

**PROPUESTA EXPERIMENTAL PARA COMPRENDER LOS EFECTOS DE LA
CORRIENTE ELÉCTRICA**

Cindy Johanna Osorio Torres

TRABAJO DE GRADO

ASESORES:

**Sandra Sandoval Osorio
José Francisco Malagón Sánchez**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ, 2017**

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formando al ciudadano</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE	
Código:FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 6	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Propuesta experimental para comprender los efectos de la corriente eléctrica
Autor(es)	Osorio Torres, Cindy Johanna
Director	Sandoval Osorio, Sandra; Malagón Sánchez, José Francisco
Publicación	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional. 2017, 87p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ACTIVIDAD EXPERIMENTAL, CORRIENTE ELÉCTRICA, CONSTRUCCIÓN DEL FENÓMENO, ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, CARACTERIZACIÓN DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA, EFECTOS ELÉCTRICOS, EFECTOS QUÍMICOS.

2. Descripción
Este trabajo es el resultado de un proceso investigativo a partir de los avances experimentales de la corriente eléctrica que acontecieron a finales del siglo XVIII y XIX, resaltando los montajes y reformas, las preguntas, los planteamientos y alcances experimentales de Galvani, Volta, Joule y Faraday principalmente. Este proceso investigativo dio como resultado el diseño y construcción de montajes experimentales, los cuales permitieron hacer observaciones, mediciones y organizaciones para caracterizar el fenómeno de la corriente eléctrica a partir de la relación entre efectos eléctricos y efectos químicos. La investigación está fundamentada en referentes de análisis y discusión, desde lo histórico, disciplinar, experimental y pedagógico, en tanto que se reconoce la fenomenología de la corriente eléctrica, su importancia y progreso en la historia y finalmente como esto contribuye en la construcción de explicaciones para caracterizar la corriente eléctrica desde un campo experimental. Se puede caracterizar la corriente eléctrica a partir de otros efectos, como lo es la relación entre los efectos eléctricos con los

efectos magnéticos, efectos eléctricos con los efectos térmicos o efectos eléctricos con los efectos lumínicos. Otro aspecto a resaltar, es que las caracterizaciones son la base para establecer una unidad de medida llamada corriente eléctrica, y su vez se hace necesario construir instrumentos de medida que permitan ser relacionados con la magnitud.

3. Fuentes

FUENTES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

Bernardi, W. (2000). *The Controversy on Animal Electricity in Eighteenth-Century Italy: Galvani, Volta and Others*. Nova Voltiana: Studies on Volta and His Times.

Castellanos García, G. (1934). *Panorama histórico: ensayo de cronología cubana, desde 1492 hasta 1933*. Cuba: Ucar, García y Cía.

Faraday, M. (1834). *Experimental Researches in Electricity*. London: Royal Society of London.

Joule, J. P. (1884). *The Scientific Papers of James Prescott Joule*. Londres: The physical Society of London.

Khun, T. (1994). *¿Qué son las revoluciones científicas?* Barcelona: Fondo de Cultura Económica.

Latorre, R., López-Berneo, J., Bezanilla, F., & Llinás, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Pera, M. (1986). *La rana ambigua: La controversia sull'elettricità animale tra Galvani e Volta*. Storica Einaudi.

Pérez, J. (2005). Una aproximación a la vida y obra de James Prescott Joule. Del motor eléctrico a la conservación de la sabia mano de un cervecero de Mancheste. *El Día*, págs. 1-7.

Rhys Morus, I. (2017). *Williams Robert Grove: Victorian Gentleman of Science. Scientists of Wales*. University of Wales Press.

Romero, O., & Bautista, M. (2011). *Hipertexto Física*. Bogotá: Editorial Santillana.

Rudomín, P. (1997). *La controversia Galvani-Volta sobre la electricidad animal*. Italia en la Medicina: Ensayos Mexicanos.

Sallent del Colombo, E. (1798/2000). Alessandro Volta: sobre la electricidad excitada por el simple contacto de sustancias conductoras de distintas especies. Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, SEHCYT.

Volta, F. A. (2013). *Fondazione Alessandro Volta*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de <http://alessandrovolta.it/scoperte-e-strumenti/>

PROPUESTAS DE INVESTIGACION PARA LA ENSEÑANZA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Barco, H., Arango, P., & Devia, A. (2013). *Laboratorio de Física III*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Cano, J., Gómez, J., & Cely, I. (2009). *La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico-epistemológico*. Antioquia.

Jiménez Vásquez, L., & Preciado, Y. (2016). *Elaboración de la categoría de equivalencia desde una visión fenomenológica para la enseñanza de la estequiometría*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Martínez, J. (2013). *Propuesta metodológica para mejorar el aprendizaje del tema de electroquímica en estudiantes de 10 grado de la institución educativa cañaveral a través del estudio de sus ideas previas*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

TEXTOS ESCOLARES Y UNIVERSITARIOS

Bueche, F. (2007). *Física general*. España: Schaum.

Garriz, A., & Chamizo, J. (1994). *Química*. México: Pearson Educación.

Mondragón, C., Peña, L., Sánchez, M., Arbeláez, F., & González, D. (2010). *Hipertexto Química*. Bogotá: Editorial Santillana.

O'Connor, P., Haenisch, MacNab, & MacClellan. (1982). *Química experimentos y teorías*. Barcelona: Editorial Reverté.

Phillips, J., Strozak, V., Wilstrom, C., & Zike, D. (2012). *Química: conceptos y aplicaciones*. McGraw Hill.

Sears, & Zemansky. (2009). *Física universitaria con física moderna*. México: Pearson Educación.

Serway, F. (2005). *Física*. México: Thompson.

Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. México: Cengage Learning.

Tippens, P. (2011). *Física conceptos y aplicaciones*. Perú: McGraw-Hill Interamericana Editores.

DEFINICIONES Y BIBLIOGRAFÍAS

CECs. (2010). *Recursos para la educación: Centro de estudios científicos*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <http://www.cecs.cl/educacion/index.php?section=fisica&clase=28&id=50>

cubana, R. (2009). *EcuRed: conocimiento con todos y para todos*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de https://www.ecured.cu/%C3%81cido_sulf%C3%BArico

Daniell, J. F., Miller, W. A., & Tomlinson, C. (1845). *Elements of Meteorology*. Londres: Stanford University Libraries.

Delft, E. U. (1993). *Lenntech*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm#ixzz4jjx3gbDW>

Ganot, A. (1862). *Tratado de Física experimental y aplicada y de meteorología con una numerosa colección de problemas*. Madrid: Librería extranjera y nacional, científica y literaria.

Historia Universal. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 2017, de <https://mihistoriauniversal.com/biografia/michael-faraday/>

Institute, T. F. (s.f.). *The Franklin Institute*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de <https://www.fi.edu/benjamin-franklin/benjamin-franklin-faq>

Jenkins, J. D. (1982). *Sparkmuseum*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de http://www.sparkmuseum.com/BOOK_NOLLET.HTM

Varela, J. (s.f.). *A hombres de gigantes. Ciencia y tecnología*. Recuperado el Febrero de 2017, de 2014: <https://ahombrosdegigantescienciaytecnologia.wordpress.com/2015/08/06/el-descubridor-del-paladio-el-rodio-y-el-inventor-de-una-pila-singular-wollaston/>

Weisstein, E. (1996). *Science a wolfram web resource*. Recuperado el 1 de Mayo de 2017, de <http://scienceworld.wolfram.com/biography/Poggendorff.html>

4. Contenidos

Este documento está estructurado en cinco capítulos donde se refleja el proceso de investigación llevado a cabo. En el primer capítulo (Planteamiento del problema) se describe la problemática con la que nace esta investigación, su justificación, los objetivos propuestos y algunas investigaciones de estudio sobre la enseñanza de la corriente eléctrica. En el segundo capítulo (Metodología) se presentan los lineamientos de la investigación, es decir se presenta inicialmente los resultados de la revisión histórica de fuentes primarias y secundarias, las intenciones, afirmaciones y momentos que se distinguen en la revisión de los trabajos experimentales realizados por Galvani, Volta, Joule y Faraday, los cuales se dedicaron a la relación entre los efectos químicos y eléctricos, finalmente se describe el aporte de esta indagación de esta relación específica para el diseño y construcción de montajes experimentales, la rectificación de materiales y montajes propuestos y la realización de la práctica experimental. En el tercer capítulo (Posturas y experimentos que dieron origen a una nueva electricidad) se expone un análisis histórico de los momentos experimentales llevados a cabo a finales del siglo XVIII y XIX, de los experimentalistas, sus montajes, los instrumentos de medida y el método de medición, las reformas, los alcances y sus argumentos que contribuyeron al origen de la electricidad. Los capítulos del 1 al 3 son la base para el

diseño y análisis de la propuesta presentado en el cuarto capítulo (Propuesta experimental: organización y análisis del fenómeno corriente eléctrica), en este capítulo se describe el diseño para la construcción de los montajes experimentales, el funcionamiento de cada dispositivo para formar en conjunto el experimento, los resultados, los análisis y alcances experimentales para la caracterización de la corriente eléctrica. Por último, se presentan las conclusiones del trabajo, donde de manera general se resume y específica la contribución de la investigación, se discuten las ventajas de la investigación para la enseñanza y las proyecciones para ampliar el campo fenomenológico de la corriente eléctrica desde la actividad experimental.

5. Metodología

La propuesta aborda algunos aportes de análisis histórico de los trabajos experimentales más importantes del siglo XVIII y XIX sobre la corriente eléctrica, para los cuales se desarrolla un análisis sobre la actividad experimental de la corriente eléctrica que posibilita ampliar la perspectiva fenomenológica, reconocer interacciones entre los efectos (eléctricos, químicos, magnéticos, lumínicos), comparar y resaltar los trabajos experimentales realizados por Galvani, Volta, Joule y Faraday. De acuerdo con los análisis que se dan en la revisión histórica se identifican aspectos importantes como la caracterización de la corriente eléctrica, que en consecuencia serán el objeto de estudio de esta investigación.

Este objeto de estudio se lleva a cabo por el análisis histórico desde la perspectiva fenomenológica a fuentes primarias y secundarias que orientan la comprensión del fenómeno. Aspectos que aportaron una relación entre fenómenos (eléctrico y químico) para la construcción de montajes experimentales, en los que se hace una rectificación de materiales utilizados, el diseño de cada montaje para su manipulación, observación (cambios físicos) y registro de medidas, disposición en la que estos materiales están en interacción, realización de la práctica experimental y reflexiones acerca del fenómeno que permiten consolidar una estructura para caracterizar y comprender el fenómeno de la corriente eléctrica.

6. Conclusiones

Los docentes al asumir una postura actual en la enseñanza de las ciencias requieren considerar el rol y análisis de una clase de fenómenos, para los cuales se hace necesario que el docente lleve a cabo investigaciones que le permitan comprender los fenómenos presentes en una situación. Como punto de partida no es de gran aporte que los docentes tengan como referente principal fuentes de divulgación, pues estas se enfatizan en aspectos teóricos, formulaciones matemáticas y descripciones deterministas de un fenómeno. Como se ha presentado en el desarrollo de este trabajo investigativo se ha consolidado un momento de análisis histórico, experimental y reflexión pedagógica sobre el fenómeno de la corriente eléctrica, el cual brinda elementos necesarios para que el docente comprenda la corriente eléctrica desde la relación entre los efectos químicos y eléctricos que emergen en la actividad experimental.

Lo anterior, brinda al docente ampliar la perspectiva fenomenológica de la corriente eléctrica, reconociendo desde la actividad experimental relaciones entre fenómenos y caracterizando la corriente eléctrica a partir de sus efectos, los cuales pueden ser observables y medibles. Dichos momentos promueven la indagación y análisis constante de referentes históricos, diseños de montajes experimentales con unas intenciones y preguntas particulares, clasificación y organización de materiales pertinentes para el análisis del fenómeno, descripciones y mediciones de los efectos de un fenómeno, reflexiones finales de la actividad experimental promueven propuestas de aula encaminadas a la ampliación de la experiencia, construcción y reconstrucción de explicaciones sobre lo que ocurre en el fenómeno, preguntas que se desencadenan para crear un amplio rango en la comprensión de la corriente eléctrica.

El abordaje y análisis histórico de fuentes primarias y secundarias permite identificar avances experimentales de contextos específicos en el fenómeno de la corriente eléctrica. Desde la controversia por determinar la causa de su producción, la invención de la pila de Volta, detectar conmociones producidas al cuerpo humano las cuales son descritas como intensas o leves, definir que la corriente eléctrica tiene diferentes efectos que dependen las características de los conductores, su interacción y disposición, la descripción de los efectos que pueden ser observados y cuantificados por un experimentador entre los que se destacan los efectos químicos, magnéticos y lumínicos.

El análisis histórico creó un vínculo con la propuesta de investigación, donde la actividad experimental diseñada crea unos referentes para comprender la corriente eléctrica a partir de sus efectos y unos referentes para elaborar una propuesta de aula diseñada a la enseñanza de los fenómenos eléctricos. La propuesta experimental permite estructurar una caracterización de la corriente eléctrica desde la relación de dos efectos, eléctrico y químico, para lo cual se diseña y se construye una pila que permite realizar una serie de observaciones y mediciones pertinentes para estos efectos. Cabe mencionar que a pesar de la relación de estos dos efectos se puede ampliar la caracterización de la corriente con otros montajes experimentales, donde se establece una relación entre los efectos eléctricos con los magnéticos, eléctricos con los químicos o eléctricos con los lumínicos.

La actividad experimental como actividad pedagógica crea un escenario significativo para la enseñanza, desde la observación, las inquietudes, las hipótesis, las propuestas experimentales y la experiencia a la que se encuentra ligado el estudiante y el docente son otras propuestas posibles encaminadas a comprender un evento, donde los referentes teóricos y modelos conceptuales no son la base de comprobación, es decir, la actividad experimental tiene otras intenciones como problematizar el conocimiento y consolidar nuevos conocimientos de un fenómeno.

Elaborado por:	Osorio Torres, Cindy Johanna
Revisado por:	Sandra Sandoval Osorio, José Francisco Malagón Sánchez

Fecha de elaboración del Resumen:	15	11	2017
--	----	----	------

CONTENIDO

Capítulo I: Planteamiento del problema	10
Capitulo II: Metodología	17
Capitulo III: Posturas y experimentos que dieron origen a una nueva electricidad	22
Características, efectos y detectores del flujo de electricidad.....	26
Otros efectos y medidas del flujo de electricidad	37
Construcción de unidades y aparatos de medidas sobre la corriente eléctrica	50
Capitulo IV: Propuesta experimental: Organización y análisis del fenómeno corriente eléctrica.....	54
Diseño y construccion.....	55
Montajes experimentales	60
Análisis pruebas de funcionamiento y resultados	64
Condiciones experimentales	76
Conclusiones.....	81
Proyecciones.....	83
Bibliografía.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del flujo de electricidad	25
Figura 2. Montajes experimentales de Galvani	29
Figura 3. Aparato de columna	32
Figura 4. Corona de tazas	33
Figura 5. Comprobación de la conmovición en la corona de tazas	34
Figura 6. Cambios de color.....	40
Figura 7. Pila de Wollaston	41
Figura 8. Pila de Joule modificada	42
Figura 9. Pila de Daniell y Grove.....	43
Figura 10. Montaje para analizar la producción de calor	46
Figura 11. Mediciones de Joule para tipo de alambres	48
Figura 12. Mediciones de Joule para tipo de pila.....	48
Figura 13. Volta electrómetro de Michael Faraday	54
Figura 14. Esquema pila con placas metálicas a 2cm, 4cm y 6cm de distancia.....	57
Figura 15. Esquema montaje experimental igual conductor líquido	58
Figura 16. Fotografía montaje experimental igual conductor líquido	58
Figura17. Esquema montaje experimental dos conductores líquidos.....	60
Figura 18. Fotografía montaje experimental dos conductores líquidos.....	60
Figura 19. Diseño conductores metálicos. Placa de cobre y zinc respectivamente	61
Figura 20. Fotografía conductores líquidos	62
Figura 21. Fotografía recipiente de vidrio y diseño tapa del recipiente	63
Figura 22. Cables de conexión caimán – caimán	63
Figura 23. Multímetro digital	64

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al hacer una revisión de los textos de divulgación a nivel escolar y universitario, especializados en el estudio de física¹ y química², se observa la manera como se aborda la corriente eléctrica, en la cual se encuentra un fuerte planteamiento desde los aspectos teóricos, es decir, se evidencia el modelo de transporte de cargas eléctricas en movimiento y se da una explicación de la corriente eléctrica como una “tasa a la cual fluye la carga a través de una superficie” o “el movimiento de cargas eléctricas del mismo signo (Serway F., 2005, pág. 745)”. Estas generalizaciones teóricas son expuestas con fórmulas, en las cuales no se ponen de manifiesto algunos planteamientos de cómo se construyeron o cómo se llegó a esta formulación. Así mismo, se da por entendido una postura final y única del trabajo científico: la existencia de cargas eléctricas, las cuales tienen una polaridad y un movimiento específico.

