





*Conducción eléctrica en gases y el cuarto estado de la materia.  
La historia y la experimentación en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física*

*Málory Alejandra Rodríguez Cuéllar*

*Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
Bogotá, Colombia  
2019*

*Conducción eléctrica en gases y el cuarto estado de la materia.  
La historia y la experimentación en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física*

*Málory Alejandra Rodríguez Cuéllar  
Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural*

*Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:  
LICENCIADA EN FÍSICA*

*Director:  
José Francisco Malagón*


*Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
Bogotá, Colombia  
2019*

*Para:*

*Martha, Edgar, Nubia, Nathalia y Camila*


*“Algunos lectores esperan de mí que les diga en esta etapa lo que la electricidad es realmente. El hecho es que ya lo dije. No es una cosa como la catedral de San Pablo; es una forma de comportarse las cosas. Al decir cómo se comportan las cosas electrizadas y en qué circunstancias lo han sido, hemos dicho todo lo que podemos decir. Cuando digo que un electrón tiene cierta cantidad de electricidad negativa, doy a entender, simplemente, que se comporta de cierto modo. La electricidad no es como la pintura roja, una sustancia que puede colocarse sobre el electrón y quitarse de nuevo, sino es meramente un nombre conveniente para ciertas leyes físicas.”*

***Bertrand Russell, ABC de los átomos, E. P. Dutton, 1923***

|   |   |  |
|---|---|--|
| <br>UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL<br><i>Formación y transformación</i> | <b>FORMATO</b>                              |  |
|   | <b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b> |  |
| Código: FOR020GIB   | Versión: 01                                 |  |
| Fecha de Aprobación: 10-10-2012   | Página 5 de 87                              |  |

| <b>1. Información General</b> |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Tipo de documento</b>      | <i>Trabajo de grado</i>   |
| <b>Acceso al documento</b>    | <i>Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central</i>  |
| <b>Título del documento</b>   | <i>Conducción eléctrica en gases y el cuarto estado de la materia. La historia y la experimentación en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física.</i>  |
| <b>Autor(es)</b>              | <i>Rodríguez Cuéllar, M. Alejandra</i>  |
| <b>Director</b>               | <i>José Francisco Malagón</i>   |
| <b>Publicación</b>            | <i>Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2019. 87 p.</i>   |
| <b>Unidad Patrocinante</b>    | <i>Universidad Pedagógica Nacional</i>  |
| <b>Palabras Claves</b>        | <b><i>CONDUCCIÓN ELÉCTRICA EN GASES, CUARTO ESTADO DE LA MATERIA (PLASMA), EFECTOS MECÁNICOS, DESCARGA ELÉCTRICA EN EL AIRE, RADIÓMETRO DE CROOKES, EXPERIMENTACIÓN E HISTORIA, PROCESOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE, PROPUESTA DE AULA.</i></b> |

| <b>2. Descripción</b>  |
|--|
| <p>Los fenómenos de descarga eléctrica en gases son interesantes, controversiales y fundamentales para la Física.</p> <p>Fundamental, en el sentido que introduce las primeras miradas teóricas que configuran lo que hoy día conocemos como la Física de partículas o la Física de plasmas. Estos estudios introducen razonamientos transcendentales de la electricidad, de la materia y su carácter corpuscular.</p> <p>Los estudios de descarga y conducción eléctrica en gases parten inicialmente de las exploraciones acerca de la descomposición electroquímica, electrólisis, desarrollándose así, los primeros dispositivos. Hacia mitad de siglo XIX estas investigaciones fueron extendidas a lo largo de los laboratorios alemanes e ingleses, estableciendo posturas fundamentales acerca de la naturaleza de los rayos catódicos. Los trabajos más destacados son los desarrollados por Faraday, Crookes, Thomson, Goldstein, Plücker, Hittorf, entre otros.</p> <p>La siguiente investigación, es estructurada bajo un interés particular por conocer la fenomenología de la conducción eléctrica en gases, acción que lleva a la conformación de una investigación bibliográfica y experimental.</p> |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL<br><small>Escuela Superior de Pedagogía</small> | <b>FORMATO</b>                              |  |
|  | <b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b> |  |
| <b>Código: FOR020GIB</b>   | <b>Versión: 01</b>                          |  |
| <b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>   | <b>Página 6 de 87</b>                       |  |

A través de la primera, se consigue comprender el origen, las problemáticas centrales, teorizaciones, fenomenologías; la segunda, crea lecturas del fenómeno de conducción y descarga a través de actividades experimentales desde una mirada electrostática.

Lo cual permite establecer elementos significativos para la construcción de una propuesta de aula, basada en perspectivas experimentales e históricas, dirigida hacia la comprensión de cada uno de los aspectos establecidos en la investigación contenida en este texto.

Por lo tanto, esta investigación permite abordar un gran número de teorías e investigaciones, relacionables entre sí, como es el caso de la electrostática, descomposición electroquímica, conducción eléctrica en líquidos y gases, rayos catódicos, entre otros; creando un ambiente amplio para la construcción de conocimiento.

### 3. Fuentes

Armenta , M., Barrios , H., Del Castillo, R., Correa , J., Espinosa , H., Galindo , M., . . . Aguilera, A. (1994). *Protagonistas del mundo, Vol.3. Bogotá: Terranova Editores.*

Babor, J., & Ibarz, J. (1962). *Química general moderna: Una introducción a la Química Física y a la Química descriptiva superior (Inorgánica, Orgánica y Bioquímica). Marín S.A.*

Beaulard, M. (1898). *La décharge électrique dans les gaz raréfiés, Les Rayons Cathodiques. En d. s. Les facultés de droit, Annales de L'Univerité de Grenoble (págs. 39-170). Paris: Gauthier-Villars & Fils, Allier Frères.*

Bence , H. (1870). *The Life and Letters of Faraday. Londres: Longmans, Green and Co.*

Bravo, S. (1994). *Plasma en todas partes. México: Fondo De Cultura Economica USA.*

Bravo, S. (1994). *Plasma En Todas Partes . México: La Ciencia/126.*

Burbano Garcia, E., Gracia Muñoz, C., & Burbano de Ercilla, S. (2003). *Paso de corriente a través de gases. En S. Burbano, Física General, 32ª Edición (pág. 800). Madrid: Tebar.*

Carpí, A., & Egger, A. (2008). *Visionlearning. Recuperado el Estados Unidos, de Métodos de la investigación. La Experimentación en la investigación Científica: <https://www.visionlearning.com/es/library/49/La-Experimentaci%C3%B3n-en-la-Investigacion-Cient%C3%ADfica/150/reading>*

Cecil, W. (1997). *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión. Madrid: TECNOS, S.A.*

Cervo, A., & Bervian, P. (1980). *La investigación: Nociones generales*. En A. Cervo, & P. Bervian, *Metodología Científica* (pág. 137). Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A.

Chemical Bond Approach Project (CBA). (1967). *Concepto Fundamental: Flujo de carga eléctrica en gases enrarecidos*. En C. B. Project, *Sistemas químicos: guía del profesor* (pág. 918). Reverte.

Colaboradores de Wikipedia. (21 de Febrero de 2018). Francis Hauksbee. Obtenido de Wikipedia, *La enciclopedia libre*.:  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Francis\\_Hauksbee&oldid=105742060](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Francis_Hauksbee&oldid=105742060)

Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación, Asociación Española Ingenieros de Telecomunicación. (2019). Geissler, Heinrich. Obtenido de Foro Histórico de las Telecomunicaciones: <http://forohistorico.coit.es/index.php/personajes/personajes-internacionales/item/geissler-heinrich>

Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicaciones, Asociación Española Ingenieros de Telecomunicación. (2019). Plücker, Julius. Obtenido de Foro Histórico de las Telecomunicaciones: <http://forohistorico.coit.es/index.php/personajes/personajes-internacionales/item/pluecker-julius>

Collazos, C., Otero, H., Isaza, J., & Mora, C. (2016). *Diseño y Construcción de una Máquina de Wimshurst para la enseñanza de la electrostática*. *Formación Universitaria*, Vol.9, No.5.

Collazos, C., Otero, H., Isaza, J., & Mora, C. (2016). *Diseño y Construcción de una Máquina de Wimshurst para la enseñanza de la electrostática*. *Formación Universitaria* Vol.9 No.5.

Collazos, J. (1903). *Teorías modernas sobre la constitución de la materia. La realización de un sueño hecho realidad*. *El Mundo Científico*, 594 - 631.

Comas, J. (1907). *Astronomía y Ciencia General: Colección de trabajos científicos de popularización referentes a la astronomía, a la sismología, a la historia de las Ciencias en el siglo XIX*. Barcelona: F. Granada y Cía. .

Cortés, J., & Cortés, L. (2000). *Enciclopedia de biografías ilustradas*. Bibliografica Internacional.

Crookes, W. (1879). *Radiant Matter*. Londres: Asociación Británica para el avance de la Ciencia.

De Puygrelier, É. (15 de Febrero de 1880). *De la matière radiante*. *Le Monde des sciences appliquées aux arts et à l'industrie: revue mensuelle illustrée des inventions et découvertes les plus récentes*, pág. 10.

Díaz, M., Escalona, M., Castro, D., León, A., & Ramírez, M. (2013). *Metodología de la Investigación*. México: Trillas.

*Faraday, M. (1849). Experimental Researches In Electricity. Londres: J.M. DENT & SONS LTD.:*

*Fernández, E. (2018). Eso no estaba en mi libro de Historia de las Ciencias. Córdoba (España): Editorial Almuzara.*

*Fundación Andaluza para la divulgación de la innovación y del conocimiento . (15 de Abril de 2019). Jöns Jacob Berzelius. Obtenido de DesQbre:  
<https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/nombres-propios/jons-jacob-berzelius/>*

*Galetto, M., & Romano, A. (2015). Saber Experimentar. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.*

*Garay, F. R. (2011). Perspectivas de Historia y contexto Cultural en la enseñanza de las ciencias para los procesos de enseñanza y Aprendizaje. Ciencia y Educación , 51-62.*

*García, A. (1880). Algunas Consideraciones más sobre la Materia Radiante (Marzo 30). El Criterio Médico, 48.*

*García, A. (1880). La materia radiante y los principios de la escuela médica dinamista llamada Hahnemanniana (Febrero 29). El criterio Médico, 47.*

*García, M., & Ewert, J. (1984). Espectroscopía y Modelo Atómico. En M. García, & J. Ewert, Introducción a la Física Moderna (pág. 427). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.*

*Gil , S. (2014). Apendice A: Pautas y sugerencias para la redacción de informes científico-tecnicos. En S. Gil, Experimentos de Física usando las TIC y elemento de bajo costo (págs. 730-737). Buenos Aires: Alfaomega.*

*Gil, S. (2016). Marco de referencia: Rol del laboratorio en el aprendizaje de las Ciencias . En S. Gil, Experimentos de Física: usando las TIC y elementos de bajo costo (págs. 24-29). Buenos Aires: UNSAM.*

*Hanriot, M. (1880). Hypothèses actuelles sur la constitution de la matière : thèse présentée au concours pour l'agrégation (section des sciences accessoires). Paris : G. Baillièrè .*

*Harré, R. (2002). Grandes Experimentos Científicos. Veinte experimentos que han cambiado nuestra visión de mundo (versión al español). Barcelona: LABOR.*

*Hernandez, P. E. (2014). Teorias y Modelos en la enseñanza-aprendizaje de la Física Moderna. Córdoba (Argentina): Universidad Nacional de Córdoba.*

*Holton , G. (1989). Electrostática. En G. Holton, Introducción a los conceptos y teorías de las Ciencias Físicas. Segunda Edición (págs. 583-612). Barcelona: Editorial REVERTÉ.*



- IES Goya. (2017). Bobina de Ruhmkorff y tubos de Geissler. Obtenido de Patrimonio Científico: <http://patrimoniocientificoiesgoya.blogspot.com/2017/06/bobina-de-ruhmkorff-y-tubos-de-geissler.html>*
- Kragh, H. (2007). Descargas en gases y lo que siguió. En H. Kragh, Generaciones Cuánticas. Una historia de la Física en el siglo XX (págs. 27- 43). Madrid: Ediciones AKAL.*
- Kramer, C. (1994). Prácticas de Física. Ciudad de México: McGraw Hill.*
- La Gaceta de Sanidad Militar. (1880). Variedades. La Gaceta de Sanidad Militar, 32.*
- León, O., & Montero, I. (1997). La Lógica de la Experimentación. En O. León, & I. Montero, Diseño de Investigaciones. Introducción a la lógica de la investigación en Psicología y Educación (págs. 105-133). Madrid: McGraw-Hill.*
- López, C. (2004). La Electricidad y el Magnetismo. En C. López Tascón, La Ciencia Explicada- Física. Calor, Ondas y Electricidad. Bogotá: Intermedio Editores, Una división de círculo de lectores S.A.*
- Martín Romero, J. (1947). Electricidad. Barcelona: Editorial Ramón Sopena S.A.*
- Marulanda, J., & Gómez, L. (2006). Experimentos en el aula para la enseñanza de la Física. Revista Colombiana de Física Vol.38.*
- Mason, S. (2001). El desarrollo de la electricidad y el magnetismo. En S. Mason, Historia de las Ciencias. La ciencia del siglo XIX (pág. 192). Madrid: Alianza Editorial S.A.*
- Mendoza, C. (2014). El Radiómetro de Crookes. ¿Cuál es la teoría más aceptada sobre su funcionamiento? . Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.*
- Ministerio de Educación Nacional . (2006). Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas . Bogotá: Ministerio de Educación Nacional .*
- Ministerio de Educación Nacional, Universidad de Antioquia. (2016). Derechos básicos de aprendizaje. Ciencias Naturales. Colombia: Panamericana Formas E Impresos S.A.*
- Moreira, M. A. (2014). Enseñanza de la Física: aprendizaje significativo, aprendizaje mecánico y criticidad. Revista Enseñanza de la Física (Vol.26), 45-52.*
- Nolasco, M., & Modarelli, M. (2009). Metodología didáctica innovadora: una experiencia en el aula universitaria. Revista Iberoamericana de Educación, 1-8.*
- Orientación Ciencias Naturales. (Sin Fecha ). Física Clásica y Moderna 6° Año.*

- Orozco, J. (1998). *Contribución de las investigaciones electro-químicas a la concepción de campos de Faraday. Física y Cultura. Cuadernos sobre Historia y Enseñanza de las Ciencias*, 55-75.
- Pérez Aguirre, G. (2007). *En las entrañas del átomo. En G. Pérez Aguirre, Química 1. Un Enfoque Constructivista, Volumen 1 (págs. 70-85). Pearson Educación.*
- Pharmacie centrale de France et Maison de droguerie Menier réunies (Paris). (1880). Miscellanées, La matière radiante. L'Union pharmaceutique : journal de la Pharmacie centrale de France : organe des intérêts scientifiques, pratiques et moraux de la profession*, 50-53.
- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (1987). La constitución eléctrica de la materia. En C. Sánchez , Curso de conferencias sobre Historia de la Física en el siglo XIX (pág. 231). Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*
- Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales. (2001). Diccionario esencial de las ciencias . Madrid : Espasa.*
- Revista de los progresos de las ciencias exactas, físicas y naturales. (1854). Revista de los progresos de las ciencias exactas, físicas y naturales. Madrid: La viuda é hijo de D. E. Aguado.*
- Reyes, D. (2014). *La organización de la experiencia y la elaboración de conceptos. Fase Inicial de la Constitución de los conceptos de átomo e ión. Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias. No.8.*
- Reyes, J. (1998). *Aproximación al estudio experimental en rayos cósmicos. El caso de Robert A. Millikan. Tesis Maestría. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.*
- Riveros , H. (1995). *El papel del laboratorio en la enseñanza de la Física en el nivel medio superior. Perfiles Educativos, No.68.*
- Riveros, H. (2000). *Para el profesor. En H. Riveros, Experimentos impactantes I: Mecánica y Fluidos (págs. 11-24). México: Trillas.*
- Rodríguez, E. (2016). *La idea de los efectos mecánicos de la luz, una perspectiva de construir un pensamiento hacia las teorías moderna de la Física. Tesis pregrado . Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.*
- Rodríguez, J. (1880). *La Materia Radiante. Revista España Vol.74, 576.*
- Romero, Á., Restrepo, C., & Guzmán, J. (2013). *La experimentación Cualitativa y Exploratoria como escenario de procesos argumentativos en la enseñanza de las Ciencias. En Á. Romero, B. Henao, & J. Barros, La argumentación en la clase de ciencias: Aportes a una educación*

*en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias. Medellín: Universidad de Antioquia.*

Rosental, M., & Iudin, P. (1964). *Diccionario Filosófico*. Bogotá: Lito Imperio.

Royal Society of Chemistry. (28 de 03 de 2019). *Learn Chemistry*. Obtenido de *On this day in chemistry*: [http://www.rsc.org/learn-chemistry/collections/chemistry-calendar/may-2#otdic\\_content](http://www.rsc.org/learn-chemistry/collections/chemistry-calendar/may-2#otdic_content)

Ruiza, M., Durán, M., Fernández, T., & Tamaro, E. (2019). *Irving Langmuir*. Obtenido de *Biografías y Vidas. La Enciclopedia biográfica en Línea*: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/langmuir.htm>

Ruiza, M., Fernández, T., Tamaro, E., & Durán, M. (2019). *Eugen Goldstein*. Obtenido de *Biografías y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea*: [https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/goldstein\\_eugen.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/goldstein_eugen.htm)

Ruiza, M., Fernández, T., Tamaro, E., & Durán, M. (2019). *Johann Wilhelm Hittorf*. Obtenido de *Biografía y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea*: [https://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/hittorf\\_johann.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/hittorf_johann.htm)

Sabino, C. (1995). *El Método Científico*. En C. Sabino, *El proceso de investigación* (págs. 12-20). Bogotá: Panamericana Editorial .

Santillana . (1993). *Diccionario Santillana de Español*. México : Santillana S.A.

Santos, S. (2010). *La Historia del Sistema Periódico*. Madrid: UNED.

Seippel, R. (1977). *Fundamentos de Electricidad: Principios de Electricidad, Electrónica, Control y Ordenadores*. Barcelona: Reverte.

Seippel, R. (1997). *Fundamentos de electricidad: Principios de electricidad, electronica, control y ordenadores*. Barcelona: Editorial REVERTÉ.

Serrano, E. (1880). *Física Molecular*. *Revista España*, Vol.72, 576.

Serway , R., & Faughn, J. (2001). *Física (5a ed.)*. México: Pearson Educación.

Stone, M. (1999). *La Enseñanza para la Comprensión* . Buenos Aires : Editorial PAIDÓS.

Tamaro, E., Ruiza , M., Fernández, T., & Durán, M. (2019). *Lev Landáú*. Obtenido de *Biografías y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea*: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/landau.htm>

*Thomson, J. (1898). The discharge of electricity through gases. Cambridge: Westminster Archibald Constable & Co.*

*Tierno, S. P., Del Río, E., & Donoso, J. M. (2015). ¿El cuarto estado de la materia? Introducción al plasma para estudios preuniversitarios. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias (Vol.12), 601-607.*

*Ubaque, K. (2009). Experimento: Una herramienta fundamental para la enseñanza de la Física. Gondola, 35 - 40.*

*Universidad de Valencia. (2002). Abriendo cajas negras: Colección de instrumentos científicos de la Universitat de València. Valencia: Universidad de Valencia.*

*Universidad Santo Tomás. (2019). ¿Qué es una evaluación? Autoevaluación - Heteroevaluación - Coevaluación. Obtenido de Universidad Santo Tomás:  
[http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/clarajaramillo\\_metodologia3/qu\\_es\\_una\\_evaluacin\\_\\_autoevaluacin\\_\\_heteroevaluacin\\_\\_coevaluacin.html](http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/clarajaramillo_metodologia3/qu_es_una_evaluacin__autoevaluacin__heteroevaluacin__coevaluacin.html)*

*Villaverde, Y., González, J., Núñez, R., & Martín, R. (2000). Off/On. Madrid: Ministerio Ciencia e Innovación.*

*Vitoux, G. (1896). Les rayons X et la photographie de l'invisible. Paris: Chamuel.*

*VV.AA. (2013). Bases Químicas del Medio Ambiente. Madrid: UNED.*

*Wikipedia contributors. (15 de Abril de 2019). Theodor Grotthuss. Obtenido de Wikipedia, The Free Encyclopedia:  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Theodor\\_Grotthuss&oldid=848915563](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Theodor_Grotthuss&oldid=848915563)*

*Wilson, J. (1996). Física (2a ed.). México: Prentice Hall Hispanoamerica.*

*Wolke, R. (2007). Lo Que Einstein Le Contó a Su Barbero. Barcelona: SWING.*

#### **4. Contenidos**

**INTRODUCCIÓN.....**

**CAPÍTULO I.....1**

***ESTADO DEL ARTE. CONSIDERACIONES TEÓRICAS ACERCA DE LA NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD Y EL ESTADO DE PLASMA.***

Inicialmente se establecen exploraciones sobre la conducción eléctrica en gases, con la intención de conocer su origen, problemáticas, fenomenologías y teorizaciones.

Sus mayores exponentes, Michael Faraday y William Crookes, quienes establecen una línea teórica y filosófica acerca de la electricidad y el cuarto estado de la materia, denominándolo “Materia radiante”, estas investigaciones traen consigo contribuciones, a la Física de Plasmas y a los trabajos de J. J. Thomson sobre los rayos catódicos. Teorizaciones muy enfáticas en posturas corpusculares de la electricidad, introduciendo las primeras ideas de la física de partículas.

Estas investigaciones posteriormente traen consigo el descubrimiento del electrón y de los plasmas, marcando la pauta para la conformación de la física moderna e instauración de una nueva imagen de la Física para comienzo de siglo XX.

***CAPÍTULO II .....21***

***CONSTRUYENDO EL FENÓMENO: LOS EFECTOS MECÁNICOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS EN EL AIRE***

Construcción de fenomenologías sobre la conducción y descarga eléctrica en el aire, haciendo uso del radiómetro de Crookes, experiencias abordadas desde imágenes electrostáticas, importantes para comprender e introducir conceptos básicos y discusiones acerca de la electricidad.

***CAPÍTULO III .....39***


***LA HISTORIA Y LA EXPERIMENTACIÓN EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA***

Sugerencia de una propuesta de aula basada en los elementos desarrollados a lo largo de la investigación, teniendo en cuenta la transcendencia de la historia y la experimentación en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Configurada a partir de lo establecido por el ***Ministerio de Educación Nacional*** en los Derechos básicos de aprendizaje y en los Estándares básicos de competencias, así mismo bajo el modelo de enseñanza para la comprensión; propuesta pedagógica centrada en la enseñanza de la electrostática, conducción y descarga eléctrica en gases.

***CONCLUSIONES***

***ANEXOS***

***BIBLIOGRAFÍA***

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL<br><small>Escuela Superior de Pedagogía</small> | <b>FORMATO</b>                              |  |
|  | <b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b> |  |
| <b>Código: FOR020GIB</b>   | <b>Versión: 01</b>                          |  |
| <b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>   | <b>Página 14 de 87</b>                      |  |

### 5. Metodología

La metodología es entendida como: “ Un conjunto de procedimientos o métodos de investigación aplicables en alguna ciencia” (Rosental & Iudin, 1964, pág. 305), orientados a la configuración de conocimientos.

Por lo tanto, el método hipotético-deductivo se ajusta perfectamente a la investigación comprendido como:

Procedimiento metodológico que consiste en tomar unas aseveraciones (afirmaciones) en calidad de hipótesis y en comprobar tales hipótesis deduciendo de ellas, junto con conocimientos que ya disponemos, conclusiones que confrontamos con los hechos. Este procedimiento forma parte importante de la metodología de la ciencia; su aplicación se halla vinculada a varias operaciones metodológicas: confrontación de hechos, revisión de conceptos existentes, formación de nuevos conceptos, conciliación de hipótesis con otras proposiciones (ideas) teóricas, etc. (Rosental & Iudin, 1964, pág. 304)

Pero también está la metodología cualitativa, interpretada como:


Una forma de explicar la realidad orientada hacia la representación de las cualidades de un contexto o situación hacia la identificación de las características de una situación determinada, en términos descriptivos, el propósito es reconocer sus partes, su naturaleza y sus interrogantes. La investigación cualitativa se apoya en la observación, técnica que permite captar mejor la esencia y lo importante de lo que se estudia (Díaz, Escalona, Castro , León, & Ramírez, 2013).

La investigación cualitativa hace posible conocer el objeto estudiado a profundidad, facilitando al investigador aportar sus propias explicaciones o interpretaciones de lo investigado, enfocándose en aspectos más bien de tipo interpretativo.

Por lo tanto, el método hipotético-deductivo es característico de la investigación experimental contenida en el capítulo 2, centrada en estudiar la relación materia-electricidad, movimiento-electricidad, actividad enfocada en la creación de experiencias basada en lecturas de la naturaleza.

Mientras la metodología cualitativa es particular de la investigación bibliográfica, fundamental para conocer el origen, problemáticas centrales, teorizaciones, fenomenologías abordadas con respecto a la descarga y conducción eléctrica en gases; englobada en el primer capítulo.

### 6. Conclusiones

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL<br><small>Escuela Superior de Pedagogía</small> | <b>FORMATO</b>                              |  |
|  | <b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b> |  |
| <b>Código: FOR020GIB</b>   | <b>Versión: 01</b>                          |  |
| <b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>   | <b>Página 15 de 87</b>                      |  |

La relación entre la historia y la experimentación permite un nivel de apropiación de conocimiento avanzado.

Es necesario crear construcciones iniciales de los fenómenos físicos, ya sea a través de la experimentación o de la historia, de esta forma se garantizará una comprensión amplia de las temáticas, leyes y razonamientos matemáticos.

La construcción de conocimiento científico adquiere mayor riqueza con la actividad experimental e histórica, permite crear lecturas de la realidad con el mundo físico a través de nuestros ojos.

Esta investigación permite resaltar el rol de la historia, así como de la experimentación en relación con las construcciones teóricas, de igual forma es interesante mostrar como el ingenio, la creatividad, la búsqueda de explicaciones fenomenológicas, llevan a científicos como Davy, Faraday y Crookes a plantear interrogantes de carácter experimental, teórico y filosófico.

El conocer la historia y la filosofía de las ciencias puede hacer clases más estimulantes y reflexivas incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; puede contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos.

Esta investigación promueve el interés científico por la Física, la búsqueda de motivaciones haciendo que se participe en la construcción de conocimiento, sacando un mayor provecho del aprendizaje.

