

**ANÁLISIS CONCEPTUAL DEL TRATADO DE J.C MAXWELL DESDE LA  
PERSPECTIVA DE CAMPOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA  
ELECTROSTÁTICA**

**PRESENTADO POR: PAOLA ANDREA ALBORNOZ VILLALOBOS**

**ASESOR: JUAN CARLOS CASTILLO AYALA**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA  
PERSPECTIVA CULTURAL**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**LICENCIATURA EN FÍSICA**

**2019**

**ANÁLISIS CONCEPTUAL DEL TRATADO DE J.C MAXWELL DESDE LA  
PERSPECTIVA DE CAMPOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA  
ELECTROSTÁTICA**

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN FÍSICA

PRESENTADO POR: PAOLA ANDREA ALBORNOZ VILLALOBOS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA  
PERSPECTIVA CULTURAL

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EN FÍSICA

2019

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Expansión de la Universidad</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código:FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 66	
<b>1. Información General</b>		
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de grado	
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central	
<b>Título del documento</b>	Análisis conceptual del tratado de J.C Maxwell desde la perspectiva de campos para la enseñanza de la electrostática	
<b>Autor(es)</b>	Albornoz Villalobos, Paola Andrea	
<b>Director</b>	Castillo Ayala, Juan Carlos	
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2018. 62 p.	
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional	
<b>Palabras Claves</b>	CAMPOS; INDUCCIÓN; ESTADO DE ELECTRIFICACIÓN; GRADO DE ELECTRIFICACIÓN; DISTRIBUCIÓN ESPACIAL; CONFIGURACIÓN GEOMETRICA ; ANÁLISIS CONCEPTUAL	

<b>2. Descripción</b>
<p>Debido a la poca experiencia sensible de los fenómenos eléctricos y magnéticos se hace complejo introducir de manera clara conceptos asociados al fenómeno de tal manera que se logre comprender y asociar el fenómeno con su desarrollo matemático, y este queda reducido a ejemplos que permiten aproximar al concepto, pero que no permiten abordar de manera organizada el fenómeno.</p> <p>De acuerdo al contexto del problema el trabajo está orientado bajo la siguiente pregunta  ¿Cómo a partir de un análisis conceptual se pueden establecer criterios para generar propuestas claras en el ámbito de la enseñanza de la electrostática desde una perspectiva de campos?</p> <p>De acuerdo con lo anterior el trabajo desarrolla un análisis conceptual tomando como base el tratado de Maxwell, específicamente los experimentos con el fin de generar criterios que le permiten al maestro producir propuestas de enseñanza enfocada en la electrostática desde una perspectiva de campos.</p>

### 3. Fuentes

Hertz, H. (1990). Las Ondas Electromagnéticas. Selección de las Untersuchungen. (G. D. Bellaterra, Ed., & G. D. Bellaterra, Trad.) Barelona.

MAXWELL, J. C. (1954.). A treatise on electricity and magnetism Vol. I. New York: Dover Publications Inc.

Ayala, M. M. (11 de Mayo de 2017). LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA PARA LA FORMACIÓN DE PROFESORES DE FÍSICA. Tecné Episteme Y Didaxis TED, 7.

Ayala, M. M., Malagón, J., & Sandoval , S. (2011). Magnitudes, medición y fenomenologías. Revista de Enseñanza de la Física, 43-54.

Ayala, M., Garzon, M., & Malagon , F. (2007). CONSIDERACIONES SOBRE LA FORMALIZACIÓN Y MATEMATIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS. Praxis Filosófica, 39-54. Recuperado el 09 de Abril de 2017, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-46882007000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-46882007000200003)

Campanario, J., & Moya, A. (1999). ¿CÓMO ENSEÑAR CIENCIAS? PRINCIPALES TENDENCIAS Y PROPUESTAS. INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA, 179-192.

Castillo, J. C. (2006). SOBRE LA RELACIÓN MECÁNICA ELECTROMAGNETISMO (De los Fenómenos Mecánicos al Mecanicismo). 68.

Czelada, J. (2009). Repositorio UBA. Recuperado el 28 de febrero de 2017, de [http://materias.fi.uba.ar/6408/Tesis%20de%20Grado%20Czelada\(medium%20size\).pdf](http://materias.fi.uba.ar/6408/Tesis%20de%20Grado%20Czelada(medium%20size).pdf)

Rico, L. (2004). ANÁLISIS CONCEPTUAL E INVESTIGACIÓN EN. REVISTA EMA , 19.

### 4. Contenidos

El presente trabajo se desarrolla en tres capítulos. En el primer capítulo se identifican todas aquellas dificultades que se presentan tanto a nivel pedagógico como disciplinar en el campo de la enseñanza de la física en particular del electromagnetismo en el que se realiza un rastreo de documentos en el que el factor de determinación y escogencia de la posibilidad de analizarlo se toma debido a un criterio netamente disciplinar y enfocado en la perspectiva de campos, y se muestra como alternativa el análisis conceptual del tratado de J.C Maxwell con el fin de encontrar aquellas relaciones entre los conceptos y las ecuaciones como elementos que posibilitan la explicación del fenómeno, también se muestra a grandes rasgos la teoría que se pone de presente como cuestión de análisis estructurando su conceptualización y matemática pertinente.

En el segundo capítulo se presentan los elementos de la perspectiva de campos, en donde

se realiza el análisis detallado de los experimentos que plantea Maxwell en el tratado, caracterizando diversos fenómenos electrostáticos, pero centrando la atención en aquellos experimentos que son fuente principal del análisis en este caso los que corresponden a electrificación por inducción ya que estos permiten mostrar de manera concreta los conceptos desde la perspectiva de campos vinculándolos con las ecuaciones que permiten comprender de manera clara y coherente la teoría que se aborda.

En el tercer capítulo se elabora una reflexión enfocada en dos ámbitos el pedagógico y el disciplinar de manera articulada, se muestra como a través del análisis conceptual se proveen elementos conceptuales y metodológicos que permiten visualizar perspectivas teóricas claras y coherentes para la enseñanza del electromagnetismo y dar cuenta de lo que posibilita la perspectiva de campos en relación con la explicación de los fenómenos electromagnéticos; Finalmente se muestra el papel preponderante del maestro y como después de realizar una perspectiva de análisis de los textos con respecto a una teoría desarrollarla y profundizarla permite situar al maestro que toma posición de las propuestas en el aula como una reflexión de la acción en el aula.

## **5. Metodología**

El enfoque que enmarca la presente investigación es en primera medida un análisis documental, en el que se toma como base el tratado de J.C Maxwell que permite recopilar los experimentos y de esto realizar un análisis conceptual en torno a su base fenomenológica explicada desde la perspectiva de campos, y aunque se toma como base este texto no necesariamente es el único que se toma como referente de análisis se tomaran como apoyo artículos que permiten una comprensión detallada para lograr estructurar criterios alrededor del fenómeno; y por otra parte, es necesario poner de presente que solo se toman elementos de algunos de ellos que permitieron hacer el análisis más riguroso y que de otros se tomaron como base para la comprensión propia que no se expone en el trabajo pero que permite realizar de manera más detallada del concepto y su vínculo con el lenguaje propio de formalización un análisis conceptual.

## **6. Conclusiones**

A partir del trabajo investigativo, fue posible evidenciar que en torno a los procesos que se llevan a cabo en contextos de educación media, el rol del maestro es un factor determinante en el proceso de construcción de los conceptos y lenguajes de formalización, pues es el quien establece posturas desde las que parte para darle explicación de diversos fenómenos, lo que le permite generar propuestas orientadas en criterios que se determinan a partir de su fundamentación teórica.

En ese sentido se hace permitente que desde el análisis conceptual el maestro determine herramientas, criterios y estrategias que le permitan generar un ejercicio de comprensión en el estudiante que promueva el interés y el cuestionamiento constante hacia los fenómenos y asimismo pueda asociarlos con su entorno, ya que de este modo se deja de lado la noción de la transmisión de conocimientos y se comienza la construcción de conocimiento en el aula en donde son actores principales tanto el maestro como el estudiante debido a que los dos se apropian de los conceptos y a su vez puede relacionarlos con su lenguaje de formalización propio sabiendo que este se construye a partir de los elementos conceptuales propios de la teoría a abordar.

Finalmente, el análisis conceptual de los fenómenos electrostáticos desde la perspectiva de campos permite determinar elementos conceptuales que bajo las otras nociones no tienen una naturaleza clara, y que permiten comprender el fenómeno de tal manera que se logre asociar tanto el concepto como su lenguaje de formalización – si así lo requiere – este es el caso de la carga que toma sentido cuando se aborda desde la perspectiva de campos, y pierde toda propiedad intrínseca, incluso deja de tomarse como agente primario de la forma en la que ocurre el fenómeno y pasa a ser la medida del cambio en el estado eléctrico, se toma la carga en relación a las líneas de campo que en gran medida permiten dar cuenta del concepto que prevalece desde esta perspectiva el campo en este toma sentido hablar del campo en termino de distribución espacial – afecta el medio electrificado – pero cabe resaltar que la configuración geométrica determinar en gran medida la intensidad de campo eléctrico.

<b>Elaborado por:</b>	Albornoz Villalobos, Paola Andrea
<b>Revisado por:</b>	Castillo Ayala, Juan Carlos

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	01	03	2019
--	----	----	------

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO I.....	7
1. UBICACIÓN DEL PROBLEMA .....	7
1.1. Contexto del problema .....	7
1.1.1. Objetivo general .....	11
1.1.2. Objetivos específicos .....	11
1.2. Marco teórico y metodológico .....	12
1.2.1. Teoría de campos.....	12
1.2.2. Metodología.....	15
1.3. Revisión de antecedentes .....	17
CAPITULO II.....	22
2. ELECTROSTÁTICA DESDE UNA PERSPECTIVA DE CAMPOS.....	22
2.1. Fenómenos electrostáticos.....	23
2.1.1. Electrificación por fricción .....	23
2.1.2. Electrificación por conducción .....	24
2.1.3. Conductores y aislantes .....	25
2.2. Electrificación por inducción desde la perspectiva de Maxwell .....	27
2.2.1. Experimentos planteados por Maxwell (Electrificación por inducción) .....	27
2.3. Relación de la electrificación por inducción y el potencial eléctrico (estado de electrificación).....	35
CAPITULO III .....	43
3. REFLEXIÓN ACERCA DEL ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LOS EXPERIMENTOS PLANTEADOS POR MAXWELL DESDE LA PERSPECTIVA DE CAMPOS .....	43
3.1. Acerca del análisis conceptual como metodología para generar propuestas de enseñanza .....	43
3.2. El análisis conceptual abordado desde la perspectiva de campos .....	44
3.3. El estudio del electromagnetismo desde la perspectiva de campos .....	47
3.3.1. Configuración geométrica respecto a la intensidad de campo .....	50
3.5. El rol del maestro desde la perspectiva de campos .....	54
4. CONSIDERACIONES FINALES.....	57
Bibliografía.....	60

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Recipiente metálico abierto suspendido por hilos de seda conectado a cuerpo suspendido por alambre metálico .....	24
Figura 2 Lado izquierdo: se retira el alambre metálico se evidencia signos de electrificación opuesta – Lado derecho: se dispone de nuevo el alambre metálico dejan de exhibir signos de electrificación .....	25
Figura 3 Lado izquierdo: recipiente A con electrificación vítrea y B con resinosa. Lado derecho: Recipientes conectados por alambre metálico dejan de exhibir electrificación. .	25
Figura 4 Experimento VII .....	26
Figura 5 Recipiente metálico con un cuerpo electrificado en el interior .....	28
Figura 6 Trozo de vidrio suspendido en el exterior del recipiente .....	29
Figura 7 Los signos de electrificación al exterior del recipiente no cambian. ....	30
Figura 8 Recipiente uno de tamaño menor que el recipiente dos .....	31
Figura 9 R1 en el interior de R2 .....	32
Figura 10 R1 en el interior de R2 conectados por un alambre metálico .....	34
Figura 11 Láminas metálicas e infinitas .....	38
Figura 12 placas paralelas con diferentes potenciales .....	39
Figura 13 placas conductoras con diferentes configuraciones geométricas .....	51
Figura 14 Recipientes electrificados con manifestación vítrea .....	56



## INTRODUCCIÓN

En diferentes contextos educativos -tanto en educación media como a nivel universitario- se observan deficiencias en los procesos de aprendizaje en torno a ciertos fenómenos. Usualmente los estudiantes no logran articular las implicaciones físicas con los desarrollos matemáticos inherentes a su formalización, con lo cual no se alcanza una comprensión integral del fenómeno y se termina asumiendo los procesos matemáticos únicamente como una herramienta de las Ciencias, lo que conlleva a que en la mayoría de los casos estos procesos sean concebidos por el estudiante como un obstáculo innecesario en su proceso de construcción de conocimiento.

Pero, ¿Por qué en los estudiantes no se da esta concatenación entre lo físico y lo matemático? ¿Por qué en su proceso de aprendizaje no son capaces de llevar los problemas al ámbito matemático? “La dificultad en el punto de unión entre 'lo físico y lo matemático' quizá quedaría eliminada cuando se considere que no se trata de unir formas de conocimiento radicalmente diferentes” (Ayala, Garzon, & Malagon , 2007, pág. 40). El pensar como docentes en formación en el sentido de guiar al estudiante para que logre dar cuenta de esa relación (físico-matemática), siendo capaz de realizar una conceptualización adecuada basada en teorías firmes de estudio, en la cual haga uso del concepto físico y de la formalización matemática que esto implica – sin hacer una ruptura entre las dos formas de conocimiento – es una tarea que implica mostrarle al estudiante la enseñanza de la física y la formalización matemática en conjunto.

Como se ha expresado, la matemática funciona como el lenguaje propio de formalización de los conceptos físicos, en ese sentido “se hace necesario entender el significado de la matematización no solo en la Física, sino también en su enseñanza, reconociendo sus alcances y restricciones.” (Vizcaino Arevalo & Terrazzan, 2015, pág. 95). Se hace necesario hacer la distinción del proceso de matematización que se da tanto en la construcción y evolución de la Física, así como en su enseñanza.

En la práctica pedagógica es posible evidenciar que los estudiantes no realizan una relación físico-matemática, un ejemplo claro es que los estudiantes pueden hacer uso del concepto y lo entienden, sin embargo a la hora de hacer la formalización a un lenguaje matemático se les dificulta o viceversa, y esto se muestra como un obstáculo en el aprendizaje e interés de los estudiantes.