En consecuencia se puede vislumbrar que existe poco análisis interpretativo y argumentativo de los experimentos que llevaron a estas postulaciones teóricas y la construcción de las bases fenomenológicas que desarrollaron otros experimentadores, mencionando solamente el trabajo de Alessandro Volta acerca de la pila voltaica y la controversia de Galvani – Volta, haciendo suponer al lector que estos dos italianos fueron los únicos pioneros que aportaron sus investigaciones y conocimientos al inicio de una nueva electricidad: dinámica y el origen de la electrólisis; de ahí que, se evidencia en los

¹ Cabe mencionar algunos textos escolares como Física general de Bueche, Hipertexto Física de Romero y Bautista y en los textos universitarios como la Física universitaria con física moderna de Searz y Zemansky, física para ciencias e ingeniería de Serway y Jewett y Física conceptos y aplicaciones de Tippens, entre otros.

² Cabe mencionar algunos textos escolares como Hipertexto Química de Mondragón, Peña, Sánchez, Arbeláez y González, Química: conceptos y aplicaciones de Phillips, Strozak, Wilstrom y Zike y en los textos universitarios como Química de Garritz, Química, experimentos y teorías de O’connor, entre otros.

textos un salto entre sus aportes experimentales y los planteamientos teóricos de otros investigadores.

No obstante, esto lleva a reflexionar al docente sobre su práctica y la manera cómo puede él desarrollar una clase de construcción de conocimiento de la corriente eléctrica, que aborde una base fenomenológica donde no se privilegie supuestos teóricos y que de apertura al planteamiento de preguntas, dudas, objeciones por parte de los estudiantes. Por otra parte, surge la preocupación sobre qué criterios se pueden tener en cuenta a la hora de elegir la literatura específica que permita potenciar la labor educativa.

Otro enfoque que tienen las fuentes de divulgación, es proponer actividades experimentales teniendo como supuesto que a partir de ellas el lector al ejecutarlas logra comprender y apropiarse el modelo de transporte de cargas eléctricas en movimiento, teniendo un manejo de los instrumentos de medida, cuantificando así la corriente eléctrica que se deriva de unas variables medibles con aparatos y/o variables calculadas con la utilización de una ecuación, reforzando y comprobando los planteamientos teóricos en el experimento a través de una secuencia de pasos para proceder en su realización y finalmente conocer las explicaciones que construyen los estudiantes de acuerdo con unas preguntas orientadoras que no se pueden someter a cambios.

Conviene subrayar que la actividad experimental no se puede sintetizar en la mera observación, en el seguimiento de pasos, en la búsqueda de la verdad y/o en la extracción

de conclusiones para verificar una teoría o una formulación matemática como la ley de Ohm.

Sobre las bases de las ideas expuestas, se hace la investigación de otras propuestas actuales en la enseñanza de la corriente eléctrica, tales como: *la enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico-epistemológico*³ (Cano, Gómez, & Cely, 2009), *Propuesta metodológica para mejorar el aprendizaje del tema de electroquímica en estudiantes de 10 grado de la institución educativa cañaveral a través del estudio de sus ideas previas*⁴ (Martínez, 2013) y *Laboratorio de Física III*⁵ (Barco, Arango, & Devia, 2013), se puede afirmar que estas propuestas están enfocadas en la evolución conceptual que abordan los estudiantes mediante el experimento; especialmente en la terminología de la electroquímica, así mismo, se alcanza a identificar que aún existe un interés por resaltar el contexto histórico en las clases de ciencias.

³Tesis de la licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, asesorado por el profesor Óscar Meneses Cardona. A través de diversos montajes sencillos; pila, bombilla y cables, se plantea un documento de indagación para conocer, comprender y analizar las explicaciones que los estudiantes del curso Física de los Campos construyen del fenómeno, reduciendo las explicaciones a modelos: unipolar, concurrente, gasto de corriente, reparto, como un fluido material o un movimiento de electrones a grandes. Adicionalmente, este trabajo resalta aspectos generales del contexto histórico de la corriente eléctrica, como las concepciones que se mantenían durante el siglo XVII al considerar la corriente como un fluido, los aportes de Alessandro Volta como inicio fundamental del fenómeno químico, térmico y magnético, los aportes del físico Doménico con la observación del movimiento de una brújula, Oersted en la relación fuerza - imán - corriente, Thomson orientado a analogías matemáticas entre fenómenos térmicos y eléctricos, y finalmente Faraday con la manera en que concibe la corriente eléctrica como uno o dos fluidos, vibración o formas de estado y se enuncia experimentos de la inducción de corrientes eléctricas.

⁴Tesis de maestría en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, asesorado por la profesora Francy Nelly Jiménez García. Esta monografía aporta un panorama de los trabajos de Volta y sus avances científicos para el desarrollo de la electroquímica, mencionando claramente la controversia entre los defensores de la electricidad animal y metálica. El trabajo propone experimentos de electrólisis procedente de la descomposición del agua, resalta los modelos de los átomos de hidrógeno y oxígeno, fuerza de enlace entre ellos, la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de la solución y la cantidad de productos de electrólisis propuesta por Faraday y finalmente los conceptos básicos de la electroquímica (reacción de oxidación y reducción). El anterior estudio, sirve de referencia para hacer una propuesta experimental sobre electrólisis, identificando de manera cualitativa (preguntas abiertas y tipo Likert) sus modelos explicativos.

⁵Libro elaborado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Sugiere prácticas experimentales de la corriente eléctrica considerando el campo magnético terrestre, la fuerza magnética, el campo magnético cercano a un conductor y el galvanómetro (D'Arsonval). Para cada práctica se plantea aspectos teóricos, el montaje experimental y una orientación para hacer cálculos y análisis del mismo.

No obstante, estas propuestas a la enseñanza de la corriente eléctrica presentan limitaciones al comprender el fenómeno, ya que no se hacen análisis ni reflexiones de la actividad experimental, no se plantean cuáles son los fenómenos de estudio que se quieren dar a conocer a los estudiantes y las explicaciones que logran establecer son cúmulos de información de conceptos definitivos, semejantes a los planteamientos teóricos.

Por lo anterior, como docente surge la preocupación y necesidad de reflexionar sobre la enseñanza de la corriente eléctrica, ya que es relevante construir conocimiento, configurar una fenomenología y establecer formas de medida que surgen en la observación y análisis de la actividad experimental. En este sentido, este trabajo dirigido al docente propone para la enseñanza de las ciencias naturales, no solo exponer los experimentos, reformas, planteamientos y refutaciones que surgieron de la inestabilidad por definir la corriente eléctrica, sino poder construir elementos necesarios para mostrar un alcance del experimento que le permita al docente y al estudiante además de construir conocimiento, tener un mejor acercamiento a los fenómenos de la corriente eléctrica y configurar una fenomenología desde una perspectiva experimental a partir de la caracterización de la corriente eléctrica teniendo como análisis la relación entre los fenómenos químicos y eléctricos.

En la enseñanza de las ciencias naturales, es importante otorgarle un papel fundamental al experimento no como un espacio físico sino como una actividad dinámica de construcción donde se conoce, se interactúa, se clasifica, se cuestiona, se plantea, se reformula, se comprende, se reflexiona, se organiza y se formaliza fenómenos a una situación que se propone de análisis.

Dicho de otra manera, la realización de una serie de actividades experimentales organizadas genera diversas preguntas que posibilitan cuestionarse, reflexionar, proponer y dar soluciones que poco a poco pueden ser refutadas, modificadas o ampliadas.

Por consiguiente, la presente investigación dirigida a los docentes de ciencias naturales, tiene el objetivo de caracterizar la corriente eléctrica que emergen de la relación entre los efectos químicos y eléctricos, emergentes de la construcción de una propuesta experimental que involucra una serie de preguntas, diseños, montajes, observaciones, mediciones y criterios de análisis.

A lo anterior, se indaga en fuentes primarias y secundarias⁶ los montajes experimentales, los instrumentos de medida, los planteamientos, reformas y discusiones que se derivan de la actividad experimental del siglo XVIII y XIX sobre la corriente eléctrica. Luego, se retoma aspectos relevantes de la indagación para diseñar una propuesta experimental, en la cual desde la perspectiva fenomenológica y el papel de la actividad experimental se analizan fenómenos de la corriente eléctrica en diferentes montajes, estableciendo unas características, organizaciones, implicaciones y comportamientos.

Conviene subrayar que esta propuesta de investigación para la enseñanza de la corriente eléctrica desde una perspectiva experimental no pretende dar una única solución y planteamiento del comportamiento de la corriente eléctrica, por el contrario, se busca que

⁶ Las fuentes primarias son los textos originales de los experimentalistas estudiados, y las fuentes secundarias son aquellas investigaciones que se han realizado a fuentes primarias.

los docentes sean investigadores dentro de un proceso de indagación, organización y conclusión de los efectos presentes en el fenómeno.

En este sentido, el análisis histórico de fuentes de indagación (primarias y secundarias) y las prácticas experimentales desarrolladas dieron elementos importantes para caracterizar la corriente eléctrica desde los fenómenos químicos en relación con los fenómenos eléctricos. De esta manera, caracterizar la corriente eléctrica desde la actividad experimental implica identificar las condiciones necesarias para su producción, plantear y modificar montajes experimentales para los cuales se hace necesario clasificar una serie de materiales (conductores líquidos y metálicos) que se disponen de cierta manera para explorar su comportamiento e interacciones, reconocer las variables⁷ y sus relaciones, es así donde se desencadena una serie de preguntas, descripciones detalladas, algunas organizaciones y posibles explicaciones que llevan a construir el fenómeno.

En este sentido, diversas prácticas experimentales posibilitan ampliar la perspectiva fenomenología de la corriente eléctrica, investigando otras interacciones de acuerdo a los efectos, como es posible la relación entre los efectos eléctricos con los efectos magnéticos, entre los efectos eléctricos con los efectos térmicos o entre los efectos eléctricos con los efectos lumínicos. La relación entre efectos y sus interacciones logran establecer diversas prácticas experimentales propias y por consiguiente una caracterización particular, las cuales permiten reflexionar sobre la corriente eléctrica como magnitud.

⁷ Las variables pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo. Las variables cualitativas se establecen por las observaciones realizadas a los materiales que intervienen en el montaje experimental, de tal manera que es posible describir cualidades de los materiales, tales como el color y la textura. Y para las variables cuantitativas se establecen gracias a las mediciones dadas por un instrumento de medida, tales como volumen y dimensiones de los materiales. Estas variables presentes en la actividad experimental se ven afectadas por las interacciones entre los materiales, para los cuales en algunos montajes no se reflejan cambios.

La construcción de esta magnitud, corriente eléctrica, está íntimamente ligada con la organización de los efectos y fenómenos presentes en el experimento, y por lo tanto, implica crear aparatos de medida y unidades de medida que den cuenta de las relaciones que se establecen entre los cuerpos (materiales) en interacción. Por ello, el desarrollo de esta investigación da elementos para caracterizar una relación entre los efectos químicos y eléctricos que permiten brindar soportes para construir aparatos de medida que den cuenta de una caracterización fenomenológica.

Finalmente, esta propuesta de investigación tiene como objetivo caracterizar la corriente eléctrica desde las relaciones entre los efectos eléctricos y efectos químicos emergentes de la actividad experimental, para ello no se pretende dar una única solución y planteamiento de la caracterización de la corriente eléctrica, por el contrario, se busca ampliar la base fenomenológica, privilegiar la actividad experimental y brindar elementos para la comprensión de la corriente eléctrica desde las interacciones entre conductores metálicos y líquidos.

Para esta investigación resulta especialmente relevante estudiar las rutas por las cuales la actividad experimental aporta a la construcción de relaciones entre magnitudes que se elaboran, a la organización fenomenológica y a los procesos de comprensión acerca de fenómenos estudiados o de nuevos fenómenos a estudiar.

Desde estos criterios se ha propuesto una discusión acerca de los aspectos históricos, disciplinares, experimentales y pedagógicos desde los cuales se diseñan montajes experimentales y que influyen en la comprensión y caracterización de la corriente eléctrica a partir de la relación de efectos específicos.

En este sentido, la enseñanza de las ciencias ligada a los procesos de organización de fenomenologías, la construcción de magnitudes y la actividad experimental está mediada

por la siguiente tesis: la magnitud denominada corriente eléctrica está íntimamente ligada con la construcción de aparatos y unidades de medida, los cuales se derivan del estudio de la relación entre los efectos y el fluido eléctrico.

CAPITULO II: METODOLOGÍA

Desde el proceso de formación como docente de ciencias naturales se puede afirmar que los docentes dedican gran parte de su tiempo en indagar acerca de un fenómeno y luego proponer una clase de ciencias permitiendo que los estudiantes tengan un conocimiento de dicho fenómeno. Lo anterior, ha generado que existan formas tradicionales de enseñar, las cuales se encargan de tomar un referente teórico y transmitirlo sin ninguna modificación, generando una imagen, un lenguaje, un esquema, unas formas de proceder y actuar en el aula de clases que involucran la forma como se debe exponer un fenómeno al cual ha sido unificado, conservando fuertemente un conjunto de teorías complejas, conceptos con términos definidos, ecuaciones unificadas, entre otros que causan dificultad al ser abordados y comprendidos por el docente y por tanto por el estudiante.

Sin embargo, desde una perspectiva actual se ha propuesto que en las clases de ciencias naturales intervengan un proceso de construcción de conocimiento y andamiaje entre docente - estudiante. Es así donde el docente de ciencias tiene un papel fundamental en la enseñanza, ya que dentro de su labor debe llevar a cabo un proceso de indagación que le permita generar en el aula unas dinámicas permitentes para comprender los fenómenos.

Bajo esta postura se evidencia que la enseñanza de la corriente eléctrica desde un análisis fenomenológico presenta ciertas dificultades al abordar aspectos correspondientes a fenómenos eléctricos, químicos, magnéticos, térmicos, lumínicos y sus relaciones e incluso proponer actividades experimentales para su comprensión; por esta razón abordar la corriente eléctrica haciendo énfasis en la actividad experimental reduce conceptualizar la corriente eléctrica a planteamientos teóricos y formulaciones matemáticas, ya que ahí existe poca comprensión de los fenómenos en la enseñanza de la corriente eléctrica.

De esta manera el presente trabajo investigativo ha llevado a pensar la relación entre fenómenos, como lo es primordialmente la relación entre los fenómenos eléctricos con los fenómenos químicos que son relevantes para caracterizar la corriente eléctrica y comprender ciertas interacciones que se establecen dentro de la actividad experimental, resaltando los aspectos históricos que contextualizan su estudio.

Para poder configurar el fenómeno de la corriente eléctrica como problema se realiza una serie de preguntas sobre la enseñanza de los fenómenos eléctricos desde la actividad experimental; en la que se hizo una revisión de los trabajos experimentales en fuentes de divulgación y textos especializados de física y química para secundaria y universidad sobre la corriente eléctrica. Este primer referente de análisis permitió identificar la estructura en que se concibe el fenómeno, las bases explicativas para abordarlo y metodologías, actividades y estrategias para su enseñanza.

