, menos se podía evidenciar el fenómeno. Sin embargo, pese que Oersted había hecho un gran descubrimiento, este no había continuado con el estudio de este experimento, dado que no tenía las herramientas suficientes para caracterizar y matematizar el fenómeno, de tal manera que esto le permitiera tener una aproximación teórica y experimental de lo evidenciable en este caso “formalizar este fenómeno”. Este fue uno de los más grandes problemas que inquietaría a Faraday a formular su situación problema.

³ “La teoría del conflicto eléctrico nació cuando Oersted intentaba explicar la existencia de la luz polarizada, supuso que la polarización de la luz era en realidad una polarización *eléctrica* y estableció la siguiente relación entre esta hipótesis y los efectos ordinarios de la electricidad: La electricidad positiva y la negativa siempre integran el conductor y el espacio que las rodea; incluso cuando no hay carga neta, las cargas positivas y negativas pueden vibrar rápidamente de aquí para allá (Berkson, 1981)”

Este experimento también logro despertar la curiosidad de Ampere, el cual se había visto influenciado por la corriente Newtoniana y a quien causaría muchas preguntas, dado que en su cosmovisión creía que los fenómenos eléctricos y los fenómenos magnéticos estaban relacionados cada uno con un fluido diferente lo que hacía que estos fueran independientes uno del otro, esto condujo a que Ampere llegara a preguntarse si este nuevo fenómeno podría llegar a explicarse a partir de la cosmovisión newtoniana.

Ampere concibió la posibilidad de que el magnetismo no fuera una sustancia distinta, sino simplemente un aspecto de la electricidad; pensó que si los efectos magnéticos se debían a las corrientes eléctricas circulares dentro de los imanes, estas corrientes podrían interaccionar con las de otros imanes y con las corrientes voltaicas, explicando así el descubrimiento de Oersted. (Berkson, 1981, pág. 60).

Esto condujo a que Ampere, realizara una serie de experimentos para poder establecer si las corrientes en interacción presentaban propiedades magnéticas. Luego de hacer varios experimentos, Amper logra un intento valioso, en el cual, se colocaban dos cables uno cerca del otro y se hace fluir una corriente eléctrica a través de ellos. Cuando estos se encontraban muy cerca mostraban que la interacción entre las corrientes generaba una atracción o una repulsión de corrientes, lo que llevaría a concluir que las corrientes paralelas en una misma dirección se atraen y en dirección contraria se repelen.

Luego de varios experimentos con cables y corrientes, en los cuales se lograba evidenciar el fenómeno de atracción y repulsión de las corrientes, él haciendo uso de la teoría Newtoniana, establece que sobre estos actúan unas fuerzas centrales, las cuales actuaban a distancia, y las que dependerían del inverso al cuadrado de la distancia y que también serían directamente proporcionales a la intensidad de corriente, sin embargo, hubo experimentos con corrientes y alambres en los cuales se tenían que considerar otros factores como los ángulos, en particular el experimento del alambre giratorio. Esta teoría, logró dar solución netamente a los fenómenos en los cuales estaban involucradas corrientes cerradas, a diferencia de las corrientes abiertas, esta teoría presentaba problemas.

En definitiva, estos dos experimentos, el experimento de Oersted y el experimento de Ampere, abrieron paso a una nueva era de la física, ya que, se lograba ver una relación entre dos fenómenos que por siglos se consideraban independientes y que no compartían ninguna relación. Por otro lado, aun la teoría Newtoniana, aunque con algunas pequeñas modificaciones mostraba indicios favorables a una aproximación más acertada de la relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos.

En segunda instancia, se establecen dos concepciones alrededor de los fenómenos eléctricos y magnéticos, la primera es la de Oersted que, aunque un poco vaga y confusa, muestra que estos fenómenos están interactuando en un medio, en este caso en el espacio, donde se encuentran estas fuerzas que permiten evidenciar este fenómeno y descentraliza las fuerzas del conductor; Ampere por el contrario establece un modelo meramente Newtoniano, en el cual las fuerzas de interacción son concéntricas al conductor.

2. Faraday y Maxwell. Cosmovisión de los campos de fuerza.

En este capítulo, se muestra las diferentes consideraciones que Faraday tuvo en relación con los fenómenos que se presentaban en el experimento de Oersted, y cómo esto lo llevó a pensar en una serie de experimentos que le permitieran organizar estos fenómenos con las ideas de campos de fuerza. Por otro lado, se muestran las ideas de Maxwell alrededor del concepto de campo y sus discrepancias que luego lo conducirían a establecer una línea de trabajo que le permitiría construir una formalización alrededor de las ideas de Faraday.

2.1 Cosmovisión de Faraday

Las explicaciones de las fuerzas centrales a través de la teoría newtoniana presentaban una muy buena acogida para los fenómenos planteados por Ampere y Coulomb (interacción entre dos alambres con corriente o la fuerza entre cargas puntuales) que eran explicados a través de la acción a distancia, sin embargo, Faraday creía que estos fenómenos sucedían en el espacio, lo que le hacía creer que existía un campo real el cual era el medio que permitía que estos fenómenos fuesen visibles luego que se presentara la interacción entre dos elementos que tuviesen propiedades eléctricas o magnéticas.

Por otro lado, Faraday se vio influenciado por la teoría de Boscovich, la cual fue mencionada en el anterior capítulo, esta le permitió, tener una concepción diferente a la Newtoniana, con la cual quería poder explicar las fuerzas no centrales. Según (Berkson, 1981) Faraday no postuló la existencia de un fluido universal para explicar este tipo de fuerzas no centrales, sino que por el contrario introdujo la hipótesis de que *las fuerzas constituyen la única sustancia física*. Esta nueva concepción le permitiría a Faraday tomar una postura alrededor de lo planteado por Boscovich quien creía en un modelo de espacio constituido por puntos, en los cuales los diferentes cuerpos podían interactuar, si estos eran contiguos e inextensibles. Esta postura de Faraday alrededor de los puntos decía que, si estos no tienen una distancia que los separara unos de otros y en caso tal que hubiese esta distancia y ésta llegase a ser lo suficientemente pequeña

podría construirse una función fuerza, que permita calcular la acción de un punto a otro, dado que esta serie de puntos contiguos permitirían modelar una curva que podría ser representada por una función.

Esto condujo a que Faraday, construyera una concepción entorno al espacio lo que le permitiría ahora relacionar las fuerzas y la materia con el fin de explicar la concepción de las fuerzas que son centrales y que salen o entran en una partícula puntual, las cuales ya no tendrían diferencia alguna para él, sino que las concebiría como iguales, dado que él consideraba que las partículas eran lugares donde las fuerzas se intersecaban en un punto, dejando de lado la idea que las partículas eran puntos de materia a los cuales eran asociadas fuerzas, explicando así, por qué se consideraba que las fuerzas eran centrales y salían o entraban de una partícula.

Faraday creía que las fuerzas actuaban unas sobre otras, esto lo decía dado que él había establecido que estas fuerzas eran sustanciales, por lo tanto, si las fuerzas tienen esta propiedad se puede decir que fuerza y materia son lo mismo, lo cual le permitiría establecer entonces que no habría ninguna distinción entre estas. Teniendo en cuenta lo anterior, Faraday según (Berkson, 1981) estableció esta igualdad de la siguiente manera: primero analizó que los cuerpos son sistemas de partículas, lo cual se puede traducir a cuerpos conformados por sistemas de fuerzas dado la igualdad fuerza y materia, esto por un lado, por otro lado, si estos sistemas interactúan entre sí, se puede decir que las fuerzas interactúan entre ellas mismas y no actúan a distancia, sino que debe haber un conjunto de fuerzas que permitan esta interacción mediante fuerzas contiguas.

Esto conlleva a pensar entonces, que todo el espacio va a estar constituido por fuerzas y que estas son las que permiten las interacciones entre los cuerpos. Así pues, la fuerza es constituida como una sustancia universal, que va a interactuar con las fuerzas contiguas, ya que estas tendrán asociadas una intensidad y dirección, lo que hará que los puntos vecinos se muevan, permitiendo al observador evidenciar fenómenos de repulsión, atracción, o de movimiento en fenómenos electromagnéticos. Sin embargo, se construye este modelo que parece ajustarse en parte a los fenómenos eléctricos y magnéticos, pero este carece de leyes o que expliquen en si como se distribuyen e interactúan estas fuerzas.

Por otro lado, Faraday creía que estos sucesos se deberían regir al rededor del principio de continuidad, si esto se cumpliera, se podría decir que la interacción de las fuerzas debe suceder en el espacio, pero también deben tener un tiempo en el cual estas se den, lo que conduce a pensar que la acción a distancia basada en la teoría newtoniana violaría el principio de continuidad, dado que las acciones que se presentan desde el punto de vista newtoniano, son acciones mediatas, siendo así, el principio de acción a distancia diría que las fuerzas saltan de un lugar a otro en el espacio, lo cual sería contradictorio a la interacción de fuerzas contiguas, lo que quiere decir, que esta acción es mediata y que estas fuerzas no tendrían ninguna influencia sobre los sucesos que se encuentren intermedios.

Teniendo en cuenta lo anterior, la teoría de Faraday estaría constituida alrededor de un mundo físico que contiene una red de líneas de fuerza o un campo de fuerzas el cual tendría unas características en particular, como lo menciona (Berkson, 1981) estas serían las siguientes:

- a) Cada punto de fuerza actúa sobre los puntos vecinos.
- b) La propagación de cualquier cambio de la intensidad de la fuerza requiere un tiempo finito.
- c) Todas las fuerzas son de la misma clase.

Ahora bien, si Faraday concebía que todas las fuerzas eran de un mismo tipo y que estas eran producto de lo que él llamaba líneas de fuerza o campo de fuerzas, estas mostrarían una propiedad de sustancia, lo cual permitiría explicar que estas fuerzas no puede actuar sobre otros lugares o fuerzas si esta no tiene un tiempo de desplazamiento, confirmando la hipótesis que las fuerzas no pueden actuar bajo una acción mediata a distancia.