La enseñanza de las ciencias se sitúa dentro de dos ámbitos de acción en los que por lo general no se logra una articulación en el ámbito pedagógico y disciplinar tal como lo plantea (Ayala M. M., 2017)

*La enseñanza de las ciencias se plantea, entonces, como un campo de trabajo que le exige al maestro dos competencias: una en el saber pedagógico y la otra en la disciplina que ha de ser enseñada. Pero como es de esperar, difícilmente se logra la concreción de esta perspectiva: se termina formando al maestro con algún conocimiento de ciencias y alguno de pedagogía, y con grandes problemas de identidad profesional. Por un lado, asumir la ciencia como la colección de resultados de la actividad científica, convierte a los contenidos en el eje central de la enseñanza e introduce una problemática de muy difícil solución cuando se trata de garantizar que el maestro tenga un conocimiento adecuado de la disciplina que debe enseñar; puesto que la selección y tratamiento de los mismos están sometidos a tres criterios mutuamente contradictorios: extensión, profundidad y actualización.*

En relación, con lo anterior realizar un análisis conceptual permite que el docente posea el dominio de carácter disciplinar cuando es capaz de desarrollar de manera clara y coherente una teoría y situarse en ella para proponer propuestas de aula que le permitan al estudiante una mayor comprensión y vinculación del fenómeno con las ecuaciones.

En el campo propio del electromagnetismo es posible evidenciar que aparecen diversas teorías que permiten su desarrollo y explicación tal es el caso de acción a distancia, teoría de potenciales y la perspectiva de campos, estas permiten la explicación de fenómenos y en el caso de las dos primeras que se mencionaron es posible evidenciar que

permiten la explicación de los fenómenos eléctricos pero a la hora de abordar, ya sea la conceptualización o el desarrollo matemático de los fenómenos electrodinámicos quedan restringidas, sin embargo la perspectiva de campos posibilita la explicación del medio como objeto de estudio.

En ese sentido, el trabajo investigativo se sitúa en el campo de la enseñanza de la electrostática, en torno a un análisis conceptual desde la perspectiva de campos para evidenciar como esta brinda criterios para generar propuestas enfocadas en la educación media en donde el eje principal es el rol del maestro como modelador de las mismas en las que los conceptos y ecuaciones utilizadas para explicar los fenómenos sean cimentados bajo una teoría clara y coherente que permita dar explicación a los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Finalmente, se busca una reflexión de orden pedagógico en la que se muestre una visión amplia del rol de docente como generador de propuestas en torno a la enseñanza de la electrostática contextualizada, clara y coherente con la base teórica desde la que pretende ser abordada.

De este modo, el presente trabajo se desarrolla en tres capítulos. En el primer capítulo se identifican todas aquellas dificultades que se presentan tanto a nivel pedagógico como disciplinar en el campo de la enseñanza de la física en particular del electromagnetismo en el que se realiza un rastreo de documentos en el que el factor de determinación y escogencia de la posibilidad de analizarlo se toma debido a un criterio netamente disciplinar y enfocado en la perspectiva de campos, y se muestra como alternativa el análisis conceptual del tratado de J.C Maxwell con el fin de encontrar aquellas relaciones entre los conceptos y las ecuaciones como elementos que posibilitan la explicación del fenómeno, también se muestra a grandes rasgos la teoría que se pone de presente como cuestión de análisis estructurando su conceptualización y matemática pertinente.

En el segundo capítulo se presentan los elementos de la perspectiva de campos, en donde se realiza el análisis detallado de los experimentos que plantea Maxwell en el tratado, caracterizando diversos fenómenos electrostáticos, pero centrando la atención en aquellos experimentos que son fuente principal del análisis en este caso los que corresponden a electrificación por inducción, ya que estos permiten mostrar de manera concreta los conceptos desde la perspectiva de campos vinculándolos con las ecuaciones que permiten comprender de manera clara y coherente la teoría que se aborda.

En el tercer capítulo se elabora una reflexión enfocada en dos ámbitos el pedagógico y el disciplinar de manera articulada, se muestra como a través del análisis conceptual se proveen elementos conceptuales y metodológicos que permiten visualizar perspectivas teóricas claras y coherentes para la enseñanza del electromagnetismo y dar cuenta de lo que posibilita la perspectiva de campos en relación con la explicación de los fenómenos electromagnéticos; Finalmente se muestra el papel preponderante del maestro y como después de realizar una perspectiva de análisis de los textos con respecto a una teoría desarrollarla y profundizarla permite situar al maestro que toma posición de las propuestas en el aula como una reflexión de la acción en el aula.

## **CAPITULO I**

### **1. UBICACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Contexto del problema**

Debido a la poca experiencia sensible de los fenómenos eléctricos y magnéticos se hace complejo introducir de manera clara conceptos asociados al fenómeno de tal manera que se logre comprender y asociar el fenómeno con su desarrollo matemático, y este queda reducido a ejemplos que permiten aproximar al concepto, pero que no permiten abordar de manera organizada el fenómeno.

Particularmente cuando se aborda la construcción de fenómenos eléctricos y magnéticos es usual que se haga relación con la atracción y repulsión de los cuerpos y en el análisis de esta es posible evidenciar dos perspectivas. En una, dichas acciones son

asumidas como acciones directas y a distancia; en esta perspectiva los cuerpos son considerados fuentes de las acciones; así estas fuentes y sus cambios son los objetos de análisis. (Castillo, 2006) Y que en esta se puede hacer una relación mecánica con la teoría de potenciales en la cual a partir de la ley de acción entre cuerpos es posible hacer el estudio de fenómenos electrostáticos y magnetostáticos pero resulta insuficiente a la hora de organizar fenómenos electrodinámicos, la siguiente cita de Maxwell <sup>1</sup> ilustra dicha afirmación.

*Faraday vio un medio donde ellos no vieron más que distancia; Faraday buscó la sede de los fenómenos en acciones reales ocurridas en el medio, ellos estaban satisfechos con haber encontrado la sede en una fuerza de acción a una distancia impresa sobre los fluidos eléctricos.*

Por otra parte:

*La acción que se evidencia entre cuerpos es atribuida al estado en que se encuentra el medio del cual éstos hacen parte; de modo que desde esta perspectiva toda acción es local y es el medio o el espacio es el objeto de análisis; ésta se denomina Perspectiva de Campos. (Castillo, 2006)*

A partir del abordaje de la perspectiva de campos es posible organizar fenómenos tanto electrostáticos y magnetostáticos como la causa de las acciones y en especial electrodinámicos tales como las ondas electromagnéticas.

Es posible notar diferencias entre las dos perspectivas mencionadas anteriormente, sin embargo, no se hace dicha diferenciación en los libros que promueven la enseñanza de la Física<sup>2</sup>, y que incluso se toman conceptos de las dos para dar explicación a los fenómenos, cuestión que puede generar confusiones que no permiten la comprensión del

---

<sup>1</sup>Prefacio a la primera edición. Tomado de MAXWELL, James Clerk., "A treatise on electricity and magnetism" vol. I, Dover Publications Inc., New York, 1954.

<sup>2</sup> Física Giancoli sexta edición Douglas C. Giancoli 2006 Pearson educación de México S.A, Física conceptual, Paul G. Hewitt. DÉCIMA EDICIÓN, 2007 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V. Entre otros

fenómeno, y de esta manera también es complejo para el maestro hacer una clara distinción entre las mismas y abordarlas de una manera efectiva.

Por lo general en los libros de texto que promueven la enseñanza de la Física no hacen mayor distinción entre las magnitudes – como se mencionó anteriormente – que se ponen de presente al momento de hablar de electricidad y magnetismo y estos parten desde la teoría de acción a distancia en donde se evidencia que no se define la carga y tampoco se expresa como se mide dicha magnitud, incluso es posible notar en el caso de las expresiones del campo que no se realiza distinción entre el campo y la intensidad electromotriz que por supuesto no, nos da cuenta de la misma magnitud, es por esto que se hace necesario que se aborde de manera correcta y que se realicen las debidas distinciones entre las magnitudes esto es posible por medio de la perspectiva de campos en donde se puede evidenciar que se empiezan a definir las magnitudes y términos de que es posible medirlas.

Se hace de vital importancia el estudio de los fenómenos electromagnéticos centrado en el análisis de la teoría de campos y con más rigor hacer una contextualización desde el medio mismo y como se debe negar la existencia de ciertos aspectos tales como; las fuerzas o acciones a distancia y las electricidades, y enfocar las deformaciones como consecuencia de las polarizaciones.

Teniendo en cuenta el ámbito pedagógico es importante tener en cuenta que la concepción de la enseñanza de las ciencias ha sido por muchos años considerada meramente como la transmisión de conocimientos y esta concepción trae consigo grandes dificultades para la enseñanza de la misma, es usual observar en algunos libros de texto utilizados para promover la enseñanza una desarticulación y poco énfasis en las teorías que toma como base para generar el conocimiento, y a causa de esto tanto en los estudiantes como en los docentes se genera confusiones a la hora de abordar ciertas temáticas, y en el caso particular de la Física es evidente que en la mayoría se hace una transmisión desde el contexto desarrollado en su momento para proponer dichas teorías y que se deja de lado

algunas otras que incluso pueden llegar a explicar de manera más detallada los fenómenos, es así que (Ayala, 2017) afirma que:

*No es de extrañar que se tienda a considerar la enseñanza de las ciencias como una actividad de transmisión de saberes, técnicas y procedimientos científicos. Tampoco es de extrañar que las deficiencias en el manejo por parte del maestro de la disciplina que enseña sea el problema que con más frecuencia y énfasis se señala con relación a la formación de los docentes; así el término “un manejo adecuado de la disciplina” no tenga un significado suficientemente preciso; con éste se puede referir a la cantidad de información, o a la actualización de la misma, o a las habilidades en la resolución de problemas o en la realización de experimentos, o a otros aspectos menos comunes.*

Se hace relevante poner de presente que el trabajo que aquí se presenta; realiza un análisis de los conceptos y de los fenómenos electrostáticos y de su forma de organización, sin embargo, no es un trabajo de orden didáctico ya que este no posee ningún componente de aula por el contrario es un trabajo de orden comprensivo en el ámbito disciplinar con el fin de establecer criterios de orientación para la producción de propuestas para la enseñanza, ya que si bien a lo largo del trabajo se plantean los diversos fenómenos que se pueden abordar desde esta perspectiva – en particular la electrificación por inducción –no necesariamente esto requiere realizar los experimentos para de alguna manera analizarlos, ya que como se mencionó anteriormente se pretende a partir del fenómeno – ilustrado en experimentos – determinar la naturaleza de los conceptos y su lenguaje.

De este modo se hace necesario recopilar algunos textos y artículos ya que a partir del análisis de los fenómenos permiten brindar herramientas para establecer los criterios señalados anteriormente, de tal modo que el docente a partir de análisis y relaciones conceptuales logre hacer – en este caso específico del electromagnetismo – algo más que el estudio de ciertas situaciones que poco abarcan el fenómeno y que al final no dan cuenta de lo amplio de este campo en específico.



Se busca entonces, que a partir del análisis de diversos textos que abordan la perspectiva de campos se establezcan criterios de orientación para la producción de propuestas para la enseñanza – enfocadas a la educación media, ya que es allí donde principalmente se evidencian las dificultades que se plantearon anteriormente – que estén orientadas a la comprensión de los fenómenos de manera adecuada sin que esto implique de cierta manera realizar un análisis experimental, sino que de alguna manera al recopilar los experimentos que plantea Maxwell en relación con lo eléctrico se puede establecer el análisis del fenómeno, y de esta manera abordarlo de una manera completa haciendo uso de la conceptualización y sus diferentes formas de medirle.

En torno a lo anterior y teniendo en cuenta que al hacer uso de textos que permiten una comprensión más amplia y definida de las teorías que explican el fenómeno, se plantea la siguiente pregunta que enmarca la investigación:

*¿Cómo a partir de un análisis de corte conceptual se pueden establecer criterios para generar propuestas en el ámbito de la enseñanza de la electrostática desde una perspectiva de campos?*

Los objetivos que enmarcan la investigación son:

### **1.1.1. Objetivo general**

Estructurar a partir de un análisis de corte conceptual del tratado de J.C Maxwell, los elementos necesarios para generar propuestas de enseñanza de la electrostática partiendo desde la perspectiva de campos.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Identificar los principales problemas al momento de abordar la electrostática en la enseñanza
- Recopilar diversos textos y artículos que permiten la comprensión de los fenómenos electrostáticos abordados desde la perspectiva de campos

- Analizar los experimentos recopilados en los textos de tal modo que se abarque la comprensión de los mismo desde la perspectiva de campos
- Establecer criterios que permitan generar propuestas de enseñanza de la electrostática desde la perspectiva de campos

## **1.2. Marco teórico y metodológico**

Se presentan todos aquellos aspectos relevantes de corte teórico, en este caso particular desde la teoría de campos en la que se recopilan elementos primordiales para abordar más adelante el análisis de la fenomenología, así como también se extraen elementos del texto original de Maxwell “Tratado de electricidad y magnetismo” de tal forma que se brinden herramientas para pasar de un análisis de corte documental a un análisis de corte conceptual en donde se determine la naturaleza de los conceptos y de su lenguaje.

### **1.2.1. Teoría de campos**

La fundamentación teórica del análisis que aquí se presenta aborda la teoría de campos y en ella se solidifica la producción de propuestas de enseñanza, lo que se pretende en el rol docente es lograr la adecuada comprensión de conceptos y para ello se hace necesario fortalecer en este caso la teoría que enmarca la investigación; es así, como se debe abordar la segunda gran revolución en la física que tuvo diferentes autores tales como M. Faraday, J.C Maxwell, H. Hertz entre otros en donde se consolida el concepto de *campo*.

Cabe resaltar que la idea central de campo fue establecida por J.C Maxwell, pero como sucede por lo general es desarrollada tiempo después por H. Hertz quien tomaremos como referente fundamental para enmarcar la teoría y para ello se hace necesario evidenciar cuatro puntos de vista del trabajo de Hertz<sup>3</sup> que ponen de presente como la perspectiva de campos brinda herramientas de explicación claras con respecto a los fenómenos asociados a la electrostática.

---

<sup>3</sup> Heinrich Hertz, Las Ondas Electromagnéticas. Selección de las Untersuchungen, con introducción, notas y apéndices a cargo de Manuel García Doncel y Xavier Roqué. Bellaterra (Barcelona), 1990; págs. 54-58.