El trabajo de Crookes es un gran ejemplo, como pudimos ver alrededor de ella, desarrolla todas sus consideraciones teóricas, acción que personalmente me permite construir conjuntos completos de comprensiones generales acerca de la ciencia eléctrica y su naturaleza, abarcando conexiones entre temas, discusiones, experimentaciones y demás; por otro lado, hace evidente la transcendencia de la experimentación en la construcción de conocimiento.

La fenomenología del radiómetro eléctrico tiene la capacidad de construir comprensiones e ideas acerca de la naturaleza de la electricidad, de la conducción eléctrica; de igual forma, permite introducir discusiones teóricas planteadas por pensadores como Faraday o Crookes, estableciendo así, las bases preliminares de la Física de plasmas.

Esta investigación realiza aportes significativos dirigidos hacia la enseñanza de la Física permitiendo mostrar la importancia y necesidad del trabajo experimental e histórico, el cual debe ser implementado en los procesos de enseñanza-aprendizaje, pues es fuente inagotable de conocimiento.

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Elaborado por:</b> | <i>Málory Alejandra Rodríguez Cuéllar</i> |
| <b>Revisado por:</b>  | <i>José Francisco Malagón</i>             |



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL  
*Formación de Profesores*

## FORMATO

### RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

Código: FOR020GIB

Versión: 01

Fecha de Aprobación: 10-10-2012

Página 16 de 87

*Fecha de elaboración del  
Resumen:*

30

05

2019



## Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  |           |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>ESTADO DEL ARTE. CONSIDERACIONES TEÓRICAS ACERCA DE LA NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD Y EL ESTADO DE PLASMA.</b> |           |
| <b>1.1 Descomposición de sustancias, origen de una problemática</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>1.2 Electrólisis, nociones sobre la naturaleza de la electricidad</b> .....                                     | <b>5</b>  |
| <b>1.3 Elementos iniciales de la descarga y conducción eléctrica en gases</b> .....                                | <b>8</b>  |
| <b>1.4 Materia radiante</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>1.4.1 Espacio Oscuro</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>1.4.2 Características del estado radiante</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>1.5 Contribuciones a la Física</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>CAPÍTULO II</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>CONSTRUYENDO EL FENÓMENO: LOS EFECTOS MECÁNICOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS EN EL AIRE</b>                         |           |
| <b>2.1 Problemática</b> .....  | <b>21</b> |
| <b>2.2 Antecedentes</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>2.3 Diseño Experimental: Fabricación del radiómetro de Crookes</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>2.4 Marco teórico referencial</b> .....   | <b>26</b> |
| <b>2.5 Marco Conceptual</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>2.6 Análisis experimental</b> .....   | <b>30</b> |
| <b>2.5.1 Actividad n°1: Electrificando veletas</b> .....   | <b>32</b> |
| <b>2.5.2 Actividad n°2: Efecto mecánico de la descarga eléctrica en el aire</b> .....                              | <b>34</b> |
| <b>CAPÍTULO III</b> .....  | <b>39</b> |
| <b>LA HISTORIA Y LA EXPERIMENTACIÓN EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA</b>                      |           |
| <b>3.1 La experimentación, una actividad humana</b> .....  | <b>41</b> |
| <b>3.1.1 En los procesos de enseñanza-aprendizaje</b> .....  | <b>42</b> |
| <b>3.2 La historia de la Física</b> .....  | <b>42</b> |
| <b>3.2.1 En los procesos de enseñanza-aprendizaje</b> .....  | <b>43</b> |
| <b>3.3 Propuesta de aula</b> .....   | <b>44</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>  |           |
| <b>ANEXOS</b>  |           |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  |           |

### **Tabla de ilustraciones**

|  |    |
|--|----|
| <b>Fig.1</b> Investigaciones centrales sobre la descarga y conducción eléctrica en gases.....                    | 3  |
| <b>Fig.2</b> Idealización de descomposición de sustancias, (a) Antes de encender la corriente y (b) Después..... | 5  |
| <b>Fig.3</b> Electrólisis (Royal Society of Chemistry, 2019).....  | 6  |
| <b>Fig.4</b> Tubos de Geissler (IES Goya, 2017).....   | 9  |
| <b>Fig.5</b> Espacio oscuro (Crookes, 1879).....   | 13 |
| <b>Fig.6</b> (a) presión normal y (b) enrarecido.....  | 13 |
| <b>Fig.7</b> Fosforescencia (Crookes, 1879).....   | 15 |
| <b>Fig.8</b> Desviación catódica (Crookes, 1879).....  | 16 |
| <b>Fig.9</b> Tubo de Crookes (Crookes, 1879).....  | 16 |
| <b>Fig.10</b> Efecto calórico (Crookes, 1879).....   | 17 |
| <b>Fig.11</b> Acciones mecánica (Crookes, 1879).....   | 17 |
| <b>Fig.12</b> Veletas de Acetato, Aluminio, Bronce, Cobre y papel.....   | 24 |
| <b>Fig.13</b> Radiómetro.....  | 25 |
| <b>Fig.14</b> Electrificando veletas.....  | 33 |
| <b>Fig.15</b> Equipos experimentales.....  | 35 |
| <b>Fig.16</b> Diagrama del efecto mecánico causado por el campo eléctrico.....                                   | 37 |

## ***Introducción***

Los fenómenos de conducción eléctrica en gases son atractivos, interesantes y polémicos a la vez; parten inicialmente de las investigaciones realizadas acerca de la descomposición de sustancias y procesos electrolíticos efectuadas principalmente por *Michael Faraday*, pues es él quien experimenta con las primeras descargas de arco, así mismo almacena gases liberados en los procesos de electrólisis, configurando así, las primeras investigaciones de conducción eléctrica en gases que demuestran la nula conducción gaseosa y algunos estudios de espectroscopía.

A partir de ello, los fenómenos de conducción en gases se reproducen en pleno siglo XIX a lo largo y ancho de laboratorios alemanes e ingleses pues su naturaleza era intrigante, estableciéndose los primeros dispositivos estables para analizar en detalle los fenómenos, los tubos de Geissler en relación con la aplicación de enrarecimientos marcan un antes y un después.

Lo cual, introduce la noción de los Rayos Catódicos, destacando trabajos como los realizados por *Johann Hittorf*, *Julius Plücker*, *Eugen Goldstein*, entre otros; como es lógico, las controversias no podían esperar pues los científicos alemanes consideraban que los fenómenos de conducción gaseosa eran muy similares a la luz, ondas en el éter, mientras los ingleses en contraposición establecen planteamientos corpusculares.

En consecuencia, *William Crookes* estructura exploraciones experimentales enfocadas en develar la naturaleza de los fenómenos eléctricos gaseosos y su relación con los rayos catódicos. Fuertemente influenciado por los planteamientos de Faraday, atribuye que los fenómenos son debidos a la existencia de partículas electrizadas, a un cuarto estado de la materia que posteriormente denominó Materia Radiante en honor a Faraday y al químico Humphry Davy.

Sus investigaciones resultan relevantes y famosas hacia el siglo XIX, destacándose dispositivos como el radiómetro o el tubo de Crookes. Pues a través de estas, confirma la deflexión magnética, la trayectoria rectilínea y los efectos mecánicos de los rayos catódicos.

Motivada por un interés personal sobre la fenomenología de la conducción eléctrica en gases, curiosidad creada principalmente por el curso de Laboratorio de Física Moderna de la Universidad Pedagógica Nacional, se establece una investigación bajo los siguientes objetivos:

### ***Objetivos generales***

*Construir interpretaciones fenomenológicas acerca de la conducción eléctrica en gases basada en perspectivas teóricas, experimentales e históricas.*

*Desarrollar una propuesta de aula basada en temáticas de conducción en gases.*

## ***Objetivos Específicos***

- *Analizar investigaciones de corte histórico sobre el tema.*
- *Realizar análisis experimentales acerca de la conducción eléctrica en gases.*
- *Elaborar un montaje experimental en el que sea evidente el fenómeno.*
- *Revisar bibliografía pertinente para la realización de la propuesta de aula.*

A partir de ello, se establece claramente tres capítulos en los que se desarrolla cada uno de los aspectos planteados en los objetivos.

El primer capítulo estará basado en investigaciones de corte histórico, un relato que nos permite identificar el origen de los estudios de conducción en gases, las problemáticas centrales, las fenomenologías, teorizaciones y algunos planteamientos filosóficos acerca de la naturaleza de la electricidad, al igual que el cuarto estado de la materia.

A través de la revisión de textos originales se establece una ruta de trabajo que inicia con investigaciones de la descomposición de sustancias y procesos electrolíticos, mostrando principalmente los planteamientos de Faraday acerca de la naturaleza de la electricidad, posteriormente se realiza un breve exposición de los elementos principales de la descarga y conducción en gases, exponiendo sus controversias e igualmente subrayando las primeras concepciones acerca de los rayos catódicos.

Seguidamente de las investigaciones de William Crookes, quien estudia de forma completa las propiedades del cuarto estado de la materia, muy a pesar de que actualmente no son muy conocidas traen consigo grandes aportes a la Física. Pues configura lo que hoy día se conoce como la Física de Plasmas, así mismo proporciona ideas fundamentales para la continuación de las investigaciones acerca de la naturaleza de los rayos catódicos y su relación con la electricidad, culminada de una u otra manera por J. J. Thomson.

Un segundo capítulo basado en la construcción del fenómeno de conducción eléctrica en el aire y los efectos mecánicos generados en el radiómetro de Crookes, se expone una lectura completa del fenómeno a través de una mirada electrostática, actividad importante para la introducción de concepciones acerca de la carga, fuerza y campo eléctrico; hasta este punto la investigación experimental e histórica se relacionan entre sí, configurando una imagen global de la electricidad.

Un tercer capítulo comprendido por una propuesta de aula enfocada hacia la comprensión de temáticas abordadas en la conducción eléctrica en gases relacionando aspectos electrostáticos, visiones corpusculares, dirigida hacia grados sexto y once, población establecida bajo los “Derechos Básicos de Aprendizaje” (DBA) y los “Estándares Básicos de Competencias” (EBC), capítulo que pone en juego lo construido y aprendido a lo largo de los capítulos anteriores.

Por otro lado, durante el transcurso de la investigación fue posible notar algunas situaciones problemáticas como:

- *En variadas ocasiones la historia de la Física es vista como un conjunto de situaciones aisladas o es desconocida total.*
- *En diversas circunstancias la actividad experimental es considerada como una herramienta solo y exclusiva de la verificación de teorías.*
- *La notable ausencia de temáticas de Física Moderna en la educación media.*
- *La limitada producción textual a nivel Colombia sobre el tema de Conducción eléctrica en gases y el cuarto estado de la materia.*

Por consiguiente, esta investigación resulta bastante interesante y pertinente pues reúne todo un conjunto de aspectos teóricos, experimentales e históricos, enfocados hacia la enseñanza, acciones que como se dijo anteriormente crea una imagen global de la electricidad y por supuesto de la Física. Así mismo representa una oportunidad para introducir estudios que hacen parte de la Física Moderna en la Educación Media, teniendo en cuenta su constante ausencia.

Por otro lado, esta investigación crea un ambiente que se dirige hacia la construcción de conocimiento y comprensiones acerca de la conducción en gases, fenómenos con aplicaciones en ocasiones de uso cotidiano presente en las lámparas fluorescentes, bombillos ahorradores, los relámpagos que cruzan la atmosfera, los televisores antiguos y otros tantos no cotidianos pero que en ocasiones es totalmente desconocida su naturaleza.

De igual forma, esta investigación busca principalmente resaltar la relación existente entre la historia y la experimentación dirigidas hacia el aprendizaje, ahora bien, los aspectos desarrollados a través de la investigación pueden abordarse dentro del aula de clase como la descomposición electroquímica, procesos electrolíticos, rayos catódicos, electrostática, conducción eléctrica en sólidos, líquidos, gases, teorías cinético-molecular, entre otros. La puesta en práctica de cada uno de los aspectos desarrollados en esta investigación con las otras temáticas de la Física establece elementos significativos para la misma enseñanza, aprendizaje y principalmente para conocimiento personal.

Esto permite crear ambientes creativos dentro de los procesos de investigación, convirtiéndose en dinámicas distintas que refrescan la imagen de la Física como abstracta y compleja.

## Capítulo 1.

### *Estado del arte*

#### *Consideraciones teóricas acerca de la naturaleza de la electricidad y el estado de plasma.*

La historia se convierte en nuestro medio de comunicación con el pasado, a través de ella podemos conocer, interpretar y entender las ideas o argumentos que resultaron importantes para una sociedad o comunidad en una época en particular, lo cual revela sus contribuciones y avances a partir de perspectivas sociales, culturales, políticas, económicas, filosóficas y por supuesto científicas, mostrando con claridad la transformación del razonamiento humano con el paso del tiempo.

El acto de mirar la Física con los ojos que nos otorga la historia nos permite interactuar con los métodos, procesos, técnicas, reflexiones que se construyeron alrededor de bases teóricas, experimentales o una mezcla de las dos; acciones que nos relacionan con conocimientos abstractos de la naturaleza, principios fundamentales, conceptos creados a partir de la observación o medición de fenómenos que aportan a la comprensión del mundo, haciendo parte del desarrollo y elaboración de lo que hoy en día conocemos como Ciencia.

De igual modo, se obtiene un pensamiento interpretativo, filosófico y reflexivo sobre las diversas experiencias abordadas a partir de la exploración de memorias históricas, creando nuevas nociones, donde la Ciencia ya no es considerada como una verdad absoluta, abstracta; nos enseña elementos fundamentales que llevan a interrogarnos por el origen de las teorías, de las comprensiones sobre el comportamiento de la naturaleza, lo cual desarrolla representaciones amplias de la Ciencia, de la Física.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea como objetivo general de este capítulo, la realización de un estudio de originales sobre los análisis llevados a cabo a acerca de la descarga<sup>1</sup> y conducción<sup>2</sup> eléctrica en gases, partiendo inicialmente de investigaciones sobre electrólisis efectuadas por *Humphry Davy*<sup>3</sup> (1778-1829) y *Michael Faraday*<sup>4</sup> (1791-1867) hacia comienzos del siglo XIX.

Investigaciones fundamentales para conocer el conjunto de hipótesis, interrogantes, debates y modelos<sup>5</sup> explicativos que surgieron alrededor del estudio de fenómenos electrolíticos,

---

<sup>1</sup> Movimiento de iones a través de un gas (Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, 2001).

<sup>2</sup> Propiedad física de un medio material con una capacidad para dejar pasar la corriente eléctrica (Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, 2001).

<sup>3</sup> Químico inglés, descubre el *óxido nitroso* (gas hilarante), el *potasio* y *sodio*, descompone agua y minerales a través de la *electrólisis*, en 1815 diseña la lámpara para mineros que evita la producción de explosiones en el interior de las minas (Armenta , y otros, 1994).

<sup>4</sup> Físico inglés, revela la relación entre *electricidad* y *luz*, descubre la *inducción magnética* y otros fenómenos relacionados, también formula las leyes del proceso de electrólisis. En 1831 genera *electricidad* mediante el proceso de inducción electromagnética. En su honor se nombra *Faradio* a la unidad que mide la *capacidad eléctrica* (Armenta , y otros, 1994).

<sup>5</sup> Un modelo de un sistema físico real es un método de explicación más simple, generalmente imaginario, cuyo comportamiento se supone que es relevante respecto a lo que ocurre en el sistema real (Eisberg & Lerner, 1984).

obteniéndose compresiones con respecto al carácter atómico de la materia, la electricidad y la relación existente entre ellas; por otro lado, se plantea la existencia de un cuarto estado de la materia. A partir de ello, se desarrollan los primeros estudios acerca de la descarga y conductividad eléctrica en gases.

Posteriormente, surge la investigación de **William Crookes**<sup>6</sup> (1832-1919) realizada hacia finales del mismo siglo, en la cual se retoman las hipótesis planteadas por Faraday sobre la electricidad y el cuarto estado de la materia. Dicho trabajo se caracteriza por presentar diversas exploraciones experimentales que desarrolla teorizaciones con respecto al nuevo estado, actualmente conocido como el estado de Plasma<sup>7</sup>.

Los análisis efectuados por Crookes otorgan aportes significativos a la construcción de la Física de Plasmas desarrollada hacia el siglo XX, la cual tiene como función estudiar gases altamente ionizados<sup>8</sup> a través de potentes descargas eléctricas o elevadas temperaturas, esto permite conocer e introducir bases fundamentales sobre este tema totalmente nuevo. De igual forma la investigación de Crookes, también realiza contribuciones al trabajo de **Joseph Jhon Thomson**<sup>9</sup> (1856-1940) sobre los rayos catódicos.

Para conocer las fenomenologías de la conducción eléctrica en los gases, se requirió de una exhaustiva búsqueda de información, creando una investigación bibliográfica. Las principales fuentes son las traducciones a documentos originales de Faraday como es el caso de **“Investigaciones Experimentales de Electricidad”**, el artículo **“Materia Radiante”** escrito por Crookes, así como también el texto **“Descarga de electricidad a través de gases”** de Thomson; además de eso contamos con revistas, periódicos, textos, memorias, entre otros. La gran mayoría de la bibliografía pertenece al siglo XIX, de autores franceses o españoles.

Esta investigación bibliográfica estará conformada de tres temáticas centrales (**Fig.1**), las cuales realizan grandes contribuciones a la elaboración del capítulo 2 **“Construyendo el Fenómeno: Los efectos mecánicos de la descarga eléctrica en el aire”**. Dichos temas fueron trazados a partir de las exploraciones y traducciones realizadas, otorgando compresiones teóricas claras planteadas alrededor de los análisis sobre descarga, conducción en gases y su relación con la electricidad en el transcurso del siglo XIX.

<sup>6</sup> Químico y Físico inglés, influenciado por Faraday, estudia la óptica y la espectroscopia, a partir de ello, descubre el *talio*, elemento similar al *plomo*; inventa el *radiómetro* para medir la intensidad de la luz, el *espiritiscopio* que mide la emisión de *partículas alfa* y el *tubo de Crookes* (Armenta, y otros, 1994).

<sup>7</sup> Gas altamente *ionizado* a través de la aplicación de altas temperaturas o potentes descargas eléctricas en el que los *electrones libres* son aproximadamente igual a la cantidad de *iones positivos*. Se encuentra en el espacio, en la atmósfera de las estrellas, en las auroras boreales, en los tubos de descarga y en los reactores termonucleares (Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, 2001).

<sup>8</sup> Transformación de un *átomo* o una *molécula* en un *ion* por pérdida o ganancia de uno o más electrones. Se produce por *disociación de las moléculas*, por *disolución* o por acción de un campo eléctrico, en el caso de los gases (Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, 2001).

<sup>9</sup> Físico inglés, en 1897 descubre la naturaleza de los *rayos catódicos* y explica que eran unidades de *corriente eléctrica* constituidas por partículas de menor tamaño que un átomo de hidrógeno, con carga negativa, descubre los isotopos e inventa el espectrómetro de masa, recibe el premio nobel en Física de 1906 (Cortés & Cortés, 2000).

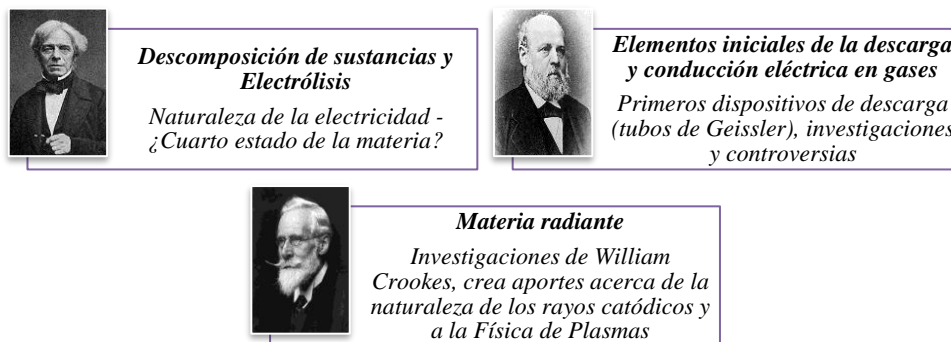


Fig.1 Investigaciones centrales sobre la descarga y conducción eléctrica en gases

Antes de comenzar es importante destacar que el siglo XIX es una época que se caracteriza por notables cambios en el ámbito científico, originando nuevas teorías, dispositivos, planteamientos que comprenden nuevos retos, como por ejemplo la construcción de modernas consideraciones y reflexiones, proporcionando nuevas imágenes del mundo, pues desarrolla campos de investigación como la Medicina, la Termodinámica, la Electricidad, la Teoría Atómica Química, la Física de los gases, entre otros; de aquí parten las bases de casi toda la Física y la Química del siglo XX.

### 1.1 Descomposición de sustancias, origen de una problemática

Hacia finales del siglo XVIII, la ciencia eléctrica<sup>10</sup> se torna popular, fundamentalmente tras el descubrimiento del choque eléctrico en 1745 y la identificación del rayo con la descarga eléctrica poco después. Investigaciones relacionadas con esos fenómenos, sugieren la existencia de un éter o fluido eléctrico imponderable<sup>11</sup> que llena completamente el espacio y los cuerpos materiales; por lo tanto, los partidarios de la teoría ondulatoria de la luz como **Leonard Euler** (1707-1783) y **Thomas Young** (1773-1829) consideraban el fluido eléctrico como vibraciones del éter, idéntico al luminífero<sup>12</sup> (Mason, 2001).

A partir de ello, se introducen importantes experimentos como el de **Charles-Agustin de Coulomb** (1736-1806) con su balanza de torsión en la que se mide la fuerza de atracción y repulsión entre cargas; por otro lado, **Luigi Galvani** (1737-1798) estudia el movimiento reflejo de las ancas de rana electrizadas, considera que el efecto eléctrico es inherente al animal (López, 2004), por último, en 1799 se construye la pila eléctrica por **Alessandro Volta**<sup>13</sup> (1745-1827) constituyéndose como la primera fuente de corriente eléctrica, todo lo anterior, revoluciona el mundo científico, originando nuevos campos de investigación.

<sup>10</sup> Conjunto de fenómenos asociados a la presencia de partículas cargadas eléctricamente, en reposo o en movimiento (Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, 2001)

<sup>11</sup> No podría ser pesado o medido (Santillana, 1993)

<sup>12</sup> Se sostenía que la luz constaba de vibraciones de un éter que llenaba el espacio (Mason, 2001)

<sup>13</sup> Físico italiano, desarrolla influyentes trabajos en el campo de la electricidad, inventa el *electróforo* aparato que almacena electricidad y reemplaza la *botella de Leyden*, determina el *coeficiente de dilatación térmica*, construye la *pila eléctrica* que produce *corriente eléctrica continua*, en su honor se nombra *Voltio* a la unidad de *potencial eléctrico* (Armenta, y otros, 1994)



Como es el caso de la descomposición de sustancias a través de la electricidad, a partir de 1804 **Jöns Berzelius**<sup>14</sup> (1779-1848) descomponen sales neutras<sup>15</sup>, observa que en el proceso el ácido obtenido aparece en uno de los polos eléctricos y el compuesto metálico en el otro, a través de exploraciones posteriores desarrolla la teoría electroquímica hacia 1812, así mismo considera que todo compuesto está formado por la unión de dos partes electrizadas opuestas, en otras palabras, de dos átomos o grupos de átomos con cargas contrarias.

**Theodor Grotthuss**<sup>16</sup> (1785-1822) describe la descomposición de sustancias químicas en líquidos por la electricidad, considera que los polos de la pila son como imanes eléctricos con la capacidad de atraer y repeler sustancias que se encuentren en un líquido conductor; por otro lado, experimenta con un polo resinoso (látex), percibe que este atrae oxígeno y repele el hidrógeno producto de la descomposición del agua, considera que la carga no es transportada por el movimiento de las partículas sino por la ruptura y la reorganización de los enlaces, noción básica para explicar el transporte de carga en los electrolitos, idea posteriormente retomada por Faraday.

Alrededor de 1807, Davy descompone sales por la acción de una corriente eléctrica a través de cuerpos líquidos o metálicos, en ese proceso obtiene sodio y potasio, afirma que los polos eléctricos son centros de atracción y repulsión, con la capacidad de transferir sus propiedades a lo largo de todo el medio, de partícula en partícula del mismo tipo.

Por otra parte, tanto Grotthuss como Davy consideran la existencia de una fuerza eléctrica mayor cerca de los polos haciendo que se produzca la descomposición, a medida que va aumentando la distancia entre los polos y la sustancia, esta fuerza va disminuyendo.

En consecuencia, Davy experimenta con variaciones de distancia entre polos y sustancias, observa que las acciones de descomposición se dan en rangos pequeños, para casos contrarios no hay efecto alguno. A partir de ello, confirma su teoría, concluye que la sustancia experimentará la separación en compuestos más sencillos en cercanía con los polos eléctricos; este fenómeno fue observado en el sulfato de potasio, en el que se obtiene potasio, azufre y oxígeno (Faraday, 1849). De la misma forma, descubre el calcio, estroncio, bario, magnesio y dedica gran parte de su tiempo al estudio de la electrólisis.

Los estudios sobre la descomposición de sustancias realizadas por Davy se convierten en el punto de partida para Faraday, inicialmente se centra en hallar nuevos compuestos químicos como es el caso del cloro, carbono, benceno, entre otros. Posterior a ello, Faraday se convierte en el mayor exponente de la teoría electrolítica, actividad que lo llevan a construir razonamiento o teorizaciones acerca de la conducción eléctrica de los líquidos, movimiento de iones, naturaleza de la electricidad y su carácter corpuscular.

---

<sup>14</sup> Químico sueco que establece el *peso atómico* de varios elementos de la *tabla periódica*, descubre el *cerio*, *selenio*, diseña el *sistema de notación química*; considerado como uno de los padres de la Química moderna (Armenta, y otros, 1994)

<sup>15</sup> Combinaciones químicas compuestas entre un metal y un no metal.

<sup>16</sup> Químico alemán, enuncia en 1817 la primera ley de la fotoquímica, trata de explicar cómo se produce la conducción eléctrica en el agua, publica en 1806 su trabajo sobre la *electrólisis*, donde planteaba que la carga no se transporta por el movimiento de las partículas, sino por una ruptura y reconfiguración de enlaces (Fernández, 2018).