En consecuencia se hace una revisión y un análisis histórico a fuentes primarias y secundarias⁸ que permitieron ampliar la perspectiva fenomenológica de la corriente

⁸ Las fuentes primarias son los textos originales de los experimentalistas estudiados, y las fuentes secundarias son aquellas investigaciones que se han realizado a fuentes primarias.

eléctrica, identificando la importancia de la actividad experimental en la configuración de un fenómeno, los planteamientos experimentales y diversas explicaciones que emergen de la actividad experimental, las diferentes discusiones y criterios experimentales sobre la corriente eléctrica, los diferentes montajes experimentales y los instrumentos de medida que dan cuenta de unas unidades de medida a través del tiempo. Reconocer los experimentalistas, el contexto histórico, los alcances y limitaciones, las preocupaciones e intencionalidades por explicar los fenómenos al estudio de la corriente eléctrica y el trabajo de discusión y reflexión constante durante las asesorías, donde el eje transversal es el papel de la actividad experimental en la construcción de fenomenologías. Este trabajo investigativo invita a reflexionar la relación entre los efectos eléctricos y químicos, donde es posible caracterizar la corriente eléctrica, ordenar las cualidades de esa relación y organizar la interacción. Los análisis históricos y experimentales a textos primarios y secundarios que mencionan los frutos del trabajo realizado por Galvani (Pera, 1986), Volta(Rudomín, 1997)(Rudomín, 1997), Joule (Joule, 1884)y Faraday(Faraday, 1834) principalmente, dedicaron en señalar la relación entre los efectos químicos y los efectos eléctricos. Los experimentalistas mencionados y sus registros en los textos primarios aportaron a esta investigación en aspectos históricos de la indagación de la producción del fenómeno corriente eléctrica, los montajes y criterios experimentales y finalmente las construcciones de explicaciones del fenómeno. Inicialmente este análisis histórico de las fuentes primarias y secundarias permitió tener un contexto del siglo XVIII y XIX frente a las diversas discusiones presentadas para el origen de un fluido eléctrico, luego se analizó los criterios experimentales para los cuales les permitieron a estos experimentalistas llevar a cabo montajes para analizar aspectos específicos de la corriente eléctrica de la interacción con otros los efectos. Entre los criterios experimentales evidenciados en sus trabajos están

la clasificación y ordenación de materiales, llamados conductores, las disposiciones en la que diferentes materiales se organizan para interactuar de una manera específica, el diseño, la construcción y la transformación de montajes de fácil adquisición, manipulación y lo más importante montajes que permitieran obtener producción de flujo de electricidad más intensa y más perceptibles en sus efectos. Esta indagación aborda preguntas como ¿Qué aspectos de la interacción logran mejores efectos?, ¿Cuáles son las razones por las cuales esos efectos se producen?, ¿Cómo se producen esos efectos?, si se cambia algún conductor ¿Cómo son las interacciones y los efectos?, ¿Qué cambios son observables y medibles?, ¿Cuáles son los instrumentos y unidades de medida?, ¿Cuáles son las conclusiones o afirmaciones de cada experimentalista en un momento histórico?

Para orientar la problemática sobre la base fenomenológica de la corriente eléctrica como objeto de estudio, el análisis histórico mencionado de los trabajos experimentales de Galvani, Volta, Joule y Faraday permitió a la investigación centrar en un aspecto específico de la relación entre efectos, cabe resaltar que en gran parte los experimentalistas centraron su atención en la relación entre lo químico y lo eléctrico, los alcances de sus montajes experimentales experimentalistas lograron por tanto la caracterización de la corriente eléctrica.

Esta revisión y análisis histórico llevó a reflexionar sobre ciertos experimentos que en conjunto podrían dar un significado a la corriente eléctrica como fenómeno. El análisis de cada montaje, sus respectivos análisis y las precauciones en su realización brindo elementos para una segunda etapa de investigación, la cual se construye una serie de montajes con sus respectivos criterios de análisis. Para lo cual se tuvo en cuenta un momento de diseño de los montajes experimentales, otra de selección de los materiales pertinentes para la interacción,

primordialmente la selección de conductores metálicos y líquidos, otro momento de realización de los experimentos, luego un momento de cuestionamientos emergentes entre las interacciones de los conductores y su disposición en cada montaje experimental y finalmente rectificaciones de las observaciones, organización de los efectos y caracterización de la corriente eléctrica en función de la relación entre efecto químico y eléctrico.

Los experimentos propuestos en esta investigación no solo permitió presentar una organización correspondiente de los análisis de cada montaje experimental y una caracterización de la corriente eléctrica entre la relación de efectos entre lo químico y lo eléctrico, sino que se logró relacionar la cantidad de electricidad con los efectos químicos y distinguir a partir de mediciones la diferencia entre tensión eléctrica y corriente eléctrica.

El análisis histórico y el desarrollo de la actividad experimental dentro de la propuesta de investigación para caracterizar la corriente eléctrica por sus efectos tienen unas implicaciones en la enseñanza, no solo el docente quien debe comprender los fenómenos y sus relaciones para poder proponer propuestas de aula experimentales ligadas a la construcción de explicaciones, donde el estudiante con la experiencia permita analizar, comprender y caracterizar los diversos fenómenos y efectos de la corriente eléctrica y así estructurar y ampliar la base fenomenológica de la corriente eléctrica gracias a la actividad experimental.

Lo anterior es la base para hacer posible la construcción de instrumentos de medida que den cuenta de las relaciones específicas entre los efectos, establecer unas unidades de medida y una magnitud llamada corriente eléctrica. Y posteriormente para proponer un trabajo de

experimentación, indagación, discusión y reflexión en el aula alrededor de la fenomenología de la corriente eléctrica.

CAPITULO III: POSTURAS Y EXPERIMENTOS QUE DIERON ORIGEN A UNA NUEVA ELECTRICIDAD

Este capítulo aborda el estudio de experimentos cruciales de la corriente eléctrica a partir de una mirada histórica de los aportes hechos por los más destacados físicos y químicos experimentalistas del siglo XVIII y XIX. Ellos realizaron numerosas investigaciones que dieron lugar a propuestas experimentales y teóricas, como a reformulaciones y discusiones del comportamiento y naturaleza de este fenómeno. Los diversos hallazgos y modificaciones a estos experimentos, permitieron dar origen a una nueva clase de electricidad, a un nuevo estudio de la química: la electrólisis y finalmente, a un gran impacto a nivel social, fruto de los conocimientos en el estudio del fenómeno de la electricidad.

Pera (1986) afirma que el progreso de la electricidad se debió principalmente a dos circunstancias, primero a la disponibilidad de nuevos hallazgos y datos experimentales y segundo a la existencia de una infraestructura intelectual capaz de proveer un marco teórico razonable para explicar. De acuerdo a la anterior afirmación, es importante considerar que renacían las múltiples inquietudes y problemas (teóricos y experimentales) que de la época permitieron que se construyeran nuevos experimentos que dieran explicación a la

naturaleza de la electricidad e incluso generar una discusión como la llamada Controversia entre Galvani y Volta, dos italianos con diferentes formaciones pero con el mismo interés.

Por un lado, Galvani, defensor de la electricidad animal, argumentaba que al colocar un arco metálico entre el nervio crural y un músculo de la pata de una rana se producía una contracción muscular, la cual se debía a la existencia de dos tipos de fluido que se encontraban en desbalance: fluido intrínseco acumulado en el nervio y un fluido extrínseco acumulado en el musculo. Al conectar el arco metálico se hacía una comunicación entre fluidos que permitía que estos quedaran en equilibrio. Sin embargo, Volta, defensor de la electricidad metálica, argumentaba que la rana no tenía electricidad y que tales fluidos no eran posibles, por lo que se debía a los tipos de conductores en interacción: conductores metálicos y húmedos. Volta supuso que cada metal posee una cantidad de electricidad que al ser conectados dos metales diferentes con un material húmedo (sustancia conductora) fluirá una corriente eléctrica al cerrar el circuito.

Por otro lado, Kuhn afirma que esta controversia es crucial para la historia de la física y la química, y como resultado con llevo al desarrollo científico y al cambio revolucionario de la teoría de contacto a la teoría química de la pila voltaica(Khun, 1994), este cambio hace referencia a los conocimientos que se fueron construyendo y transformando a lo largo de la historia⁹, como los aportes desde diferentes ámbitos de la ciencia y la industria, y por último los innumerables investigadores que centraron su interés en obtener mejores

⁹Otros ejemplos que antecede esta controversia y la llamada nueva era de la electricidad, fue los experimentos de Gray y Du Fay que se centraron en analizar cuerpos que al ser frotados o electrificados atraían o repelían otro cuerpo. Inicialmente se pensaba que los efectos de la electricidad eran maravillosos, llenos de virtudes y poderes (Rudomín, 1997)

resultados, no solo desde la funcionalidad de construir una batería duradera sino desde lo económico con su diseño y construcción.

Además, esta controversia científica que tuvo lugar en Europa, ocasionó el interés de muchos académicos y políticos y las diversas situaciones provocaron problemas políticos y acontecimientos trascendentales que a finales del siglo XVIII cambiaron las dinámicas de la vida francesa e italiana, incluso afectando fuertemente las vidas de Galvani y Volta¹⁰.

A continuación, en este capítulo, se mencionan y amplían desde los aspectos experimentales algunas construcciones sobre la naturaleza de la corriente eléctrica, llamada durante el siglo XVIII flujo de electricidad¹¹; cabe aclarar que este capítulo no aborda los modelos de corriente eléctrica presentados por los textos de divulgación, como tampoco se presentan explicaciones con relación a modelos de cargas eléctricas.

Conviene subrayar que la actividad experimental desarrollada durante el siglo XVIII y XIX hace especial énfasis en las características o el comportamiento del flujo de electricidad, los efectos (térmicos, químicos, magnéticos, lumínicos, entre otros) relacionados al producir este flujo y aquellos instrumentos de medida que permitieron para la época definir una cantidad de flujo de electricidad, asimismo se resalta los experimentos recopilados en fuentes primarias como el trabajo de Galvani, Volta, Joule y Faraday.

¹⁰Galvani era un hombre del antiguo régimen, que siempre se opuso a las ideas revolucionarias y republicanas. El 20 de abril de 1798, se negó a tomar el juramento a la República Cisalpina porque la forma en que parecía ser una declaración contra la religión católica. En Pavía no sólo Volta, sino también incluso un sacerdote católico como Spallanzani juró el mismo juramento. Como consecuencia de su acción Galvani perdió su cátedra en la Universidad de Bolonia y murió en la pobreza. Por el contrario, Volta abrazó la causa de la revolución política, mantuvo estrecha relación con el gobierno francés de Lombardía y a cambio de ello Napoleón le concedió grandes honores y lo eligió senador del Reino de Italia (Bernardi, 2000).

¹¹Se nombra de esta manera a la electricidad o corriente eléctrica porque se considera que su comporta de manera análoga a un fluido.

El siguiente esquema sintetiza la actividad experimental como una *actividad dinámica* donde se construye conocimiento, así pues, los investigadores mencionados, elaboraron montajes que les permitieron hacer planteamientos sobre el comportamiento del fluido eléctrico a partir de sus efectos. Múltiples innovaciones de los montajes crearon un ambiente de discusión, elaboración de hipótesis y consideraciones finales que fueron analizadas desde diferentes criterios del montaje experimental. No obstante, otras descripciones al flujo de electricidad se enmarcaban por detectores como el cuerpo humano, animales o instrumentos de medida sofisticados permitiendo cuantificar el flujo de electricidad de acuerdo a los efectos.

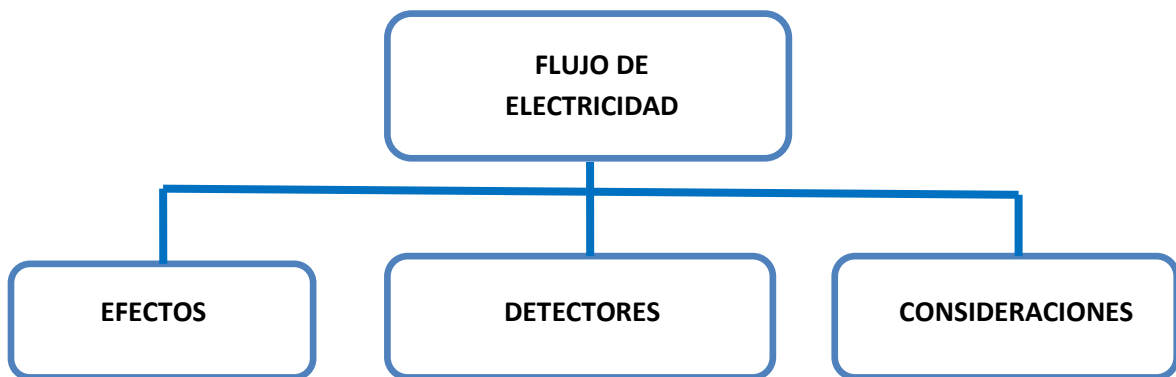


Figura 1. Esquema del flujo de electricidad

Fuente: Elaboración propia

CARACTERISTICAS, EFECTOS Y DETECTORES DEL FLUJO DE ELECTRICIDAD

Las primeras explicaciones de la electricidad se conocen desde la postura de Nollet¹², quien considera que la electricidad es un fluido muy sutil que penetra todos los cuerpos con dos movimientos opuestos, el *afluente* y el *efluente*, estas dos corrientes de fluidos viajan en forma de rayos, divergentes en el caso de ser efluentes y convergentes en caso de ser afluentes.

Otra postura importante es la de Franklin¹³ quien afirma que existen dos tipos de materia; la común y la eléctrica, ambas están compuestas de partículas que tienen una función específica, por un lado, la materia común atrae y retiene el fluido eléctrico en variadas magnitudes y fuerzas; y por otro lado, la materia eléctrica hace referencia a una superficie restringida que forma una atmósfera eléctrica, que tiene la forma del cuerpo que rodea, las partículas presentes en esta materia eléctrica muestran una gran atracción entre ellas. La

¹²Jean Antoine Nollet, eclesiástico y físico francés. Sus principales aportes se centraron en el desarrollo de una teoría de la atracción y la repulsión eléctrica, que supone la existencia de un flujo continuo de materia eléctrica entre cuerpos cargados (Jenkins, 1982).

¹³Benjamín Franklin, fue un político y fabricante Estadounidense. Se dedicó al estudio de fenómenos eléctricos y a la invención de bifocales, pararrayos, la armónica de cristal, un dispositivo de largo alcance, la estufa de Franklin, el catéter, y el horario de verano (Institute)

anterior teoría fue aceptada por varios investigadores, entre ellos Volta¹⁴, y los planteamientos propuestos por Nollet fueron quedando en un segundo plano de menor importancia.

Para Galvani¹⁵ y Volta la electricidad se produce por dos fuentes diferentes: una debida a los animales, en especial la rana, (accidentalmente Galvani descubrió una contracción muscular al colocar un material conductor en el nervio crural¹⁶) y la otra debido a los metales. Estos dos italianos del siglo XVIII defendieron la producción del fluido eléctrico a partir de sus experimentos, generando posturas distintas que fueron discutidas fuertemente entre ellos. En 1794, Volta comenzó a experimentar exclusivamente con metales, concluyendo que el tejido animal presente en la rana no es el único elemento necesario para producir un flujo de electricidad, de esta manera el trabajo de Volta suscitó una fuerte controversia entre los defensores de la electricidad animal y los defensores de la electricidad metálica.

Por otro lado, Galvani postuló la existencia de un fluido neuro-muscular, es decir, que existe un fluido eléctrico muy sutil que se acumula en los nervios y se dirige a los músculos (analogicamente como se guarda en la botella de Leyden). Él consideraba, además, que existe un fluido intrínseco capaz de movilizarse por un fluido extrínseco, al ser este último aplicado a la superficie del músculo, de modo que, el desplazamiento de fluidos existe por

¹⁴Alessandro Volta, fue un científico y físico italiano. Se dedicó a la invención de la pila eléctrica y al estudio del comportamiento de los gases, el cual descubrió la ley de expansión isobárica de aire y el descubrimiento del metano (Volta, 2013).

¹⁵Luigi Galvani, teólogo, médico, fisiólogo y físico italiano. Una de sus investigaciones se centró en el estudio de las manifestaciones fisiológicas, como los músculos, de las ranas por efecto de la electricidad (CECs, 2010).