Esto conlleva a plantear dos hipótesis; si las fuerzas que interactúan son consideradas como sustancias, y estas pertenecen a un campo y se pueden concebir mediante líneas de fuerza como lo establecía Faraday, entonces estas ideas deberían estar basadas en un principio de continuidad, el cual sería parte fundamental de la hipótesis del campo de fuerzas. También, otra hipótesis importante alrededor del campo de fuerzas es la conservación de las fuerzas, ya que Faraday concebía que estas ni se crean ni se destruyen, sino que, la cantidad total de fuerzas en el universo no varía, lo que sucede es que hay una serie de variaciones en diferentes puntos, lo cual genera

una perturbación en el espacio en las zonas contiguas, lo que quiere decir que se va a presentar un flujo de fuerzas, que van a requerir de un tiempo determinado para ir variando la magnitud y dirección, lo cual mostraría cambios físicos en el entorno donde está ocurriendo el fenómeno.

Esto llevó a Faraday a construir una serie de experimentos que le permitieran clarificar sus ideas y traer una serie de nuevas hipótesis que podrían complementar las hipótesis mencionadas anteriormente. Así pues, Faraday logró establecer un experimento contrario al que había mostrado Oersted, el cual consistía en transformar el magnetismo en electricidad. Este experimento consistía básicamente en un anillo metálico el cual era enrollado en una de sus mitades un alambre el cual se conectaba a una batería, y en la otra mitad el anillo era enrollado por un alambre el cual iba conectado a un galvanómetro, como se muestra en la **Ilustración 3**.

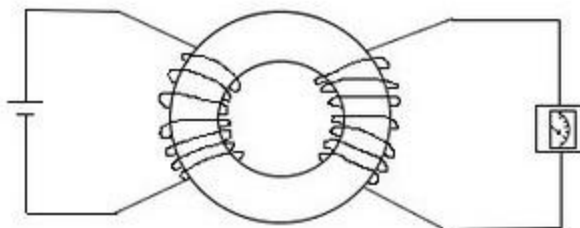


Ilustración 3: Electroimán que actúa sobre un circuito próximo al imantado. Tomado de: <https://fisica.laguia2000.com/wp-content/uploads/2011/03/INDUCCION.jpg>

Lo que sucede en este caso, es que cuando se conecta uno de los alambres a la batería, esta hace fluir una corriente eléctrica por el alambre que enrollado en el anillo genera un electroimán, en la otra mitad del anillo se encuentra un alambre enrollado que va conectado a un galvanómetro, el cual muestra que cuando se conecta el electroimán, el galvanómetro registra una corriente leve y cuando se desconecta el electroimán se registra nuevamente una corriente leve. Esto sucede ya que una corriente que fluye por un alambre genera un fenómeno magnético, el cual se va a distribuir por el anillo metálico generando así un electroimán, luego de esto ese fenómeno magnético en interacción con el segundo cable que está conectado al galvanómetro es permeado por el fenómeno magnético mostrando que este en interacción con un conductor puede generar un leve flujo de corriente eléctrica. Según (Berkson, 1981, pág. 93) Faraday por medio de este experimento lograba ahora convertir el magnetismo en electricidad, pero él habría confirmado que

los cables se deberían encontrar en un estado especial cuando estos se encontraban en presencia de un campo, al cual lo llamó estado electrotónico.

En pocas palabras Faraday, habría logrado establecer una serie de hipótesis alrededor del concepto de campo que cada vez le permitían tener una noción de éste un poco más clara, además había podido empezar a establecer una serie de características alrededor del espacio en el cual se manifestaban los fenómenos, las cuales eran principalmente que los fenómenos que se presentaban no podían darse en términos de una acción a distancia, sino que por el contrario había un campo de fuerzas que era el que permitía que éstos se dieran, y en segunda instancia se atribuía a los diferentes cuerpos que en presencia de un campo de fuerzas estos sufrían un cambio en la configuración inicial, mostrando un estado diferente, como se logró evidenciar el alambre que estaba conectado al electroimán, su estado cambio cuando el alambre esta alrededor del campo magnético que genera el electroimán y este no genera otro campo magnético sino que cambia de estado y genera un flujo de corriente eléctrica.

2.2 Campo de Faraday

Faraday luego de años de hacer una serie de experimentos alrededor de los fenómenos eléctricos, magnéticos y gravitatorios, con el fin, que estos le permitieran dilucidar con mayor claridad el comportamiento de su teoría de campos y teniendo en cuenta concepciones metafísicas como las de Coulomb y Ampere, que también se estaban desarrollando en simultánea alrededor de los fenómenos electromagnéticos y las ideas de la conservación de la energía de Euler, le permitirían centrar sus investigaciones hacia los sucesos continuos de las líneas de fuerza.

Para esto, Faraday estableció una de las primeras ideas alrededor de la teoría de la electricidad, la cual era que una partícula no podía tener una carga absoluta, siendo así, esto implicaría que las partículas que se encuentran vecinas no podrían estar cargadas con carga de un solo signo, ya que para que se generara una tensión en dos direcciones se requiere de ambas. En segunda instancia Faraday logró concluir que las líneas de fuerzas no eran necesariamente líneas rectas como funcionaban en la acción a distancia, sino que éstas se podían curvar como resultado

de la polarización del medio en el cual estas se presentaban. Por otro lado, Faraday buscó definir las líneas de fuerza magnéticas, diciendo que las líneas que se observaban a través de un imán eran líneas de fuerza cerradas ya que él observaba que dichas líneas que salían del imán, salían de un punto y llegaban a otro, con esto logró explicar por qué no se puede tener un polo magnético sur o norte, y por qué no se pueden separar uno del otro. Así pues, logró dilucidar que era imposible que una partícula ajena se lograra cargar con una de estas cargas solamente, sino que por el contrario confirmaría que no hay una partícula o un cuerpo que tenga una carga absoluta.

Este concepto de líneas de fuerza, se creía que primero eran independientes y que por lo tanto estas podían curvarse y además tenían un tiempo de propagación, esto lo deduce de creer que primero si bien esta línea de fuerza magnética se podía visualizar cuando la limadura de hierro interactuaba con las líneas de campo de un imán. Sin embargo, esta no parece ser la única a razón para demostrar que estas existían, ya que este podría solamente ser un estado de la interacción del imán y la limadura de hierro, lo cual lo llevó a realizar otros experimentos en los cuales pudiera evidenciar el mismo fenómeno y comprobar así que las líneas sí tenían esa naturaleza. Además, la corriente inducida en un alambre, generaba alrededor un campo magnético, esta no se propagaba al instante, lo cual quería decir que esta fuerza tomaría un tiempo para propagarse por el espacio circundante. Pero este último argumento carecía de experimentos que le permitieran medir el tiempo en relación con la propagación de la fuerza.

Como lo hemos mencionado anteriormente la teoría de Faraday dice que un cuerpo no actúa directamente sobre otro, sino progresivamente a través del campo (Berkson, 1981). Esto quiere decir que las interacciones se deben dar en un campo de fuerzas y que estas por consiguiente tendrán un tiempo finito de propagación, lo cual indica que esta interacción y su fenómeno depende netamente de un marco espacio temporal, lo que mostraría que si el campo tuviese mayor velocidad sería directamente proporcional a la magnitud de las fuerzas indicando que estas se harían más grandes. Además de esto él tenía la idea que estas líneas de fuerza se podían construir alrededor de puntos equipotenciales del campo, los cuales permitirían trazar unas líneas físicas de fuerza en el espacio, regido bajo el principio de continuidad.

De esta forma Faraday, dejaría planteadas sus ideas alrededor de una teoría de campo en la cual concebía que el mundo estaba conformado por fuerzas y que por consiguiente la materia y las fuerzas eran lo mismo, además mostrando que la ley que describe a este campo es la ley de conservación de las fuerzas regido bajo el principio de continuidad. También una teoría que buscaba la unificación de todas las fuerzas en un modelo con el cual buscaría explicar el mundo y sus diferentes fenómenos, aunque con algunos vacíos alrededor de la interacción entre las diferentes fuerzas y el tiempo de propagación de estas.

2.3 Cosmovisión de Maxwell

Maxwell es considerado como uno de los grandes físicos y matemáticos del siglo XIX, ya que se tomó el trabajo de revisar los planteamientos que Faraday había dejado alrededor de una teoría ambiciosa, que buscaba unificar las fuerzas gravitatorias, eléctricas, magnéticas y la óptica. Sin embargo, luego de hacer un análisis detallado se dio cuenta que Faraday tenía ideas plausibles y menos descabelladas que otros pensadores del momento, pero que igual presentaban algunas inconsistencias desde su punto de vista.

Haciendo uso de sus conocimientos en matemáticas y teniendo como referente a Faraday, consigue aplicar la metodología de analogías, la cual le permitiría construir teorías alrededor de los diferentes fenómenos y aun que estas construcciones llegasen a ser falsas, permitirían arrojar resultados que contribuirían en gran forma a abrir nuevos caminos en investigación. Esto le permitió matematizar la gran mayoría de las ideas de Faraday, sin embargo, él quería buscar un modelo mecanicista que le permitiera establecer una serie de propiedades al medio en que suceden estos fenómenos, el cual él consideraba como éter.

Para esto que hace Maxwell; es importante tener en cuenta el principio de continuidad dado que este le permitiría establecer una relación entre los cuerpos y las interacciones entre ellos, ya que él consideraba que para poder hablar desde una perspectiva de campos era necesario negar la acción a distancia como lo menciona (Ayala,2006) quien se refiere a una postura diferente, en este caso una postura de campos, la cual implica asumir un carácter local de la acción. Por otro lado, Maxwell tienen en cuenta las propiedades del espacio donde estos se producen ya que estas están

determinadas como una perturbación teniendo en cuenta el tipo de interacción de los cuerpos, lo cual quiere decir que los fenómenos que se logran evidenciar están relacionados con el cambio de estado de los cuerpos, lo que genera una alteración en su entorno.