## 1.2 Electrólisis, nociones sobre la naturaleza de la electricidad

La descomposición electroquímica demuestra aspectos fundamentales para la Física y la Química, el primero la separación de la materia o sustancias en compuestos más simples, el segundo, la relación existente entre los compuestos químicos con la electricidad, el tercero, la necesidad de un medio conductor, así como también la dependencia de la electricidad en los efectos de descomposición; sin embargo, no eran comprendidos completamente.

Por lo tanto, es evidente la ausencia de modelos teóricos acerca de la electricidad y de la conducción eléctrica en los líquidos, existe una incomprensión por los fenómenos eléctricos, así como de los procesos de descomposición, la causa del transporte de materia efectuado por la corriente eléctrica y los efectos producidos en las sustancias químicas. A partir de ello, se establecieron dos miradas teóricas, la primera relacionada con los fenómenos de separación y la segunda, basada en la comprensión de los fenómenos eléctricos.

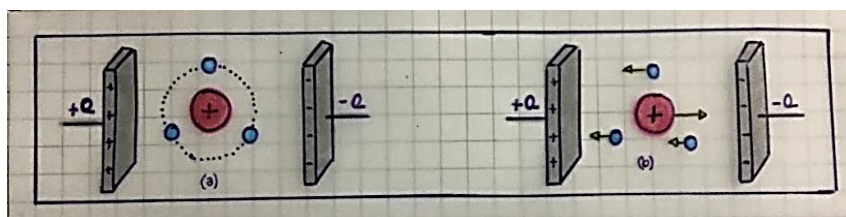
Bajo lo anterior, Faraday establece sus primeras investigaciones, organizadas a partir de actividades experimentales, lo cual crea teorizaciones acerca de la naturaleza de la electricidad, de la materia y su carácter corpuscular. Actividad fundamental para comprender el origen de los estudios de conducción eléctrica en los gases y de las investigaciones de William Crookes sobre la materia radiante.

Con respecto a los procesos de descomposición electroquímica:

Faraday establece que los fenómenos, se debe a una acción corpuscular intrínseca de los compuesto químicos, es decir, a fuerzas relativas a la materia en descomposición; existe una modificación interna en el elemento químico causada por la corriente eléctrica, lo cual desempeña una fuerza sobre añadida que expulsa al compuesto químico de los límites del cuerpo que sufre la descomposición, esta acción es ejercida de acuerdo con la dirección que tiene la corriente, proporcionando una trayectoria o fuerza de atracción entre el elemento con el polo de mayor afinidad (Faraday, 1849).

En ese orden de ideas, el cuerpo en descomposición es visto como una masa de partículas actuantes que se neutralizan parcialmente con la influencia de la electricidad, viajando a través del medio en todas las direcciones posibles (Faraday, 1849).

Es claro que Faraday considera que los elementos químicos antes de ser descompuestos por la electricidad contienen una pequeña carga eléctrica que es modificada al estar en contacto con la corriente, acción que hace que el elemento químico viaje en dirección a la placa eléctrica de mayor atracción (**Fig.2**), esto pone de manifiesto la relación existente entre la materia y la electricidad, relación aún no comprendida en su totalidad.



**Fig.2** Idealización de descomposición de sustancias, (a) Antes de encender la corriente y (b) Después

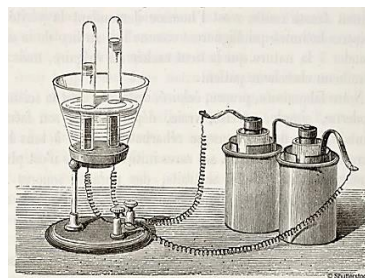
Ahora respecto a los polos eléctricos, para aquella época eran considerados como simples superficies por donde entra o sale la corriente en dirección hacia la sustancia que sufre la descomposición, los metales son de gran preferencia por su alto poder conductor; por el momento, no es fundamental resolver o explicar las acciones internas de los polos.

En relación con el movimiento de las partículas en descomposición, Faraday considera que estos fenómenos están sujetos a los efectos eléctricos, que supone se dan en línea recta.

Durante los procesos de descomposición electroquímica, es notable que algunas sustancias se liberan en forma de gas, otras simplemente se unen a los polos como el caso del cloruro de plomo, que forma dos compuestos, el primero el plomo ubicado en el polo negativo y el segundo, el cloro situado en el positivo, o el yoduro de plomo, nuevamente el plomo se encuentra en el polo negativo, el yodo en el positivo; concluye que los ácidos se forman en el polo negativo y las bases en el positivo.

Así mismo existen sustancias que no son conductoras de electricidad por lo cual no se observa efecto alguno, Faraday prueba con diferentes materiales en los polos eléctricos como es el caso del platino, paladio, oro, plata, cobre, entre otros (Faraday, 1849).

Hacia 1833 asigna una nueva terminología al proceso de la electrólisis (**Fig.3**), introduciendo conceptos como *polo* que connota la idea antigua de atracción y repulsión; de ellos sale o entra la corriente eléctrica, *ánodo* para llamar a la superficie por donde entra la corriente eléctrica positiva, *cátodo* por donde sale la corriente negativa, usa el término *electrodo* que significa camino eléctrico y *electrolitos* a la liberación de los cuerpos en descomposición (Cecil, 1997).



**Fig. 3** Electrólisis (Royal Society of Chemistry, 2019)

Para referirse a la descomposición electroquímica, utiliza el termino *electrolizado* siendo el proceso de un cuerpo que se está separando en componentes más simples bajo la influencia de la electricidad. A los cuerpos que pasan hacia los electrodos los denominó, *aniones* que hace referencia a las sustancias electropositivas dirigidas hacia el cátodo, *cationes* a las electronegativas dirigidas hacia el ánodo, para finalizar el concepto de *ion* hace mención a las partes que circulan en direcciones opuestas a través de la solución (Cecil, 1997), esta terminología es organizada con el objetivo de explicar de forma más clara y concisa los procesos de descomposición electroquímica.

Además de lo anterior, postula dos leyes que expresan relaciones cuantitativas basadas en los procesos electroquímicos, la primera ley establece que “*La cantidad de producto liberado es directamente proporcional a la cantidad de electricidad*”, la segunda afirma que “*La masa del producto liberado es proporcional a la electricidad que ha provocado la descomposición*” (Harré, 2002).

Es claro que:

La teoría electroquímica ha tenido que adaptar las partículas a un modelo de explicación sobre los fenómenos observados en la electrólisis; una idea vasta y complicada; porque en primer lugar debe considerarse un gran número de partículas que componen ya sea un líquido o un gas, después vienen los átomos compuestos y complejos, un encadenamiento tal de sistemas, que se parece al sistema planetario. Dicha hipótesis puede ser verdadera o puede ser absolutamente falsa. (Collazos J. , 1903, pág. 594)

Ahora bien, con respecto a los fenómenos eléctricos:

Se planteaba la existencia de corrientes positivas y negativas que se alejan de los polos eléctricos, se asegura que estas son muy intensas en cercanía a los polos y conforme se van alejando disminuye su intensidad. Son la causa de los fenómenos de descomposición electroquímica.

Por otro lado, algunos científicos de la época consideran firmemente que la corriente positiva es superior en intensidad a la negativa, para lo cual Faraday no está muy de acuerdo, afirma que es un error pensar que una ellas, es superior a la otra o que una pueda estar una sin la otra (Faraday, 1849).

Así mismo afirma que la descomposición electroquímica es producida por los efectos eléctricos, los cuales deben darse en línea recta alejándose rápidamente de los polos y dirigiéndose a gran velocidad hacia el compuesto químico, generando una modificación interna en los elementos que conforman el compuesto. Estas acciones con frecuencia se dan también en direcciones oblicuas, es evidente por el hecho en que cuando se liberan algunas sustancias, estas se forman alrededor de los polos (Faraday, 1849); es claro, que estas concepciones introducen las primeras ideas acerca del campo eléctrico y los diagramas de las líneas de fuerza.

En ese sentido, admite que: “La influencia de la corriente eléctrica<sup>17</sup> está presente en metales, cuerpos fusionados, conductores húmedos, incluso en el aire, en toda la materia; la electricidad es un eje de poder que posee exactamente cantidades iguales, pero con direcciones contrarias” (Faraday, 1849, pág. 68).

En efecto, los fenómenos de descomposición electroquímica indicaban que la materia química es atómica, no obstante, se suponía que la electricidad debía presentar un carácter corpuscular. Sin embargo, Faraday prefiere afirmar que “La materia se halla presente en todas partes, sin que exista un espacio intermedio que no esté ocupado por ella” (Mason, 2001, pág. 120).

Es claro que Faraday considera que la materia, primero es continua, es decir que al dividirla en partes cada vez más pequeñas estas no cambian sus propiedades y segundo, que esta es un medio de transporte de las características eléctricas, para referirse a ello, utiliza el término *Materia Radiante*; aspectos e hipótesis fundamentales para la configuración de las investigaciones posteriores de Crookes.

---

<sup>17</sup> El concepto de corriente eléctrica aún era confuso, no existía una imagen teórica y conceptual clara del tema, recordemos que hoy día es definida como flujo de electrones.

Posteriormente, “Sostiene que la materia es omnipresente en la forma de un continuo etéreo<sup>18</sup> que actúa como vehículo de las fuerzas naturales” (Mason, 2001, pág. 120), con ello, abandona las ideas atómicas de la materia y la concepción de que las fuerzas actúan a distancia a través del espacio vacío.

Así pues, los análisis electrolíticos configuran una serie de aspectos fundamentales para la electricidad, así como también constituye las primeras investigaciones acerca de la conducción eléctrica en gases y en el vacío, esto permite construir los primeros dispositivos que previamente demuestra que tanto los gases como el aire son malos conductores de electricidad. La baja conducción en los gases se constituye como una de las problemáticas centrales que conforman nuevos campos de estudio.

Para concluir, lo mostrado hasta este punto resulta fundamental para crear comprensiones acerca de las situaciones e interrogantes origen, que dan como resultado las prosperas investigaciones de descarga y conducción eléctrica en gases; de igual modo, establece los elementos teóricos de Faraday que terminan influenciando las investigaciones de Crookes como veremos más adelante.

Este corto análisis, permite dar a conocer y exponer la teoría electroquímica, los procesos electrolíticos, lo cual establece crear relaciones con los fenómenos naturales o artificiales, teniendo en cuenta las diversas aplicaciones en la industria (tratamiento de materiales, electrometalurgia, producción de sustancias, aluminio, litio, sodio, potasio, magnesio, entre otros).

A partir de ahora, nos centraremos en analizar los fenómenos de descarga y conductividad eléctrica en gases.

### ***1.3 Elementos iniciales de la descarga y conducción eléctrica en gases***

Las investigaciones de descomposición de sustancias a través de procesos electrolíticos estructuran las investigaciones previas acerca de gases conductores de electricidad, como se dijo anteriormente; mediante los procesos electrolíticos, es liberada una cantidad de gas que luego es almacenada en pequeños tubos de cristal, creando muestras de diferentes tipos gases que permite estudiarlos y experimentar con ellos, acción que crea los primeros tubos de descarga eléctrica en gases, ampliando los campos de investigación.

Por otro lado, las primeras descargas eléctricas a través de gases habían sido observadas inicialmente hacia 1709 en el laboratorio de **Francis Hauksbee**<sup>19</sup> (1660-1713), quien reporta la aparición de una luz extraña, cuando se electrifica un recipiente de vidrio que contiene aire a baja presión (Pérez Aguirre, 2007).

En cuanto a los fenómenos de conducción eléctrica en gases, Faraday experimenta con las primeras descargas de arco y en 1838 realiza experimentos con descargas eléctricas en gases,

---

<sup>18</sup> Fluido intangible y sutil.

<sup>19</sup> Físico británico, miembro de la Royal Society. Se conoce principalmente por sus trabajos en *electricidad y repulsión electrostática* (Colaboradores de Wikipedia, 2018).

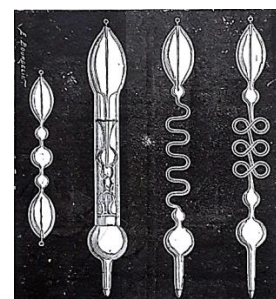
nota que grandes cantidades de gas son aislantes eléctricos a presión normal, estos requieren de un alto potencial, efecto que da como resultado la formación de una chispa en zigzag; sin embargo, al disminuir la presión del gas, fácilmente se produce una descarga que se desplaza en línea recta, un flujo de color púrpura que sale del ánodo dirigido hacia el cátodo, donde se detiene a una cierta distancia de él. Observa la formación de un espacio oscuro entre el electrodo y el extremo del flujo, espacio que denominó espacio oscuro de Faraday (Beaulard, 1898).

Pero estas investigaciones son abandonadas posteriormente por el electromagnetismo, eso sí, Faraday considera que las investigaciones electrolíticas y descomposición de sustancias deben tener conexión con los fenómenos gaseosos, parece lógico afirmar que la electricidad pasa a través de un medio gaseoso por un mecanismo análogo a la que se origina en los medios líquidos.

Luego, hacia 1858 **Heinrich Geissler**<sup>20</sup> (1814-1879) construyen algunos dispositivos de diferentes características que demuestran la conducción eléctrica en los gases (**Fig.4**); estos instrumentos crean modelos que inspira la tecnología y el perfeccionamiento de los tubos, así mismo los fenómenos observados son bastante controversiales para la Física.

Geissler, teniendo en cuenta la experiencia de Hauksbee y Faraday, consigue la aplicación de una bomba de mercurio, con ella, emplea más bajas presiones a los gases encerrados, por otro lado, sella los electrodos a través de la pared del vidrio, lo que se traduce en una mejora significativa en los efectos de descarga - conducción al interior del tubo, convirtiéndose en el dispositivo más estable para observar y estudiar en detalle los fenómenos (Santos, 2010).

Seguidamente **Julius Plücker**<sup>21</sup> (1801-1868) experimenta conectando los tubos de Geissler a máquinas eléctricas, inicialmente observa una baja o nula conducción, posteriormente aplica variaciones en la presión<sup>22</sup> de los gases encerrados, lo cual cambia el fenómeno completamente, es visible una ráfaga de luz fosforescente de variados colores que depende del tipo de gas contenido; el poder que posee la electricidad para convertir cuerpos en conductores eléctricos es polémica.



**Fig.4** Tubos de Geissler (IES Goya, 2017)

En relación con lo anterior, se efectúan las primeras investigaciones sistemáticas sobre la fosforescencia producida en los tubos, se observa que, en situaciones de alto enrarecimiento, se forma un brillo negativo que sale del electrodo negativo y se dirige hacia el positivo, viajando

<sup>20</sup> Autodidacta alemán, soplador de vidrio e inventor de los tubos de Geissler, elemento clave para el futuro de la tecnología de los tubos de vacío, desarrolla la bomba de vacío de mercurio. Hacia 1852 es contratado por la Universidad de Bonn; recibe la Medalla de Oro en la Exposición Universal en París en reconocimiento a la excelente calidad de los instrumentos como el termómetro, tubos capilares, entre otros (Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación, Asociación Española Ingenieros de Telecomunicación, 2019).

<sup>21</sup> Matemático y Físico que estudia los fenómenos producidos por las descargas eléctricas en gases enrarecidos, destacando la fosforescencia causado por los rayos catódicos, en 1858 publica sus primeras investigaciones acerca de la deflexión y la acción de los imanes sobre la descarga en gases enrarecidos, participa en la realización de los tubos de Geissler. Realiza estudios en geometría proyectiva y espectroscopia (Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicaciones, Asociación Española Ingenieros de Telecomunicación, 2019)

<sup>22</sup> Fuerza que se ejerce un gas, líquido o sólido sobre unidad de superficie de un cuerpo (Santillana, 1993),

a través del medio en línea recta, determina que este brillo, pueden ser desviado por un campo magnético, afirma que el brillo negativo se desplaza en forma de rayos imperceptibles.

Por ese mismo tiempo, la ciencia espectroscópica ya era aplicada a los fluidos gaseosos, Plücker analiza y posiciona las bandas que componen el espectro electromagnético de diversos gases utilizando los tubos de Geissler (Comas, 1907).

Once años después, **Johann Wilhelm Hittorf**<sup>23</sup>(1824-1914) experimenta con diversos grados de presión, en ocasiones disminuida a un grado tal que, al atravesar la corriente eléctrica se forma un espacio oscuro que aumenta en relación con la disminución de la presión; alrededor del electrodo negativo se establece un brillo negativo, un flujo catódico purpura que provoca una fosforescencia<sup>24</sup> verde o azul según el tipo de cristal utilizado (Beaulard, 1898). Este espacio fue denominado espacio oscuro de Hittorf o Crookes, en honor al físico inglés que estudio con gran dedicación las propiedades de este fenómeno, como veremos más adelante.

Ahora bien, Hittorf confirma la influencia de la luz negativa y la fosforescencia de colores observada por Plücker. De igual modo, confirma la desviación de los rayos por el campo magnético y demuestra que el brillo negativo proyecta sombras al colocar obstáculos frente al cátodo.

Hacia 1876 **Eugen Goldstein**<sup>25</sup> (1850-1930) confirma el resultado de las sombras producidas por los rayos que salen del electrodo negativo, refiriéndose a ellos con el término “*Rayos Catódicos*”, considerados como ondas etéreas de la misma naturaleza que la luz (Cecil, 1997), por otro lado, denomina ánodo al electrodo positivo y cátodo al negativo.

A partir de ello, se estructuran dos posturas teóricas claras con respecto a la naturaleza de los rayos catódicos, la primera basada en su similitud con la luz, ondas que viajan a través del éter<sup>26</sup> como argumentaba Goldstein. Por otra parte, se planteaba que los rayos eran corpúsculos cargados disparados por el cátodo, encargados de ionizar las partículas de gas, teorización desarrolla por Crookes, controversia que causó gran revuelo hacia mitad de siglo; hacia 1897 Thomson pone punto final a esta discusión con la relación carga-masa de los rayos catódicos.

Resulta oportuno, afirmar que las investigaciones presentadas son fundamentales para mostrar el desarrollo experimental, técnico, teórico y filosófico con respecto al tema, lo cual

---

<sup>23</sup> Físico y químico alemán, alumno de Plücker realiza investigaciones sobre los rayos catódicos, los cuales denomino *rayos efluvios*, estudia la electrólisis, contribuyendo poderosamente al desarrollo de la electroquímica, analiza la velocidad de emigración iónica y así mismo establece que la conducción eléctrica está estrechamente relacionada con la actividad química del electrolito (Ruiza, Fernández, Tamaro, & Durán, Johann Wilhelm Hittorf, 2019).

<sup>24</sup> Entendido como: emitir luz antes y después de iluminar, fenómeno que permite posteriormente el descubrimiento de los rayos X.

<sup>25</sup> Físico alemán, realiza numerosos experimentos sobre las descargas eléctricas en el vacío, descubre los *rayos positivos o canales* e introduce el término “*rayos catódicos*”, estudia los espectros atómicos (Ruiza, Fernández, Tamaro, & Durán, Eugen Goldstein, 2019)

<sup>26</sup> Hipotético medio material que llena el espacio sostenía las ondas electromagnéticas, el fluido eléctrico y calórico. Esta concepción no resistió la prueba experimental y fue desechada en la teoría de la relatividad (Rosental & Iudin, 1964).

establece representaciones globales de conocimiento acerca de los rayos catódicos, colocándonos en contexto con las problemáticas, fundamentos y posturas.

A partir de ahora, nos centraremos en explicar en detalle la investigación de Crookes, realizada entre los años posteriores a 1873, donde continúa con los estudios sobre los rayos catódicos, bajo la influencia de los razonamientos planteados previamente por Faraday acerca de la naturaleza de la electricidad.

#### ***1.4 Materia Radiante***

Las investigaciones realizadas por William Crookes causan gran interés y relevancia, fuertemente influenciadas por los análisis sobre la naturaleza de la electricidad y los procesos electrolíticos de Faraday; publica su trabajo sobre la “Materia Radiante” en 1879, memoria que trae consigo grandes descubrimientos como la Física de Plasmas y posteriormente las ideas acerca del electrón. Este pequeño fragmento del capítulo tiene como objetivo presentar los aspectos más relevantes de la investigación de Crookes.

En primer lugar, los razonamientos de Faraday sugieren que a medida que ascendemos de la fase sólida a la líquida o de la líquida a la gaseosa, las propiedades físicas de la materia disminuyen en número y variedad, es decir, que a medida que un objeto sólido se convierte en líquido, todas sus propiedades de dureza y suavidad se desvanecen, desaparecen, su forma es destruida completamente, al igual que su opacidad y color; con frecuencia dan paso a la transparencia y se le confiere una movilidad general de partículas (Crookes, 1879).

Por lo cual, en un estado<sup>27</sup> gaseoso las mínimas características evidentes que componían el cuerpo líquido son aniquiladas, las diferencias de peso desaparecen, los restos de color que quedaron se pierden, la transparencia se convierte en universal y las partes constitutivas son elásticas (Faraday, 1849).

Ahora bien respecto a lo anterior, las experiencias nos muestran que la materia es capaz de transformarse, de atravesar toda una serie de cambios y estados, es sorprendente afirmar que dicho efecto cesará en la fase gaseosa (Bence , 1870); a través de ello, Faraday propone el estado radiante, haciendo énfasis en la materia es capaz de transportar la electricidad, discusión planteada en sus análisis electrolíticos, como se mencionó anteriormente.

Es cierto que a principio de siglo XIX se admite la existencia de la materia radiante pero no existe comprobación experimental alguna. La exposición de los razonamientos de Faraday impulsa a Crookes a realizar investigaciones acerca de la descarga y conducción eléctrica en los gases, años posteriores a 1873.

---

<sup>27</sup> Condición determinada por la naturaleza física o química de una sustancia o de una molécula, esta última entendida como un conjunto de átomos iguales o diferentes unidos mediante enlaces químicos. Forma la mínima cantidad de una sustancia que contiene todas sus propiedades químicas; También hace referencia al *estado de agregación* que es cada una de las formas -sólida, líquida, gaseosa y plasma- en que se presenta la materia (Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, 2001).



Antes de analizar la materia radiante y sus propiedades, Crookes establece algunas configuraciones acerca de la estructura interna de los gases y su comportamiento desde dos posturas principales, afirma (Crookes, 1879) que,

Si a finales del Siglo XVIII se preguntaran *¿Qué es un gas?* La respuesta sería que es la materia expandida y enrarecida a un grado tal como para ser impalpable de ser reducida a cualquier forma definida, como los sólidos o líquidos. Ahora los gases se consideran como un número casi infinito de partículas pequeñas, que están en constante movimiento en todas las direcciones con velocidades de todas las magnitudes imaginables. Como estas partículas son extremadamente numerosas, se deduce que ninguna molécula puede moverse lejos en cualquier dirección sin estar en contacto con otra. (pág. 4)

Es claro que Crookes, ya implementa las ideas de la teoría cinético-molecular de los gases, a través de lo cual crea modelos explicativos y representaciones amplias de los medios gaseosos enrarecidos, (Crookes, 1879) plantea que:

Si agotamos el aire o el gas contenido en un recipiente cerrado, el número de partículas es disminuido y su distancia para moverse libremente sin entrar en contacto con otra se incrementa, la longitud de la trayectoria libre media es inversamente proporcional al número de moléculas presentes en el recipiente. Este proceso alarga la distancia media de las partículas que viajan antes de entrar en colisión con otras; por otro lado, cuanto más tiempo su camino medio es libre, las propiedades físicas del gas o del aire se modifican, creando un nuevo estado en la materia. (pág. 4)

Para explorar las afirmaciones anteriores, Crookes se centra en la construcción de dispositivos y exploraciones experimentales de fenómenos interesantes, producidos por la descarga eléctrica generadas por pilas voltaicas, dispositivos electrostáticos o bobinas de inducción<sup>28</sup> en recipientes con aire o gases vaciados gradualmente.

Considera que estos eventos están relacionados, primero con el cuarto estado de la materia y segundo, con el aumento en la distancia entre las partículas del gas o aire generada al disminuir su presión; sugiere la existencia de partículas electrizadas que salen del cátodo. Por lo pronto analizaremos el fenómeno, bajo el cual Crookes establece todo su referente teórico sobre la materia radiante, definiendo posteriormente algunas características sobre la materia radiante.

#### ***1.4.1 Espacio oscuro***

Para la comprensión de la materia radiante y sus propiedades, es necesario exponer brevemente una de las hipótesis fundamentales bajo la cual se establecen deducciones sobre el cuarto estado de la materia.

---

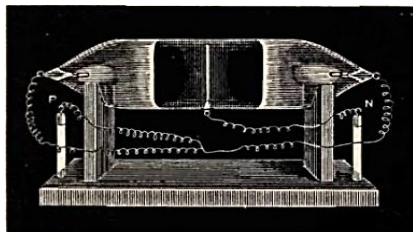
<sup>28</sup> Generador eléctrico que permite tensiones muy elevadas, la más conocida es la bobina de Ruhmkorff inventada hacia 1850 por Heinrich Ruhmkorff.

La formación de un espacio oscuro acompañado de un resplandor negativo que se desplaza proporcionalmente al agotamiento del gas aplicado en un tubo de descarga, causo gran interés en Crookes, experiencia que lo lleva a estructurar las bases teóricas respecto a la ionización gaseosa y a las explicaciones sobre los fenómenos observados posteriormente; acontecimientos que considera relacionados con la distancia media libre de las partículas o *camino medio libre* adquirido a través del enrarecimiento, derivación principal para sugerir la existencia de la fase radiante en la materia.

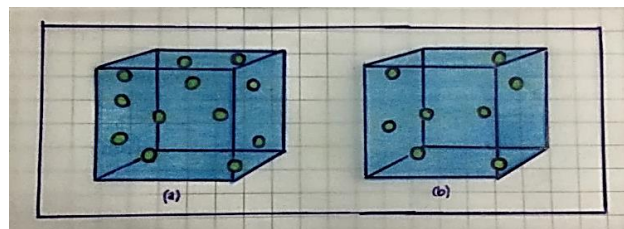
Este fenómeno es explorado a través de la utilización del dispositivo (**Fig.5**) que consta de un tubo de cristal que contiene en el centro un polo negativo en forma de disco de metal y en sus extremos dos electrodos positivos, en el cual se puede variar el nivel de presión del gas o del aire en el interior del tubo.

Ahora imaginemos la condición del gas o el aire encerrado en el recipiente, podemos sugerir que las partículas se encuentran separadas por una corta distancia unas entre otras, realizando movimientos al azar y colisiones perfectamente elásticas unas con otras, muy similar a la **Fig.6a**.

