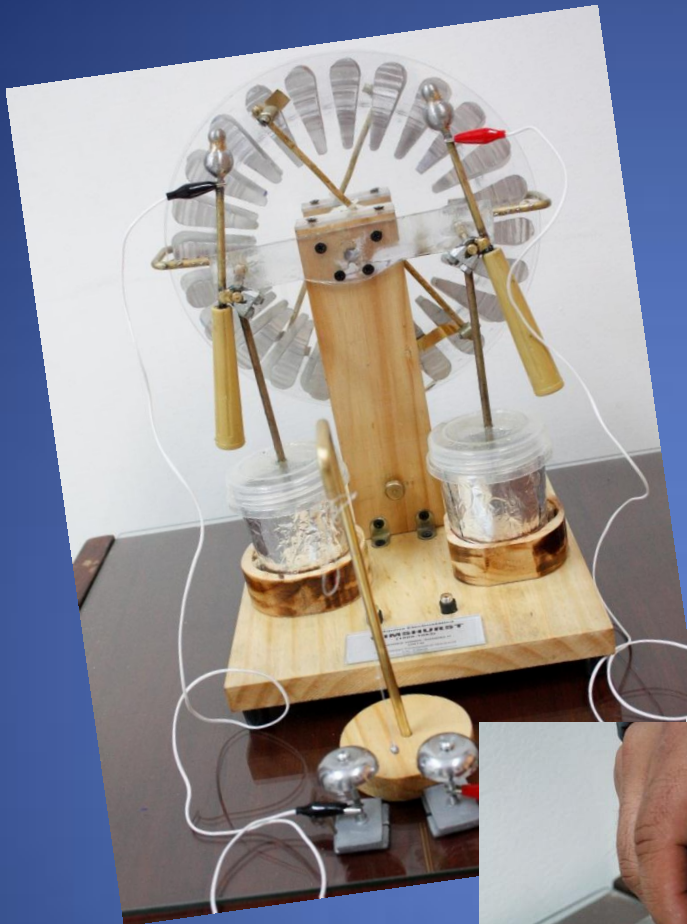


**DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS  
DE CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO**



**Andrés Uribe Agudelo  
2014**

**DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS  
DE CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO**

**ANDRÉS URIBE AGUDELO**

**LINEA DE PROFUNDIZACIÓN: EL COMPUTADOR Y LAS PRÁCTICAS  
EXPERIMENTALES EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN FÍSICA  
Bogotá, D.C.  
2014**

**DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS  
DE CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO**

**ANDRÉS URIBE AGUDELO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN  
FÍSICA**

**ASESORA DEL TRABAJO  
SANDRA FORERO**

**LINEA DE PROFUNDIZACIÓN: EL COMPUTADOR Y LAS PRÁCTICAS  
EXPERIMENTALES EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN FÍSICA**

**Bogotá, D.C.**

**2014**

*Dedico este trabajo a la persona que me colaboro toda su vida, sin él, posiblemente no hubiera alcanzado este logro.*

*En memoria del mejor electricista experimental que he conocido, mi Padre...*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente la colaboración de mi familia. Por su apoyo incondicional, por el respaldo a mis decisiones, por poder contar con cada una de estas personas que día a día acompañan mi vida. Gracias por estar conmigo y por su apoyo: *María Elisa Agudelo, Boris Uribe, Adriana Uribe, Elsy Ramírez y Juan Andrés Uribe Ramírez.*

A Extensión Cultural, Bienestar Universitario por apoyarme en los diferentes proyectos que desarrollé. Por darme la oportunidad de habitar otros espacios dentro de la Universidad. Por dejarme hacer parte de los diferentes eventos culturales que se han desarrollado en los últimos 4 años.

Al Profesor Orinzón Perdomo y al Profesor Edwin Vargas, por la confianza y los buenos consejos que me dieron. Por permitir estar en otros escenarios de la Universidad y dejarme hacer parte de su equipo de trabajo. Fue muy significativo para mi formación como docente el vínculo con cada uno del equipo de trabajo, especialmente con cada uno de ustedes. Gracias.

Al licenciado en Ciencias de la Educación David Flores y especialista en Historia de la Educación y Pedagogía de sistemas de la Universidad de Barcelona, por sus buenos consejos que fueron de gran utilidad para mejorar el funcionamiento de la máquina de Wimshurst.

Al profesor Juan Carlos Bustos por sus correcciones y consejos en la estructura escritural de este documento.

Al señor José Capera por prestarme algunas de sus herramientas, de su taller, para la construcción de las máquinas electrostáticas.

A la Profesora Sandra Forero por dirigir esta investigación.

<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>	DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS DE CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO
<b>Autor(es)</b>	Andrés Uribe Agudelo
<b>Director</b>	Sandra Forero
<b>Publicación</b>	Bogotá D.C. Universidad Pedagógica Nacional, 2014
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional-Bogotá D.C.
<b>Palabras Claves</b>	Electricidad, carga eléctrica, campo eléctrico, experimentación, guía orientadora, investigación orientada.

<b>2. Descripción</b>
<p>En esta investigación se diseñan dos guías orientadoras, en cada una se presentan una serie de experiencias con el fin de favorecer la comprensión de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico en los estudiantes de tercer semestre de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Para ello se recogen algunos aspectos del modelo de aprendizaje de investigación orientada. Este modelo asume al estudiante como un investigador <i>novel o novato</i>, guiado por el maestro quien es el investigador <i>experto</i>. Por ultimo se hace el análisis de las diferentes interpretaciones de los estudiantes y se presentan las conclusiones.</p> <p>Además, se presentan en los anexos unas guías donde se explica la construcción de los diferentes equipos que se hicieron en la investigación (generador Van Dee Graaff, máquina de Wimshurst, electróforo).</p>

<b>3. Fuentes</b>
<p>Acevedo, J., A. (2004). <i>El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias</i>. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.</p> <p>De pro, A., &amp; Pontes, A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre</p>

electrocinética:consecuencis para la enseñanza y la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias* .

Bitter, Francis. (1956). *Corrientes, campos y partículas*. Publicación del M.I.T. Pág. 40, 60.

Franklin, Benjamín. (1988). *Experimento y observaciones sobre electricidad*. Alianza editorial. Pág. 5, 200.

Furió, C., y Guisasola, J. (1999). *Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento*. Enseñanza de las Ciencias.

Furió, C., Guisasola, J., Zubimendi, J.L. (1988). *Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales*. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Valencia, España. pp. 165-188.

Gomez, P., Gonzales, E. (2012). *Las ecuaciones de Maxwell*. Pág. 3, 20.

Guisasola, J., Zubimendi, J; Almuđí, J., y Ceberio, Mikel. (2008). *Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad: estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica*. Departamento de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco. Enseñanza de las ciencias.

Guisasola, J., Almuđí, J., y Ceberio, M. (2003). *Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección*. Enseñanza de las Ciencias.

Guzmán., Alonso, A., Pouliquen, Y., Sevilla E. (1996). *Las metodologías participativas de la investigación: un aporte al desarrollo local endógeno*. Instituto de Sociología y Estudios

Campesinos, ETSIAM, Córdoba.

Hodson, D. (1994). *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Enseñanza de las ciencias.

#### **4. Contenidos**

La monografía esta dividida en tres aspectos importantes. En la primera parte, se presenta la investigación con una breve introducción. Luego, el planteamiento del problema y la pregunta problema. También se menciona el objetivo general y los objetivos específicos. Por ultimo se presentan los antecedentes nacionales e internacionales.

La segunda parte contempla el marco teórico y está dividida en tres partes: El marco teórico disciplinar 5.1, modelo pedagógico 5.2, y el trabajo experimental 5.3.

En el marco teórico disciplinar, se presenta una breve historia de la electricidad 5.1.1. También, se hace una breve descripción histórica sobre el concepto de campo en física 5.1.2. Por ultimo se presentan los conceptos de carga eléctrica 5.1.3, y campo eléctrico.

En la segunda parte, se explica en que consiste el modelo pedagógico. Por ultimo, se expone la importancia de la experimentación en ciencias.

En la tercera y ultima parte de la monografía, se presenta la metodología 6, análisis y resultados 7, conclusiones y recomendaciones 9, por ultimo bibliografía y anexos.

#### **5. Metodología**

La investigación está dirigida a estudiantes de tercer semestre de la licenciatura en física de la Universidad Pedagógica Nacional, los cuales se espera tengan las bases conceptuales para asimilar ciertos conceptos tratados en las prácticas de laboratorio.

La metodología que utilicé en este trabajo es la investigación acción participación, de la cual

recojo algunos aspectos, que a mi parecer son pertinentes. Es un método de investigación y aprendizaje, basado en un análisis crítico con la participación activa de los grupos implicados, que se orienta a estimular la práctica transformadora y el cambio social. Esta metodología combina dos procesos, el de conocer y el de actuar, implicando en ambos a la población cuya realidad se aborda.

Esta sección la he dividido en dos partes. En la primera menciono la población en la que se desarrolló la implementación y en la segunda parte explico los aspectos que recogí del tipo de investigación que utilicé para el desarrollo de este trabajo.

## 6. Conclusiones

- Algunas de las dificultades que presentan los estudiantes del curso de electromagnetismo I, cuando se enfrentan ante situaciones problemáticas a partir de experimentos, quizá sea porque no tienen experiencia en el montaje de actividades de laboratorio. Ya que a pesar de darles indicaciones iniciales y presentarles una imagen con el montaje a realizar, la gran mayoría de estudiantes presentan dificultades al realizar los montajes y realizar las experiencias.
- Las prácticas experimentales favorecen la motivación y disposición de los estudiantes para el estudio de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico. Lo cual se evidencio, a partir, de las prácticas experimentales en la que algunos estudiantes mejoraron en el uso de las herramientas de laboratorio y sus explicaciones daban cuenta del campo conceptual en que el cuál se diseñaron cada una de las 25 experiencias propuestas.
- Dar una breve introducción a cada experiencia, fue de gran ayuda. Primero, permitió contextualizarlos en una problemática de una época determinada. Segundo, darles las indicaciones adecuadas de seguridad.
- Debido a las respuestas de las cuatro primeras experiencias de la guía orientadora 1, fue posible evidenciar que las prácticas experimentales permiten poner en contraste la teoría con la práctica, tal como se evidencia en el análisis que se hizo a cada una ellas.
- Como se evidencia en el análisis de la guía orientadora 2, las prácticas experimentales permitieron la ampliación en la comprensión del concepto de campo eléctrico en los

estudiantes.

- Gracias a la secuencia de enseñanza, puedo concluir que cada una de las experiencias y preguntas presentadas en las guías orientadoras, permitieron a los estudiantes, ampliar las comprensiones de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico.
- Los estudiantes en pocas ocasiones buscan explicar el fenómeno, a partir del marco teórico estudiado en las clases previas, por lo contrario recurren a lo que sus conocimientos previos les han permitido conocer.
- La construcción de las máquinas electrostáticas y demás equipos que hicieron parte de mi investigación, me permitieron entender con mayor profundidad los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico.

<b>Elaborado por:</b>	Andrés Uribe Agudelo
<b>Revisado por:</b>	Sandra Forero

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	01	11	2014
--	----	----	------

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
2.1 Problema de investigación .....	3
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
3.1 Objetivo general .....	4
3.2 Objetivos específicos .....	4
<b>4. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
4.1. Nacionales .....	5
4.2 Internacionales .....	5
<b>5. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
5.1 Marco disciplinar. <i>Breve historia de la electricidad.</i> .....	6
5.1.1 El concepto de campo en física .....	12
5.1.2 El concepto de carga eléctrica .....	17
<b>5.2 El trabajo experimental</b> .....	<b>18</b>
5.2.1 Construcción de los equipos de laboratorio .....	20
<b>6. METODOLOGÍA</b> .....	<b>28</b>
6.1. Población .....	29
6.2. Tipo de investigación .....	29
6.2.1 Guía orientadora 1: Carga eléctrica .....	30
6.2.2 Guía orientadora 2: Campo eléctrico. ....	31
<b>7. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
7.1 Carga eléctrica.....	32
7.1.1 Análisis experiencia 1.2 .....	32
7.1.2 Análisis experiencia 2.1 .....	34
7.1.3 Análisis experiencia 3.4.....	36
7.2 Campo eléctrico .....	36
7.2.1 Análisis experiencia 1 .....	37
7.2.2 Análisis experiencia 2.....	38
7.2.3 Análisis experiencia 5.....	38
7.2.4 Análisis experiencia 6.....	40
7.2.5 Análisis experiencia 9.....	41

7.2.6 Análisis experiencia 12.....	42
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>45</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>49</b>
10.1 ANEXO 1. <i>Análisis de resultados.....</i>	49
10.1.1 <i>Análisis de las respuestas de la guía orientadora de carga eléctrica.....</i>	49
10.1 2. <i>Análisis de las respuestas de la guía orientadora de campo eléctrico.....</i>	66
10.2 ANEXO 2. <i>Guía orientadora de carga eléctrica.....</i>	81
10.3 ANEXO 3. <i>Guía orientadora de campo eléctrico. ....</i>	121
10.4 ANEXO 4. <i>Manual para la construcción del generador de Van De Graaff.....</i>	137
10.5 ANEXO 5. <i>Manual para la construcción de la máquina de Wimshurst.....</i>	147
10.6 ANEXO 6. <i>Manual para la construcción del electróforo y equipos adicionales..</i>	162

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación propone una serie de experiencias, a partir del diseño de unas guías orientadoras, dirigidas a estudiantes del curso de electromagnetismo I de tercer semestre de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, con el fin de profundizar en los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico.

De manera general, este documento está estructurado por tres partes importantes. En la primera, planteo el problema de investigación y posteriormente la pregunta de la investigación. También, los objetivos que propuse y rigen la investigación. Por último presento los antecedentes que permitieron resaltar algunos aspectos de investigaciones anteriores que se han realizado alrededor de la problemática propuesta.

En la segunda parte, construyo el marco teórico, y lo dividí en dos aspectos importantes: 1. Marco teórico disciplinar. 2. El trabajo experimental. El primero, tiene tres aspectos importantes: a) Realice una breve historia de la electricidad. b) Recogí los aspectos más importantes del concepto de campo en física, y de esta manera presente la definición de campo eléctrico. c) Por último introduzco las ideas más importantes del concepto de carga eléctrica. En el segundo aspecto del marco teórico, presento de una manera general la importancia del trabajo experimental en ciencias, haciendo hincapié en el campo de la física, hilándolo con algunos aspectos importantes que recojo del modelo de enseñanza-aprendizaje de investigación orientada.

La tercera parte, corresponde a la metodología que utilicé para diseñar y desarrollar esta investigación. Para ello, presento los fundamentos metodológicos que permitieron el desarrollo de la investigación y el diseño de las guías orientadoras que diseñé.

Por último, presento el análisis de la investigación, a partir de la información recogida, a través de las guías orientadoras, discusiones y grabaciones. La cual, organicé por medio de tablas, y en ellas se presentan; las preguntas, propuestas, respuestas del grupo y la

representación grafica que algunos casos se les pidió hacer. Para finalizar, presento y discuto los resultados obtenidos de la investigación.

Como aspecto adicional, diseñé unas guías para la construcción de cada uno de los equipos que construí, este documento facilitara la construcción de los mismos. Dedique más tiempo en detalles, para la construcción de la máquina de Wimshurst, ya que fue la que mas trabajo me costó hacer, porque no hay mucha información en los medios. En cada una de las guías, explico con detalle todo el proceso que tuve para la construcción de cada uno. Al final doy algunas sugerencias de diseño y otros aspectos para mejorar el funcionamiento de cada equipo.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Algunos investigadores, por ejemplo Furió y Guisasola (1997), plantean que los modelos electrostáticos en su mayoría son abstractos y complejos, entenderlos, explicarlos y aplicarlos por parte de los estudiantes es una de las grandes dificultades, ya que consideran la electricidad como un tema difícil y poco atractivo (Furió, Carles & Guisasola, Jenaro, 1999).

Por su parte, la Universidad Pedagógica Nacional contempla dentro de sus políticas educativas la enseñanza de los fenómenos electromagnéticos para los estudiantes de tercer y cuarto semestre de la Licenciatura en Física. El curso de tercer semestre, recibe el nombre de electromagnetismo I, en el cual se ve principalmente los fenómenos asociados a la naturaleza eléctrica. Particularmente, una de las dificultades conceptuales que presenté en este curso, fue comprender las acciones a distancia que se evidencian en el estudio de cuerpos cargados eléctricamente y considerar la existencia de un campo eléctrico.

A pesar del esfuerzo y tiempo que dedican los docentes en este campo de la Física, se obtienen bajos resultados (Carmichael, 1990). Por ello, esta monografía busca diseñar estrategias que amplíen las comprensiones de los conceptos de carga eléctrica y campo

eléctrico en los estudiantes de tercer semestre de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

En principio, se contempla retomar el contexto histórico que ha permitido en el transcurso del tiempo idealizar modelos que hoy día se conocen y que son importantes para entender las dificultades y los problemas epistemológicos que permitieron los desarrollos de la ciencia, con el fin de determinar algunas experiencias que puedan llegar a ser relevantes en la comprensión de estos conceptos fundamentales en la enseñanza del electromagnetismo (Furió & Guisasola, 1998).

En la actualidad es necesario implementar estrategias de enseñanza en el área de la Física, que faciliten los procesos de aprendizaje en los estudiantes, incluyendo el componente experimental para así dejar de lado la enseñanza tradicional basada en la transmisión – recepción de información, que no permite la construcción de conocimiento, dificultando así la comprensión de los fenómenos físicos. Siendo así una preocupación en el profesorado de bachillerato (Furió & Guisasola, 2001). Análogamente se puede mostrar que esta situación es más recurrente de lo que se presenta, continuando en la formación universitaria.

## **2.1 Problema de investigación**

Considerando lo anterior, la pregunta que orienta la investigación es: *¿De qué manera el desarrollo de prácticas experimentales, permiten profundizar en las comprensiones de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico por parte de los estudiantes de tercer semestre de la licenciatura en física?*

## **3. OBJETIVOS**

Los objetivos que propuse para la realización de este trabajo de investigación son:

### **3.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar una estrategia de aula, a partir del diseño de experimentos que permita profundizar en la comprensión de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico, en los estudiantes de tercer semestre de la licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

### **3.2 Objetivos específicos**

1. Identificar los experimentos más relevantes de la historia de la electricidad, a partir, de una construcción histórica de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico.
2. Construir los equipos necesarios para la realización de las prácticas experimentales diseñadas.
3. Diseñar los documentos orientadores de los experimentos que forman parte de la estrategia de aula.
4. Implementar la propuesta de aula con estudiantes de tercer semestre de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional.
5. Analizar las diferentes interpretaciones planteadas por los estudiantes, para identificar algunos elementos, que permitan dar cuenta de qué manera ampliaron las comprensiones de los conceptos involucrados.

## **4. ANTECEDENTES**

La revisión de antecedentes, la oriente por dos caminos; por un lado hice la revisión de trabajos de grado nacionales que me permitieron evidenciar la importancia histórica de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico, así como la importancia del trabajo experimental. Por otro lado, la revisión internacional muestra que no solo es importante ahondar en la revisión histórica y el trabajo práctico, sino que también se debe contemplar algunas de las orientaciones de modelos pedagógicos de corte constructivista para el abordaje de conceptos en el aula.

#### **4.1. Nacionales**

Para la elaboración de esta monografía, tuve en cuenta algunas investigaciones que se han realizado en los últimos años, y presentan la problemática tratada en este trabajo. Una de ellas es la de Restrepo (2010). Este trabajo consiste en elaborar una secuencia didáctica sobre el concepto de campo en electrostática. Además, el autor realiza una construcción histórica de dicho concepto para no saltarse la parte cualitativa del problema. También, presenta la noción de campo con varios ejemplos electrostáticos. Rescato de esta monografía la importancia de hacer una revisión histórica y recoger los aspectos más relevantes, que permitieron a la electricidad constituirse como ciencia.

Otro aspecto importante lo resalta Ortiz y Castillo (2009) en su monografía. Presentan dos montajes experimentales que diseñaron y construyeron referentes al *efecto Hall*, y a partir de ellos, se pueden tratar los conceptos de campo eléctrico y campo magnético, dirigido a estudiantes. Recojo de este documento la importancia que le dan a los montajes experimentales y la construcción de equipos que permitan favorecer la comprensión del concepto de campo eléctrico.

#### **4.2 Internacionales**

Estas investigaciones, parten de reconocer una preocupación en el profesorado de bachillerato por los resultados de la enseñanza en el área de electricidad y en general de la electrostática. Guisasola y Furió (2001) realizaron un tratamiento para superar las dificultades de enseñanza-aprendizaje en la introducción del concepto del campo eléctrico. Parten como hipótesis, que es posible transformar la enseñanza habitual de la electricidad en el bachillerato, en otra, basada en el *modelo de aprendizaje como investigación orientada*, dejando de lado la enseñanza tradicional. Esta investigación me permitió recoger algunos aspectos importantes del modelo que utilizaron para la introducción del concepto de campo eléctrico.

Bajo esta misma preocupación, Guisasola, Zubimendi, Almudí y Ceberio (2008), analizaron las formas de razonamiento de estudiantes de universidad en las explicaciones sobre procesos de carga eléctrica en cuerpos. Indagan, por medio de entrevistas y cuestionarios con objeto de tener en cuenta los múltiples aspectos de las concepciones de los estudiantes.

En esta misma línea, Guisasola y Furió (1998), analizaron las dificultades de aprendizaje que tienen los estudiantes de secundaria y universidad en las teorías y conceptos básicos empleados en la interpretación de los fenómenos electrostáticos. También, examinan en qué medida existe un paralelismo entre estas dificultades y los problemas epistemológicos que hubo que superar la historia de la electricidad hasta constituirse como ciencia.

## **5. MARCO TEÓRICO**

A continuación, presento el marco teórico en dos partes fundamentales: La primera parte (sección 5.1), corresponde al marco teórico disciplinar, en ella, se presenta una breve historia de la electricidad, campo eléctrico y carga eléctrica. En la segunda parte (sección 5.2), expongo la importancia del trabajo experimental en el aula mencionando, además, algunas características importantes que recogí del modelo de investigación orientada, por último explico detalladamente el proceso que implicó la construcción de las máquinas electrostáticas que diseñé.

### **5.1 Marco disciplinar. *Breve historia de la electricidad.***

Desde la antigüedad se conocía que algunos cuerpos, como el ámbar, al ser frotados podían mover pequeños objetos a distancia, sin embargo, no se tenía conocimiento alguno de la naturaleza de este fenómeno. La explicación habitual se basa en acciones a distancia. Esta hipótesis que prevaleció desde los griegos para explicar estos fenómenos, es un claro ejemplo de las teorías animistas, que otorgan vida y conciencia a todo tipo de materia, animada o inanimada (Furió, Guisasola & Zubimendi, 1988).

Cuando el pensamiento griego fue recogido de nuevo en el renacimiento, Descartes, Galileo y otros pensadores del siglo XVII retomaron las teorías de los griegos y desarrollaron otras nuevas. René Descartes, por ejemplo, propuso la teoría de que el mundo esta completamente lleno de materia y que toda acción de un cuerpo sobre otro se realiza por contacto directo o indirecto (Berkson, 1985), idea que posteriormente aclara la teoría de Newton. Este autor plantea que los cuerpos están formados por corpúsculos y que actúan unos con otros a distancia de manera instantánea, aunque con esta teoría no logró explicar las fuerzas de naturaleza eléctrica, magnética y química.

En contra parte, William Gilbert pensaba que el frotamiento entre dos cuerpos podía liberar una sustancia, un “efluvio”, un material sutil que hacia contacto con pequeños cuerpos cercanos al cuerpo cargado. Inventa un instrumento eléctrico que llamo: *Versorium*, consistía en una aguja de metal sobre un eje, similar como una brújula, siendo este el primer electroscopio construido (Franklin, 1988). Con él, pudo comprobar que el aire húmedo afectaba, de alguna manera, sus experiencias. Además logra clasificar los primeros materiales como eléctricos y no eléctricos. Estas experiencias le permitieron señalar que la electricidad es una propiedad universal de la materia y elaborar una primera teoría de la electricidad (Franklin, 1988). A pesar de sus esfuerzos Gray no logra definir el concepto de fluido eléctrico, utilizando los conceptos de efluviio, virtud eléctrica y electricidad para explicar fenómenos de naturaleza eléctrica.

Varios científicos siguieron los trabajos de Gilbert. Otto Von Guericke fue uno de ellos. Inventa la primera máquina electrostática, al observar la repulsión entre algunos cuerpos cargados, máquina perfeccionada posteriormente por Francis Hauksbee. Guericke al igual que Boyle realiza varias experiencias eléctricas y magnéticas en el vacío buscando algún resultado que llamara su atención (Franklin, 1988).

A comienzos del siglo XVII el físico ingles Stephen Gray estudia principalmente la conductividad eléctrica. Tras varios experimentos es el primer científico que logra transportar la electricidad por un conductor. Concluye que para transportarla por un conductor este debía estar aislado completamente de la tierra. Gray también encuentra que

en este fenómeno no solo ocurría la atracción entre objetos cargados eléctricamente, sino que también podía existir una repulsión. A partir de estos descubrimientos logra hacer una clasificación de los materiales. Para esta época había dos clasificaciones de los materiales con base a dos criterios diferentes; los eléctricos y no eléctricos según se electricen o no al ser frotados, y los conductores y no conductores según se electricen por contacto o no (Furió, Guisasola & Zubimendi, 1988). Jhon T. Desaguilliers es quien introduce el término de conductor, refiriéndose al comportamiento de ciertas sustancias ante la electricidad (Franklin, 1988).

Charles François de Cisternay du Fay físico francés, trabajo toda su vida en experimentar y estudiar en particular los fenómenos eléctricos. Du Fay en colaboración con Adab Nollet realiza una serie de experiencias con la preocupación de refutar la creencia aun existente de que los colores tenían notable influencia sobre los fenómenos eléctricos, determinando las diferencias entre sustancias conductoras y aislantes (Franklin, 1988). Du Fay encuentra dos tipos de cargas. Las cuales llamo carga vítrea y carga resinosa. Llamándolas así ya que al frotar con un trozo de seda o paño un vidrio este adquiriría una carga positiva, en cambio cuando se frotaba con piel un pedazo de ámbar o goma, este adquiriría una carga negativa. Du Fay utiliza las teorías de sus contemporáneos para explicar el fenómeno de electrización por influencia o inducción eléctrica y el de carga por contacto (Furió, Guisasola & Zubimendi, 1988). Du Fay comparo en varias ocasiones los fenómenos eléctricos con los magnéticos, en la mayoría de casos no pudo distinguirlos de forma clara. Consideraba que la repulsión eléctrica era aparente. Él pensaba que el único fenómeno real era el de atracción, ya que la repulsión era la atracción por cuerpos cercanos que ejercían una mayor influencia.

Para el siglo XVII Edwald Jurgen Von Kleist sumergió un clavo en una botella con agua. Con una mano sujetaba la botella y puso en contacto el clavo con una máquina eléctrica, cuando saco el clavo y lo puso en contacto con un objeto aislado se produjo una fuerte chispa. Von Kleist pensaba que el cuerpo humano debía jugar algún papel importante, ya que al realizar sus experiencias siempre sujetaba la botella con la mano. Posteriormente Pieter Van Musschenbrock influenciado por los trabajos de Von Kleist obtuvo los mismos

resultados con la botella, esta vez situada sobre la mesa, lo que le permitió deducir que se trataba de un fenómeno eminentemente físico (Franklin, 1988). Atribuyéndose el invento a Musshenbrock el cual la llamo botella de Leyden en honor a la ciudad donde fue descubierta.

Los intentos de Franklin, Volta y Cavendish, para explicar satisfactoriamente el funcionamiento de la botella de Leyden, supusieron un salto cualitativo importante en la teoría eléctrica del siglo XVIII, por ejemplo Franklin explica el funcionamiento de la botella de esta manera:

*“El no eléctrico contenido en la botella, difiere, cuando es electrizado de un no – eléctrico electrizado fuera de la botella en que el fuego eléctrico de este ultimo se acumula sobre su superficie, y forma una atmosfera eléctrica a su alrededor de considerable extensión, mientras que en el primero el fuego eléctrico se amontona dentro de la sustancia que limita el cristal”* (Franklin, 1988).