Maxwell, realizó una serie de experimentos alrededor de los fenómenos electroestáticos, con el fin de dilucidar y comprender con mayor claridad las ideas planteadas por Faraday y en las cuales había quedado inconclusa la forma en que los campos de fuerza interactuaban. Así las cosas, esto le permitiría a Maxwell establecer una línea de trabajo que lo conduciría a entablar una relación entre una serie de leyes basadas en experimentación y observación que le permitieran construir una teoría basada en el éter y que pudiera relacionar los diferentes fenómenos eléctricos y magnéticos y así poder construir un concepto alrededor de la teoría de campos en relación con los diferentes factores que lo constituyen.

Por lo tanto, es importante conocer las diferentes posturas tanto de Maxwell como Faraday, con el fin de establecer una perspectiva clara a la hora de organizar las ideas que permitan hacer un análisis detallado alrededor de los experimentos electroestáticos, con el fin de establecer relaciones adecuadas alrededor de los diferentes experimentos y su respectiva formalización.

3. Criterio para la construcción del concepto de campo y los elementos que lo componen.

En el actual trabajo, se ha recurrido a la lectura del texto de (Berkson, 1981) con el fin de establecer una serie de referentes históricos alrededor de los textos originales, con los cuales se pueda determinar el contexto y la trayectoria en la cual se plantean las ideas alrededor del concepto de campo. Esta serie de referentes permiten en primera instancia establecer un criterio alrededor de los campos de fuerza, y tener en cuenta las diferentes perspectivas que se presentaron a lo largo de la historia para poder construir una teoría formal alrededor del concepto de campo y los elementos que lo constituyen. Además, estos referentes y perspectivas permiten guiar el trabajo de investigación en la dirección de un estudio histórico-crítico y la posibilidad de llevar a cabo una recontextualización de saberes, para poder establecer una estructura de trabajo alrededor del diálogo entre el maestro y el conocimiento científico en contexto, y llegar a forjar la respectiva formalización y conceptualización del campo.

3.1 Estudios histórico-críticos

Los estudios histórico-críticos son importantes, ya que, conducen al maestro que se forma en ciencias físicas a remitirse a los textos originales, permitiéndole tener un contacto directo con la cosmovisión que tenía el científico y la forma de pensar en la solución del problema en su génesis. Así pues, esto hace que el maestro pueda retomar estas ideas y traerlas a un contexto diferente y poder hacer un análisis crítico con el cual obtenga como resultado la posibilidad de hacer una recontextualización de un saber, reconociendo así que esta acción le puede ayudar a enriquecer su actividad pedagógica alrededor de la comprensión de los conceptos como de propuestas alrededor de la enseñanza.

Este no es un proceso solamente del maestro, sino también del estudiante o maestro en formación de física, ya que él también está involucrado en un proceso cognitivo de construcción

de conocimiento el cual se ve influenciado en gran manera por una serie de elementos tales como el contexto y su forma de concebir el mundo, lo que le permitirá organizar este conocimiento y formar una imagen aproximada de la realidad. Así pues, se trata de generar una serie de condiciones que le permitan organizar y ampliar su campo de experiencia a través del diálogo con los conocimientos científico y con la información que se tiene al alcance (Ayala, 2006).

Esto permite que todos los que se encuentren inmersos alrededor de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, en este caso la física, tengan la posibilidad de hacer una recontextualización alrededor de los diferentes saberes científicos, con el fin de poder construir una imagen inteligible de la naturaleza. De esta manera y como lo menciona (Ayala, 2006) la recontextualización es

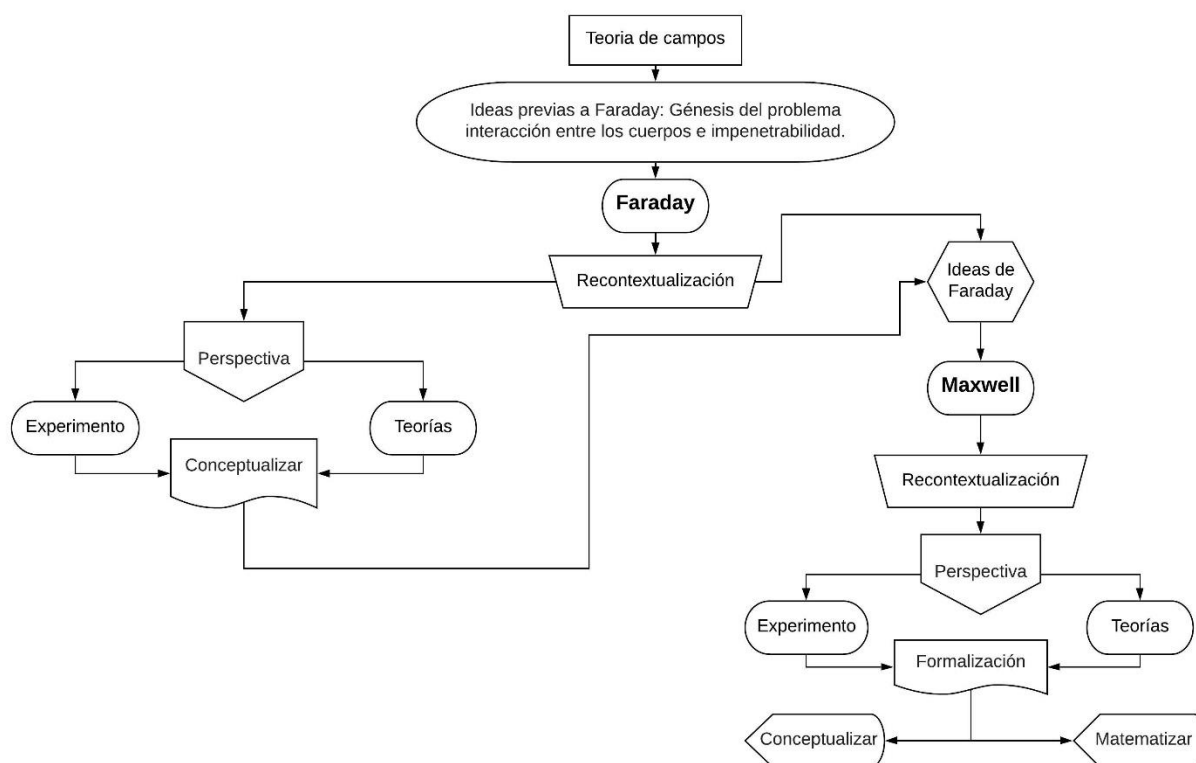
“...entonces la actividad constructiva y dialógica en busca de elementos para la elaboración o solución de un problema o la construcción de una imagen de una clase de fenómenos, que depende inevitablemente de los intereses, conocimientos y experiencia de quienes la realizan (Ayala, 2006, págs. 28-29)”

En efecto, esta es una definición importante ya que le brinda herramientas al maestro en física, tanto en la construcción como solución de problemas que le permitan ampliar el campo de experiencias y conocimiento a través de la solución de interrogantes orientados por los textos científicos originales. Además, esto permite establecer un contexto para poder comprender los fenómenos en sí, haciendo uso de la historia como marco de referencia. Igualmente posibilita la construcción de una imagen inteligible alrededor del fenómeno teniendo una perspectiva más clara tanto en su génesis como de un nuevo contexto al cual se quiere llevar. Así pues, la historia está sujeta al estudiante y/o maestro que la interpretan, permitiendo así, buscar otras nuevas estructuras que permitan proporcionar resultados significativos alrededor de la organización de los fenómenos y la enseñanza de la física.

Por lo tanto, y teniendo en cuenta la recontextualización, esta ha permitido mirar la forma en que Maxwell recoge las ideas de Faraday y su concepción alrededor de la teoría de campos de fuerza, que en primera instancia han permitido establecer una postura alrededor de una perspectiva

sobre la teoría de campos, que genera una alternativa diferente de construir una imagen inteligible de los fenómenos. Esta postura está basada en la idea de un campo de fuerzas que actúa contiguamente y que se rige bajo el principio de continuidad y conservación de las fuerzas. Además, la forma en la que interactúan los cuerpos es mediante perturbaciones en el espacio, teniendo un tiempo finito de propagación por no ser una acción mediata.

En segunda instancia es necesario reconocer el papel de la actividad experimental tanto de Faraday como de Maxwell, lo que permitió configurar una teoría alterna alrededor de los fenómenos que se presentaban en cuerpos electrificados y magnetizados y de la relación entre estos dos fenómenos que principalmente se consideraban sin correspondencia alguna. Así pues, el experimento, brinda los elementos necesarios para la construcción del conocimiento entorno a un campo fenoménico, permitiendo construir una formalización e imagen inteligible alrededor de este, a través de la conceptualización y matematización.



Esquema 1. La recontextualización alrededor de la teoría de campos. Fuente: Autor.

De esta manera y como se observa en el (**Esquema 1**) la conceptualización es una parte muy importante en el trabajo de la formalización, véase formalización como:

“el proceso mismo de comprender los fenómenos físicos ... formas matemáticas que nacen del proceso de formalización en sí mismo; en otras palabras que la física y la matemática pueden compartir formas similares en cuanto se pueden considerar que son elaboraciones formales de lo externo. (Ayala Manrique, y otros, 2008, pág. 18)”

Así pues, se busca que a través de la formalización vista como la relación que se puede establecer entre dos elementos en este caso la física y las matemáticas poder deducir y fijar partes que sean esenciales para la construcción del concepto de campo, a través de la **aplicación de las matemáticas en el análisis de los fenómenos físicos**, entiéndase como una estructura que se puede utilizar y adaptar para la comprensión y organización de nuevos eventos (Ayala Manrique, y otros, 2008).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, es posible darle un sentido físico a la matematización que a su vez establece un sentido en la organización de los fenómenos para luego poder darle forma y construir una imagen inteligible de la realidad física. De acuerdo con esto, y teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados se pueden establecer criterios que permitan realizar el respectivo análisis y construcción del concepto de campo al rededor los elementos que lo constituyen.