Supongamos que enrarecemos una pequeña porción de ese gas, ¿Qué pasa con este?, ¿Cambia su estructura?, ¿Sufre alguna modificación?, concluye Crookes que las partículas de gas residual estarán aún más distanciadas debido al grado de enrarecimiento, es decir aumenta el recorrido libre medio de las partículas, las cuales pueden viajar libremente durante un tiempo y con diferentes velocidades en el recipiente sin chocar con otras (**Fig.6b**); por otro lado, estima un aumento en el volumen y en la energía cinética de las partículas.



**Fig.5** Espacio oscuro (Crookes, 1879)



**Fig.6** (a) presión normal y (b) enrarecido

A través de esta interpretación, Crookes explica la formación del espacio oscuro alrededor del cátodo que varía al aumentar o disminuir el grado de agotamiento<sup>29</sup>.

Para enrarecimientos insignificantes se observa una luz púrpura que sale del ánodo hacia el cátodo, lo que indica que no hay casi “libertad” para que las partículas recorran el recipiente sin chocar con otras, por lo cual el espacio oscuro es reducido a pequeñas dimensiones (espacio de Faraday); en agotamientos intermedios el espacio oscuro rodea y se expande hacia los lados del electrodo negativo (**Fig.5**).

<sup>29</sup>Término utilizado por Crookes para referirse al enrarecimiento ejercido en un gas.

En altos vacíos el espacio oscuro se expande completamente hasta llenar el recipiente, desapareciendo completamente la luz anódica, fenómeno que muestra, primero que la electricidad positiva no pasa porque no existe ningún medio conductor, es decir, que siempre necesitará de un medio donde transportarse, lo cual sugiere una ausencia de partículas de gas y segundo, que el brillo negativo se expande al igual que el espacio oscuro, generando una fosforescencia en todo el recipiente (Beaulard, 1898).

La experiencia nos muestra que el grado de enrarecimiento está ligado a la variación de la distancia (recorrido libre medio) de las partículas, el cual puede alargarse debido a la disminución de partículas dentro del tubo de descarga, produciendo que no existan choques constantes entre partículas, formando el espacio oscuro; por otro lado, puede no existir este fenómeno por exceso de partículas de gas (Crookes, 1879).

Por otro lado, se afirma que las propiedades de los gases o el aire enrarecido son diferentes al estado gaseoso, recordemos que los medios gaseosos son malos conductores de electricidad, razón por la cual se sugiere un cuarto estado de la materia, con propiedades muy distintas a los otros estados (Beaulard, 1898).

Ahora para el fenómeno de fosforescencia observado, Crookes sugiere una primera hipótesis pues plantea que las pocas partículas del gas son atraídas por el electrodo negativo modificándolas eléctricamente, luego son repelidas a gran velocidad, efecto que depende de la fuerza eléctrica aplicada. Las partículas al ser expulsadas del cátodo pueden bombardear todo lo que se encuentre en su camino, ya sean otras moléculas, las paredes del recipiente u objeto que se interpongan en su trayecto.

Motivado por lo anterior, Crookes recurre a la construcción de dispositivos con otro tipo de especificaciones que le permiten explorar e identificar fenómenos de la materia radiante. Crookes sugiere que los rayos catódicos planteados por Goldstein son las trayectorias del recorrido de las partículas electrificadas y lanzadas por el cátodo a gran velocidad (Beaulard, 1898), experiencia que suscita ideas fundamentales con respecto al transporte de electricidad.

#### ***1.4.2 Propiedades de la materia radiante***

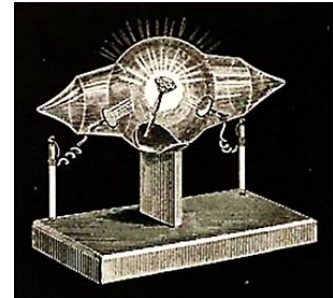
En este apartado del capítulo, estudiaremos algunas de las fenomenológicas de la materia radiante identificadas por Crookes, configurando elementos teóricos que posteriormente permite develar la naturaleza de los rayos catódicos y su relación con la electricidad.

La aplicación de descripciones fenomenológicas y presentación de dispositivos es un aspecto muy característico de las investigaciones de Crookes, bajo interpretaciones experimentales sugiere algunas propiedades de la materia radiante.

▫ ***La materia radiante produce fosforescencia***

Esta es una de las propiedades más destacadas de la materia radiante, Crookes centra parte de su trabajo en la construcción de diversos dispositivos que le permiten realizar exploraciones sobre los efectos de fosforescencia producidas por el brillo negativo.

Fenómeno que se observa en múltiples tubos de vidrio vaciados gradualmente y equipado con dos electrodos como el mostrado en la **Fig.7**; al ser conectado a una bobina de inducción, se observa una fosforescencia en todo el recipiente que varía dependiendo de las sustancias, objetos, gases residuales o tipos de cristal utilizados.



**Fig.7 Fosforescencia**  
(Crookes, 1879)

A través de diversos dispositivos, experimenta con diversas medidas de enrarecimiento en gases e incluso en el aire, Crookes asegura que en altos agotamientos la descarga positiva no pasa, es decir, el gas residual no es conductor eléctrico, por lo tanto, no se genera ningún haz de luz, este fenómeno únicamente es evidente en enrarecimientos pequeños.

Por otro lado, modifica la primera hipótesis, supone que del cátodo salen rayos imperceptibles que impactan y ionizan las partículas de gas residual, haciendo que estas, se exciten y salgan disparadas hacia cualquier dirección, golpeando vigorosamente todo lo que encuentre a su paso, manifestándose a través de luminosidades de múltiples colores.

Pues esos rayos salen del electrodo negativo hacia el positivo, viajando de forma rectilínea alterando el limitado número de partículas de gas, modificando su energía eléctrica y proporcionándole una fuerza que inmediatamente cambia su movimiento.

Este fenómeno es producto de dos importantes factores, el primero, el choque que se genera entre las partículas del gas electrificadas que viajan a gran velocidad desprendiendo energía radiante de forma masiva.

▫ ***Es desviada por la acción de un campo magnético***

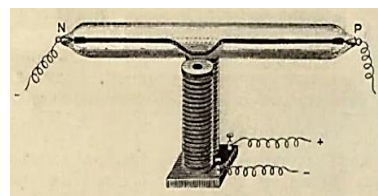
Teniendo en cuenta las experiencias realizadas por Plücker y Hittorf, Crookes hace uso de un potente imán que es acercado a un tubo simple pero enrarecido de forma casi perfecta; al encender la bobina de inducción observa una fosforescente purpura que se proyecta a través del tubo, al colocar el imán es notable su influencia, pues realiza desviaciones a la trayectoria rectilínea en donde se establece el campo magnético, de igual forma experimenta desplazando el imán a lo largo del tubo (Crookes, 1879).

Posteriormente realiza prueba con distintas presiones, nota la aparición de unos pequeños puntos o partículas que son desprendidas del cátodo viajando a través del cilindro evacuado, esto se convierte en la prueba reina que Crookes tanto buscaba, pues manifiesta que los

fenómenos observados hasta este punto son debidos a un transporte de material eléctrico negativo.

Así mismo determina que el imán desvía totalmente el haz de fosforescencia, la acción del campo magnético reorienta la trayectoria del rayo catódico, una vez retirado el imán, el haz vuelve a su posición original.

Este fenómeno en particular resulta parte esencial en la estructuración de la investigación de Thomson en relación con los rayos catódicos, pues proporciona configuraciones sobre la naturaleza de la electricidad, así como también establece el comienzo de lo que sería la Física de partículas.



**Fig.8** Desviación catódica  
(Crookes, 1879)

▫ ***La materia radiante posee una trayectoria rectilínea***

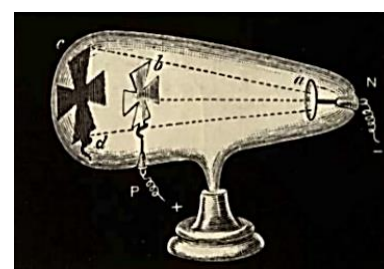
El famoso tubo de Crookes (**Fig.9**) demuestra la existencia de una trayectoria rectilínea que salen del cátodo hacia el ánodo; dispositivo que consta de una cruz de aluminio ubicada en el interior del tubo evacuado, dos electrodos uno positivo ubicado en la parte superior del cilindro y uno negativo en la derecha.

La proyección de la sombra en el interior del tubo, lleva a sugerir a Crookes que el cátodo efectivamente si lanza rayos compuestos de pequeñísimas partículas electrizadas encargadas de ionizar el aire o el gas residual contenido en el interior del tubo; produciendo así, grandes alteraciones a las partículas de gas aumentando su energía interna y sus velocidades, partículas que denominó materia radiante, término asociado a los planteamientos de Faraday y relacionado con los rayos catódicos de Goldstein.

Las partículas electrizadas viajan de forma contundente hacia la cruz de aluminio que se encuentra frente al cátodo proyectando una sombra, pasado un tiempo la cruz se calienta hasta el rojo vivo si se quiere. Por otro lado, un determinado número de partículas se dirige hacia direcciones opuestas a la cruz produciendo efectos de fosforescencia.

Hasta este punto, las experiencias le llevan a considerar que el vacío es aislante pero prácticamente es una situación inalcanzable; sin embargo, debe admitirse que los fenómenos de la materia radiante necesitan de la presencia de una pequeña cantidad de materia residual para la conducción eléctrica y para Crookes, este es un soporte suficiente.

Si los rayos imperceptibles que salen del cátodo son de naturaleza material se prevé que este material puede ser capaz de ejercer una acción mecánica sobre los cuerpos que se colocan en su camino, así mismo causa fosforescencia o puede aumentar la temperatura de un cuerpo que se encuentre en su trayectoria (Beaulard, 1898). A través de ello, configura algunas actividades experimentales enfocadas en el análisis de estas hipótesis.



**Fig.9** Tubo de Crookes  
(Crookes, 1879)

▫ ***Produce calor cuando se detiene en su movimiento***

A partir de lo anterior, Crookes desarrolla un dispositivo que le posibilita estudiar la facultad de la materia radiante para calentar objetos, para ello, hace uso de una conexión a una bobina de inducción, dos electrodos (+ o -), una esfera de cristal al que se le ha aplicado una disminución de presión; sin embargo, a esta esfera en particular se le aplica una capa muy delgada de parafina y se coloca un electroimán con la función de desviar el flujo de materia radiante (**Fig.10**).

Al encender la bobina de inducción, se observa que el material radiante derrite completamente la capa de vela, posteriormente pone en funcionamiento el electroimán desviando completamente el flujo fosforescente comprobando que la cubierta de parafina queda intacta.

Más adelante, en otro dispositivo coloca una placa metálica de iridio-platino, un electrodo negativo ubicado de forma paralela a la placa y otro positivo en la parte superior. Pasado algún tiempo de encendida la bobina de inducción, se observa que la lámina metálica se coloca al rojo vivo derritiendo lentamente.

Actividad experimental contundente que ratifica las propiedades calóricas que posee la materia radiante, suponemos que este efecto se da por la agitación molecular del material gaseoso residual, manifestándose a través del calentamiento de la placa metálica.



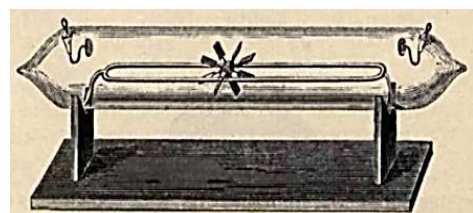
**Fig.10** Efecto calórico (Crookes, 1879)

▫ ***Acciones mecánicas***

Al igual que las propiedades calóricas, Crookes asegura que la materia radiante debe estar constituida de partículas capaces de empujar o producir movimiento en objetos. A partir de esa principal hipótesis, construyen algunos dispositivos entre ellos el radiómetro.

El primero se compone de un tubo de vidrio altamente agotado y en su interior tiene una rueda hecha de vidrio que gira sobre una pista de metal de lado a lado. En cada extremo del tubo se colocan dos placas de aluminio (electrodos) conectadas a la bobina de inducción, este dispositivo también funciona cuando se le coloca una linterna eléctrica (**Fig.11**).

Cuando se enciende la bobina la materia radiante golpea la pequeña rueda y la hace viajar sobre la pista. En el momento en el que se invierten los polos se puede detener la rueda y enviarla hacia el camino opuesto. Crookes afirma que: “Si nos detenemos un instante a observar cuidadosamente el dispositivo se puede presenciar la fuerza de impacto que ejerce la materia radiante sobre la rueda cuando se detiene y se envía al camino contrario” (Beaulard, 1898).



**Fig.11** Acciones mecánicas (Crookes, 1879)

Para los efectos mecánicos el agotamiento no debe ser tan alto como cuando se produce la fosforescencia. Por otro lado, construye el radiómetro<sup>30</sup> y en él observa que al pasar el flujo de electricidad se forma un círculo luminoso de color violeta en la parte metálica de las paletas.

Al seguir disminuyendo la presión, se establece un espacio oscuro que separa el círculo luminoso del metal. Posteriormente, al aplicarle una mayor disminución a la presión, el espacio oscuro se expande por el tubo y comienza la rotación. Si seguimos realizando agotamiento este se extiende por toda la esfera y la rotación es mucho más rápida comparada con la anterior (Crookes, 1879).

A partir de todo este análisis, Crookes sugiere que la materia radiante no es otra cosa que un estado ultra gaseoso. Por otro lado, esta investigación resulta de gran utilidad, en primer lugar, para develar la naturaleza de los rayos catódicos y su relación con la electricidad, en segundo, para configurar las bases que estructuran las investigaciones recientes de la Física de Plasmas, lo cual trae consigo grandes avances a la Física.

### ***1.5 Contribuciones a la Física***

En 1897 se solucionó el problema sobre la naturaleza de los rayos catódicos, después de que varios físicos determinaron la velocidad de las partículas hipotéticas de Crookes, así como también la relación entre su carga y su masa; mientras Thomson midió tanto la carga como la energía cinética de los rayos (Cecil, 1997).

Finalmente, descubre que en un “vacío perfecto” se logra desviar los rayos catódicos por un campo eléctrico al igual que por un campo magnético, midiendo ambas variaciones, bajo lo cual determina la velocidad y la relación  $e/m$ ; posteriormente, afirma que las partículas de los rayos son mucho más pequeñas que los átomos, más livianas que los átomos de hidrógeno, por lo tanto le asigna el nombre de corpúsculos, llevando a cabo el descubrimiento del electrón, la primera partícula subatómica.

### ***Introducción a la Física de Plasmas***

A través de las investigaciones acerca de la materia radiante surgen las primeras exploraciones sobre el estado de plasma, hacia 1923 **Irving Langmuir**<sup>31</sup> (1881-1957) investiga cuidadosamente las descargas eléctricas, llegando a la conclusión que la acción eléctrica es la causa de la ionización de las partículas de gas, confirmando el proceso teórico tratado por Crookes.

---

<sup>30</sup> Dispositivo diseñado por William Crookes hacia 1873, es una esfera de cristal al cual se le ha hecho un vacío parcial, en su interior tiene cuatro aspas, las cuales por una cara es ennegrecida y por la otra es plateada muy brillante, estas son muy livianas y están suspendidas a una aguja, a su vez todo ese montaje es sostenido por un eje de vidrio el cual disminuye su fricción (Mendoza, 2014) ; su funcionamiento resultó muy polémico.

<sup>31</sup> Físico y químico estadounidense, estudia el rápido deterioro de los filamentos de tungsteno de las bombillas mediante el empleo de diversos gases, así como también la emisión de los electrones que se producían. Descubre una bomba de mercurio de alto vacío, el hidrógeno monoatómico, desarrolla investigaciones relevantes en el desarrollo del radar en la segunda guerra mundial, ganador del premio nobel de Química en 1932 (Ruiza, Durán , Fernández, & Tamaro, 2019).



Para 1929, usa por primera vez el término plasma para describir una nube de gas rojiza en la que se veía oscilar electrones en el interior de un tubo de cristal; una vez efectuada la descarga la nube se comporta de forma inestable, moviéndose como una sustancia gelatinosa muy familiar al plasma de la sangre. Después en 1936, *Lev Landáú*<sup>32</sup> (1908-1968) elabora y establece la teoría estadística que describe el comportamiento de los plasmas (Bravo, 1994).

Como pudimos ver a lo largo de esta investigación, la física de plasmas es estructurada bajo las concepciones electrolíticas o rupturas de enlaces atómicos, por lo tanto (Bravo, 1994) afirma que:

Cuando se extraen del átomo uno o más electrones, lo que queda es un exceso de carga positiva y constituye lo que se conoce como un ion. En un caso extremo un ion puede ser simplemente un puro núcleo atómico al que se le han desprendido todos sus electrones circundantes. Una sustancia que contiene iones y que a la vez conserva los electrones, aunque ya libres del amarre atómico, es un plasma (pág. 12).

Es necesario aclarar que la ionización de un gas puede producirse de diversas maneras, a través de elevadas temperaturas (superiores a los 10.000K), descargas eléctricas o por fotoionización, proceso en el que los fotones desprenden electrones; la mayor parte del plasma existente en el espacio es producto de la fotoionización como la ionosfera, magnetosfera y el viento solar. Otros son producidos de forma natural como los rayos eléctricos formados en las tormentas que ioniza momentáneamente el aire, las auroras boreales u de forma artificial como los tubos de neón o las lámparas fluorescentes (Bravo, 1994).

La investigación bibliográfica realizada en este capítulo nos proporciona conocimientos de investigaciones ya existentes, teorías, hipótesis, experimentos, resultados, instrumentos, técnicas usadas acerca del tema, pues resume y condensa de forma concisa y clara, los conocimientos más precisos sobre la conducción eléctrica en gases, reproduce saberes y opiniones dominantes sobre el tema.

También permite conocer el origen, los avances, contribuciones, fenomenologías, teorías, generando imágenes más globales acerca del tema; esto último, crea estructuras mentales sobre el comportamiento físico de los gases, la electricidad desde distintas miradas, desde distintas posturas. Esto facilita, un aprendizaje consciente, acción que introduce nuevo conocimiento y permanente, con la capacidad de relacionar distintos aspectos, perspectivas, contribuyendo de forma positiva la construcción del capítulo siguiente.

Sin más que decir, este capítulo posibilita visualizar la relación estrecha que tiene el tratamiento teórico y el experimental, deja ver y entender la imagen humanista de la Física, también amplía las distintas perspectivas, así mismo facilita la identificación de los elementos claves para la

---

<sup>32</sup> Físico ruso, en 1938 publica una serie de monografías de siete volúmenes bajo el nombre de Curso de Física Teórica, así mismo desarrolla teorías acerca de las propiedades de los superfluidos y superconductividad del helio y estado del helio líquido, en 1962 fue ganador del premio nobel en Física. Las investigaciones de Landáú abarcaron la Física nuclear, plasmas y rayos cósmicos (Tamaro, Ruiza, Fernández, & Durán, 2019).



enseñanza, admitiendo su importancia y la trascendencia que puede implicar en el proceso enseñanza-aprendizaje.

También proporciona nuevas estrategias para poner en práctica en la labor docente, así mismo se convierte en el punto de partida para establecer una propuesta de aula, que de a conocer el estado de plasma y los rayos catódicos en las clases desde una perspectiva histórica.

## Capítulo 2.

### *Construyendo el Fenómeno: Los efectos mecánicos de las descargas eléctricas en el aire*

La experimentación es una actividad fundamental para la construcción de saberes, origina interrogantes, objetos de estudio novedosos, descubrimientos o simplemente confirmaciones teóricas, lo cual generan en el individuo, un pensamiento creativo, reflexivo y analítico; es una herramienta útil para explorar, comprender, interpretar e interactuar con la naturaleza, es una fuente inagotable de conocimiento.

Proporciona experiencias significativas, la obtención de datos cuantitativos o el registro cualitativos de los fenómenos, establece interpretaciones, conexiones reales con la naturaleza. La interpretación experimental encuentra respuestas concretas y satisfactorias que crean comprensiones amplias del universo, mostrando e incluso desarrollando fenomenologías y teorías de forma completa.

La notable relación entre la teoría y la experimentación presentada en el capítulo anterior es la principal motivación para la creación de este capítulo.

#### **2.1 Problemática**

Durante el desarrollo de la investigación bibliográfica fue posible detectar algunas situaciones controversiales.

En primer lugar, los fenómenos de descarga eléctrica en gases fueron analizados desde dos posturas principales, la primera relacionada con el carácter corpuscular de la electricidad, la segunda con el fluido eléctrico relacionado con el éter y su similitud con la luz. A partir de ello surge el interrogante, ¿Qué postura teórica explica de forma sencilla los fenómenos de conducción eléctrica en el aire?

Seguidamente, el aire era considerado un medio aislante de electricidad, ¿es esto cierto?, ¿De qué forma puedo evidenciar esta afirmación?, ¿cómo se producen las descargas eléctricas producidas en las tormentas?

Por otro lado, Crookes considera que: “existe un transporte material de electricidad negativa llevado a cabo con enorme rapidez por el material radiante que proyecta el electrodo negativo, prevé que este material radiante puede ejercer una acción mecánica sobre los cuerpos o aumentar su temperatura” (Beaulard, 1898, pág. 80) ¿Es esto cierto? ¿Es posible interpretar esto de otra forma? ¿De qué forma? ¿De qué manera puedo evidenciar esta hipótesis?

Bajo los interrogantes postulados anteriormente, se elaborará una investigación experimental con la intención de construir fenomenologías que nos aproximen a los fenómenos de la conducción y descarga eléctrica en gases, apoyada principalmente en los estudios realizados por Crookes sobre la materia radiante.

Las exploraciones experimentales de Crookes son pieza clave para dar cuenta de los distintos fenómenos producidos por la descarga en gases o en el aire, lo cual establece elementos esenciales para la selección u organización de experiencias acordes que permitan descubrir, entender, resolver, relacionar, explicar en detalle las cuestiones conceptuales comprendidas sobre los temas de conducción y descarga en medios gaseosos, así como también introducir discusiones acerca de la electricidad, de su naturaleza, de los estados plasmáticos, entre otros.

A partir de ello, la investigación se desarrollará alrededor del análisis del fenómeno de las acciones mecánicas producidas por la descarga eléctrica en gases, haciendo uso de prototipos artesanales similares al radiómetro de Crookes.

Dispositivo que consiste en un molinete con cuatro brazos suspendidos en una aguja sostenido en una pequeña base de cristal que disminuye su fricción, contenido en una esfera de vidrio sellada y dos electrodos, instrumento al que se le ha aplicado un vacío parcial. El aspecto fundamental de este instrumento es la rotación de sus brazos al ser expuestos a una descarga eléctrica, fenómeno que permite determinar la intensidad del flujo de carga eléctrica a través de su movimiento.

En ese orden de ideas, se establecen los siguientes objetivos:

### ***Generales***

- Caracterizar fenomenologías del radiómetro eléctrico de Crookes, de la descarga eléctrica en el aire en condición normal.
- Construir interpretaciones fenomenológicas.

### ***Específicos***

- Elaborar un montaje experimental del radiómetro eléctrico en el que sea evidente el fenómeno de descarga eléctrica y de efecto mecánico.
- Analizar el comportamiento de las veletas y del aire por acción de la descarga eléctrica.
- Definir las causas del movimiento de las hélices y del comportamiento del aire.
- Establecer relaciones con las discusiones teóricas de Crookes y Faraday.

Básicamente lo que se busca es construir fenomenologías<sup>33</sup> e interpretaciones acerca de los fenómenos de descarga y conducción eléctrica en medios gaseosos (aire), haciendo uso del radiómetro de Crookes y los efectos mecánicos de la electricidad, creando aportes significativos para la construcción de conocimiento personal.

Fenómeno polifacético, que permite abordar diferentes aspectos conceptuales acerca de la relación materia-electricidad, conducción eléctrica, discusiones corpusculares de la electricidad, entre otros. De igual manera, introduce conexiones teóricas entre lo que configura mi experiencia y pensamiento con los razonamientos de Faraday con respecto a la electricidad o Crookes sobre el cuarto estado de la materia.

---

<sup>33</sup> Experiencias que rodean a un *fenómeno*.

Los análisis experimentales llevados a cabo, se harán desde una perspectiva experimental cualitativa, la recolección de información se basará principalmente en la observación de los fenómenos, lo principal es comprender las causas y aportar a la construcción de conocimiento.

Esta metodología de investigación permite comprender, explicar de forma clara y completa el fenómeno, construir representaciones mentales sencillas, de igual forma familiarizar técnicas o métodos experimentales, creando ambientes de aprendizaje significativo.

## **2.2 Antecedentes**

La tesis de pregrado de la Universidad Pedagógica Nacional “*La idea de los efectos mecánicos de la luz, una perspectiva de construir un pensamiento hacia las teorías modernas de la Física*” realizada por Rodríguez Edgar en el año 2016, es fundamental para la investigación desarrollada.

A través de la cual, se establece un análisis fenomenológico del comportamiento de la luz observado en el radiómetro de Crookes, investigación basada en actividades experimentales y explicaciones cualitativas alrededor del movimiento de las hélices instaladas al interior de un recipiente de cristal que contiene un gas encerrado; las veletas son alteradas al interactuar con un haz de luz.

De forma que establece una construcción conceptual de los efectos mecánicos de la luz en correlación con el movimiento de las aspas, configurando perspectivas acerca del calor, así como de perspectivas fenomenológicas en dirección a la enseñanza que permita promover la motivación e interés de los jóvenes, niños y niñas por la ciencia. Actividades establecidas alrededor del radiómetro y aplicadas en algunas instituciones de educación.

La investigación es configurada bajo una contextualización histórica y pedagógica de la problemática referente al fenómeno observado en el radiómetro, basada en los trabajos experimentales de William Crookes, Osborne Reynolds, James Maxwell y las contribuciones teóricas de Albert Einstein relacionadas al movimiento de las aspas.

Por otro lado, se elabora una serie de radiómetros artesanales con el propósito de construir el fenómeno, dispositivos puestos a prueba en diversas condiciones y situaciones, tarea que configura hipótesis con respecto al movimiento de las hélices.

Aspecto fundamental para la realización de la construcción del radiómetro de Crookes necesaria para esta investigación, a través de esto, se estructuran algunas bases y modificaciones técnicas alrededor del dispositivo.