Así, a comienzos del siglo XIX, los científicos se enfrentaban a la explicación de fenómenos relacionados con el proceso de acumulación de carga en los cuerpos y sobre la naturaleza eléctrica de la materia (Guisasola, Zubimendi, Almudí, Ceberio & Mikel, 2008). Uno de los grandes científicos del siglo XVII que logra con sus aportes contribuir significativamente al avance de la teoría de la electricidad, es sin duda Benjamín Franklin. Él empieza a preocuparse inicialmente por los objetos puntiagudos y su comportamiento con los fenómenos eléctricos:

*“Conocer los efectos de los cuerpos que terminan en punta o cuerpos puntuales puede ser de alguna utilidad para la humanidad aunque no estoy seguro sea capaz de explicarlo”*  
(Franklin, 1988).

Logrando finalmente la invención del pararrayos. La primera preocupación de Franklin era entender como se generaba el fuego eléctrico mediante las máquinas eléctricas, mencionando fuego ya que en la época era considerado como prototipo de las materias

sutiles que había propuesto en principio Abad Nollet, suponiendo que era tal vez de la misma naturaleza que el calor o la luz pero este debía ser menos pura. Franklin suponía que el fuego eléctrico no se producía mediante frotamiento, era recogido y se trataba de una materia indestructible que se podría difundir entre otras sustancias (Franklin, 1988). Para Franklin existía un exceso o defecto de un fluido único que él llamaba fuego eléctrico. Esta teoría aparece alrededor de 1747 admitiéndose un fluido único elástico y sutil, donde sus partículas pueden ser atraídas o repelidas por los diferentes cuerpos, refiriéndose de esta manera a pequeños objetos que se comportaban análogamente a globos de dimensiones diminutas. Similar como una esponja que absorbe agua, pero la diferencia radica en que los cuerpos en su estado natural, estará determinada la cantidad de electricidad, mientras la esponja deberá siempre estar seca o lo suficiente como para poder absorber agua (Franklin, 1988). Franklin nombra a los cuerpos cargados, positivos y negativos, introduciendo una gran definición que ha persistido en el marco teórico actual de la electricidad.

Franklin tuvo varias confusiones por ejemplo, no logro diferenciar la electricidad que siempre rodea a los cuerpos cargados, llamándola atmosfera eléctrica, sin asociarlo a un campo de fuerzas, lo que Gilbert llamo el efecto halo que se produce por los cuerpos cargados para explicar la atracción de cuerpos ligeros en su proximidad (Furió & Guisasola, 1999). Franklin a pesar de su gran esfuerzo no tenía la correspondiente formulación matemática, y al no tener su teoría este aspecto, distaba del concepto de ciencia Newtoniana.

Franklin se pone así en la tarea de realizar medidas y efectivizar sus resultados. Empieza con medir las fuerzas eléctricas. A raíz de esto, logra medir junto con su discípulo Joseph Priestley la conductividad de algunas sustancias. Aprovechando las experiencias Joseph logro determinar que en el interior de una cavidad metálica su atmosfera es nula (Franklin, 1988). Consigue interpretar también que la atracción eléctrica es semejante a la que define la gravitación, caso que se ocupa seriamente Agustín Coulomb el cual inicia estudiando la distribución de la electricidad en los conductores, que sin la teoría semi-cualitativa de Franklin no hubiera sido fácil.

Franklin supone que el vapor que se desprende de la tierra y va hacia las nubes, reciben este fuego eléctrico desde el aire, por lo tanto las nubes llegan a ser electrizadas. Considerando la posibilidad que las partículas de aire pueden producir este efecto, ocasionado cuando el viento roza contra los diferentes objetos:

*“es como si se tratase de numerosos diminutos globos eléctricos, haciendo posible la inducción del fuego eléctrico desde la tierra”* (Franklin, 1988).

Para el siglo XVIII Alessandro Volta realiza una serie de experiencias que lo llevan a descubrir; que al disponer ciertos materiales de una forma determinada, se podía producir corriente eléctrica continua. Posteriormente, Nicholson y Carlisle, demuestran que la corriente eléctrica podía descomponer sustancias químicas en disolución e incluso el agua (Berkson, 1985). Michel Faraday se interesó por este tipo de problemas al ser estos de su campo de trabajo; la química y por sus implicaciones metafísicas.

Posteriormente científicos como Ampère y Cauchy investigaron matemáticamente, con éxito, las fuerzas eléctricas basándose en la ley Coulombiana de la inversa del cuadrado de la distancia. Ampère apoyó sin reservas la visión newtoniana del mundo que Coulomb había extendido a la electricidad (Díaz, 2004), y construyó una brillante teoría matemática, a partir de los trabajos de Oersted, sobre la atracción y repulsión de las corrientes eléctricas, teoría que no fue refutada por ningún experimento (Berkson, 1985). Coulomb construye un instrumento muy preciso con el cual determina la fuerza ejercida por cargas eléctricas, encontrando la función que liga esta fuerza con la distancia, siendo así el primero en cuantizar la fuerza eléctrica, llegando a la siguiente conclusión:

*“los cuerpos con cargas semejante se rechazan entre sí, mientras los cuerpos con cargas diferentes (opuestas) se atraen entre sí. Si los cuerpos son muy pequeños comparados con la distancia que los separa, la fuerza de integración (de atracción o de repulsión) es proporcional al producto de sus cargas, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa, y cuya dirección se encuentra sobre la línea que une sus centros”*

(Morton, 1980).

Coulomb logra este hallazgo, al partir de la distribución de la electricidad en los conductores. Logro definir la masa eléctrica que identifica la carga de un cuerpo. Coulomb enuncia matemáticamente el resultado de su experiencia, poniendo así la fuerza en función de las cargas eléctricas y la distancia (Kraus, 2000).

En el siglo XVIII Poisson desarrolló con detalle una teoría matemática de la electricidad y del magnetismo basada en la ley de Coulomb. Poisson admitió que en un conductor había cargas positivas y negativas libres para moverse por el, y cálculo la distribución de estas cargas en la superficie de un conductor en presencia de un campo electrostático (Berkson, 1985). Todas las teorías Coulombianas de la electricidad y el magnetismo estaban influenciadas por el modelo el modelo de Newton.

### **5.1.1 El concepto de campo en física**

En esta sección busco hacer una recopilación histórica del concepto de campo en física y las dificultades epistemológicas que tuvo que superar la comunidad científica para llegar a la construcción del concepto de campo en física (Furió & Guisasola, 2001). De forma tal que permitió diseñar las guías orientadoras y hacer el análisis de los datos recogidos en la implementación.

Sin duda alguna, el concepto de campo es fundamental en física y está presente en varios dominios de la misma, y puede tener varios significados complejos. Por un lado, puede entenderse desde el punto de vista matemático como una función. Por otra parte, en física se utiliza para describir el comportamiento de magnitudes que se extienden entre los puntos de una región del espacio y del tiempo (Llancaqueo, 2006).

Michael Faraday fue el primero en realizar un abordaje teórico profundo y creador de una nueva teoría del mundo físico, la teoría de campos. Cuando inicio su carrera como científico, no había ningún modelo general del mundo del que se pudiera deducir formalmente por predicciones experimentales. Los esquemas metafísicos de la época que

rivalizaban entre si; eran los mantenidos por Newton, por un lado, Leibniz y Descartes por el otro. Faraday se interesa por este tipo de cuestiones y estudio las diferentes soluciones a la luz de la ciencia de su tiempo (Berkson, 1985).

Faraday olvida la acción a distancia verificada por la teoría de Isaac Newton. Suponía que el medio es simplemente la fuerza misma. En cambio la teoría de acción a distancia admitía que el medio era como una sustancia solida o viscosa que se llamaba *éter*, en cierta medida semejante a la teoría de Demócrito al considerar que el mundo esta constituido por *corpúsculos* solidos, extensos y por espacio vacío. Si bien Laplace, entre otros, desarrollaron matemáticamente la teoría de Newton donde utilizaban la idea de campos de fuerzas (potenciales), utilizando la teoría de campos como mero recurso matemático para calcular las fuerzas ejercidas por varios cuerpos sobre un objeto de prueba (Berkson, 1985). La teoría de campos de Faraday predecía que todas las acciones de un cuerpo sobre otro requerían un cierto tiempo, y no como suponían las teorías de acciones a distancia en la que la acción era instantánea. Los seguidores de la teoría de campos, convencidos de la finitud del tiempo de propagación de una acción, era prueba evidente que los campos existen aun sin la presencia de materia.

Cuando Hertz descubre hacia finales del siglo XIX las ondas electromagnéticas, la teoría de campos de Faraday alcanza su gran triunfo. El trabajo de Hertz logro demostrar que la propagación de los efectos eléctricos y magnéticos no son instantáneos, es decir que duran un cierto tiempo, como predecía sin comprobación hasta entonces la teoría de campos.

En el siglo XVIII Hans Christian Oersted descubre que la corriente eléctrica produce efectos sobre una aguja magnética. Este experimento fue muy importante ya que establecía la posibilidad de interacción entre cuerpos que ejercen fuerzas de naturaleza distinta (magnéticas y eléctricas) (Berkson, 1985). Faraday apreciaba los trabajos de Oersted. Veía en la teoría de este autor una teoría de campos, que presentaba ventajas a la hora de explicar los efectos. El intento de Faraday por buscar una explicación al descubrimiento de Oersted fue fundamental, porque constituyo el comienzo de una nueva teoría de campos.

Según Faraday las fuerzas actúan sobre otras fuerzas, admitiendo la idea de un *mar de fuerzas* en analogía con el mar de materia de Descartes (sin fuerzas). La fuerza resulta, entendida por Faraday, como una sustancia universal que ocupa todo el espacio y a cada punto del campo de fuerzas se le asocia una intensidad y una dirección, de acuerdo la intensidad y dirección de la fuerza, el punto de fuerza hará que los puntos vecinos se muevan. De esta manera cada punto del sistema interactuara con sus vecinos dando lugar a todas las posibles distribuciones de fuerza y vibraciones de estas (Berkson, 1985). A pesar de ello, Faraday no dice cual es la forma en que se distribuye la fuerza entorno a un punto de fuerza, ni mediante qué leyes interactúa una fuerza con las contiguas. A continuación Faraday logra aclarar de alguna manera su teoría de campos, al introducir la idea de líneas de fuerza. De acuerdo con su teoría el mundo físico, para Faraday, esta constituido por una red de líneas de fuerza o por un campo de fuerzas.

En 1831 diez años mas tarde de los trabajos realizados sobre rotación electromagnética, Faraday concibió la idea de un nuevo experimento a partir de los trabajos de su amigo, G. Moll sobre la propiedad que tienen los electroimanes muy intensos de invertir su polaridad casi instantánea. Faraday consideraba que un cable en el centro de un campo magnético debía de estar en un estado *especial* y la corriente era una vibración de las fuerzas del cable. A sus sesenta años Faraday, preocupado por su edad, empieza a delinear con más nitidez sus conceptos de líneas de fuerza. Empezó por definir con precisión el concepto de líneas de fuerzas magnéticas; una línea cuya tangente esta siempre en la dirección de la fuerza magnética en dicho punto y la intensidad de la fuerza en una región, viene dada por la densidad de líneas de fuerza que la atraviesan.

*“Estoy acostumbrado a emplearlas (las líneas de fuerza), especialmente en mis últimas investigaciones, que puede que inconscientemente me haya predispuesto a favor de ellas y he perdido la capacidad de ser un juez imparcial. Siempre he sido partidario de que fuera la experimentación la piedra de toque y el control de toda teoría u opinión; pero ni aquella ni el mas delicado de los exámenes de los principios ha puesto de manifiesto que sea erróneo su uso”* (Berkson, 1985).

Faraday sostenía que las fuerzas eléctricas se transmitían entre las partículas de un medio y usó la noción de *líneas de fuerza* para representar geoméricamente la disposición de las fuerzas eléctricas y magnéticas en el espacio (Díaz, 2004), que luego llamó por primera vez *campo* a la región del espacio que hay entre los polos magnéticos y está llena de líneas de fuerza –Faraday siempre entendió el campo como un espacio lleno de líneas de fuerza eléctricas o magnética. Dichas líneas son imaginarias que describen el “camino” que seguirían las partículas libres de carga positiva que se dejasen a la acción de un campo eléctrico y que son tangentes en cada punto al campo eléctrico en cada punto, estas líneas son curvas que nunca se cortaran, ya que si fuera así existirían dos campos. Las líneas de campo no nos proporcionan el valor correspondiente al campo en un punto, pero si nos permiten construir una imagen del mismo (Rodríguez, González & Bellver, 1995), es decir son un conjunto de curvas que representan una propiedad del espacio vectorial.

James Clerk Maxwell a finales del siglo XVIII influenciado por la teoría de Faraday, logra crear un modelo del éter en el que unifica la electricidad estática, la electricidad corriente, los efectos inductivos y el magnetismo, a partir de él, Maxwell dedujo sus ecuaciones del campo electromagnético y su teoría electromagnética de la luz. Describe el campo electromagnético, el campo eléctrico, el campo magnético, su origen, comportamiento y relación entre ellos, que simplifica en cuatro ecuaciones (Gómez & González, 2012), siendo así la primera teoría en la historia y desarrollo de la física donde el concepto de campo adquiere un significado físico.

La idea de la teoría de Maxwell radica en la afirmación que una carga eléctrica causa un campo eléctrico que se extiende hasta el infinito, y si esta carga eléctrica a su vez esta en movimiento da origen a un campo magnético que igual al campo eléctrico se extiende hacia el infinito, siendo los dos campos magnitudes vectoriales que están definidas en cada punto del espacio y el tiempo (Llancaqueo, 2006). Maxwell construye su teoría a partir de las ideas de la mecánica clásica, como espacio y tiempo, en la que describe la interacción de las partículas a través de los conceptos de fuerza o de energía potencial que se muestra como una función de coordenadas espaciales de las partículas que interactúan, suponiendo una propagación instantánea de la interacción, de esta manera la fuerza entre las partículas

dependería de las posiciones de cada una en un determinado tiempo, de modo que si ocurre un cambio en alguna de ellas afecta instantemente las demás, cosa que las mediciones experimentales no muestran, es decir que en la naturaleza no existen interacciones instantáneas, en la teoría de la relatividad de Albert Einstein, considera que si un sistema en el cual interactúan partículas, y una de ellas sufre un cambio, esta influirá en las demás al cabo de un intervalo de tiempo y no instantemente como lo dice la mecánica clásica, implicando de esta manera que existe cierta velocidad de propagación de la interacción. La velocidad de propagación de la interacción es la misma en todos los sistemas de referencia inerciales e iguales a una constante que definió como  $c$  y corresponde aproximadamente a 299. 792.458 metros por segundo (Arthur, 1995).

Maxwell elabora un *modelo* geométrico del campo, imaginado un tipo de fluido incompresible moviéndose por tubos formados por líneas de fuerza, es decir consideró que las curvas magnéticas no eran líneas simples, sino tubos muy finos de sección variable que transportaban dicho fluido, de tal manera que la dirección y la intensidad de la fuerza quedaban respectivamente representadas en cualquier punto. Sin embargo, el camino para aceptar las ecuaciones de Maxwell fue abierto por otros científicos: Lorentz y el alemán Hertz, que difundieron y aplicaron la teoría este autor e ignoraron su modelo mecánico del éter, centrándose en las propiedades de los campos electromagnéticos mediante una interpretación operativa de sus ecuaciones. Finalmente Hertz demuestra experimentalmente en 1887 la velocidad finita de la propagación de las ondas electromagnéticas (Díaz, 2004), olvidando las explicaciones de acción a distancia.

Con esta breve presentación histórica del concepto de campo en física, mencionaré los aspectos más importantes que se entiende por el concepto de campo eléctrico.

El campo eléctrico es un campo vectorial que nos permite conocer o determinar la fuerza ejercida sobre una carga en una determinada posición del espacio. Claro está que el campo eléctrico *no es una fuerza*. Pero con ella, podemos conocer la fuerza en Newton que es ejercida sobre una carga de un Coulomb (Bitter, 1956). En otros términos el campo eléctrico es la fuerza por unidad de carga, según el SI es el Newton / Coulomb (N/C).

Además, cumple el *principio de superposición*. Esto es, que los campos eléctricos debidos a distribuciones individuales se superponen de modo independiente. La ley de Coulomb y el principio de superposición constituyen los pilares básicos para elaborar toda la teoría electrostática (Rodríguez, González & Bellver, 1995).

### **5.1.2 El concepto de carga eléctrica**

Sin duda alguna, para tener una comprensión amplia de la interacción de los fenómenos eléctricos, es necesario tener una comprensión clara de los procesos de carga y descarga de un cuerpo, esto implica, estar familiarizado con el comportamiento de la materia ante la interacción eléctrica (Guisasola, Zubimendi, Almudí & Ceberio, 2008). De esta manera en el marco teórico, también es necesario mencionar el proceso que se ha tenido en la historia para llegar al concepto de carga eléctrica.

El concepto de carga eléctrica surge en el siglo XIX. Los trabajos de Faraday sobre la electrolisis, permitieron un avance muy importante en el estudio de la electricidad, mencionando que la descomposición química era proporcional a la cantidad de electricidad que pasaba y las propiedades químicas de las sustancias están íntimamente relacionadas con una cantidad fija de electricidad asociada a las partículas de la sustancia. Sugiriendo la posible existencia de un átomo de electricidad (Maldonado, 1987).

Al mismo tiempo y en lugares diferentes, Millikan y Ehrenhaft peleaban por encontrar pruebas evidentes que demostraran y esclarecieran la existencia del portador de carga. Ehrenhaft encuentra experimentalmente cargas de la mitad, un quinto, un decimo y una centésima parte del electrón (Maldonado, 1987). Millikan conecta las ideas de Benjamín Franklin y las teorías de la electricidad de esta época. Siendo el primero en encontrar un valor exacto de la carga elemental (del orden de  $10^{-10}$ ), a partir del celebre experimento que realizo; *la gota de Millikan*.

A partir de los indicios de Faraday de que la electricidad pudiera ser atómica. Varios científicos impartieron una lucha por demostrar y explicar la existencia del portador de

carga, que hasta entonces no estaba definido. Uno de ellos, Helmholtz con ayuda de la electrolisis, supone que estos nuevos hallazgos de Faraday relacionaban exactamente la electricidad con la materia, por ende, debería existir “átomos” de electricidad. Por otra parte, Thomson con sus trabajos sobre los rayos catódicos, expresa que los portadores de las cargas eléctricas en los gases, tienen que ser pequeños en relación con las dimensiones de los átomos o moléculas ordinarias (Maldonado, 1987). Thompson indica en sus hipótesis que los portadores de carga estaban, de alguna manera, relacionados con la materia, pero con un tamaño menor que los átomos de un elemento.

En la actualidad, la teoría eléctrica admite que los cuerpos poseen carga eléctrica al ser esta una propiedad de la materia y está distribuida de manera equilibrada, es decir neutra. Dos portadores de carga que existe en la naturaleza, el primero es el protón el cual es el portador de carga positiva. Esta partícula junto con el neutrón se encuentra ubicada en el núcleo del átomo. El portador de carga negativa es el electrón, y se encuentra orbitando alrededor del núcleo del átomo. La carga tiene una tendencia natural a ser transferida entre diferentes materiales. La carga eléctrica se caracteriza por ser conservativa.

## **5.2 El trabajo experimental**

Las prácticas experimentales han sido esenciales en el estudio de las ciencias ya que han sido la base de la gran mayoría de modelos que conocemos en la actualidad. Además permiten tener otra perspectiva diferente a la puramente libresco de la enseñanza tradicional de las ciencias, específicamente la física y que han llevado al desinterés por el aprendizaje. De hecho constituye una intuición básica de la generalidad de los profesores y de los estudiantes, que contemplan el paso a una enseñanza experimental, necesaria para lograr la familiarización de la actividad científica (Carrascosa, Gil & Vilches, 2006). Por ello, el experimento es importante en varios modelos pedagógicos, por ejemplo el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada, del cual recojo algunos aspectos que considere pertinentes e importantes para la construcción de este trabajo. Este modelo resalta la importancia de asumir una concepción del aprendizaje como construcción activa de

nuevo conocimiento por parte del estudiante, que necesariamente tendrá que partir de sus conocimientos adquiridos, esto implica que solo haciendo que los estudiante practiquen - con ayuda del profesor – aspectos esenciales de la metodología científica, por ejemplo imaginar soluciones a problemas desde el punto de vista hipotético, diseñar un experimento que contraste con la teoría, podrían los estudiantes construir conocimientos (Furió & Guisasola, 2001). En el se propone una organización de enseñanza a partir del planteamiento de situaciones problemáticas abiertas, a partir de problemas (Verdú, 2004).

De esta manera, el experimento es de gran ayuda para el maestro, ya que con este, el estudiante apreciara un poco más la asistencia al laboratorio y seguramente recordara más elementos del fenómeno y cómo muestra la aplicación que supone la teoría con algunos elementos de la vida diaria. Por tanto el uso adecuado del experimento va a permitir que el estudiante tenga una visión de la Física más práctica, real y emocionante (Ubaque, 2009). Para Hodson (1994) cualquier método de aprendizaje que exija a los aprendices que sean *activos* en lugar de pasivos concuerda con la idea de que los estudiantes aprenden mejor a través de la experiencia directa por lo que podría ser descrito como “trabajo práctico”. A partir de ello, el modelo enseñanza-aprendizaje como investigación orientada, apunta convergentemente a unas estrategias dirigidas, a implicar a los estudiantes como *investigadores noveles o novatos*, en la construcción de conocimientos, aproximando la actividad que realicen a partir de un tratamiento científico-tecnológico de problemas. Se trata entonces, de plantear el aprendizaje como un trabajo de investigación y de innovación, a partir de situaciones problemáticas relevantes para la construcción de conocimientos científicos. Desde esta perspectiva, ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, orientada por el profesor como *investigador experto*. En este orden de ideas, el aprendizaje es concebido no como un simple cambio conceptual, sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y axiológico que conlleva al aprendizaje en un proceso de *investigación orientada*, que permita a los estudiantes participar en la construcción de conocimientos (Pérez, 1993).

Por ello, el experimento es sin duda, una herramienta que el maestro tiene para revelarle al estudiante, cómo la teoría se ajusta con la experimentación. El maestro debe presentar al

estudiante un reto a sus ideas, en la que él mismo compruebe o no si sus “teorías” permiten explicar correctamente un determinado fenómeno físico y de esta manera demostrar la validez de las leyes y principios que admite la Física, y a partir de ellos se pueden refutar o admitir los principales elementos de esta disciplina. Tal reto o desafío, es sin duda el Experimento (Ubaque, 2009).

### **5.2.1 Construcción de los equipos de laboratorio**

En esta sección presento de manera minuciosa el proceso que implicó la construcción de los equipos de laboratorio que utilicé para diseñar y realizar las diferentes experiencias mencionadas en las guías orientadoras. Quiero resaltar que estas máquinas las escogí de manera tal, que permitieran presentar algunos aspectos importantes de la historia de electricidad. Construí tres máquinas electrostáticas, estas son: *el electróforo de Volta, la máquina de Wimshurst y el generador de Van De Graaff*, Tarde dos meses y medio para terminar la construcción de todos los equipos. Para lograrlo, pase por diferentes etapas que posteriormente identifique. La primera, me permitió la identificación de las mismas a partir de la revisión histórica de la electricidad. Una vez identificadas, pase a realizar una revisión de diseños. Con base en ello, logre construir mis propios diseños. Estas etapas fueron muy significativas en el proceso de construcción de cada una de las máquinas.

Construí principalmente tres máquinas electrostáticas en el siguiente orden: el Electróforo de Volta, La máquina de Wimshurst y el generador de Van de Graaff. Empezare hablando del electróforo.

#### **5.2.1.1 Electróforo de Volta**

Es un generador electrostático modificado por el físico Alessandro Volta en el siglo XVII. Consta de un disco metálico aislado por un agarre no conductor y se electrifica por inducción situándolo sobre un material dieléctrico previamente electrificado por fricción. Originalmente se utilizaba resina y piel de gato o conejo para electrificar la resina. Se encuentran diferentes tipos de diseños y construirlo es relativamente sencillo, por este motivo no me centrare en explicarlo detalladamente. Inicialmente utilicé la tapa de un

recipiente plástico de 8 cm de diámetro y lo adherí con silicona líquida a un círculo de aluminio de 9 cm de diámetro y 3 mm de espesor. La resina y la piel animal que se utilizaba originalmente, los sustituí por diferentes paños y utilicé acrílico con forma rectangular de 15x10 cm y 2 mm de espesor. Esta máquina la construí fácilmente y funcionó sin ningún problema (ver anexo 10.6).

### **5.2.1.2 Máquina de Wimshurst**

La segunda máquina es el resultado de una modificación a máquinas anteriormente construidas. Se trata de una invención del siglo XVIII desarrollada por James Wimshurst. No es mi intención explicar el funcionamiento físico de la máquina, me centrare en explicar el proceso de construcción de la misma.

Esta máquina sin duda alguna fue la que mas trabajo me costó construir, ya que su funcionamiento depende de un conjunto de variables que afectan el rendimiento de la misma y si no se tienen en cuenta difícilmente se tendrán buenos resultados. Me es difícil decir cual es la parte de la máquina mas importante, ya que cada una de ellas por si solas no tiene ninguna funcionalidad, se la debe mirar en su totalidad. Voy a presentar el proceso de construcción de esta máquina por cada una de sus partes. Para ser preciso y claro mencionare con detalles las dificultades que tuve, como las supere y cuales materiales utilicé para llegar a un diseño final.

Primero voy a hacer una breve descripción de la máquina para contextualizar un poco al lector. La máquina se acciona manualmente por medio de una palanca que transfiere movimiento a dos discos de acrílico que giran independientemente y en contra rotación. Cada disco lleva adheridos una serie de segmentos de material conductor que hacen una leve fricción al girar con unas escobillas de diferente material (barras neutralizadoras). En forma de gancho lleva unos colectores, muy puntudos, conectados en paralelo a dos botellas de Leyden, de las cuales salen dos barras en las que se produce una descarga eléctrica (ver anexo 10.5, barras de descarga).

Empezare hablando de los discos y los segmentos. Para ello inicialmente utilicé un par de discos viejos de acetato en los que adherí con silicona liquida unos segmentos de papel aluminio. Estos segmentos presentaban grandes problemas, que mas adelante identifique. Uno de ellos era el tamaño de cada segmento y la cantidad que tenía cada disco. En total eran 16 segmentos distribuidos uniformemente en cada disco y median 12 cm de largo por 2 cm de ancho con forma de lágrima. Posteriormente cambie el material de los discos por acrílico, ya que los discos de acetato no son lo suficientemente rígidos. Cada uno de los nuevos discos media 28 cm de diámetro y 2 mm de espesor. Mantuve el mismo número de segmentos, el material y la geometría de cada uno. Los fije a los discos de la misma manera, con silicona liquida (ver anexo 10.5, discos y segmentos).

El material que utilicé para los discos era a mi parecer el ideal, es rígido y estable. Pero el papel aluminio que utilicé para los segmentos se veía muy frágil y arrugado, así que lo replacé, sin cambiar sus dimensiones, por aluminio de 3 mm de espesor. Corté cada segmento con tijeras industriales y los adherí a los discos esta vez con súper bonder. Fue una mala elección ya que los discos se mancharon por causa del pegamento y no quedaron fijos a los discos. Seguí consultando otra clase de pegamentos para unir los segmentos sin que se llegaran a dañar. Encontré una cinta doble faz milimétrica. Hice algunas pruebas y funciono perfectamente. Posteriormente me enfoqué en mejorar los segmentos y lo hice con ayuda de un programa que encontré por internet. Este programa construye y distribuye los segmentos sobre los discos simétricamente, con él se pueden hacer los moldes para recortar los segmentos y para fijarlos a los discos, de esta manera se garantiza una distribución simétrica de los segmentos sobre cada disco. Después de unos días utilicé en total 8 discos que me permitieron experimentar y llegar a un diseño definitivo. Estas son las medidas de los discos y los segmentos: A. Discos: 28 cm de diámetro y 3mm de espesor. B. Segmentos: 6cm de largo, 2.5 cm en la parte superior, 1.5 cm en la parte inferior y lamina de aluminio de 2 mm de espesor. Cada segmento tiene forma de lágrima.