1. Los experimentos electrostáticos, como el campo fenoménico establecido que permita la construcción de una imagen inteligible de campo.
2. La formalización, como parte fundamental en la relación física-matemática alrededor de la conceptualización del campo en relación con los elementos que lo constituyen.

En conclusión, el trabajo de recontextualización ha brindado los elementos necesarios para establecer estos criterios alrededor de la actividad experimental y la formalización, con el fin de poder construir conocimiento en torno a las ideas de campo planteadas por Faraday y formalizadas

por Maxwell. Con lo cual se busca construir el concepto de campo alrededor de los elementos que surgen de los experimentos realizados por Maxwell en torno de la electrostática.

4. Electrostática

En este capítulo, se llevará a cabo el respectivo análisis de una serie de experimentos planteados por Maxwell alrededor de los fenómenos electrostáticos⁴, con los cuales se busca establecer un diálogo y poder a través de estos construir el concepto de campo. Ahora bien, se consideran los fenómenos electrostáticos como producto de la recontextualización y como uno de los modelos menos complejos no dependientes del tiempo para poder construir conocimiento. Además, buscaremos deducir de dónde salen los elementos de carga, fuerza, flujo y superficies equipotenciales y cómo estos se relacionan con el medio.

Luego de haber indagado el texto de (MAXWELL, 1954) en el cual se presenta una serie de experimentos alrededor de los fenómenos electrostáticos, y tomando como referente el trabajo de grado “*Caracterización de los fenómenos electrostáticos desde una perspectiva de campos*” (Paque Burgos & Ulloa Castaño, Caracterización de los fenomenos electrostaticos desde una perspectiva de campos, 2013), se procedió a realizar una comparativa entre los experimentos descritos por Maxwell y el trabajo de grado anteriormente mencionado, lo cual nos permitió configurar dos tipos de experimentos alrededor de los fenómenos electrostáticos, los cuales son experimentos que permiten evidenciar los fenómenos de electrificación por fricción y electrificación por inducción. Además, luego de cotejar el texto de (MAXWELL, 1954) con el trabajo de grado de (Paque Burgos & Ulloa Castaño, 2014) se logró evidenciar algunos errores de interpretación alrededor de los experimentos en los que se presentan el fenómeno de electrificación por inducción que describe Maxwell. Siendo así, el trabajo de grado “*Caracterización de los fenómenos electrostáticos desde una perspectiva de campos*” (Paque Burgos & Ulloa Castaño, 2013), se ha tomado como referente si en la modelación grafica de los experimentos mas no en la interpretación que estos dan a los fenómenos que Maxwell presenta en su tratado de la electricidad.

4.1 Electrificación por fricción

El primer experimento que propone Maxwell es el de generar fricción entre dos materiales, en este caso, se friccionan un trozo de vidrio y un trozo de resina, donde inicialmente se muestran

⁴ MAXWELL, James Clerk., A treatise on electricista and magnetismo Vol. I. Dover Publicacions Inc., New York, 1954.

en un estado de equilibrio y no exhiben ninguna propiedad eléctrica, luego de haber frotado las dos caras de los materiales se dejan en contacto, lo cual muestra, que no ocurre ningún fenómeno eléctrico alrededor de este, pero si estos son luego separados, se logra evidenciar un fenómeno de atracción del uno hacia el otro como se presenta en la **Ilustración 4**.

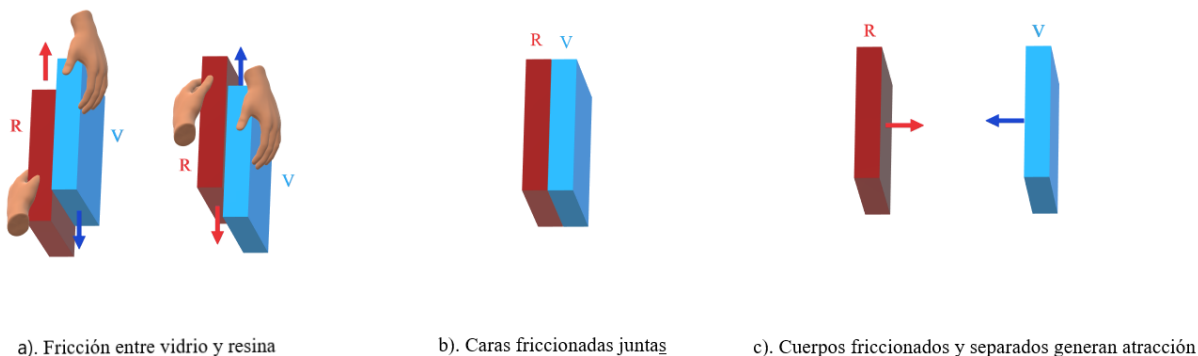


Ilustración 4. Representación de la electrificación por fricción. Fuente: Autor.

De esta primera parte se puede deducir que, los cuerpos se encuentran en un estado de equilibrio antes de la interacción y durante la interacción, cuando son friccionados estos no presentan cambio alguno, lo que quiere decir que el sistema, continúa en equilibrio, sin embargo, cuando los dos trozos son separados se puede ver que hay un desequilibrio en el sistema y que dado esto buscan estar nuevamente en equilibrio mostrando un fenómeno de atracción entre ellos. Esto indica que el medio es un ente importante en los sistemas electrostáticos, ya que si este no permite una respectiva separación entre los cuerpos no es posible evidenciar el efecto del uno sobre el otro. Por otro lado, es de gran importancia resaltar que para que se puedan evidenciar estos fenómenos es necesario tener en el sistema mínimo dos objetos interactuando que permitan evidenciar si hay algún tipo de electrificación, ya que, si hubiese solo uno, no sería posible establecer si hay o no algún tipo de electrificación.

Posterior a esto, Maxwell fricciona dos trozos más, uno de vidrio con uno de resina y los deja suspendidos y separados en cercanía a los trozos anteriores, de esta manera pone en interacción los trozos ahora friccionados y electrificados por fricción, logrando generar un fenómeno sobre estos que muestra una serie de resultados alrededor de las interacciones. (véase la **Ilustración 5**). En primer lugar, logra evidenciar que los pedazos de vidrio se repelen entre si y

que cada trozo de vidrio se atrae con un trozo de resina, en segundo lugar, evidencia que los pedazos de resina se repelen entre sí, pero se atraen con los pedazos de vidrio.

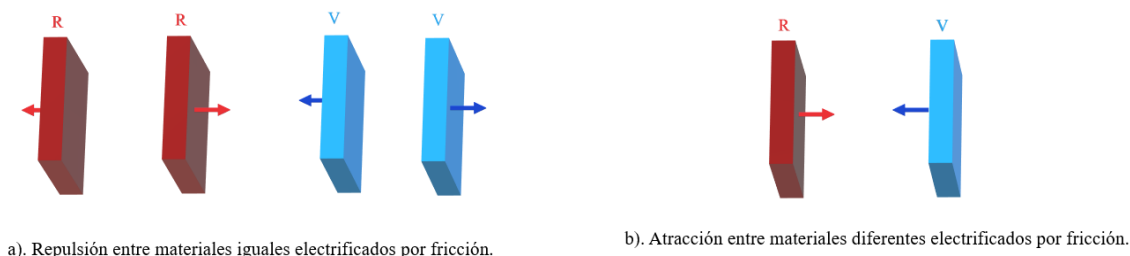


Ilustración 5. Fenómenos de repulsión y atracción entre materiales electrizados por fricción. Fuente: Autor.

Se puede entonces, establecer que los fenómenos presentes están relacionados con la atracción y repulsión, así pues, se puede asociar que en las interacciones entre materiales diferentes y electrizados por fricción se genera una manifestación atractiva y que los materiales iguales electrizados por fricción generan una manifestación repulsiva. De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta las definiciones que hace (MAXWELL, 1954) en su tratado alrededor de los fenómenos presentes surgen un término importante que es *electrificados o cargados de electricidad*.

Teniendo en cuenta esto, todos los cuerpos electrizados van a adquirir un tipo de carga eléctrica, en este caso puede ser vítrea o resinosa y para saber esto es necesario poner el cuerpo electrizado en interacción con un tipo de electrificación bien sea vítrea o resinosa, y dependiendo el fenómeno que se muestre es posible deducir el tipo de electrificación que este posee (vítrea o resinosa). Sin embargo, (MAXWELL, 1954) menciona que la electrificación vítrea y resinosa poseen una propiedad y es que son opuestas entre sí, sin embargo menciona que

“...hombres de ciencia llamar a la electrificación vítrea positiva y a la resinosa negativa. La propiedad exactamente opuesta de las dos clases de electrificación nos justifica el indicarlas con signos opuestos, pero la aplicación del signo (+) a una clase más que a la otra debe ser considerada como un asunto de convención arbitraria, de la misma manera que es una convención en los diagramas matemáticos designar las distancias positivas hacia la mano derecha. (MAXWELL, 1954)”

de esta manera, se asignan unas convenciones que permitan referirse a los fenómenos y sus interacciones con mayor facilidad, con lo cual se espera que estas aprueben una interpretación menos compleja en el abordaje, si en dado caso llegase a ser necesario un respectivo tratamiento matemático.

En conclusión, los cuerpos presentan unas propiedades alrededor del tipo de electrificación, las cuales se manifiestan a través de la atracción o repulsión entre ellos en un medio luego de haber sido electrificados por fricción, presentándose este fenómeno como un desequilibrio⁵ del sistema compuesto por los materiales que interactúan, sin embargo, no quiere decir que este sea el único método que permita a un cuerpo adquirir esta propiedad. Además, es importante tener en cuenta el papel que juega el medio en este proceso de electrificación, ya que es este el que permite evidenciar el desequilibrio del sistema.

4.2 Electrificación por inducción

La electrificación por inducción y los experimentos que en este se presentan son la clave para Maxwell, ya que le permiten establecer una serie de propiedades alrededor de las diferentes manifestaciones que se presentan en el medio. Estos experimentos se configuraron alrededor de un trozo de material cargado vítreamente, un recipiente hueco cerrado con una condición que este fuese conductor y un electroscope para observar si se presentaban algunos cambios o alteraciones en las experiencias.