## **2.3 Diseño Experimental: Fabricación del radiómetro de Crookes**

En efecto, inicialmente nos enfocaremos en la construcción de prototipos similares al radiómetro de Crookes, dispositivos que posteriormente serán puestos a prueba a través de

generadores electrostáticos de alto voltaje como la Máquina de Wimshurst<sup>34</sup> o el generador de Van der Graaff<sup>35</sup>; experiencias significativas para la configuración de explicaciones e interpretaciones alrededor del funcionamiento, comportamiento, causas, naturaleza de los fenómenos mecánicos y de conducción eléctrica en el aire.

La construcción del radiómetro eléctrico trae consigo una preocupación central, garantizar el perfecto funcionamiento del dispositivo para observar los fenómenos, a partir de eso, se genera el siguiente interrogante, *¿Qué tipo de materiales deben ser utilizados en las veletas y en el radiómetro?*.

A partir de lo planteado anteriormente, se procede con la elaboración de las veletas, para esto, haremos uso de los siguientes materiales; placas de aluminio, bronce y cobre, papel, acetato, agujas punta roma, corchos, pequeños tubitos de cristal (puntas de las ampollas de medicamentos esterilizadas previamente), papel vinilo.

Como paso a seguir, se realizan cuatro rombos de papel de tres centímetros de largo por dos centímetros de ancho, sirviendo como modelo para cortar los rombos de los otros materiales.

Luego, se procede a recortar algunos trozos de papel vinilo (material con adhesivo en una de sus caras), cada fragmento tiene una longitud de medio centímetro, la función de este papel es sostener cada uno de los rombos alrededor de los pequeños tubos de cristal.

Una vez pegado el papel adhesivo entre las placas y los tubitos, las veletas son colocadas en la aguja punta roma y en la base (corcho), este proceso debe realizarse en cada uno de los materiales (acetato, aluminio, bronce, cobre y papel); Este dispositivo garantiza que las veletas giren bajo su propio eje y con un leve rozamiento. El resultado final de la construcción de las veletas es mostrado en la **Fig.12**.



**Fig.12** Veletas de Acetato, Aluminio, Bronce, Cobre y papel

Ahora bien, se preguntarán *¿Cuál es el objetivo de la construcción de las veletas de materiales como el aluminio, bronce, cobre, papel o acetato?*, como se dijo anteriormente, existe una preocupación por el funcionamiento del dispositivo, razón por la cual se busca analizar o determinar cuál de estos materiales influye en el efecto mecánico y que, a su vez, nos permita la adecuada observación del fenómeno.

<sup>34</sup> Generador electrostático de alto voltaje desarrollado entre 1880 y 1883 por el ingeniero inglés *James Wimshurst* (1832-1903).

<sup>35</sup> Dispositivo electrostático creado por *Robert Van der Graaff* hacia comienzos de 1929.

Después de construir las veletas, se procede a la construcción del radiómetro eléctrico, haciendo uso de los siguientes materiales; una esfera de Cristal o frasco pequeño de café con su respectiva tapa, placas de aluminio, bronce y cobre, dos tornillos con punta de enroscar de tres centímetros con su respectiva tuerca, cable, corcho, aguja punta roma, mototool, dos empaques circulares de un centímetro y medio, pegamento, cautín, estaño y trozos de cable.

Reunido todos los materiales, el primer paso es realizar dos agujeros pequeños a cada lado de la esfera de cristal con la ayuda del mototool, lastimosamente el cristal no aguanta la perforación y se fisura el material, por lo cual, debe cambiarse por un más resistente, un frasco de café. Es necesario aclarar que se implementaron varios procesos de perforación en vidrio, pero el más efectivo es con el mototool.

Luego, con el pegamento se unen los empaques al frasco donde se realizaron los agujeros. En la tapa del frasco, se pega el corcho con una aguja punta roma incrustada, la función de esta es sostener las hélices en el interior del frasco de cristal.

Se recorta dos rectángulos de aluminio, bronce y cobre de cuatro centímetros de ancho por tres de largo, en seguida se abre un agujero en el centro de la placa por donde pasará el tornillo, el cual se ajustarán con la tuerca o también puede soldarse un trozo de cable con cautín a la placa.

Estas placas de aluminio, bronce y cobre cumplen con la función de electrodos, a través de estas, entra o sale el flujo de carga dirigido hacia el interior del radiómetro. El resultado final es mostrado en la *Fig.13*.

Por otra parte, el medio gaseoso utilizado será el aire, este será confinado en el interior del frasco; recordemos que el aire es una mezcla gaseosa que básicamente está constituida por nitrógeno y oxígeno, de igual modo es un fluido aislante de electricidad. A través del radiómetro eléctrico se puede explorar su comportamiento por la acción de una descarga eléctrica.

La construcción del radiómetro eléctrico permite crear un conjunto de saberes en relación con las técnicas, condiciones necesarias para recrear los fenómenos de descarga y conducción eléctrica en gases; a partir de ahora, nos centraremos en las actividades y análisis experimentales.



*Fig.13 Radiómetro*

## 2.4 Marco Teórico Referencial

El marco teórico referencial es entendido como una herramienta que consiste en identificar todo lo desarrollado y que tiene relación con nuestro tema, por lo tanto, haremos un estudio referido a la electrostática<sup>36</sup>.

### ▫ *Electrostática*

A finales de siglo XIX, se descubre el electrón portador de carga negativa fija, dotado de una masa definida, mucho más pequeña que la del átomo y es, evidente, que formaba parte de su estructura. Posteriormente, la radioactividad coloca en escena nuevas partículas cargadas que de algún modo debían acomodarse en el átomo físico, acción que refuerza la búsqueda de nuevos campos de estudio de la Física que exigían que los fenómenos eléctricos debían asociarse a los átomos (Holton , 1989).

El cambio de siglo trae consigo un modelo que destaca conceptos como la carga, el potencial y los campos eléctricos. A partir de ello y teniendo en cuenta el desarrollo de la investigación bibliográfica del capítulo anterior, resulta fundamental realizar un estudio detallado de las ideas básicas de la electricidad. El desarrollo de la electrostática parte inicialmente de las contribuciones realizadas por **Benjamín Franklin**<sup>37</sup> (1706-1790).

### ▫ *Electrización por frotamiento*

La mejor forma de iniciar el estudio de la electrostática es experimentando con objetos que llegan a electrificarse cuando se frota, se deduce que cualquier objeto puede cargarse por frotamiento con un paño de preferencia seda o lana; se percibe la producción de cargas que pueden ser + o -, pero nunca de una tercera clase. Las observaciones experimentales concluyen las siguientes hipótesis:

- Dos cuerpos neutros pueden cargarse por fricción mutua, pero siempre con cargas opuestas.
- Existen sólo dos clases de cargas que interaccionan positiva y negativa. Las cargas positivas aparecen sobre el vidrio cuando se frota con seda (definición de carga +), y las negativas aparecen sobre la resina cuando se frota con seda o más eficazmente con piel (-).

Alrededor de lo anterior, se establece que “*cargas de igual signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen*”, es decir, dos objetos cargados negativamente o cargados positivamente se repelen entre sí, mientras que un objeto cargado positivamente y otro negativamente se atraen, conocida como la primera ley cualitativa de la electrostática.

<sup>36</sup> Ciencia que trata las cargas en reposo.

<sup>37</sup> Científico americano, político y escritor. Se interesa, principalmente por los fenómenos eléctricos, demuestra que los rayos se producen por la electricidad estática de la atmósfera, desarrollando su famoso experimento de la cometa y el pararrayos, otros de sus inventos fue la estufa casera de calefacción, las gafas bifocales y la armónica de vidrio. Organiza la sociedad científica American Philosophical Society, ayuda al estableciendo de una académica que más tarde llega a ser la Universidad de Pennsylvania (Armenta , y otros, 1994).

Aun así, nos preguntaremos ¿Qué es lo que realmente ocurre en el proceso de frotación causante del fenómeno de electrificación? Benjamín Franklin, considera que todos los cuerpos contienen una cantidad específica de fluido eléctrico que servía para mantenerlos en un estado sin carga o neutro. Cuando dos sustancias se frotan entre sí, supuso que una acumulaba el exceso de fluido, cargándose positivamente, mientras que la otra perdía fluido y se cargaba negativamente. Ahora se sabe que lo que las sustancias transfieren no es un fluido sino cantidades muy pequeñas de electricidad negativa llamada electrones (Holton, 1989). Un objeto que tenga un exceso de electrones está cargado negativamente y un objeto que tenga deficiencia de electrones está cargado positivamente.

▫ ***Ley de conservación de la carga***

Esta ley establece que las cargas eléctricas solo pueden producirse a pares con iguales intensidades positivas y negativas. La prueba experimental se da a través de una observación simple: envuelve un paño descargado alrededor de una barra de vidrio descargada, luego frota la barra y retira el paño, ¿Qué sucede?, cada uno de ellos, individualmente ejerce, como es lógico, fuerzas eléctricas intensas de repulsión o atracción sobre un tercer objeto, como puede ser una simple hoja de aluminio.

Sin embargo, volvamos a frotar el paño cargado otra vez, sobre la barra cargada y acerca a la hoja de aluminio; las fuerzas eléctricas ejercidas sobre el tercer objeto desaparecen, se llega a la conclusión de que los efectos de las cargas opuestas se destruyen cuando estas se aproximan; por lo tanto, el paño y la barra cargada son portadores de cargas igualmente intensas, pero de signos opuestos. Por frotamiento mutuo no puede crearse una *carga neta* (+ o -). Esta ley de conservación justifica el concepto de “carga eléctrica<sup>38</sup>”.

▫ ***Modelo moderno de la electrización***

Los experimentos de frotación conducen a las primeras teorías razonables sobre la naturaleza de las cargas eléctricas.

Todos los materiales -sólidos, líquidos y gaseosos- tienen una estructura atómica, comprensiones introducidas por el éxito de la teoría cinético-molecular. Cada átomo ordinariamente puede considerarse como un objeto neutro sin carga, pero realmente está formado por un núcleo cargado positivamente rodeado a una distancia, relativamente grande por electrones cargados negativamente. Los electrones son todos iguales y muy ligeros comparados con los núcleos (Holton, 1989).

La neutralidad del átomo ordinario es la consecuencia de un balance exacto entre las cargas positivas del núcleo con las cargas negativas de los electrones. Cuando se arranca un electrón del átomo, este pierde una carga negativa, es decir, se convierte en un ion positivo. Por tanto, el electrón separado representa una carga negativa libre; con el tiempo puede asociarse un *ion positivo* y restaurar la neutralidad de este átomo, o bien puede unirse a un átomo neutro transformándolo en un *ion negativo* (Holton, 1989).

---

<sup>38</sup> Propiedad fundamental de la materia, al igual que la masa.



En los sólidos los átomos están en reposo, sus electrones se mantienen próximos a los núcleos por atracción electrostática, pero en algunas sustancias es posible interrumpir con esa atracción (incluso por simple contacto con otro material) y arrancarle algunos electrones, dejando una superficie positivamente cargada sobre un material y dando al otro una carga negativa igualmente intensa. Imagen de la electrización por contacto como por ejemplo por frotamiento.

Es un modelo simple para explicar los hechos experimentales de la electrización por frotamiento. Justifica la observación de que solo hay dos tipos de carga y ofrece una explicación adecuada de todos los demás fenómenos observados en electrostática.

Note que las cargas de los iones y de los electrones son algo distinto de estos cuerpos, no es posible descargar un electrón y convertirlo en una pequeña masa neutra; todo el electrón en sí mismo es un portador de carga negativa. Es preferible tener en cuenta que no existe una imagen fácil de visualizar el concepto de carga. Un electrón tiene una masa definida, afirmación que demanda la imagen de una esfera pequeña y dura que transporta carga negativa (Holton , 1989).

Afirmación que no añade nada a nuestra imagen, salvo que debemos asignar a dicha esferita propiedades de repeler otros electrones y ser atraída por lo iones positivos. En realidad, el concepto de carga no tiene significado alguno aparte de algunas de estas fuerzas no gravitatorias que los cuerpos ejercen, en ocasiones, unos sobre otros.

#### ▫ *Aisladores y conductores*

Experimentalmente , podemos distinguir dos tipos de materiales: (a) aquellos que retiene la carga eléctrica en cualquier parte de la superficie donde se situó inicialmente, y (b) aquellos en los cuales las cargas iguales situadas en su superficie se repelen entre sí y “fluyen” distribuyéndose sobre todo el cuerpo, independientemente del lugar donde fueron situadas inicialmente. El primer comportamiento caracteriza a los aisladores (o no conductores, dieléctricos), tal como el vidrio, las pieles, la seda, el papel, la resina, etc. El segundo tipo de materiales, naturalmente son los conductores, como el metal y el grafito (Holton , 1989).

Podemos diferenciar entre conductores y aisladores por la resistencia relativa que ofrece a una corriente eléctrica. En los buenos conductores como los metales, algunos de los electrones más débilmente ligados a sus átomos escapan fácilmente de estos si sobre ellos actúa alguna fuerza eléctrica extrema; por ello, se denominan electrones de conducción y mientras se mueven constituyen corriente electrónica a través del conductor ( a lo largo de su superficie). En un buen dieléctrico, sin embargo, los electrones están más fuertemente ligados a los átomos y no tiene libertad de escape cuando sobre ellos actúan fuerzas eléctricas externas de atracción o repulsión (Holton , 1989).

Otro problema interesante se presenta por la acción de un no conductor sin carga en presencia de un cuerpo cargado en cercanías. Naturalmente, no se presenta flujo de electrones sobre el no conductor, pero podemos imaginar que las partes negativas de cada átomo o molécula se desplazan un poco sin separarse mucho de las correspondientes partes positivas; esto corresponde a una alteración más que a una separación en los átomos o moléculas del material.

Si bien este desplazamiento es despreciable cuando afecta a un solo átomo, el efecto total de billones de átomos es inducir cargas, en realidad cargas superficiales ligadas, en ambos extremos del dieléctrico. Por tanto, un cuerpo cargado atrae a otro previamente neutro, sean o no ambos conductores.

El grado de movilidad de las cargas en distintos cuerpos depende mucho de las circunstancias experimentales. Los gases fríos y secos son poco conductores y, en cambio los gases a altas temperaturas son buenos conductores. El agua perfectamente pura no transporta las corrientes eléctricas; sin embargo, el agua del grifo que contiene ciertas impurezas es un conductor bastante bueno, que se convierte en excelente añadiendo una pizca de sal o cualquier otra sustancia que forme iones al disolverse (electrolito). La piel humana es un conductor regular si se le compara con el cristal limpio, y un mal conductor comparada con los metales (Holton, 1989).

La situación en los líquidos conductores (electrolitos) es más compleja que en los sólidos. Las cargas móviles son iones positivos y negativos que se producen cuando las moléculas de sustancia como sales o ácidos se separan en partes cargadas con signos opuestos al disolverse en el líquido. En gases calentados o agitados de otro modo, las corrientes se deben tanto a electrones como a iones positivos y negativos.

## ***2.5 Marco Conceptual***

Tiene como objetivo precisar el significado de algunos términos que serán empleados con mayor frecuencia en las interpretaciones fenomenológicas.

Iniciando por el concepto de fuerza, generalmente la concebimos como un empujón que se ejerce sobre algún cuerpo. Lo que le sucede al cuerpo cuando una fuerza actúa sobre él depende de la magnitud y de la dirección de esta (Serway & Faughn, 2001), este tipo de fuerzas son de contacto, sin embargo, también existen fuerzas que no implican un contacto físico entre objetos.

Faraday introduce el concepto de campo y con ello, la idea de las fuerzas de campo; una fuerza de campo es la fuerza eléctrica que una carga ejerce sobre otra, es capaz de actuar a través del espacio y producir efectos aun cuando no exista contacto físico entre cargas u objetos.

Por lo tanto, se afirma que existe un campo eléctrico en la región del espacio que rodea a un objeto con carga y cuando otro objeto cargado entra en este campo eléctrico, surgen fuerzas de naturaleza eléctrica.

En consecuencia, la dirección del campo eléctrico en un punto se define como la dirección de la fuerza eléctrica que se ejercería sobre una carga positiva pequeña situada en un punto. Las líneas de fuerza fluyen de forma radial hacia afuera de una carga puntual positiva, las líneas divergen, separándose conforme se aleja. Cuanto mayor sea la cantidad de líneas que pasan por una región, es decir, cuanto mayor sea la concentración de ellas, mayor será la intensidad del campo; por el contrario, el campo será débil, cuanto más separadas estén las líneas de fuerza (Serway & Faughn, 2001).

A partir de lo anterior, se establece un análisis experimental de los fenómenos de conducción eléctrica y efecto mecánico en el aire desde una mirada electrostática. Se plantean las siguientes hipótesis:

*El campo eléctrico generado por la máquina de Wimshurst y el generador de Van der Graaff generan efecto mecánico en las hélices del radiómetro de Crookes.*

*Teniendo en cuenta la baja conducción eléctrica en el aire, es posible que los dispositivos electrostáticos utilizados puedan cambiarla.*

*Los materiales aislantes y conductores utilizados en las hélices afectan los fenómenos de conducción y los efectos mecánicos.*

A partir de ello, se establece un análisis fenomenológico desde la configuración de dos actividades experimentales que introducen a grandes rasgos ideas sobre la electricidad, descarga y conducción eléctrica en el aire.

## **2.6 Análisis experimental**

Una vez realizado el montaje experimental, se estructuran dos actividades experimentales, dirigidas al análisis e interpretación de la conducción eléctrica en el aire y la relación movimiento-electricidad desde una perspectiva electrostática, a través del estudio detallado del comportamiento del radiómetro.

Teniendo en cuenta el marco teórico referencial, se establece una primera actividad enfocada en la exploración de fenómenos y conceptos electrostáticos fundamentales, acción que nos permite entender las ideas básicas de la electricidad, el funcionamiento de los dispositivos utilizados para la descarga eléctrica e incluso desarrolla relaciones teóricas previas acerca de la naturaleza de la electricidad y conducción eléctrica en el aire, los efectos mecánicos, la descarga, entre otros. A través de esta actividad, se desarrollan e introducen conocimientos sobre la carga, fuerza y campo eléctrico.

La siguiente práctica va dirigida a la observación detallada y directa de los fenómenos de conducción eléctrica en el aire y los efectos mecánicos, para ello, haremos uso de dispositivos como el generador de Van Der Graaf o la Máquina De Wimshurst. Enfocada principalmente en analizar y estudiar las causas del comportamiento tanto de las hélices como del aire en el interior del radiómetro, lo cual permite crear interpretaciones alrededor del fenómeno.

Lo que se busca abordar en las actividades es, principalmente comprender e interpretar la relación movimiento-electricidad y los efectos de conducción eléctrica en el aire, crear conexiones entre las discusiones acerca de los efectos mecánicos en correlación con las teorías corpusculares abordadas acerca de la electricidad, entendiendo sus causas y efectos; acción que crea imágenes globales y completas de la ciencia eléctrica, esta actividad constituye una

oportunidad para adquirir nuevos conocimiento, así como también reestructurar las bases que nos puede guiar para dominar otros aspectos teóricos de la electricidad.

Por lo tanto, las actividades experimentales estarán acompañadas de la utilización de algunos libros de texto como “*Física, conceptos y aplicaciones*” del Paul Tippens, “*Introducción a los conceptos y teorías de la ciencias físicas*” de Gerald Holton y “*Física (2ª ed.)*” de Jerry Wilson, logrando establecer explicaciones enfocadas a partir de una observación descriptiva y detallada del fenómeno; de esa manera se garantiza abordar fenomenologías completas e interpretativas de la conducción eléctrica en el aire.

Así pues, la primera actividad está enfocada en como se dijo anteriormente:

1. Introducir ideas básicas de la electricidad, comprender e interpretar fenomenologías electrostáticas y por supuesto entender el funcionamiento de las máquinas electrostáticas.

La segunda actividad va encaminada hacia:

2. La exploración de fenómenos en el aire causados por la descarga eléctrica, recordemos que se afirma que es un medio aislante.
3. El análisis de relación movimiento-electricidad, observadas en el interior del radiómetro de Crookes.

Sin embargo, la función principal de estas actividades experimentales es configurar acciones pedagógicas y la relación teoría-experimentación importante en el desarrollo de la Física.

Permitiendo, primero fortalecer la teoría y segundo, crear imágenes de la experimentación como fuente de confirmaciones, pero también de conocimiento; ahora bien, la puesta en práctica de esta relación posibilita un aprendizaje más significativo, necesario y fundamental para los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física. De aquí en adelante, se presentará en detalle las actividades experimentales.

### ***Actividad n°1: Electrificando veletas***

Esta actividad está dirigida hacia la caracterización de conceptos claves que permitan posteriormente comprender, así como explicar los fenómenos de descarga, conducción eléctrica y los efectos mecánicos en el aire.

Práctica fundamental para comprender ideas básicas sobre la electricidad, haciendo uso de concepciones electrostáticas como la electrificación de cuerpos (frotación, inducción, contacto), materiales conductores y aislantes. Para esta actividad haremos uso de los siguientes materiales:

- Veletas de acetato, aluminio, bronce, cobre y papel construidas previamente para el radiómetro de Crookes
- Barra plástica
- Trozo de lana

Una vez reunidos los materiales, el siguiente paso es frotar la barra de plástico con el trozo de lana y acercar a una de las veletas; posteriormente, se vuelve a frotar la barra con la lana y deje que la veleta tenga contacto con la barra, se realizó el mismo procedimiento con las otras hélices.

Los fenómenos observados son registrados en la **Tabla 1**, se anexarán los registros fenomenológicos de forma descriptiva del comportamiento de las veletas por la electrificación, de esta forma se garantiza una interpretación y explicación completa. La **Tabla 1** se encontrará en la parte final del documento en *Anexos*.

La observación fenomenológica permitirá identificar el patrón de comportamiento en las hélices.

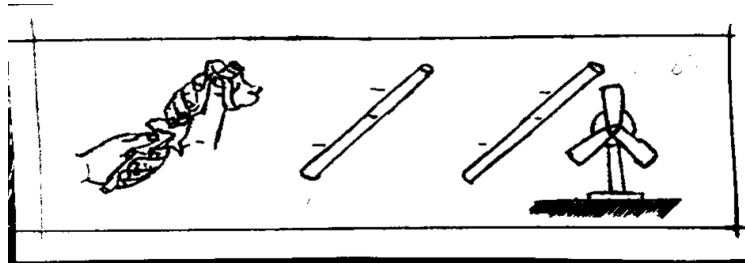
### ***Interpretación Fenomenológica***

A través de las observaciones pudimos percibir un mismo patrón de comportamiento, fuerza de empuje, acción de atracción, repulsión y efectos mecánicos.

Los fenómenos observados son obtenidos gracias a la utilización de materiales conductores o aislantes, en este caso empleamos el aluminio, bronce y cobre por su gran capacidad de conducir o transmitir carga eléctrica, estos metales cuentan con un gran número de electrones libres no ligados de un modo fijo a un átomo (Wilson, 1996). Por otro lado, materiales como el papel y el acetato son aislantes, siendo de por sí, malos conductores, resistentes al flujo de carga (Seippel, 1977).

Aun así, tanto en materiales conductores como en aislantes, los efectos de atracción y repulsión son notables, los fenómenos de atracción son más comunes que los de repulsión, así mismo es visible una afectación debido a las variaciones en la distancia entre las hélices y la barra plástica cargada; a pequeñas distancias los efectos son contundentes, a grandes distancias los efectos son nulos.

Analizando completamente el fenómeno podemos afirmar que, al frotar la barra plástica con el trozo de lana, esta queda cargada negativamente, puesto que la lana le cede electrones al plástico; al acercar el objeto cargado a las veletas existe una transferencia de carga por inducción o contacto, haciendo que exista una redistribución de las cargas en la superficie de las caras de los brazos de las hélices.



*Fig.14 Electrificando veletas*

Es decir, la barra plástica induce un movimiento en las cargas internas de los materiales de las veletas, surgiendo acciones de atracción muy presentes en materiales como el aluminio, cobre, bronce con mayor contundencia y duración; en el caso del papel y el acetato los efectos de atracción son pasajeros, son seguidos por efectos de repulsión, pasados unos segundos las hélices presentan una ausencia de electricidad, como si fue transferida al medio circundante.

Por otro lado, al hacer contacto entre la barra cargada y la veleta, se descubre que las placas cercanas son cargadas por contacto, es decir adquieren la misma carga eléctrica que posee la barra plástica, manifestándose una acción de repulsión; es necesario precisar que el objeto cargado no entrega su carga total al hacer contacto, solo cede unos cuantos electrones.

De igual forma se considera que en gran medida la barra plástica carga eléctricamente el medio, carga pequeñas porciones de aire cercano a las veletas, convirtiéndolo en un medio conductor para las líneas de fuerza eléctrica que salen del tubo, ejerciendo fuerza de empuje a la cara más cercana de la veleta, generando rotaciones o efectos mecánicos.

Ahora bien, recordemos que la fuerza eléctrica es inversamente proporcional a la distancia, razón por la cual a una gran distancia entre las veletas y el objeto cargado menor será su movimiento rotacional, efecto muy distinto en pequeñas distancias.

Esta actividad resulta importante para introducir elementos teóricos sobre electrostática, abarcando e introduciendo conceptos como carga, fuerza, campo eléctrico, polarización eléctrica, muy útiles para próximas explicaciones.

Por otro lado, son conceptos fundamentales para crear comprensiones y caracterizaciones acerca de la electricidad, el funcionamiento de dispositivos como el generador Van der Graaff o la Máquina de Wimshurst, instrumentos importantes para la formación de fenómenos de descarga eléctrica.

También esta primera actividad experimental nos permite asociar y crear conexiones con las discusiones teóricas de Faraday con respecto a la electricidad, su naturaleza y sus problemáticas; conformando las bases necesarias para entender los fenómenos posteriores acerca de los efectos mecánicos de la descarga eléctrica en el aire.

## ***Actividad N°2: Efectos mecánicos de la descarga eléctrica en el aire***

El propósito de esta experiencia es analizar, comprender el efecto mecánico y la conducción eléctrica en el aire. Actividad que permite crear explicaciones e interpretaciones haciendo uso de cada uno de los aspectos teóricos configurados hasta este punto en la investigación.

Actividad analizada desde dos puntos de vista, una inicial que se encargará de estudiar previamente el efecto mecánico, haciendo uso del generador de Van der Graaff y una segunda, que estudiará el fenómeno a partir de la Máquina de Wimshurst, dispositivos aceleradores de partículas.

Las ideas introducidas en la actividad experimental anterior forman elementos claves para organizar las explicaciones alrededor de los fenómenos observados en el radiómetro.