Una vez contruidos los discos empecé a diseñar el sistema mecánico que permite que los discos puedan girar de manera independiente y en contra rotación. Para ello utilicé dos poleas plásticas, muy delgadas, las cuales pegue a cada disco con cinta doble faz

milimétrica. El principal problema radicaba en garantizar la separación de los discos, ya que debía estar entre un rango de 3 mm a 6 mm, y al girar los discos no se tocaran. Realmente era difícil garantizar esta condición ya que los discos no estaban lo suficientemente alineados con el eje. Después de hacer una serie de pruebas con diferentes tipos de poleas, entre ellas; madera y plástico, llegué a un último diseño en teflón. Esta polea la diseñé de forma tal que pudiera rotar fácilmente sobre el eje, para ello adicione un rodamiento a cada lado de la polea. Esto permitía que el disco, junto con la polea, rotara sin mucho esfuerzo, sin tambalear y así poder garantizar una separación de los dos discos de 3mm (ver anexo 10.5, correa y poleas).

Para el sistema de accionamiento manual de la máquina utilicé como eje inferior una varilla de latón y en ella fijé dos poleas de madera de 5 cm de diámetro. Sobre este mismo eje hice una manivela en forma de z, la conseguí deformando la varilla con alta temperatura. Este eje es muy importante ya que es el que transfiere movimiento a los discos por medio de una correa. Para construir la correa utilicé varios materiales como plásticos, textiles, cauchos, mangueras, entre otros. No obtuve buenos resultados ya que la mayoría eran muy elásticos o rígidos que dificultaban unir los dos extremos para garantizar la tensión y la longitud adecuada. Finalmente utilicé un cordón que encontré en una ferretería. Lo uní con calor y lo reforcé con unas puntadas de hilo. Todo el sistema mecánico lo ensamblé a una base y soportes de madera de pino, y tienen las siguientes dimensiones: A. Base: 32x25 cm y 2cm de espesor. B. Soportes: 17 cm de alto, 7 cm de ancho y 2cm de espesor.

Una vez los discos rotaban en contra rotación (*se puede conseguir el sistema de contra rotación simplemente con girar una de las dos correas en forma de 8*) y a una separación de 3 mm, empecé a diseñar y a construir las escobillas. Estas escobillas hacen una leve fricción con los segmentos unidos a los discos, específicamente dos escobillas por cada disco. Las dos escobillas tienen que estar completamente aisladas de tierra y unidas por medio de una varilla conductora, formando un ángulo de 60 grados con respecto a la horizontal. Voy a explicar esto. A esta configuración de escobillas unidas por medio de una varilla conductora se le llama *barra neutralizador*. La máquina consta de dos barras, una por cada disco. Inicialmente las fabrique con cobre y tenían forma de pincel, las uní por

medio de una varilla de latón de 12 cm de largo en cuyos extremos soldé cada una de las escobillas de cobre. Al someterlas a pruebas no funcionaron. Así que empecé a experimentar con diferentes materiales para encontrar el más indicado. Después de probar las escobillas en forma de pincel con materiales como cobre, aluminio, estaño, y acero concluí que las escobillas con esta geometría no funcionaban correctamente. Llevaba un par de días probando con toda clase materiales y formas, una de ellas me dio buenos resultados. Se trata de una escobilla que se me ocurrió hacer en forma de paleta que uní al extremo de la varilla con una abrazadera. Obtuve mejores resultados pero aun no funcionaba la máquina correctamente. Después de 10 días, finalmente construí unas escobillas que funcionaron mejor. Las hice con una lámina de latón de 2 mm de espesor. El problema radicaba en los materiales y las formas que había utilizado anteriormente. Estas son las medidas de cada escobilla: A. 2 cm de largo. B. 1.5 cm de ancho (ver anexo 10.5, escobillas).

Una vez listo el sistema mecánico y las barras neutralizadoras, empecé a construir los colectores. Los colectores se componen de un par de escobillas que están próximas a los segmentos de los discos pero *no tocan ni los segmentos, ni los discos*. Inicialmente construí el colector con alambre unifilar calibre 10, ya que se puede deformar y hacer las curvas sin problemas con el fin de ubicar los colectores a los dos discos. Estos colectores a diferencia de las barras neutralizadoras, no cubren solo un disco, sino que rodea ambos discos. Para ello, doblé el alambre en forma de U y en cada brazo soldé los colectores de cobre. Este diseño no funcionó, así que seguí experimentando con otra clase de materiales. Después de 10 días más, construí el diseño final y muy eficiente. Para ello utilicé una varilla de latón de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de espesor y 15 cm de largo. Para hacer las curvas necesarias para formar una U con la varilla, utilicé alta temperatura para deformarla con un equipo de soldadura autógena. En cada brazo de la U soldé los colectores con forma de pincel que hice con cable de cobre. Los colectores tienen las siguientes características: A. Seis colectores por cada brazo. B. Cada colector mide 1.5 cm de largo (ver anexo 10.5, colectores).

Con los colectores listos, empecé a construir las botellas de Leyden, anteriormente mencionadas. Fue realmente difícil hacer un condensador eficiente. El problema principal

fue encontrar los materiales y la proporción adecuada de las láminas. Construí más de 10 botellas sin encontrar buenos resultados, utilicé láminas de cobre, latón, estaño y aluminio. También recipientes de diferente forma, tamaño y material por ejemplo; vidrio, plástico, cartón, caucho, entre otros. Inicialmente construí un condensador con un vaso plástico. No funciono ya que no utilicé una adecuada proporción del tamaño de las láminas (exterior e interior). Posteriormente probé con un par de vasos de vidrio, como láminas utilicé aluminio de 2mm de espesor. No funcionaron. Normalmente se construyen las botellas de Leyden con vasos de vidrio, por esta razón la mayoría de los condensadores que construí eran con recipientes de este material y utilizaba láminas de diferente clase, sin obtener buenos resultados. Finalmente y después de un proceso arduo de experimentar con toda clase de materiales, construí dos condensadores con un recipiente plástico, utilizando papel aluminio para las láminas. Cada condensador tiene las siguientes dimensiones: A. Lamina exterior 7 cm de altura y 15 cm de longitud. B. Lamina interior 6.5 cm de altura y 15 cm de longitud. C. El recipiente es un vaso con tapa y tiene 12 cm de altura y 5 cm de diámetro con forma cilíndrica (ver anexo 10.5, botellas de Leyden).

Estos condensadores funcionaron perfectamente y conservé las anteriores dimensiones para el diseño final. Los colectores, anteriormente mencionados, están conectados a la lámina interior de cada condensador, lo hice por medio de una varilla de latón. En cuanto a las láminas exteriores de los condensadores, deben conectarse en serie. Simplemente utilicé un alambre delgado para unir las dos láminas exteriores.

Únicamente quedaba construir las barras de descarga. Normalmente se sitúan en la parte superior de las botellas de Leyden con un sistema que permita rotarlas con el fin de variar la distancia de separación entre ellas. Esta parte de la máquina no implicó mucho trabajo. Empecé con dos tornillos que fije con alambre a la varilla de latón. El principal problema era que no podía cambiar la distancia de separación entre ellos. Después de varias pruebas llegué a diseñar y construir unas barras que se ajustaran a lo que necesitaba. Para ello, usé una varilla de latón de 10 cm de largo y en un extremo soldé dos esferas de acero de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro. Como agarre utilicé un material plástico en el cual abrí un agujero

del diámetro de la varilla y luego utilicé Súper Bonder para fijarlos (ver anexo 10.5, barras de descarga).

Ensamblando todas las partes de la máquina obtuve muy buenos resultados. Logrando arcos de descarga de aproximadamente 11 cm de longitud máxima. Esta máquina tiene muy buen rendimiento, en comparación con otras de las mismas características.

### **5.2.1.3 Generador Van de Graaff**

Se trata de una máquina construida en el siglo XIX como un modelo a escala para acelerar partículas. Básicamente consta de una correa no conductora que gira a partir del movimiento de dos poleas de diferente material. Se logra el movimiento, en la mayoría de los casos, con ayuda de un motor eléctrico. En la parte superior e inferior lleva dos escobillas o colectores. La superior carga eléctricamente la campana en la cual se logran potenciales de miles de voltios y la inferior se encarga de llevar a tierra la electrificación contraria a la de la campana.

Inicialmente construí el sistema mecánico. Para ello utilicé dos poleas cilíndricas de madera. No era un material ideal para las poleas, así que lo replacé por otro tipo de material. Probé con; plástico, caucho y por ultimo con acrílico, luego de hacer varias pruebas, noté que los dos primeros materiales no eran muy eficientes y seguí trabajando con las poleas de acrílico. Finalmente, encontré en la web algunos diseños en los que incorporaban a las poleas, superior e inferior, un recubrimiento de teflón y aluminio. Me puse en la tarea de hacerlo. Para ello, simplemente cubrí la polea inferior de cinta de teflón y la superior de papel aluminio. Esta vez obtuve mejores resultados. Cada polea tiene las siguientes dimensiones: A) Superior: 5 cm de diámetro y 8 cm de largo. Tiene forma cilíndrica y recubrimiento con papel aluminio. B) Inferior: 5 cm de diámetro y 8 cm de largo. Tiene forma cilíndrica y recubrimiento con cinta de teflón.

Adicioné al sistema mecánico un motor eléctrico de 12 voltios y un circuito electrónico para regular, con ayuda de un potenciómetro, la velocidad del motor. Este motor transfiere movimiento a la polea inferior por medio de una correa de 5 cm de diámetro.

Con el sistema mecánico definido, empecé a construir las bases del generador. Construí un soporte con una lámina de madera de pino de 35 x 35 cm y 2 cm de espesor. Utilicé este mismo material para las dos bases en las que van las dos poleas y la campana. Este material no es el más indicado ya que es muy pesado y no es un buen dieléctrico. Así que lo cambie, llegando finalmente a construirlos en acrílico y tienen las siguientes medidas: 8x15 cm, 70 cm de altura y 10 mm de espesor (ver anexo 10.4, motor y soportes).

Además de ser consistente y ligero, permite trabajar sobre el fácilmente. Por último hice unas perforaciones al acrílico simétricamente por donde pasarían los ejes de las poleas y los ángulos que permiten fijarlas al soporte.

Una vez listas las poleas y las bases, adicione un par de rodamientos de patines a las poleas, con el fin de disminuir el rozamiento del eje con el acrílico y de esta manera el trabajo necesario para mover el sistema mecánico. Con el sistema mecánico funcionando perfectamente, empezó un arduo trabajo y fue conseguir el material adecuado para construir la correa o banda que rota con las dos poleas, similar a una banda transportadora. La primera correa que utilicé la hice con la manguera de una rueda de bicicleta. Este material no funcionó. Después de probar con diferentes tipos de materiales entre ellos; lana, seda, algodón, plástico y lona, finalmente conseguí un material que resultó muy eficiente y económico. Se trata de una banda que se utiliza en la práctica de Pilates. Esta banda recibe el nombre de Teraban y viene en diferentes espesores. Utilicé una banda de color marrón, me pareció la más adecuada. Con ella hice la correa y la uní con un par de puntadas de hilo con máquina de coser. El diseño final de la correa tiene las siguientes medidas: A. 7.5 cm de ancho y 55 cm de largo (ver anexo 10.4, correa).

Faltaba únicamente construir la campana y los colectores. Con respecto a la campana, utilicé inicialmente una semiesférica de aluminio de 20 cm de diámetro. Después de 20 días de ensayo y error, construí la campana con dos ollas, comúnmente conocidas como pailas. Para unir las dos ollas utilicé 6 tornillos distribuidos uniformemente y utilicé 16 remaches para tapar los huecos, producto de las orejas de la olla, quedaba únicamente abrir un hueco

rectangular por un lado de la campana de forma tal que entrara exactamente en medio de las dos bases. Una vez la tenía la apertura, fijé la campana a los soportes de acrílico incorporando un ángulo con tornillos (ver anexo 10.4, campana).

Así como cada una de las partes del generador, en la construcción de las escobillas tarde varios días. Desde el primer diseño hasta el final utilicé siempre alambre de cobre. Las hice de diferentes formas y tamaños. Voy a hablar primero de la escobilla inferior. Esta escobilla esta conectada a tierra y en ningún momento toca la correa, se debe ubicar tan cerca como sea posible a la correa. Para ello, utilicé un alambre calibre 10 y en el enrollado, en forma de pincel, varios hilos de cobre. Utilicé los suficientes para cubrir toda el área de la correa (7 cm aproximadamente). Para el colector superior mantuve la misma forma de la escobilla inferior, pero esta vez la fije directamente a la campana. Cada una de las escobillas tiene las siguientes medidas: A) 2 cm de largo y 8 cm de ancho. En el diseño final del generador encontré buenos resultados alcanzando un arco de descarga de aproximadamente 10 cm de longitud máxima (ver anexo 10.4, escobillas).

La construcción de todas las máquinas implicó todo un proceso muy bonito en el que investigué, experimenté y consulté. Quiero resaltar que nunca había tenido en físico ni el electróforo, ni la máquina de Wimshurst, con los que pudiera haber examinado detalladamente sus partes o tener un punto de referencia con el cual llegar a construir mi propio diseño. Fue, sin duda alguna, una labor muy gratificante para mi formación como docente, haber construido cada uno de los equipos ya que este tipo de actividades dentro del plan de estudios de la licenciatura en Física no se contemplan como un centro de estudio y de esta manera poderlo complementar con las clases teóricas.

## **6. METODOLOGÍA**

Esta sección la he dividido en dos partes. En la primera menciono la población en la que se desarrolló la implementación y en la segunda parte explico los aspectos que recogí del tipo de investigación que utilicé para el desarrollo de este trabajo.

## **6.1. Población**

La investigación está dirigida a estudiantes de tercer semestre de la licenciatura en física de la Universidad Pedagógica Nacional, los cuales se espera tengan las bases conceptuales para asimilar ciertos conceptos tratados en las prácticas de laboratorio.

## **6.2. Tipo de investigación**

La metodología que utilicé en este trabajo es la investigación acción participación (IAP), de la cual recojo algunos aspectos, que a mi parecer son pertinentes. Es un método de investigación y aprendizaje, basado en un análisis crítico con la participación activa de los grupos implicados, que se orienta a estimular la práctica transformadora y el cambio social. Esta metodología combina dos procesos, el de conocer y el de actuar, implicando en ambos a la población cuya realidad se aborda.

En la propuesta metodológica de IAP, es relevante considerar cuatro fases importantes, claro esta, no son nítidas, ya que su desarrollo depende de diversas circunstancias, tales como; la organización de la comunidad, su disponibilidad de tiempo y la complejidad del problema. Estas fases son: la observación participante, la investigación participativa, la acción participativa y la evaluación (Guzmán, Alonso, Pouliquen, &, Sevilla, 1996).

En primer lugar partí de identificar los procesos y eventos que definen la realidad estudiada, para este caso el problema identificado a partir de mi experiencia y las investigaciones que a la fecha se han realizado. En la segunda fase, diseñé la estrategia de aula y elegí los métodos para llevarla a cabo. Para ello, utilicé guías orientadoras y con ellas recogí una serie de información: escrita, discusiones en clase y grabaciones, con las cuales, realice la posterior sistematización y análisis.

Las guías orientadoras las structure principalmente, con una serie de experiencias y preguntas abiertas, buscando motivar a los estudiantes y que de esta manera construyeran explicaciones, y posteriores argumentaciones frente a los problemas que les presente en el transcurso de las actividades, de esta manera recopilar la información suficiente para el

análisis de los resultados. Las experiencias, así como las preguntas, las diseñé de forma tal que direccionara al estudiante por un camino ya estructurado y objetivo. Desde este orden de ideas, estimule a los estudiantes a experimentar y responder a las preguntas propuestas en las guías orientadoras.

Vale aclarar, que para la implementación de esta investigación, considere a los estudiantes de tercer semestre de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, como investigadores *novelas* guiados en compañía del maestro experto, por tanto, dividí las guías orientadoras en dos fases diferentes. Cada fase a su vez, tiene dos sub-fases. La primera, la diseñé de forma introductoria y la segunda, direccionada a la conceptualización. Cada guía orientadora la desarrolle en dos clases, cada una con una intensidad de dos horas, en un curso de 15 estudiantes del curso de electromagnetismo I de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. A continuación presento cada una de las guías orientadoras:

### **6.2.1 Guía orientadora 1: Carga eléctrica**

En esta sección presento algunas generalidades del diseño de la primera guía orientadora que llevé al aula. La direccione hacia la profundización del concepto de carga eléctrica, y la dividí en dos fases. La primera, la diseñé de forma tal, que permitiera ser de carácter introductorio. Para ello, dedique cuatro experiencias y ocho preguntas abiertas, las cuales fueron abordadas por los dos grupos en 45 minutos. La segunda fase, la direccione hacia la conceptualización de carga eléctrica. Esta parte dedique las ocho experiencias siguientes y dieciocho preguntas abiertas, cada grupo tardo mas de una hora para terminarlas.

Antes que los estudiantes desarrollaran cada experiencia, daba una breve introducción al problema y hacía un acompañamiento para resolver dudas y verificar que la experiencia la ejecutaran correctamente los estudiantes. Para la primer etapa de la implementación, dividí el curso de 15 estudiantes, en dos grupos; uno de 8 y el otro de 7 estudiantes. Las experiencias que propuse en la guía orientadora para los dos grupos fueron iguales, en

cambio, las preguntas para cada grupo fueron de diferente manera, aunque apuntando hacia el mismo objetivo. Estas guías se encuentran en el anexo número 46.

### **6.2.2 Guía orientadora 2: Campo eléctrico.**

En esta sección presento algunas generalidades del diseño de la segunda guía orientadora que llevé al aula. La dirección hacia la profundización del concepto de campo eléctrico, y la dividí en dos fases. La primera, la diseñé de forma tal, que permitiera ser de carácter introductorio. Para ello, dedique cuatro experiencias y siete preguntas abiertas, abordadas por los grupos en 35 minutos. La segunda fase, la dirección hacia la conceptualización de campo eléctrico. Para esta parte, dedique las siguientes nueve experiencias y veintitrés preguntas abiertas, los grupos tardaron aproximadamente una hora para terminar.

Siguiendo con la metodología de la primera parte de la implementación, daba una breve introducción antes que los estudiantes desarrollaran cada experiencia planteada y hacía un acompañamiento para resolver dudas y verificar que la experiencia la ejecutaran correctamente los estudiantes. En esta segunda etapa de la implementación, dividí el curso de 15 estudiantes, en tres grupos, cada uno de 5 estudiantes. Organicé tres grupos, ya que tenía el material suficiente, como para que cada grupo realizara las experiencias de la guía orientadora. Esta última, fue igual para los tres grupos. Estas guías se encuentran en el anexo número 80.

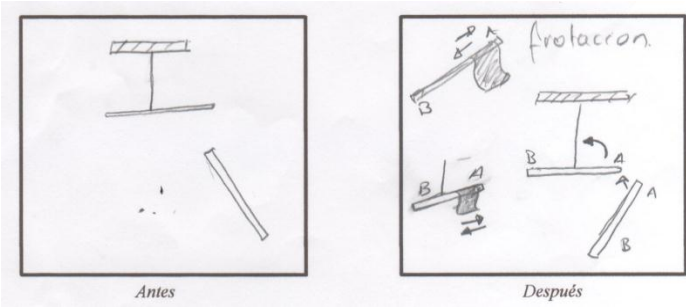
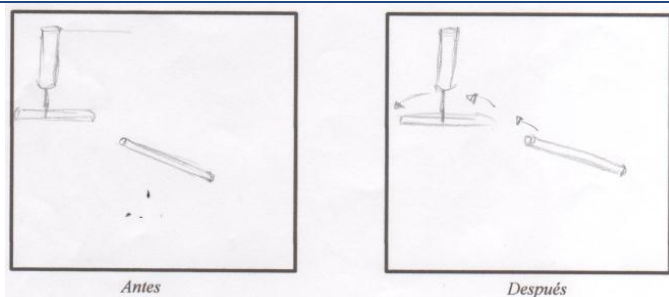
## **7. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En esta sección presento el análisis de algunas de las respuestas de los grupos frente a las problemáticas presentadas. Para ello, organicé por medio de una tabla indicando; la experiencia, la pregunta planteada, la respuesta de cada grupo y la representación gráfica, si era el caso. Posteriormente presento el análisis correspondiente a la información de cada tabla.

## 7.1 Carga eléctrica

En este capítulo se presentan los resultados y el análisis de algunas de las respuestas de los grupos presentadas en las guías orientadoras de carga eléctrica. En el anexo 10.1.1 se encuentran todas las tablas del análisis de las respuestas de los grupos.

### Experiencia 1.2

<b>GRUPO 1:</b> <i>¿Explique la interacción entre las dos barras? Dibuje el sistema antes y después de frotar.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
 <p>Antes</p> <p>Después</p>	<p><i>“al momento de frotar los dos tubos plásticos con el paño adquieren la misma carga, lo cual genera una fuerza de repulsión entre ellos”</i></p>
<b>GRUPO 2:</b> <i>¿Por qué las dos barras se manifiestan de tal manera? Dibuje el sistema antes y después de frotar.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
 <p>Antes</p> <p>Después</p>	<p><i>“se repelen porque quedaron electrificados de la misma manera”</i></p>

#### 7.1.1 Análisis experiencia 1.2

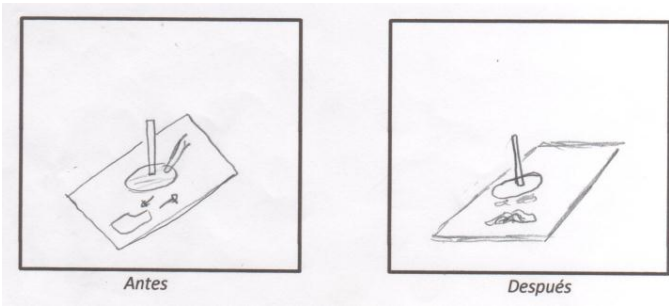
Los grupos responden correctamente la pregunta suponiendo que los dos cuerpos se han cargado de igual forma al frotar los tubos con el mismo paño. Los estudiantes responden y

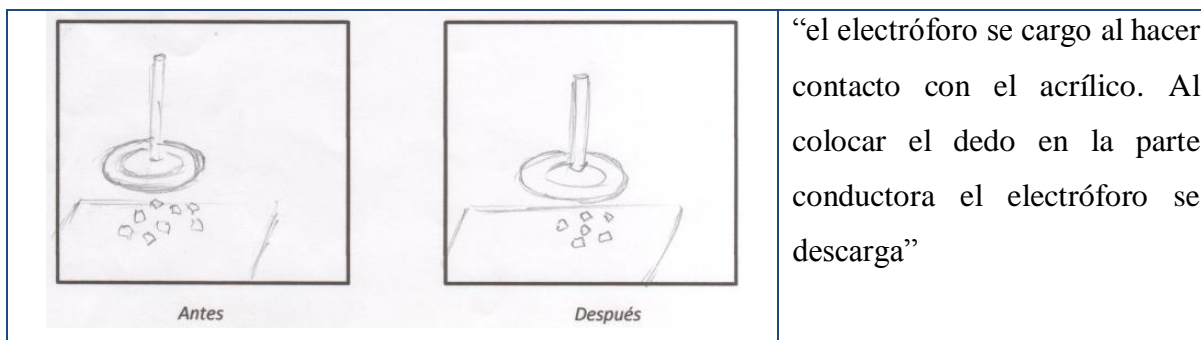
explican sus respuestas en términos de fuerzas eléctricas, situándose en un modelo propuesto en el siglo XVIII donde explicaban las interacciones de cuerpos cargados a partir de acciones a distancia.

Los estudiantes hacen un esquema del sistema a nivel macroscópico, de lo observable y representan el efecto que produce un tubo con respecto al otro. Dibujo que se esperaba ya que en el contexto que se les ubica (siglo XVII) las representaciones que se asignaban para explicar los fenómenos eléctricos no se pensaban directamente a pequeñas partículas, lo explicaban a partir de su experiencia.

**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 2. Conceptualización de carga eléctrica.**

**EXPERIENCIA 2.1**

<b>GRUPO 1:</b> <i>¿Qué ocurre con el disco metálico? ¿Explique el proceso de carga del electróforo? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<p>“se hace el procedimiento de frotar el acrílico ósea electrificar el acrílico, se ubica el electróforo sobre el acrílico, y al tocarlo con el dedo se induce electricidad al metal a través del dedo, al acercarlo a los papelitos se acercan al metal que esta cargado”</p>
<b>GRUPO 2:</b> <i>¿Cuál ha sido la forma en que se cargo el electróforo? ¿Por qué hay poner el dedo en la parte conductora? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>



### 7.1.2 Análisis experiencia 2.1

Los estudiantes del grupo explican el proceso de carga del electróforo de una manera superficial y sus razonamientos no son correctos de acuerdo al marco teórico estudiado. Concluyen que el disco metálico queda cargado por inducción debido a la presencia del dedo. En la discusión que se origina en el transcurso de la experiencia y no muestran como conclusión, pero si se evidencia en la grabación, hacen afirmaciones como la siguiente:

*Grupo 1.*

*Jonathan: Para que hay que poner el dedo? Para mantenerlo descargado.*

*Paul: si. Para descargarlo. Vea si le pongo el dedo se descarga.*

*Grupo 2.*

*Carlos: Por qué se debe de tocar esto (indica la parte metálica)*

*Jairo: No se. Eso es lo que no entiendo, por qué se debe de tocar eso.*

*Jonathan: Porque la descarga cuando la toca.*

*Jairo: Por eso si yo hago esto y luego hago esto (ubicando el electróforo en el acrílico y luego el dedo en la superficie metálica).*

*Jonathan: Pues usted esta recibiendo toda la carga.*

*Jairo: luego lo quito. Pero sigue cargada.*

*Natalia: Aquí lo que hay que analizar, es que como él lo esta frotando con el paño, yo no toco el acrílico, por eso cuando lo pongo sobre el acrílico aun queda cargado. Ósea yo no lo despliego del acrílico y luego lo toco y después pongo los papelitos, si no que por eso lo dejo ay por eso queda cargado.*

*Jairo: Que pasa si no lo toco y lo acerco a los papelitos.*

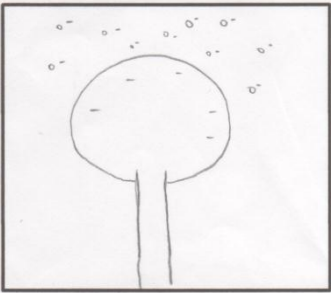
*Natalia: Mmm no se.*

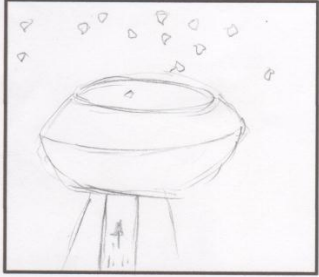
El grupo 2 realiza la experiencia incorrectamente y responden la pregunta sin tanta profundidad. Indican que el electróforo se carga eléctricamente por el contacto de la lámina metálica con el acrílico, y no explican el papel que juega el dedo en el proceso de carga. Esto da a entender que los estudiantes piensan la electricidad como si fuese algún tipo de fluido que pudiéramos transportar de un lado a otro, similar al concepto que se tenía en el siglo XVII de la electricidad en términos de un fluido único y sutil llamado fuego eléctrico.

Los diagramas de los dos grupos son similares y claros, donde ilustran el fenómeno pensando un estado inicial y final en términos macroscópicos.

**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 3. Máquinas electrostáticas.**

**EXPERIENCIA 3.4. Generador Van De Graaff.**

<b>GRUPO 1: ¿Qué ha ocurrido con cada uno de los papeles? Haga un esquema del sistema.</b>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<p>“Cando se enciende el generador se observa que los papelitos se dispersan en diferentes direcciones, esto sucede porque, porque los papelitos adquieren la misma carga que el generador y se repelen entre si”</p>
<b>GRUPO 2: ¿Qué le ha ocurrido a cada uno de los pequeños trozos de papel? Haga un pequeño esquema indicando el fenómeno.</b>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>

	<p><i>“Se electrifican con la misma carga del generador por lo tanto se repelen”</i></p>
---	--

### 7.1.3 Análisis experiencia 3.4

Los dos grupos responden de manera similar al suponer que los papeles se electrifican de la misma carga del generador y por esto se repelen. Los estudiantes no responden a la pregunta directamente, ya que no explican que le ha ocurrido a cada papel. La experiencia cumple con el objetivo esperado ya que los estudiantes pensaron todo el tiempo en la interacción de los papeles y el generador en términos de cargas eléctricas.

## 7.2 Campo eléctrico

En este capítulo se presentan los resultados y el análisis de algunas de las respuestas de los grupos presentadas en las guías orientadoras de campo eléctrico. En el anexo 10.1.2 se encuentran todas las tablas del análisis de las respuestas de los grupos.