4.2.1 Primer experimento de electrificación por inducción.

En este primer experimento de electrificación por inducción, Maxwell toma un recipiente conductor (metálico) con tapa, el cual se encuentra debidamente atado a hilos de seda con el fin de mantenerlo sin contacto alguno con otros elementos, esto le garantiza que el recipiente no esté electrificado. Luego toma un trozo de vidrio o resina electrificado, los cuales son suspendidos

⁵ Entiéndase equilibrio del sistema en este caso cuando son frotados los trozos de diferentes materiales y se dejan con las caras juntas, estos no presentan alteración alguna, por otro lado, cuando estos dos materiales son separados y presentan un fenómeno de atracción este sí, es considerado como un desequilibrio del sistema, ya que estos buscan ir de vuelta a su estado inicial (el equilibrio).

dentro del recipiente por un hilo, en este caso, si él toma un trozo de vidrio electrificado y lo introduce en el recipiente y la tapa es cerrada, se encontrará que, en el exterior del recipiente, este tendrá una carga eléctrica vítrea, y por el contrario si se introduce un trozo de resina electrificada y la tapa se cierra, el recipiente en la exterior muestra una carga del mismo tipo. véase **Ilustración 6**.

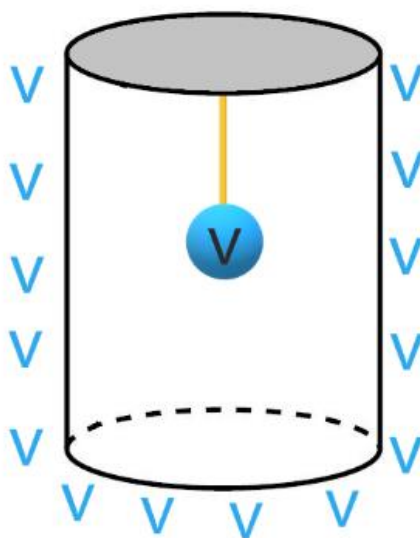


Ilustración 6. Experimento de una carga vítrea dentro de un recipiente conductor. Fuente: Autor.

Ahora sí, las cargas que se habían introducido anteriormente en el recipiente, son sacadas con mucho cuidado sin tocar el recipiente, el recipiente queda sin electrificación alguna y tanto el vidrio como la resina que fueron introducidos en el recipiente, luego de sacarlos conservarán la misma cantidad de electrificación, la electrificación no habría cambiado ni en el vidrio ni en la resina. A este fenómeno se le denomina *electrificación por inducción*.

Sin embargo, se presenta un caso similar si, ahora se saca el vidrio electrificado y se acerca en el exterior del recipiente se ve que una parte del exterior del recipiente tiene una electrificación vítrea y la otra electrificación resinosa, así como se muestra en la **Ilustración 7**.

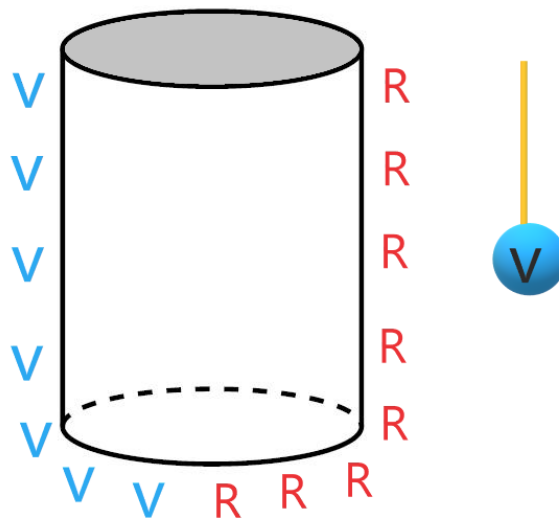


Ilustración 7. . Experimento de una carga vítrea por fuera de un recipiente conductor. Fuente: Autor.

Se puede decir entonces que la electrificación por inducción requiere de un medio que le permita electrificar a otros cuerpos o elementos sin tener contacto alguno a diferencia de la electrificación por fricción en el cual se evidenciaba que los fenómenos estaban relacionados por contacto. Así pues, el medio debe tener un tipo de configuración que permita evidenciar estos fenómenos eléctricos desde una perspectiva de campo.

4.2.2 Segundo experimento de inducción.

Este experimento está relacionado con el primero, solamente tiene una pequeña variación y es la siguiente: el montaje es el mismo, solo que ahora se van a tener más recipientes conductores con el fin de encerrar el primer montaje en otro recipiente y mirar cómo se comporta el electroscopio y posterior a esto establecer qué es lo que éste permite medir. Maxwell toma un trozo de vidrio electrificado y luego lo suspende dentro del recipiente conductor A, sin que estos tengan contacto y luego se cierra la tapa, posterior a esto se introduce todo el montaje dentro de un conductor B y este a la vez dentro de un conductor C como se muestra en la **Ilustración 8**.

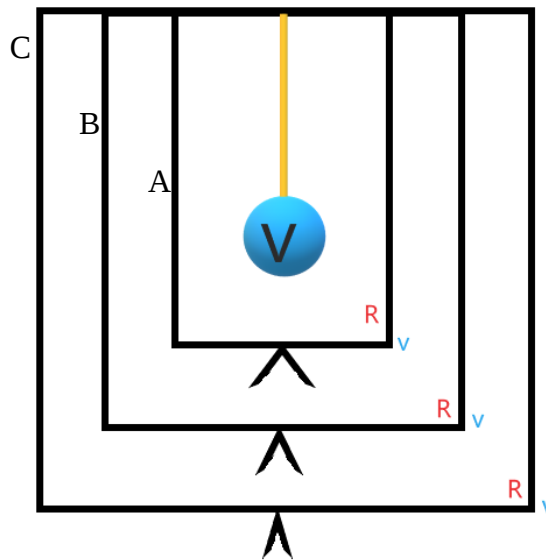


Ilustración 8. . Experimento de una carga vítrea encerrada por una serie de recipientes conductores. Fuente: Autor.

Lo que se ve en este experimento es que el ángulo entre las láminas del electroscopio se reduce gradualmente según aumenta el área de los recipientes que contienen el cuerpo electrificado, esto se puede evidenciar entre el objeto electrificado vítreamente y el ultimo recipiente (recipiente C) como se muestra en la **Ilustración 8**. Sin embargo, se logra determinar que la cantidad de electrificación se mantienen independiente de la cantidad de recipientes conductores que se encuentren alrededor del objeto electrificado, ya que luego de sacar el objeto electrificado de la serie de recipientes, el objeto conserva la misma cantidad de electrificación. Lo que sucede es que la electrificación distribuye de manera diferente en los recipientes conductores mostrando un estado de electrificación diferente, el cual se hace evidente en el ángulo de apertura de las láminas del electroscopio.

Otro aspecto importante que se puede evidenciar es que a medida que aumenta el área de recipiente electrificado que encierra el objeto electrificado, el estado de electrificación va a ser cada vez menor, así hasta llegar a uno tan grande como la tierra donde su estado será nulo, ya que en este presenta una propiedad asociada a la capacitancia. Por otro lado, si se encerrara el elemento cargado en muchos recipientes conductores se vería que el medio estaría polarizado, ya que, tendría un lado con electrificación resinosa y el otro con electrificación vítrea.

4.3 Superficies equipotenciales

Como es mencionado anteriormente, dentro de la experiencia que presenta la electrificación por inducción con respecto a la distancia que hay entre el objeto electrificado y el recipiente conductor se le denomina *estado de electrificación*, de esta manera y como lo describe (Ayala, 2005) lo llamaremos

“... potencial eléctrico a la magnitud que caracteriza el estado de electrificación, de modo que si dos conductores tienen el mismo estado de electrificación decimos que tienen el mismo potencial eléctrico... Como el cambio de estado de electrificación exige una causa, a ésta la hemos denotado con el término cantidad de electricidad o carga (Ayala, 2005, págs. 1-2)”

Si tenemos en cuenta, el experimento anteriormente mencionado, donde se ubica cada uno de los recipientes que encierra el elemento electrificado, se puede considerar que cada uno de estos recipientes tenga un estado de electrificación o bien un potencial eléctrico diferente. Ahora y teniendo en cuenta la **Ilustración 8**, sería pertinente decir que los recipientes A, B y C tienen potenciales diferentes y esto se puede evidenciar en las reacciones de las láminas del electroscopio. De esta forma y como lo menciona (Ayala Manrique, Malagón, & Lugo, 1992, pág. 40)

“Es, entonces, claro que el electroscopio no mide la carga del cuerpo; tampoco mide la densidad de carga del conductor: la indicación del electroscopio es la misma cuando se pone en contacto con partes diferentes de la superficie de un conductor de forma arbitraria que se encuentra cargado; partes, que sabemos están a un mismo potencial y tienen densidades de carga diferentes. En síntesis, argumentos de este tipo llevan a pensar que el electroscopio en estas condiciones mide el potencial del conductor. En el caso de un cuerpo no conductor, el electroscopio no da información en forma directa sobre las propiedades eléctricas del cuerpo.” (Ayala Manrique, Malagón, & Lugo, 1992)”

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible decir que entre conductor y conductor debe existir una diferencia de potencial, la cual va disminuyendo del objeto cargado hacia afuera, si esto

es cierto podríamos expresar el potencial de cada uno de los conductores como $V_C < V_B < V_A$, lo que quiere decir que el potencial va a estar relacionado con la superficie que contiene el objeto electrificado. Por otro lado, el potencial debe ser igual en todos los puntos del conductor, ya que sin importar donde se posicione el electroscopio en un mismo recipiente conductor en los puntos donde coincide el conductor se va a presentar siempre el mismo potencial de esta forma se puede configurar esta idea alrededor del comportamiento de las laminillas del electroscopio.