*“Desde el primer punto de vista, consideramos la atracción de dos cuerpos como una especie de afinidad espiritual entre ambos. La fuerza que cada uno ejerce está ligada a la existencia del otro cuerpo y para que simplemente exista una fuerza deben existir al menos dos cuerpos interactuando”.*

*En otras, palabras, para pensar en atracción o repulsión es necesario pensar en dos cuerpos que simultáneamente se atraen: a la vez que los dos ejercen la atracción, la padecen (son atraídos).*

*Causa (ejercer la atracción) y efecto (padecer la atracción) no son separables ni espacial ni temporalmente...*

*Desde el segundo punto de vista, aunque concedemos que sólo podemos observar esa acción a distancia cuando tenemos al menos dos cuerpos, admitimos sin embargo que uno sólo de los cuerpos en interacción tiene constantemente la tendencia a producir en cada punto de su entorno atracciones de una determinada intensidad y dirección no admitimos en el lugar de la actividad una cierta modificación del espacio, en virtud de la cual podríamos designar este lugar como sede de la fuerza, sino que el cuerpo actuante sigue siendo a la vez sede y origen de la fuerza.. Este punto de vista viene a ser el punto de vista de la teoría del potencial.*

*El tercer punto de vista mantiene las concepciones del segundo, pero les añade una complicación.*

*Admite que las fuerzas a distancia inmediatas no determinan por sí solas la acción entre cuerpos separados. Admite más bien que las fuerzas producen modificaciones en el espacio, que se imagina lleno por todas partes, las cuales ocasionan a su vez fuerzas a distancia. Las atracciones entre cuerpos separados se deben pues, en parte a la acción a distancia inmediata entre ellos, y en parte al influjo del medio modificado. La modificación misma del medio se imagina como una polarización eléctrica o magnética de sus partes más pequeñas bajo el influjo de la fuerza actuante.*

*En relación a los fenómenos estáticos este punto de vista ha sido desarrollado por Poisson para el magnetismo, y transferido por Mosotti a los fenómenos eléctricos; en su desarrollo más general y generalizado a todo dominio del electromagnetismo, se encuentra defendido en la teoría de Helmholtz...*

*El cuarto punto de vista corresponde a la mera concepción de acción mediata. Concedemos desde este punto de vista que las modificaciones del espacio admitidas desde el tercer punto de vista existen de hecho, y que ellas son las mediadoras del influjo que los cuerpos ponderables ejercen unos sobre los otros. Pero negamos que estas polarizaciones sean consecuencias de fuerzas a distancia, y negamos la existencia misma de estas fuerzas a distancia; incluso eliminamos las electricidades de las que deberían partir esas fuerzas. Consideramos más bien ahora aquellas polarizaciones como lo único que realmente existe; ellas son tanto la causa de los movimientos de los cuerpos ponderables, como de los demás fenómenos que nos hacen ver estos cuerpos como modificados.”*

Como se puede evidenciar el trabajo de Hertz se encuentra orientado a la propuesta de manera implícita la aceptación del medio como causa de una acción mediata y que las ecuaciones que se le atribuyen a esta concepción está directamente relacionadas con operadores espaciales, ya que estas no son en un punto definido, sino, en el espacio mismo de interacción.

Poniendo de manifiesto la idea de campo que propone J.C Maxwell y que luego es trabajada de manera experimental por H. Hertz se puede establecer una relación directa del campo con el potencial eléctrico, que como veremos más adelante solo es válida al pensar en las diferencias de potencial, es así que, si se establece dicha relación con sus operadores optemos lo siguiente:

$$-\Delta V = E_x dx + E_y dy + E_z dz$$

Si establecemos dicha relación en términos del gradiente de potencial y el desplazamiento podemos evidenciar que:

$$E = -\left(\frac{\delta\varphi}{\delta x} i + \frac{\delta\varphi}{\delta y} j + \frac{\delta\varphi}{\delta z} k\right)$$

La anterior relación indica el gradiente de potencial y nos permite dar cuenta de que el potencial, permite evidenciar la dirección de mayor variación del campo eléctrico, lo

anterior se plantea con el fin de introducir y dar cuenta de las ecuaciones y su carácter espacial que nos permite de una manera determinante mostrar que el espacio juega un papel relevante dentro de los fenómenos electrostáticos.

Por último se aborda la primera ecuación relacionada por Maxwell en forma diferencial<sup>4</sup>, en ella es posible observar divergencia del campo eléctrico en relación a la densidad de carga eléctrica sobre la permitividad eléctrica en el vacío, en donde de nuevo se evidencia que los fenómenos no ocurren en una partícula, sino, que estos requieren de una caracterización espacial para que sucedan.

$$\nabla E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

Debido a que la acción eléctrica se genera a través del medio y este a su vez debe encontrarse en un estado de Stress comparable al de un cuerpo solido que está sujeto a deformaciones, se hace necesario el análisis desde el medio y tomando como referente los medios continuos es preciso caracterizar las modificaciones que se presentan en el medio que hace referencia al estado del mismo, y como a partir de este se puede realizar una relación entre el Stress y las líneas de fuerza, de estos medios continuos no hay mayor referencia y cabe hacer la claridad que cuando se requiere hacer el análisis de estos resulta ser diferente a los realizados en la mecánica de corte Newtoniano, Según Castillo (2006):

*Los esquemas de análisis y organización necesarios para dar cuenta del estado y de los cambios en los medios continuos son muy diferentes de aquellos utilizados en la mecánica de lo discreto como es la mecánica de corte newtoniano, que es de la cual se tiene mayor referencia. (Castillo, 2006)*

### **1.2.2. Metodología**

---

<sup>4</sup> La Ley de Gauss, relación de la divergencia del campo y la densidad de carga.

El enfoque que enmarca la presente investigación es en primera medida un análisis documental, en el que se toma como base el tratado de J.C Maxwell que permite recopilar los experimentos y de esto realizar un análisis conceptual en torno a su base fenomenológica explicada desde la perspectiva de campos, y aunque se toma como base este texto no necesariamente es el único que se toma como referente de análisis se tomaran como apoyo artículos que permiten una comprensión detallada para lograr estructurar criterios alrededor del fenómeno; y por otra parte, es necesario poner de presente que solo se toman elementos de algunos de ellos que permitieron hacer el análisis más riguroso y que de otros se tomaron como base para la comprensión propia que no se expone en el trabajo pero que permite realizar el análisis.

El análisis documental permite la recopilación e interpretación de documentos originales y producir instrumentos que permiten estructurar uno nuevo – como el caso del presente de trabajo – con el fin de brindar herramientas que permiten realizar un análisis conceptual en torno a la recopilación realizada como base de transformación y producción de propuestas en este caso en el ámbito de la enseñanza de las ciencias y en un caso particular la de la electrostática en el ámbito educativo tal como se cita en (Rico, 1999)

*Algunas herramientas metodológicas, como es el caso del análisis conceptual, ponen de manifiesto su utilidad para la demarcación de los problemas de investigación educativa y el progreso en su resolución. Por ello resulta necesario lograr que los investigadores en formación aprecien la utilidad y alcancen un nivel razonable de competencia en el análisis conceptual (Scriven, 1988)*

Es así, como se realizó un análisis del texto “A treatise on electricity and magnetism” de J.C Maxwell, específicamente se parte desde los experimentos en los que se da cuenta – aunque no se nombra como tal en el texto – que se plantean a partir de la perspectiva de campos en la que se puede evidenciar la importancia de elementos que, explicados a partir de la teoría de potenciales no toman muchas importancia, tal como el medio de distribución de las manifestaciones eléctricas y en su propia esencia dichas manifestaciones ya que se evidencia que en la teoría de potenciales y más aún en los libros

de texto no la conceptualizan aunque si ponen de presente como se mide, esté no es el caso de la perspectiva de campos en la que el análisis de estas manifestaciones eléctricas es más riguroso y se establece su causa y en su forma más estricta la manera de medirla.

La perspectiva de análisis que se aborda es la perspectiva de campos, en donde se establecen criterios para asumir como eje de transformación todos aquellos conceptos primordiales para los fenómenos electrostáticos como fundamentales en donde dejan de ser tomados como meras definiciones y que son aquellos que al hacer una adecuada interpretación permite la comprensión del mundo físico, cabe resaltar que el criterio que se toma en cuenta para determinar los textos y documentos a analizar es netamente disciplinar y se tomaran en cuenta solo aquellos que se aborden desde la perspectiva de campos.

El análisis conceptual que se plantea en el trabajo se realiza en las siguientes fases que constituyen las acciones que permiten llegar al objetivo planteado tales como: En la primera fase, se identificaron los principales problemas en la enseñanza a la hora de ser abordados los fenómenos electrostáticos, desde los textos que promueven la enseñanza de la física y a su comprensión desde la base teórica. En la segunda fase se recopilaron textos y artículos que permiten establecer una postura desde la perspectiva de campos a partir de los experimentos y los fenómenos asociados. En la tercera fase analizaron los experimentos para realizar la conceptualización de las diversas magnitudes asociadas y su respectiva formalización matemática. Finalmente, se establecieron criterios para la producción de propuestas pedagógicas que permitan desde el ejercicio docente identificar la base teórica desde la que se relacionan los fenómenos electrostáticos desde la perspectiva de campos.

### **1.3. Revisión de antecedentes**

Se presentan distintos trabajos de grado y artículos científicos que permiten la comprensión y extracción de elementos claves que dan sustento al presente trabajo, cabe resaltar que se tomaron como referentes tanto en el ámbito pedagógico como en el disciplinar.

<b>Título - Autor (es)</b>	<b>Descripción del trabajo</b>	<b>Aporte al trabajo</b>	<b>Alcance con respecto al trabajo</b>
<p>Caracterización de los fenómenos electrostáticos desde una perspectiva de campos</p> <p>Andrea Estefanía Ulloa Cataño y David Alexander Paque Burgos</p> <p>Tesis de pregrado Universidad Pedagógica Nacional Bogotá (2014)</p>	<p>Se plantea como una alternativa teórica para caracterizar los fenómenos electrostáticos abordados a partir de la perspectiva de campos propuesta por Maxwell y Faraday, en ella se abordan los experimentos propuestos y se abordan los conceptos físicos asociados para caracterizar el medio.</p>	<p>Este trabajo aporta a la investigación de forma teórica, ya que en él se encontraron elementos claves que permiten realizar un análisis rigurosos desde la perspectiva de campos y como se toman en cuenta las magnitudes asociadas</p>	<p>En este trabajo se caracterizan los fenómenos por medio de los experimentos y se busca la naturaleza de los conceptos para lograr asociarlos a la formalización matemática.</p>



<p>El concepto de onda electromagnética y su medio de propagación a partir de la teoría de maxwell y los trabajos de Hertz Ana Consuelo Segura López Tesis de pregrado Universidad Pedagógica Nacional Bogotá (2015)</p>	<p>Este trabajo tiene como fin abordar el análisis de onda electromagnética y su medio de propagación a partir del trabajo realizado por H. Hertz, de cierto modo busca hacer una comparación y explicación de ondas mecánicas y ondas electromagnéticas</p>	<p>Este trabajo aporta a la investigación de dos formas; la primera enfocada en el aspecto disciplinar ya que se toma como base teórica el trabajo de Hertz que es de gran ayuda para la comprensión y elección de la perspectiva de campos y el segundo enfocada en el aspecto pedagógico ya que las reflexiones planteadas en el documento dan cuenta del rol del maestro como agente de la re-contextualización de saberes</p>	<p>Los trabajos realizados son de corte distinto aunque en esencia la base explicativa corresponde a la teoría de campos que es la que posibilita dar explicación a los fenómenos electrodinámicos entre ellos la onda electromagnética que es la que fue abordada por este trabajo</p>
<p>Construcción del fenómeno eléctrico, perspectiva de campos, elementos para una ruta pedagógica Edwin García Tesis de maestría Universidad Pedagógica Nacional (1999)</p>	<p>Este trabajo aborda la perspectiva de campos como herramienta que, permite establecer una ruta pedagógica, a partir del fenómeno eléctrico abordado desde la perspectiva de campos</p>	<p>Este trabajo aporta en la investigación ya que da una primera mirada de la descripción del fenómeno desde la perspectiva de campos y como esta perspectiva puede ser efectiva para generar estrategias pedagógicas.</p>	<p>Este es un trabajo de maestría de orden didáctico con una disertación mucho más amplia se toma como referente teórico y posee diferencias en términos que en este se plantea una ruta pedagógica.</p>

<p>El concepto de corriente Y la perspectiva dinámica Juan Carlos Castillo Ayala Tesis de maestría Universidad pedagógica Nacional Bogotá (2004)</p>	<p>En este trabajo se hace un análisis conceptual para la enseñanza de la física desde la dinámica de construcción de conocimiento, a través de la configuración de fenómenos, elaboración de problemáticas y estructuración de las explicaciones.</p>	<p>Este trabajo brinda elementos en cuanto a la ruta metodológica que sigue esta investigación, ya que permite extraer elementos relevantes para realizar de manera adecuada el análisis</p>	<p>Este es un trabajo de maestría que abarca de una manera más amplia la metodología que se plantea en el presente trabajo se toma como referente metodológico</p>
<p>El tensor de esfuerzos. Un análisis epistemológico desde una perspectiva pedagógica Juan Carlos Castillo, María Mercedes Ayala, José Francisco Malagón, Isabel Garzón Barragán y Marina Garzón Barrios Artículo revista "Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias" Bogotá (2012)</p>	<p>Este artículo conceptualiza involucrada en la propuesta de J.C Maxwell, respecto al tensor de esfuerzo y su estrecha relación con el medio y todo esto abordado como propuesta pedagógica desde la perspectiva de campos que se nombra de manera implícita</p>	<p>Este artículo permitió establecer algunos conceptos claves respecto a la perspectiva abordada y su manera adecuada de tratamiento en el ámbito pedagógico y en este también se puede evidenciar las falencias en el campo de la enseñanza con respecto a los fenómenos eléctricos.</p>	<p>Este es un análisis desde la perspectiva de campos del tensor de esfuerzo que permitió realizar un análisis amplio de la naturaleza del medio para conceptualizar el campo y determinar el tipo de distribución.</p>
<p>Modelación del concepto de campo electromagnético: Caracterización del razonamiento seguido por maxwell. Juan David Blanco Monografía Universidad Pedagógica Nacional Bogotá (2013)</p>	<p>Monografía que muestra una alternativa para conceptualizar sobre la noción de campo electromagnético, de acuerdo con los desarrollos de Maxwell. La conceptualización se realiza desde el análisis del proceso</p>	<p>Esta monografía a la investigación herramientas para la comprensión del contexto en el que se desarrolló la teoría, lo que permite determinar que magnitudes y conceptos se deben analizar.</p>	<p>Este es un trabajo de corte histórico que permite reconocer el contexto de desarrollo de la teoría el presente trabajo es de corte conceptual</p>

	de creación y adaptación del modelo mecánico que Maxwell diseñó para la génesis y construcción de su teoría del campo electromagnético.		
DE LA ACCIÓN A DISTANCIA AL CONCEPTO DE CAMPO Una discusión sobre la acción a distancia en términos del desarrollo de la teoría de campos de Faraday hasta Maxwell. William Alejandro Prada Coronado Tesis de pregrado Universidad pedagógica nacional Bogotá (2015)	Este trabajo plantea análisis del concepto de acción a distancia, con el fin de evidenciar donde la teoría falla y se hace necesaria la conceptualización a partir de la teoría de campos	Este trabajo aporta a la investigación herramientas para identificar los puntos de quiebre de la teoría de potenciales cuando se trata de abordar el medio donde se manifiestan las distribuciones	Este trabajo hace un recorrido de corte histórico-conceptual para mostrar la ruptura en la teoría de acción a distancia, lo que permite evidenciar el inicio del desarrollo de este trabajo.

Los trabajos y artículos presentados anteriormente generan herramientas claves desde la base teórica y metodológica ya que permiten establecer criterios claros de análisis desde la perspectiva de campos y su enfoque en la enseñanza en la educación media.

En ese sentido y haciendo la recopilación detallada de los textos y artículos a analizar en el siguiente capítulo se hará la relación de magnitudes y ecuaciones presentes en los experimentos planteados por Maxwell abordados desde la perspectiva de campos.