**EXPERIENCIA 1.** *Introducción al concepto de campo eléctrico.*

<p><b>PREGUNTA:</b> <i>¿Cuál es la causa para que se produzca este fenómeno en los papeles? ¿Por qué los papeles permanecen separados unos con otros sin que se produzca contacto? ¿Por qué los papeles después de accionar el generador se distribuyen de esta manera y presentan esta geometría?</i></p>	
<p><b>GRUPO 1</b></p>	<p><i>“Los papeles se electrifican con la misma carga, por la cual se separaron unos con otros. Los papeles se distribuyen así debido al campo de cada papel”</i></p>

<b>GRUPO 2</b>	<i>“Teniendo en cuenta, cuando se enciende el generador, ya que los papelitos están neutros, cuando se enciende el generador los papelitos adquieren la misma carga y salen en diferentes direcciones porque tienen la misma carga entre ellos teniendo en cuenta que adquieren la misma carga, salen en diferentes direcciones”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Los papeles quedan con la misma carga del generador, por si eso los papeles no se separan”</i>

### 7.2.1 Análisis experiencia 1

En relación con las respuestas de los grupos de trabajo frente al problema 1 de la guía orientadora, los grupos 1 y 2 interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. El grupo 1 explica que los papeles han adquirido el mismo tipo de carga que el generador y la distribución de los papeles, es debido a la presencia del campo eléctrico. Los grupos 2 y 3, admiten que los papeles adquieren la misma carga eléctrica que el generador, por ello, salen en diferentes direcciones. Los dos grupos explican de manera general la situación, sin recurrir al concepto de campo eléctrico.

### EXPERIENCIA 2

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Por qué el chorro de agua se comporta de esta manera, si no esta haciendo contacto directo con la campana del generador?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“El agua es atraída porque esta tiene algunos compuestos que le permiten ser conductora por tanto se atraen”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Teniendo en cuenta que cuando se enciende el generador, el agua queda polarizada, mas no cargada, teniendo en cuenta al encender el generador la carga que tiene atrae el agua”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Como el generador esta cargado eléctricamente, los átomos que componen el agua están neutros, cuando se acerca el agua al generador se polariza el agua y se ve atraída a él”</i>

### 7.2.2 Análisis experiencia 2

En relación con las respuestas escritas de los grupos de trabajo frente al problema 2 de la guía orientadora, los grupos 2 y 3 interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. Afirman que el agua esta inicialmente neutra y es atraída hacia el generador al ser polarizada. La respuesta del grupo 1 no es clara y la presentan de manera superficial. No piensan en la causa, ni el medio que permite que el agua sea atraída hacia el generador.

### EXPERIENCIA 5. Conceptualización del campo eléctrico.

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Por qué cada pequeño trozo de linaza se comporta de esta manera? ¿Cuál es la causa de este fenómeno? ¿Qué papel juega el aceite vegetal en la experiencia?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Por el campo generado alrededor del objeto (electrodo). La linaza se mueve según el campo porque el electrodo se electrifica. El aceite es solo el medio que le permite a la linaza moverse”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Por la atracción que genera la electrificación del electrodo 1, el cual forma un campo atractivo alrededor de él. Linaza se mueve, altera el espacio ósea altera el aceite, produciendo que la linaza se vea afectada por dicho campo. El electrodo altera el espacio sircundante el cual le llamamos campo eléctrico. La fuerza de atracción que esta dada por el campo eléctrico. El papel del aceite vegetal, permitir a la linaza moverse eficazmente de acuerdo a la fuerza atractiva”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Por qué la linaza sigue el comportamiento de las líneas de fuerza o campo formadas en el aceite vegetal y estas a su vez son formadas por el campo que genera el electrodo al ser electrificados”</i>

### 7.2.3 Análisis experiencia 5

En relación con las respuestas de los grupos de trabajo frente al problema 5 de la guía orientadora, los tres grupos interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco

teórico estudiado. Cada grupo afirma que el electrodo esta cargado eléctricamente y de esta manera, el espacio que lo rodea es afectado. Mencionan que los pequeños trozos de linaza se mueven debido a la presencia del campo eléctrico y se alinean sobre las líneas de fuerza. El grupo 3, es mas especifico, ya que utiliza dentro de sus explicaciones las líneas de fuerza propuestas por Faraday.

Algunos estudiantes del grupo 2, explican el comportamiento de la linaza, suponiendo la existencia de una fuerza atractiva, textualmente dicen: *“El papel del aceite vegetal, permitir a la linaza moverse eficazmente de acuerdo a la fuerza atractiva”*. Estos estudiantes piensan que la reorganización de cada pequeño trozo de linaza, es debido a una fuerza atractiva. Esta hipótesis, en varias oportunidades, la discutimos e hicimos pruebas experimentales, variando el electrodo (*Más o menos*) de la máquina de Wimsurst. Algunos de ellos, no lograron entender que la reorganización de la linaza, para este caso, debía ser idéntica en ambas situaciones y hablar de fuerzas eléctricas atractivas o repulsivas, resultaba infructuoso.

## EXPERIENCIA 6

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Cómo explica la distribución de los pequeños trozos debido a la interacción entre los dos electrodos?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Todas las líneas se unían entre los dos electrodos porque la linaza esta neutra y cada electrodo genera un campo según su forma. Si es (+) hacían un lado y si es (-) hacia el otro”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Los trozos de linaza se distribuyen de acuerdo a la fuerza de atracción alrededor de ellos, proporcionada por el generador y expulsada en signos contrarios gracias al electrodo, en consecuencia a ellos se forman arcos entre ellos, que salen de un electrodo y llega hasta el otro”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Debido a los campos generador por los electrodos cargados se puede ver que la distribución de las semillas en el centro son homogéneos debido a la forma igual de los electrodos”</i>

### 7.2.4 Análisis experiencia 6

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 6 de la guía orientadora, los tres grupos interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. Los estudiantes de cada grupo afirman que cada electrodo genera un campo eléctrico que afecta el medio. También suponen que la distribución del campo eléctrico depende de la geometría del objeto.

Los estudiantes del grupo 2 siguen discutiendo, respecto al comportamiento de la linaza, en términos de las fuerzas eléctricas, unos argumentando a favor y otros en contra.

### EXPERIENCIA 9

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Explique el comportamiento de los trozos de linaza que se encuentran en la mitad de los dos conductores en relación con los de afuera? ¿Cual de los dos electrodos afecta los pequeños trozos de linaza? ¿Cual es la <u>causa</u> de este comportamiento?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Afuera del electrodo (anillo) no se ve algo y dentro de este se ven las líneas de campo que se ven entre los dos electrodos”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Se pudo observar que los trozos que se encuentran dentro de los electrodos experimentos desplazamiento por el contrario en el exterior no experimenta cambio; ambos producen una fuerza neta sobre los granos de linaza, hay un campo generado por dos cilindros debidos alas cargas opuestas produciendo que dicho campo se encuentre en solo ese punto”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Porque hay una interacción tan íntima entre la superficie externa del cilindro y el aro, tanto que solo las líneas rectas adentro pero afuera no”</i>

### 7.2.5 Análisis experiencia 9

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 9 de la guía orientadora, los tres grupos interpretaron la situación correctamente de acuerdo al marco teórico estudiado. El grupo 2 hace un análisis más amplio. Afirman que los únicos trozos de linaza que se ven afectados, son lo que se encuentran en la mitad de los dos electrodos, por consiguiente, los trozos exteriores no presentan ningún cambio. Explican que el campo eléctrico es el causante del movimiento de los trozos de linaza.

Las explicaciones del grupo 1 y 2, son similares y lo hacen de manera superficial, afirman que solo se pueden “ver” las líneas de campo en el interior de los dos electrodos y en el exterior no. Sin profundizar en sus respuestas.

### EXPERIENCIA 12

<i>PREGUNTA: ¿De qué depende la distribución de los trozos de linaza? ¿Qué tipo de interacción producen los electrodos en el medio? ¿Qué ocurriría si invirtiéramos la polaridad de los electrodos?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“De la forma del electrodo. Una interacción eléctrica. Nada porque si cambiáramos la polaridad la distribución de las líneas de campo siguen en el mismo sentido”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Depende de la atracción que generan los campos, estos se atraen ya que poseen cargas distintas, los cual nos demuestra un campo mas fuerte en medio de ellos, en este caso el cambio de polaridad no afecta la atracción”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“De la forma de los electrodos. La interacción es de tipo eléctrica, ya que los cuerpos se encuentran electrificados, por ellos cada uno produce un campo. Campo -Campo atracción. Se reorganiza de la misma forma”</i>

### 7.2.6 Análisis experiencia 12

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 12 de la guía orientadora, los grupos interpretaron la situación correctamente de acuerdo al marco teórico estudiado.

Las respuestas de los grupos 1 y 3 fueron similares. Afirman que la distribución de los trozos de linaza, dependen de la forma de los electrodos. Respecto a la segunda pregunta, los dos grupos responden correctamente, afirman que el tipo de interacción de los dos electrodos es de carácter eléctrico. Además, mencionan que si se llega a invertir la polaridad de los dos electrodos, los trozos de linaza se reorganizarían de la misma manera. El grupo 3 dice: *“Se reorganiza de la misma forma”*. El grupo 1 responde: *“Nada porque si cambiáramos la polaridad la distribución de las líneas de campo siguen en el mismo sentido”*. Este grupo no aclara, cuando menciona que las líneas de campo siguen en el mismo sentido.

El grupo 2 afirma que la distribución de la linaza depende de la atracción que genera el campo eléctrico, textualmente dicen: *“Depende de la atracción que generan los campos”*. Este grupo interpreta la tercera pregunta, mencionando que el cambio de polaridad no afecta la atracción de los dos electrodos, al ser de cargas contrarias. Textualmente dice: *“en este caso el cambio de polaridad no afecta la atracción”*. Este grupo, responde correctamente, ya que la pregunta estaba planteada de manera amplia, llevando a diferentes interpretaciones del problema por parte de los grupos.

## 8. CONCLUSIONES

- Algunas de las dificultades que presentan los estudiantes del curso de electromagnetismo I, cuando se enfrentan ante situaciones problemáticas a partir de experimentos, quizá sea porque no tienen experiencia en el montaje de actividades de laboratorio. A pesar de darles indicaciones iniciales y presentarles una imagen con el montaje a realizar, la gran mayoría de estudiantes presentan dificultades al realizar los montajes y realizar las experiencias.
- Las prácticas experimentales favorecen la motivación y disposición de los estudiantes para el estudio de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico. Lo cual se evidencio, a partir, de las prácticas experimentales en la que algunos estudiantes mejoraron en el uso de las herramientas de laboratorio y sus explicaciones daban cuenta del campo conceptual en que el cuál se diseñaron cada una de las 25 experiencias propuestas.
- Dar una breve introducción a cada experiencia, fue de gran ayuda. Primero, permitió contextualizarlos en una problemática de una época determinada. Segundo, darles las indicaciones adecuadas de seguridad.
- Debido a las respuestas de las cuatro primeras experiencias de la guía orientadora 1, fue posible evidenciar que las prácticas experimentales permiten poner en contraste la teoría con la práctica, tal como se evidencia en el análisis que se hizo a cada una ellas.
- Como se evidencia en el análisis de la guía orientadora 2, las prácticas experimentales permitieron la ampliación en la comprensión del concepto de campo eléctrico en los estudiantes.
- Gracias a la secuencia de enseñanza, puedo concluir que cada una de las experiencias y preguntas presentadas en las guías orientadoras, permitieron a los estudiantes, ampliar las comprensiones de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico.
- Los estudiantes en pocas ocasiones buscan explicar el fenómeno, a partir del marco teórico estudiado en las clases previas, por lo contrario recurren a lo que sus conocimientos previos les han permitido conocer.

- La construcción de las máquinas electrostáticas y demás equipos que hicieron parte de mi investigación, me permitieron entender con mayor profundidad los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, J., A. (2004). *El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.

De pro, A., & Pontes, A. (2001). *Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores*. *Enseñanza de las Ciencias* .

Bitter, Francis. (1956). *Corrientes, campos y partículas*. Publicación del M.I.T. Pág. 40, 60.

Franklin, Benjamín. (1988). *Experimento y observaciones sobre electricidad*. Alianza editorial. Pág. 5, 200.

Furió, C., y Guisasola, J. (1999). *Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento*. Enseñanza de las Ciencias.

Furió, C., Guisasola, J., Zubimendi, J.L. (1988). *Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales*. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Valencia, España. pp. 165-188.

Gomez, P., Gonzales, E. (2012). *Las ecuaciones de Maxwell*. Pág. 3, 20.

Guisasola, J., Zubimendi, J; Almudí, J., y Ceberio, Mikel. (2008). *Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad: estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica*. Departamento de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco. Enseñanza de las ciencias.

Guisasola, J., Almudí, J., y Ceberio, M. (2003). *Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección*. Enseñanza de las Ciencias.

Guzmán., Alonso, A., Pouliquen, Y., Sevilla E. (1996). *Las metodologías participativas de la investigación: un aporte al desarrollo local endógeno*. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos, ETSIAM, Córdoba.

Hodson, D. (1994). *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Enseñanza de las ciencias.

Kraus John D., Fleisch Daniel A. (2000). *Electromagnetismo con Aplicaciones*. Edición 5. Pág. 692.

Llancaqueo, A. (2006). *El aprendizaje del concepto de campo en física: conceptualización, progresividad y dominio*. Programa internación de doctorado enseñanza de las ciencias. Departamento de didácticas específicas. Universidad de Burgos. Tesis Doctoral. Pág. 1, 25.

Llancaqueo, A., Caballero C. y Moreira, M. (2003). *El concepto de campo en el aprendizaje de la física y en la investigación en educación en ciencias*. Enseñanza de las Ciencias.

Londoño, v. Germán. (2009). *Aprovechamiento didáctico de un parque temático para generar actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias naturales*. Universidad de Valencia. Tesis Doctoral.

Maldonado, Natividad. (1987). *Los experimentos cruciales de R. A. Millikan el efecto fotoeléctrico y la carga del electrón*. Universidad Pedagógica Nacional, Departamento de Física. Tesis Maestría. Bogotá.

Morton, T. (1976). *Enfoque sobre Física – Electricidad y Magnetismo I Electrostática*.

Ortiz, M., Castillo, R. (2009). *El experimento como herramienta didáctica para la enseñanza de campo eléctrico y magnético*. Licenciatura en Física. Universidad Pedagógica Nacional. Tesis de pregrado. Bogotá.

Perez, Gil. (1993). *Contribución en la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación*. Historia y epistemología de las ciencias. Universidad de Valencia. Enseñanza de las Ciencias.

Pontes, A., y De Pro, A. (2001). *Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores*. Enseñanza de las Ciencias.

Pujal Cabrera Marcos. (2005). *Electricidad y Magnetismo*. Reverte. Pág. 16, 35.

Salinas De Sandoval, J., Cudmani, L.C. y Pesa De Danón. (1996). *Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico*. Enseñanza de las Ciencias.

Restrepo, C. (2010). *Campos eléctrico y magnético: realidad o recurso matemático su enseñanza en electrostática*. Departamento de Física. Universidad Pedagógica Nacional. Tesis de pregrado. Bogotá.

Rodríguez, M., González, A., Bellver, C. (1995). *Campos electromagnéticos*. Secretariado de la Universidad de publicaciones de la Universidad de Sevilla. Pág. 90, 104.

Séré, Marie-Geneviève. (2002). *La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia?* enseñanza de las ciencias.

Ubaque, Y. (2009). *Experimento: una herramienta fundamental para la enseñanza de la física*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Vol. 4 No. Pg. 35 - 40.

William Berkson. (1985). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Alianza Editorial.

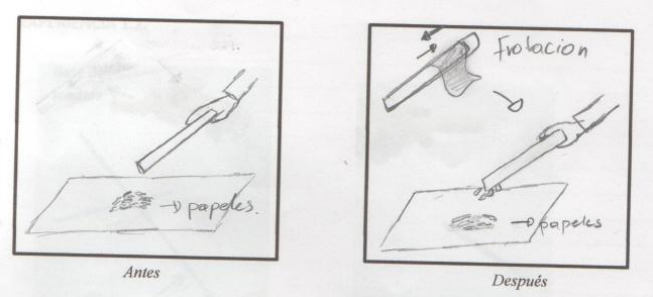
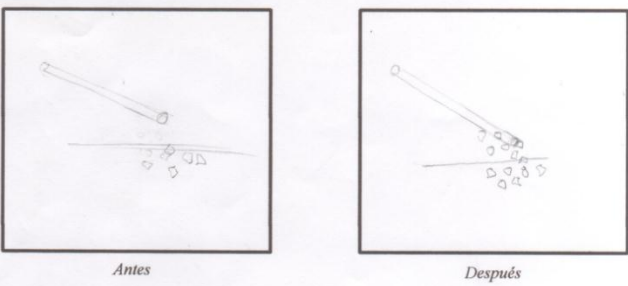
Zajonc, Arthur. (1995). *Atrapando la luz, historia de la luz y de la mente*. Editorial Andrés bello. Pág. 259, 280.

## 10. ANEXOS

### 10.1 ANEXO 1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

#### 10.1.1 Análisis de las respuestas de la guía orientadora de carga eléctrica

#### EXPERIENCIA 1.1

GRUPO 1: ¿Cómo explica ese proceso antes y después de frotar el tubo? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.	
<i>Representación gráfica</i>	<i>Respuesta</i>
	<p>“al frotar vigorosamente la varilla de vidrio obtiene una carga y al acercarlo levemente se observa la atracción de los trozos de papel hacia la varilla por inducción eléctrica”</p>
GRUPO 2: ¿Qué ocurrió con el paño y la barra después de frotarla? Dibuje el sistema antes y después de ser frotado.	
<i>Representación gráfica</i>	<i>Respuesta</i>
	<p>“la barra queda cargada y atrae los papeles, con el paño no pasa nada”</p>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 1.1

La respuesta de los dos grupos es similar, indicando que la varilla queda cargada debido al contacto con el paño. El grupo 1 especifica cual ha sido el proceso de carga de la varilla (por fricción) y cómo afecta a los pequeños trozos de papel, explicándolo correctamente en términos de inducción eléctrica, de acuerdo al marco teórico estudiado. El grupo 2 responde sin profundidad y explican que la varilla ha quedado cargada eléctricamente por el contacto con el paño, sin explicar la interacción con los pequeños trozos de papel. Los estudiantes hacen afirmaciones como las siguientes, que no escribieron en sus conclusiones, pero que si se evidencia en el registro de la grabación:

Grupo 1.

*Jairo: ¿Se atrae?*

*Jonathan: Si.*

*Jairo: Entonces si es mas por el vidrio que por el paño.*

*Natalia: Por eso antiguamente llamaban plástico y vidrio.*

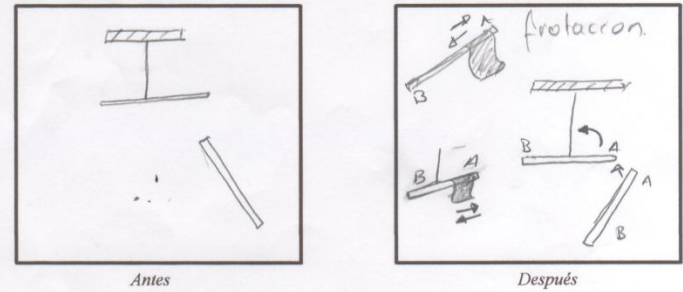
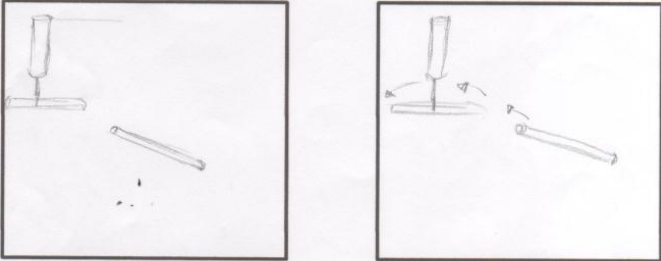
*Darío: Aja.*

Los esquemas son semejantes e ilustran el efecto de la varilla en los papeles a nivel macroscópico, que era lo esperado, ya que los estudiantes se situaron en un problema que perduro desde los antiguos griegos hasta científicos del siglo XVII y XVIII el cual era dar respuesta a fenómenos asociados con objetos cargados eléctricamente. De esta manera se les presenta a manera introductoria el concepto de carga eléctrica.

## EXPERIENCIA 1.2

**GRUPO 1:** *¿Explique la interacción entre las dos barras? Dibuje el sistema antes y después de frotar.*

<i>Representación gráfica</i>	<i>Respuesta</i>
-------------------------------	------------------

 <p style="text-align: center;">Antes                      Después</p>	<p>“al momento de frotar los dos tubos plásticos con el paño adquieren la misma carga, lo cual genera una fuerza de repulsión entre ellos”</p>
<p><b>GRUPO 2:</b> ¿Por qué las dos barras se manifiestan de tal manera? Dibuje el sistema antes y después de frotar.</p>	
<p><b>Representación gráfica</b></p>	<p><b>Respuesta</b></p>
 <p style="text-align: center;">Antes                      Después</p>	<p>“se repelen porque quedaron electrificados de la misma manera”</p>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 1.2

Los grupos responden correctamente la pregunta suponiendo que los dos cuerpos se han cargado de igual forma al frotar los tubos con el mismo paño. Los estudiantes responden y explican sus respuestas en términos de fuerzas eléctricas, situándose en un modelo propuesto en el siglo XVIII donde explicaban las interacciones de cuerpos cargados a partir de acciones a distancia.

Los estudiantes hacen un esquema del sistema a nivel macroscópico, de lo observable y representan el efecto que produce un tubo con respecto al otro. Dibujo que se esperaba ya que en el contexto que se les ubica (siglo XVII) las representaciones que se asignaban para explicar los fenómenos eléctricos no se pensaban directamente a pequeñas partículas, lo explicaban a partir de su experiencia.

### EXPERIENCIA 1.3

**GRUPO 1:** *¿Cómo podría saber que un cuerpo se encuentra cargado eléctricamente? Explique su respuesta.*

**Respuesta**

*“Se puede conocer o observar si un cuerpo esta eléctricamente acercándole un cuerpo neutro, ya que siempre tendera a atraerlo”*

**GRUPO 2:** *¿Si necesita saber que un cuerpo esta o no cargado eléctricamente, que usaría para saberlo? Explique su respuesta.*

**Respuesta**

*“acercando un objeto neutro, si se atraen el cuerpo esta cargado si no se atraen es neutro”*

### ANÁLISIS EXPERIENCIA 1.3

Los estudiantes de los dos grupos responden de forma similar, pensando en cuerpos inicialmente neutros y como se ven afectados al acercarlos un cuerpo cargado eléctricamente. Esta experiencia permitió a los estudiantes entender cual era la importancia de la invención del primer electroscopio (*Versorium*) construido por William Gilbert, ya que permitió la clasificación de los primeros materiales como conductores y no conductores.

### EXPERIENCIA 1.4

**GRUPO 1:** *¿Con los materiales que dispone a lo largo de las tres experiencias anteriores como podría demostrar la existencia de los dos tipos de carga eléctrica? Explique su respuesta.*

**Respuesta**

*“Al momento de frotar las dos varillas de plástico con el mismo paño, se observa que se repelen. Al momento de frotar con el mismo paño a una varilla de vidrio y se acerca al tubo de plástico aislado se atraen, se aclara sin la necesidad de tocarse ente ellos”*

**GRUPO 2:** *¿Con los materiales que dispone a lo largo de las tres experiencias anteriores como podría demostrar la existencia de los dos tipos de carga eléctrica? Explique su respuesta.*

***Respuesta***

*“demostraríamos los dos tipos de carga al electrificar la barra de vidrio, plástico (colgante y no colgante) al ver que las barras de vidrio y colgante se atraen y que la barra plástica no colgante y colgante se repelen”*

#### **ANÁLISIS EXPERIENCIA 1.4**

Los estudiantes de cada grupo proponen una serie de experiencias para contestar a la pregunta correctamente, los dos grupos llegan (como se esperaba) a la misma conclusión, comprobando experimentalmente la existencia de los dos tipos de carga eléctrica. Los estudiantes hacen afirmaciones en la experiencia como la siguiente:

*Grupo 1.*

*Darío: Con el vidrio atrae, con el plástico repele.*

*Jonathan: Una varilla de plástico al acercarle otra varilla de plástico.*

*Jairo: Cargadas...*

*Jonathan: Cargadas las dos, se repelen.*

*Natalia: Con el mismo paño.*

*Jairo: Pero una varilla de vidrio y una de plástico cargada con el mismo paño se atraen.*

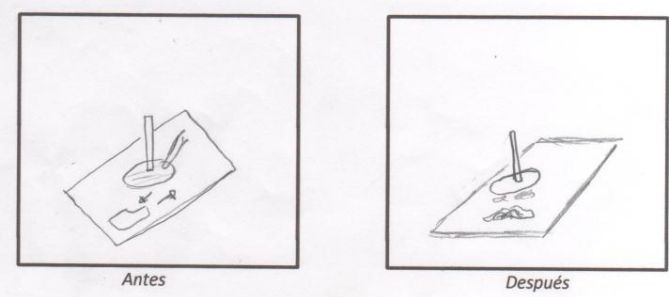
*Jonathan: Correcto.*

En esta experiencia se les plantea un problema que tardo mucho tiempo en resolverse y era buscar una explicación que diera cuenta de la causa de los fenómenos de atracción y repulsión. Siendo Benjamín Franklin siglo XVII el primero en introducir los conceptos de carga positiva y negativa, indicando el exceso y déficit de un fluido único y sutil que el llamaba fuego eléctrico.


**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 2. Conceptualización de carga eléctrica.**

**EXPERIENCIA 2.1.**

**GRUPO 1:** ¿Qué ocurre con el disco metálico? ¿Explique el proceso de carga del electróforo? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.

<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<p>“se hace el procedimiento de frotar el acrílico ósea electrificar el acrílico, se ubica el electróforo sobre el acrílico, y al tocarlo con el dedo se induce electricidad al metal a través del dedo, al acercarlo a los papelitos se acercan al metal que esta cargado”</p>

**GRUPO 2:** ¿Cuál ha sido la forma en que se cargo el electróforo? ¿Por qué hay poner el dedo en la parte conductora? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.

<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<p>“el electróforo se cargo al hacer contacto con el acrílico. Al colocar el dedo en la parte conductora el electróforo se descarga”</p>

**ANÁLISIS EXPERIENCIA 2.1**

Los estudiantes del grupo explican el proceso de carga del electróforo de una manera superficial y sus razonamientos no son correctos de acuerdo al marco teórico estudiado.

Concluyen que el disco metálico queda cargado por inducción debido a la presencia del dedo. En la discusión que se origina en el transcurso de la experiencia y no muestran como conclusión, pero si se evidencia en la grabación, hacen afirmaciones como la siguiente:

*Grupo 1.*

*Jonathan: Para que hay que poner el dedo? Para mantenerlo descargado.*

*Paul: si. Para descargarlo. Vea si le pongo el dedo se descarga.*

*Grupo 2.*

*Carlos: Por qué se debe de tocar esto (indica la parte metálica)*

*Jairo: No se. Eso es lo que no entiendo, por qué se debe de tocar eso.*

*Jonathan: Porque la descarga cuando la toca.*

*Jairo: Por eso si yo hago esto y luego hago esto (ubicando el electróforo en el acrílico y luego el dedo en la superficie metálica).*

*Jonathan: Pues usted esta recibiendo toda la carga.*

*Jairo: luego lo quito. Pero sigue cargada.*

*Natalia: Aquí lo que hay que analizar, es que como él lo esta frotando con el paño, yo no toco el acrílico, por eso cuando lo pongo sobre el acrílico aun queda cargado. Ósea yo no lo despliego del acrílico y luego lo toco y después pongo los papelitos, si no que por eso lo dejo ay por eso queda cargado.*

*Jairo: Que pasa si no lo toco y lo acerco a los papelitos.*

*Natalia: Mmm no se.*

El grupo 2 realiza la experiencia incorrectamente y responden la pregunta sin tanta profundidad. Indican que el electróforo se carga eléctricamente por el contacto de la lámina metálica con el acrílico, y no explican el papel que juega el dedo en el proceso de carga. Esto da a entender que los estudiantes piensan la electricidad como si fuese algún tipo de fluido que pudiéramos transportar de un lado a otro, similar al concepto que se tenia en el siglo XVII de la electricidad en términos de un fluido único y sutil llamado fuego eléctrico.