Otra consideración importante, es que el potencial eléctrico no es medible en elementos no conductores, lo cual indica que, si esto sucede, este debe tener una relación intrínseca con el medio, en este caso con el campo. Siendo así, esto permite a través del análisis de los experimentos de inducción eléctrica, caracterizar el potencial como una propiedad que no va a estar relacionada con los cuerpos, sino que ahora, se podrá caracterizar como una propiedad del campo.

En síntesis, el potencial eléctrico se constituye como un referente importante para la caracterización del campo, y del cual es posible construir la respectiva formalización alrededor del potencial con el fin de entrelazar los diferentes conceptos que permitan llegar a la construcción del concepto de campo.

4.4 Distribución de las superficies equipotenciales, líneas de fuerza y polarización del medio.

Para construir las superficies equipotenciales hay que tener en cuenta unos criterios que se pueden extraer del experimento mencionado anteriormente y descrito por Maxwell en *treatise on electricity and magnetism* que se puede ver en el **Anexo 1**. En primera instancia es posible considerar que un conductor, en este caso el recipiente que contiene el objeto electrificado, puede ser considerado como una superficie equipotencial, pero esto no quiere decir que todas las superficies equipotenciales sean conductores. También se puede deducir que una superficie no puede tener potenciales diferentes, dado que los puntos en el espacio que corresponden a esa superficie se encuentran con el mismo potencial, así las cosas, se puede decir entonces, que cada superficie que se produce alrededor de un conductor en un sistema determinado es única.

Además, las superficies equipotenciales pueden encontrarse consigo misma, y esto ocurre en todos los puntos y a lo largo de las líneas de equilibrio (Ayala, 2005), lo que quiere decir que en cada uno de esos puntos donde se ponía el electroscopio para mirar el estado de electrificación del recipiente conductor, van a tener el mismo valor o la misma manifestación en el electroscopio, lo que quiere decir que estos puntos hacen parte de una de las líneas de equilibrio coincidiendo así con la superficie equipotencial.

Así pues, se puede configurar una serie de representaciones alrededor de las superficies equipotenciales y de los campos de fuerzas. A continuación, mostraremos una serie de configuraciones que representan lo anteriormente mencionado y que posterior a esto permite establecer unas características al medio.

Configuración de las superficies equipotenciales:

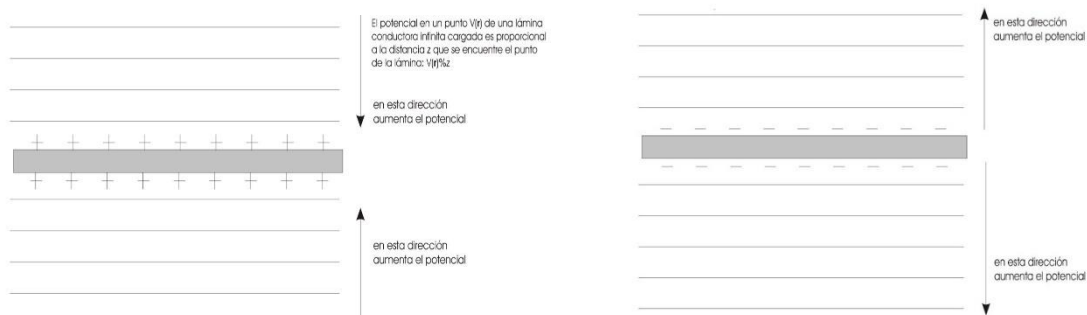


Ilustración 9. Superficies equipotenciales de láminas conductoras infinitas cargadas positiva y negativamente respectivamente. Tomado de: (Ayala, 2005)

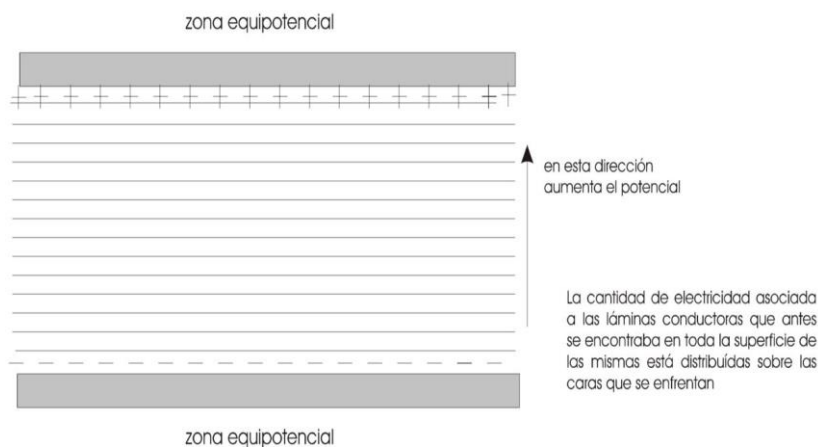


Ilustración 10. Superficies equipotenciales de láminas infinitas con cargas opuestas. (Ayala, 2005)

Configuración de las líneas de fuerza y superficies equipotenciales:

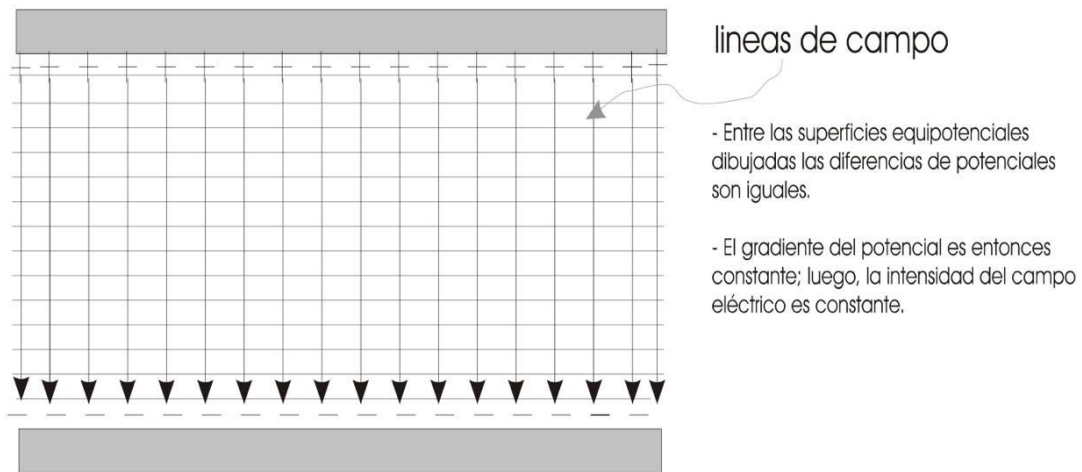


Ilustración 11. líneas de campo y superficies equipotenciales de láminas con cargas opuestas. (Ayala, 2005)

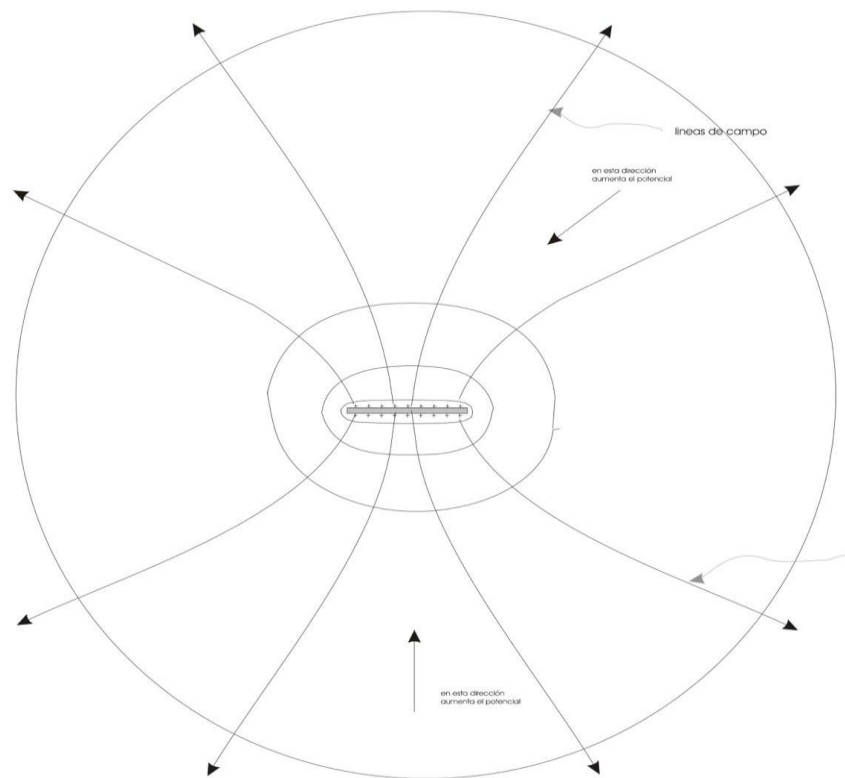


Ilustración 12. Superficies equipotenciales y líneas de fuerza de una lámina conductora cargada positivamente. (Ayala, 2005)