## CAPITULO II

### 2. ELECTROSTÁTICA DESDE UNA PERSPECTIVA DE CAMPOS

Para realizar una explicación detallada de tal forma que se plantee como se dan los indicios de atracción y repulsión se hace necesario abarcar mucho más que la interacción entre cuerpos, ya que esta se queda corta a la hora de dar explicación a los fenómenos, ya que invisibilidad el medio de interacción, de tal modo se recurre al uso de la perspectiva de campos en el presente proceso investigativo para realizar el análisis de los fenómenos electrostáticos, en esta perspectiva la acción no es atribuida a los cuerpos sino al estado del medio en el que se encuentran, tal como lo plantea (Castillo, 2006) desde esta perspectiva toda acción es local y es el medio o el espacio es el objeto de análisis; (...) Desde esta perspectiva es posible explicar los fenómenos electrostáticos y magnetostáticos, como la causa de las acciones.

La primera experiencia sensible que permite hacer una descripción del fenómeno eléctrico es la electrostática, que para este caso como ya se ha puesto de presente será abordada desde la perspectiva de campos ya que permite hacer una descripción amplia del fenómeno y para ello se toma como referente J.C MAXWELL, que realiza una caracterización que incluye aspectos que no se toman en cuenta en las presentaciones tradicionales en este sentido la noción de carga como algo propio del cuerpo desaparece y lo único que pondrá de presente es que existe es la polarización eléctrica que se encuentra relacionada con las diferencias de potencial, cabe resaltar que lo anterior no es planteado por Maxwell en sus experimentos, pero que se hace evidente a la hora de hacer el análisis de ellos.

La acción eléctrica tomada desde la teoría de potenciales se considera como una acción entre cuerpos en donde se pone de manifiesto que un cuerpo actúa sobre el otro lo que lleva a pensar en los indicios de acción y repulsión, ahora bien si lo tomamos desde la perspectiva de campos esa acción tiene que ver con la disposición del medio que se encuentra en relación con la polarización del medio.

## **2.1. Fenómenos electrostáticos**

A continuación se realiza la descripción de los fenómenos a través de experimentos planteados por Maxwell para la electrificación por fricción, la electrificación por inducción y por conducción serán explicadas en detalle más adelante ya que estas permiten realizar la relación entre el estado de electrificación y la cantidad de electrificación.

### **2.1.1. Electrificación por fricción**

Maxwell (1954) plantea en el experimento I se describen dos cuerpos (Vidrio-Resina) – Los cuerpos que se describen no poseen propiedades eléctricas – harán una primera interacción al friccionar la resina con el vidrio, al realizar esto no mostraran ningún indicio de propiedad eléctrica; Cuando son separados se atraerá uno hacia el otro; si se ponen otros dos cuerpos de la misma naturaleza que los anteriormente mencionados en la misma situación se dará cuenta de tres situaciones particulares:

1. Vidrio – Vidrio: Se repelen
2. Vidrio – Resina; Se atraen
3. Resina – Resina: Se repelen

Estas acciones atracción - repulsión son denominadas fenómenos eléctricos y los cuerpos que las describen es porque se encuentran electrificados, dicha electrificación se puede dar por fricción o por diversos métodos que se mencionaran más adelante.

En este caso cuando uno de los cuerpos adquiere las propiedades como las del vidrio se denomina electrificación vítrea, por la forma en la que realiza la acción de atracción – repulsión se le atribuye el signo positivo (+) a este tipo de electrificación – se hace por convención y es de manera arbitraria – cuando el comportamiento que adquiere el cuerpo es similar al de la resina se denomina electrificación resinosa y se le atribuye el signo negativo (-).

Es posible evidenciar en la experiencia anterior que se considera la electrificación como un asunto de dos cuerpos y en un sentido estricto estos dos cuerpos deberán estar en

contacto; Ahora bien ¿Cuál es la causa de tal electrificación y de los fenómenos de electrificación (Atracción – Repulsión)? Para determinar dicha causa se tiene que tener en cuenta –Aunque en ningún momento se hace mención – la disposición del medio ya que este factor es una posible causa de la electrificación de los cuerpos ya mencionados.

### 2.1.2. Electrificación por conducción

Maxwell (1954) plantea en el experimento III, se dispondrá de un recipiente metálico abierto y suspendido por hilos de seda, y se agrega un nuevo cuerpo suspendido por hilos de seda cerca al recipiente, se suspende del mismo modo un alambre metálico cerca de los dos cuerpos de tal forma que interactúe con el recipiente ya electrificado y el segundo cuerpo, ahora el segundo cuerpo estará electrificado vítreamente y que la electrificación vítreo del recipiente ha disminuido, se ha conducido electricidad del recipiente al segundo cuerpo; esto gracias al alambre que es un buen conductor de electricidad, tal como se muestra en la figura 1.

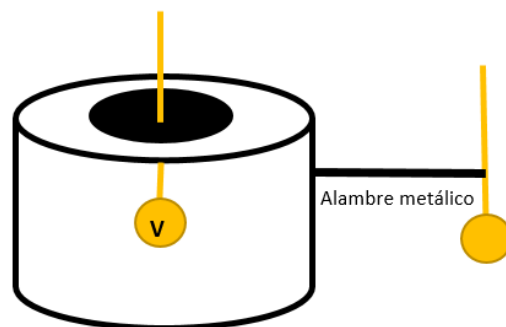


Figura 1 Recipiente metálico abierto suspendido por hilos de seda conectado a cuerpo suspendido por alambre metálico

En el experimento III el recipiente electrificado producía electrificación por medio de un alambre, si se retira el alambre y el vidrio que se encuentra suspendido sin que interactúe con el recipiente se producirá en el segundo cuerpo electrificación vítreo y en el recipiente resinosa, si de nuevo se suspende el alambre entre los dos cuerpos la electrificación desaparece dando cuenta así de la naturaleza igual y opuesta de las dos cargas presente en el recipiente y el segundo cuerpo, tal como se muestra en la figura 2.

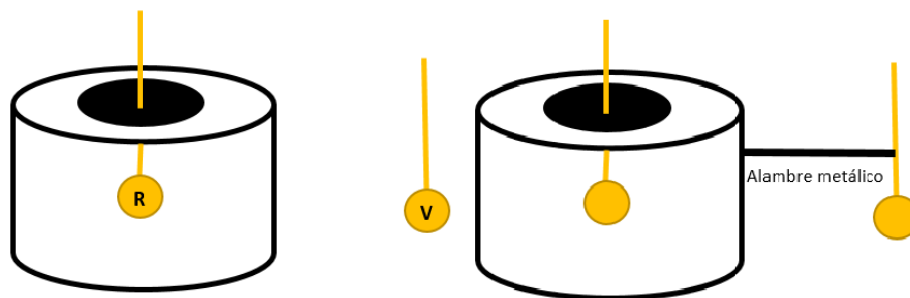


Figura 2 Lado izquierdo: se retira el alambre metálico se evidencia signos de electrificación opuesta – Lado derecho: se dispone de nuevo el alambre metálico dejan de exhibir signos de electrificación

### 2.1.3. Conductores y aislantes

En el experimento IV se centra la atención a una particularidad del experimento III, si en el caso anterior se hubiera tenido algún elemento tal como; vidrio, una varilla de resina o hilo de seda en reemplazo del alambre metálico no se hubiera encontrado un efecto similar y por el contrario el segundo cuerpo no se hubiera electrificado ya que los materiales mencionados anteriormente no son buenos conductores de electricidad y son usados comúnmente en los experimentos para mantener los cuerpos electrificados sin que ocurra efecto alguno, en este caso es importante aclarar que todos los materiales resisten el paso de electricidad solo que en diferentes grados.

Experimento VI, se tiene un recipiente metálico y aislado B y se introduce el trozo de resina con el que se froto el vidrio en el experimento I, y el trozo de vidrio electrificado será introducido en el primero recipiente A, se dispone de un alambre tal como en el experimento III, todos los signos electrificación desaparecerán, tal como se muestra en la figura 3

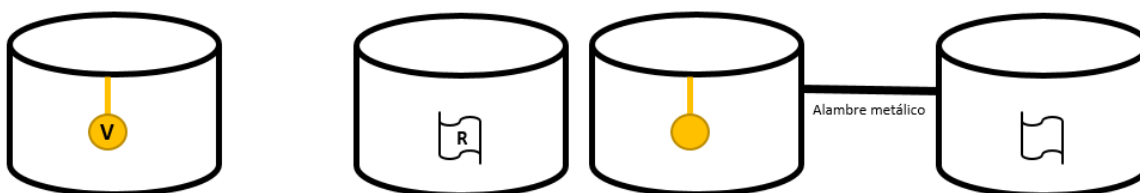


Figura 3 Lado izquierdo: recipiente A con electrificación vítrea y B con resinosa. Lado derecho: Recipientes conectados por alambre metálico dejan de exhibir electrificación.

Si A se introduce en un recipiente C – C es un recipiente más grande y aislado – se obtendrá que en el exterior de C no hay electrificación, debido a que la electrificación de A es igual y opuesta a la del vidrio, y la de B igual y opuesta a la de la resina. Lo anteriormente descrito funciona como método para cargar un recipiente con una cantidad igual y opuesta a la de un cuerpo sin alterar la electrificación de este último, esto debido a la organización que se da en las cargas de nuevo se describe la polarización aun sin ser mencionada en los experimentos.

Experimento VII, Tome el recipiente B –Cargado positivamente – introducido en C sin hacer contacto entre ellos se producirá electrificación positiva al exterior de C, ahora si B hace contacto con C no sucede ningún efecto al exterior de C, sin embargo si B es retirado y puesto a una distancia suficiente, B estará completamente descargado y C se ha cargado positivamente. Se ha entonces encontrado un método de transferencia de carga si este proceso se repite en diversas ocasiones se encontrara siempre que B queda libre de electrificación y la carga de C es duplicada debido al contacto de B y C.

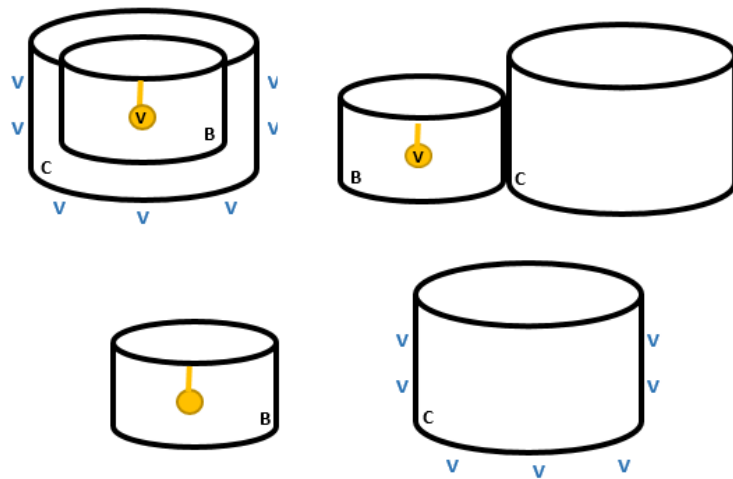


Figura 4 Experimento VII

De lo anterior se afirma que:

La electrificación de un cuerpo es por tanto una cantidad física de medida de dos o más electrificaciones que se pueden combinar experimentalmente con un resultado de la misma clase. (Castillo, 2006). Es evidente en esta serie de experimentos que cuando existe



un aumento o disminución de electricidad, este se es debido a una ganancia o pérdida de la misma cantidad en otro cuerpo.

## **2.2. Electrificación por inducción desde la perspectiva de Maxwell**

En los experimentos que plantea Maxwell se describen tres tipos de electrificación – anteriormente se mencionaron dos de ellas – que se presentan de diferentes maneras y que ponen siempre de presente que el medio juega un papel importante dentro de la construcción del fenómeno, el centro de estudio de Maxwell se plantea desde la electrificación por inducción y para ello plantea una serie de experimentos en donde se evidencia que el estado del medio tiene una influencia sobre la electrificación de los cuerpos y que este no se da de manera instantánea, sino que toma un tiempo determinado para que se manifieste la modificación de dicho estado tal como se plantea en la siguiente cita de Hertz<sup>5</sup> de la cual se hará énfasis en el cuarto punto de vista que hace referencia a la acción mediata e introduce la existencia única de la polarización tal y como se mencionó anteriormente.

*El cuarto punto de vista corresponde a la mera concepción de acción mediata. Concedemos desde este punto de vista que las modificaciones del espacio admitidas desde el tercer punto de vista existen de hecho, y que ellas son las mediadoras del influjo que los cuerpos ponderables ejercen unos sobre los otros. Pero negamos que estas polarizaciones sean consecuencias de fuerzas a distancia, y negamos la existencia misma de estas fuerzas a distancia; incluso eliminamos las electricidades de las que deberían partir esas fuerzas. Consideramos más bien ahora aquellas polarizaciones como lo único que realmente existe; ellas son tanto la causa de los movimientos de los cuerpos ponderables, como de los demás fenómenos que nos hacen ver estos cuerpos como modificados.*

### **2.2.1. Experimentos planteados por Maxwell (Electrificación por inducción)**

Maxwell (1954) plantea en el tratado experimentos para describir fenómenos electrostáticos anteriormente se mostraron aquellos relacionados con la electrificación por fricción y

---

<sup>5</sup> Heinrich Hertz, Las Ondas Electromagnéticas. Selección de las Untersuchungen, con introducción, notas y apéndices a cargo de Manuel García Doncel y Xavier Roqué. Bellaterra (Barcelona), 1990; pág. 58.

conducción, a continuación se muestra en detalle la descripción de los experimentos planteados para la electrificación por inducción que es como ya se ha mencionado es el centro de análisis de trabajo, ya que en ellos se evidencia la relevancia del medio para la caracterización de las magnitudes asociadas a él, tales como la polarización como consecuencia de la diferencia de potencial que son el resultado de la disposición del medio asociadas al potencial eléctrico que caracteriza el estado de electrificación – el análisis del estado se realizara más adelante –

Maxwell (1954) plantea en el experimento II se dispondrá de un recipiente metálico abierto y suspendido por hilos de seda, un hilo estará dispuesto para abrir y cerrar la tapa de tal manera que no se haga contacto con el recipiente, se toman los cuerpos ya electrificados del experimento I y se suspenden por hilos de la misma manera que el recipiente.

El recipiente no está electrificado, se introduce el vidrio ya electrificado por rozamiento y se cierra la tapa, se encontrará que el exterior del recipiente estará electrificado vítreamente y esta será independiente de la posición en la que se encuentre el vidrio al interior de él, Si sacamos el vidrio del interior se podrá evidenciar que el vidrio seguirá teniendo la misma electrificación y la del recipiente desaparece a lo anterior se le denomina *electrificación por inducción*.