¹⁶Apretó el canal espinal sosteniendo a la rana de tal forma que las patas tocasen la superficie de una placa con chapa de plata o de oro, a la vez que con la otra mano tocaba un cuerpo metálico sobre la misma superficie de la caja o a los lados. Inmediatamente la rana contraía las patas, que al relajarse tocaban nuevamente la placa y volvían a contraerse, como si estuviera brincando, con lo que se obtenía una serie de contracciones rítmicas (Pera, 1992).

un desbalance entre las partes externas e internas. Para tener un equilibrio entre los fluidos, músculo y nervio, es necesario establecer la comunicación a partir de un arco conductor.

Galvani realizó diferentes montajes experimentales para continuar argumentando su postura de la electricidad animal, para esto, dispuso las patas de las ranas en una superficie plana y posteriormente las ubicó colgadas en una estructura metálica. Las observaciones se centraron en las manifestaciones de la contracción muscular, las cuales variaban según el contacto entre el arco metálico y una zona específica de la pata de la rana, estas disposiciones entre la rana y el arco se encuentran en las siguientes imágenes:

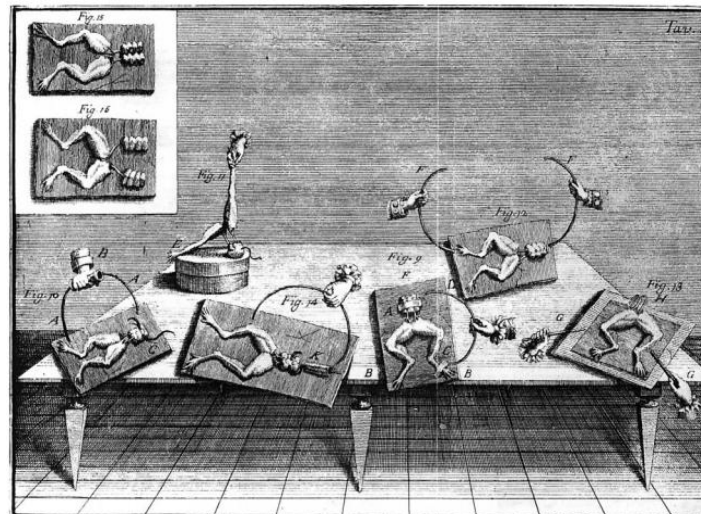




Figura 2. Montajes experimentales de Galvani

Galvani incitó el interés de las comunidades científicas, en especial de médicos y fisiólogos que se asombraron y se motivaron por replicar los experimentos¹⁷ con la rana¹⁸. Galvani afirmaba que los músculos contenían electricidad, por tanto, suponía que los tejidos animales tenían dos tipos de electricidad mantenidos separadamente, de modo que un tipo de electricidad quedaba en los nervios y el otro en los músculos, cuando los nervios y los músculos se unían por un conductor bimetálico la electricidad se descargaba y los músculos se contraían (Latorre, López-Berneo, Bezanilla, & Llinás, 1996).

Posteriormente, cuando Volta se enteró de los resultados e interpretaciones de Galvani se dedicó a hacer diversos experimentos electrofisiológicos en los cuales concluyó que la electricidad se produce por contacto entre metales de distinta naturaleza (zinc, cobre, oro, plata, entre otros), es decir, la diferencia entre metales eran los responsables de que se

¹⁷ Bernardi afirma que la primera fase de la controversia tuvo lugar en la comunidad de médicos entre los que defendían las ideas fisiológicas de Albrecht von Haller.

¹⁸ Eusebio Valli fue el primer autor en publicar un pequeño periódico sobre medicina y electricidad animal (Castellanos García, 1934, pág. 286).

genera la electricidad y no como argumentaba Galvani que el origen de la electricidad provenía del tejido de la rana. Debido a lo anterior, Volta concluye que la existencia de una contracción requiere un contacto entre conductores diferentes, lo cual implica una disimilitud de conductores y no exclusivamente una disimilitud de metales.

El contacto entre dos metales diferentes (por ejemplo, un disco de plata y estaño) producen una fuerza que induce a la primera a generar fluido eléctrico y a la segunda a recibirlo. Si el circuito contiene conductores húmedos se generará un fluido que viaja de una placa a otra por el camino del conductor húmedo (Pera, 1986, pág. 120).

Subsiguiente a este planteamiento, Volta en sus escritos de 1792, se refiere explícitamente a la electricidad bimetálica concluyendo que los metales no deberían considerarse como conductores simples sino como, *verdaderos motores de electricidad, ya que al ponerse en contacto rompen el equilibrio del fluido eléctrico pasándolo de su estado estacionario, en reposo y moviéndolo de un lado al otro. Más aún, metales como la plata lo succionan mientras que metales como el zinc lo depositan* (Rudomín, 1997, pág. 18). En otras palabras, propone que los metales tienen un poder electro motor que reside en el contacto entre dos metales diferentes y un cuerpo húmedo.

Volta con sus múltiples experimentos tenía la finalidad de construir un aparato que permitiera tener una carga inagotable, una acción perpetua o impulso de fluido eléctrico, para ello se describen a continuación, dos experimentos cruciales de su trabajo: órgano eléctrico artificial o aparato de columna y corona de tazas¹⁹. En ellos, Volta establece unos

¹⁹Estos fueron comunicados en una carta dirigida a Sir Joseph Banks, presidente de la Royal Society en el año 1800.

criterios sobre cómo se concibe la electricidad (flujo) a partir del cambio en los materiales y la disposición de los mismos.

En el primer experimento se dispone de diferentes discos metálicos, un líquido conductor²⁰ y trozos de un material absorbente como el papel o el cartón. Para hacer el montaje, aparato de columna, se ubica un disco del primer metal, luego un disco del segundo metal, en seguida un trozo del material (absorbente) humedecido o embebido por el líquido o solución conductor (agua salada u otra solución ácida), posteriormente, se coloca otro disco del primer metal, y así sucesivamente se continúa ubicando los materiales conductores. La sucesión alternada de disco del primer metal, segundo metal y líquido conductor en un material absorbente, se repite un número entero de veces, Volta, realizó el montaje con un máximo de ocho sucesiones (Khun, 1994).

Volta organizó parejas de metales que tenían efectos similares, para ello, estableció dos grupos, en el primero se encontraban el cobre, el latón, el oro y la plata y en el segundo grupo se encontraban el estaño, el zinc y el plomo, en el cual los mejores efectos resultaban de la combinación de la pareja entre plata y zinc. Otras parejas, con menores efectos, eran la plata con el plomo o estaño y el cobre con el estaño.

²⁰Volta clasificó los materiales conductores en dos clases: la primera clase constituía los conductores metálicos y en la segunda clase constituía las materias húmedas; es decir las sustancias líquidas; estos materiales conductores estimulaban el fluido eléctrico.

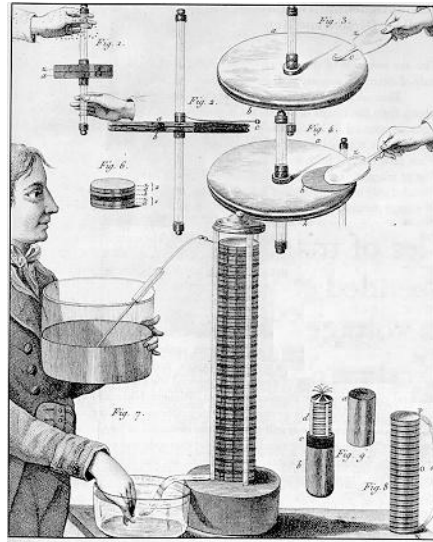


Figura 3. Aparato de columna

Para establecer el efecto o la acción de cada montaje y la cantidad de materiales conductores dispuestos para el mismo, Volta utilizó el cuerpo humano como detector de los efectos. Describe que al colocar la mano en el recipiente se siente un picor llamado conmoción²¹, que se debe a un fluido eléctrico que se produce entre el contacto de dos conductores metálicos y un conductor líquido. Con este experimento concluyó:

Las conmociones aumentan al tener mayores niveles de platos con embebido o solución conductor. Es decir, entre más platos, mayor conmoción y mayor efecto. El fluido eléctrico pasa con mayor facilidad en distintos puntos y su retraso se debe a que no hay un amplio contacto entre los platos o conductores metálicos.

Sin embargo, al cambiar el embebido, es decir la sustancia conductora, cambia la fuerza o acción de la conmoción. Adicionalmente, las conmociones son más sensibles cuando las temperaturas son más altas que la del ambiente, haciendo que el embebido se convierta en

²¹Otra forma de identificar la conmoción es empleando un electrómetro de Cavallo.

un mejor conductor del fluido eléctrico. Y el efecto es más intenso en un dedo que al colocar la mano completa en el recipiente.

Volta comprobó que es necesario utilizar dos metales de distinta naturaleza y un medio conductor. Sin embargo, el montaje de aparato de columna tenía la dificultad de mantener quietos los discos ubicados de forma vertical.

Por esta razón, propone un segundo experimento en el cual utiliza recipientes o tazas comunicantes de cualquier material como madera, concha o barro exceptuando alguna taza fabricada con algún metal, pues los efectos se reducen. Inicialmente Volta utilizó dos tazas las cuales contenían líquidos alcalinos distintos, para la comunicación entre las tazas conectó un arco metálico, que en sus extremos soldaba dos metales y finalmente, estas placas de metal se sumergían en las tazas. La organización establecida entre los pares de metal, del primer experimento, le permitió reducir el análisis de la disposición de metales y se centró en analizar y obtener los mejores efectos producidos en cadena.

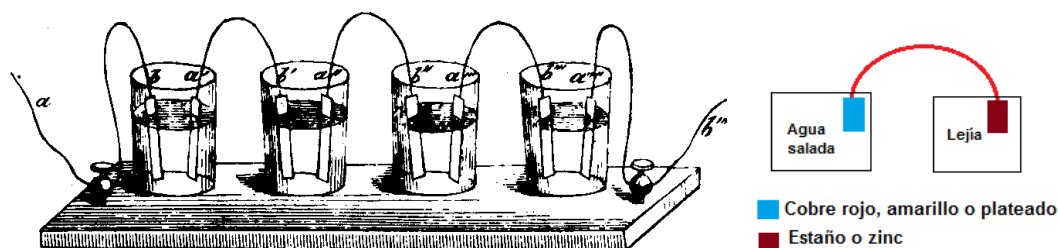


Figura 4. Corona de tazas

Luego, analizó que la disposición y orden de los metales afectaba los efectos y la fuerza de la conmoción, por lo que decide ubicar, por ejemplo, las placas de zinc (Z) y de plata (P) como se muestra en la figura:

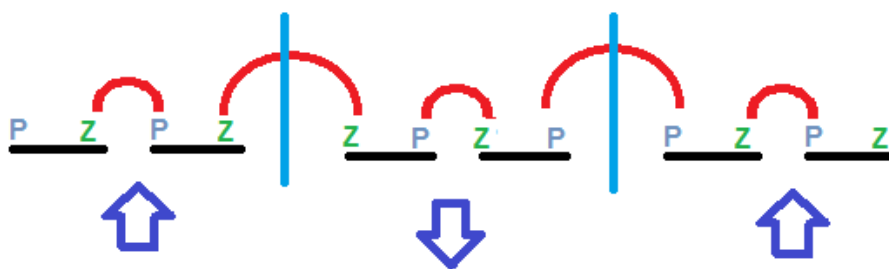


Figura 5. Comprobación de la conmoción en la corona de tazas

Con la anterior disposición de las tazas, Volta encontró que placas de igual material PP o ZZ contrarrestaba la conmoción y la fuerza, y por tanto se debilitaban sus efectos (Ver figura 5). La flecha hacia abajo o la del centro indican que la conmoción disminuye y la flecha hacia arriba significa que aumenta y este efecto o la conmoción se puede “sentir” al cerrar el circuito o la comunicación. Para ello, Volta, ubicó sus manos y otras zonas del cuerpo humano al inicio y final de las tazas, cumpliendo las zonas del cuerpo humano la función del arco metálico. Con este experimento concluyó que:

El fluido eléctrico traspasa de una superficie a otra, es decir de una taza a otra cuando se colocan las placas metálicas de manera conveniente. Para que la conmoción se pueda sentir es necesario que exista un contacto conveniente, es decir ocurre solo si los elementos que componen la comunicación están en contacto.

Los experimentos tienen efectos sobre los sentidos, es decir, el fluido eléctrico irrita los órganos del gusto, la vista, el oído, el tacto y el olfato. Para obtener mejores resultados y un amplio contacto se deben humedecer muy bien las zonas del cuerpo humano sensibles o delicadas (como la frente, el párpado, la punta de la nariz) con el líquido conductor dispuesto al interior de las tazas. La sensación de dolor es más fuerte y punzante cuando la piel que entra en contacto ha sido levantada, tiene una pequeña incisión o alguna herida.

Cuando el detector es el tacto, para cerrar el circuito se debe sumergir profundamente la mano o los dedos en las tazas con un líquido conductor, una vez sumergidas se siente de inmediato un golpe o un pinchazo, pero pasado un tiempo aparece la sensación de un dolor agudo (sin sacudidas) (Sallent del Colombo, 1798/2000, pág. 14)

Además Volta encontró que la sensación de sabor cambia al acercar la lengua a los dos metales que se han empleado. El fluido eléctrico que recorre el circuito tiene una dirección (del interior hacia el exterior de la parte sensible), es decir, al colocar la punta de la lengua hacia la placa de zinc, la sensación era decididamente ácido, y por tanto, el flujo de electricidad iba contra él y entraba. Por otro lado, cuando la punta de la lengua se acercaba a la placa de plata el sabor era agrio, tirando a alcalino, era menos fuerte y más desagradable, es decir, el flujo de electricidad salía de la punta de la lengua. Cabe resaltar, que también, la sensación de pinchazo ocurre inmediatamente cuando se sumerge la punta de la lengua y después de algunos instantes aparece el sabor y una convulsión o temblor en una parte o toda la lengua (Sallent del Colombo, 1798/2000, pág. 16).

Al conectar la corona de tazas con el sentido de la vista, es decir, colocándose las terminales en la retina (bulbo) o en el párpado de los ojos se obtiene una luz muy débil y pasajera. Asimismo, la retina con la frente cuando se conecta en los extremos del circuito, las mejillas, los labios, la garganta o cualquier otra zona de la cara se obtiene una luz pasajera que varía según la zona sobre la que se lleva la acción del flujo de electricidad (Sallent del Colombo, 1798/2000, págs. 17-18).

Al tener la lámina metálica apretada entre los labios, y en contacto con la punta de la lengua aparece una sensación de luminosidad en los ojos, una convulsión en los labios y en la lengua y finalmente una sensación de sabor, si la corona de tazas es lo suficientemente grande y el flujo de electricidad lo bastante fuerte(Sallent del Colombo, 1798/2000, pág. 18).

Cuando se conectan las terminales de la corona de tazas con el sentido del olfato, por ejemplo al interior de la nariz, se obtiene un pinchazo más o menos doloroso y unas conmociones más o menos extendidas, según dicha corriente sea más o menos fuerte(Sallent del Colombo, 1798/2000, pág. 18).

Y finalmente, cuando se conectan las terminales de la corona de tazas con el oído, por ejemplo, al interior de las orejas conectadas a unas sondas o fustas metálicas de puntas redondeadas y humedecidas, se obtiene una sacudida en la cabeza, posteriormente un sonido o un ruido como un crujido y finalmente una sacudida en el cerebro(Sallent del Colombo, 1798/2000, pág. 18).

Volta se interesó por buscar las combinaciones más efectivas de conductores diferentes para producir electricidad, la búsqueda de formas más adecuadas para lograr obtener una pila eficiente, capaz de restablecerse por sí misma logrando que la acción o la conmoción fuera un impulso perpetuo (constante) sobre el fluido eléctrico fue el mayor desafío para él.

Volta, en sus investigaciones omite los aspectos químicos (composición química de la solución conductora) que favorecen el proceso de producción de electricidad, sin embargo

centra su atención en defender la teoría de electricidad por contacto argumentando que era idéntica a la electricidad galvánica.

De esta manera, Volta asume que el flujo de electricidad es constante en un circuito con baterías dispuestas convenientemente, es decir, la cantidad de corriente o flujo es continúa. Fue la inexistencia de un instrumento para cuantificar este fluido una de las limitaciones principales, que tuvieron Galvani y Volta para describir la acción del fluido eléctrico a través de una rana o el cuerpo humano,.