Los diagramas de los dos grupos son similares y claros, donde ilustran el fenómeno pensando un estado inicial y final en términos macroscópicos.

## EXPERIENCIA 2.2.

<b>GRUPO 1:</b> <i>¿Por qué la carga eléctrica para ser transportada, debe de estar aislada de la tierra? Explique su respuesta.</i>
<b>Respuesta</b>
<i>“un ejemplo de ellos son los rayos en una tormenta, y es que los rayos son atraídos a la tierra, lo que indica que la tierra es un gran conductor por su tamaño. A raíz de ello que la electricidad debe de estar totalmente aislado de la tierra”</i>
<b>GRUPO 2:</b> <i>¿Por qué la carga eléctrica para ser transportada, debe de estar aislada de la tierra? Explique su respuesta.</i>
<b>Respuesta</b>
<i>“Porque la tierra es un superconductor y si no se aísla la carga es atraída a la tierra”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 2.2

Los dos grupos razonan correctamente al afirmar que la tierra es un gran conductor eléctrico y por esto la electricidad debe de estar aislada de la tierra. El grupo 1 ilustra con un ejemplo muy claro, asociando las interacciones de la tierra y nubes en términos de electricidad estática, acorde con el marco teórico estudiado. Los estudiantes hacen analogías como las siguientes, evidenciadas en la grabación, cuando el profesor les da una indicación:

*Paul: Similar a las torres eléctricas.*

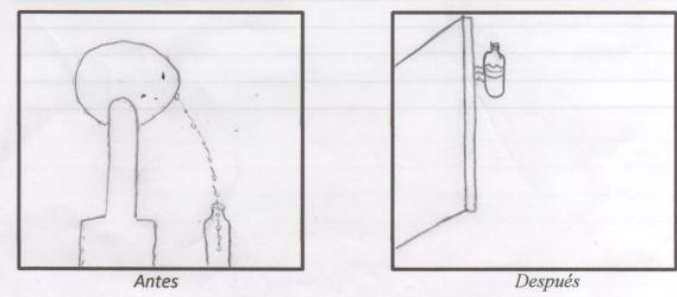
*Jonathan: O similar cuando usted toca el dedo encima (señalando con el dedo el electróforo).*

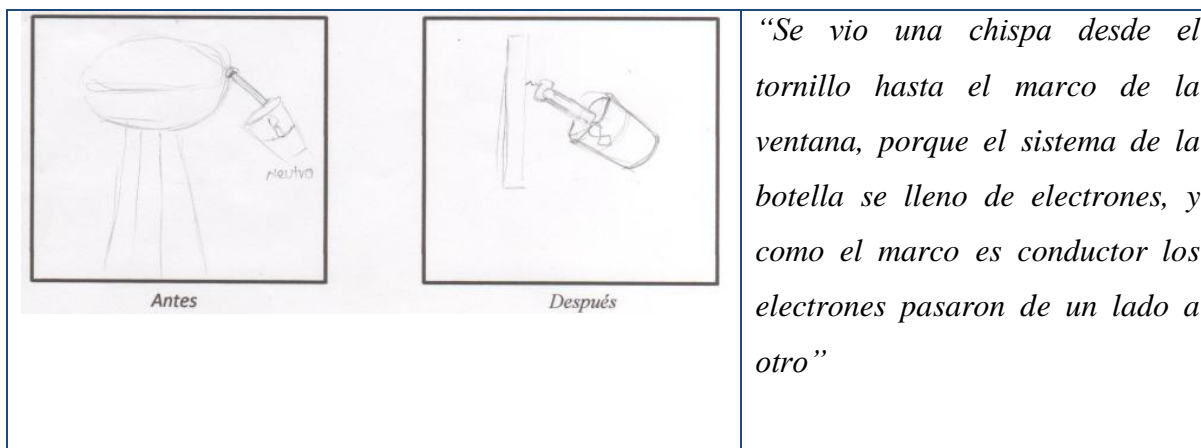
El profesor menciona el aporte de Stephen Gray al lograr transportar cargas eléctricas de un sitio a otro. De esta manera introduce, además, una discusión en los estudiantes, sobre los materiales que disponen en esta experiencia en términos de su conducción eléctrica.

**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 3. Máquinas electrostáticas.**

**EXPERIENCIA 3.1. Botella de Leyden.**

**GRUPO 1:** *¿Qué puede decir del fenómeno que ocurre en la botella? Explique que ha ocurrido en este proceso? Dibuje el sistema antes y después.*

<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<p><i>“Al inducir electricidad al agua, el agua queda electrificada y al estar en recipiente aislador es mas difícil descargarlo. Al momento de acercarlo al marco de la ventana, que es un metal, se percibe un sonido de chispa eléctrica y a la vista se percibe como si se formara colores dentro de la botella. Como el agua estaba contenida en ese recipiente, para descargarla le dimos vueltas tocando la botella. Al momento de sujetarla, la persona sintió un corrientazo que sonó mas duro que al contacto con la ventana”</i></p>
<p><b>GRUPO 2:</b> <i>¿Qué puede decir del fenómeno que ocurre en la botella? Explique que ha ocurrido en este proceso? Dibuje el sistema antes y después.</i></p>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>



### ANÁLISIS EXPERIENCIA 3.1

El grupo 1 explica el fenómeno que ocurre en la botella de manera general y suponen una inducción eléctrica en el agua. El grupo 2 habla de una acumulación de cargas al hacer afirmaciones como: “la botella se lleno de electrones” este grupo razona correctamente al hablar de la botella como un gran acumulador de cargas eléctricas en concordancia con el marco teórico estudiado. En la realización de la experiencia discuten sobre el procedimiento y realizan afirmaciones que se evidencia en le grabación, por ejemplo:

*Jairo: Si toco la botella me pasa.*

*Profesor: si, pero es muy leve.*

*Natalia: Sabes que es lo que pasa. Mejor cógela y mira como los colorcitos que se forman dentro.*

*Natalia: Si los ves?*

*Jairo: No, pero si escucho.*

Se les presenta a los estudiantes la botella de Leyden con el objetivo de estudiar el fenómeno que ocurría en ella en términos de cargas eléctricas y no buscaba explicar como es su funcionamiento.


**EXPERIENCIA 3.2. Máquina de Wimshurst.**

**GRUPO 1:** Haga un pequeño diagrama donde indique con signos (positivos y negativos) el proceso de carga en la máquina. Por qué se produce esa chispa entre las dos esferas (Fig. a<sub>10</sub>).

<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
<p>The diagram consists of two hand-drawn sketches. The first sketch, labeled 'Antes', shows a hand holding a rod over a rectangular plate labeled 'papeles'. The second sketch, labeled 'Después', shows the same hand holding the rod after it has been rotated, with an arrow indicating the direction of rotation and the word 'frotación' written above it. The plate 'papeles' is also present in the second sketch.</p>	<p>“Porque las dos varillas se cargan de tal manera que cada una adquiere carga opuesta generando interacción electrostática. Cuando están separadas las varillas se cargan tanto que vencen la resistencia eléctrica del aire y genera un arco eléctrico conductor que transporta la carga eléctrica de una varilla a otra. la máquina de Wimshurst funciona, al momento de girar como giran contrariamente , generan cargas opuesta. Por lo cual los generadores quedan con carga y se genera la chispa”</p>

**GRUPO 2:** Haga un pequeño diagrama donde indique con signos (positivos y negativos) el proceso de carga en la máquina. Por qué se produce esa chispa entre las dos esferas (Fig. a<sub>10</sub>).

<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<p>“Porque viajan electrones de una esfera a otra. Hay un momento en que la carga es tan grande y además existe un medio conductor, porque estamos sumergido en un fluido, que permite ese salto de electrones de una esfera a</p>

	<i>otra”</i>
---	--------------

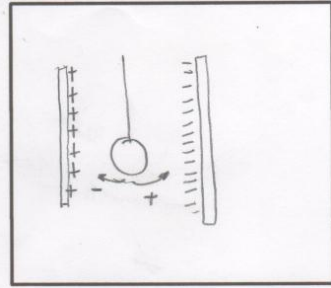
### ANÁLISIS EXPERIENCIA 3.2

El grupo 1 responde correctamente al afirmar una interacción electrostática entre las dos barras de descarga de la máquina ocasionando la ruptura del dieléctrico. Los estudiantes comprenden que el aire no es conductor eléctrico, pero que la interacción de las dos barras de descarga rompe la resistencia del aire. El grupo 2 responde a la pregunta, indicando que viajan electrones de una esfera a otra, pero no indican cual es la forma en la que viajan. Las conclusiones de los dos grupos fueron satisfactorias llegando al resultado esperado, ya que la experiencia dirigió a los estudiantes a discutir sobre el medio (aire) si es o no conductor y como se produce dicha ruptura.

El esquema que presenta el grupo 2 es valido, ya que una botella de Leyden se carga negativamente y la otra positivamente, aunque obvian la carga que se origina en los segmentos de los dos discos y la función de las dos barras neutralizadoras.

### EXPERIENCIA 3.3

<b>GRUPO 1:</b> <i>¿Por qué la esfera se comporta de esta manera? ¿La esfera esta, estará o nunca esta cargada eléctricamente. Explique su respuesta.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<i>“Cuando accionamos la máquina, al darle manivela se carga eléctricamente las placas,</i>



*posteriormente se observa que la pelota suspendida describe un movimiento periódico, producida ya que al tener interacción adquiere la misma carga de una placa determinada, produciendo que sea repelida constantemente, ya que, por cada choque con la placa adquiere la misma carga de la placa en estudio”*

**GRUPO 2:** *¿Por qué la esfera se comporta de esta manera? ¿La esfera está, estará o nunca está cargada eléctricamente. Explique su respuesta.*

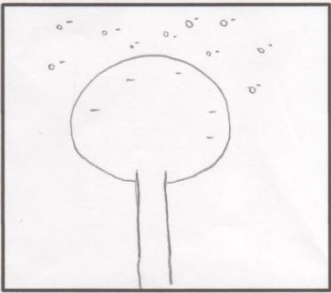
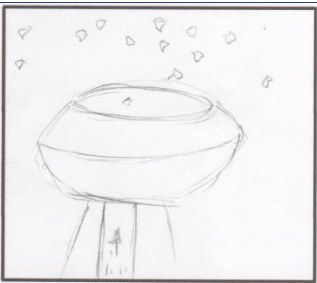
### ***Respuesta***

*“Las campanas se cargan con distintos tipos de electricidad y la esfera por estar neutra se siente atraída hacia una de las campanas y al tocarla adquiere la carga de la misma, por ende se repele y es atraída a la otra campana, donde sucede lo anterior, hasta que se descargan”*

### **ANÁLISIS EXPERIENCIA 3.3**

Ambos grupos responden de manera similar admitiendo que la esfera está neutra y luego es atraída, por inducción, por una de las láminas y al contacto con la lámina adquiere el mismo tipo de carga, siendo repelida y a su vez atraída por la otra lámina, repitiendo este proceso varias veces. Los grupos discuten ampliamente el problema llegando a conclusiones esperadas por la experiencia, ya que los estudiantes discuten el proceso de carga y descarga de la esfera y cómo las dos láminas ocasionan el movimiento pendular en la esfera, pensando en términos de cargas eléctricas.

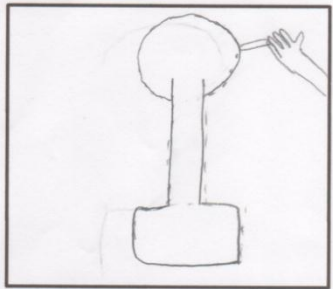
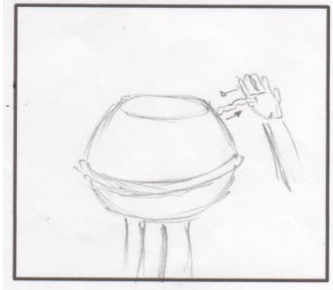
### EXPERIENCIA 3.4. *Generador Van De Graaff.*

<b>GRUPO 1:</b> <i>¿Qué ha ocurrido con cada uno de los papeles? Haga un esquema del sistema.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<i>“Cando se enciende el generador se observa que los papelitos se dispersan en diferentes direcciones, esto sucede porque, porque los papelitos adquieren la misma carga que el generador y se repelen entre si”</i>
<b>GRUPO 2:</b> <i>¿Qué le ha ocurrido a cada uno de los pequeños trozos de papel? Haga un pequeño esquema indicando el fenómeno.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<i>“Se electrifican con la misma carga del generador por lo tanto se repelen”</i>

### ANALISIS EXPERIENCIA 3.4

Los dos grupos responden de manera similar al suponer que los papeles se electrifican de la misma carga del generador y por esto se repelen. Los estudiantes no responden a la pregunta directamente, ya que no explican que le ha ocurrido a cada papel. La experiencia cumple con el objetivo esperado ya que los estudiantes pensaron todo el tiempo en la interacción de los papeles y el generador en términos de cargas eléctricas.

### EXPERIENCIA 3.5.

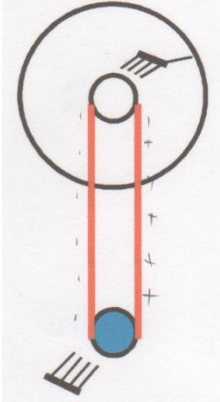
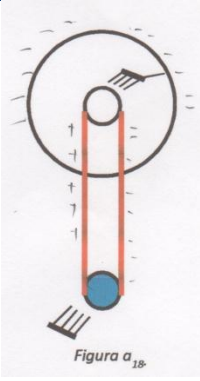
<b>GRUPO 1:</b> <i>¿Qué puede decir del comportamiento de la tira de papel? Haga un dibujo del sistema.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<i>“Al encender el generador, electrifica el papel con la misma carga que tiene el generador, con lo cual al acercarse la mano que tiene carga neutra atrae el papel hacia la mano, hasta que la mano adquiere la misma carga que al papelito y lo repele”</i>
<b>GRUPO 2:</b> <i>¿Qué puede decir del comportamiento de la tira de papel? Haga un dibujo del sistema.</i>	
<b>Representación gráfica</b>	<b>Respuesta</b>
	<i>“La tira de papel se carga con el mismo tipo de electricidad que la máquina, haciendo que se repela y cuando toca la mano el papel este se descarga siendo atraído nuevamente por la máquina”</i>

### ANÁLISIS EXPERIENCIA 3.5

Los dos grupos responden de manera similar, al suponer que el papel adquiere el mismo tipo de carga que el generador y es repelido hacia la mano, pero no explican detalladamente el comportamiento del papel con la mano. Las representaciones de los dos grupos es

superficial, ya que indican a nivel macroscópico el comportamiento del papel y no pensando en la inducción de las cargas eléctricas.

### EXPERIENCIA 3.6.

<p><b>GRUPO 1:</b> Haga una breve descripción de la máquina de Van De Graaff. Con la imagen anterior represente por medio de signos (más y menos) indicando la distribución de cargas en el proceso. Explique su respuesta.</p>	
<p><b>Representación gráfica</b></p> 	<p><b>Respuesta</b></p> <p>“Creemos que cuando se enciende la máquina carga eléctricamente la banda, con carga negativa la cual se transporta a la cúpula del generador, lo cual, al llegar a la cúpula las escobillas de arriba, cambian de carga la banda, a una carga positiva”</p>
<p><b>GRUPO 2:</b> Haga una breve descripción de la máquina de Van De Graaff. Con la imagen anterior represente por medio de signos (más y menos) indicando la distribución de cargas en el proceso. Explique su respuesta.</p>	
<p><b>Representación gráfica</b></p>  <p>Figura a<sub>18</sub></p>	<p><b>Respuesta</b></p> <p>“Se carga la cinta y llega a arriba por ser de materiales diferentes debería tener dos tipos de carga. La cinta se carga con la fricción, entre las escobillas y el teflón de esta llega a la barra de aluminio y a las escobillas, por inducción y se carga la campana del generador”</p>

### ANÁLISIS EXPERIENCIA 3.6

El grupo 1 explica que al encender la máquina la banda se carga eléctricamente por el contacto con los colectores, pero la explicación que hacen no es correcta ya que los colectores no están haciendo contacto con la banda, ignorando la fricción producida por la banda con la polea de teflón. En cambio, en la realización de la experiencia afirman como se evidencia en la grabación correctamente, por ejemplo:

*Profesor: Las escobillas que función tienen?*

*Paul: Recoger la esta...*

*John Fredy: Lo que usted dice el efecto punta.*

*Lucho: Cargarse por inducción.*

*Profesor: Pero en ningún momento la esta tocando.*

*Paul: Ay Hay carga por inducción.*

*Jonathan: Se polariza.*

*Pal: claro.*

No es clara la respuesta del grupo 2 y las afirmaciones que dan son incorrectas de acuerdo al marco teórico estudiado, ya que suponen que la banda es cargada eléctricamente por fricción entre la escobilla y el teflón, no siendo de esta manera, ya que las escobillas no tocan la banda y mucho menos la polea. La banda se carga eléctricamente debido a la fricción entre esta y la polea de teflón.

En general los dos grupos arrojan supuestos que se basan en su sentido común evidenciado en sus discusiones, y no teniendo en cuenta el marco teórico estudiado. Esto indica que los estudiantes a pesar que se les da una serie de instrucciones y disponen de materiales de ayuda (libros, internet, entre otros) no los utilizan como apoyo teórico y así explicar con mayor profundidad los problemas presentados.

Los esquemas no son claros, ya que no muestran la dirección en la que se mueve la banda y representan la campana cargada eléctricamente pero en su explicación no lo hacen evidente y mucho menos explican cual ha sido este proceso.

## CONCLUSIONES

<b>GRUPO 1</b>	<i>“De acuerdo a las observaciones realizadas se pudo observar que el fenómeno de electricidad es interesante ya que de acuerdo a lo básico se logro grandes avances. Es impresionante ver lo que utilizamos día a día, se puede ver en algo tan simple como un experimento en clase. Es interesante conocer, observar y analizar un fenómeno de la naturaleza, como la electricidad, ver un poco el proceso de la historia de como el ser humano controla la electricidad, y en la evolución se ha desarrollado aparatos para poder controlar la electricidad. Los experimentos realizados en la practica permiten proponer modelos, funcionales de comportamiento de las fuerzas electrostáticas, que sirven para dar explicación a diferentes fenómenos electrostáticos”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Todos los objetos se pueden cargar por fricción y existen dos tipos de cargas. Existen dos tipos de carga y es posible ver el movimiento de los electrones con las chispas. La polarización no necesita de contacto”</i>

### 10.1 2. Análisis de las respuestas de la guía orientadora de campo eléctrico

#### **EXPERIENCIA 1.** *Introducción al concepto de campo eléctrico.*

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Cuál es la causa para que se produzca este fenómeno en los papeles? ¿Por qué los papeles permanecen separados unos con otros sin que se produzca contacto? ¿Por qué los papeles después de accionar el generador se distribuyen de esta manera y presentan esta geometría?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Los papeles se electrifican con la misma carga, por la cual se separaron unos con otros. Los papeles se distribuyen así debido al campo de cada papel”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Teniendo en cuenta, cuando se enciende el generador, ya que los papelitos están neutros, cuando se enciende el generador los papelitos adquieren la misma carga y salen en diferentes direcciones porque</i>

	<i>tienen la misma carga entre ellos teniendo en cuenta que adquieren la misma carga, salen en diferentes direcciones”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Los papeles quedan con la misma carga del generador, por si eso los papeles no se separan”</i>

## **ANÁLISIS EXPERIENCIA 1**

En relación con las respuestas de los grupos de trabajo frente al problema 1 de la guía orientadora, los grupos 1 y 2 interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. El grupo 1 explica que los papeles han adquirido el mismo tipo de carga que el generador y la distribución de los papeles, es debido a la presencia del campo eléctrico. Los grupos 2 y 3, admiten que los papeles adquieren la misma carga eléctrica que el generador, por ello, salen en diferentes direcciones. Los dos grupos explican de manera general la situación, sin recurrir al concepto de campo eléctrico.

## **EXPERIENCIA 2**

<b><i>PREGUNTA:</i></b> <i>¿Por qué el chorro de agua se comporta de esta manera, si no esta haciendo contacto directo con la campana del generador?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“El agua es atraída porque esta tiene algunos compuestos que le permiten ser conductora por tanto se atraen”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Teniendo en cuenta que cuando se enciende el generador, el agua queda polarizada, mas no cargada, teniendo en cuenta al encender el generador la carga que tiene atrae el agua”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Como el generador esta cargado eléctricamente, los átomos que componen el agua están neutros, cuando se acerca el agua al generador se polariza el agua y se ve atraída a él”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 2

En relación con las respuestas escritas de los grupos de trabajo frente al problema 2 de la guía orientadora, los grupos 2 y 3 interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. Afirman que el agua esta inicialmente neutra y es atraída hacia el generador al ser polarizada. La respuesta del grupo 1 no es clara y la presentan de manera superficial. No piensan en la causa, ni el medio que permite que el agua sea atraída hacia el generador.

## EXPERIENCIA 3

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿El comportamiento de la llama de la vela es el mismo en todos los puntos que rodean la campana del generador?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Como el fuego esta compuesta por moléculas estas también pueden cargarse igual que el generador y se repelen”</i>
<b>GRUPO 2</b>	No responde.
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Por reacciones química la llama de la vela tiene una electrificación igual al generador y se ve como se repele el fuego por el generador”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 3

En relación con las respuestas de los grupos de trabajo frente al *problema 3* de la guía orientadora, los grupos 1 y 3 interpretaron incorrectamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. El grupo 1 explica que la llama al estar compuesta por moléculas puede cargarse eléctricamente. Ya que la llama, al acercarse al generador se polariza, mas no es cargada eléctricamente.

El grupo 3 explica el problema a partir de reacciones químicas. Suponen que la llama es electrificada y de esta manera es repelida por el generador. La respuesta de éste grupo no

es correcta bajo el marco teórico estudiado, ya que dan a entender que la llama, es electrizada por reacciones químicas y no por una distribución de cargas, debido a la presencia del campo eléctrico del generador.

#### **EXPERIENCIA 4.**

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Explique cual es la causa para que la lámpara se comporte de esta manera? ¿Por qué ocurre este fenómeno a pesar que la lámpara no toque la campana?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“La lámpara se prende debido a que esta se polariza al acercarse al campo del generador”</i>
<b>GRUPO 2</b>	No responde.
<b>GRUPO 3</b>	No responde.

#### **ANÁLISIS EXPERIENCIA 4**

En relación con las respuestas de los grupos de trabajo frente al *problema 4* de la guía orientadora, los grupos no responden a la pregunta planteada. El grupo 1 afirma que la lámpara se enciende al ser polarizada por el campo eléctrico del generador y no conciben el generador como un acelerador de partículas. Los grupos 2 y 3, no respondieron ya que no disponían de más tiempo.

#### **EXPERIENCIA 5. Conceptualización del campo eléctrico.**

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Por qué cada pequeño trozo de linaza se comporta de esta manera? ¿Cuál es la causa de este fenómeno? ¿Qué papel juega el aceite vegetal en la experiencia?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Por el campo generado alrededor del objeto (electrodo). La linaza se mueve según el campo porque el electrodo se electrifica. El aceite es solo el medio que le permite a la linaza moverse”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Por la atracción que genera la electrificación del electrodo 1, el cual forma un campo atractivo alrededor de él. Linaza se mueve, altera el</i>

	<i>espacio ósea altera el aceite, produciendo que la linaza se vea afectada por dicho campo. El electrodo altera el espacio sircundante el cual le llamamos campo eléctrico. La fuerza de atracción que esta dada por el campo eléctrico. El papel del aceite vegetal, permitir a la linaza moverse eficazmente de acuerdo a la fuerza atractiva”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Por qué la linaza sigue el comportamiento de las líneas de fuerza o campo formadas en el aceite vegetal y estas a su ves son formadas por el campo que genera el electrodo al ser electrificados”</i>

### ANÁLISIS EXPERIENCIA 5

En relación con las respuestas de los grupos de trabajo frente al problema 5 de la guía orientadora, los tres grupos interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. Cada grupo afirma que el electrodo esta cargado eléctricamente y de esta manera, el espacio que lo rodea es afectado. Mencionan que los pequeños trozos de linaza se mueven debido a la presencia del campo eléctrico y se alinean sobre las líneas de fuerza. El grupo 3, es mas especifico, ya que utiliza dentro de sus explicaciones las líneas de fuerza propuestas por Faraday.

Algunos estudiantes del grupo 2, explican el comportamiento de la linaza, suponiendo la existencia de una fuerza atractiva, textualmente dicen: *“El papel del aceite vegetal, permitir a la linaza moverse eficazmente de acuerdo a la fuerza atractiva”*. Estos estudiantes piensan que la reorganización de cada pequeño trozo de linaza, es debido a una fuerza atractiva. Esta hipótesis, en varias oportunidades, la discutimos e hicimos pruebas experimentales, variando el electrodo (*Más o menos*) de la máquina de Wimsurst. Algunos de ellos, no lograron entender que la reorganización de la linaza, para este caso, debía ser idéntica en ambas situaciones y hablar de fuerzas eléctricas atractivas o repulsivas, resultaba infructuoso.

## EXPERIENCIA 6

<i>PREGUNTA: ¿Cómo explica la distribución de los pequeños trozos debido a la interacción entre los dos electrodos?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Todas las líneas se unían entre los dos electrodos porque la linaza esta neutra y cada electrodo genera un campo según su forma. Si es (+) hacían un lado y si es (-) hacia el otro”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Los trozos de linaza se distribuyen de acuerdo a la fuerza de atracción alrededor de ellos, proporcionada por el generador y expulsada en signos contrarios gracias al electrodo, en consecuencia a ellos se forman arcos entre ellos, que salen de un electrodo y llega hasta el otro”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Debido a los campos generador por los electrodos cargados se puede ver que la distribución de las semillas en el centro son homogéneos debido a la forma igual de los electrodos”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 6

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 6 de la guía orientadora, los tres grupos interpretaron correctamente la situación de acuerdo al marco teórico estudiado. Los estudiantes de cada grupo afirman que cada electrodo genera un campo eléctrico que afecta el medio. También suponen que la distribución del campo eléctrico depende de la geometría del objeto.

Los estudiantes del grupo 2 siguen discutiendo, respecto al comportamiento de la linaza, en términos de las fuerzas eléctricas, unos argumentando a favor y otros en contra.

## EXPERIENCIA 7

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Explique este nuevo reordenamiento de los trozos de linaza, ocasionado por la interacción de los dos electrodos? Varié la distancia de separación entre los dos electrodos, de tal manera que estén lo mas cerca posible y lo mas alejados posible. Explique que ocurre en cada caso.</i>	
<b>GRUPO 1:</b>	<i>“Las líneas de campo salen perpendiculares a la superficie del electrodo y debido a la fuerza de atracción se curvan y se unen. Si se separan la líneas de campo se notan menos”</i>
<b>GRUPO 2:</b>	<i>“Variando la distancia: entre mas cerca los electrodos, el campo es mayor, teniendo en cuenta que la linaza o las semillas, se ve agrupada en un mismo espacio. Entre más lejos los electrodos se ven el fenómeno de que las semillas o la linaza se ve más claro la forma de arco, y la atracción hacia un medio de los electrodos. Como en la situación anterior en medio de ellos, como son diferentes tipos de carga, genera un campo eléctrico”</i>
<b>GRUPO 3</b>	No responde.

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 7

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 7 de la guía orientadora, los grupos 1 y 2 interpretaron algunos aspectos de la situación correctamente de acuerdo al marco teórico estudiado.

El grupo 1 asume una fuerza de atracción entre los dos electrodos, causando que las líneas de campo se curven y se unan. Esta afirmación, es una manera clara de pensar, similar a la teoría de Faraday en la que se supone como una sustancia universal que ocupa todo el espacio y a cada punto del campo de fuerzas se le asocia una intensidad y una dirección, de acuerdo la intensidad y dirección de la fuerza, el punto de fuerza hará que los puntos vecinos se “muevan”.

Los dos grupos afirman que al alejar los dos electrodos, las líneas de campo se “ven menos”. En esta parte se procuro llevar a los estudiantes a entender el concepto de líneas de campo, como una manera de representar el campo eléctrico.