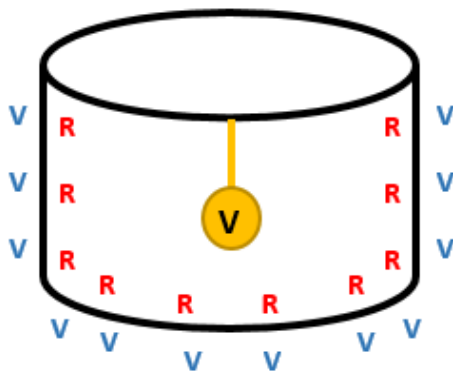


Figura 5 Recipiente metálico con un cuerpo electrificado en el interior

En este proceso es posible dar cuenta de la polarización sin que necesariamente sea nombrada la distribución del estado de electrificación dentro del recipiente fue ordenado de tal forma que se induce la carga opuesta del objeto ya electrificado en este caso el trozo de vidrio; en el caso en que el trozo de vidrio está dentro denota una electrificación resinosa

dentro del recipiente ya que esta se ha considerado la opuesta a la que se puede encontrar en el exterior que sería vítrea, tal como se muestra en la figura 5.

Si se suspende el vidrio al exterior del recipiente se puede evidenciar, que en este caso si es importante la posición del cuerpo ya electrificado; cuando este es suspendido cerca a cierta parte del recipiente este se electrificara resinosamente y la otra parte vítreamente (y viceversa) según la posición en la que se ubique el vidrio, tal como se muestra en la figura 6; El experimento II evidencia la importancia del medio en el cual están ocurriendo los fenómenos, para este caso el aire que aunque es un medio no conductor, pero por el cual ocurre inducción – este medio es denominado por Faraday dieléctrico – las dos experiencias mencionadas anteriormente muestran como un cuerpo es capaz de modificar el estado de otro sin necesidad de ponerlos en contacto y que esto se debe a la modificación que sufre el medio y que no sucede de manera inmediata como anteriormente se había mencionado.

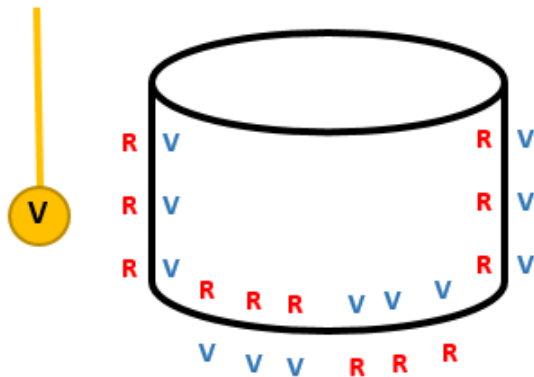


Figura 6 Trozo de vidrio suspendido en el exterior del recipiente

Maxwell (1954) plantea en el experimento V, se introduce en un recipiente un trozo de vidrio electrificado por rozamiento y se producía electrificación en el recipiente independiente la posición del trozo, ahora si introducimos la resina con la que fue frotada el vidrio sin hacer contacto con el vidrio o el recipiente, encontraremos que en el exterior del vidrio no habrá electrificación esto se debe a la naturaleza opuesta de la resina con el vidrio (y viceversa) y se puede deducir que la electrificación del recipiente se deberá a la suma algebraica de todas las electrificaciones presentes en el interior de él, esto debido a que

dentro del recipiente están presentes tanto la electrificación vítrea como la resinosa da como resultado la anulación de tal electrificación al exterior del mismo.

Como fue anteriormente mencionado se le otorga arbitrariamente signo negativo (-) a la resina, en lo que se podría obtener un método práctico para introducir elementos sin alterar la electrificación.

Desde la perspectiva de campos es necesario hacer énfasis en dos magnitudes que se encuentran relacionadas con la electrificación las cuales son cantidad de electrificación y el grado de electrificación, en el caso de la cantidad de electrificación hablamos en relación a lo que desde la teoría de potenciales es conocido como la carga, y por otro lado el grado de electrificación hace referencia al potencial eléctrico y da cuenta del estado de electrificación

Ahora, se describirán los experimentos electrostáticos planteados por Maxwell que permitirán resaltar rasgos de la perspectiva de campos.

### J.C MAXWELL

Se pone un recipiente sin electrificar dispuesto aisladamente como en el experimento II, se introduce un trozo de vidrio o resina sin tocar el recipiente, el recipiente en el exterior estará cargado vítrea o resinosamente según lo que se coloque en el interior de el del experimento II sabemos que si cambiamos la posición de lo que se encuentre dentro del recipiente no ocurrirá ningún efecto tal como se muestra en la figura 7.

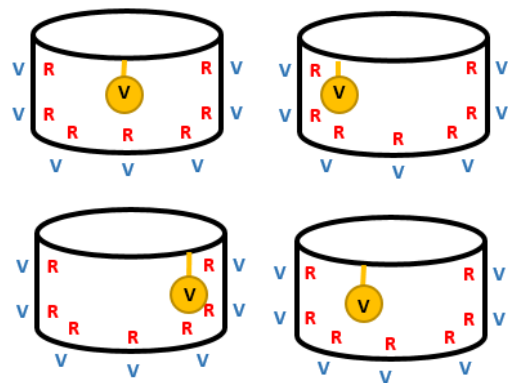


Figura 7 Los signos de electrificación al exterior del recipiente no cambian.

Suponga ahora la misma experiencia anterior, pero ahora se tendrá otro recipiente igual no electrificado conectado al primer recipiente con un alambre metálico, se obtendrá

que en el primer recipiente disminuye la electrificación y en el segundo recipiente aparece electrificación, ahora si retiramos el alambre los signos no cambiaran. Porque en el segundo se le induce electrificación del primero; ahora para dar cuenta de lo anteriormente mencionado se saca el trozo de vidrio o resina puesta al interior del recipiente cambiara su electrificación opuesta a la que tenía, si de nuevo se hace contacto con el alambre la electrificación desaparece.

Para el análisis anterior, realizado con los experimentos de Maxwell para la electrificación por inducción es necesario hacer claridad de lo que la perspectiva de campos en cuanto a magnitudes Físicas trae consigo, a continuación, a partir de la relación de los experimentos se realiza dicha distinción en primer lugar entre grado de electrificación y estado de electrificación.

Suponga dos recipientes metálicos – de ahora en adelante se nombraran  $R_1$  y  $R_2$  respectivamente – que inicialmente se encuentran sin signos de electrificación, y dos cuerpos electrificados por fricción; para realizar un primer análisis se tomaran dos recipientes de diferente tamaño como se muestra en la figura 8 los recipientes serán de diferente tamaño  $R_1$  será de menor tamaño que  $R_2$ , con el fin de evidenciar los potenciales de cada uno en relación al grado de electrificación.

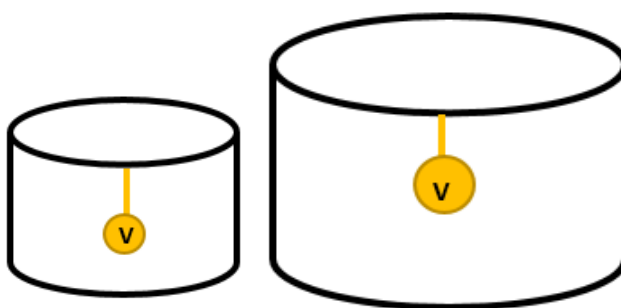


Figura 8 Recipiente uno de tamaño menor que el recipiente dos

Anteriormente se identificaron las magnitudes asociadas a los fenómenos que se aprecian de esta manera es posible evidenciar que el grado de electrificación es mayor en el recipiente de menor tamaño, y que por el contrario el grado de electrificación es menor en el recipiente de mayor tamaño  $R_1$  y  $R_2$  respectivamente, y esto ocurre independiente de que la cantidad de electrificación para los dos recipientes sea exactamente la misma, esto debido al tamaño del recipiente y que se puede establecer relaciones de proporcionalidad

según sea un recipiente con respecto al otro se encuentra vinculado con una propiedad del sistema que es la *capacidad inductiva del sistema* y en caso de querer llevar los dos recipientes al mismo grado de electrificación se tendrían que introducir en  $R_2$  – que en este caso es el de mayor tamaño – tantos cuerpos electrificados como sea necesario, según la proporción de  $R_1$ , el grado de electrificación es posible medirlo por medio del potencial eléctrico.

En  $R_1$  se introduce el cuerpo electrificado y se coloca al interior de  $R_2$ , se electrificarán por inducción –como ya se denoto anteriormente en la descripción de los fenómenos – los recipientes al exterior estarán cargadas vítreamente, tal como se muestra en la figura 9, el grado de electrificación del recipiente uno será mayor que el del recipiente dos, como se mencionó anteriormente el grado de electrificación se mide por medio del potencial eléctrico, es de esperar que  $R_1$  posea un potencial eléctrico uno y  $R_2$  posea un potencial eléctrico dos y que en este caso de ahora en adelante se denominaran  $\phi_1$  y  $\phi_2$  respectivamente.

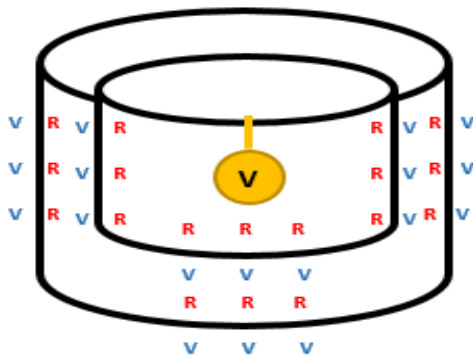


Figura 9  $R_1$  en el interior de  $R_2$

*Grado de electrificación  $R_1 > \text{Grado de electrificación } R_2$*

$$\phi_1 > \phi_2$$

La capacidad inductiva del sistema se da en términos del  $\epsilon$  del sistema<sup>6</sup> por el área sobre la distancia entre los conductores tal como se muestra en la ecuación, para ilustrar tomemos el ejemplo de un sistema formado por dos placas paralelas que están a una diferencia de potencial, nos permite deducir que la capacidad es directamente proporcional

<sup>6</sup> Físicamente el  $\epsilon$  del sistema indica que tanto se puede polarizar el medio, permitividad eléctrica del medio.

al área, de tal forma que la relación existente entre  $\phi_1$  y  $\phi_2$ , es proporción al área uno y el área dos de la siguiente manera<sup>7</sup>:

$$\zeta = \frac{\varepsilon_0 A}{r}$$

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Aunque  $R_1$  posee diferente grado de electrificación que  $R_2$  –por ende diferente potencial eléctrico – la cantidad de electrificación para ambos será la misma.

Ahora bien cómo se puede dar cuenta de esos grados de electrificación, si entre  $R_1$  y  $R_2$  se realiza una conexión por medio de un cable metálico se podrá evidenciar que  $R_1$  deja de exhibir signos de electrificación y  $R_2$  no exhibe cambio en el estado de electrificación, tal como muestra la figura 10.

---

<sup>7</sup> Para acción a distancia se reconoce que la función potencia está dado por la siguiente ecuación  $V = \frac{W}{q_0}$ , sin embargo se debe tener en cuenta que la perspectiva de análisis aquí planteada es la de campos se define para cada sistema de conductores.

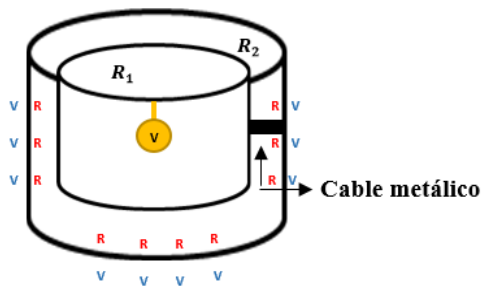


Figura 10  $R_1$  en el interior de  $R_2$  conectados por un alambre metálico

El recipiente uno  $R_1$  deja de mostrar signos de electrificación debido a que cuando se hace la conexión con el recipiente dos  $R_2$  los dos recipientes actúan como un solo sistema y en caso de que se pudiera medir su potencial, el que lograría ser medido sería el potencial de equilibrio entre  $\phi_1$  y  $\phi_2$  es decir  $\phi_e$ , en donde  $\phi_e$  es menor que  $\phi_1$  y mayor que  $\phi_2$

$$\phi_1 > \phi_e > \phi_2$$

Si se tienen dos recipientes del mismo tamaño en este caso denominaremos de nuevo  $R_1$  y  $R_2$  respectivamente a los recipientes, sin embargo en este caso denominaremos el potencial del recipiente uno  $\phi_1$  y el del recipiente dos  $\phi_2$ . ¿Cómo podemos determinar si los dos recipientes se encuentran con el mismo estado de electrificación? Si al conectar los dos recipientes por medio de un alambre metálico se puede evidenciar que no hay variación en el estado de electrificación se puede deducir que los dos se encuentran en el mismo estado es decir que  $\phi_1 = \phi_2$ , dicha variación como se mencionó anteriormente exige una causa y a dicha causa se le ha denominado cantidad de electrificación o carga.

La condición de equilibrio no depende únicamente de la cantidad de electrificación sino que también depende del tamaño de los recipientes –específicamente del área– ya que podemos tener dos recipientes de diferente tamaño con la misma cantidad de electrificación y de igual forma evidenciaremos un cambio en cada uno de ellos para que se llegue a un potencial de equilibrio, ahora bien cuando determinamos la carga en la teoría de acción a distancia, se hace evidente que se toma como un punto que se encuentra en los objetos, para el caso de la perspectiva de campos se toma como una causa del cambio, tomando en cuenta el ejemplo anterior; en el recipiente uno aumenta el potencial  $\phi_1$  y en el recipiente



$\phi_2$  disminuye hasta llegar a un potencial de equilibrio con respecto a la carga se puede deducir que lo que sucede es que se transfiere cantidad de electrificación de un recipiente a otro y a esa cantidad se le puede denominar carga, y esta carga transferida se puede medir de la siguiente manera:

$$q = \frac{\epsilon A_2}{r} \Delta\phi_2$$

### **2.3. Relación de la electrificación por inducción y el potencial eléctrico (estado de electrificación)**

Cuando se realiza el análisis entre electricidad y potencial a partir del experimento II planteado por Maxwell que denota la electrificación por inducción se puede decir que:

La “electricidad y el “potencial” cuando se multiplican juntos producen la cantidad de “energía “, es imposible por tanto que la electricidad y la energía sean cantidades de la misma categoría, debido a que la electricidad es factor de la energía al igual que el potencial, sin embargo la energía también es considerada como el producto de otros factores. (Castillo, 2006)

J.C Maxwell describe el medio como fuente de las acciones y esa acción entre cuerpos electrificados se da por y a través del medio, en el cual hace énfasis que la fuerza no reside en los cuerpos electrificados, si no en el medio, requiere de un tiempo y no se da necesariamente a lo largo las rectas que une a los cuerpos.

Se tomara la electrificación como un estado, lo que exige una causa para su cambio esta causa se expresara con el término cantidad de electrificación o carga y el potencial eléctrico caracteriza dicho estado de electrificación entonces tenemos que:

Si dos conductores poseen los mismos estados de electrificación tendrán por ende el mismo potencial eléctrico, pero ¿Cómo se garantiza que tienen el mismo estado de electrificación?, suponga que al poner cerca a sus vecindades un electros pio este no deberá interactuar, de lo contrario se puede afirmar que no lo están.