OTROS EFECTOS Y MEDIDAS DEL FLUJO DE ELECTRICIDAD

El desafío que enfrentaron grandes investigadores fue intentar construir una batería de gran intensidad, que permitiera que este flujo permaneciera constante por un lapso de tiempo bastante largo, adicionalmente que los materiales conductores no se desgastaran con facilidad y que el montaje fuera de bajo costo y de fácil construcción.

Para analizar otros montajes experimentales de la producción de flujo de electricidad, cabe resaltar los trabajos propuestos por Joule²², quien para la época ya conocía una clasificación de los mejores materiales conductores para la elaboración de una pila. Estos trabajos tuvieron dos enfoques, el primero consistió en cambiar la solución conductora y describir los efectos producidos por estas nuevas interacciones (principalmente cambios físicos), y el segundo enfoque consistió en poder establecer una magnitud de los efectos producidos a partir de la utilización de instrumentos de medida.

²²James Prescott Joule (1818-1869) físico inglés, famoso por sus innumerables aportes para el progreso científico, entre ellos, se destaca el principio de interconvertibilidad de calor, el principio de conservación de la energía y los experimentos sobre las máquinas eléctricas (Pérez, 2005, pág. 1)

Joule plantea sus experimentos con base al montaje experimental corona de tazas propuesto por Volta, el cual clasificó el cobre y el zinc (en ocasiones se ha amalgamado la superficie) por ser una pareja de buen conductor para el flujo de electricidad, sin embargo, Joule investigó las interacciones entre placas metálicas al modificar la solución conductora y centró su atención en caracterizar los diferentes efectos y cambios generados en cada elemento del montaje, placa metálica y solución conductora.

Joule afirma que, según las reacciones químicas, las placas metálica sufren un precipitado causado por la ACCIÓN LOCAL, es decir, al sumergir las placas en una solución conductora, como una solución ácida, se inicia un proceso de reacciones químicas, en las cuales se producen unos efectos de inmersión inmediatos a la superficie que entra en contacto con la solución, e incluso estos efectos pueden llegar a provocar cambios físicos drásticos como la destrucción de la placa metálica. Durante el proceso de las reacciones químicas se genera, en algunas placas, un burbujeo al nivel de la solución con la placa denominado por Joule efervescencia o precipitado el cual pequeñas partículas sólidas se agrupan en la placa.

También, cabe resaltar que Joule se preocupó por establecer un montaje el cual se pudiera eliminar la acción local, para ello, intentó que los efectos de inmersión no sean duraderos e intensos, pues esto, no permite que los conductores participen activamente en la propagación del flujo de electricidad. Para reducir la acción local se debe ubicar la superficie total de cobre en frente de la superficie total de zinc amalgamado, y si en el montaje se emplea una solución de ácido sulfúrico diluido se debe primero sumergir la placa de zinc, posteriormente hacer las conexiones placa de zinc con placa de cobre por medio de un alambre y finalmente sumergir la placa de cobre en la solución, de esta manera

la acción local se reduce y después de un tiempo pasara los efectos inmediatos de inmersión.

Los experimentos, elaboración de pilas, realizados por Joule le permitieron analizar y comparar sus observaciones y resultados teniendo como referencia las pila de Wollaston²³, Daniell²⁴, Grove²⁵ y Poggendorff²⁶. Como antes se mencionó, la preocupación de Joule tiene dos enfoques los cuales se evidencian claramente en sus montajes, de esta manera cabe resaltar algunos montajes concluyentes, la disposición establecida para los elementos conductores y los análisis que emergen en cada uno de ellos:

Experimento 1: Sumergir una placa de cobre y una placa de zinc en ácido sulfúrico diluido²⁷ como se muestra en la figura, luego conectar los extremos de cada placa a un detector para permitir que exista un flujo de electricidad (corriente eléctrica). Al cabo de un tiempo, el ácido sulfúrico reacciona químicamente con cada placa, obteniendo que la solución en la placa de cobre tome un tinte azul debido a que se produce una solución de óxido de cobre y en la placa de zinc se produce un precipitado causado por la acción local²⁸.

²³William Hyde Wollaston, fue un físico y químico británico que perfeccionó la pila inventada por Volta y diseñó un motor eléctrico, otras investigaciones lo llevaron a descubrir el paladio y el rodio y analizar los elementos de Sol(Varela).

²⁴John Frederic Daniell, fue un químico y físico británico, inventó la pila que lleva su nombre en 1836, un higrómetro y un pirómetro. Se destaca por sus innumerables investigaciones al campo de la meteorología (Daniell, Miller, & Tomlinson, 1845, pág. 19)

²⁵William Robert Grove fue un juez y científico galés, uno de los primeros en inventar la pila voltaica, que lleva su nombre, demostró experimentalmente la descomposición electrolítica del agua, desarrolló una de las primeras luces incandescentes y creó la primera pila de combustible. Publicó un ensayo "La correlación de las fuerzas físicas", y dirigió la reforma de la Royal Society(Rhys Morus, 2017, pág. 5).

²⁶Johann Christian Poggendorff, físico alemán, investigó sobre la electricidad, magnetismo y metrología. Ideó una serie de dispositivos de medición, incluyendo la pila eléctrica de bicromato, el galvanoscopio y el espejo Poggendorff. Además fue director de la publicación científica Annalen der PhysikundChemie(Weisstein, 1996).

²⁷Una solución diluida de ácido sulfúrico tiene dos elementos, el soluto que hace referencia al reactivo ácido sulfúrico y el solvente que hace referencia a una sustancia que permite disolver al reactivo. De esta manera una solución diluida tiene mayor cantidad de solvente en proporción a la cantidad de soluto utilizado. Además, la solución diluida esta disuelta gradualmente para obtener una mezcla homogénea.

²⁸Esta disposición de metales produce un flujo de electricidad de igual intensidad al producido en la pila de Daniell.

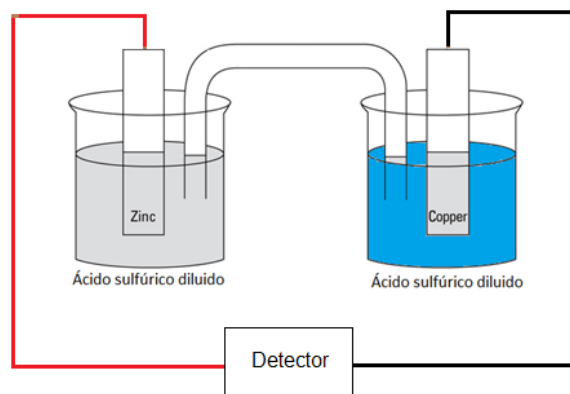


Figura 6. Cambios de color

Con la finalidad de reducir la acción local en la placa de zinc sumergida en ácido sulfúrico, obtener un flujo de electricidad constante y una pila de gran intensidad, Joule se esfuerza en proponer el mejor método para permitir que las superficies metálicas adaptadas tengan una gran cantidad de electricidad transmitida a cada par de placas, es así que se destacan los siguientes dos experimentos:

Experimento 2: Con base en la pila de Wollaston o pila de bocales, que consiste en doblar las placas de cobre y zinc en forma de U, de tal manera que la primera placa de cobre envuelva a la placa de zinc, posteriormente otra placa de zinc envuelve a otra placa de cobre hasta completar aproximadamente 16 parejas, luego se sueldan los bornes o terminaciones de las placas, cobre – zinc, para obtener un mejor contacto y finalmente se introducen verticalmente las parejas conectadas en recipientes (bocales) de vidrio llenos de agua acidulada (Ganot, 1862, pág. 485).

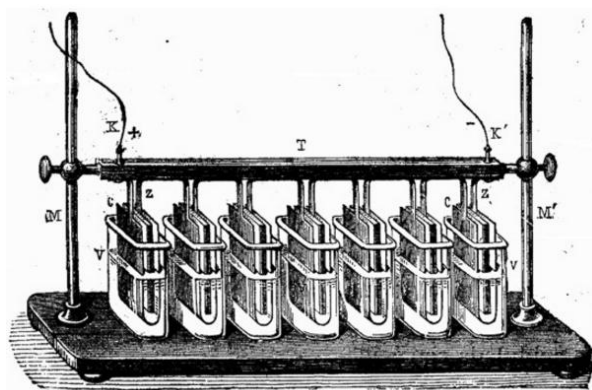


Figura 7. Pila de Wollaston²⁹

Joule propone una disposición de conductores (húmedos para el caso del ácido sulfúrico diluido y metales para las placas de zinc – cobre) para reducir la acción local y la estabilidad de las reacciones químicas producidas por la interacción de los conductores, especialmente para la placa de zinc, pues está se precipita inmediatamente al entrar en contacto con el ácido sulfúrico diluido.

La disposición a la que alude Joule consiste en ubicar 10 placas de zinc al interior de las placas de cobre previamente dobladas en forma de U, las placas de cobre están previamente pulidas y calentadas hasta alcanzar el color rojo, una vez preparadas las parejas de placas se colocan en celdas de un canal vacío(A-B), para sostener las placas con las celdas se dispuso en la parte superior del montaje soportes de madera (a,a,a) y finalmente un perno horizontal para sujetar las placas y el soporte de madera(Joule, 1884, pág. 38). Una vez dispuesto todos elementos del montaje se vierte el ácido sulfúrico diluido en la placa de cobre que ha sido doblada como se muestra en la siguiente figura:

²⁹Las letras C y Z hacen referencia a la placa de cobre y zinc respectivamente, las letras M y T a los soportes del montaje y las letras –K y K son los cables de salida de la pila.

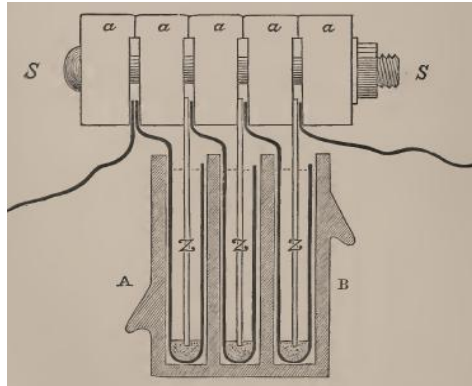


Figura 8. Pila de Joule modificada

Joule observó que este montaje produce unos efectos caloríficos pasados dos minutos, debido a este efecto un gas se desprende de la placa de cobre y la intensidad de corriente eléctrica se reduce a la mitad y es más constante comparada con el experimento 1.

De acuerdo con los resultados anteriores, Joule investiga otras pilas para comparar las intensidades, los elementos conductores y pone de referencia los experimentos mencionados anteriormente. Principalmente los comparó con la pila de Daniell y Grove, a continuación se presenta las disposiciones de las otras pilas y los parámetros analizados por Joule:

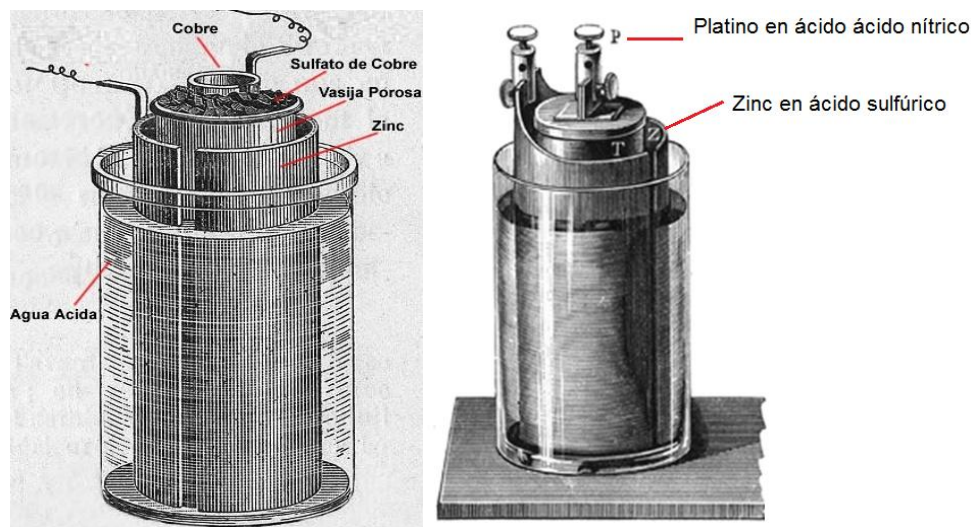


Figura 9. Pila de Daniell y Grove

Al comparar el experimento 1 y 2, se puede concluir que:

La batería del profesor Daniell tiene la misma intensidad de corriente, si el fluido en contacto con el cobre es una solución de nitrato o sulfato de cobre. Y las intensidades de los arreglos de Grove y Daniell tienen una relación de dos y cincuenta y cinco. Los experimentos de Joule se encuentran en intensidades de proporción de 22.515 a 13.552³⁰.

La intensidad de la pila de cobre-zinc, en el instante de su inmersión con el ácido sulfúrico diluido, es igual en reacción de inmersión a la pila o celda de Daniell. Sin embargo, los pares de cobre-zinc y platino-zinc tienen respectivamente las mismas intensidades de los arreglos de Daniell y Grove, si se sumergen en soluciones de ácido nítrico suficientemente fuerte³¹ para evitar el desprendimiento de gas hidrógeno.

³⁰ Estas mediciones fueron realizadas por un galvanómetro

³¹ Hay mayor cantidad de soluto o reactivo comparado con la cantidad de solvente en la solución

Faraday, en sus experimentos utilizó una pila con ácido nítrico diluido logrando producir poca acción local con igual intensidad a la producida por la pila de Joule. Para esto, reformo el conductor húmedo (ácido) compuesto con 16 medidas de agua, 3 medidas de fuerte ácido de vitriolo y una medida de ácido nítrico. De esta manera, Joule realizan nuevamente el experimento 2 utilizando las proporciones de solución mencionadas, encuentra que la cantidad de electricidad transmitida fue mayor comparada con la pila de Daniell, hay una parte de ácido nítrico descompuesta por el hidrógeno naciente de la placa de zinc (considerada la placa negativa, porque pierde propiedades físicas debido a reacciones químicas como el desgaste en la placa) y desde el punto de vista económico no es aconsejable utilizar esta solución de ácido nítrico; por el contrario se puede emplear el equivalente de ácido nítrico al ácido sulfúrico.

Con el propósito de reducir los efectos de inmersión, Joule considera que las condiciones atmosféricas del medio afectan las placas metálicas y por ende las reacciones químicas; adicionalmente al variar las características de los conductores metálicos cambian las intensidades producidas manteniendo una relación correspondiente a la interacción conductor metálico y húmedo. Con esto Joule propone un nuevo experimento, el cual él se preocupa en variar solamente la superficie de cobre que entra en interacción con el ácido sulfúrico diluido, debido a que la placa de zinc presenta mayores cambios físicos siendo este más sensible a las reacciones químicas.

Experimento 3: Utiliza una superficie circular de cobre, hecha de alambre de cobre, que se fija en un eje horizontal conectado a un recipiente con ácido sulfúrico diluido, el eje horizontal debe permitir un movimiento giratorio a la placa. Esta placa a su vez se

encuentra conectada entre una placa de zinc amalgamado y un galvanómetro (Joule, 1884, pág. 56). Una vez se tiene esta disposición se comienza a girar la placa circular de cobre de la cual una parte de su circunferencia queda expuesta a la atmósfera y la otra parte queda sumergida en el ácido. En este experimento Joule concluye:

La corriente eléctrica generada en estas circunstancias es de igual intensidad a la producida por pila de Daniell, cuando el flujo de electricidad atraviesa 120 yardas de alambre de cobre de $\frac{1}{40}$ de un diámetro de pulgada. No obstante, cuando se emplea un alambre de cobre de mayor conducción de flujo de electricidad, es decir de mayor diámetro, la intensidad aumenta considerablemente. Pero esta cantidad de corriente eléctrica producida no es equivalente a la cantidad de oxígeno absorbida de la atmósfera.

Al aumentar el tamaño del disco la intensidad aumenta considerablemente, elevando la intensidad producida en la pila de Daniell, aun cuando los elementos estaban conectados por un corto y espeso alambre. Sin embargo, analizando los resultados mencionados anteriormente, Joule decide no emplear el aparato giratorio para próximos experimentos y análisis pues los resultados obtenidos no son superiores a los del primer experimento.