## EXPERIENCIA 8

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Explique la reorganización de los trozos de linaza? ¿Podrían alinearse de otra manera, para este caso? ¿Que ocurre con los trozos de linaza que se encuentran dentro del conductor circular?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Como el electrodo (anillo) es simétrico en el interior de este no se percibe algo pero en el exterior de este se ven las líneas de campo unidas a las líneas de el electrodo mas pequeño. No se pueden alinear de otra manera, siempre sin perpendiculares a la superficie del electrodo”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Los trozos de linaza que se encuentran dentro del conductor circular, se observa durante la practica que la linaza dentro del conductor no experimenta ninguna fuerza. No podrían alinearse de otra manera debido así corresponde el campo entre los cuerpos cargados”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Por la forma del aro y el cilindro tiene distribución circular uniforme, se forman líneas curvas. Por qué la superficie externa del aro es la que se electrifica”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 8

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 8 de la guía orientadora, el grupo 3, interpreto la situación correctamente de acuerdo al marco teórico estudiado. Los tres grupos responden correctamente y de manera similar la segunda pregunta planteada. Admiten que las líneas de campo, para este caso, no se podrían alinear de otra manera. Por ejemplo el grupo 2 afirma: “No podrían alinearse de otra manera debido así corresponde el campo entre los cuerpos cargados”.

Respecto a la tercera pregunta, el grupo 3, responde correctamente al afirmar que la superficie del anillo es la que se electriza, de esta manera explican el comportamiento de la linaza que se encuentra en su centro. El grupo 1 responde incorrectamente, al afirmar que no se produce ningún efecto en la linaza que se encuentra en el centro del anillo, debido a que el electrodo es simétrico. Dando a entender que esto ocurre en todos los electrodos que presenten una geometría simétrica. El grupo 2 responde bajo su observación en la realización de la experiencia, mencionaron únicamente que en el centro del anillo no se evidencio ninguna fuerza y no profundizan en su respuesta.

## EXPERIENCIA 9

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Explique el comportamiento de los trozos de linaza que se encuentran en la mitad de los dos conductores en relación con los de afuera? ¿Cual de los dos electrodos afecta los pequeños trozos de linaza? ¿Cual es la <u>causa</u> de este comportamiento?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Afuera del electrodo (anillo) no se ve algo y dentro de este se ven las líneas de campo que se ven entre los dos electrodos”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Se pudo observar que los trozos que se encienden dentro de los electrodos experimentos desplazamiento por el contrario en el exterior no experimenta cambio; ambos producen una fuerza neta sobre los granos de linaza, hay un campo generado por dos cilindros debidos alas cargas opuestas produciendo que dicho campo se encuentre en solo ese punto”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Porque hay una interacción tan íntima entre la superficie externa del cilindro y el aro, tanto que solo las líneas rectas adentro pero afuera no”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 9

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 9 de la guía orientadora, los tres grupos interpretaron la situación correctamente de acuerdo al marco

teórico estudiado. El grupo 2 hace un análisis más amplio. Afirman que los únicos trozos de linaza que se ven afectados, son lo que se encuentran en la mitad de los dos electrodos, por consiguiente, los trozos exteriores no presentan ningún cambio. Explican que el campo eléctrico es el causante del movimiento de los trozos de linaza.

Las explicaciones del grupo 1 y 2, son similares y lo hacen de manera superficial, afirman que solo se pueden “ver” las líneas de campo en el interior de los dos electrodos y en el exterior no. Sin profundizar en sus respuestas.

### EXPERIENCIA 10

<b>PREGUNTA:</b> <i>Explique la interacción de dos los electrodos en los puntos indicados (figura a16). ¿Cómo afecta cada electrodo el espacio que le rodea en cada punto?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“1: Las líneas de campo son perpendiculares en este punto. 2 y 3 las líneas de campo se dirigen hacia la media circunferencia. En el punto 4 se ve una gran concentración de linaza y un intercambio pues estos granos de linaza se ven pasar de un lado a otro. En el punto 5 casi no se ven las líneas de campo, se ve mas una acumulación”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“En el 1 el campo eléctrico es uniforme, en 2 se genera la concentración de la fuerza q ejerce el campo en 3 sucede lo mismo que en 2. En 4 se presenta un campo eléctrico curvado y en 5 sucede lo mismo 4 pero dentro del electrodo”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“En el 5, parecía no tener efecto por parte del electrodo, parecía nada mas tener líneas radiales, en el 4 se unen en líneas casi paralelas, en el 2 y 3 alcanza a describir una curva hacia la punta del otro electrodo, en el 1 parece dar una vuelta en 4”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 10

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 10 de la guía orientadora, son una muestra clara, que los estudiantes del curso, tienen dificultades a la hora de explicar las líneas de fuerza en determinados puntos de un sistema de dos cargas eléctricas. Cada grupo logra explicar correctamente algunos puntos que se les pidió evaluar. Por ejemplo el grupo 1, explica que las líneas de campo son perpendiculares en el punto 1 con respecto al electrodo. El punto 2 y 3, los explican de manera general. Afirman que se curvan hacia la circunferencia del otro electrodo, sin responder la pregunta, ya que no explican la interacción de los dos electrodos en dicho punto. El punto 4 y 5 lo explican de acuerdo a lo que observaron al realizar la experiencia, ya que hacen afirmaciones como: “*se ve una gran concentración de linaza y un intercambio pues estos granos de linaza se ven pasar de un lado a otro*”.

El grupo 2 afirma que en el punto 1 el campo es uniforme, sin explicar por qué lo es. Para los puntos 2 y 3, dan a entender, erróneamente, que la fuerza en los dos extremos del electrodo, es donde se encuentra la mayor concentración de la misma, no es así, ya que no sabemos con certeza si en estos puntos la intensidad de la fuerza es mayor o menor que en otras partes del sistema. El grupo hace el mismo análisis para los puntos 4 y 5.

El grupo 3 asume que en el punto 5 existen únicamente líneas de campo radiales. Para el punto 4 afirman lo siguiente: “*en el 4 se unen en líneas casi paralelas*” Este grupo no especifica donde es que existe esa unión, ni tampoco argumentan por qué las líneas de campo son paralelas. La explicación de los puntos 2 y 3 no son correctas, al afirmar que las líneas de campo se unen únicamente con la punta del electrodo semicircular, ignorando el resto de puntos del electrodo. Para el punto 1 responden erradamente, al asumir que las líneas de campo se dirigen y unen con el punto 4. No es posible ya que el electrodo en toda su superficie, esta cargado con el mismo tipo de carga eléctrica y no es posible que dos líneas de campo se unan o crucen, siendo del mismo tipo de carga eléctrica.

## EXPERIENCIA 11

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿La distribución de los trozos de linaza es uniforme? ¿Observe alrededor de cada conductor el comportamiento de los trozos de linaza y compárelos con los que se encuentran en puntos más lejanos del mismo?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“En el centro, donde la distancia es menor entre los electrodos se ve mas concentración de linaza lo que hace pensar que el campo depende de la distancia”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“No. Ya que los electrodos no presentan la misma forma, se pudo observar que el cilindro presenta un campo un poco curvado y en la placa se vuelve un poco uniforme y se determina que alrededor de él es mas fuerte que a sus alrededores”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“Parece ser uniforme solo en las figuras con distribución uniforme, como las circulares (sin puntas o esquinas). Los puntos alrededor de los electrodos buscan unirse con los otros puntos del otro electrodo, pero en puntos alejados del mismo parecen radiales, fugarse”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 11

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 11 de la guía orientadora, el grupo 1 interpreto la situación correctamente de acuerdo al marco teórico estudiado. Este grupo afirma que en el centro de los dos electrodos, es donde se encuentra una mayor concentración de linaza. Después de comparar los trozos de linaza lejanos con los cercanos, realizan la siguiente conclusión: *“el campo depende de la distancia”*.

El grupo 2 cree que el campo eléctrico producido por el electrodo circular, es curvo al presentar esta geometría. En cambio, en el electrodo de  $90^{\circ}$  el campo eléctrico es uniforme. Este grupo razona de manera incorrecta, ya que las líneas de campo eléctrico no se curvan debido a la geometría de la fuente, sino por la presencia de una fuerza eléctrica externa.

El grupo 3 a pesar de no responder a la pregunta, explica que el campo eléctrico es uniforme en objetos con geometrías homogéneas: *“Parece ser uniforme solo en las figuras con distribución uniforme, como las circulares (sin puntas o esquinas)”*. Esta explicación es correcta bajo el marco teórico estudiado.

## EXPERIENCIA 12

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿De que depende la distribución de los trozos de linaza? ¿Qué tipo de interacción producen los electrodos en el medio? ¿Que ocurriría si invirtiéramos la polaridad de los electrodos?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“De la forma del electrodo. Una interacción eléctrica. Nada porque si cambiáramos la polaridad la distribución de las líneas de campo siguen en el mismo sentido”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Depende de la atracción que generan los campos, estos se atraen ya que poseen cargas distintas, los cual nos demuestra un campo mas fuerte en medio de ellos, en este caso el cambio de polaridad no afecta la atracción”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“De la forma de los electrodos. La interacción es de tipo eléctrica, ya que los cuerpos se encuentran electrificados, por ellos cada uno produce un campo. Campo -Campo atracción. Se reorganiza de la misma forma”</i>

## ANÁLISIS EXPERIENCIA 12

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 12 de la guía orientadora, los grupos interpretaron la situación correctamente de acuerdo al marco teórico estudiado.

Las respuestas de los grupos 1 y 3 fueron similares. Afirman que la distribución de los trozos de linaza, dependen de la forma de los electrodos. Respecto a la segunda pregunta, los dos grupos responden correctamente, afirman que el tipo de interacción de los dos electrodos es de carácter eléctrico. Además, mencionan que si se llega a invertir la polaridad de los dos electrodos, los trozos de linaza se reorganizarían de la misma manera. El grupo 3 dice: *“Se reorganiza de la misma forma”*. El grupo 1 responde: *“Nada porque si cambiáramos la polaridad la distribución de las líneas de campo siguen en el mismo sentido”*. Este grupo no aclara, cuando menciona que las líneas de campo siguen en el mismo sentido.

El grupo 2 afirma que la distribución de la linaza depende de la atracción que genera el campo eléctrico, textualmente dicen: *“Depende de la atracción que generan los campos”*. Este grupo interpreta la tercera pregunta, mencionando que el cambio de polaridad no afecta la atracción de los dos electrodos, al ser de cargas contrarias. Textualmente dice: *“en este caso el cambio de polaridad no afecta la atracción”*. Este grupo, responde correctamente, ya que la pregunta estaba planteada de manera amplia, llevando a diferentes interpretaciones del problema por parte de los grupos.

### **EXPERIENCIA 13**

<b>PREGUNTA:</b> <i>¿Los trozos de linaza se alinean de alguna manera determinada, o lo hacen arbitrariamente? ¿Qué ha pasado con el espacio que rodea el electrodo? ¿Los trozos de linaza se reorganizan de manera inmediata? ¿El comportamiento de los trozos de linaza en todos los puntos que rodea el electrodo es el mismo?</i>	
<b>GRUPO 1</b>	<i>“Los trozos de linaza se alinean de forma radial porque son mismo son los líneas de campo todo espacio ha sido perturbado por el campo eléctrico generado por el electrodo tomar un tiempo para distribuirsen, no depende de la distancia y la forma del electrodo”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Estos se atraían al electrodo, pero no se alineaban como el resto de los procesos, se altera generando que las semillas se atraigan hacia el electrodo, la atracción afectaba todos los cuerpos igual, pero al</i>

	<i>revolver el liquido la atracción, genera que se acerquen al electrodo”</i>
<b>GRUPO 3</b>	<i>“La linaza sube trata de acomodarse hacia los puntos extremos del electrodo se ve el efecto en <math>(x,y,z) = R^3</math>”</i>

### ANÁLISIS EXPERIENCIA 13

En relación con las respuestas por los grupos de trabajo frente al problema 13 de la guía orientadora, el grupo 1 interpreto la situación correctamente de acuerdo al marco teórico estudiado. Este grupo afirma que los trozos de linaza se alinean de forma radial, ya que el campo eléctrico afecta todo el espacio. Este grupo no responde todas las preguntas planteadas.

El grupo 2 responde de una manera muy amplia, indicando que los trozos de linaza son atraídos hacia el electrodo. Afirman, incorrectamente, que el electrodo cargado eléctricamente afecta a todos los trozos de linaza de la misma forma. Este grupo no responde a todas las preguntas propuestas.

El grupo 3 responde que los trozos de linaza se distribuyen hacia los extremos del electrodo, de esta manera se percibe el efecto en tercera dimensión. Este grupo no aclara, cuando se refiere: *la linaza se dirige hacia los extremos del electrodo*. De esta manera presenta una respuesta muy amplia y que no responde a todas preguntas planteadas.

### CONCLUSIONES

<b>GRUPO 1</b>	<i>“Como la polaridad era distinta en los electrodos parecen unirse las líneas de campo observándose una analogía con atracción dipolar opuestas. Dos cuerpos electrificados con carga opuesta afectan el espacio que los rodea de manera uniforme. Gracias a estas experiencias no pudimos dar cuenta de la presencia de un campo eléctrico generado por un cuerpo electrificado. Anteriormente nos tocaba usar la</i>
----------------	---

	<i>imaginación para pensar que un cuerpo electrificado generaba un campo eléctrico”</i>
<b>GRUPO 2</b>	<i>“Cargas opuestas generan un ovoide entre ellos, donde la fuerza de atracción es mayor. El campo eléctrico actúa como intermedio de interacción entre la fuente y la otra carga en un punto x. el campo eléctrico interacciona en 3 dimensiones”</i>
<b>GRUPO 3</b>	No responden.

## 10.2 ANEXO 2. Guía orientadora de carga eléctrica.

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**LICENCIATURA EN FÍSICA**  
**DOCUMENTO ORIENTADOR**  
**DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS**  
**DE CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO**

Andrés Uribe Agudelo

Asesora: Sandra Forero

*Línea de Profundización: El Computador y las Prácticas Experimentales  
en la Enseñanza de la Física*

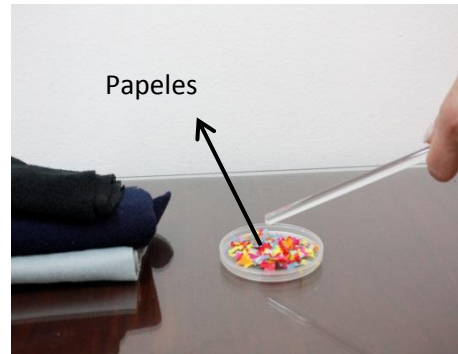
El objetivo de cada sesión es presentar una serie de experimentos que favorezcan la comprensión de los conceptos fundamentales de la electricidad a partir de los recursos que proporciona la historia. Para ello se ha dividido en dos grupos, cada grupo deberá investigar en compañía del investigador “experto” para llegar a plantear soluciones a las preguntas propuestas.

**DOCUMENTO ORIENTADOR 1.** *Introducción al problema de la naturaleza de la carga eléctrica.*

**EXPERIENCIA 1.1.**



*Figura a<sub>1</sub>.*



*Figura a<sub>2</sub>.*

*Frote el tubo de vidrio con cualquier paño (fig. a<sub>1</sub>), luego acérquelo a los pequeños trozos de papel y observe (fig. a<sub>2</sub>).*

*¿Cómo explica ese proceso antes y después de frotar el tubo? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.*



*Antes*



*Después*

*Explique su respuesta.*

---

---









**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 2. Conceptualización de carga eléctrica.**

**EXPERIENCIA 2.1.**



Figura a<sub>5</sub>.



Figura a<sub>6</sub>.

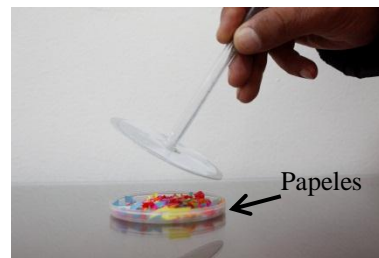


Figura a<sub>7</sub>.

*Frote con el paño la superficie de acrílico, luego coloque la lámina de aluminio sujetándola del soporte plástico y llévela sobre la superficie de acrílico, una vez puesto, toque con el dedo la parte metálica del electroforo por un momento (fig.a5), retire el soporte y acérquelo a pequeños trozos de papel ( fig.a7), observe que ocurre.*

*¿Qué ocurre con el disco metálico? ¿Explique el proceso de carga del electroforo? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.*





---

---

---

---

---

**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 3. Máquinas electrostáticas.**

**EXPERIENCIA 3.1. Botella de Leyden.**

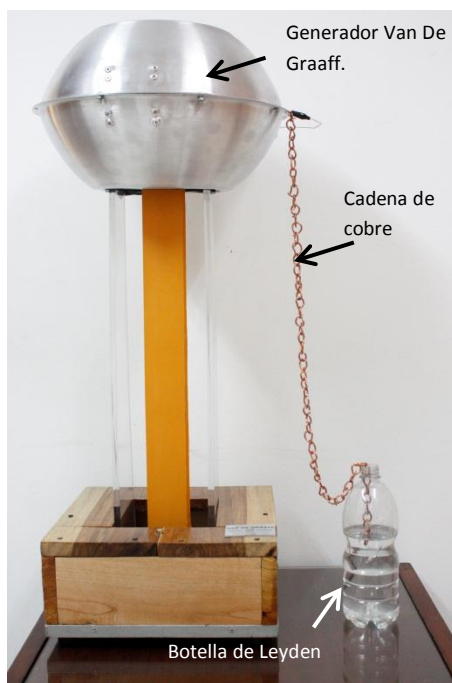


Figura a<sub>8</sub>



Figura a<sub>9</sub>

Conecte la botella de Leyden que contiene agua al generador Van de Graaff durante un lapso corto de tiempo (Fig. a<sub>8</sub>), desconéctelo del generador con mucho cuidado, luego sujetándola de la parte superior, acérquela a un marco de la puerta o ventana (Fig. a<sub>9</sub>).

¿Qué puede decir del fenómeno que ocurre en la botella? ¿Explique que ha ocurrido en este proceso? Dibuje el sistema antes y después.



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**EXPERIENCIA 3.2. Máquina de Wimshurst.**



*Longitud máxima  
10.40 cm. 60% de  
humedad.*

*Figura a<sub>10</sub>*

*Haga una breve descripción de la máquina y explique cómo se genera la carga eléctrica?  
¿Por qué produce esa chispa? Explique su respuesta.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

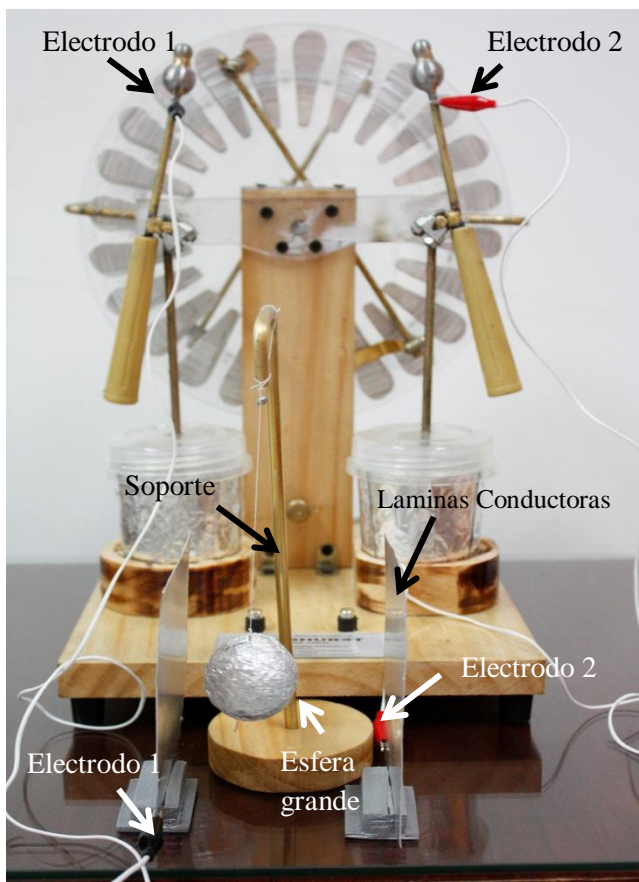
---

---

---

**EXPERIENCIA 3.3.**

Realice el siguiente montaje:



*Figura a<sub>11'</sub>*



Laminas Conductoras

*Figura a<sub>12'</sub>*



Soporte

*Figura a<sub>13'</sub>*



Cables conductores

*Figura a<sub>14'</sub>*



---

---

---

---

---

**EXPERIENCIA 3.4.** *Generador Van De Graaff.*



*Figura a<sub>15</sub>*

*Coloque sobre la campana del generador varios trozos pequeños de papel crepe (Fig. a<sub>15</sub>), encienda el generador y observe.*

*¿Qué ha ocurrido con cada uno de los papeles? Haga un esquema del sistema.*



### EXPERIENCIA 3.5.



Figura a<sub>16</sub>



Figura a<sub>17</sub>

*Coloque una pequeña tira de papel sobre la campana del generador de Van De Graaff (Fig. a<sub>16</sub>), encienda el generador y enseguida ubique la mano encima de este papel manteniendo una distancia (Fig. a<sub>17</sub>) y observe.*

*¿Qué puede decir del comportamiento de la tira de papel? Haga un dibujo del sistema.*







---

---

---

---

---

---

---

---

*Gracias...*

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**LICENCIATURA EN FÍSICA**  
**DOCUMENTO ORIENTADOR**

**DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS  
DE CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO**

Andrés Uribe Agudelo

Asesora: Sandra Forero

*Línea de Profundización: El Computador y las Prácticas Experimentales  
en la Enseñanza de la Física*

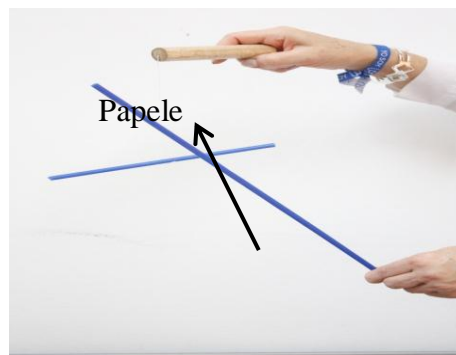
El objetivo de cada sesión experimental es presentar una serie de experimentos que favorezcan la comprensión de los conceptos fundamentales de la electricidad a partir de los recursos que proporciona la historia. Para ello se ha dividido en dos grupos, cada grupo deberá investigar en compañía del investigador “experto” para llegar a plantear soluciones a las preguntas propuestas.

**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 1.** *Introducción al problema de la naturaleza de la carga eléctrica.*

**EXPERIENCIA 1.1.**



*Figura a1.*



*Figura a2.*



## EXPERIENCIA 1.2.

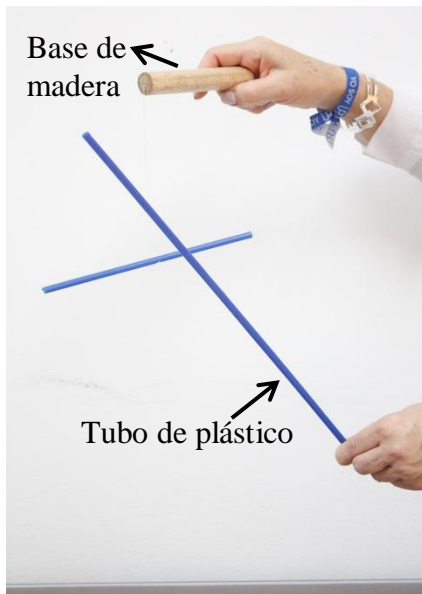


Figura a<sub>3</sub>.

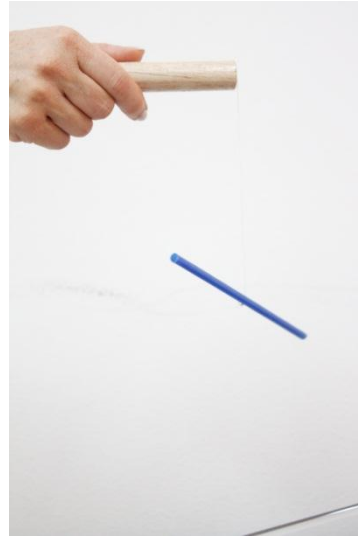


Figura a<sub>4</sub>.

Frote los dos tubos de plástico (uno colgante y el otro no) con un mismo paño, suspéndalo (fig. a<sub>4</sub>), luego acerque el tubo de plástico con la mano al que esta colgante. Recuerde que hay que mantener una distancia entre los dos tubos (fig. a<sub>3</sub>), observe que ocurre.

¿Por qué las dos barras se manifiestan de tal manera? Dibuje el sistema antes y después de frotar.



Antes



Después

Explique su respuesta.





**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 2. Conceptualización de carga eléctrica.**

**EXPERIENCIA 2.1.**

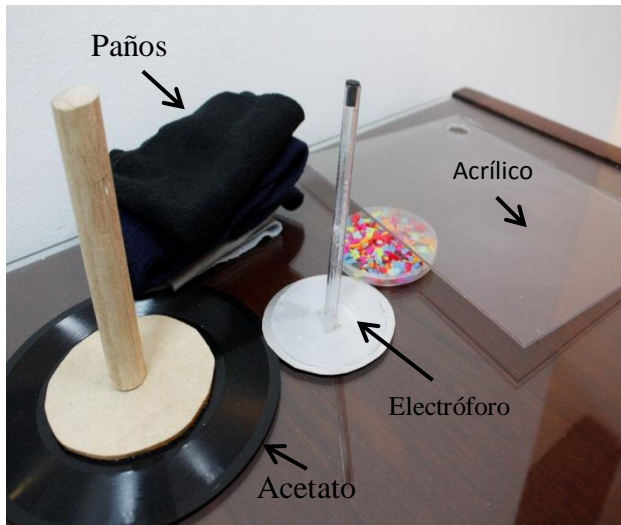


Figura a<sub>5</sub>.



Figura a<sub>6</sub>.



Figura a<sub>7</sub>.