Al introducir un cuerpo positivamente cargado en el recipiente este pasara de tener un estado de electrificación igual a cero a un estado de electrificación positivo, cuando se

conecta con un segundo recipiente por medio de alambre metálico los estado de electrificación del recipiente uno  $R_1$  se igualaran con los del recipiente dos  $R_2$ ;  $R_1$  pasará de tener un estado de electrificación menor al que tenía inicialmente y  $R_2$  pasará a al estado de electrificación que queda  $R_1$ ; El cambio de estado en  $R_2$  es causado por el cambio en  $R_1$

*Estado de electrificación  $R_1 = 0 \rightarrow$  Estado de electrificación  $R_1 =$  positivo*

*Estado de electrificación  $R_1 =$  Estado de electrificación  $R_2$*

De ahora en adelante se denominara estado de electrificación de la siguiente manera  $V$ , de tal manera que para el recipiente uno será  $V_1$  y para el recipiente dos  $V_2$  en donde:

$$V_1 > V_2$$

Cuando se electrifica un objeto necesariamente se electrifica todo el espacio que lo rodea, esto es necesario tenerlo claro cuando se habla desde la base fenomenológica que propone Maxwell, ahora bien lo que sucede en el interior de una superficie conductora cerrada no afecta el exterior, y de igual forma lo que sucede en el exterior no perturba el interior, debido a lo que se denomina desde esta perspectiva apantallamiento.

Un conductor esta electrificado si existe una diferencia de potencial o si hay una diferencia entre el estado de electrificación entre él y tierra<sup>8</sup>; debido a que tierra se comporta como un gran conductor los cambios no son notorios por ende es un buen referente para el análisis del estado de electrificación de los cuerpos.

De lo anterior es importante hacer la aclaración que solo toma validez hablar de diferencia de potencial; tenemos dos cuerpos A y B, el estado de electrificación de A es diferente al estado de electrificación de B – el estado de electrificación de B es igual al de tierra por que está conectado a ella – entonces tenemos que:

*A = Electrificado*

*B = Neutro*

Tendremos dos situaciones que nos permiten realizar el análisis del potencial eléctrico (estado de electrificación del cuerpo) y de la diferencia de potencial.

---

<sup>8</sup>El termino tierra hace referencia a un gran conductor

Por convención se asignara al cuerpo B un estado de electrificación igual a cero.

$$V_B = 0$$

1. Si la diferencia de potencial entre A y B es positiva y sabemos que el estado de electrificación de B es igual a cero el potencial de A será igual a la diferencia del potencial entre A y B.

$$\Delta V_{AB} = + \rightarrow V_A = \Delta V_{AB}$$

2. Si la diferencia de potencial entre A y B es negativa y sabemos que el estado de electrificación de B es igual a cero el potencial de A será igual al valor absoluto de la diferencia del potencial entre A y B.

$$\Delta V_{AB} = - \rightarrow V_A = |\Delta V_{AB}|$$

De las dos situaciones planteadas anteriormente se puede evidenciar que el cuerpo que estaba en un principio electrificado toma potencial eléctrico (estado de electrificación) de la diferencia de potencial entre él y otro cuerpo que se encuentra para este caso neutro.

Desde la perspectiva de campos se ha planteado que la diferencia de potencial se distribuye al medio de separación entre los conductores, si el medio en el que se encuentran es homogéneo se puede afirmar que esa distribución de la diferencia de potencial es homogénea, tenemos dos laminas conductoras – metálicas e infinitas – se establece un gradiente de potencial perpendicular a ellas ¿Cómo se evidencia el estado de electrificación del medio?, se dispone de una partícula electrificada en el medio de las láminas la partícula experimenta una fuerza en dirección al gradiente lo que permite que el estado de electrificación del medio sea evidenciado, tal como se muestra en la figura 11.

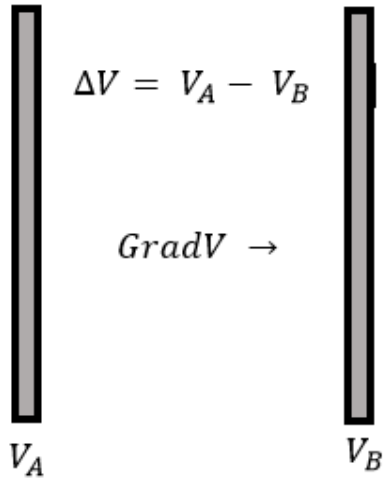


Figura 11 Láminas metálicas e infinitas

La acción eléctrica se da por la interacción de dos manifestaciones eléctricas, el hecho de que un cuerpo u objeto tenga un potencial determinado no determina que este electrificado, lo que permite determinarlo es la diferencia de potencial de un cuerpo que este en la cercanía.

Ayala M.M (2005) plantea el siguiente experimento para dar cuenta del potencial, se tienen dos placas paralelas con diferente potencial a cierta distancia donde el potencial en la placa uno será mayor que el potencial de la placa dos,  $\phi_1 > \phi_2$  lo que produce una diferencia de potencial  $\Delta\phi$ , si se dispone de una placa justo en medio de las dos placas esta se electrificaría por inducción con un potencial  $\phi_i$ , que sería  $\phi_1 < \phi_i < \phi_2$ , lo anterior permite decir que el potencial está distribuido en toda la región y en la dirección en la que va el potencial de  $\phi_1$  a  $\phi_2$  tal como se muestra en la figura 12. La diferencia de potencial está vinculado con la polarización eléctrica en el caso del vacío esa polarización será  $P_0$  o también llamado desplazamiento eléctrico, la polarización implica una disposición direccional de una propiedad física que tiene dos manifestaciones, cuando mencionamos electrificación es necesario hacer claridad que se habla de una sola en la cual se presentan dos manifestaciones dada la configuración de las diferencias de potencial en el medio, ahora bien lo que se necesita para evidenciar esos gradientes de potencial son los conductores que son aquellos que permiten dar cuenta de las diferencias de potencial, en donde se denota que están distribuidas, lo que permite definir el campo como una distribución espacial que se muestra en la siguiente ecuación:

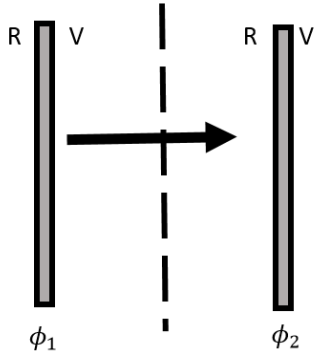


Figura 12 placas paralelas con diferentes potenciales

$$E = -\left(\frac{\delta\varphi}{\delta x} i + \frac{\delta\varphi}{\delta y} j + \frac{\delta\varphi}{\delta z} k\right)$$

Se define  $P_0$  polarización del vacío o el vector desplazamiento eléctrico como menos épsilon cero por el gradiente de la función potencial, donde épsilon cero representa la permitividad eléctrica del vacío, tal como se muestra en la ecuación

$$\vec{P}_0 = \vec{D} = -\varepsilon_0 \nabla \varphi$$

Esto permite deducir que lo más importante en la perspectiva de campos es la diferencia de potencial ya que son observables y medibles con los conductores, si no hay conductor no es posible evidenciar dicha diferencia ya que corresponde al análisis de una situación estática<sup>9</sup>.

En las placas paralelas que se muestran en la figura 12 es posible realizar el análisis de la manifestación vítrea estableciendo una relación entre la superficie del conductor, la densidad superficial de carga vítrea y las líneas de flujo de gradiente expresado de la siguiente manera:

$$\rho_{qv} = -\varepsilon_0 \nabla \varphi \cdot da_s$$

Vinculando la carga superficial

$$Q_s = -\varepsilon_0 \int \nabla \varphi \cdot da$$

En este caso ya es posible conceptualizar la carga de manera diferente y teniendo en cuenta que no se expresa como un punto con cierta manera de ser medido, desde esta perspectiva se aborda como una medida de las líneas de flujo de gradiente de campo eléctrico que salen o atraviesan la superficie y es por esto que Maxwell utiliza para sus experimentos superficies cerradas, ahora bien, si analizamos la medida de la carga en una superficie completa – no cerrada – obtendremos que sería cero ya que poseen manifestación contraria; como Maxwell aborda todo el fenómeno alrededor de superficies cerradas se puede determinar que el valor para la carga superficial es diferente de cero y en ese caso entraríamos a hablar de la ley de Gauss .

---

<sup>9</sup> Entendida situación estática como una situación en donde las magnitudes no cambian a pesar de que no haya equilibrio.

$$\epsilon_0 \oint E \cdot da = q$$

Analizando este caso la carga pasa de ser una propiedad intrínseca de la materia a ser un comportamiento del flujo del campo, cabe resaltar que teniendo en cuenta la revisión que se realiza anteriormente a  $P_0$  se le otorga el nombre de polarización en el vacío, sin embargo en los libros de texto se encuentra que la polarización ocurre cuando se tiene un medio dieléctrico, en ese caso se tiene que la polarización vincula la permitividad eléctrica del vacío por la susceptibilidad eléctrica del medio<sup>10</sup> por el gradiente de potencial, expresado de la siguiente manera.

$$P = -\epsilon_0 \lambda \nabla \varphi$$

Cuando se tienen condensadores<sup>11</sup> se entiende que hay diferentes configuraciones geométricas lo que permite establecer la topología<sup>12</sup> del campo, cuando se introducen dieléctricos en los condensadores es de esperarse que su capacidad aumenta, es decir que la carga que puede almacenar es mayor; esto debido a que los dieléctricos tienen capacidad aun mayor de ser polarizados por esto la polarización eléctrica se observa en el medio, ahora bien la polarización total se determina de la siguiente forma

$$P_T = -(\epsilon_0 \nabla \varphi + \epsilon_0 \lambda \nabla \varphi)$$

Empleando factor común obtenemos que:

$$P_T = -\epsilon_0 \nabla \varphi (1 + \lambda)$$

---

<sup>10</sup> Indica que tanta capacidad hay para polarizar el medio

<sup>11</sup> Sistema donde se distribuyen las diferencias de potencial

<sup>12</sup> topología. (Del gr. τόπος, lugar, y -logia). 1. f. Rama de las matemáticas que trata especialmente de la continuidad y de otros conceptos más generales

La carga superficial del condensador se determina en términos de la polarización total, donde se evidencia que todo lo anterior mencionado se encuentra relacionado con la distribución espacial de las diferencias de potencial.

$$q = \int P_T \cdot da$$

Podemos afirmar que la función gradiente cumple un papel relevante dentro de la formalización matemática de la perspectiva de campos ya que en ella se vinculan todas las magnitudes en términos de las distribuciones espaciales y niega la existencia de las magnitudes a nivel local.

Cabe resaltar que al cambiar la configuración geométrica de las superficies, cambia la configuración de las líneas de gradiente de la función potencial que se presenta en ella y que esto a su vez representa un cambio en la topología del mismo.

Ahora bien, una vez analizado el trabajo realizado por Maxwell en torno a los experimentos y establecer relación de las magnitudes con las ecuaciones, se da paso a la reflexión acerca de la enseñanza de la electrostática en educación media, por medio de situaciones que se presenta en el aula convencionalmente por las confusiones que se generan al no abordar las teorías de manera clara.



## CAPITULO III

### **3. REFLEXIÓN ACERCA DEL ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LOS EXPERIMENTOS PLANTEADOS POR MAXWELL DESDE LA PERSPECTIVA DE CAMPOS**

El análisis conceptual plantea un método que permite abordar los conceptos y convertirlos en herramientas precisas para establecer criterios que le permiten – en este caso – al docente generar propuestas enfocadas en la enseñanza del electromagnetismo desde la perspectiva de campos, ya que desde esta perspectiva es posible comprender los fenómenos electromagnéticos y vincular las magnitudes con las ecuaciones que caracterizan el mismo, en términos de las distribuciones espaciales, es decir entiende que el fenómeno afecta el medio del cual hace parte.

#### **3.1. Acerca del análisis conceptual como metodología para generar propuestas de enseñanza**

Es usual observar que, por lo general los conceptos se abordan en la enseñanza como meras definiciones y que la naturaleza del concepto y el lenguaje en la que es expresada queda reducida en contextos educativos, en donde radica la pérdida de sentido de las teorías que se pretenden implementar en el aula, debido a ello el presente trabajo consiste en realizar un análisis conceptual en donde se toma como base un texto para determinar la naturaleza de diversos conceptos y el lenguaje de expresión que se eligen con base a criterios netamente de la perspectiva de análisis, la siguiente afirmación de (Rico, 2004) ilustra la caracterización del análisis conceptual.

*El análisis conceptual se preocupa por la naturaleza de las definiciones y del lenguaje; trata de encuadrar los términos y sus interconexiones. Tiene como principios orientadores la naturalidad, aplicabilidad, complejidad y simplicidad. Examina cuidadosamente la diversidad de significados, las posibilidades de conexión entre los términos y los niveles subjetivos (creencias y concepciones) y objetivos (conceptos) de cada campo conceptual. Contextualiza la definición dentro del área en que se inserta. Usa ejemplos y contraejemplos, en vez de la definición*

*explícita. Emplea analogías y términos evocativos en vez de pruebas, axiomas o cuantificaciones*

En ese sentido, el análisis conceptual que aquí se plantea se realiza teniendo presente que existen diversas teorías que expresan los conceptos, sin embargo fija su postura hacia una de ellas presentándola a partir de esa búsqueda de la naturaleza del concepto y del lenguaje – en este caso la formalización matemática del fenómeno – en una herramienta de comprensión y reflexión pedagógica del quehacer docente.

### **3.2. El análisis conceptual abordado desde la perspectiva de campos**

Las diferentes posturas desde las que se abordan los fenómenos electrostáticos ponen de presente que no existe una sola manera de analizar dichos fenómenos, sin embargo la perspectiva que aborda el presente trabajo es la de teoría de campos ya que permite identificar la naturaleza de conceptos que desde otras posturas quedan invisibilizados y/o con poca importancia tal como expresa (Castillo, 2006).

*En la otra perspectiva, la acción que se evidencia entre cuerpos es atribuida al estado en que se encuentra el medio del cual éstos hacen parte; de modo que desde esta perspectiva toda acción es local y es el medio o el espacio es el objeto de análisis; ésta se denomina Perspectiva de Campos. Desde esta perspectiva es posible explicar los fenómenos electrostáticos y magnetostáticos, como la causa de las acciones, además resulta especialmente adecuada para la explicación de los fenómenos electrodinámicos como las ondas electromagnéticas.*

De lo anterior se puede evidenciar que la perspectiva de campos permite estudiar una amplia gama de fenómenos que desde otras teorías quedan reducidos; por esto se hace relevante determinar la fundamentación teórica desde la que se va a fijar una posición de análisis, es por ello que se toma como base el tratado J.C Maxwell – no es el único texto del cual se realizó el análisis – ya que el texto brinda herramientas que permiten comprender el fenómeno a partir de experimentos planteados y explicados desde la perspectiva de campos, en donde lo fundamental para este trabajo es establecer, definir y conocer la naturaleza del concepto de campo y su relación con el lenguaje propio de formalización, para llegar a ello también se conceptualizaran algunas otras magnitudes que permiten llegar a esa noción.