Efectos calóricos producidos por el paso de una corriente eléctrica

Como se ha mencionado, la presencia de burbujas o efervescencia en los conductores metálicos y el desprendimiento de gas de hidrógeno producido por electricidad voltaica, le permitió a Joule realizar los experimentos descritos anteriormente, sin embargo otros efectos como la producción de calor fueron analizados. Su nuevo objetivo fue encontrar la

causa de los diferentes grados de facilidad con que los diversos tipos de metales, de diferentes tamaños, se calientan por el paso de la electricidad voltaica(Joule, 1884, pág. 59).

Para este propósito se emplea una bobina de alambre conductor hecha alrededor de un tubo delgado de vidrio, un recipiente con una cantidad de agua específica, un termómetro graduado³² para medir los cambios de temperatura, una pila voltaica y un galvanómetro para indicar la cantidad de electricidad. Primero se hace la bobina de un alambre conductor, como cobre, hierro o mercurio, teniendo en cuenta el espesor y la longitud de alambre utilizado, posteriormente la bobina y el termómetro se sumergen en el recipiente con agua, luego se mide la cantidad de electricidad de una pila voltaica con un galvanómetro. En efecto, la cantidad de electricidad producida en la pila se transmite por la bobina, hace calentar el agua del recipiente y esta variación de temperatura produce una descomposición y disminución del volumen de agua.

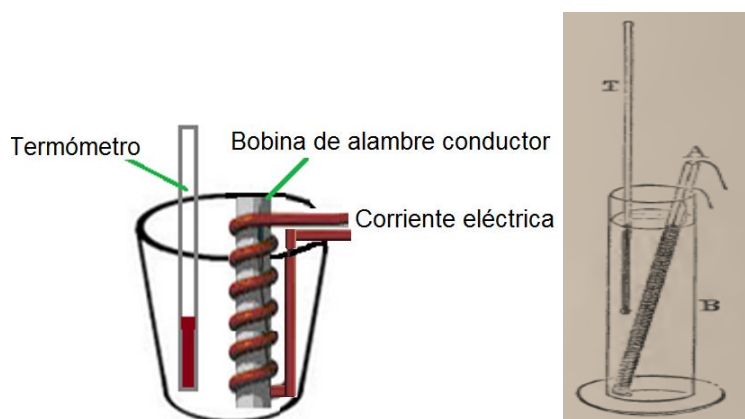


Figura 10. Montaje para analizar la producción de calor

Con el fin de determinar la relación del calor producido por una cantidad de electricidad, Joule propone otros experimentos donde varía el alambre conductor, las dimensiones del

³² El termómetro tiene una escala graduada, la cual equivale a la décima parte de la escala de Fahrenheit.

mismo y la magnitud de los efectos producidos para cada uno de ellos, debido a que suponía, que la resistencia a la conducción es la única causa de los efectos de calentamiento.

Cuando Joule analiza los experimentos de Faraday sobre la electrolisis³³ construye una escala la cual supone que la cantidad de corriente capaz de electrolizar un equivalente químico expresado en gramos por hora de tiempo se va llamar GRADO(Joule, 1884, p. 59). Y con base en los resultados del galvanómetro y el volumen de descomposición del agua se define la magnitud para 1 grado, estableciendo como referencia que la descomposición del agua hace desviar la aguja magnética del galvanómetro³⁴33,5° (*Ver instrumentos de medida sobre el flujo de electricidad*) y hace descomponer 9 gramos de agua por hora producto de las reacciones químicas.

Para realizar las mediciones se debe tomar la temperatura del lugar en donde se realiza el experimento, luego la temperatura del agua antes de transmitir una corriente eléctrica a la bobina y finalmente se debe medir la temperatura una vez se agite suavemente el agua después de hacer pasar una corriente por la bobina, lo anterior, con la finalidad de determinar si existe una variación de temperatura en el agua debido a la corriente transmitida a la bobina.

Teniendo en cuenta el montaje general y las debidas precauciones para realizar las mediciones, Joule propone los siguientes experimentos en los cuales mantiene constante la cantidad de agua (9 onzas) en un tiempo de una hora y varía el alambre y la cantidad de

³³ Los elementos electrolíticos experimentan la acción local debido a la corriente eléctrica

³⁴ La tangente de la desviación de la aguja magnética del galvanómetro es proporcional a las cantidades de electricidad.

corriente eléctrica, la medida de la temperatura inicial esta en unidades Q, según la graduación al termómetro hecha por Joule:

No.	Tipo de alambre	Largo del alambre	Grosor del alambre	Cantidad de corriente	Temperatura inicial	Cantidad de calor (Joule)
1	Cobre	1,82 metros	0,09 metros	1°	0,1Q	13° en 1 hora
2	Cobre	1,82 metros	0,05 metros	1°	0,1 Q	3,4° en 1 hora
3	Cobre	1,82 metros	0,05 metros	1,25°	0,2 Q	4,4° en 1 hora
4	Mercurio	1,82 metros	0,05 metros	1,25°	0,2 Q	2,9° en 1 hora

Figura 11. Mediciones de Joule para tipo de alambres

Joule retomó los experimentos iniciales con la finalidad de realizar mediciones de cantidad de corriente, temperatura y cantidad de calor, para lo cual encontró:

No.	Tipo de alambre	Tiempo	Cantidad de corriente	Cantidad de calor (Joule)
1	Pila zinc - hierro	26 minutos	2,54°	6,22°
2	Pila con ácido sulfúrico	45 minutos	2,085°	7,04°
3	Pila plata platinada - cobre	60 minutos	1,88°	7,47°

Figura 12. Mediciones de Joule para tipo de pila

Algunas de las conclusiones que Joule extrae de los análisis a los resultados de sus experimentos son(Joule, 1884, p. 60):

Si se trasmite una misma cantidad de electricidad a un alambre grueso y otro delgado de igual longitud, se obtiene que el de mayor diámetro descompone agua en mayor proporción que la descompuesta por el alambre de menor diámetro, aumentando 5,5Q. la temperatura.

Joule estableció una proporcionalidad, de 8 pies a 3 pies, entre el diámetro del alambre de cobre grueso y delgado para obtener los resultados mencionados anteriormente. El efecto producido por la intensidad de corriente eléctrica es aproximadamente el cuadrado de cada elemento conductor metálico, por esto, afirma Joule que la resistencia debería ser aumentada en un doble del radio del espesor del alambre.

Al comparar el montaje número 3 y 4 de la anterior tabla, Joule concluye que la cantidad de calor es proporcional a la resistencia (longitud, espesor, diámetro, forma y tipo de metal conductor). Joule determinó que esta resistencia de conducción es la única causa del calor producido en la conexión del cable de la pila voltaica, sin embargo hay que determinar la cantidad de calor generado por la cantidad de metal.

De ahí que los efectos caloríficos son proporcionales a la resistencia opuesta a su paso, cualquiera que sea la longitud, grosor, forma o tipo de metal que cierra el circuito. Asimismo los efectos caloríficos tienen relación con el doble de las cantidades de electricidad transmitida, y, en consecuencia, una relación con el doble de la velocidad de transmisión y el calor producido por la combustión de zinc en oxígeno es también la consecuencia de la resistencia a la conducción eléctrica.

Hay un proceso de electrolisis, el cual se desprende calor por los conductores metálicos, y la facilidad con que el metal se caliente por corriente voltaica es proporcionalmente inversa al *poder* que tiene el conductor.

Cuando se repite varias veces el experimento, los resultados llevan a las mismas proporciones como si no existieran agentes de enfriamiento extraños durante una hora, a pesar que es difícil conservar la temperatura ambiente. Cuando existen variaciones elevadas de temperatura ambiente, se hace necesario emplear una mayor cantidad de agua para reducir los efectos de enfriamiento.

La temperatura final determinada en el experimento se obtiene de restar la temperatura del ambiente con la temperatura media del líquido, adicionalmente se considera que la temperatura del líquido se reduce con una rapidez no lineal.

Finalmente el trabajo de Joule permitió establecer las siguientes leyes:

1. La cantidad de calor por unidad de tiempo es proporcional al producto de la resistencia del conductor y el cuadrado de la intensidad de corriente eléctrica.
2. Una cierta cantidad de electricidad voltaica produce un cierto grado de calor, pasando por un determinado conductor.

EXPERIMENTOS QUE RELACIONAN LOS EFECTOS ELECTRICOS CON LOS EFECTOS QUIMICOS

Los experimentalistas se inquietaron por explicar y cuantificar los efectos producidos por el paso de una corriente eléctrica. Algunos se inquietaron por construir pilas eficientes (generar mayor corriente eléctrica y durabilidad) y económicas, clasificando así los mejores

conductores metálicos y líquidos. Algunos experimentalistas se preocuparon por las características de estos conductores que interactuaban entre sí, logrando hacer montajes para los cuales por ejemplo pulían los metales o calentaban los conductores líquidos.

Otros experimentalistas se preocupaban por medir la cantidad de corriente que generaba una pila, de tal manera que ellos se enfocaron en estudiar la magnitud de sus efectos, como lo son principalmente los efectos magnéticos y los efectos químicos.

Para los efectos magnéticos se construyeron numerosos galvanómetros, que lograron establecer una magnitud exclusivamente relacionada a este efecto. Este instrumento de medida consistió en hacer desviar una aguja imantada por el paso de una corriente eléctrica.

Para los efectos químicos se utilizaron montajes que permitieron cuantificar la interacción entre los conductores metálicos y líquidos, como lo es la descomposición electroquímica propuesta por Michael Faraday³⁵. Él centró sus trabajos en realizar montajes que evidenciaran un cambio físico y químico debido a la interacción química, para la cual propone una ley central: *Hay una acción de la electricidad en la composición y descomposición de diferentes sustancias*(Faraday, 1834, pág. 80). Faraday propone para que ocurra la descomposición de una sustancia es un requisito indispensable que haya conductividad y la facilidad con la que se descompone depende de la afinidad que hay entre los elementos que la conforman³⁶.

En un proceso de descomposición hay una fuerza capaz de descomponer los componentes que interactúan, como lo son la sustancia y la superficie metálica. Faraday consideraba que la fuerza no está en los polos (vías de acceso o salida de la corriente eléctrica) sino dentro

³⁵ Michael Faraday, químico y físico londinense, realizó grandes aportes a la comprensión del electromagnetismo y la electroquímica. Construyó un generador electrostático rudimentario y elaboró una pila voltaica. En 1820, descubrió nuevos compuestos, originados del Carbono y el Cloro, como el Etileno. Así mismo, desarrolló investigaciones sobre las aleaciones del Acero, sentando las bases de la Metalurgia científica. En 1825, logró aislar y descubrir el Benceno. Así mismo fue el primero en lograr la licuefacción de un gas permanente. Finalmente descubrió el principio de la inducción electromagnética, por medio del cual funcionan mecanismos como el generador y el transformador eléctrico(Historia Universal).

³⁶ Para poder explicar sus experimentos, Faraday utiliza términos diferentes en significados a los actuales, de esta manera utilizo los términos como electrodo para referirse a una superficie de la sustancia entre las cuales se realiza el proceso de la descomposición de la materia en la dirección de la corriente eléctrica, sin embargo cabe mencionar que también creó los términos cátodo, ánodo, catión, anión, electrolito, electrolizar y ion, entre otros(Faraday, 1834, pág. 80).

del cuerpo en descomposición. Faraday argumenta que en este proceso la acción de descomposición química de una corriente eléctrica es constante para una cantidad constante de electricidad y esta *descomponibilidad* debe tener una *relación de los proporcionales o equivalentes* de los elementos (Faraday, 1834, pág. 81). Para comprobar este argumento proponen varios experimentos en el que concluyen que condiciones determinadas, como la variación del tamaño del electrodo y la concentración de la solución, no afecta la magnitud de la acción química cuando la cantidad de electricidad permanecían constante.

El experimento que se destaca es la descomposición de agua, donde una cantidad de agua es descompuesta exactamente en proporción a la cantidad de electricidad que ha pasado, es decir, es proporcional a la descomposición de sustancia, encontrando así un equivalente químico donde relaciona la cantidad de sustancia descompuesta con la cantidad de volumen desprendido por la acción química. Faraday estableció como patrón de medida para comparar el agua, pues este es un buen conductor cuando se agrega a ácidos o sales, adicionalmente se descompone con facilidad y los gases desprendidos por la acción química se pueden recoger con métodos de medición sencillos. Así, Faraday encontró que el oxígeno aparece en el *ánodo*, o electrodo positivo, y el hidrógeno (o el azufre) siempre aparece en el *cátodo*, o electrodo negativo, y el gas se desarrolló en el electrodo positivo.

Faraday propone su propia teoría, en la cual considera que la descomposición electroquímica conduciría a la expectativa de que todos *los cuerpos compuestos cederían bajo la influencia de la corriente eléctrica con una facilidad proporcional a la fuerza de la afinidad por la cual sus elementos, ya sean próximos o último, se combinan*(Faraday, 1834). Y puede depender de la ausencia de una fuerza conductora que, impidiendo la transmisión de la corriente, impida por supuesto los efectos debidos a ella. Sin embargo, cuando no se produce la descomposición puede ser ocasionada por la falta de conducción; es decir los cambios físicos debidos a la acción química no dependen de la naturaleza de los elementos, sino simplemente en sus proporciones y la afinidad química de la acción electroquímica de las partículas de la materia.

Faraday tuvo la necesidad de construir un instrumento, llamado Volta electrómetro (Faraday, 1834, pág. 85), para medir la cantidad de corriente eléctrica necesaria en la descomposición electroquímica. Este instrumento mide la cantidad de gases descompuestos por la acción química, para poder hacerlo Faraday fue modificando el instrumento y el conductor líquido.

Para el instrumento de medida, primero utilizó tubos rectos, cada uno de los cuales contenía una placa y un alambre de platina soldados por oro y fijados herméticamente en el vidrio en la extremidad cerrada del tubo. Las placas de platina eran de aproximadamente una pulgada de largo, tan ancho como los tubos lo permitían, y ajustado tan cerca de las bocas de los tubos como era consistente con la recolección segura de los gases desarrollados (Ver Figura 13). Cuando se requería que los elementos se desarrollaran en una superficie lo más pequeña posible, la extremidad metálica, en lugar de ser una placa, consistía en que el alambre se doblara en forma de anillo (Ver Figura II). Otra modificación al instrumento consistía en colocar ambos electrodos en el mismo tubo, de tal manera que la transmisión de la electricidad y la consiguiente descomposición es mucho más rápida que en los tubos separados. El gas resultante es la suma de las porciones desarrolladas en los dos electrodos (Ver Figura III). Otras modificaciones a sus montajes fue tener un tubo recto cerrado en la extremidad superior y graduado a través de los lados de los cuales pasan los hilos de platina (que se funden en el vidrio), cuando se pasa una corriente eléctrica a través del instrumento, los gases se acumulan en la parte superior del tubo, esta reforma evitaría la recombinación de gases de la platina (Ver Figura IV). Algunos de estos instrumentos se presentan en la siguiente imagen:

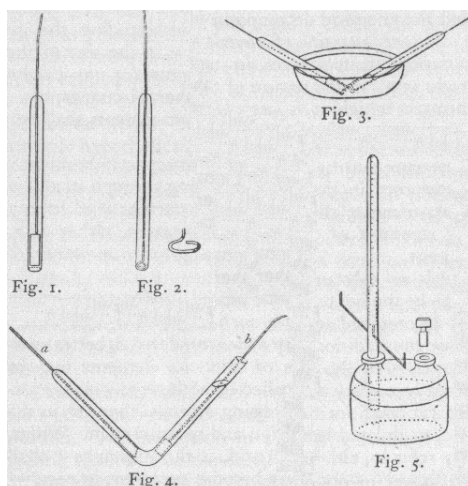


Figura 13. Volta electrómetro de Michael Faraday

CAPITULO IV: PROPUESTA EXPERIMENTAL: ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL FENÓMENO CORRIENTE ELÉCTRICA

Como propuesta se diseñaron actividades experimentales que aportaron a la comprensión de los fenómenos de la corriente eléctrica, para ello, se construyeron algunos elementos del montaje con la finalidad de ser más eficientes, funcionales y de fácil adquisición, se fueron variando los elementos del montaje y posteriormente se recolectaron los resultados respectivos para cada uno de ellos, finalmente se estableció una organización de los efectos producidos en relación con los cambios de elementos y variables.