*Frote con el paño la superficie de acrílico, luego coloque la lámina de aluminio sujetándola del soporte plástico y llévela sobre la superficie de acrílico, una vez puesto, toque con el dedo la parte metálica del electróforo por un momento ( fig.a5), retire el soporte y acérquelo a pequeños trozos de papel ( fig.a7), observe que ocurre.*

*¿Cuál ha sido la forma en que se cargó el electróforo? ¿Por qué hay poner el dedo en la parte conductora? Dibuje el sistema antes y después de ser frotados.*





**DOCUMENTO ORIENTADOR No. 3. Máquinas electrostáticas.**

**EXPERIENCIA 3.1. Botella de Leyden.**

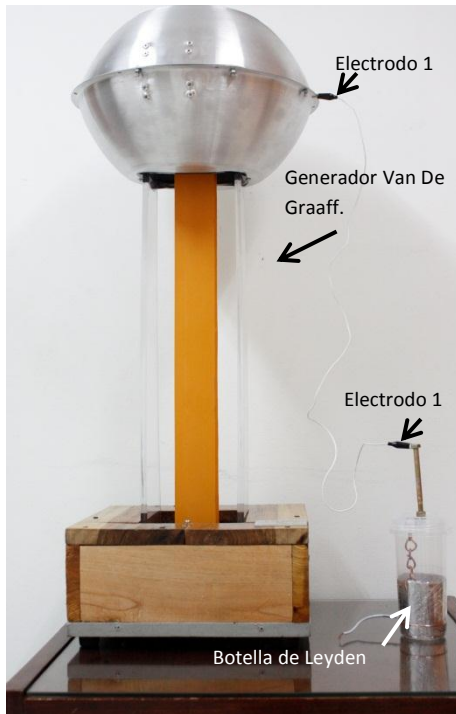


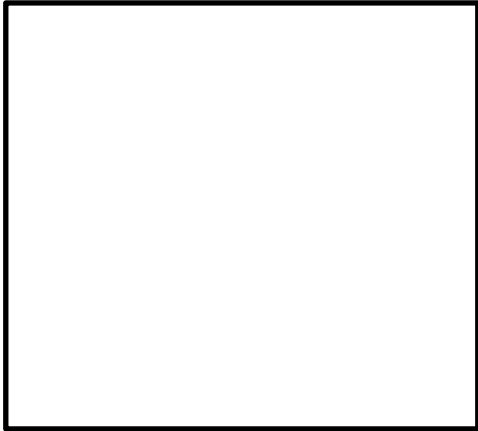
Figura a<sub>8</sub>



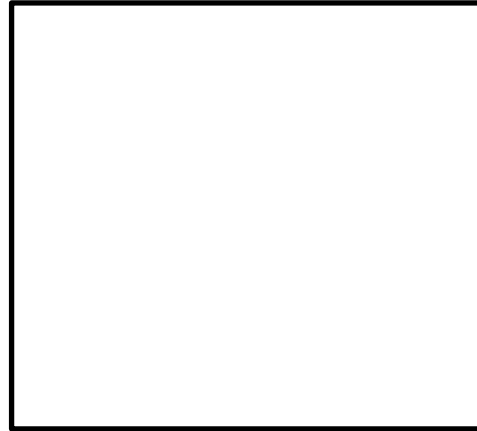
Figura a<sub>9</sub>

*Conecte la botella de Leyden que tiene láminas de aluminio al generador Van de Graaff durante un lapso corto de tiempo (Fig. a<sub>8</sub>), desconéctelo del generador con mucho cuidado, luego sujetándola de la parte inferior, acérquela a un marco de la puerta o ventana (Fig. a<sub>9</sub>).*

*¿Qué puede decir del fenómeno que ocurre en la botella? Explique que ha ocurrido en este proceso? Dibuje el sistema antes y después.*



*Antes*



*Después*

*Explique su respuesta.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**EXPERIENCIA 3.2. Máquina de Wimshurst.**



*Longitud máxima  
10.40 cm. 60% de  
humedad.*

*Figura a<sub>10</sub>*

*Haga un pequeño diagrama donde indique con signos (positivos y negativos) el proceso de carga en la máquina. Por qué se produce esa chispa entre las dos esferas (Fig. a<sub>10</sub>).*



*Explique su respuesta.*

---

---

---

---



### EXPERIENCIA 3.3.

Realice el siguiente montaje:

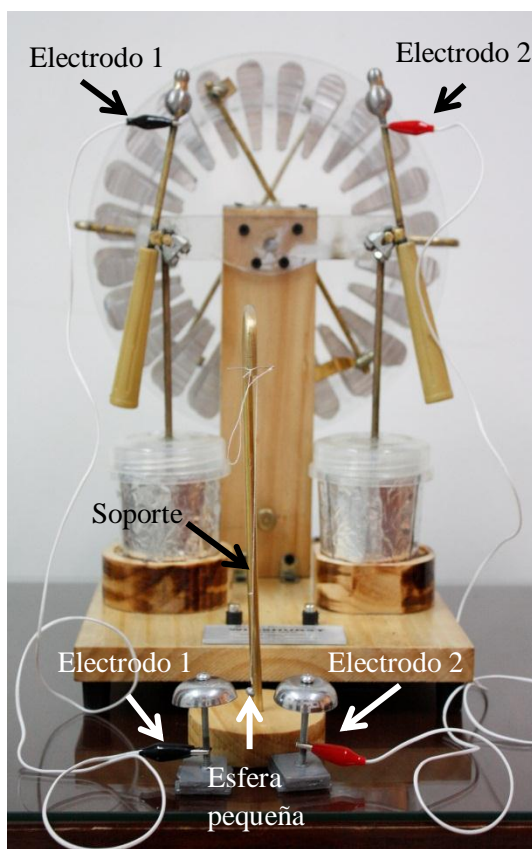


Figura a<sub>11</sub>



Figura a<sub>12</sub>



Figura a<sub>13</sub>



Figura a<sub>14</sub>

Utilicé para este montaje la esfera pequeña que cuelga del soporte (fig.a<sub>13</sub>). Una vez terminado el montaje accione la máquina mecánicamente y observe.

*¿Por qué la esfera se comporta de esta manera? ¿La esfera está, estará o nunca está cargada eléctricamente. Explique su respuesta.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

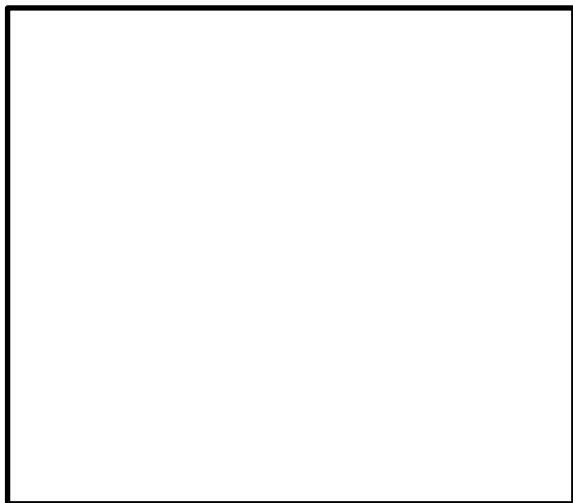
**EXPERIENCIA 3.4.** *Generador Van De Graaff.*



*Figura a<sub>15</sub>.*

*Coloque sobre la campana del generador varios trozos pequeños de papel crepe (fig. a<sub>15</sub>), encienda el generador y observe.*

*¿Qué le ha ocurrido a cada uno de los pequeños trozos de papel? Haga un pequeño esquema indicando el fenómeno.*



*Explique su respuesta.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### EXPERIENCIA 3.5.



Figura a<sub>16</sub>



Figura a<sub>17</sub>

*Coloque una pequeña tira de papel sobre la campana del generador de Van De Graaff (Fig. a<sub>16</sub>), encienda el generador y enseguida ubique la mano encima de este papel manteniendo una distancia (Fig. a<sub>17</sub>) y observe. ¿Qué puede decir del comportamiento de la tira de papel? Haga un dibujo del sistema.*







---

---

---

---

---

---

---

---

*Gracias...*

**10.3 ANEXO 3.** *Guía orientadora de campo eléctrico.*

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN FÍSICA  
DOCUMENTO ORIENTADOR**

**DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS  
DE CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO**

Andrés Uribe Agudelo

Asesora: Sandra Forero

*Línea de Profundización: El Computador y las Prácticas Experimentales  
en la Enseñanza de la Física*

El objetivo de cada sesión es presentar una serie de experimentos que favorezcan la comprensión de los conceptos fundamentales de la electricidad a partir de los recursos que proporciona la historia. Para ello se ha dividido en tres grupos, cada grupo deberá investigar en compañía del investigador “experto” para llegar a plantear soluciones a las preguntas propuestas.

**DOCUMENTO ORIENTADOR 2.** *Campo eléctrico.*

**EXPERIENCIA 1.** *Introducción al concepto de campo eléctrico.*





---

---

---

---

---

**EXPERIENCIA 3.**



*Figura a<sub>3</sub>.*

*¿El comportamiento de la llama de la vela es el mismo en todos los puntos que rodean la campana del generador? Explique su respuesta.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**EXPERIENCIA 4.**



Figura a<sub>4</sub>.

*¿Explique cual es la causa para que la lámpara se comporte de esta manera? ¿Por qué ocurre este fenómeno a pesar que la lámpara no toque la campana?*

*Explique su respuesta.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

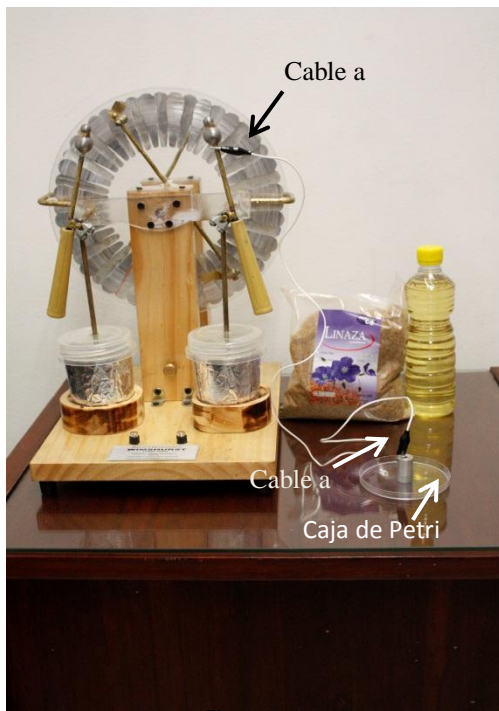
---

---

---

**EXPERIENCIA 5.** *Conceptualización del campo eléctrico.*

*Realice el siguiente montaje.*



*Figura a<sub>5</sub>.*



*Figura a<sub>6</sub>.*



*Figura a<sub>7</sub>.*



*Figura a<sub>8</sub>.*

*¿Por qué cada pequeño trozo de linaza se comporta de esta manera? ¿Cuál es la causa de este fenómeno? ¿Qué papel juega el aceite vegetal en la experiencia?*

*Explique su respuesta.*

















### EXPERIENCIA 13.

Realice el siguiente montaje.



Figura a<sub>21</sub>.

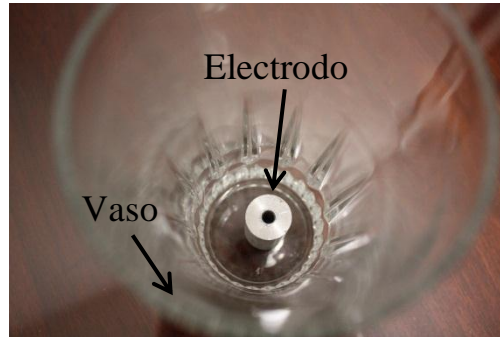


Figura a<sub>22</sub>.

*¿Los trozos de linaza se alinean de alguna manera determinada, o lo hacen arbitrariamente? ¿Qué ha pasado con el espacio que rodea el electrodo? ¿Los trozos de linaza se reorganizan de manera inmediata? ¿El comportamiento de los trozos de linaza en todos los puntos que rodea el electrodo es el mismo?*

*Explique su respuesta.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



#### 10.4 ANEXO 4. *Manual para la construcción del generador de Van De Graaff.*

### CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE VAN DE GRAAFF

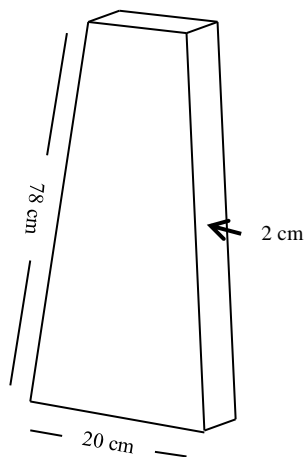
En este documento anexo explicare el proceso de construcción del generador electrostático de Van De Graaff. Mencionaré con detalle cada paso que realice para llegar al diseño final, el cual tarde aproximadamente mes y medio en terminarlo.

#### SOPORTE Y CAJON

Utilicé madera para el soporte y el cajón de la base del generador. No pensé en otro material, simplemente busque uno que brindara estabilidad y además fuera fácil de trabajar. *Recomiendo hacer el cajón con un material menos pesado.*

#### BASES

Probé con madera, plástico, caucho, entre otros. No obtuve resultados satisfactorios, al no ser lo suficientemente firmes ya que generan desestabilidad. Así que utilicé mejor acrílico. Las dos bases tienen las siguientes dimensiones: 20 mm de espesor, 78 cm de alto y 20 cm de ancho (*imagen 1*).



*Imagen 1*

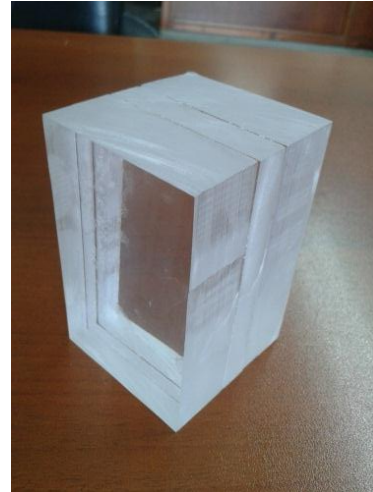
Por la consistencia del acrílico y durabilidad, hace de él un material adecuado para la construcción de las bases. El acrílico permite trabajar sobre él fácilmente, ya que los huecos los hice sin problema alguno con un taladro convencional. Ancle las bases al soporte por medio de ángulos y tornillos por ambos lados (*imagen 4*). *Para la construcción de las bases aconsejaría utilizar acrílico, pero no con dos bases, sino que un gran cilindro.*

## **POLEAS**

Por fortuna, el semestre I de 2014 había hecho las prácticas pedagógicas en el IPN y arregle uno de los dos generadores que tenían dañados. Con base a ellos, diseñé y mejore las poleas que tenían estos generadores. En la construcción de las poleas, siempre pensé en un material económico y resistente. Pensé en varios materiales, por ejemplo: madera, aluminio, acero, plástico, pvc, vidrio, acrílico, entre otros. Construí unos modelos en madera y plástico. Note que la madera no era muy resistente y tampoco el material indicado para esta pieza. El plástico, en cambio, se asemejaba a lo que buscaba, pero no parecía ser tan resistente. Busque algún material similar al plástico y el único que encontré era el acrílico, era el ideal para construir mis poleas. Busque empresas que se dedicaran a la comercialización, fabricación y distribución de acrílico, con el objetivo de cotizar precios. Pregunte en más de tres empresas y la que ofrecía menor costo se salía del presupuesto que yo disponía. Seguí buscando con la ilusión de encontrar alguna empresa que me diera precios más económicos. Encontré una que me daba precios bajos. Estaba cotizando dos piezas, cada una rectangular de 60 x 60 mm y 80 mm de largo. El costo de cada una estaba alrededor de cien mil pesos, la última empresa que encontré, hizo la cotización por cincuenta mil pesos. Así que las compre (*imagen 2*).



*Imagen 2*



Ya tenía mis dos piezas que maquinaria mas adelante y que serian las poleas. Enseguida empecé a diseñar el sistema de rodamiento y anclaje a las bases, que explico mas adelante. A continuación explicare el diseño y construcción de cada polea. Antes de ello, quiero mencionar otro aspecto que me pare importante tener en cuenta a la hora de construir un generador.

Como las dos poleas estaban hechas del mismo material, al momento de montarlas en el sistema, no se generaba la carga suficiente como para hacer levantar un papel. Así que seguí investigando con el fin de mejorar la eficiencia de la máquina. Estudie la serie triboeléctrica y de esta manera encontré una solución. El problema radica en que las dos poleas están hechas con el mismo material. Decidí cubrir una polea con cinta de teflón y la otra con papel aluminio. El papel y la cinta los pegue a la polea con silicona liquida. Tras realizar varias pruebas, llegué a la siguiente conclusión: el teflón debía de estar en la polea inferior (*imagen 3*) y el aluminio en la parte superior (*imagen 5*). Es decir invertí la polaridad de los generadores habituales. De esta manera conseguí el mayor rendimiento de la máquina.

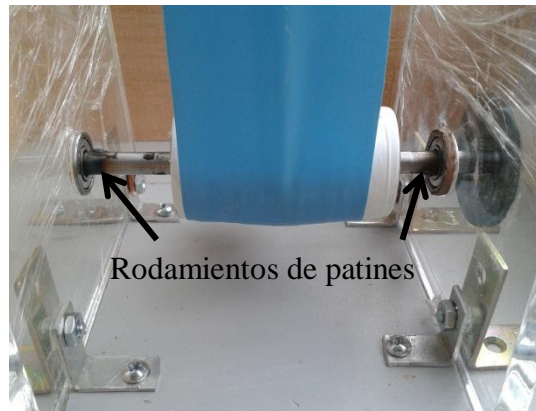
### ***Polea inferior***

Esta polea la diseñé de tal manera que el eje pasara su centro y entrara a presión, de tal forma que la polea y el eje se movieran al tiempo. Tiene unas dimensiones de 50 x 50 mm

en sus extremos, en el centro de 58 x 58 mm y 70 mm de longitud (*imagen 3*). El sistema de rodamiento iba a estar anclado a las bases del generador. Utilicé dos rodamientos de referencia 608 que se utiliza en las ruedas de patines profesionales (*imagen 4*).



*Imagen 3*



*Imagen 4*

Claro esta, cada polea tuvo un proceso de maquinado en el torno convencional. Lo mande a hacer donde el señor José Capera mecánico de profesión y tiene un taller ubicado en la calle 74 con 18. Esta polea tiene un fin específico y es dar movimiento a la banda a partir de un motor, de esta manera se transfiere movimiento a la polea superior. El problema más relevante que presentaron estas poleas al momento de montarlas en la base, era su inestabilidad debido al movimiento continuo, hacia que la banda se enredara con el eje de la polea. Este problema lo solucione con dos puntos de soldadura industrial, una en cada lado (*imagen 4*). Estos puntos de soldadura actúan como topes, restringiendo el movimiento del eje de las poleas, garantizando siempre que el eje este en una posición estable, que no genere desequilibrio en la banda ni en las poleas.

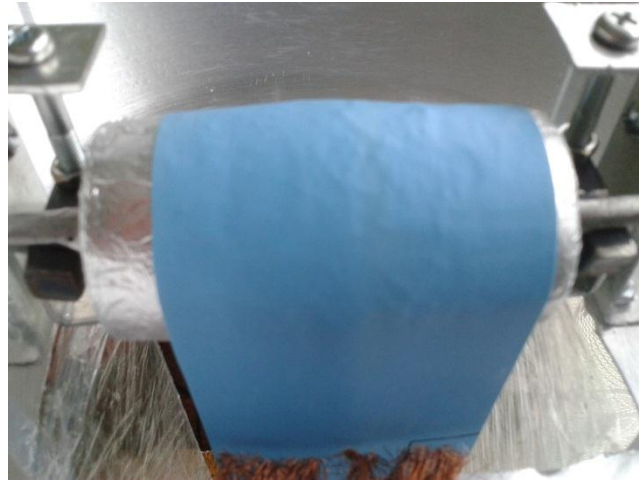
### ***Polea superior***

Pense en un sistema que permitiera mover la polea de tal forma que se pudiera tensionar la correa, me ocupare de explicarlo con detalle en la siguiente parte; *soporte movil*. Para ello diseñé y construí la polea de tal forma que se pudiera mover bien sea hacia arriba o hacia abajo. Para ello ubique el sistema de rodamiento no en las bases, sino en la polea (*imagen*

5). Garantizando que los ejes queden fijos al soporte, granatizando que se mueva únicamente la polea y el eje quedara fijo (*imagen 6*). Esta polea tiene las mismas dimensiones que la polea inferior.



*Imagen 5.*



*Imagen 6.*

## **SOPORTE MOVIL**

La función de este soporte es permitir que la polea superior se pueda mover hacia arriba o abajo. Para ello utilicé dos tornillos de seguridad de 10 mm de largo, los cuales van anclados a las bases, como se muestra en la siguiente imagen:



*Imagen 7.*

Los tornillos se pueden mover libremente dentro del soporte de aluminio. El brazo o anclaje de la polea, lo construí con un trozo de una vieja varilla que encontré en mi casa. Este brazo tiene dos partes fundamentales: La primera es la “cuña” la cual hice con un esmeril. Esta cuña tiene como objetivo fijar el eje de la polea (*imagen 6*). La segunda es la unión del brazo al tornillo. Para ello utilicé un macho o guía para hacer una rosca dentro de la varilla, de tal forma que el tornillo pueda entrar enroscado. De esta manera, Garantizo que el brazo suba o baje de acuerdo a la dirección de rotación del tornillo. Además, utilicé dos tuercas que aprietan el brazo (*figura 7*), ya que la vibración de la máquina en funcionamiento, afloja todas las tuercas del equipo. *Para este sistema no recomiendo nuevas modificaciones.*

## **CORREA**

Sin duda la correa fue uno de los grandes problemas que tuve al construir la máquina. Probé con diferentes tipos de materiales; coraza de bicicleta, lana, seda, plástico, entre otros. No funciono en la mayoría de casos.

Un día pasaba por una tienda de deportes y entré a preguntar si había alguna banda de goma, látex o poliéster que fuera utilizada en alguna clase de ejercicio. Me exhibido

algunos, pero ninguno me servía. Recordé que existían unas bandas que se utilizaban en Pilates, así que las pregunte. *Estas bandas son las adecuadas!* Dije, después de hacer algunas pruebas en la tienda. Así que compre 2 metros de esta banda, se llama *There Band* en el mercado y es de bajo costo.

Cuando tuve el sistema mecánico, claro esta mucho tiempo después, uní la banda utilizando un poco de Súper Bonder y la reforcé con unas puntadas de máquina de coser que un amigo me hizo el favor de hacerlas. Inicialmente utilicé una banda de 4.5 Kg de resistencia, es de color azul (*imagen 6*). El problema de esta banda es que no es lo suficientemente resistente y tiende a ceder. Además, cuando se somete a la tensión necesaria para que se muevan las dos poleas, las puntadas se empiezan a romper. Así que busque una banda con una resistencia mayor. Encontré una de color marrón, muy resistente y la utilicé en el modelo final. *Para la banda no recomiendo utilizar otro material.*

## **CAMPANA**

La campana fue un gran problema. Inicialmente conseguí una en un taller de metalmecánica, era de aluminio aproximadamente de 12.5 cm de radio (*imagen 8*). Esta geometría de la campana, me dio bastantes problemas a la hora de ensamblarla en la máquina. Después de un tiempo pensé en cambiarla.

Un día acompañe a mi mamá a comprar unas cosas que necesitaba, pasamos por una tienda donde vendían toda clase de ollas. Entré y miré una que en particular llamo mi atención. Eran dos pailas. Inmediatamente vi la campana del generador al unir estos dos trastos. Después de examinarlas y pensar por un buen rato, cómo las armaría y montaría a las bases, las compre. El primer problema que encontré era quitar las orejas de las pailas. Utilicé un taladro para retirarlas. Luego tape los ocho huecos de cada paila con remaches (*imagen 9*). Una vez listas, las uní con tuercas y tonillos (*imagen 9*), específicamente seis tornillos en total.



Imagen 8

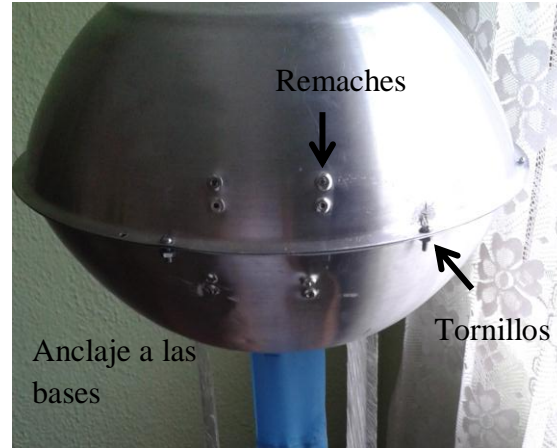


Imagen 9

Para anclar la campana a las bases, hice un rectángulo en la parte inferior de la misma, en la que entran exactamente las bases (*imagen 9*). Coloque unos ángulos desde la base a la campana, para asegurarla.

*Recomiendo usar dos pailas, son fáciles de manejar y además son buenos conductores al ser de aluminio. Como mejoras a la campana, aconsejo unirlos con soldadura industrial. También, que la campana se pueda quitar y poner fácilmente, con el fin de mostrar, si es el caso, el sistema superior de poleas.*

## **MOTOR**

Al inicio utilicé un motor de máquina de coser con su respectiva pedalera. Luego lo sustituí por un motor de 12 voltios, menos ruidoso, e incorpore un circuito que permite variar la velocidad del mismo.

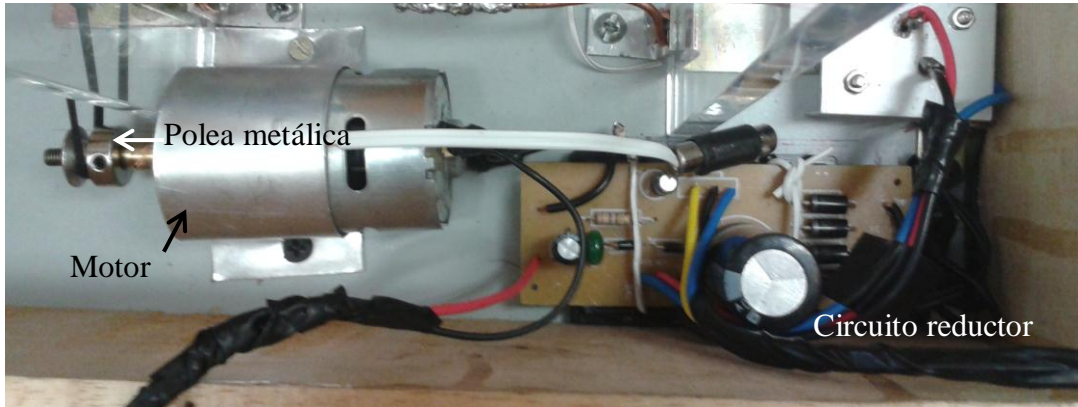


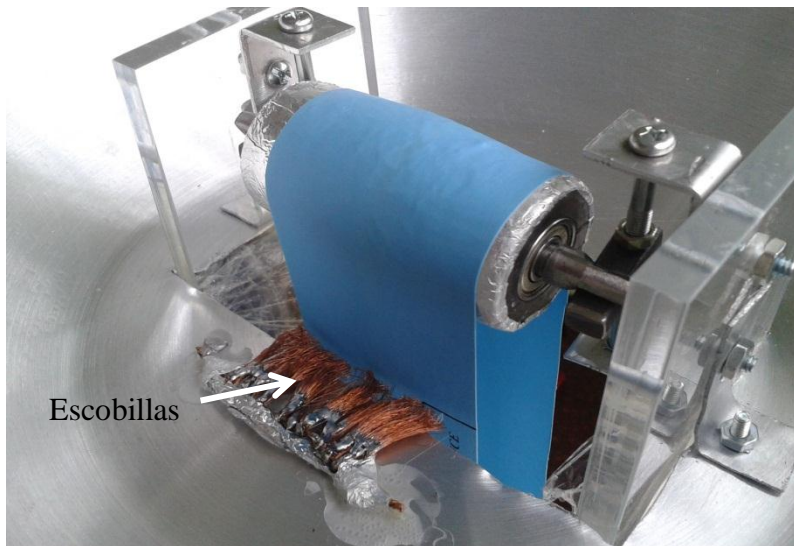
Imagen 10

Este motor es el necesario para hacer mover el sistema mecánico. *No hago recomendación de otro motor o cambio alguno de este sistema.*

## ESCOBILLAS O COLECTORES

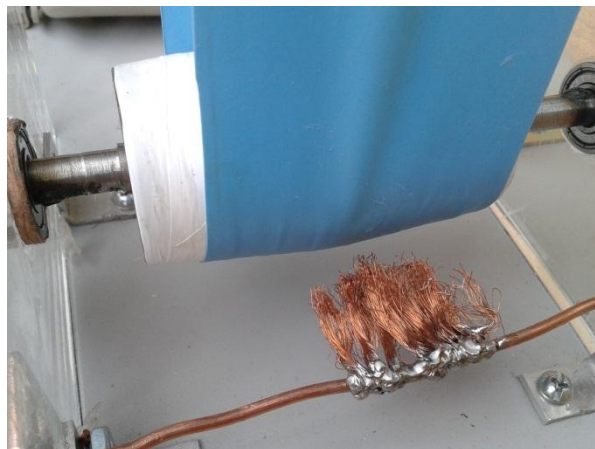
Las escobillas fueron las que más trabajo me costaron hacer de toda la máquina. Estas no deben hacer contacto con la banda. Hice toda clase de escobillas, desde láminas de aluminio y cobre, hasta cables de diferente calibre. También probé en todas sus posibles ubicaciones.

Acostumbrado a que no funcionara el generador, me lleve una inesperada pero grata sorpresa, al sentir una gran chispa que recorrió mi mano. Fue en ese momento donde encontré el sitio perfecto para ubicar la escobilla superior. Este lugar se encontraba en un lado de la banda (*imagen 11*). Las construí con cable bifilar, uniéndolas con soldadura de estaño y las pego en la campana como se ve en la siguiente imagen



*Imagen 11*

La escobilla inferior no causo problema. La construí de la misma manera, pero las fije a un alambre con soldadura y además serbia como soporte, que luego ancle a las bases del generador (*imagen 12*).



*Imagen 11*

La escobilla inferior debe de estar conectada a tierra, para ello utilicé un cable que tiene polo a tierra. Esto mejoro el rendimiento de la máquina significativamente. En cambio, la escobilla superior, debe de estar totalmente aislada de tierra. Estas escobillas deben de estar lo mas cerca posible a la banda, pero hay que tener cuidado de que no la toquen. *No hago recomendaciones adicionales para la construcción de las escobillas.*

## 10.5 ANEXO 5. *Manual para la construcción de la máquina de Wimshurst.*

### CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE WIMSHURST

En este documento explicare el proceso de construcción de la máquina de Wimshurst. Mencionaré con detalle cada paso que realice para llegar al diseño final, el cual tarde aproximadamente mes y medio en terminarlo.