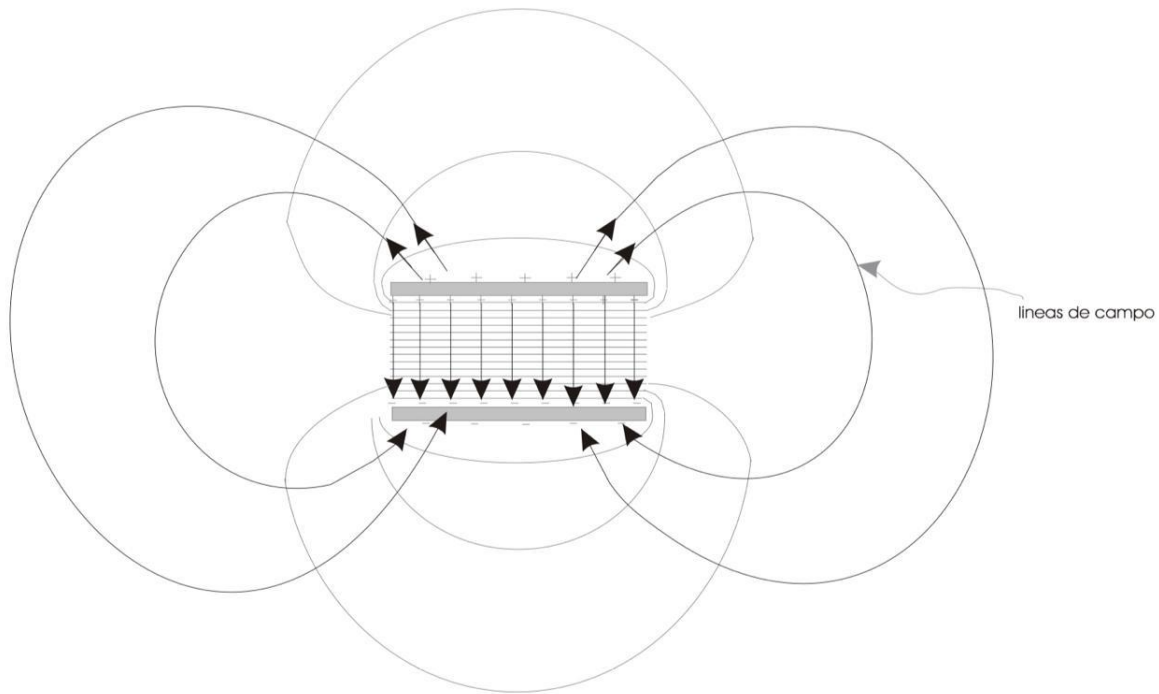


Ilustración 13. Superficies equipotenciales y líneas de fuerza de láminas finitas con cargas opuestas. (Ayala, 2005)

Estas configuraciones presentadas anteriormente, nos muestran la relación gráfica que tienen las líneas de fuerza y las superficies equipotenciales, pero es de aquí donde se puede ratificar esas características que se le venían dando al medio, donde es posible considerar que el medio está polarizado, ya que cada una de las superficies equipotenciales estará polarizada véase en ***Ilustración 14.***

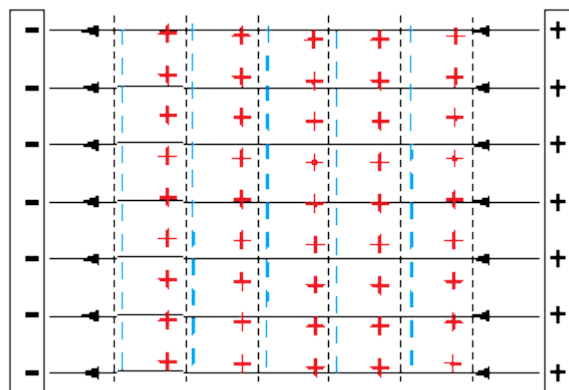


Ilustración 14. polarización del medio. Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta que las características que se le van dando al medio ahora nos permiten hacer una imagen de como este se polariza en presencia de las superficies equipotenciales, es pertinente concluir que el potencial no es una propiedad que se remita a los cuerpos, por el contrario, parece ser que este es una propiedad del espacio en el cual los cuerpos interactúan.

4.5 Relación formalización y experimentos

Ahora bien, es importante realizar la respectiva formalización matemática y poder darle un sentido físico a la matemática en relación con los experimentos presentados, de tal manera que esto permita crear una imagen inteligible alrededor de la carga, fuerza, flujo y superficies equipotenciales. De esta manera iniciaremos formalizando el potencial como variable de estado, así las cosas, presentamos el siguiente experimento de electrificación por inducción, en el cual se evidencia un cuerpo contenido dentro de dos recipientes conductores.

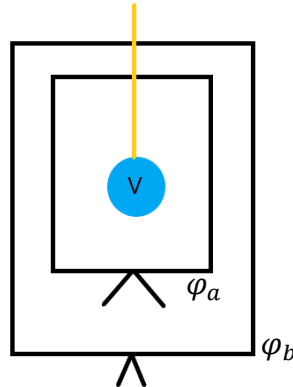


Ilustración 15. Objeto electrificado encerrado dentro de dos recipientes conductores. Fuente Autor.

El potencial estará dado por φ (*función potencial*) lo que quiere decir que teniendo en cuenta **Ilustración 15** tendremos que el potencial $\varphi_a > \varphi_b$, y por otro lado tendremos que las áreas $A_b > A_a$, esto indica que el potencial es mayor cuando el área entre el objeto electrificado y el recipiente conductor es menor y también se logra evidenciar que el potencial es menor cuando el área del recipiente conductor que encierra al objeto electrificado es mayor.

Teniendo en cuenta lo anterior, y si creamos una relación de proporcionalidad entre el campo eléctrico y la variación del potencial en ese medio es posible decir entonces que:

$$E \propto -\nabla\varphi$$

Donde, E estaría en representación del campo eléctrico y $-\nabla\varphi$ describiría la variación de la función potencial alrededor del objeto electrificado. Ahora bien, si nos acercamos a una de las caras del recipiente conductor, esta va a tener una densidad superficial la cual podemos representar de la siguiente manera

$\sigma \rightarrow$ densidad superficial

$$\sigma = -\varepsilon_0 \nabla\varphi$$

$$\sigma = \varepsilon_0 \vec{E}$$

$$D^s = \varepsilon_0 \vec{E}$$

$D^s \rightarrow$ desplazamiento electrico

Es entonces donde la densidad superficial nos permite hablar del fenómeno de polarización, en este caso en una de las paredes del recipiente conductor.

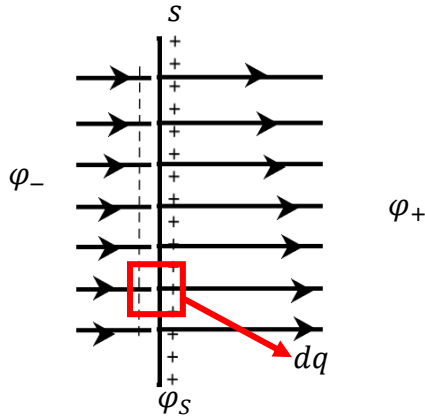


Ilustración 16. líneas de campo que pasan por una superficie. Fuente: Autor.

Así pues, es posible ahora representar la densidad superficial como la densidad de carga, en la cual nos concentraremos en una pequeña parte de la superficie, lo cual nos va a permitir tomar una cantidad muy pequeña de la carga en una parte muy pequeña de la superficie, de esta manera podremos representar la densidad de carga como:

$$\sigma = \frac{dq}{dA}$$

Si tenemos en cuenta que anteriormente habíamos definido la densidad superficial en términos de la permitividad eléctrica del medio y de la variación del potencial eléctrico en el sistema (cuerpo electrificado – recipiente conductor) es posible mostrar una representación con la cual se pueda construir el concepto de carga.

$$\sigma = -\varepsilon_0 \nabla \varphi \quad y \quad \sigma = \frac{dq}{dA}$$

$$\frac{dq}{dA} = -\varepsilon_0 \nabla \varphi$$

$$dq = -\varepsilon_0 \nabla \varphi \, dA$$

$$\int^Q dq = \oint_s -\varepsilon_0 \nabla \varphi \, dA$$

$$\int^Q dq = \oint_s \varepsilon_0 \vec{E} \, dA$$

$$Q = \varepsilon_0 \oint_s \vec{E} \, dA$$

$$\frac{Q}{\varepsilon_0} = \oint_s \vec{E} \, dA$$

En primera instancia, se puede evidenciar que se logra construir la carga a través de las densidades que se encuentran en determinada superficie del recipiente conductor, además esta se encuentra en términos de la permitividad eléctrica del medio y del flujo de campo eléctrico, lo cual evidencia que la carga está relacionada con el medio y no con una forma. Además, se puede decir que si se aplica la integral de línea alrededor de la superficie con el fin de mirar el flujo en ella tendremos que:

$$\oint_s \vec{E} \, dA = 0$$

$$\Phi_s = \oint_s \vec{E} \, dA$$

Porque la cantidad de líneas que entran a la superficie es igual a la cantidad de líneas que salen de ella, así como se observa en la **Ilustración 16**. De esta manera se empieza a evidenciar una relación significativa y complementaria de los términos de carga, líneas de fuerza, flujo y superficies equipotenciales.

Pero también es posible hacer el análisis a través de la acumulación de líneas de campo que pasan por un volumen de control, así pues:

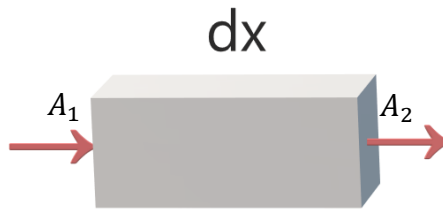


Ilustración 17. Volumen de control. Fuente: Autor.

Si tomamos el flujo neto que pasa por este volumen de control entonces tendríamos que

$$d\Phi_V = \vec{E}_1 \cdot A_1 - \vec{E}_2 \cdot A_2$$

$$d\Phi_V = (\vec{E}_1 - \vec{E}_2) dA$$

Si $\vec{E}_1 - \vec{E}_2 = dE$ entonces:

$$dE = \frac{\partial E}{\partial x} dx$$

Entonces:

$$dE \cdot dA$$

$$d\Phi_V = \frac{\partial E}{\partial x} dx \cdot dA$$

$$d\Phi_V = \nabla \cdot E \, dx \cdot dA$$

$$d\Phi_V = \nabla \cdot E dV$$

$$\int d\Phi_V = \int_V \nabla \cdot E dV$$

$$\Phi_V = \int_V \nabla \cdot E dV$$

Así pues, habríamos construido el flujo en términos de la acumulación de carga lo cual nos permitiría relacionar el flujo que se obtuvo a través de las superficies equipotenciales y el que se obtuvo a partir del volumen de control quedaría de esta manera:

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_V = Q \\ \text{si } Q_s &= \varepsilon_0 \Phi_s \text{ y } Q_s = \varepsilon_0 \Phi_V \\ \varepsilon_0 \oint_s \vec{E} da &= \varepsilon_0 \int \vec{E} dV \end{aligned}$$

Esto permitiría construir la ecuación de Thomson que representa por un lado la energía de un campo y por otro esto permite ver la deformación del espacio en términos del potencial y a las líneas de fuerza, lo cual nos permite evidenciar si hay una carga negativa y una carga positiva, estas representadas como: la carga positiva como una fuente de donde salen las líneas de fuerza y la carga negativa como un sumidero donde llegan las líneas de fuerza. De esta manera se puede concluir que los términos carga, fuerza, flujo, y superficies equipotenciales tienen relación y que estos permiten caracterizar el espacio como un medio que adquiere unas características determinadas por la interacción entre cuerpos con determinado estado de electrificación.