Cabe mencionar los trabajos experimentales realizados por Volta quien realizó una clasificación y organización de metales conductores del flujo de electricidad, permitiendo a la propuesta considerar una de las mejores parejas de metales conductores para el análisis de la interacción y reacción de estos metales en diferentes medios conductores. A Joule por ser el precursor de ingeniar varias interacciones químicas y estudiar los resultados desencadenados, como cambios de temperatura y descomposición del medio conductor. Y a

Faraday por sus investigaciones a las interacciones químicas de la corriente eléctrica y sus postulaciones sobre la electrolisis, ya que permitió comprender el proceso de reacciones entre los conductores metálicos y los conductores líquidos.

Adicionalmente se empleó un instrumento de medida (multímetro) para medir la magnitud de la corriente eléctrica, que oscila entre 0 y 100 miliamperios. Los registros de datos extraídos por este instrumento permitieron dar un panorama cuantitativo del flujo eléctrico, sin embargo existen otros métodos experimentales que permiten encontrar la cantidad de corriente producida por una pila.

Para concluir con el estudio de este capítulo se resaltan los avances científicos y técnicos que se fundamentaron desde el siglo XVIII y XIX y que fueron la base fundamental para la creación de la propuesta, con el fin de brindar al lector (docente especialmente) y al experimentador (docente y estudiante) un espacio de reflexión que permita construir conocimiento a partir de la ejecución de cada montaje experimental y a partir de los fenómenos que emergen en cada uno de ellos.

DISEÑO Y CONSTRUCCION

Para el diseño y construcción de los montajes experimentales se tuvo en cuenta una serie de materiales principales:

-  Conductores metálicos
-  Conductores líquidos
-  Recipientes de vidrio con su respectiva tapa
-  Cables de conexión
-  Un multímetro

Para realizar cualquiera de los montajes experimentales se debe tomar las precauciones de seguridad necesarias, como uso de guantes, gafas, bata para laboratorio. Además antes de realizar las conexiones entre los elementos conductores (metálicos y líquidos) se debe tener la superficie de las placas metálicas limpias y sin ningún residuo de otras sustancias ya que puede variar los resultados.

A continuación se presenta dos montajes generales, el primer experimento tiene como objetivo establecer una relación entre los conductores metálicos y líquidos, teniendo en cuenta la interacción con dos ácidos y dos sales, de esta manera se hace referencia a una misma disposición del conductor líquido, para el cual se tienen de 1 a 3 recipientes de vidrio. Dentro de los recipientes se colocan las placas de Zinc y Cobre, de tal manera que las placas queden sumergidas en la solución de manera vertical. Si se quiere analizar los efectos para un solo recipiente, se puede conectar los cables de conexión con las placas y estos a la salida del multímetro. Pero si se quiere utilizar dos recipientes de vidrio bajo las mismas condiciones de interacción, es decir que las placas metálicas estén sumergidas a igual nivel, se debe conectar primero los cables de conexión a las placas metálicas de cada recipiente, por ejemplo se puede conectar la placa de Zinc del primer recipiente con la placa de Cobre del segundo recipiente, luego se debe conectar la placa de Cobre del primer recipiente y la placa de Zinc del segundo recipiente con la salida del multímetro, finalmente se puede ir cambiando la distancia de las placas a 2cm, 4cm o 6cm:

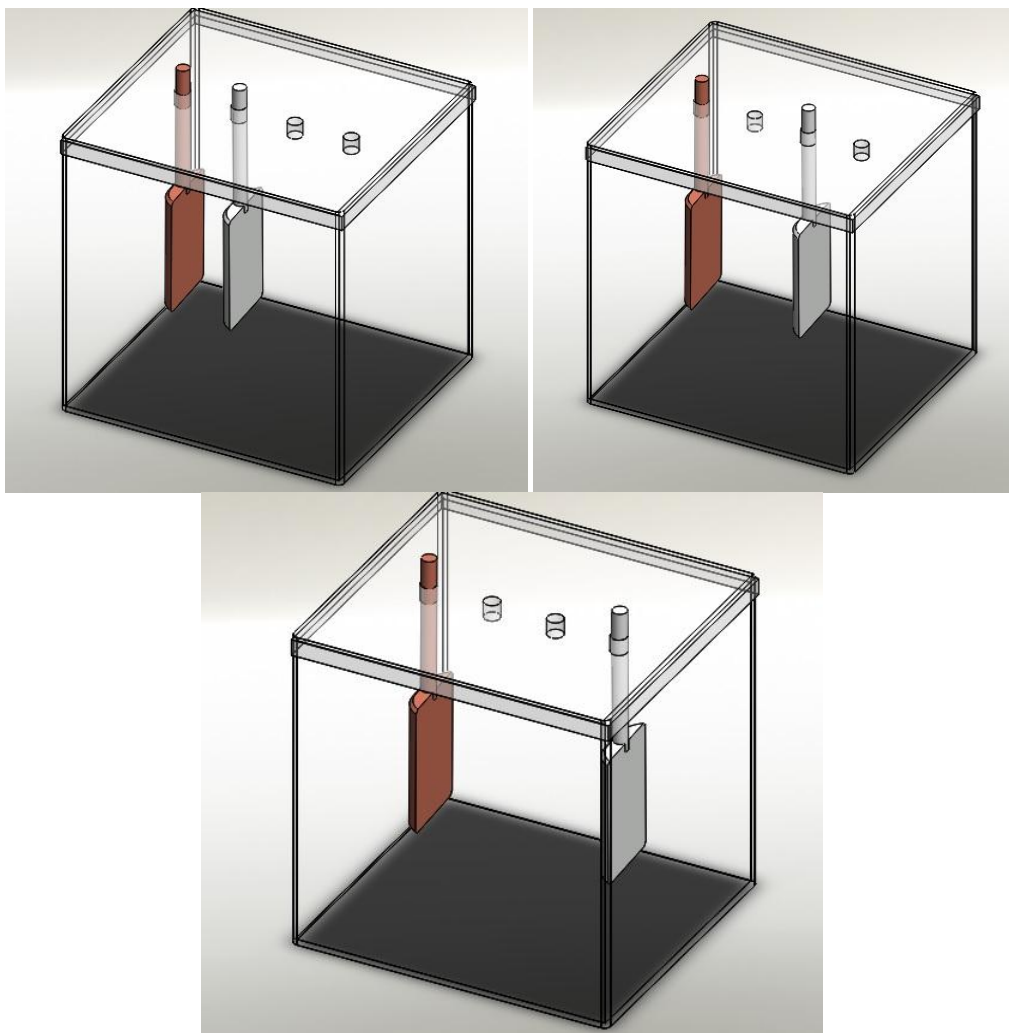


Figura 14. Esquema pila con placas metálicas a 2cm, 4cm y 6cm de distancia

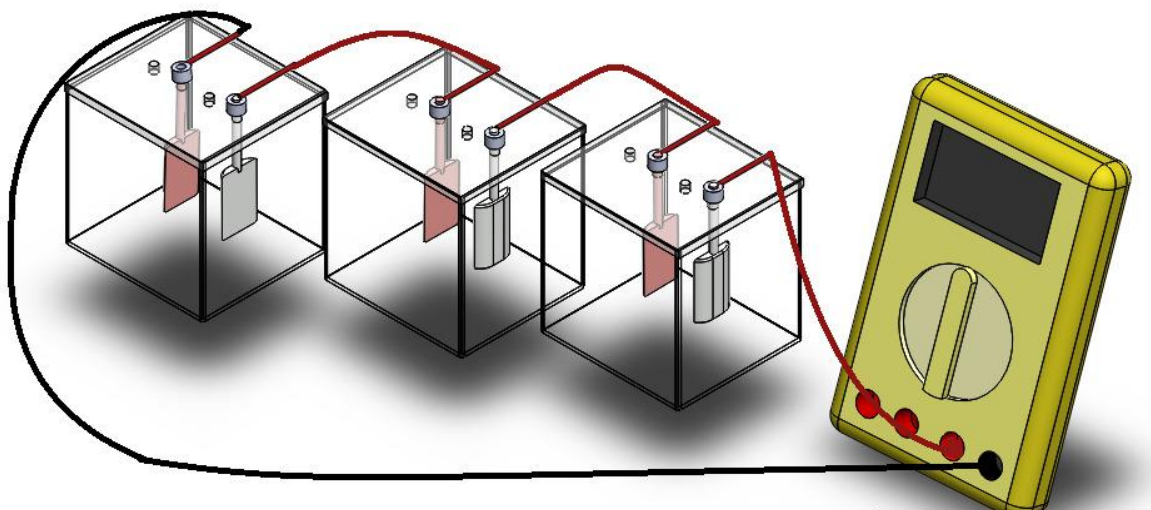


Figura 15. Esquema montaje experimental igual conductor líquido

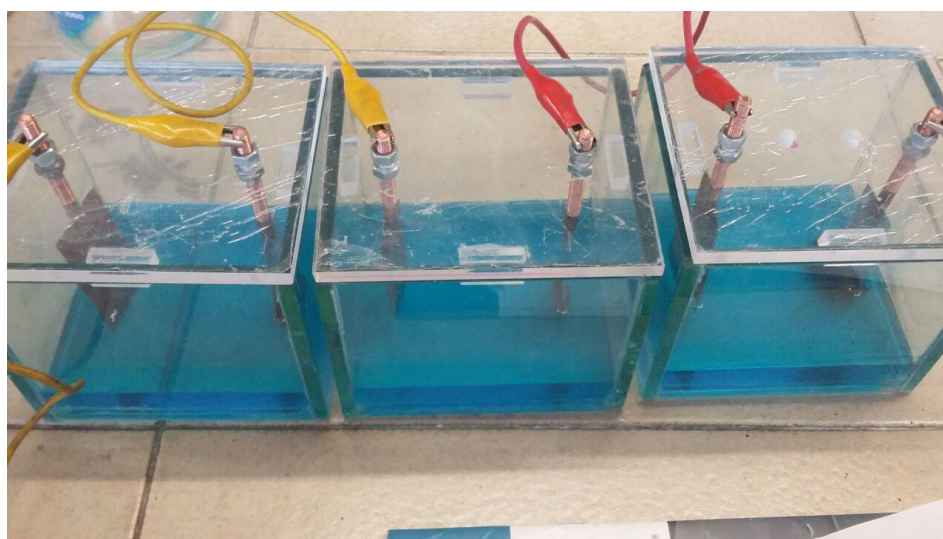


Figura 16. Fotografía montaje experimental igual conductor líquido

Para el segundo montaje se tiene como objetivo conocer los efectos que se producen cuando las placas están sumergidas en diferentes conductores líquidos, manteniendo siempre de referente la interacción entre una placa de Zinc y una placa de Cobre. Se debe tener recipientes de vidrio limpios y se debe hacer puentes salinos para comunicar cada uno de los recipientes. La manera de proceder es colocar primero la placa de Zinc en ácido sulfúrico, luego colocar la placa de Cobre en un ácido nítrico, luego se conecta cada una de las placas a la salida del multímetro, finalmente se mide la corriente y el voltaje con una pareja de placas.

Al tener dos recipientes de vidrio con la misma disposición mencionada anteriormente, se debe conectar la placa de Zinc en ácido sulfúrico con la placa de Cobre en ácido nítrico, luego esta última placa con una placa de Zinc y finalmente la placa de Zinc con una de Cobre, eso quiere decir que las placas que no quedan conectadas con el puente salino se conectan al multímetro. Finalmente se puede hacer un último montaje con tres recipientes de vidrio, teniendo la sucesión de placas expuestas como en el anterior experimento, se toma la medida de datos de voltaje y corriente eléctrica.

Una vez se realice el experimento se puede hacer diferentes combinaciones:

La placa de Zinc sumergida en ácido nítrico y la placa de Cobre en ácido sulfúrico, luego esta última placa en Cloruro de Sodio y finalmente se sumerge en sulfato de Cobre.

La placa de Zinc sumergida en Cloruro de Sodio y la placa de Cobre en ácido nítrico, luego esta última placa en ácido sulfúrico y finalmente se sumerge en Sulfato de Cobre.

La placa de Zinc sumergida en Sulfato de Cobre y la placa de Cobre en ácido nítrico, luego esta última placa en ácido sulfúrico y finalmente se sumerge en Cloruro de Sodio.

La misma disposición se hace para la placa de Cobre, es decir se mantiene la placa de cobre en una misma solución y se cambia la placa de Zinc. Es importante limpiar la superficie de la placa que va ser cambiada de solución, pues esto desmejora los datos obtenidos.

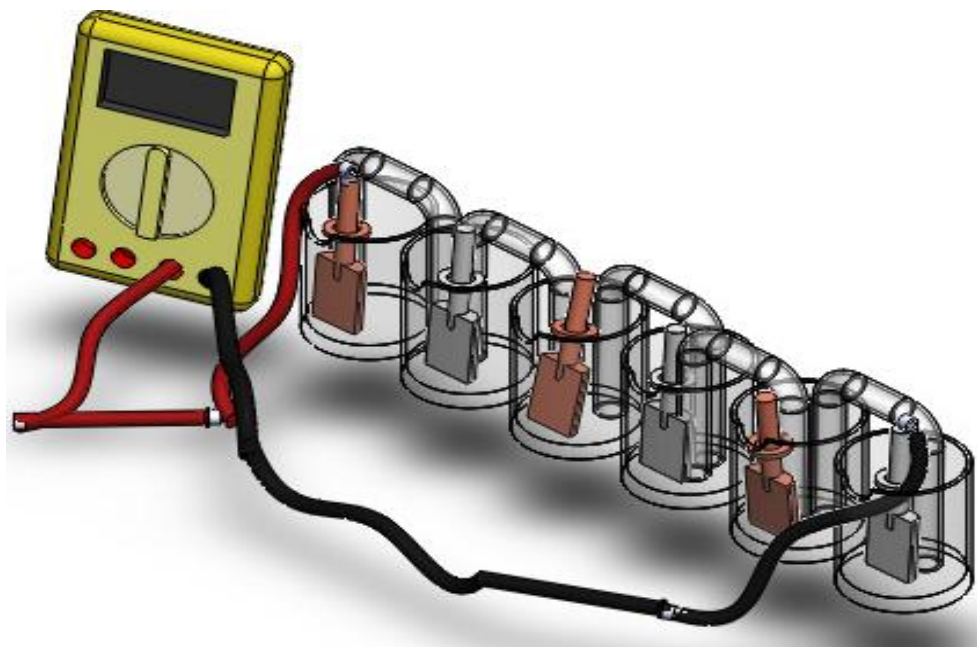


Figura17. Esquema montaje experimental dos conductores líquidos



Figura 18. Fotografía montaje experimental dos conductores líquidos

MONTAJES EXPERIMENTALES

Para realizar los montajes se debe tener en cuenta los elementos contruidos, para los cuales se encuentran los conductores metálicos y los conductores líquidos.

Conductores metálicos: teniendo en cuenta los experimentos realizados por Volta, Joule y Faraday se seleccionó la mejor pareja conductora, una placa de zinc y una placa de cobre. Se diseñó tres placas, de zinc³⁷ y cobre³⁸ respectivamente, cuyas dimensiones son de 2,5cm x 5cm, las placas se sujetan en el extremo superior con una varilla roscada de cobre cuyas dimensiones son de 5cm de largo y 0,3 cm de diámetro. En las siguientes imágenes se aprecian el diseño de las placas realizadas con el programa Solid Works versión 2017.