Ahora bien, se tomaron en cuenta los experimentos planteados por J.C Maxwell en el tratado y específicamente en los cuales se realiza énfasis para realizar la descripción desde la perspectiva de campos, estos experimentos corresponden a los asociados con electrificación por inducción, cuando se inicia el análisis es importante poner de presente que esta perspectiva toma como concepto fundamental el campo y que este a su vez posee una relación con el espacio de distribución y parte de la idea de que la electrificación es única, sin embargo esta puede estar representada por dos manifestaciones de igual magnitud pero sentido contrario, es decir existe una manifestación positiva y una manifestación negativa, y que no son estas manifestaciones las que definen como tal al fenómeno y a la noción de campo sino que más bien es consecuencia de una configuración geométrica del medio en las que se encuentran presentes.

Cabe hacer claridad que el único objeto de análisis no fue el tratado de Maxwell, también se tomaron algunos textos y artículos que permiten una comprensión amplia de la perspectiva de análisis y de igual manera permiten realizar una relación entre el concepto y el lenguaje de formalización, tal como es el caso del texto “SOBRE LA RELACIÓN MECÁNICA ELECTROMAGNETISMO (De los Fenómenos Mecánicos al Mecanicismo)” de Juan Carlos Castillo el cual permite desglosar los experimentos y realizar una relación con el contexto educativo y el artículo “CANTIDAD DE ELECTRIFICACIÓN Y POTENCIAL ELÉCTRICO” de María Mercedes Ayala quien permite dar cuenta de todo el análisis con respecto a los experimentos explicados desde el concepto de tal forma que se pueda asociar a este un lenguaje de formalización propio.

En ese sentido, es importante determinar que la principal dificultad que se evidencia se encuentra en algunos libros de texto que se utilizan para promover la enseñanza de la física y en este caso particular el electromagnetismo, ya que es posible evidenciar que los conceptos no toman un carácter relevante dentro del fenómeno sino que más bien pareciera que se transmiten meramente definiciones y el caso de las ecuaciones se denotan únicamente como herramientas de cálculo; de tal modo que se hace realmente indispensable que sea el docente quien en primer lugar comprenda que los conceptos y su lenguaje son elementos de comprensión y explicación de los fenómenos.

Para dar cuenta de lo mencionado anteriormente se dará una mirada a lo que presenta algunos libros de textos que promueven la enseñanza de la física en contextos de educación media, tomando solo algunas conceptualizaciones que se presentan en torno al electromagnetismo tal como lo es la noción de carga, potencial eléctrico y campo – sea este eléctrico o magnético – en la Física Giancoli<sup>13</sup> no presentan un concepto como tal de carga se reduce a establecer que un objeto se carga como resultado del frotamiento y a su vez plantea que existen dos tipos de carga eléctrica que poseen la misma magnitud en diferente sentido y que es esta quien determina el resultado de dichas acciones ya sea en repulsión y atracción, caracteriza esta primera parte a partir de la ley de coulomb, para el caso del campo lo relaciona como una consecuencia directa de la acción de una carga ya sea este de carácter negativo o positivo, y desarrolla dos visiones del mismo en primer lugar da cuenta de la acción a distancia que más adelante se toma como la acción que se ejerce al poner dos cuerpos a interactuar en este caso relaciona que los fenómenos electrostáticos únicamente ocurren cuando existen dos cuerpos, más adelante se pone de presente la ley de Gauss que introduce el concepto de flujo eléctrico que es definido como el campo que eléctrico que pasa por un área de dada y en esta se plantea una relación entre el campo y la carga, en relación al potencial eléctrico se presenta como la relación de energía eléctrica por unidad de carga; ahora bien, en la Física conceptual<sup>14</sup> abordan la carga como una cantidad fundamental que se encuentra en todos los fenómenos eléctricos y de igual forma como mencionamos anteriormente dan cuenta de dos tipos de carga diferentes – carga positiva y carga negativa – la noción de campo para este libro de texto se aborda de la siguiente manera “*es una especie de aura que se extiende por el espacio*”, que se encuentra relacionada con la fuerza por unidad de carga al concepto de energía potencial por unidad de carga se le llama potencial eléctrico; para este caso cabe realizar una apreciación relevante en cuanto al hecho de conceptualizar a partir de la formalización matemática, es evidente que el concepto propio y lo que esto implica dentro de los fenómenos electrostáticos queda reducido a la ecuación que lo caracteriza aun este siendo un libro netamente conceptual.

---

<sup>13</sup> Física Giancoli sexta edición Douglas C. Giancoli 2006 Pearson educación de México S.A

<sup>14</sup> Física conceptual, Paul G. Hewitt. DÉCIMA EDICIÓN, 2007 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

De lo anterior, es posible resaltar que se abordan las tres perspectivas en conjunto es decir cuando se aborda la noción de carga se está haciendo alusión a la teoría de acción a distancia y que necesariamente deben existir dos cuerpos interactuando para que el fenómeno ocurra, por otra parte cuando se habla de campo se da entender que este aunque plantean que posee dirección es decir le atribuyen su relación al medio en el que ocurre se evidencia que solo toma sentido cuando se expresa como consecuencia de una carga en donde está siendo ejercida toda la acción, y más adelante caracterizan el potencial eléctrico como una relación de energía potencial y en relación a la carga en este caso se puede evidenciar que se realizan estas definiciones a partir de la teoría de potenciales, en el primer texto abordan la ley de Gauss como una relación de la carga y el campo donde aparece la noción de flujo eléctrico sin ahondar en el concepto, su naturaleza y lenguaje de definición en este caso es tomada desde la perspectiva de campos, y abordadas de esta forma imposibilita tanto al docente, quien es el que posee el dominio disciplinar y al estudiante lograr comprender y poner una postura clara del fenómeno ya que todo se encuentra presentado como si las perspectivas de análisis fueran exactamente iguales la siguiente cita de (Castillo, 2006) sustenta de cierto modo lo mencionado anteriormente para este caso se aborda desde dos perspectivas de análisis, sin embargo al hacer la revisión es posible dar cuenta que se mezclan elementos conceptuales y de lenguaje de las tres teorías ya mencionadas.

*A pesar de las marcadas diferencias entre las dos perspectivas, en los textos de enseñanza del electromagnetismo no se suele establecer una distinción al momento de abordar el análisis de los fenómenos, más aun, se suelen mezclar elementos conceptuales de ambas perspectivas, lo cual produce una serie de dificultades al tratar de comprender las afirmaciones que se hacen sobre los fenómenos electromagnéticos.*

### **3.3. El estudio del electromagnetismo desde la perspectiva de campos**

La electrostática puede ser abordada desde diversas teorías que permiten su estructuración y explicación, como es el caso de acción a distancia, la teoría de potenciales y la perspectiva de campos, desarrollar y profundizar en una de ellas rescatando elementos y relaciones pertinentes propias de cada una posibilita de cierto modo una enseñanza adecuada, porque

esto permite establecer puntos de comprensión para el estudiante, teniendo en cuenta que se evidencia por lo general en el aula se yuxtapone la manera de abordar estos fenómenos ya que no es posible evidenciar una postura teórica clara de lo que se pretende contextualizar y en ese caso la enseñanza se convierte en transmisión de saberes.

Ahora bien, que herramientas brinda la perspectiva de campos en relación con la explicación de los fenómenos electromagnéticos, si bien es cierto el análisis que se realiza es en torno a la electrostática sin embargo cuando realizamos el estudio detallado podemos concretar el concepto de campo y esto permite ampliar el análisis a los fenómenos electrodinámicos y aproximar de cierta manera al concepto de onda electromagnética al vincular las ecuaciones de Maxwell.

Cuando se abordan los experimentos alrededor de los fenómenos electrostáticos es posible dar cuenta que se inicia abordando la idea de carga como una propiedad intrínseca de la materia y que a grosso modo se trata de dos representaciones iguales con una diferencia en el signo, es decir se aproxima al estudiante a entender que existe una carga positiva y una negativa y que entre estas están situados dos fenómenos dependiendo de la disposición de ellas ya sea atracción o repulsión, lo cual no permite una comprensión profunda de la conceptualización de dicha magnitud en relación a los fenómenos electrostáticos y que de igual forma da una visión errada ya que supone que la carga es aquello que tiene el poder definir los fenómenos electrostáticos, la perspectiva de campos brinda una noción distinta de la carga, sin embargo para comprender dicha noción es necesario que se comprenda que lo que ocurre alrededor de los fenómenos electrostáticos está vinculado con todo el medio en donde ocurren y que no se encuentra localizado, si no que más bien la carga permite evidenciar el cambio en el estado de electrificación de un cuerpo y a su vez se encuentra asociado con el campo tema que se abordará más adelante – la siguiente cita de Maxwell ilustra lo mencionado anteriormente.

*(...) la acción eléctrica, la cual la considero dependiente solamente de los cuerpos como vinculados por un sistema de ecuaciones cuyos coeficientes se pueden suponer determinados por experimentación en aquellos casos en que nuestros métodos matemáticos actuales no son aplicables y de éstos determinaremos las fuerzas mecánicas que actúan entre los diferentes cuerpos electrificados.*

En ese sentido, la perspectiva de campos posibilita no solo en el ámbito de la conceptualización abordar de manera clara y coherente los conceptos, sino relacionarlos a las ecuaciones y que estas de igual modo permitan dar explicación a los fenómenos y que de esta manera el estudiante proponga y se cuestione alrededor del mismo de manera clara y coherente cabe aclarar que no se pretende que el estudiante haga uso de las ecuaciones de Maxwell y que se ponen de manifiesto en el trabajo ya que son aquellas que permiten establecer postura bajo una perspectiva teórica, a partir del análisis de conceptos se logra vincular los fenómenos asociados a los mismos cabe resaltar que desde la perspectiva de campos se abordan dos manifestaciones de la electrificación vítrea y resinosa – positiva y negativa respectiva y determinada así de manera arbitraria – y que estas manifestaciones no son aquellas que definen el fenómeno sino que lo que permite modificar ese fenómeno es un conjunto de expresiones que se conceptualizan dependiendo la configuración geométrica y el espacio al cual están vinculadas en este caso encontraremos la cantidad de electrificación.

Las diferentes posturas que se han planteado ponen de presente que no hay una perspectiva de estudio en referencia con los fenómenos electromagnéticos, como ya se mencionó anteriormente se encuentra la, *acción a distancia*, *teoría de potenciales* y *la perspectiva de campos*, en esencia todas realizan un estudio totalmente diferente de los fenómenos electromagnéticos ya que centran su atención en conceptualizaciones y lenguajes de formalización distintos y agregado a esto son excluyentes en su estudio, por ejemplo en el caso de la perspectiva de campos el centro de estudio está fijado en el campo y eso niega el cuerpo como fuente en este caso se excluiría la acción a distancia, esto debido a los elementos conceptuales que se ponen de presente en cada una de ellas.

Adentrándonos un poco en el lenguaje de formalización entre las perspectivas de análisis se encuentra que está relacionado con los elementos conceptuales presentes dentro de la teoría, se observa entonces para cada una de ellas que el centro de estudio es el que determina su lenguaje de formalización, entonces:

### **I. Acción a distancia**

Desde esta perspectiva es posible evidenciar que el objeto de estudio se encuentra situado en la caracterización de la fuerza y expresa que es necesario que dos cuerpos

estén interactuando para que ocurra y su lenguaje de formalización esta de igual forma está relacionado con este fin de la siguiente manera.

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

## II. Teoría de potenciales

Desde esta teoría es posible evidenciar que el objeto de estudio se encuentra situado en la caracterización del potencial – no estrictamente desde la diferencia de potencial – y su lenguaje de formalización esta de igual forma está relacionado con determinar que la acción puede ser ejercida por un solo cuerpo de la siguiente manera.

$$V = \frac{kq}{r}$$

## III. Perspectiva de campos

Desde esta perspectiva se toma como objeto de estudio el campo en términos de la distribución espacial de la diferencia de potencial, cabe resaltar que no se hace alusión al potencial mencionado anteriormente y que la función potencial que aquí se presenta tiene una formalización determinada por la configuración geométrica de las superficies conductoras, de manera general esta expresada de la siguiente manera.

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$$

### 3.3.1. Configuración geométrica respecto a la intensidad de campo

Como ya se mencionó anteriormente la función potencial depende estrictamente de la configuración geométrica de los conductores, suponga se tienen dos placas paralelas ubicadas como se muestra en la figura 9 y placas totalmente idénticas con otra configuración tal como se muestra en figura 10



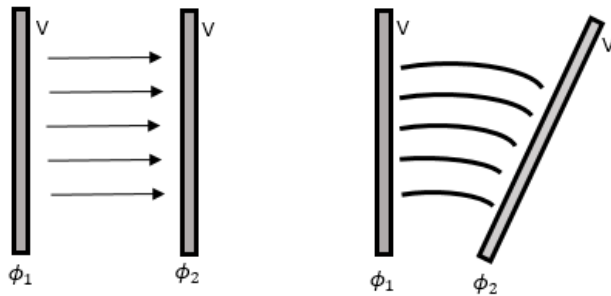


Figura 13 placas conductoras con diferentes configuraciones geométricas

En el caso de las placas de la figura 13 lado izquierdo, la función potencial será una función de tipo lineal y en ese caso se tendrá un campo constante, en la figura 13 lado derecho, como la configuración es distinta la función potencial está de acuerdo a la configuración en la que se encuentra las placas, y asimismo la intensidad de campo también presenta modificación según las configuraciones.

La perspectiva de campos ha tenido un desarrollo tanto en lo eléctrico como en lo magnético, lo cual permite establecer y llegar a las ecuaciones de Maxwell; por lo general al abordar en la enseñanza el electromagnetismo este tiene como fin llegar a dichas ecuaciones, aquí se presentan, sin embargo es importante aclarar que estas no son objeto de estudio dentro del trabajo.

### Ley de Gauss para campo eléctrico

La divergencia del campo eléctrico es proporcional a la densidad de carga

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

### Ley de gauss para campo magnético

Expresa la inexistencia de los monopolos magnéticos, al encerrar un dipolo en dipolo no sale ni entra flujo, la divergencia del campo es igual a 0

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

## Ley de Faraday – Lenz

Si existe una variación de campo magnético este provoca un campo eléctrico

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

## Ley de ampere generalizada

Si se tiene un conductor este provoca la aparición de un campo magnético rotacional

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Ahora bien, pareciera ser que el fin de aproximarse a la enseñanza del electromagnetismo tiene con fin llegar a estas ecuaciones independiente de cómo se conceptualiza o se llega a ellas, en los libros de texto que promueven la enseñanza de la física se puede evidenciar que se llega a ellas haciendo una mezcla de conceptos de las diferentes teorías y estas ecuaciones se obtienen desde la perspectiva de campos y en el caso de querer profundizar en ellas es importante resaltar que se debe hacer el estudio abordado los conceptos y formalizaciones propias de la perspectiva de análisis.