5. Reflexión final

El estudio de la historia de la ciencia, ha permitido configurar una mirada alrededor de las perspectivas que se tienen para abordar los fenómenos y dar una explicación de los sucesos que se evidencian en la naturaleza. Además, la interacción con los textos originales y o textos que permiten ver a detalle los rasgos característicos de las teorías y del pensamiento de los científicos, permiten al maestro construir una forma de interpretar y dar significación a los fenómenos que en su contexto le generan una problemática. Es el caso en el que durante la investigación se recurrió a fuentes que permitieran entender el problema del campo en un contexto en específico, lo que permitió sentar precedentes alrededor de la forma en que se concebía el mundo y el cómo se atacaban los problemas desde su contexto.

Esta actividad de recurrir a la historia, le permite al maestro en la acción pedagógica, proponer nuevas formas de abordar los problemas, ya que, no es solo la acción de leer o mirar un texto, sino que este le permita reflexionar alrededor de los hechos y posteriormente traer esa reflexión a un nuevo contexto, con el fin de hacer un trabajo reflexivo alrededor de la solución de problemas y la construcción del conocimiento. De acuerdo con lo anterior uno de los criterios que permitió el desarrollo de la investigación fue la construcción del contexto problema de la época en la que surgen nuevas formas de concebir la problemática de interacción entre cuerpos, lo cual permitió configurar la problemática alrededor de la perspectiva de campos.

Esta perspectiva permitió, tener en cuenta inicialmente las ideas y teorías que habían influenciado a Faraday, con el fin de que estas permitieran entender con mayor claridad las ideas que Faraday plantearía alrededor de los fenómenos electromagnéticos desde una perspectiva de campos. Esto permitió, entender que Faraday fue quien se tomó el trabajo de conceptualizar el campo y que la experimentación fue una parte importante dentro de la construcción de la teoría que permitiera unificar los fenómenos eléctricos, magnéticos y lumínicos.

Este como uno de los resultados de la recontextualización, permitió escoger una serie de experimentos enmarcados alrededor de la electrificación por fricción y la electrificación por inducción. Siendo estos los que a través de la interpretación bajo la perspectiva de campos

brindarían las herramientas necesarias que permitirían la conceptualización del campo. Habiendo ya elegido los experimentos y la perspectiva bajo la cual se pretendían analizar, se dio inicio a la interpretación de los experimentos alrededor de la descripción hecha por Maxwell. Además, esto permitió construir una serie de representaciones gráficas que permitieran hacer inteligible la descripción del experimento. Esta actividad es importante para el maestro, ya que le permite pensar en estrategias alrededor de diferentes problemas con el fin de construir herramientas que le faciliten la comprensión e interpretación de los conocimientos científicos creando así una experiencia enriquecedora para su acción pedagógica.

La sola interpretación del experimento no permite como tal mostrar la relación entre los diferentes elementos que permiten construir el concepto de campo, por lo cual se recurrió a la formalización, la cual permitió a través de la relación interpretación fenómenos y matematización, construir y ratificar características que se evidenciaban en los fenómenos. Además esta brindó las herramientas necesarias para establecer que el campo es el medio en el que se manifiestan los fenómenos eléctricos. Así pues, se logró relacionar la idea de campo de Faraday con los experimentos permitiendo construir una imagen más clara del campo y las características que este presenta.

Para finalizar, se logró mostrar la relación que tienen la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales, las cuales permitieron brindar características al medio en el cual se presentan los fenómenos electrostáticos, siendo la polarización uno de estos y el segundo es la relación de las superficies equipotenciales con el campo no como una propiedad de los cuerpos electrificados sino una propiedad del medio en el cual se manifiestan estos.

6. Referencias bibliográficas

- Ayala Manrique, M. M., Malagón, F., & Lugo, P. (1992). UNA PERSPECTIVA FENOMENOLOGICA PARA LA ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO A NIVEL INTRODUCTORIO. *REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA*, 5(2), 39-44.
- Ayala Manrique, M. M., Romero Chacón, Á. E., Malagón Sánchez, J. F., Rodríguez Rodríguez, O. L., Aguilar Mosquera, Y., & Garzón Barrios, M. (2008). Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos. Bogotá, Colombia: Kimpres.
- Ayala, M. M. (2005). *CANTIDAD DE ELECTRIFICACION Y POTENCIAL ELECTRICO*. Bogotá: Licenciatura en Física-UPN.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis historico-Criticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-posicoes*, 17. I (49).
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid, España: Alianza Editorial S.A.
- Blanco, J. D. (2014). Modelacion del concepto de campo electromagnético: caracterización del razonamiento seguido por Maxwell. Bogotá D.C. Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional.
- Castillo, J. C. (2006). De los Fenómenos Mecánicos al Mecanicismo.
- Castillo Ayala, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. (U. P. Nacional, Ed.) *Nodos Y Nudos*, 3(25), 73-80. Obtenido de <https://doi.org/10.17227/01224328.1388>
- Feynman, R., & Leighton, R. B. (1987). *Física, Vol. II. Electromagnetismo y Materia*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.
- MAXWELL, J. c. (1954). *A treatise on electricity and magnetism* (Vol. I). New York: Dover Publications Inc.
- Paque Burgos, D. A., & Ulloa Castaño, A. E. (2014). Caracterización de los fenómenos electrostáticos desde una perspectiva de campos. *Tesis de Pregrado. Universidad Pedagógica Nacional*.

Puga Antunez, D. (Mayo de 2006). El Pensamiento Clasico en la epoca actual Democrito de Abdera. *Avances*, 106, 10.

7. Anexos

Anexo 1

Aparte tomado de *teatise on electricity and magnetism* de J:C: Maxwell⁶

46. Si una superficie descripta o supuestamente descripta en el campo eléctrico es tal que el potencial eléctrico es el mismo en todos los puntos de la superficie, se llama una Superficie Equipotencial.

Una partícula electrificada dejada en reposo sobre tal superficie no tendrá ninguna tendencia a moverse de una parte de la superficie a otra porque el potencial es el mismo en cada punto. Una superficie equipotencial es por lo tanto una superficie de nivel.

La fuerza resultante en cualquier punto de la superficie está en dirección de la normal a la superficie y la magnitud de la fuerza es tal que el trabajo hecho sobre una unidad eléctrica al pasar desde una superficie V a la superficie V' es $V - V'$.

Ninguna de dos superficies que tienen potenciales diferentes pueden encontrarse por que el mismo punto no puede tener más de un potencial, sino que la superficie equipotencial puede encontrarse consigo misma, y esto ocurre en todos los puntos y a lo largo de todas las líneas de equilibrio.

La superficie de un conductor en equilibrio eléctrico es necesariamente una superficie equipotencial. Si la electrificación del conductor es positiva en toda la superficie, entonces el potencial disminuirá a medida que nos alejemos de la superficie en todas las direcciones y el conductor estará rodeado por una serie de superficies de potencial más bajo.

Pero si (debido a la acción de cuerpos externos electrificados) algunas regiones del conductor están cargadas positivamente y otras negativamente, la superficie equipotencial completa consistirá de la superficie misma del conductor junto con un sistema de otras superficies intersectando la superficie del conductor en las líneas que dividen las regiones positivas de las negativas. Estas líneas serán líneas de equilibrio y una partícula electrificada ubicada en una de esas líneas no experimentará fuerzas en ninguna dirección.

Cuando la superficie de un conductor es cargada positivamente en algunas partes y negativamente en otras, debe haber algún otro cuerpo electrificado en el campo a su lado. Por qué si le permitimos a una partícula electrificada positivamente, partiendo desde una parte cargada positivamente de la superficie, moverse siempre en la dirección de la fuerza resultante sobre ella, el potencial de la partícula disminuirá continuamente hasta que la partícula alcance ya sea una superficie cargada negativamente a un potencial menor que el del primer conductor, o se aleje hacia una distancia infinita. Dado que el potencial a una distancia infinita es cero, el último caso solo puede ocurrir cuando el potencial del conductor es positivo.

⁶ Traducción realizada por María Cecilia Gramajo (Universidad de salta, Argentina) y Juan Carlos Orozco C. (Universidad pedagógica Nacional) para la maestría en Docencia de la Física de la UPN., Bogotá, 1992.

De la misma manera, una partícula electrificada negativamente, alejándose de una parte negativamente cargada de la superficie, debe o alcanzar una superficie cargada positivamente, o alejarse al infinito, y este último caso puede suceder solamente cuando el potencial del conductor es negativo.

Por lo tanto, si ambas cargas, positiva y negativa, existen en un conductor, debe haber algún otro cuerpo en el campo cuyo potencial tiene el mismo signo del conductor, pero un valor numérico mayor, y si un conductor de cualquier forma está solo en el campo la carga de todas las partes es del mismo signo que el potencial del conductor.

La superficie interior de un recipiente conductor hueco que no contiene cuerpos cargados está enteramente libre de carga. Porque si cualquier parte de la superficie estuviese cargada positivamente, una partícula electrificada positivamente moviéndose en la dirección de la fuerza actuante sobre ella debe alcanzar una superficie cargada negativamente a un potencial más bajo. Pero toda la superficie interior tiene el mismo potencial. Por lo tanto, no puede tener ninguna carga.

Un conductor ubicado dentro del recipiente y en contacto con él se puede considerar como rodeado por la superficie interior. Por lo tanto, tal conductor no tiene carga.