### ***a. Radiómetro conectado con el generador de Van Der Graaff.***

Para esta actividad haremos uso de los siguientes materiales:

- Generador de Van Der Graaff
- Cables caimán
- Radiómetro eléctrico con sus correspondientes electrodos y veletas

El Generador Van der Graaff, es un dispositivo electrostático creado por Robert Van der Graaff alrededor de 1930, con el objetivo de crear un elevado diferencial de potencial eléctrico para acelerar partículas, es un generador de corriente continua.

Consta de un motor, dos poleas, una banda aislante continua de caucho que se mueve alrededor de las poleas, dos terminales fijos de hilos de cobre y un conductor hueco (esfera) donde se acumula la carga que transporta la banda de forma continua.

El funcionamiento del generador es debido a el contacto friccional entre dos materiales no conductores en este caso la polea inferior y la banda, lo cual electrifica la superficie de la polea adquiriendo cargas iguales de signo contrario.

Por otro lado, la polea superior transfiere la carga a uno de los terminales metálicos, lo que produce un campo eléctrico intenso entre el terminal y la superficie de la polea ionizando las moléculas de aire en el espacio, creando un paso conductor por la que atraviesan las cargas de la banda a la polea.

Existe la posibilidad de cambiar la polaridad de las cargas que transporta la banda cambiando los materiales de la polea inferior, por ejemplo: si tenemos una cinta de goma y una polea inferior de nylon cubierto con una fina capa de plástico, en la polea se crea una carga eléctrica negativa y en la banda una positiva.

Si se usa un material neutro en la polea superior la banda no transporta carga eléctrica hacia abajo; mientras que, si se emplea nylon, la banda transporta carga negativa hacia abajo que viene del conductor hueco y la cinta transportada una carga positiva hacia el conductor.

Ciertamente no es posible saber el signo ni siquiera la presencia de una carga eléctrica simplemente observando el objeto, es necesario la utilización de un electroscopio de excelente calibre.

Con ayuda de los cables caimán conectamos el generador Van Der Graaff a una de las extremidades del radiómetro, el otro cable va dirigido hacia Tierra. Una vez encendido el generador, se establecen distintas situaciones a partir de las combinaciones realizadas entre los materiales de los electrodos aluminio, bronce, cobre y las veletas en el interior del radiómetro. En la *Tabla 2*, *Tabla 3* y *Tabla 4* se anexarán los resultados de las experiencias, al final del documento en anexos.



*Fig.15 Equipos experimentales*

### ***b. Radiómetro conectado a la Máquina de Wimshurst***

Para esta actividad necesitaremos:

- Máquina de Wimshurst
- Cables caimán
- Radiómetro eléctrico con sus correspondientes electrodos y veletas

Recordemos que la máquina de Wimshurst es un generador electrostático de alto voltaje característico por su efecto triboeléctrico<sup>39</sup> a través del cual se acumula cargas cuando dos materiales se frotan entre sí.

<sup>39</sup> Tipo de electrificación provocada por el contacto con otro material por ejemplo la frotación.



Consta de dos grandes discos de material aislante en contra rotación montados de forma perpendicular y los cuales contienen adheridas algunas láminas de estaño u aluminio, dos barras cruzadas con cepillos metálicos, dos esferas de metal separadas a una distancia donde rebotan las chispas. Dispositivo que acumulan cargas cuando dos materiales distintos se frotan, generando corriente estática que es almacena en botellas de Leyden.

La máquina trabaja con un pequeño impulso mecánico que pone a girar los discos mediante un mecanismo de poleas, cada vez que los cepillos se frotan con las láminas estos se cargan a través de frotamiento, acumulándose hasta el punto de que la energía es suficiente generando arcos eléctricos.

La aplicación de la máquina de Wimshurst permite entender e interpretar su funcionamiento, así mismo afianzar conceptos como carga, fuerza y campo eléctrico, además posibilita ampliar el panorama sobre la conducción y descarga eléctrica en fluidos gaseosos, exponiendo formas y herramientas para su enseñanza.

Posteriormente procedemos a conectar el radiómetro a la maquina a través de los cables, para este caso el electrodo izquierdo va conectado a la máquina por medio de un cable caimán de color negro y el derecho por un cable de color rojo, a través del terminal izquierdo emerge un flujo de carga negativa, por el derecho carga positiva. En las siguientes tablas se mostrará en detalle los fenómenos observados.

En la *tabla 5*, *tabla 6* y *tabla 7* se anexará los resultados de las experiencias, que se encuentran al final del documento, en Anexos.

### ***Interpretación Fenomenológica***

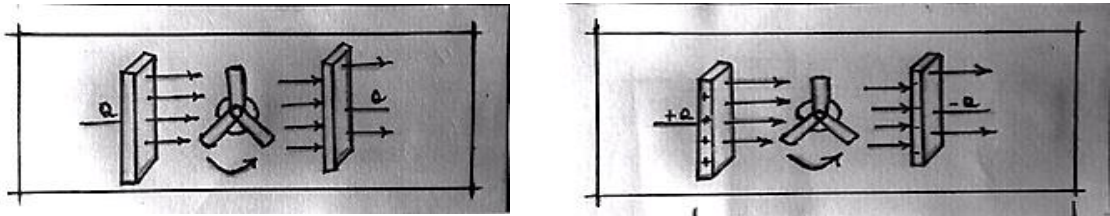
A partir de las observaciones fenomenológicas es posible percibir a grandes rasgos un patrón general del comportamiento de las veletas y del aire en el interior del radiómetro eléctrico con el generador Van Der Graff y la Máquina de Wimshurst este patrón se basa en dos grandes características el movimiento por parte de las hélices, una fuerza de atracción y repulsión; los efectos de descarga eléctrica se dan con la Máquina, para el caso del generador es ausente.

El fenómeno de fuerza de atracción o en algunos casos de repulsión, es producto de las fuerzas eléctricas (líneas de campo) que se proyectan a través del aire y las fuerzas internas de los materiales, de igual modo este acontecimiento se entiende como una redistribución de cargas, pues los brazos de la hélice son un cuerpo neutro.

Una vez entra el flujo de carga al interior del radiómetro este carga el aire convirtiéndolo en un medio conductor de electricidad, esto pasa con los dos generadores electrostáticos pues esto facilita electrificar la hélice; para el caso del generador el flujo de carga entra al interior e inmediatamente se dirige hacia tierra.

Ahora, con respecto al movimiento de las veletas, se deduce que la fuerza eléctrica que salen del electrodo generan un campo eléctrico, el cual golpea una de las caras de la veleta,

empujándola y causando efectos mecánicos, teniendo en cuenta los planteamientos de Faraday acerca de las líneas de campo se deduce que de una carga puntual positiva salen las líneas del campo eléctrico, mientras que para una carga negativa las líneas entran, esto último resulta pertinente porque lograr mostrar el funcionamiento que cumplen los electrodos. Entre las placas cargadas opuestas el campo eléctrico es uniforme.



*Fig.16 Diagrama del efecto mecánico causado por el campo eléctrico*

En aquellos materiales conductores se observa una acción mecánica fuerte, se considera la existe de un flujo eléctrico continuo que bombardea de forma diagonal la cara de la hélice más cercana, experimentalmente se observa el inicio del efecto mecánico.

En el caso de los aislantes, no hay conducción alguna, se supone que existe un efecto de polarización, es el reacomodo de la carga dentro de las moléculas individuales, lo cual produce una carga inducida en la superficie del material aislante como el papel o el acetato. Por lo tanto, no hay efecto mecánico alguno, existe una fuerza de atracción entre el electrodo izquierdo con la placa más cercana, pero también una repulsión inmediata pasado unos segundos, formación de un efecto vaivén en la hélice.

Podemos concluir que el aluminio es un metal que posee una baja capacidad para conducir electricidad, ya que en las experiencias evidencias en el radiómetro al conectarlo con el generador o la máquina de Wimshurst no se observó efecto de descarga eléctrica o de acciones mecánicas.

A través de la observación detallada, fue posible la estructuración de ideas en relación con el fenómeno de la conducción eléctrica en el aire, creando comprensiones y explicaciones acerca de la relación materia-electricidad, es claro que existe una fuerza u campo eléctrico que genera un efecto mecánico y la ionización del aire, esto establece relaciones de conocimiento.

Las actividades experimental mostradas permitieron crear relaciones entre los fenómenos con las discusiones planteadas por Faraday sobre la naturaleza de la carga eléctrica y por Crookes sobre la conducción eléctrica en medios gaseosos o el aire (material aislante de electricidad), adicionalmente otorga un nivel de apropiación de conocimiento que constituyen bases sobre la electricidad y permite construir una idea sobre una futura implementación didáctica para la introducción de conceptos de electrostática y descarga eléctrica en gases.

En consecuencia, este capítulo permite presentar la construcción e implementación de dispositivos realizados de forma artesanal sin necesidad de materiales costosos, al alcance de nuestras manos, así mismo se propone la utilización de temáticas poco tratadas en cursos de

Física, enfocada principalmente en la estructuración de conocimiento. Estas actividades presentan ideas más completas, globales, relacionadas entre sí, de la electricidad y de la Física, enseñando los vínculos existentes entre la experimentación con la elaboración e interpretación de teorías.

Cada una de las prácticas desarrolladas presenta una forma de enseñar, aprender, de recordar que la Física está desarrollada bajo conceptos ideados por grandes cuestionamientos científicos y de grandes acciones experimentales.

Este capítulo deja grandes contribuciones a procesos de carácter investigativo, aprendizaje y al planteamiento de actividades centradas en la enseñanza de conceptos que componen la electrostática o la descarga eléctrica en gases.

La utilización de la máquina de Wimshurst y el Van der Graaf también permite involucra conceptos físicos relacionados con la inducción, fricción, conducción, fuerza y campo eléctrico, capacitancia y potencial eléctrico. A través de ella, se puede llevar la electrostática al aula (Collazos, Otero, Isaza, & Mora, 2016).

### Capítulo 3.

#### *Conducción eléctrica en gases.*

#### *La historia y la experimentación en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física*

Durante el desarrollo de la investigación sobre la conducción eléctrica en gases, fue notable percibir la transcendencia de la relación teoría-experimentación y de la historia misma en el despliegue del tema, esto crea comprensiones amplias de todos los aspectos involucrados en los procesos de investigación. Bajo lo anterior, se establece los siguientes interrogantes, ¿Cuál es el rol de la historia y de la experimentación en la Física? ¿Qué beneficios y contribuciones trae en los procesos de enseñanza-aprendizaje?

Es tarea principal desarrollar los anteriores interrogantes, a partir de ello, se establece como propósito principal del capítulo la creación una propuesta de aula enfocada hacia la construcción de conocimiento, basada en los aspectos desarrollados en los capítulos anteriores y en las temáticas de conducción eléctrica en gases, que permita primero resaltar el rol de la historia y la experimentación de la física en los procesos de enseñanza-aprendizaje, segundo, introducir temas correspondientes a la Física moderna, tercero, formular nuevas formas de enseñanza que renueve las aulas de clase de la física en la educación media.

Herramienta pedagógica que configura actividades que desarrollan pensamientos críticos, reflexivos, conscientes<sup>40</sup> sobre la física, promueve la curiosidad, interés y motivación por la física.

#### *Situación problemática*

A partir del conjunto de experiencias evidenciadas a lo largo de los procesos de formación realizados en la escuela, universidad y en las prácticas pedagógicas, se ha logrado identificar algunas situaciones problemáticas existentes en la enseñanza principalmente en la enseñanza de la Física.

La enseñanza de la Física en los últimos tiempos es una actividad basada en la transmisión, recepción de conocimientos, convirtiéndose en prácticas de memorización y mecanización por parte de los estudiantes, usualmente vista como una rama de la ciencia abstracta, complicada, tediosa y rutinaria, perjudicando el desarrollo de conocimientos. Es presentada como una cantidad de productos teorías, leyes, razonamientos matemáticos de los cuales en diversas ocasiones no se tiene claridad.

Por lo tanto, la historia de la Física en muchas ocasiones es olvidada, archivada en los libros, esto crea un ambiente de desconocimiento total parte de los alumnos o simplemente es presentada como un conjunto de sucesos aislados; por otro lado, la actividad experimental se reduce a la verificación de teorías, a la repetición de experimentos sin un objetivo claro, así que,

---

<sup>40</sup> Nos referimos a la capacidad del ser humano para examinar y percibir la realidad que lo rodea, lo cual le permite relacionarse, reconocerse y reflexionar a través de ella (Santillana , 1993).

esta forma de actuar hace que se oculten completamente los desarrollos y transformaciones, dejando por fuera la esencia misma de la Física, afectando de una u otra manera el proceso de enseñanza-aprendizaje de la misma.

Otras situaciones controversiales son, la ausencia de preparación de la clase por parte de los docentes, el desinterés de parte de alumnos y docentes, las malas condiciones de trabajo, las reducidas horas que le corresponde a las clases de Física, el estímulo del aprendizaje mecánico de contenidos no contemporáneos.

Además de eso, en las aulas de clase de hoy día se presentan temas hace parte del siglo XIX, se sigue enseñando conceptos como palancas, plano inclinado, movimiento rectilíneo acelerado, entre otros; no se desconoce su importancia pero en la actualidad existen nuevas ramas de la Física que tratan de explicar nuevos fenómenos producto de este mundo cambiante, configurando objetos de estudio como la Mecánica Cuántica, estados de plasmas, superconductividad convirtiéndose en ocasiones en elementos totalmente desconocidos en las clases (Moreira, 2014). Razón por la cual, es necesario buscar un equilibrio que permita integrar y relacionar de forma perfecta cada una de las temáticas que componen la Física.

Por otra parte, se manifiesta la importancia de la enseñanza centrada en el alumno, del aprender a aprender, del aprendizaje significativo, cosa que es contradictoria en variadas oportunidades como lo plantea (Moreira, 2014) la enseñanza de la Física en la educación contemporánea esta:

- Centrada en el docente, no en el alumno.
  - Es conductista<sup>41</sup>, los alumnos simplemente memorizan formulas, definiciones y respuestas correctas para reproducirlas en las pruebas.
  - Es de tipo bancario<sup>42</sup> (Intenta depositar conocimientos en la cabeza del alumno).
  - No incentiva el aprendizaje significativo<sup>43</sup>.
  - No utiliza situaciones que tenga sentido para los alumnos.
  - Entrena para el examen, enseña respuestas correctas sin cuestionamientos.
- (Enseñanza de la Física: aprendizaje significativo, aprendizaje mecánico y criticidad, pág. 45)

<sup>41</sup> Es desarrollado por *Skinner* (1904-1990), se ocupa principalmente del comportamiento y no de las acciones, no toma en consideración lo que ocurre en la mente del sujeto durante el proceso de aprendizaje. En la práctica educativa se estimula un aprendizaje memorístico (aprendizaje mecánico), sin significado, de corto plazo, que sirve para reproducir respuestas (Moreira, 2014, pág. 46).

<sup>42</sup> El término es planteado por *Paulo Freire* (1921-1997), la educación bancaria anula o minimiza el poder creador de los alumnos, estimulando su ingenuidad y no su criticidad. Esta concepción es en la educación es el acto de depositar, de transferir, transmitir valores y conocimientos (Moreira, 2014, pág. 47).

<sup>43</sup> Expone *David Ausubel* (1918- 2008) el aprendizaje significativo a través de que aprendemos desde lo que ya sabemos, esto en la enseñanza es ignorado. La correlación entre conocimientos nuevos y previos es la característica clave del aprendizaje significativo. Cuando el sujeto no tiene conocimientos previos adecuados para dar significados a nuevos conocimientos o cuando no se presenta una disposición para el aprendizaje, estos conocimientos son almacenados en la estructura cognitiva de modo netamente memorístico, sin significado, sin capacidad para explicar, sin comprensión (Moreira, 2014, pág. 46).

A partir de lo anterior, es indispensable desarrollar estrategias o herramienta pedagógicas basadas en la experimentación y la historia para la enseñanza de la Física, guiando al estudiante hacia el reconocimiento de la física, acción que exhibe el rol de estas en la construcción de nuevos conocimientos. La ciencia no debe limitarse a la simple formulación matemática, a la memorización de leyes, símbolos, y signos, sino que debe ir dirigida hacia la formación de un pensamiento creativo, curioso, crítico (Garay, 2011).

Antes de desarrollar la propuesta de aula, es necesario resolver los interrogantes iniciales encaminados hacia los procesos de enseñanza-aprendizaje.

### ***3.1 La experimentación, una actividad humana***

La experimentación ha tenido una gran importancia dentro del desarrollo de las ciencias, ya que a partir de su utilización las ciencias naturales comienzan a superar las antiguas explicaciones sobre el mundo, basadas en la revelación, el dogma o la opinión.

Gran parte de los conocimientos hallados en los últimos siglos se deben al empleo del experimento, y sobre él se han desarrollado significativas aportaciones tecnológicas y prácticas; por supuesto que lo anterior, no pretende reducir la ciencia a la experimentación, por más valiosos que sean sus resultados.

Ahora bien, la complejidad de la naturaleza en conexión con la curiosidad humana hace que se planteen cuestiones de orden filosófico, teórico, experimental, lo cual crea conjuntos de leyes, hipótesis, construcciones conceptuales que se expresan en relación con los hechos, con los fenómenos construidos o verificados a partir de la observación detallada.

Es una herramienta poderosa, para la exploración de fenómenos y construcción de explicaciones o para la comprobación teórica a través de pequeños modelos que simulan la naturaleza; esto nos acerca y proporciona estudiarla en detalle, los sentidos se convierten en nuestro medio para descubrir e interpretar los fenómenos, permitiendo realizar divulgaciones o simplemente reestructurando los conceptos, teorías, planteamientos.

Del mismo modo, el experimentador debe ser un sujeto que reflexiona, ensaya, tantea, compara y combina, en función de encontrar las condiciones más apropiadas para la reproducción fenomenológica, también debe tener en cuenta todas las perspectivas que otorga la experimentación, debe poseer una abundante creatividad e imaginación, así mismo, una imagen amplia respecto a los efectos producidos por la utilización de los experimentos, llevándolo a determinar y describir con exactitud lo que percibe (Carpi & Egger, 2008).

En relación con lo anterior, la Ciencia aparece buscando respuestas a los complicados sucesos que hacen parte de la naturaleza, asumiéndose como una actividad encaminada a la generación de explicaciones validas, conclusiones y nuevos conocimientos obtenidos a través

de la manipulación de fenómenos, convirtiéndose en inspiraciones para mejorar o idear nuevos dispositivos e investigaciones.

Convirtiéndose en una acción esencial humana, por lo tanto, esta debe desarrollar un cuerpo histórico, acumulando técnicas, conocimientos y teorías acerca del mundo natural, transformándose en una fuente inagotable de comprensiones (Galletto & Romano, 2015).

### ***3.1.1 En los procesos de enseñanza-aprendizaje***

La experimentación al igual que la Física desarrolla la creatividad e incentiva la curiosidad, siembra la semilla del interés a partir de fenómenos impresionantes y dispositivos vistosos, despliega la imaginación, impulsa razonamientos hipotéticos, permite el desarrollo de habilidad y destrezas, también constituye un pensamiento crítico como reflexivo (Ubaque, 2009).

Con relación a lo anterior, la experimentación amplía los procesos discursivos centrados principalmente en la experiencia a través de la comunicación, las relaciones con otros individuos permiten el intercambio de ideas, generando debates y cuestionamientos con respecto a los efectos manifestados por el experimento, esta actividad contribuye a ampliar los discursos de clase, presentando conceptos, teorías o relaciones matemáticas de forma sencilla, a través de su experiencia; lo cual indica que será mucho más fácil de recordar, facilita la comprensión, estas actividades aportan a la construcción de conocimiento y se convierten en fuente de aprendizaje.

Por su parte, el docente se convierte en facilitador de conocimiento, a través de preguntas o debates, recrea nuevas experiencias en la clase de Física, también proporciona que se conviertan en un sujetos investigadores, actualizados y motivados por su labor, activos y creativos a la hora de realizar las actividades en el aula, planteando nuevas estrategias de enseñanza, reformulando conceptos, teorías, leyes a través de la experimentación.

El empleo de la experimentación en la educación genera actitudes críticas y reflexivas respecto a la Física, transformando su imagen; por otro lado, el conocimiento de los avances en la ciencia convierte a los jóvenes en ciudadanos responsables del mundo (Hernandez, 2014).

La actividad experimental en la enseñanza de la física nos sugiere reemplazar la habitual clase de transmisión de conocimiento por las aproximaciones de la naturaleza mediante la experiencia.

### ***3.2 La historia de la Física***

La historia, es el modo por el cual podemos conocer lo que sucedió en el pasado, sus causas y consecuencias de actos realizados por un grupo de sujetos en un periodo de tiempo; a través de ella, podemos realizar un viaje en el tiempo.

Es un proceso constante de reestructuración de hechos relevantes, que contempla implicaciones filosóficas, sociales, culturales, políticas, económicas, dando cuenta de los

procesos de construcción y conformación de conocimiento científico, de las prácticas y métodos, de los dispositivos, de su evolución, de los procedimientos y tratamientos obtenidos de la experiencia científica realizados por hombre y mujeres, desde la interpretación de textos escritos; reelaborando la visión de Física, consolidando su carácter humano, su naturaleza, generando espacios de reflexión (Garay, 2011).

Las consideraciones anteriores, nos recuerdan que la historia de la Física es una actividad realizada por seres humanos con habilidades, destrezas, capacidades, disposición, a partir de ellas, se construyen, formulan, proponen posibles formas de ver, explicar y entender el mundo.

### ***3.2.1 En los procesos de enseñanza-aprendizaje***

En el proceso enseñanza-aprendizaje, la historia va encaminada hacia un trabajo constante por parte de los maestros y de los estudiantes, crea una consciencia reflexiva, crítica hacia la ciencia, permite alcanzar una comprensión y apreciación global; nos demuestra que toda hipótesis o afirmación debe ser colocada en tela de juicio, nos lleva a la creación de hipótesis o explicaciones de todo tipo partiendo de la descripción de la experiencia, da una imagen más completa de la ciencia y del mundo.

La historia en la enseñanza de la Física se ha convertido en una poderosa herramienta que permite contextualizar al estudiante en un marco social, político, económico y cultural que posibilita una versión diferente de la ciencia, deja al descubierto los factores influyentes en el surgimiento y consolidación posterior como producto de los cambios en los contextos, permitiendo comprender el valor del pasado de la Ciencia. (Garay, 2011).

Es un proceso valioso y significativo, incentivando el conocer que hay más allá, también el origen, las hipótesis, problemáticas, montajes experimentales, los avances, estrategias que se desarrollaron y contribuyeron para explicar los complejos fenómenos de la naturaleza, también puede llegar a generar nuevos interés, cuestionamientos, creando pensamientos críticos y reflexivos; además de eso permite evidenciar los aspectos humanos de la física, afirma también (Garay, 2011) que:

Los procesos desde un enfoque histórico, posibilitan una apropiación de conceptos, formas de significar de sus formulaciones, se hace posible identificar los aspectos que llevaron a su formulación y devela las transformaciones que ha sufrido, el por qué ha cambiado, entendiendo la dinámica del saber científico, como una construcción y reconstrucción permanente de saberes, procedimientos, técnicas y demás actividades referidas a las prácticas científicas (Perspectivas de Historia y contexto Cultural en la enseñanza de las ciencias para los procesos de enseñanza y Aprendizaje, pág. 53).

La escuela debe adecuar las clases de Física, debe garantizar que los conceptos y explicaciones construidas por la humanidad a través de la constitución de las Ciencias, circule, se comparte y se recreen, constituyendo herramientas para comprender, interpretar, tomando de



ejemplo la historia para actuar sobre los problemas de la sociedad actual (Orientación Ciencias Naturales).

### 3.3 Propuesta de aula

A través de lo construido a lo largo de la investigación, se establece una propuesta educativa alrededor de la conducción y descarga eléctrica en gases, teniendo en cuenta la ausencia de estas fenomenologías en la enseñanza de la Física en la educación media. El objetivo principal es construir conocimientos, ideas, experiencias, habilidades, crear cartas de navegación que guíen a los alumnos en el camino de la exploración Física.

Como hemos visto, la investigación establece aspectos fundamentales como: la relación teoría-experimentación, movimiento-electricidad, la transcendencia de la historia, entre otros, razón por la cual se considera tener elementos de más para sugerir una herramienta didáctica para la enseñanza de la Electroestática, enfocada hacia la comprensión y el aprendizaje significativo.

Esta propuesta va de la mano con la utilización de fenomenologías no muy comunes en las aulas de clase de Física, que permita introducir e integran conceptos electrostáticos, conducción eléctrica en sólidos, líquidos, gaseosos, perspectivas y discusiones acerca de los aspectos corpusculares de la materia y de la electricidad; por otro lado, acercar a los alumnos de educación media a la Física moderna, que mejor manera que exponiendo los estudios relacionados con el descubrimiento del electrón y los estados de plasma.

Creación de una mirada global de la Física desde perspectivas teóricas, experimentales e históricas, mostrando que el conocimiento debe ser un conjunto completo de saberes, relacionados entre sí. Lo cual posibilita ampliar los puntos de vista en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

A partir de lo anterior, los “*Derechos Básicos de Aprendizaje*” y los “*Estándares Básicos de Competencias*”, establecidos por el **Ministerio de Educación Nacional**, resultan bastante acordes y de gran ayuda para la construcción de la propuesta de aula, pues nos proporciona identificar la población a la cual irá dirigida la herramienta pedagógica, así como también otorga una serie de orientaciones fundamentales para la enseñanza de la Física.

Así pues, el primero, comprende un conjunto de aprendizajes estructurantes<sup>44</sup> entendidos como la unificación de conocimientos, habilidades y actitudes que otorgan un contexto cultural e histórico a quien aprende, desarrollados para un grado y área en particular.

Bajo estos, se plantean elementos para construir rutas de enseñanza que promueven la obtención de aprendizajes año a año para que, como resultado de un proceso, los estudiantes alcancen los Estándares Básicos de Competencias propuestos. Sin embargo, no se constituyen como una propuesta curricular, deben ser articulados con los enfoques, metodologías,

---

<sup>44</sup> Comprendidos como: “Un conjunto coherente de conocimientos y habilidades con potencial para organizar los procesos necesarios en el logro de nuevos aprendizajes, y que, por ende, permiten profundas transformaciones en el desarrollo de las personas” (Ministerio de Educación Nacional, Universidad de Antioquia, 2016, pág. 5).

estrategias y contextos definidos en cada establecimiento educativo, en el marco de los Proyectos Educativos Institucionales (Ministerio de Educación Nacional, Universidad de Antioquia, 2016).