En ese sentido, se debe tener en cuenta que el estudio que se realiza alrededor de los fenómenos electrostáticos desde esta perspectiva es a partir del estudio de la electrificación por inducción; esta perspectiva nos permite llegar a un concepto dentro del estudio de la electrodinámica que desde la teoría de acción a distancia no es posible llegar y es el caso de las ondas electromagnéticas.

### 3.4. El rol del maestro en ciencias a partir del análisis conceptual

La enseñanza de las ciencias es un campo que exige tanto un dominio en lo pedagógico como en lo disciplinar, entiendo el primer dominio alrededor de aquellas facultades que le permiten establecer métodos o metodologías en las cuales es posible desarrollar de manera

adecuada su saber disciplinar, el realizar un análisis conceptual permite establecer herramientas metodológicas para diseñar propuestas pedagógicas.

El análisis conceptual aquí realizado le permite reconocer al maestro la diversidad de teorías de estudio con respecto a determinados fenómenos y por otra parte hacerse una imagen clara de la física como factor determinante para tomar posturas frente al saber disciplinar, en ese sentido el maestro genera propuestas y deja de ser un trasmisor de conocimiento tomando acción de lo que puede producir en el aula, propuestas que deben estar encaminadas en la pertinencia del fenómeno tal cómo se expresa en la siguiente cita de (Ayala M. M., 2017).

*Sin duda alguna destacar el planteamiento y reformulación de los problemas que han posibilitado la construcción de fenómenos, la formación y desarrollo de los conceptos y su sistematización en teorías, permite visualizar la ciencia como un proceso y más aún como una actividad humana. Pero asumir la ciencia como actividad significa algo más; remite entre otras cosas a preguntarse por la pertinencia de los problemas planteados y por los intereses a los que responde (...)*

Es importante que el docente este centrado en una base teórica y que esta sea comprendida y desarrollada de manera adecuada en el aula, esto implica que los conceptos y el lenguaje de formalización relacionados sean pertinentes con la teoría a abordar, en la enseñanza de la física es común observar que para ciertos casos y la descripción de diversos fenómenos se hace uso de las relaciones de proporcionalidad; si se tienen dos recipientes de diferente tamaño y entendiendo que cuando se electrifica un objeto, se electrifica todo el espacio que lo rodea y que esto no depende precisamente de la manifestación que se encuentra dentro de ellos – que para este caso particular es vítrea – ¿cómo se puede relacionar grado de electrificación y estado de electrificación?, comprendiendo que el grado de electrificación da cuenta de las diferencias de potencial ya que un conductor no se encuentra electrificado cuando no existe dicha diferencia, y el grado de electrificación da cuenta del potencial eléctrico sin duda alguna las dos magnitudes tienen relación, y el maestro debe ser capaz de aproximar al estudiante a realizar dichas relaciones una vez comprenda de manera clara el concepto a tratar.

El maestro en física debe tener la capacidad para caracterizar diversas teorías para abordar un fenómeno en particular al igual que conocer su efectiva conceptualización y lenguaje de formalización y a su vez convertirlos en proceso de diversificación en términos de conocer las teorías desde las cuales se puede abordar y sin embargo tomar una postura determinando en las acciones a seguir en procesos de construcción y elaboración de conceptos a partir de la teoría de acuerdo esto (Ayala M. M., 2017) afirma que:

*(...) conocer la física significa estar en capacidad de caracterizar los procesos de diferenciación conceptual que se desarrollan en la construcción de nuevos fenómenos, en la redefinición y re conceptualización de una problemática, y en la constitución de nuevos objetos disciplinares y métodos y técnicas para abordarlos. Significa también estar en capacidad de caracterizar las diversas explicaciones involucradas en estos procesos. (...) conocer la física significa, también, vivenciar procesos de construcción de fenómenos y de conceptos y de elaboración de explicaciones. Tal experiencia de conocimiento resulta vital para el maestro de física; es condición necesaria para que el maestro pueda encaminar los procesos que lleven al estudiante a darse explicaciones acordes con los desarrollos científicos.*

En ese sentido como el maestro que ha tomado consciencia de su saber y lo articula con un proceso de comprensión de la ciencia y en particular de la física y tomar una posición clara acerca de las perspectivas en términos de la forma más adecuada de enseñanza alguna fenomenología, todo esto con el fin de establecer criterios de conocimiento, actuar y decidir de una manera determinada basada en la perspectiva desde la que fija su postura.

### **3.5. El rol del maestro desde la perspectiva de campos**

Este análisis conceptual que se encuentra orientado al estudio del electromagnetismo desde la perspectiva de campos permite generar en el maestro herramientas para establecer criterios de la forma en la puede abordar un fenómeno en este caso particular los que corresponden a la electrostática, tales como ¿Qué fenómeno desea abordar?, ¿qué cuestionamientos pretende realizar en el desarrollo del contexto? y ¿Qué cuestionamientos

pretende que se haga el estudiante con respecto a los fenómenos abordados, y su base explicativa?.

Respondiendo a los interrogantes anteriormente mencionados se propone desde el análisis de corte conceptual realizado en el trabajo que el maestro se situó en primer lugar bajo ciertas preguntas que son predominantes para generar propuestas desde la enseñanza de la electrostática tales como; ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta cuando se aborda los fenómenos eléctricos y magnéticos desde la perspectiva de campos? En primer lugar es necesario tener en cuenta la experiencia sensible de los estudiantes de tal modo que se logre aproximar y los fenómenos que se pretenden abordar con la perspectiva de análisis en este caso la teoría de campos; ¿Cuáles son los elementos conceptuales que permiten dar explicación de los fenómenos eléctricos y magnéticos desde la perspectiva de campos? Según el análisis relacionados desde la perspectiva de análisis se hace relevante abordar las siguientes magnitudes, polarización, grado de electrificación asociada al potencial eléctrico, cantidad de electrificación lo que permite llegar a la noción de campo como la magnitud relevante dentro de esta teoría; ¿Qué fenómeno desea abordar? Teniendo en cuenta el análisis realizado se plantea como alternativa los tenemos asociados a electrificación por inducción ya que estos permiten realizar la explicación desde la perspectiva de campos y asimismo abordar la conceptualización desde su naturaleza; ¿Qué cuestionamientos pretende realizar en el desarrollo del contexto? Antes de determinar los cuestionamientos es importante aproximar a los estudiantes a las diversas teorías que permiten la explicación de los fenómenos eléctricos y magnéticos con el fin de fijar posturas y abrirle el espacio al debate que enriquece la comprensión de los estudiantes en ese sentido desde la perspectiva de análisis se ofrece como alternativa realizar los siguientes cuestionamientos ¿Según la experiencia – del estudiante – que magnitudes esta relacionadas con los fenómenos electrostáticos desde la perspectiva de campos? ¿Cómo las puede asociar a los experimentos?; ¿Qué cuestionamientos pretende que se haga el estudiante con respecto a los fenómenos abordados, y su base explicativa? En primer lugar el estudiante debe reconocer que cuando se fija una postura de análisis desde una base teórica, se hace con el fin de darle explicación al fenómeno bajo esa postura y que los cuestionamientos surjan sean en torno a esa perspectiva teórica y más que cuestionamientos, se pretende que el

estudiante logre dar explicación de los fenómenos que se le presentan de tal modo que asocie la naturaleza de los conceptos en este caso a la perspectiva de campos.

Ahora bien, si el maestro se plantea generar propuestas enfocadas en la enseñanza de la electrostática debe tener bien fijada su postura ante la forma de explicación del fenómeno los criterios que aquí se destacan hacen parte de los elementos conceptuales propios de la perspectiva de campos, a continuación se plantea una posible experiencia de aula que responde al fenómeno de electrificación por inducción y que permite relacionar las magnitudes ya mencionadas anteriormente sin que esto implique necesariamente reproducir el mismo experimento, ya que se podrían realizar experiencias similares como alternativa, cabe resaltar que para dar respuesta a los interrogantes que se ponen de manifiesto a continuación se debe primero abordar la perspectiva y mostrar algunos rasgos de ella que le permitan al estudiante responderlos de manera adecuada.

Se tienen dos recipientes de diferente tamaño el recipiente uno de menor tamaño que el recipiente dos tal como muestra la figura 14 y en su interior se encuentra una esfera que da cuenta de una manifestación vítrea – que es igual para los dos recipientes – ¿Qué se espera en relación al grado de electrificación y estado de electrificación?

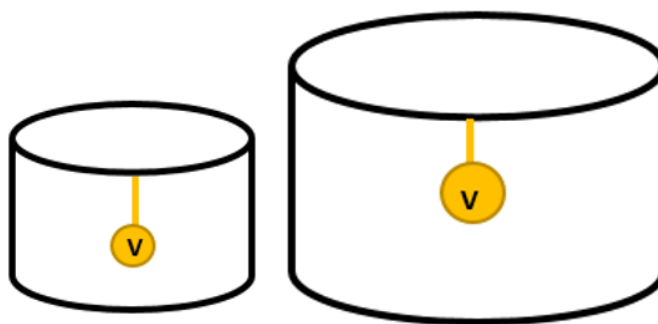


Figura 14 Recipientes electrificados con manifestación vítrea

Si en la situación es clara la postura desde la que se quiere brindar la explicación, se debe tener en cuenta que para la teoría de campos es relevante para determinar esa relación las configuraciones geométricas de cada recipiente en este caso la relación es con el área de cada recipiente se debe conceptualizar en primer lugar la noción de carga, estado

de electrificación y grado de electrificación – cuestión que se abordó anteriormente –si plantea este tipo de cuestionamientos en el estudiante planteando el punto de explicación correcto es de esperar que se diga que en relación al área, el recipiente de mayor tamaño tenga menos grado de electrificación y que por el contrario el de menor tamaño tendrá mayor grado de electrificación esto independiente de que la manifestación de electrificación sea exactamente la misma, adicional a ello se pretende que esto sea asociado a su lenguaje propio de formalización en ese orden de ideas se deberá complementar afirmando que la expresión que le permite al estudiante explicar el fenómeno es la siguiente en donde  $\phi$  es el grado de electrificación y A es el área de cada recipiente.

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Finalmente, se puede evidenciar que el análisis conceptual a través de experimentos permite dar cuenta del vínculo entre los fenómenos, los conceptos y el lenguaje propio de formalización que son tres elementos importantes para establecer la adecuada comprensión de una teoría.

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

A partir del análisis de corte conceptual realizado con respecto al tratado de electricidad y magnetismo de Maxwell, fue posible evidenciar que en torno a la explicación de los fenómenos es preponderante el papel que se fija bajo una postura explicativa con respecto a una teoría, ya que estas son las que permiten determinar desde donde se conceptualiza el fenómeno, en relación a los experimentos analizados fue posible encontrar rasgos significativos de la descripción de las magnitudes abordadas desde la perspectiva de campos, que resulta adecuada para la explicación de diversos fenómenos eléctricos y magnéticos en particular aquellos en los que se da electrificación por inducción, en ese sentido se plantean dichos experimentos como una alternativa que permite aproximar a los estudiantes a la explicación de los fenómenos desde la perspectiva de campos.

Cabe resaltar que en los procesos que se llevan a cabo en contextos de educación media, el rol del maestro es un factor determinante en el proceso de construcción de los conceptos y lenguajes de formalización, pues es el quien establece posturas desde la que

parte para darle explicación a diversos fenómenos, lo que le permite generar propuestas orientadas en criterios que se determinan a partir de su fundamentación teórica, ya que es posible evidenciar que en el caso particular de la física se han desarrollado diversas perspectivas desde las que se puede explicar un fenómeno, debido a ello se hace relevante que el maestro actúe como un agente que realice un proceso comprensivo y reflexivo con respecto a los saberes teóricos y para ello se debe lograr una articulación entre las teorías los conceptos y el lenguaje de formalización.

En ese sentido se hace pertinente que desde el análisis conceptual el maestro determine herramientas, criterios y estrategias que le permitan generar un ejercicio de comprensión en el estudiante que promueva el interés y el cuestionamiento constante hacia los fenómenos y asimismo pueda asociarlos con su entorno, ya que de este modo se deja de lado la noción de la transmisión de conocimientos y se comienza la construcción de conocimiento en el aula en donde son actores principales tanto el maestro como el estudiante, debido a que los dos se apropian de los conceptos y a su vez puede relacionarlos con su lenguaje de formalización propio sabiendo que este se construye a partir de los elementos conceptuales propios de la teoría a abordar.

Finalmente, el análisis conceptual de los fenómenos electrostáticos desde la perspectiva de campos permite determinar elementos conceptuales que bajo las otras nociones no tienen una naturaleza clara, y que permiten comprender el fenómeno de tal manera que se logre asociar tanto el concepto como su lenguaje de formalización – si así lo requiere – este es el caso de la carga que toma sentido cuando se aborda desde la perspectiva de campos, y pierde toda propiedad intrínseca, incluso deja de tomarse como agente primario de la forma en la que ocurre el fenómeno y pasa a ser la medida del cambio en el estado eléctrico, se toma la carga en relación a las líneas de campo que en gran medida permiten dar cuenta del concepto que prevalece desde esta perspectiva el campo en este toma sentido hablar del campo en termino de distribución espacial – afecta el medio electrificado – pero cabe resaltar que la configuración geométrica determina en gran medida el campo eléctrico.





## **Bibliografía**

Hertz, H. (1990). Las Ondas Electromagnéticas. Selección de las Untersuchungen. (G. D. Bellaterra, Ed., & G. D. Bellaterra, Trad.) Barelona.

MAXWELL, J. C. (1954.). A treatise on electricity and magnetism Vol. I. New York: Dover Publications Inc.

Ayala, M. M. (11 de Mayo de 2017). LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA PARA LA FORMACIÓN DE PROFESORES DE FÍSICA. *Tecné Episteme Y Didaxis TED*, 7.

Ayala, M. M., Malagón, J., & Sandoval , S. (2011). Magnitudes, medición y fenomenologías. *Revista de Enseñanza de la Física*, 43-54.

Ayala, M., Garzon, M., & Malagon , F. (2007). CONSIDERACIONES SOBRE LA FORMALIZACIÓN Y MATEMATIZACIÓN DE LOS FENOMENOS FÍSICOS. *Praxis Filosófica*, 39-54. Recuperado el 09 de Abril de 2017, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-46882007000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-46882007000200003)

Campanario, J., & Moya, A. (1999). ¿CÓMO ENSEÑAR CIENCIAS? PRINCIPALES TENDENCIAS Y PROPUESTAS. *INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA*, 179-192.

Castillo, J. C. (2006). SOBRE LA RELACIÓN MECÁNICA ELECTROMAGNETISMO (De los Fenómenos Mecánicos al Mecanicismo). 68.

Czelada, J. (2009). Repositorio UBA. Recuperado el 28 de febrero de 2017, de [http://materias.fi.uba.ar/6408/Tesis%20de%20Grado%20Czelada\(medium%20size\).pdf](http://materias.fi.uba.ar/6408/Tesis%20de%20Grado%20Czelada(medium%20size).pdf)

Rico, L. (2004). Análisis conceptual e investigación en didáctica de la matemáticaEMA , 19.