Antes de explicar la construcción de la máquina, quisiera mencionar un aspecto que fue de suma importancia en la construcción de la misma. Cuando llevaba más de un mes construyéndola, aun no lograba que funcionara. Frustrado y desesperado, decidí buscar ayuda. Pensé en los profesores de mi departamento, así que fui donde ellos. Le pregunte a casi todos los profesores del departamento, pero ninguno me pudo ayudar y algunos de ellos no conocían si quiera la máquina. Trate de buscar con personas externas, pero tampoco. Un profesor me respondió: “si la conozco, he trabajado con ella, pero no se como hacer una. Es mas, es la primer persona que conozco que esta haciendo una” quede pensando lo que me había dicho el profesor y me pregunte, quien habrá construido una en Bogotá? Probablemente lo han hecho unos cuantos, pero quienes? En definitiva no conseguí ayuda.

Me dedique a buscar por la web algo que me pudiera servir. Busque por foros, blogs, pdf, artículos, pero no encontré nada que me sirviera. De tanto buscar, encontré un foro sobre la máquina de Wimshurst y algunas personas hacían preguntas, muchas de ellas se las recomendaban hacer a un tal “David”. Así que busque a este personaje y le escribí, ya era casi la persona número treinta a la que escribía. Me sorprendí, al recibir el mensaje a los 20 minutos después. Me pidió que le enviara fotos. Así que le envié las que tenia. Me dio varios consejos para mejorarla, así que emprendí en hacerlos. Con David hable durante casi 8 días, casi siempre a las tres de la mañana.

El 1 de octubre a las 3 am hice la última modificación que veía pertinente. Accione la máquina e inmediatamente cogí el celular. Envié un mensaje a David que decía: *David hice*

*las últimas modificaciones que tú me aconsejaste, y le hice otras que vi pertinentes. Accione la máquina, funciona! Arrojo una chispa máxima de 11 cm. A los cinco minutos me responde: “Me alegro, quedo mejor que la mía”. Después me dio curiosidad de la persona que me había ayudado, no sabía nada de él. Lo único que sabía, es que me respondía desde España. Me lleve una gran sorpresa. Él es David Flores Licenciado en Ciencias de la Educación. Especialista en Historia de la Educación y Pedagogía de Sistemas de la Universidad de Barcelona. Me sorprendí por una sencilla razón, su humildad y paciencia para responder a mis mensajes. Sin sus buenos consejos aun estaría buscando alguna solución para que funcionara la máquina.*

## **BASES Y SOPORTE**

Inicie construyendo las bases de mi primer modelo con materiales que disponía en casa, utilicé mdf (*imagen 4*). Estas bases no eran estables y pronto las mejore. Las hice finalmente con madera, específicamente pino (*imagen 1*).



*Imagen 1*



*Imagen 2*



*Imagen 3*

Cada base tiene las siguientes dimensiones: 7 cm de ancho por 28 cm de alto y 2cm de espesor. Fije las bases al soporte, también de madera, por medio de unos ángulos y tornillos (*imagen 3*).

*No recomiendo hacer otras modificaciones a las bases ni soporte.*

## DISCOS

Inicialmente utilicé unos viejos discos de acetato (*imagen 5*). Estos discos no son consistentes y pierden su forma al doblarse. Así que los sustituí por otros.



*Imagen 4*



*Imagen 5*

Construí los nuevos discos con una vieja lámina de acrílico que disponía en casa (*imagen 6*). El acrílico es un material resistente y fácil de trabajar.



*Imagen 6*

Pronto me tocó reemplazarlos por otros, explicare el motivo más adelante. Los construí con el acrílico que sobro de los anteriores. Estos últimos discos, tampoco duraron mucho.

Esta serie de fracasos fueron muy importantes, ya que permitieron llegar a diseñar un par de discos más eficientes que mande a hacer en una empresa que se dedica a fabricar vallas publicitarias. Esta vez los discos quedaron más elaborados, ya que el corte se hizo con laser. Cada disco tiene un diámetro de 28 cm y 2 mm de espesor que fueron los que utilicé en el diseño final. *Para la construcción de los discos no recomiendo utilizar otro material. A mi modo de ver, el acrílico es un material eficiente para esta pieza de la máquina.*

## SEGMENTOS

Los segmentos son una parte muy importante en el funcionamiento de la máquina. Entendiendo por segmentos aquellas piezas de material conductoras que están adheridas a los discos.

Inicialmente los hice en forma de gota, con papel de aluminio y los pegue con silicona líquida (*imagen 5*). Utilicé 16 segmentos distribuidos uniformemente en cada disco de acetato. Posteriormente cambie los discos utilizando 16 segmentos nuevos, hechos también con papel aluminio (*imagen 7*). Después de hacer varias pruebas con los discos, note que el papel no era lo suficientemente rígido como para soportar la fricción con las escobillas. Trate de quitar los segmentos, para remplazarlos por otros, pero los discos quedaron muy sucios, debido al pegamento que use. Por este motivo cambie nuevamente los discos. Esta vez utilicé para la construcción de los segmentos lámina de aluminio de 2mm de espesor. Hice una plantilla para cortar las 32 que necesitaba. Cada segmento tenía las siguientes dimensiones: 3cm en la parte más gruesa, 2 cm en la parte más delgada y 8 cm de largo. Esta vez la silicona líquida no sirvió. Busque otro pegamento que fijara el aluminio en el acrílico. Probé con varios materiales, entre ellos el Súper Bonder. Después de hacer varias pruebas, utilicé el pegamento para pegar los demás. Al día siguiente de haber pegado los segmentos, note que el pegamento había ensuciado los discos (*imagen 8*).

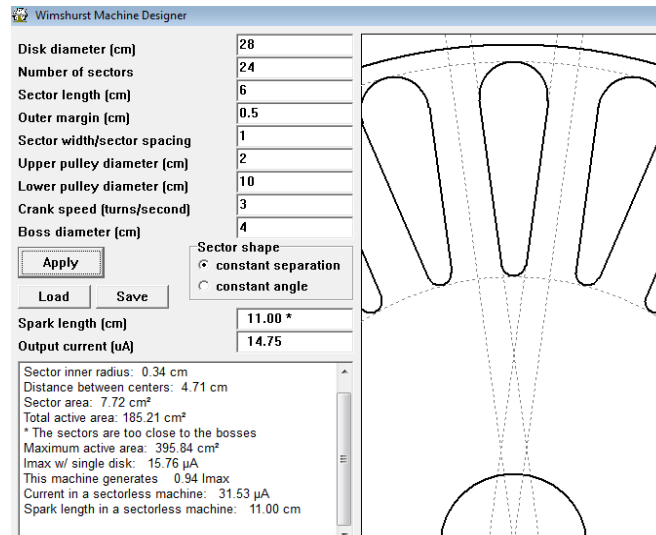


*Imagen 7*



*Imagen 8*

Igual hice algunas pruebas con ellos, sin encontrar resultados satisfactorios. Seguí investigando y encontré un programa de software libre que descargué (*Wimshurst machine designer*). En él, se puede ingresar el número de segmentos, el diámetro de los discos y la forma como quiere construirlos. Con estos datos el programa ayuda a distribuir los segmentos en los discos (*imagen 9*) y arroja teóricamente la longitud de la chispa.



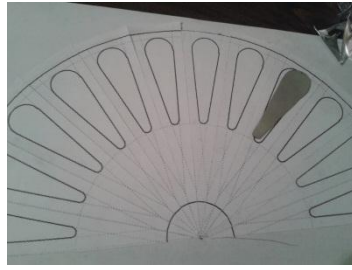
*Imagen 9*

Es muy importante esta parte, ya que el número de segmentos, ubicación y tamaño de cada uno puede afectar en el desempeño de la máquina. Los segmentos deben de estar ubicados en el disco de tal forma, que en la separación de dos segmentos, case exactamente uno (*imagen 9*). Con la nueva plantilla (*imagen 11*), era necesaria la construcción de unos nuevos discos. Los conseguí en una empresa que se dedica a la fabricación de vallas publicitarias.

Había encontrado otro grave error, los segmentos estaban muy grandes. Modifique el tamaño y aumente el número de 16 a 24 segmentos (*imagen 13*), quedaron de la siguiente manera: 2 cm en la parte más gruesa, 0.8 en la parte más delgada y 6 cm de longitud (*imagen 11*). Conseguí otra forma de unirlos a los discos de acrílico, esta vez se trataba de una doble cinta (*imagen 10 y 12*).



*Imagen 10*



*Imagen 11*



*Imagen 12*



*Imagen 13*

Esta cinta es muy eficiente y se adhiere a cualquier superficie con mucha facilidad. La conseguí en el mismo sitio que compre los dos discos de acrílico. *Para los segmentos no hago otra sugerencia.*

## **POLEAS DE LOS DISCOS**

Las primeras poleas que utilicé, eran de un viejo equipo de sonido y las cubrí con mdf (*imagen14*). Las pego a los discos de acetato. Este sistema no funciono, ya que los discos deben de estar a una separación de 3 mm uno con respecto del otro y no deben de tocarse. Este sistema, permitió que los discos estuvieran a 6 mm, aun así se tocaban (*imagen 21*).



*Imagen 14*



*Imagen 15*

Las poleas que diseñé, para los cuatro discos de acrílico que construí posteriormente, tenían un sistema de rodamiento (*imagen 15*). Aun así, la mínima distancia de separación de los

discos que logre es de 5 mm y aun se tocaban al girar (*imagen 22*). Tenían que ser modificadas. Para ello mantuve el mismo sistema de rodamiento. Las poleas ya no las hice en madera, utilicé teflón (*imagen 16*).



*Imagen 16*



*Imagen 17*

Esta vez no las pegue con Súper Bonder, utilicé la misma cinta con la que pegue los segmentos (*imagen 17*). Las mande a máquinar en una empresa que se dedica a la construcción de poleas (*Nacional de poleas*). Para las poleas de los discos no hago más recomendaciones.

## **POLEAS DE MOVIMIENTO**

Estas poleas van fijas a un eje, el cual es accionado mecánicamente y se encarga de transferir movimiento a los discos. Inicialmente lo construí con un tornillo de 15 cm de largo y utilicé una palanca que hice con madera (*imagen 18*).



*Imagen 18*



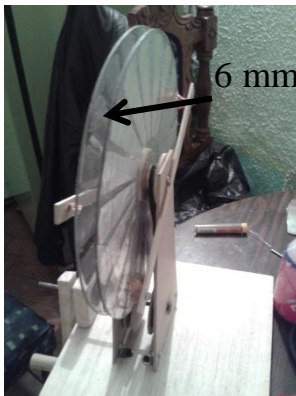
*Imagen 19*



*Imagen 20*

Esta palanca era muy larga, era necesario reducirle su tamaño. En el modelo final utilicé una varilla de Latón de aproximadamente 30 cm de longitud y la doble sometiéndola a alta temperatura. Construí las poleas de madera (*imagen 20*) y van fijas al otro extremo del eje de la palanca.

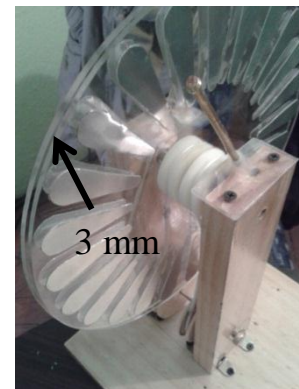
El sistema mecánico de las poleas inferiores y superiores permitió, satisfactoriamente, que los discos estuvieran a una separación de 3mm, sin que se tocaran (*imagen23*).



*Imagen 21*



*Imagen 22*

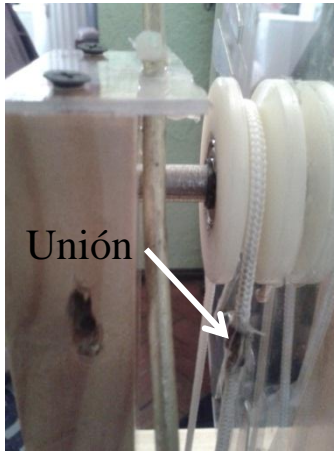


*Imagen 23*

*Para las poleas no hago ninguna otra recomendación.*

## **CORREAS**

Construí y probé con varios materiales para hacer las poleas. Utilicé coraza de bicicleta, cauchos de ollas a presión, Thera Band, plásticos, entre otros. Trataba de hacerlas con cualquier cosa que tropezaba. Encontré en una ferretería un cordón, que parecía ser muy resistente. Hice varias pruebas y funcionó correctamente. Tome las medidas de tal forma que las correas quedaran con la tensión adecuada para hacer que el sistema mecánico se moviera. Las uní con calor y reforcé con una aguja e hilo (*imagen 21*).



*Imagen 21*

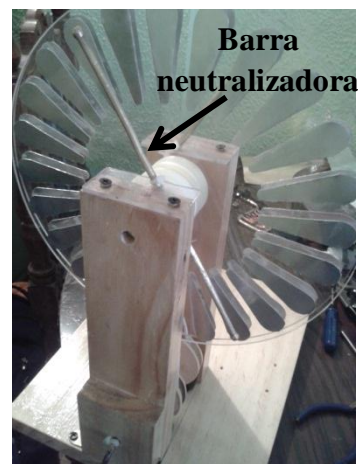
*Para la elaboración de estas correas, recomendaría buscar otro material, ya que este cordón tiende a ceder debido a la tensión.*

## **BARRAS NEUTRALIZADORAS**

Las barras neutralizadoras deben de estar hechas de un material conductor y estar completamente aisladas, además, tienen que estar a 60 grados con respecto a la horizontal. El error que cometí al inicio fue construir estas barras con mdf (*imagen22*). Este era uno de los grandes problemas que no dejaba funcionar la máquina. Posteriormente las replacé por una varilla de Latón. La aislé con un soporte hecho de acrílico (*imagen 23*).



*Imagen 22*



*Imagen 23*

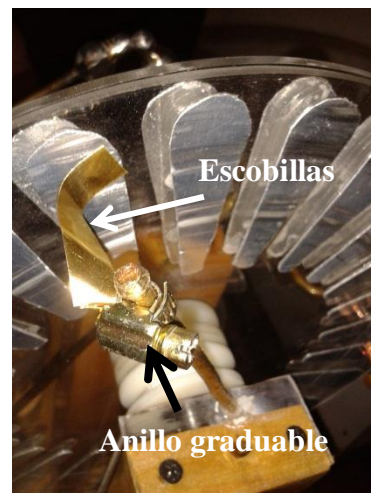
*No recomiendo hacer modificaciones adicionales para las barras neutralizadoras.*

## ESCOBILLAS

Las escobillas son las únicas que hacen contacto con los segmentos de los discos y están en los extremos de las barras neutralizadoras. Inicialmente las hice con cobre en forma de pincel. Utilicé un cable bifilar (*imagen24*). No funcionaron muy bien, así que probé con otros materiales como el aluminio y el acero. Ninguno de ellos funciono. Decidí entonces, probar con una lamina de Latón que conseguí a bajo costo en una empresa que se dedica a la venta de este material. Las hice en forma de paleta, de 2 cm de ancho, y las fije a las barras neutralizadoras con un anillo graduable (*imagen 25*) lo conseguí en una ferretería.



*Imagen 24*



*Imagen 25*

*Para la construcción de las escobillas no hago más recomendaciones.*

## COLECTORES

Los colectores tienen la función de llevar la electricidad (por inducción), a las botellas de Leyden, esto implica, que deben de estar muy cerca a los discos pero nunca tocarlos.

Primero utilicé unos colectores en forma de punta y conectados directamente a las placas internas de las botellas de Leyden (*imagen 26*). Los hice con varillas de latón, unidas con soldadura industrial. Después de varias pruebas, concluí que era necesario sustituirlas. Primero porque cubría muy poca área sobre los discos y segundo no alcanzaba a coleccionar la electricidad del disco anterior. Pensé en unos colectores que cubrieran a los dos discos. Así que utilicé una varilla de latón, un poco más gruesa que las que había usado anteriormente,

y la doble en forma de U sometiéndola a alta temperatura (*imagen27*). Luego le perforo pequeños agujeros con un taladro de árbol que tengo en casa. Hice seis huecos en cada brazo de la U y en ellos introduje los colectores. Estos últimos, los hice con cable bifilar (*imagen 28*) y soldé con estaño para darles mas firmeza (*imagen 27*).



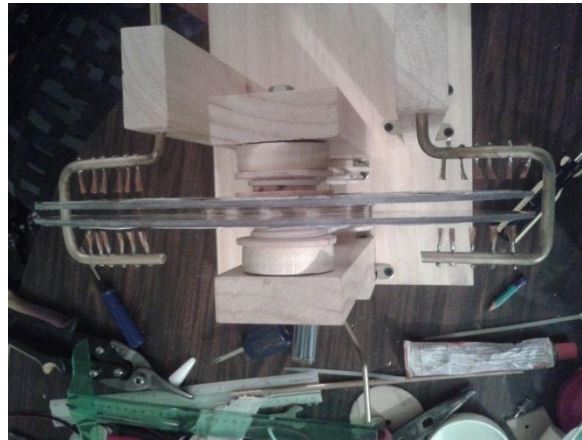
*Imagen 26*



*Imagen 27*



*Imagen 28*



*Imagen 29*

Los colectores estaban, a mi parecer, muy bien. Así que construí unas bases de madera, por la cual pasaban los colectores (*imagen 28*). Las fije al soporte por medio de ángulos y tornillos (*imagen 29*).

Cuando ya tenía todo el sistema listo, accione la máquina y no funciono. Resulta que los colectores deben de estar aislados completamente. La madera bien o mal es conductora y como los colectores estaban haciendo contacto con ella, toda la electricidad producida por la máquina se estaba transportando a tierra. Así que debía sustituir las bases. Lo que hice fue conectar los colectores directamente a las botellas de Leyden (*imagen 36*). *Para la construcción de los colectores no hago más recomendaciones.*

## BOTELLAS DE LEYDEN

Las dos primeras que construí, las hice con dos vasos plásticos y con papel aluminio (*imagen 26*). No funcionaron. Probé con varios materiales entre ellos: vasos de vidrio, plástico, aluminio, azucareras, saleros, teteros, cilindros de cartón, envases para salsas y porta palillos. Todas las combinaciones posibles; con papel de aluminio, laminas de aluminio de calibre 3 mm, lámina de latón y lámina de estaño. Unas funcionaron mejor que otras, pero no como las que necesitaba. Encontré un par de tarros e hice varias pruebas. Funcionaron muy bien. Así que les hice algunas modificaciones con el fin de mejorar su rendimiento, obteniendo el último diseño (*imagen 30*).



*Imagen 30*

La máquina funciona muy bien con estos condensadores. Las laminas de cada botella, las hice con varias capas de papel aluminio, específicamente siete por cada una (*interna 6 cm de alto y externa 7 cm*). Las uní al vaso de plástico, con un poco de silicona líquida. Posteriormente me dediqué a fijarlas sobre el soporte. Construí un par de cajas, con forma de cenicero (*imagen 31*) y las ancle al soporte por medio de un tornillo con tuerca (*imagen32*).



*Imagen 31*



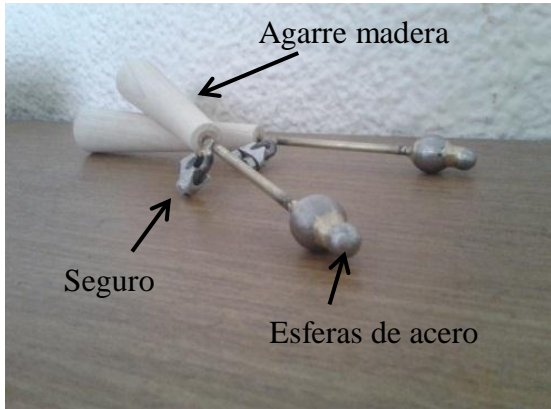
*Imagen 32*

Las botellas deben de estar unidas por medio de sus láminas exteriores y en la medida de lo posible conectadas a tierra. Utilicé un cable que va por debajo del soporte y este a su vez, lo conecte a las dos entradas, llamadas positivas (*imagen 32*). *Para la construcción de las botellas no hago más recomendaciones.*

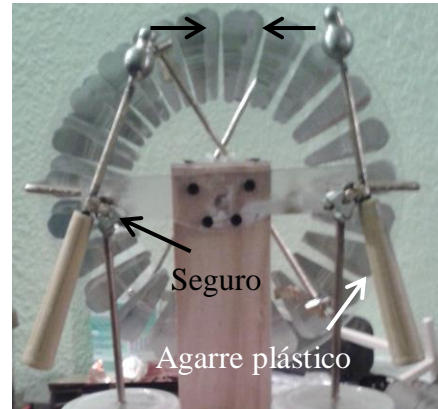
## **BARRAS DE DESCARGA**

Las barras de descarga deben de estar aisladas completamente y unidas a las botellas de Leyden. Las aislé con una base de acrílico (*imagen 34*). Debido al potencial tan elevado que alcanza cada botella, se produce una ruptura en el dieléctrico, ocasionando una fuerte chispa entre las dos barras.

Para la construcción de las barras, utilicé dos esferas de acero unidas con soldadura industrial, una de mayor tamaño que la otra (*imagen 33*) y las fije a una varilla de latón de aproximadamente 10 cm de largo. Las barras deben de estar diseñadas de tal manera que permitan moverse libremente, con el fin de cambiar la distancia de separación de las dos. Para ello utilicé unos seguros que conseguí en una ferretería (*imagen 33*). Este seguro Lo soldé a la varilla de Latón, con el fin que pudiera quitarse fácilmente de las botellas. Este seguro permite graduar el movimiento de las barras.



*Imagen 33*



*Imagen 34*

Inicialmente hice en madera unos agarres para las barras (*imagen 33*). Mas adelante las modifique por unos agarres de plástico, ya que al accionar la máquina y trataba de cambiar de posición las barras, sentía unas leves chispas en los dedos. De esta manera busque un material que aislara por completo las barras de mis dedos. Para ello utilicé los agarres que traen los ganchos de las cortinas (*imagen 34*). *Sugiero que el sistema de rotación de las barras sea modificado por otro. Aconsejaría soldar una esfera en la varilla de Latón, en lugar del seguro que yo utilicé. A esta esfera perforar un agujero en su centro de tal forma que entre exactamente en la varilla que comunica a las botellas de Leyden.*

## **ULTIMO DISEÑO**

La máquina alcanzo una chispa máxima de 11 cm (*imagen35*), teóricamente se estimaba una chispa de 10, 40 cm. Este es el último diseño completo de la máquina (*imagen 36*).



*Imagen 35*



*Imagen 36*



*Imagen 37*

## ULTIMOS DETALLES

En la medida de lo posible no dejar puntas en ninguna parte del sistema de la máquina, ya que pueden existir pérdidas de energía eléctrica. Otra manera de disminuirlas, es aplicar barniz dieléctrico a toda la máquina (varillas, madera, plástico, acrílicos, etc.), teniendo en cuenta de no aplicar en los sectores que deben estar descubiertos (colectores, escobillas, esferas de las barras de descarga, etc.).

Las escobillas deben de hacer un suave contacto con el disco y los discos deben de estar lo mas cerca posible, 3 mm es lo ideal. Procure no hacerlas muy grandes ni muy pequeñas, 2 cm de ancho estarían bien. Tenga en cuenta que los discos no deben tocarse cuando giren. Si lo hacen, revise el sistema mecánico. Los discos giran en contra rotación, uno con respecto del otro. Para lograr esto simplemente se da una vuelta a la correa de uno de los discos, quedando como un 8. Esto garantizara que giren en sentido contrario.

Cerciórese que las botellas de Leyden funcionen y no tengan fugas, esto se evita al sellar bien la tapa de la misma. La humedad relativa de Bogotá ( $\approx 70\%$ ), permite construir botellas de Leyden de plástico. El vidrio funcionara con una humedad relativa  $\approx 30$  o  $40\%$ .

## MANTENIMIENTO

La máquina, si se le cuida, no requiere de un mantenimiento muy seguido. Solamente limpieza de sus partes y cambio de escobillas, cuando lo requiera. La limpieza se puede hacer con alcohol isopropílico ya que se evapora rápidamente. Utilicé siempre un forro para evitar que la máquina se humedezca y llene de polvo.

### 10.6 ANEXO 6. Manual para la construcción del electróforo y equipos adicionales.

## CONSTRUCCIÓN DEL ELECTRÓFORO

Construir este equipo es muy sencillo. Basta algún disco de material conductor y un dieléctrico para construir uno. Yo utilicé un disco de aluminio de aproximadamente 10 cm de diámetro (*imagen 1*). Para aislarlo, construí un soporte de plástico. Lo pegue al disco con cinta doble faz (*imagen 2*) y use cómo agarre un tubo de un esfero (*imagen 1*).



*Imagen 1*



*Imagen 2*

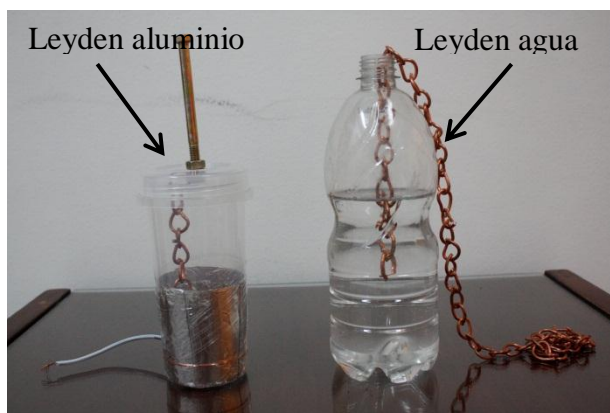


*Imagen 3*

Antiguamente se utilizaba un disco de resina, el cual era frotado con piel de gato. Reemplacé el disco de resina por una lamina de acrílico (*imagen 3*) y la piel de gato por lana y paño.

## CONSTRUCCIÓN DE LAS BOTELLAS DE LEYDEN

Construí dos botellas de Leyden. Una con agua y otra con láminas conductoras (*imagen 4*). La construcción de la botella de Leyden con agua, es relativamente sencilla. Para ello utilicé una botella con agua y una cadena para conectarla a alguna máquina electrostática (*imagen 4*).



*Imagen 4*

Construí el condensador de láminas, con papel aluminio. Enrolle el papel siete veces. La lámina interior tiene siete centímetros de alto y la lámina exterior tiene ocho centímetros de alto. Las pegue al vaso de plástico con silicona líquida. La barra conductora esta conectada a la lámina interna, para ello, utilicé un tonillo de diez pulgadas (*imagen 4*).

### EQUIPOS ADICIONALES

- En las experiencias que diseñé y presente en las guías orientadoras, utilicé varios materiales, entre ellos tubos plásticos, varillas de vidrio y paños de diferente material. Los tubos plásticos los compre en una bisutería, son utilizados para amarrar las bombas. Las varillas de vidrio, las conseguí en un laboratorio químico. Se utilizan para mezclar sustancias y son de bajo costo (*imagen 5*).



*Imagen 5*

- Corté varios trozos de papel crepe; unos muy pequeños (*imagen 7*), otros largos y los pegue a tres discos de cartón paja (*imagen 6*). Los utilicé en varias experiencias que propuse en las guías orientadoras.

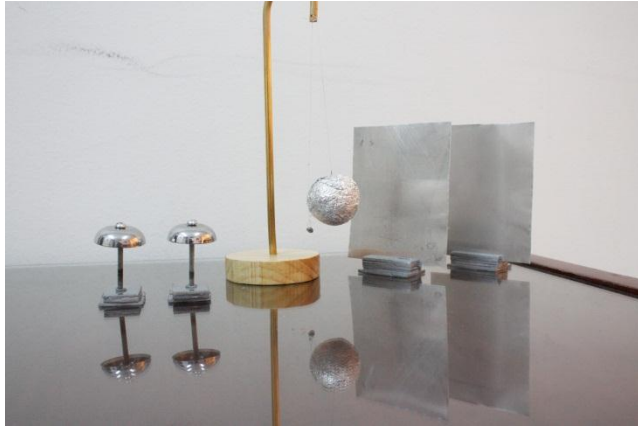


*Imagen 6*



*Imagen 7*

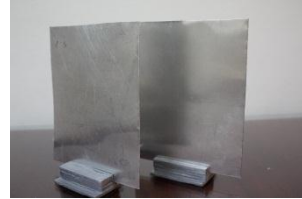
- Construí un soporte en el que cuelgan dos esferas (*imagen 8*). La esfera grande la hice, cubriendo una bola de icopor con papel aluminio. La esfera pequeña la hice con soldadura de estaño. Las dos campanas conductoras (*imagen 9*), las saque de un antiguo teléfono. Las laminas conductoras (*imagen 10*), Las hice con lamina de aluminio. Estos materiales conductores, los aislé con un soporte hecho en acrílico y los utilicé en varias experiencias (*ver guías campo eléctrico*).



*Imagen 8*



*Imagen 9*



*Imagen 10*