Los Derechos Básicos de Aprendizaje, constituyen un conjunto de conocimientos y habilidades que se pueden movilizar de un grado a otro, en función de los procesos de aprendizaje de los estudiantes; son formulados para cada grado, sin embargo, el maestro puede trasladarlos de uno a otro en función de los procesos de aprendizaje de los estudiantes. Son una estrategia para promover la flexibilidad curricular puesto que definen aprendizajes amplios, esto último visto, como una oportunidad para la introducción de temáticas de la Física moderna.

Información tomada de: **DERECHOS BÁSICOS DE APRENDIZAJE** (Ministerio de Educación Nacional, Universidad de Antioquia, 2016).

|                  | <i>Aprendizaje Estructurante</i>   | <i>Aprendizaje alcanzado (evidencias)</i>  |
|------------------|--|--|
| <i>Grado 5°</i>  | Comprende que algunos materiales son buenos conductores de la corriente eléctrica y otros no (denominados aislantes) y que el paso de la corriente siempre genera calor. | Identifica, en un conjunto de materiales dados, cuáles son buenos conductores de corriente y cuáles son aislantes de acuerdo su comportamiento.<br>Verifica, con el tacto, que los componentes de un circuito se calientan cuando están funcionando, y lo atribuye al paso de la corriente eléctrica.  |
| <i>Grado 6°</i>  | Comprende cómo los cuerpos pueden ser cargados eléctricamente asociando esta carga a efectos de atracción y repulsión.   | Utiliza procedimientos (frotar barra de vidrio con seda, barra de plástico con un paño, contacto entre una barra de vidrio cargada eléctricamente con una bola de icopor) con diferentes materiales para cargar eléctricamente un cuerpo. Identifica si los cuerpos tienen cargas iguales o contrarias a partir de los efectos de atracción o repulsión que se producen. |
| <i>Grado 11°</i> | Comprende que la interacción de las cargas en reposo genera fuerzas eléctricas.  | Identifica el tipo de carga eléctrica (positiva o negativa) que adquiere un material cuando se somete a procedimientos de fricción o contacto.<br>Reconoce que las fuerzas eléctricas pueden ser de atracción y repulsión, mientras que las gravitacionales solo generan efectos de atracción.   |

Ahora bien, los Estándares Básicos de Competencias constituyen los parámetros que todo alumno de la Educación Básica y Media en Colombia debe saber y saber hacer, lo cual establece unos referentes comunes que orienten la búsqueda de la calidad de la educación.

Un estándar es un criterio claro y público que permite juzgar si un estudiante, institución o el sistema educativo en conjunto cumplen con unas expectativas comunes de calidad. Expresa lo que se espera que los alumnos aprendan en cada una de las áreas a lo largo de su paso por la Educación Básica y Media (Ministerio de Educación Nacional, 2006).

Son apreciaciones comunes que juegan un papel fundamental en las evaluaciones externas, los resultados de estas posibilitan monitorear los avances en el tiempo y diseñar estrategias focalizadas al mejoramiento acorde a las necesidades de las instituciones educativas de todo el país.

El proceso educativo en últimas busca el desarrollo de un conjunto de competencias que crecen a medida que se avanza en los niveles educativos. Ahora bien, el concepto de competencia es entendido como el saber hacer, lo cual requiere de la aplicación creativa, flexible y responsable de conocimientos, habilidades, así como también de aptitudes. Por lo cual, los estándares permiten evaluar los niveles del desarrollo de las competencias que han alcanzado los estudiantes en el transcurso de su vida escolar.

Los estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales guardan una relación profunda con los Lineamientos en Ciencias Naturales y Educación Ambiental; estos nos enfrentan al constante reto de desarrollar en los alumnos a lo largo de los procesos educativos, las competencias necesarias no solamente para que sepan ciencias naturales, sino para que puedan comprenderlas, comunicar sus hallazgos, actuar con ellas en la vida real contribuyendo a la construcción y mejoramiento de su entorno. Se busca fortalecer la formación de pensamiento científico y crítico.

Información tomada de: **ESTÁNDARES BÁSICOS DE COMPETENCIAS** (Ministerio de Educación Nacional, 2006).

| <b>Grados</b>            | <b>Competencias</b>   |  |
|--------------------------|---|--|
| <b>Sexto a séptimo</b>   | <i>Establezco relaciones entre las características macroscópicas y microscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen.</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Clasifico y verifico las propiedades de la materia.</li> <li>· Verifico la acción de fuerzas electrostáticas y magnéticas y explico su relación con la carga eléctrica.</li> <li>· Describo el desarrollo de modelos que explican la estructura de la materia.</li> <li>· Explico la formación de moléculas y los estados de la materia a partir de fuerzas electrostáticas.</li> <li>· Comparo sólidos, líquidos y gases teniendo en cuenta el movimiento de sus moléculas y las fuerzas electrostáticas.</li> </ul> |
| <b>Décimo a Undécimo</b> | <i>Explico las fuerzas entre objetos como interacciones debidas a la carga eléctrica y a la masa.</i>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Establezco relaciones entre fuerzas macroscópicas y fuerzas electrostáticas.</li> <li>· Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético.</li> </ul>  |

Conforme a lo establecido hasta el momento, se considera que el modelo de enseñanza para la comprensión<sup>45</sup> es fundamental para el desarrollo de un aprendizaje significativo, puesto que se obtiene una conexión directa con los contenidos que aprenden los alumnos, los cuales deben ser interiorizados primero, para poder ser utilizados y visualizados en la realidad, es crear bases

<sup>45</sup> Implica pensar y actuar con flexibilidad a partir de lo que ya se sabe (Stone, 1999).

para una educación constante y lleno de nuevas posibilidades de construcción de conocimiento (Stone, 1999), por lo tanto, la propuesta de aula se basará en el EPC.

Está relacionada con las experiencias de aprendizaje que van más allá de la memorización, de la rutina, obligando a los alumnos a indagar con profundidad; ahora bien, para apreciar la comprensión de alguien solo basta pedirle que haga algo que ponga en juego su comprensión, como explicando, resolviendo un problema, construyendo un argumento, armando un producto, sus respuestas y explicaciones reflejan si entiende.

Por lo tanto, la propuesta es desarrollada bajo las imágenes que nos otorga el Ministerio de Educación y la Enseñanza para la comprensión, desplegada en las siguientes preguntas claves que guían los procesos de enseñanza-aprendizaje dirigidos hacia la comprensión de la Electroestática.

▫ ***Tópico generativo ¿Qué contenidos vale la pena enseñar? ¿Que debo enseñar?***

Los tópicos generativos son temas que aclaran al estudiante lo que tiene que comprender, involucran al estudiante, promoviendo el interés y la motivación por su propio aprendizaje.

Son temas, puntos, conceptos, ideas y demás que prometen profundidad, significado, conexiones, es una diversidad de perspectivas que dan soportes para el desarrollo de comprensiones poderosas en los alumnos; su objetivo es generar interrogantes de interés que lo guíe a la comprensión de temas más provechosos.

Por lo tanto, teniendo en consideración los *Derechos Básicos de Aprendizaje*, los *Estándares Básicos de Competencias* y los desarrollos configurados a lo largo de la investigación, la propuesta irá dirigida a grados sextos o undécimos, con el objetivo de enseñar elementos sobre electrostática, pero también sobre la conducción eléctrica en gases que posibilite la introducción de los fundamentos de la Física Moderna a la Educación Básica y Media.

Por lo tanto, se establece que los contenidos que se deben enseñar son:

- *Carga eléctrica, Fuerza eléctrica, Campo eléctrico, diagramas de líneas de campo y todo el conjunto desarrollado para comprender la Electroestática (Materiales conductores y aislantes, redistribuciones de carga, Ley de Coulomb, Ley de Gauss, Energía de Potencial, Potencial eléctrico).*
  - *Modelos experimentales, teóricos y filosóficos de la conducción eléctrica.*
- ***Metas de Comprensión ¿Qué aspectos de esos contenidos deben ser comprendidos?, ¿Qué vale la pena comprender?***

Las metas de comprensión son los conceptos, procesos y habilidades que deseamos que comprendan los estudiantes, es saber hacia dónde vamos, por lo tanto, se buscan que por medio de la propuesta educativa los alumnos comprendan:

1. Naturaleza de la electricidad, desde posturas experimentales, teóricas e históricas.

2. Conceptos de carga, fuerza, potencial y campo eléctrico.
3. Diferencias entre materiales aislantes y conductores.
4. Conducción eléctrica en sólidos, líquidos y gases
5. Estructura de los gases y de la electricidad.
6. Modelos teóricos

Acción que abre la entrada para ampliar los campos de estudio acerca de la electricidad, así mismo es la oportunidad para dar a conocer e introducir ideas básicas sobre la Física de Plasmas y los desarrollos de la Física moderna. Se busca desarrollar una serie de secuencias en cadena que fortalezcan la construcción y comprensión de conocimiento en los procesos enseñanza-aprendizaje de la Física.

Incluso, esto permite exhibir el rol de la experimentación y la historia en el desarrollo de la Física, así como la relación teoría-experimentación; aspectos que configuran aprendizajes más significativos, pensamientos creativos, analíticos y reflexivos tanto en docentes como en alumnos. Es modificar la percepción de la Física, como ciencia abstracta, complicada y monótona.

▫ ***Desempeños de comprensión ¿Cómo podemos promover la comprensión?***

Es claro que, a través de la historia y la experimentación de la ciencia, se abordan una serie de elementos significativos fundamentales para la construcción de conocimiento, a partir de ello, se establecen algunas actividades que pueden resultar buenas herramientas pedagógicas, que dinamicen las aulas de clase de Física, pero, sobre todo contribuyan a que las experiencias de aprendizaje cada vez sean significativas, a la interacción abierta (escucha) entre el docente y el alumno.

Por lo tanto, el docente debe ser capaz de motivar a los alumnos a que cuestionen más allá de lo evidente, convirtiéndolos en individuos observadores, críticos y creativos, que piensan en lo que aprenden, que reflexionan sobre lo que aprenden, como lo aprenden y para que lo aprenden, que por supuesto, elaboran preguntas e hipótesis, proponen y argumentan, desarrollando comprensiones que transforman las realidades de los participantes.

Así pues, las temáticas de conducción eléctrica en los gases nos permitan abordar diversos temas como la electroquímica, la electricidad, los plasma, la electricidad desde varios puntos de vista.

A partir de lo dicho anteriormente, se establecen tres actividades introductorias que posibilite un sondeo preliminar haciendo uso de los experimentos demostrativos que construyan hipótesis, explicaciones, poniendo en juego sus conocimientos previos y la comprensión de los estudiantes, formatos adjuntados en los anexos; por otro lado, también se podrán desarrollar las siguientes actividades que permita el desarrollo y logro de la meta de comprensión e incentivar el interés hacia cuestiones científicas, proponiendo aprovechar la atracción visual.

| <i>Actividades</i>   |  |
|--|--|
| <p><b>Experimentales:</b> <i>Hacen énfasis en el reconocimiento de fenomenologías de la electrostática y de la conducción eléctrica en gases. Establece una clara relación entre la teorización-experimentación que configure, demuestren e incentiven su comprensión.</i></p> | <p>Se plantean prácticas experimentales haciendo uso de dispositivos como la Máquina de Wimshurst y Generador Van der Graaff alrededor de situaciones que permitan abarcar discusiones sobre su forma de ver, comprender e interpretar los fenómenos. Haciendo uso de sus conocimientos preliminares.</p> <p>Formación de líneas de campo eléctrico con limadura de hierro.</p> <p>Por otro lado, también se puede abordar las bases de la Física Nuclear con el generador van der graaff.</p>         |
| <p><b>Bibliográficas:</b> <i>Hacen énfasis en el reconocimiento de las teorizaciones, controversias, discusiones acerca del tema que lo guíen hacia una amplia comprensión.</i></p>  | <p>Revisión de textos bibliográficos que permitan desarrollar análisis acerca del génesis del tema, sus desarrollos, teorizaciones, fenomenologías, posturas teóricas, alrededor de esto, se propone actividades que deben ser realizadas por cada uno de los estudiantes y posteriormente, ser retroalimentadas por todos los integrantes de la clase:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Exposiciones</li> <li>◦ Portafolios</li> <li>◦ Mapas mentales</li> <li>◦ Tiras cómicas</li> </ul> |

▫ **Valoración continua ¿Cómo podemos averiguar lo que comprenden los alumnos?**

Sin lugar a duda, podemos averiguar lo que comprenden los alumnos con ayuda y la retroalimentación constante de cada una de las actividades; sin embargo, es necesario llegar a una apreciación consensuada con los alumnos acerca de la valoración, así como también los tipos de evaluación (autoevaluación<sup>46</sup>, heteroevaluación<sup>47</sup>, coevaluación<sup>48</sup>) que nos permitan dar cuenta de los conocimientos, actitudes, rendimiento, comprensiones, competencias configuradas por los alumnos.

Así pues, las clases de Física deben ir orientadas hacia la creación de situaciones innovadoras, creativas incentivando la participación de los docentes y estudiantes, así como lo afirma (Orientación Ciencias Naturales) se debe:

<sup>46</sup> Proceso donde el alumno valora su propia intervención, le permite reconocer sus posibilidades, limitaciones y cambios necesarios para mejorar su aprendizaje (Universidad Santo Tomás, 2019).

<sup>47</sup> Hacer referencia al proceso realizado por el docente quien evalúa lo desarrollado por el alumno. Este tipo de evaluación se utiliza con mayor frecuencia; el docente es quien, diseña, planifica, implementa y aplica la evaluación, el alumno es sólo quien responde a lo que se le solicita (Universidad Santo Tomás, 2019).

<sup>48</sup> Procedimiento de valoración conjunta que realizan los alumnos sobre el trabajo del grupo, atendiendo a criterios de evaluación o indicadores establecidos por consenso (Universidad Santo Tomás, 2019).

Fundar el aprendizaje centrado en el alumno, se debe poner al estudiante en la solución desafiante pero factible, involucrándolo explícitamente en la práctica del pensamiento y del desempeño científico. El Rol del profesor es el de ofrecer incentivos apropiados para estimular a los estudiantes a dominar las habilidades necesarias, así como una continua realimentación para ayudarlos. La idea es que el desarrollo de habilidades complejas no es una cuestión de llenar un cerebro, sino de desarrollarlo (pag.50).

Como último, “Enseñar no significa solo explicar conceptos o brindar nuevos significados, es planificar y promover situaciones en las que el alumno organice experiencias, estructure ideas, analice procesos y exprese pensamientos” (Monereo y otros, 1995) citado por (Nolasco & Modarelli, 2009).

## **Conclusiones**

La relación entre la historia y la experimentación permite un nivel de apropiación de conocimiento avanzado.

Es necesario crear construcciones iniciales de los fenómenos físicos, ya sea a través de la experimentación o de la historia, de esta forma se garantizará una comprensión amplia de las temáticas, leyes y razonamientos matemáticos.

La construcción de conocimiento científico adquiere mayor riqueza con la actividad experimental e histórica, permite crear lecturas de la realidad con el mundo físico a través de nuestros ojos.

La investigación permitiendo resaltar el rol de la historia, así como de la experimentación en relación con las construcciones teóricas, de igual forma es interesante mostrar como el ingenio, la creatividad, la búsqueda de explicaciones fenomenológicas, llevan a científicos como Davy, Faraday y Crookes a plantear interrogantes de carácter experimental, teórico y filosófico.

El conocer la historia y la filosofía de las ciencias puede hacer clases más estimulantes y reflexivas incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; puede contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos.

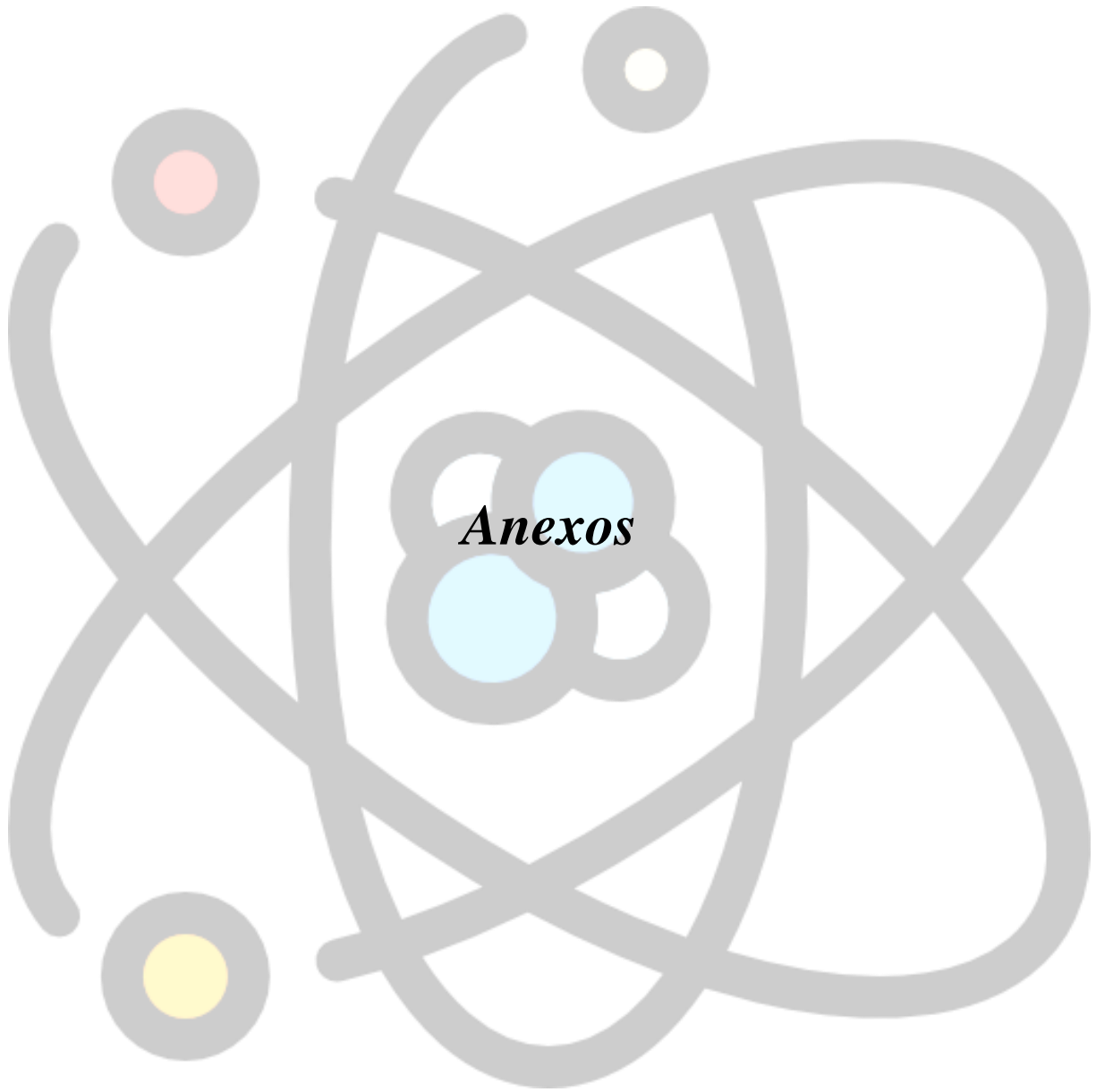
Esta investigación promueve el interés científico por la Física, la búsqueda de motivaciones haciendo que se participe en la construcción de conocimiento, sacando un mayor provecho del aprendizaje.

El trabajo de Crookes es un gran ejemplo, como pudimos ver alrededor de ella, desarrolla todas sus consideraciones teóricas, acción que personalmente me permite construir conjuntos completos de comprensiones generales acerca de la ciencia eléctrica y su naturaleza, abarcando conexiones entre temas, discusiones, experimentaciones y demás; por otro lado, hace evidente la transcendencia de la experimentación en la construcción conocimiento.

La fenomenología del radiómetro eléctrico tiene la capacidad de construir comprensiones e ideas acerca de la naturaleza de la electricidad, de la conducción eléctrica; de igual forma, permite introduce discusiones teóricas planteadas por pensadores como Faraday o Crookes, estableciendo así, las bases preliminares de la Física de plasmas.

Estas investigación realiza aportes significativos dirigidos hacia la enseñanza de la Física permitiendo mostrar la importancia y necesidad del trabajo experimental e histórico, el cual debe ser implementado en los procesos de enseñanza-aprendizaje, pues es fuente inagotable de conocimiento.





**Tabla 1. Electrificando veletas**

| <i>Material</i> | <i>Observaciones</i>  |
|-----------------|---|
| <i>Acetato</i>  | Gran atracción entre los materiales, al aproximar el objeto cargado, electrifica las placas cercanas permitiendo manejar su movimiento, inicialmente de derecha a izquierda y después de forma contraria. Una vez retirada la barra, se manifiesta una fuerte perturbación que causando un giro completo en la veleta. Al generar contacto con la barra cargada se manifiesta fenómenos equivalentes a la experiencia anterior.   |
| <i>Aluminio</i> | Atracción entre las placas cercanas con la barra cargada, acción que permite manipular el giro de la veleta en sentido horario y después de forma contraria. Una vez hecho contacto es visible una atracción pasado unos segundos es notoria una repulsión entre las placas cercanas, como consecuencia la barra carga las otras dos placas, provocando que la veleta gire sobre su propio eje.   |
| <i>Bronce</i>   | Esta veleta es desequilibrada por mínimas chispas eléctricas al aproximar el objeto cargado, las placas más cercanas son cargadas produciendo medio giro de derecha a izquierda, lo cual permite manipular su posición a través de la barra plástica, generando un giro completo y cargando las otras dos placas. Al realizar contacto, es notoria la repulsión por parte de las placas cargadas, lo cual proporciona cargar las demás, fenómenos similares a la experiencia preliminar. Pasado un tiempo vuelve a observarse una atracción con las placas cargadas inicialmente. |
| <i>Cobre</i>    | Perturbada por minúsculas chispas eléctricas que hacen girar de forma completa la veleta, se manifiesta una atracción entre la barra y las placas más próximas, es posible manipular su movimiento en sentido horario o en dirección opuesta con el objeto cargado. Al hacer contacto se percibe una atracción, efectos idénticos a la experiencia inicial. En distintas ocasiones, se aprecia una acción de repulsión por parte de las placas cargadas, mientras que, por otro lado, la barra carga las otras placas y genera el movimiento de la veleta.                        |
| <i>Papel</i>    | Fuerte atracción, se manifiesta como si la veleta fuera halada de forma contundente en dirección hacia el objeto cargado, induce a la manipulación del movimiento de la veleta en dirección horaria o contraria. Una vez retirado el tubo la veleta gira sobre su propio eje. Al tocar la veleta con la barra cargada, es notoria la atracción, lo que produce rotaciones que depende de la dirección del objeto cargado. Fenómenos similares a los anteriores.   |

**Tabla 2. Electrodo de Aluminio**

| <b>Material de las veleta</b> | <b>Observaciones</b>   |
|-------------------------------|--|
| <i>Acetato</i>                | Inicialmente se percibe una fuerza de atracción entre la veleta más cercana y el electrodo conectado directamente al generador (se considera la entrada de flujo de carga positiva), quedando completamente unida, pasado unos segundos se perceptible una fuerza de repulsión. No hay manifestación alguna de efectos de descarga o movimiento giratorio. |
| <i>Aluminio</i>               | Efecto vaivén debido a la fuerte fuerza de atracción entre el electrodo y la placa más próxima, presentado una inclinación de forma contundente hacia la izquierda, el fenómeno se percibe hasta apagar el generador. En una sola ocasión la veleta giro media vuelta. No hay acciones eléctricas y mecánicas.   |
| <i>Bronce</i>                 | Mínima perturbación, no hay efecto alguno.   |
| <i>Cobre</i>                  | En este caso no hubo necesidad de cargar el medio, a causa de eso, se presentan rotaciones no continuas. No hay efecto de descargas eléctricas.  |
| <i>Papel</i>                  | Se presenta una potente fuerza de atracción entre la placa del molinete y el electrodo izquierdo, expresando en una inclinación de parte de la veleta, mínima perturbación. No existen fenómenos de descarga y movimiento giratorio.   |

**Tabla 3. Electrodo de Bronce**

| <b>Material de la veleta</b> | <b>Observaciones</b>  |
|------------------------------|---|
| <i>Acetato</i>               | Se percibe como la fuerza eléctrica que sale del electrodo izquierdo empuja de forma contundente el derecho, leve perturbación y efecto vaivén debido a una fuerza que empuja de forma diagonal la cara de la placa más cercana, pasado unos cuantos segundo la veleta permanece inmóvil. No existe descarga eléctrica o movimiento alguno en el interior.  |
| <i>Aluminio</i>              | Inicialmente se percibe una fuerza de atracción seguida de una leve perturbación y efecto vaivén, se presentan varios giros por parte de la veleta, los cuales son detenidos por el constante choque entre los electrodos y el molinete.  |
| <i>Bronce</i>                | Inicialmente, se visualiza una fuerza potente que empuja el electrodo que se encuentra a la derecha contra el cristal, seguidamente se manifiesta un movimiento rotatorio continuo y de gran rapidez; para percibir este fenómeno debe dejar cargarse el medio aproximadamente cinco segundos. Al apagarse el dispositivo se observa una fuerza que empuja al electrodo izquierdo contra el cristal. No hay presencia de efectos de descarga. |

|              |   |
|--------------|---|
| <i>Cobre</i> | Para este caso no se requiere cargar el medio eléctricamente, seguidamente se manifiesta un movimiento circular continuo, hasta que una de las placas es atraída al electrodo, luego se origina efecto vaivén durante unos segundos, después la veleta vuelve a girar hasta cortar el flujo de carga. Una vez encendido el dispositivo se observa una rotación continua de derecha a izquierda de las veletas y en forma contraria. No hay efectos de descarga eléctrica en el interior del radiómetro. |
| <i>Papel</i> | Inicialmente, existe una fuerza de atracción entre la placa ubicada diagonal y el electrodo izquierdo, esta misma causa rotaciones en sentido horario en la veleta con poca duración, en seguida se presenta un efecto vaivén con la placa localizada al frente del electrodo hasta apagar el generador. No hay efectos de descarga en el radiómetro.   |

**Tabla 4. Electrodo de Cobre**

| <b>Material de la Veleta</b> | <b>Observaciones</b>   |
|------------------------------|--|
| <i>Acetato</i>               | El electrodo izquierdo atrae la placa ubicada diagonalmente, una vez cerca se percibe una fuerza de atracción seguidamente de una quietud de parte de la veleta hasta apagar el generador.   |
| <i>Aluminio</i>              | Fuerte atracción entre la placa cercana y el electrodo izquierdo, algunos segundos después carga la laminilla más cercana; posteriormente, se manifiesta una fuerza de repulsión cuando la placa hace contacto con el electrodo causando que la veleta gire de izquierda a derecha cargando una nueva placa y la próxima, fuerza de atracción con las últimas dos laminas. Efecto vaivén que permanece hasta apagar el dispositivo.  |
| <i>Bronce</i>                | Al encender el generador, se observa como la veleta gira un cuarto de vuelta, efecto producido por el flujo de carga que sale del electrodo izquierdo golpeando a la placa ubicada en dirección diagonal; posteriormente, existe una leve vibración causada por una acción muy parecida a una mínima corriente de aire por parte de la lámina localizada al frente del terminal izquierdo, seguidamente se observa en ese mismo terminal como algo lo empuja hacia el cristal. Luego, la veleta permanece en quietud hasta la desactivación el Van der Graaff. |
| <i>Cobre</i>                 | Inicialmente, se manifiesta una ligera fuerza de atracción entre la placa diagonal y el terminal izquierdo, se observa un mínimo efecto de vaivén causado entre el electrodo y la placa que se encuentra al frente.  |
| <i>Papel</i>                 | Hay una fuerza que empuja la placa diagonal hacia la derecha; posteriormente, una fuerza de atracción se percibe gracias al efecto vaivén que se da de izquierda a derecha en la veleta hasta desconectar el flujo de carga.   |

**Tabla 5. Electrodo de Aluminio**

| <b>Material de la veleta</b> | <b>Observaciones</b>  |
|------------------------------|---|
| <i>Acetato</i>               | Leve perturbación, no hay fenómeno alguno, la veleta permanece en reposo.   |
| <i>Aluminio</i>              | Baja capacidad para conducir carga eléctrica razón por la cual solo se observó pequeñas oscilaciones en la veleta, pero nada de chispas eléctricas en el interior o efectos rotatorios, pasado unos cuantos segundos el molinete se queda estático. |
| <i>Bronce</i>                | No hay efecto alguno, ausencia de chispas eléctricas y acciones mecánicas.  |
| <i>Cobre</i>                 | Inicialmente es perceptible una leve alteración de la veleta de este material, no hay un mínimo efecto de chispa eléctrica y movimiento por parte de la veleta.   |
| <i>Papel</i>                 | Efecto vaivén producto del choque entre el flujo eléctrico que sale de los electrodos hacia las placas que se encuentran en diagonal, por su baja conducción eléctrica no hay efectos rotatorios.   |

**Tabla 6. Electrodo de Bronce**

| <b>Material de la veleta</b> | <b>Observaciones</b>   |
|------------------------------|--|
| <i>Acetato</i>               | Para este tipo de material en especial no fluye ningún tipo de carga, por lo cual no se manifiesta movimiento alguno, al igual que la descarga eléctrica. Es visible una fuerza de atracción entre el electrodo izquierdo y la placa cercana.  |
| <i>Aluminio</i>              | Efecto vaivén que se da entre la placa que se encuentra al frente de los electrodos y en ocasiones es dada en forma diagonal, también es percibido una fuerza de atracción y repulsión momentánea. Aún después de no funcionar la máquina, la veleta sigue mostrando alteración. No hay presencia de fenómeno de descarga o movimiento.  |
| <i>Bronce</i>                | Es necesario dejar cargar el medio alrededor de unos veinte segundos, mientras tanto dos de los brazos de la veleta son perturbados se toma en consideración que este efecto es debido al flujo de carga que emerge de los electrodos. Por su capacidad de conducir electricidad es notable las rápidas y continuas rotaciones. Pero otro lado, no se percibe ausencia de chispas eléctricas en el interior. Incluso cuando la máquina no está en funcionamiento, la veleta sigue girando por unos cuantos segundos más. |
| <i>Cobre</i>                 | La conducción eléctrica en este material es notable, ya que genera rápidas y continuas rotaciones, así mismo se observa continuas descargas eléctricas en el interior, son visualizadas en el centro o saliendo de las placas colocadas en las extremidades. En ocasiones las chispas eléctricas generadas en el interior frenan de forma contundente el movimiento de la veleta o también golpea la placa cercana generando efectos rotatorios.   |

|              |  |
|--------------|--|
|              | Aun cuando ya no está en funcionamiento la máquina, las veletas siguen girando. Para estos fenómenos es necesario cargar el aire unos cuantos segundos.  |
| <i>Papel</i> | No se manifiesta conducción eléctrica en estas veletas, por lo tanto, tampoco existe efectos de movimiento o descarga eléctrica. Es visible un efecto vaivén producto del choque entre el flujo de carga con una de las caras de la placa, no hay movimiento debió a la ausencia de conducción eléctrica de parte del papel. |

**Tabla 7. Electrodo de Cobre**

| <b>Material de la veleta</b> | <b>Observaciones</b>  |
|------------------------------|---|
| <i>Acetato</i>               | Es notable que algo golpee fuertemente el electrodo derecho, se manifiesta un leve efecto de vaivén. No hay efecto de descarga o movimiento rotatorio alguno.   |
| <i>Aluminio</i>              | No hay fenómeno alguno o se manifiesta un efecto vaivén.  |
| <i>Bronce</i>                | En este caso no hay necesidad de cargar el aire, en pocos segundos se visualiza un movimiento rápido y continuo por parte de la veleta, se percibe que la acción de la fuerza eléctrica presiona el electrodo derecho contra el cristal, también hay presencia de pequeñas chispas eléctricas que salen del centro de las láminas de las extremidades a las placas cercanas del molinete. Efectos dados gracias a la conducción eléctrica del bronce. La veleta sigue girando unos segundos aun después de dejar de funcionar la máquina. |
| <i>Cobre</i>                 | Efecto vaivén dado de forma diagonal, se considera que este efecto es debido al choque entre el flujo de carga que sale de los electrodos con las placas cercanas, no hay presencia de rotaciones y descargas eléctricas en el interior.  |
| <i>Papel</i>                 | Inicialmente se manifiesta una potente fuerza de atracción entre las placas de papel cercano con el electrodo izquierdo (carga negativa), no hay efectos de descarga o movimientos giratorios de parte de la veleta.  |

## *Actividades para el aula*

*¡Es tiempo de experimentar!*

### *Actividad N°1: Las veletas y la naturaleza de la Electricidad*

Resulta oportuno, estructurar una práctica experimental basada en la observación fenomenológica abordada desde una perspectiva descriptiva y cualitativa, a través de la cual se configuren relaciones teórico-experimentales y representaciones sencillas de conocimiento sobre la naturaleza de la electricidad; por lo tanto, se definen los siguientes objetivos:

- \* Construir relaciones experimentales y teóricas sobre la electricidad
- \* Introducir conceptos fundamentales como carga, fuerza y campo eléctrico.
- \* Desarrollar nociones sobre la naturaleza de la electricidad en relación con la investigación de Faraday.
- \* Establecer concepciones iniciales alrededor de los fenómenos de acciones mecánicas.

Con respecto a los objetivos, esta actividad es ideal para introducir conceptos como electrificación de cuerpos, materiales conductores y aislantes, carga, fuerza, campo eléctrico, polarización eléctrica, entre otros. Conceptos fundamentales para generar descripciones o comprensiones sobre el funcionamiento de dispositivos como el generador Van Der Graaff o la Máquina de Wimshurst, instrumentos importantes para la formación de fenómenos de descarga eléctrica.

En ese mismo sentido, las investigaciones de Faraday sobre la naturaleza de la electricidad basada en los procesos de electrólisis y descomposición de sustancias toman gran importancia; a partir de esta, se crean relaciones teórico-experimentales de los fenómenos eléctricos, así como también se conforma razonamientos con respecto a cuestiones fundamentales o nociones exactas sobre el comportamiento de los sistemas eléctricos.

Esta actividad experimental está enfocada en caracterizar los conceptos fundamentales para la electricidad, partiendo de la experimentación a través de la frotación y electrificación de cuerpos, fenómeno observado en las veletas cuando se acerca un cuerpo cargado, para esta práctica experimental necesitaremos:

- Barra plástica
- Trozo de tela poliéster o lana
- Molinetes construidos para el radiómetro.

Al tener todos los materiales, procedemos a frotar la barra de plástico vigorosamente con la lana; una vez cargada se acerca a la veleta sin tocarla y observando su efecto. Ya realizada esta actividad, se descarga la veleta con la mano asegurando que no quede carga alguna que afecte el siguiente fenómeno, nuevamente frotamos y realizamos contacto entre la barra cargada y la veleta por unos cuantos segundos entre los materiales, luego retiramos.

## ***Actividad 2: El efecto mecánico de la descarga eléctrica en el aire***

### ***Objetivos:***

- \* Interpretar y analizar el efecto mecánico producido por la descarga eléctrica en el aire
- \* Desarrollar explicaciones sobre el comportamiento del aire y las veletas
- \* Crear relaciones entre las observaciones experimentales y la investigación de Crookes
- \* Establecer semejanzas o similitudes entre los fenómenos producidos por el generador de Van Der Graaff y la Máquina de Wimshurst.

Los conceptos introducidos en la actividad experimental anterior forman elementos claves para organizar las explicaciones de los fenómenos observados en el radiómetro.

### ***Materiales y procedimiento***

Para esta práctica necesitaremos:

- \* Generador de Van Der Graaff
- \* Máquina de Wimshurst
- \* Cables caimán
- \* Radiómetro eléctrico con sus correspondientes electrodos y veletas

Lo primero es conectar los cables al generador Van Der Graaff o a la máquina de Wimshurst a las extremidades del radiómetro, el otro cable va dirigido hacia Tierra. Una vez encendido el generador se realizan distintas observaciones cambiando el material de los electrodos (aluminio, bronce, cobre) y las veletas en el interior del radiómetro.

***NOTA:*** Lo ideal es que las actividades se realicen partiendo de experimentos demostrativos que permitan que todos los alumnos participen en la actividad, que construyan conocimiento unos con otros, mientras el docente guía y dirige. Se aspira que durante las dos secciones de clase se logren abordar diferentes explicaciones, preguntas generadoras y comprensiones de los alumnos, a través de ello, el docente debe organizar otra clase que permita abordar los conceptos, leyes y razonamientos matemáticos para completar miradas, en este caso electrostáticas y eléctricas, de una u otra manera se busca resolver dudas y crear modelos de enseñanza-aprendizaje más sencillos y significativos para los alumnos.



## **Bibliografía**

- Armenta , M., Barrios , H., Del Castillo, R., Correa , J., Espinosa , H., Galindo , M., . . .  
Aguilera, A. (1994). *Protagonistas del mundo, Vol.3*. Bogotá: Terranova Editores.
- Babor, J., & Ibarz, J. (1962). *Química general moderna: Una introducción a la Química Física y a la Química descriptiva superior (Inorgánica, Orgánica y Bioquímica)*.  
Marín S.A.
- Beaulard, M. (1898). *La décharge électrique dans les gaz raréfiés, Les Rayons Cathodiques*.  
En d. s. *Les facultés de droit, Annales de L'Univerité de Grenoble* (págs. 39-170).  
Paris: Gauthier-Villars & Fils, Allier Frères.
- Bence , H. (1870). *The Life and Letters of Faraday*. Londres: Longmans, Green and Co.
- Bravo, S. (1994). *Plasma en todas partes*. México: Fondo De Cultura Economica USA.
- Bravo, S. (1994). *Plasma En Todas Partes* . México: La Ciencia/126.
- Burbano Garcia, E., Gracia Muñoz, C., & Burbano de Ercilla, S. (2003). *Paso de corriente a través de gases*. En S. Burbano, *Física General, 32ª Edición* (pág. 800). Madrid: Tebar.
- Carpi, A., & Egger, A. (2008). *Visionlearning*. Recuperado el Estados Unidos, de *Métodos de la investigación. La Experimentación en la investigación Científica*:  
<https://www.visionlearning.com/es/library//49/La-Experimentaci%C3%B3n-en-la-Investigacion-Cient%C3%ADfica/150/reading>
- Cecil, W. (1997). *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*. Madrid: TECNOS, S.A.
- Cervo, A., & Bervian, P. (1980). *La investigación: Nociones generales*. En A. Cervo, & P. Bervian, *Metodología Científica* (pág. 137). Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Chemical Bond Approach Project (CBA). (1967). *Concepto Fundamental: Flujo de carga eléctrica en gases enrarecidos*. En C. B. Project, *Sistemas químicos: guía del profesor* (pág. 918). Reverte.
- Colaboradores de Wikipedia. (21 de Febrero de 2018). *Francis Hauksbee*. Obtenido de Wikipedia, *La enciclopedia libre*.:  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Francis\\_Hauksbee&oldid=105742060](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Francis_Hauksbee&oldid=105742060)
- Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación, Asociación Española Ingenieros de Telecomunicación. (2019). *Geissler, Heinrich*. Obtenido de *Foro Histórico de las Telecomunicaciones*: <http://forohistorico.coit.es/index.php/personajes/personajes-internacionales/item/geissler-heinrich>

- Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicaciones, Asociación Española Ingenieros de Telecomunicación . (2019). Plücker, Julius . Obtenido de Foro Histórico de las Telecomunicaciones: <http://forohistorico.coit.es/index.php/personajes/personajes-internacionales/item/pluecker-julius>*
- Collazos, C., Otero, H., Isaza, J., & Mora, C. (2016). Diseño y Construcción de una Máquina de Wimshurst para la enseñanza de la electrostática. Formación Universitaria, Vol.9, No.5.*
- Collazos, C., Otero, H., Isaza, J., & Mora, C. (2016). Diseño y Construcción de una Máquina de Wimshurst para la enseñanza de la electrostática. Formación Universitaria Vol.9 No.5.*
- Collazos, J. (1903). Teorías modernas sobre la constitución de la materia. La realización de un sueño hecho realidad. El Mundo Científico, 594 - 631.*
- Comas, J. (1907). Astronomía y Ciencia General: Colección de trabajos científicos de popularización referentes a la astronomía, a la sismología, a la historia de las Ciencias en el siglo XIX. Barcelona: F. Granada y Cía. .*
- Cortés, J., & Cortés, L. (2000). Enciclopedia de biografías ilustradas. Bibliográfica Internacional.*
- Crookes, W. (1879). Radiant Matter. Londres: Asociación Británica para el avance de la Ciencia.*
- De Puygrelier, É. (15 de Febrero de 1880). De la matière radiante. Le Monde des sciences appliquées aux arts et à l'industrie: revue mensuelle illustrée des inventions et découvertes les plus récentes, pág. 10.*
- Díaz, M., Escalona, M., Castro, D., León, A., & Ramírez, M. (2013). Metodología de la Investigación. México: Trillas.*
- Faraday, M. (1849). Experimental Researches In Electricity. Londres: J.M. DENT & SONS LTD:.*
- Fernández, E. (2018). Eso no estaba en mi libro de Historia de las Ciencias. Córdoba (España): Editorial Almuzara.*
- Fundación Andaluza para la divulgación de la innovación y del conocimiento . (15 de Abril de 2019). Jöns Jacob Berzelius. Obtenido de DesQbre: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/nombres-proprios/jons-jacob-berzelius/>*
- Galetto, M., & Romano, A. (2015). Saber Experimentar. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.*
- Garay, F. R. (2011). Perspectivas de Historia y contexto Cultural en la enseñanza de las ciencias para los procesos de enseñanza y Aprendizaje. Ciencia y Educación , 51-62.*

- García, A. (1880). *Algunas Consideraciones más sobre la Materia Radiante* (Marzo 30). *El Criterio Médico*, 48.
- García, A. (1880). *La materia radiante y los principios de la escuela médica dinamista llamada Hahnemanniana* (Febrero 29). *El criterio Médico*, 47.
- García, M., & Ewert, J. (1984). *Espectroscopía y Modelo Atómico*. En M. García, & J. Ewert, *Introducción a la Física Moderna* (pág. 427). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gil, S. (2014). *Apendice A: Pautas y sugerencias para la redacción de informes científico-tecnico*. En S. Gil, *Experimentos de Física usando las TIC y elemento de bajo costo* (págs. 730-737). Buenos Aires: Alfaomega.
- Gil, S. (2016). *Marco de referencia: Rol del laboratorio en el aprendizaje de las Ciencias*. En S. Gil, *Experimentos de Física: usando las TIC y elementos de bajo costo* (págs. 24-29). Buenos Aires: UNSAM.
- Hanriot, M. (1880). *Hypothèses actuelles sur la constitution de la matière : thèse présentée au concours pour l'agrégation (section des sciences accessoires)*. Paris : G. Baillière .
- Harré, R. (2002). *Grandes Experimentos Científicos. Veinte experimentos que han cambiado nuestra visión de mundo (versión al español)*. Barcelona: LABOR.
- Hernandez, P. E. (2014). *Teorías y Modelos en la enseñanza-aprendizaje de la Física Moderna*. Córdoba (Argentina): Universidad Nacional de Córdoba.
- Holton, G. (1989). *Electrostática*. En G. Holton, *Introducción a los conceptos y teorías de las Ciencias Físicas. Segunda Edición* (págs. 583-612). Barcelona: Editorial REVERTÉ.
- IES Goya. (2017). *Bobina de Ruhmkorff y tubos de Geissler*. Obtenido de Patrimonio Científico: <http://patrimoniocientificoiesgoya.blogspot.com/2017/06/bobina-de-ruhmkorff-y-tubos-de-geissler.html>
- Kragh, H. (2007). *Descargas en gases y lo que siguió*. En H. Kragh, *Generaciones Cuánticas. Una historia de la Física en el siglo XX* (págs. 27- 43). Madrid: Ediciones AKAL.
- Kramer, C. (1994). *Prácticas de Física*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- La Gaceta de Sanidad Militar*. (1880). *Variedades*. *La Gaceta de Sanidad Militar*, 32.
- León, O., & Montero, I. (1997). *La Lógica de la Experimentación*. En O. León, & I. Montero, *Diseño de Investigaciones. Introducción a la lógica de la investigación en Psicología y Educación* (págs. 105-133). Madrid: McGraw-Hill.
- López, C. (2004). *La Electricidad y el Magnetismo*. En C. López Tascón, *La Ciencia Explicada-Física. Calor, Ondas y Electricidad*. Bogotá: Intermedio Editores, Una división de círculo de lectores S.A.

- Martín Romero, J. (1947). Electricidad. Barcelona: Editorial Ramón Sopena S.A.*
- Marulanda, J., & Gómez, L. (2006). Experimentos en el aula para la enseñanza de la Física. Revista Colombiana de Física Vol.38.*
- Mason, S. (2001). El desarrollo de la electricidad y el magnetismo. En S. Mason, Historia de las Ciencias. La ciencia del siglo XIX (pág. 192). Madrid: Alianza Editorial S.A.*
- Mendoza, C. (2014). El Radiómetro de Crookes. ¿Cuál es la teoría más aceptada sobre su funcionamiento? . Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.*
- Ministerio de Educación Nacional . (2006). Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas . Bogotá: Ministerio de Educación Nacional .*
- Ministerio de Educación Nacional, Universidad de Antioquia. (2016). Derechos básicos de aprendizaje. Ciencias Naturales. Colombia: Panamericana Formas E Impresos S.A.*
- Moreira, M. A. (2014). Enseñanza de la Física: aprendizaje significativo, aprendizaje mecánico y criticidad. Revista Enseñanza de la Física (Vol.26), 45-52.*
- Nolasco, M., & Modarelli, M. (2009). Metodología didáctica innovadora: una experiencia en el aula universitaria. Revista Iberoamericana de Educación, 1-8.*
- Orientación Ciencias Naturales. (Sin Fecha ). Física Clásica y Moderna 6° Año.*
- Orozco, J. (1998). Contribución de las investigaciones electro-químicas a la concepción de campos de Faraday. Física y Cultura. Cuadernos sobre Historia y Enseñanza de las Ciencias, 55-75.*
- Pérez Aguirre, G. (2007). En las entrañas del átomo. En G. Pérez Aguirre, Química I. Un Enfoque Constructivista, Volumen 1 (págs. 70-85). Pearson Educación.*
- Pharmacie centrale de France et Maison de droguerie Menier réunies (Paris). (1880). Miscellanées, La matière radiante. L'Union pharmaceutique : journal de la Pharmacie centrale de France : organe des intérêts scientifiques, pratiques et moraux de la profession, 50-53.*
- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (1987). La constitución eléctrica de la materia. En C. Sánchez , Curso de conferencias sobre Historia de la Física en el siglo XIX (pág. 231). Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*
- Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales. (2001). Diccionario esencial de las ciencias . Madrid : Espasa.*
- Revista de los progresos de las ciencias exactas, físicas y naturales. (1854). Revista de los progresos de las ciencias exactas, físicas y naturales. Madrid: La viuda é hijo de D. E. Aguado.*

- Reyes, D. (2014). *La organización de la experiencia y la elaboración de conceptos. Fase Inicial de la Constitución de los conceptos de átomo e ión. Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias. No.8.*
- Reyes, J. (1998). *Aproximación al estudio experimental en rayos cósmicos. El caso de Robert A. Millikan. Tesis Maestría. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.*
- Riveros, H. (1995). *El papel del laboratorio en la enseñanza de la Física en el nivel medio superior. Perfiles Educativos, No.68.*
- Riveros, H. (2000). *Para el profesor. En H. Riveros, Experimentos impactantes I: Mecánica y Fluidos (págs. 11-24). México: Trillas.*
- Rodríguez, E. (2016). *La idea de los efectos mecánicos de la luz, una perspectiva de construir un pensamiento hacia las teorías moderna de la Física. Tesis pregrado . Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.*
- Rodríguez, J. (1880). *La Materia Radiante. Revista España Vol.74, 576.*
- Romero, Á., Restrepo, C., & Guzmán, J. (2013). *La experimentación Cualitativa y Exploratoria como escenario de procesos argumentativos en la enseñanza de las Ciencias. En Á. Romero, B. Henao, & J. Barros, La argumentación en la clase de ciencias: Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias. Medellín: Universidad de Antioquia.*
- Rosental, M., & Iudin, P. (1964). *Diccionario Filosófico. Bogotá: Lito Imperio.*
- Royal Society of Chemistry. (28 de 03 de 2019). *Learn Chemistry. Obtenido de On this day in chemistry: [http://www.rsc.org/learn-chemistry/collections/chemistry-calendar/may-2#otdic\\_content](http://www.rsc.org/learn-chemistry/collections/chemistry-calendar/may-2#otdic_content)*
- Ruiza, M., Durán, M., Fernández, T., & Tamaro, E. (2019). *Irving Langmuir. Obtenido de Biografías y Vidas. La Enciclopedia biográfica en Línea: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/langmuir.htm>*
- Ruiza, M., Fernández, T., Tamaro, E., & Durán, M. (2019). *Eugen Goldstein. Obtenido de Biografías y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea: [https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/goldstein\\_eugen.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/goldstein_eugen.htm)*
- Ruiza, M., Fernández, T., Tamaro, E., & Durán, M. (2019). *Johann Wilhelm Hittorf. Obtenido de Biografía y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea: [https://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/hittorf\\_johann.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/hittorf_johann.htm)*
- Sabino, C. (1995). *El Método Científico. En C. Sabino, El proceso de investigación (págs. 12-20). Bogotá: Panamericana Editorial .*
- Santillana . (1993). *Diccionario Santillana de Español. México : Santillana S.A.*

- Santos, S. (2010). *La Historia del Sistema Periódico*. Madrid: UNED.
- Seippel, R. (1977). *Fundamentos de Electricidad: Principios de Electricidad, Electrónica, Control y Ordenadores*. Barcelona: Reverte.
- Seippel, R. (1997). *Fundamentos de electricidad: Principios de electricidad, electronica, control y ordenadores*. Barcelona: Editorial REVERTÉ.
- Serrano, E. (1880). *Física Molecular*. *Revista España*, Vol.72, 576.
- Serway, R., & Faughn, J. (2001). *Física (5a ed.)*. México: Pearson Educación.
- Stone, M. (1999). *La Enseñanza para la Comprensión*. Buenos Aires : Editorial PAIDÓS.
- Tamaro, E., Ruiza, M., Fernández, T., & Durán, M. (2019). Lev Landáu. Obtenido de *Biografías y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea*: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/landau.htm>
- Thomson, J. (1898). *The discharge of electricity through gases*. Cambridge: Westminster Archibald Constable & Co.
- Tierno, S. P., Del Río, E., & Donoso, J. M. (2015). *¿El cuarto estado de la materia? Introducción al plasma para estudios preuniversitarios*. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias (Vol.12)*, 601-607.
- Ubaque, K. (2009). *Experimento: Una herramienta fundamental para la enseñanza de la Física*. *Gondola*, 35 - 40.
- Universidad de Valencia. (2002). *Abriendo cajas negras: Colección de instrumentos científicos de la Universitat de València*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Universidad Santo Tomás. (2019). *¿Qué es una evaluación? Autoevaluación - Heteroevaluación - Coevaluación*. Obtenido de Universidad Santo Tomás: [http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/clarajaramillo\\_metodologia3/qu\\_es\\_una\\_evaluacion\\_autoevaluacion\\_heteroevaluacion\\_coevaluacion.html](http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/clarajaramillo_metodologia3/qu_es_una_evaluacion_autoevaluacion_heteroevaluacion_coevaluacion.html)
- Villaverde, Y., González, J., Núñez, R., & Martín, R. (2000). *Off/On*. Madrid: Ministerio Ciencia e Innovación.
- Vitoux, G. (1896). *Les rayons X et la photographie de l'invisible*. Paris: Chamuel.
- VV.AA. (2013). *Bases Químicas del Medio Ambiente*. Madrid: UNED.
- Wikipedia contributors. (15 de Abril de 2019). *Theodor Grotthuss*. Obtenido de Wikipedia, *The Free Encyclopedia*: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Theodor\\_Grotthuss&oldid=848915563](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Theodor_Grotthuss&oldid=848915563)
- Wilson, J. (1996). *Física (2a ed.)*. México: Prentice Hall Hispanoamerica.
- Wolke, R. (2007). *Lo Que Einstein Le Contó a Su Barbero*. Barcelona: SWING.