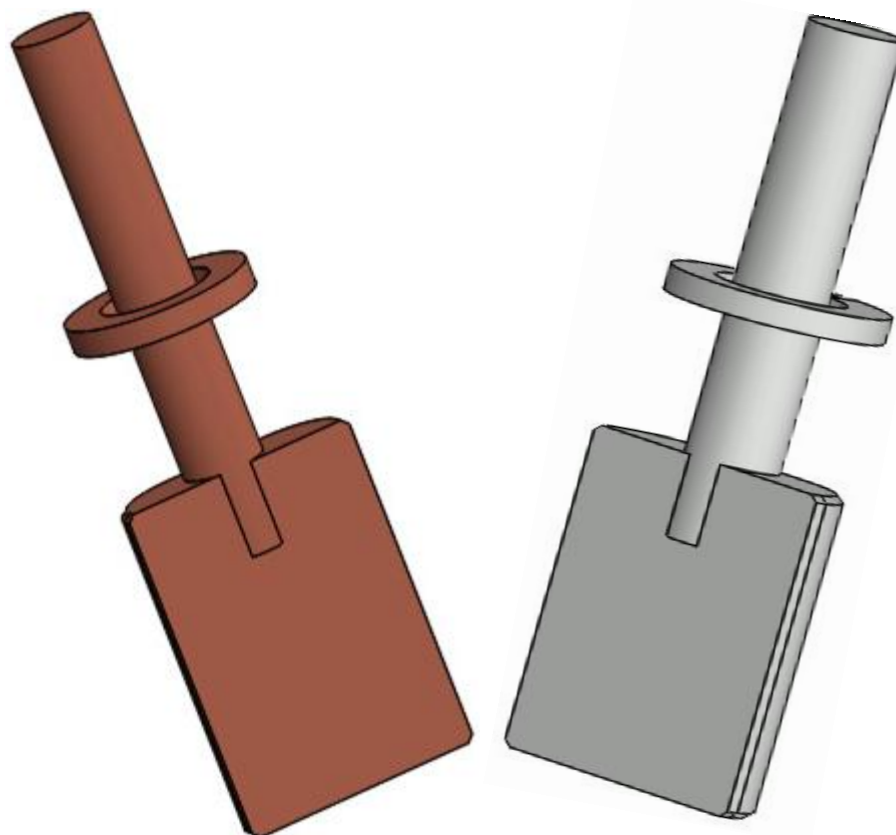


Figura 19. Diseño conductores metálicos. Placa de cobre y zinc respectivamente

Conductores líquidos: teniendo en cuenta los experimentos realizados por Volta, Joule y Faraday se seleccionó como elementos conductores dos ácidos y dos sales, el ácido sulfúrico³⁹ (H_2SO_4) y el ácido nítrico⁴⁰ (HNO_3), cloruro de sodio⁴¹ (NaCl) y sulfato de

³⁷ El zinc, Zn, es buen conductor del calor y la electricidad y es un metal químicamente activo. (Delft, 1993)

³⁸ El cobre, Cu, tiene buenas propiedades eléctricas. Adicionalmente su conductividad térmica y eléctrica son muy altas (Delft, 1993)

³⁹ El Ácido Sulfúrico es un ácido fuerte, formado por 2 átomos de Hidrógeno, 1 átomo de Azufre y 4 de Oxígeno. Cada molécula produce dos iones H^+ , sus disoluciones diluidas muestran todas las características de los ácidos: tienen sabor amargo, conducen la electricidad, neutralizan los álcalis y corroen los metales activos desprendiéndose gas hidrógeno. Cuando se calienta, el ácido sulfúrico concentrado se comporta como un agente oxidante capaz, por ejemplo, de disolver metales tan poco reactivos como el cobre, produciendo el sulfato del metal, dióxido de azufre y agua. (cubana, 2009)

cobre⁴² (CuSO_4). Para cada conductor líquido se procedió a realizar una mezcla homogénea con agua desionizada⁴³ (H_2O) a una concentración de 1 molar.



Figura 20. Fotografía conductores líquidos

Recipientes de vidrio con su respectiva tapa: para una mejor manipulación y observación se construyó tres recipientes de vidrio, cuyas dimensiones son 9cm x 10 cm de base y 6 cm de altura. Para cada recipiente se diseñó una tapa de plástico con tres orificios, cada uno de ellos de 2 cm de distancia, adicionalmente se ensamblaron dos láminas rectangulares en la superficie de la lámina de plástico cuya funcionalidad es encajar con el recipiente de vidrio.

⁴⁰ El ácido nítrico es un líquido aceitoso, incoloro, corrosivo y tóxico, se descompone lentamente por la acción de la luz, adoptando una coloración amarilla con marrón. (cubana, 2009)

⁴¹ El cloruro de sodio es conocido popularmente como sal, sus usos son desde lo alimenticio, industrial y uso en control de hielo principalmente. (cubana, 2009)

⁴² El Sulfato de Cobre es un compuesto químico derivado del cobre que forma cristales azules, solubles en agua y metanol y ligeramente solubles en alcohol y glicerina. Ataca el hierro y el zinc en presencia de agua. (cubana, 2009)

⁴³ Agua desionizada o desmineralizada, lleva este nombre porque se le ha quitado, mediante resinas de intercambio iónico de lecho mixto, los cationes, como los de sodio (Na), calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu), y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc. Esto significa que al agua se le han quitado todos los iones excepto el H^+ , o más rigurosamente H_3O^+ y el OH^- , pero puede contener pequeñas cantidades de impurezas no iónicas como compuestos orgánicos. (cubana, 2009)

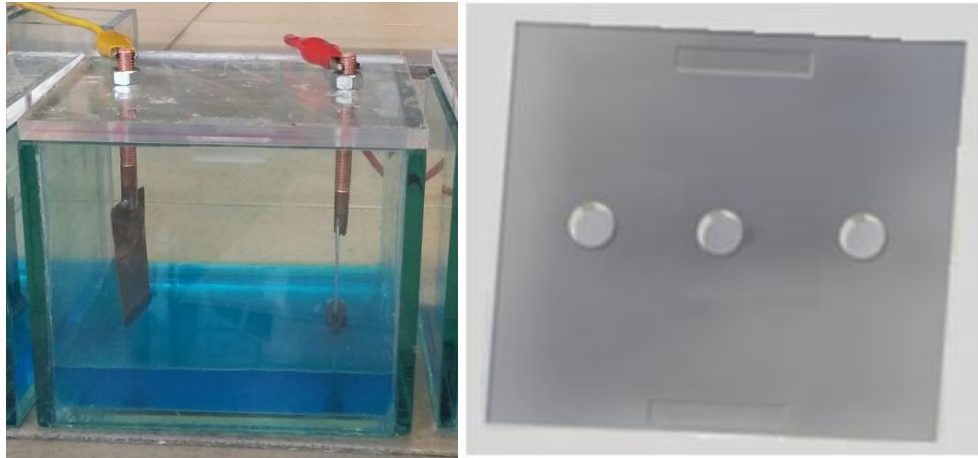


Figura 21. Fotografía recipiente de vidrio y diseño tapa del recipiente

Cables de conexión caimán – caimán: es un conductor eléctrico, fabricado principalmente por un cable de cobre y recubierto con un aislante de alta resistividad. Los cables permiten comunicar dos conductores metálicos de dos recipientes de vidrio diferentes, sin embargo cuando se realiza el montaje con tres recipientes de vidrio se conecta los cables de manera continua y los conductores metálicos externos se emplean para conectar con los cables a la salida del multímetro.



Figura 22. Cables de conexión caimán – caimán

Multímetro digital: este instrumento de medida permite tomar datos de corriente eléctrica y voltaje según cada montaje experimental.

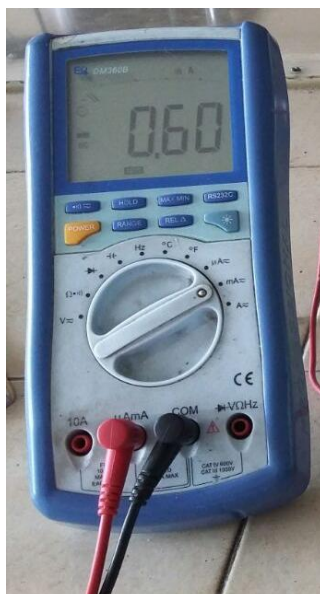
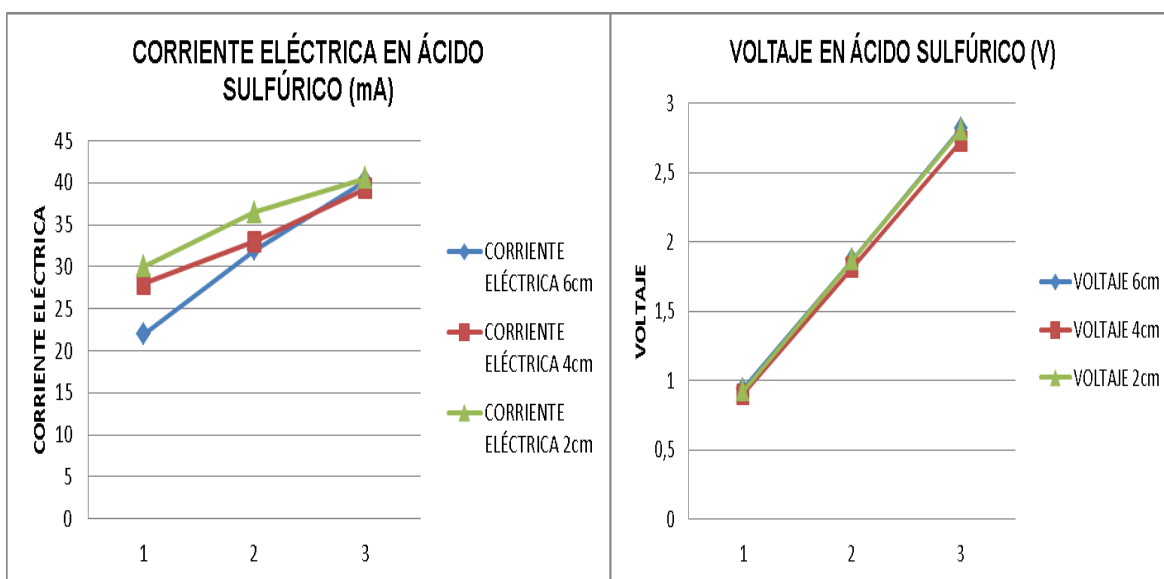


Figura 23. Multímetro digital

ANÁLISIS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

Para el primer montaje experimental, donde las placas de Zinc y Cobre están en una misma solución conductora con una separación de las placas de 2cm, 4cm y 6cm, se obtuvieron los siguientes resultados de corriente eléctrica y voltaje:

Placas sumergidas en ácido sulfúrico

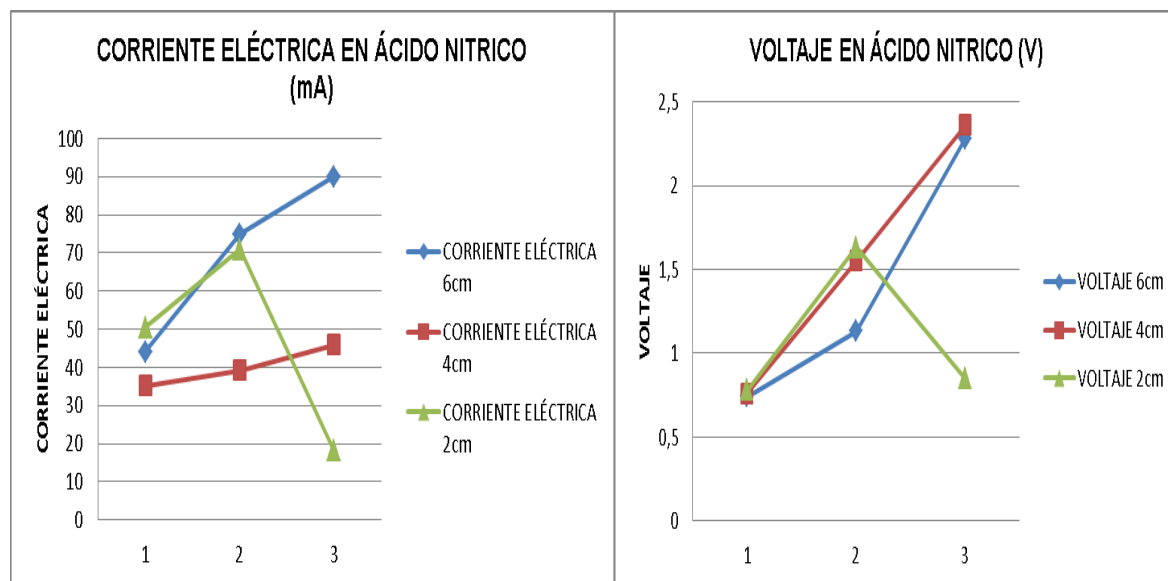


Al realizar esta disposición entre las placas de Zinc y Cobre se pudo observar algunos cambios físicos en cada una de las superficies de las placas, para la placa de Zinc se observó un cambio de color gris y para la placa de Cobre un cambio de color rojo claro, este color es más oscuro al aumentar la pareja de placas. Además, se observó una presencia de burbujas en la placa de Zinc.

Al interactuar las placa de Zinc y Cobre en ácido sulfúrico, se obtuvo como resultados que la corriente eléctrica producida por la acción química aumenta al tener un mayor número de parejas conectadas en serie y aumenta cuando la distancia entre las placas es menor. Las mediciones de voltaje en ácido sulfúrico son constantes para cualquier distancia teniendo la misma relación de parejas metálicas.

Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones con una lectura estable.

Placas sumergidas en ácido nítrico



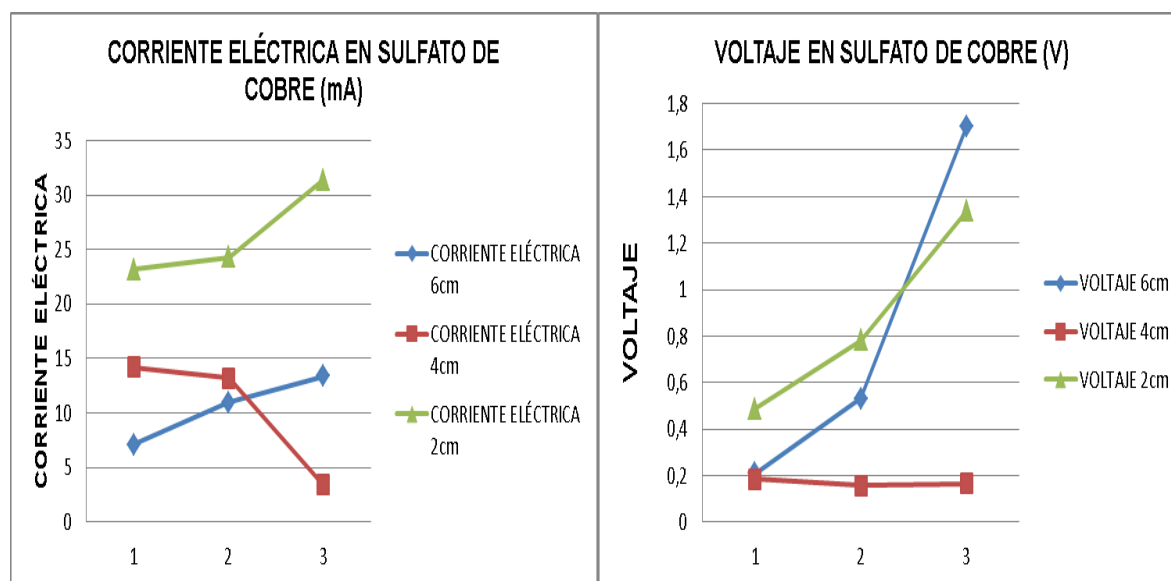
Al realizar esta disposición entre las placas de Zinc y Cobre se pudo observar algunos cambios físicos en cada una de las superficies de las placas, para la placa de Zinc se observó un cambio de color negro que iba aumentando al tener más parejas de placas y para

la placa de Cobre un cambio de color rojo muy claro que permaneció con una tonalidad constante al aumentar la cantidad de parejas de placas. Además, no se observó presencia de burbujas en ninguna de las placas, por lo que se puede suponerse que no hay un proceso de evaporización apreciable.

Al interactuar las placa de Zinc y Cobre en ácido nítrico, se obtuvo como resultados que la corriente eléctrica producida por la acción química aumenta al tener un mayor número de parejas conectadas en serie para una distancia de 4 y 6 centímetros. Las mediciones de voltaje en ácido nítrico son constantes para una distancia de 2 y 4 centímetros teniendo la relación de una y dos parejas metálicas.

Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones, sin embargo la lectura tomada por el multímetro no fue estable.

Placas sumergidas en sulfato de cobre

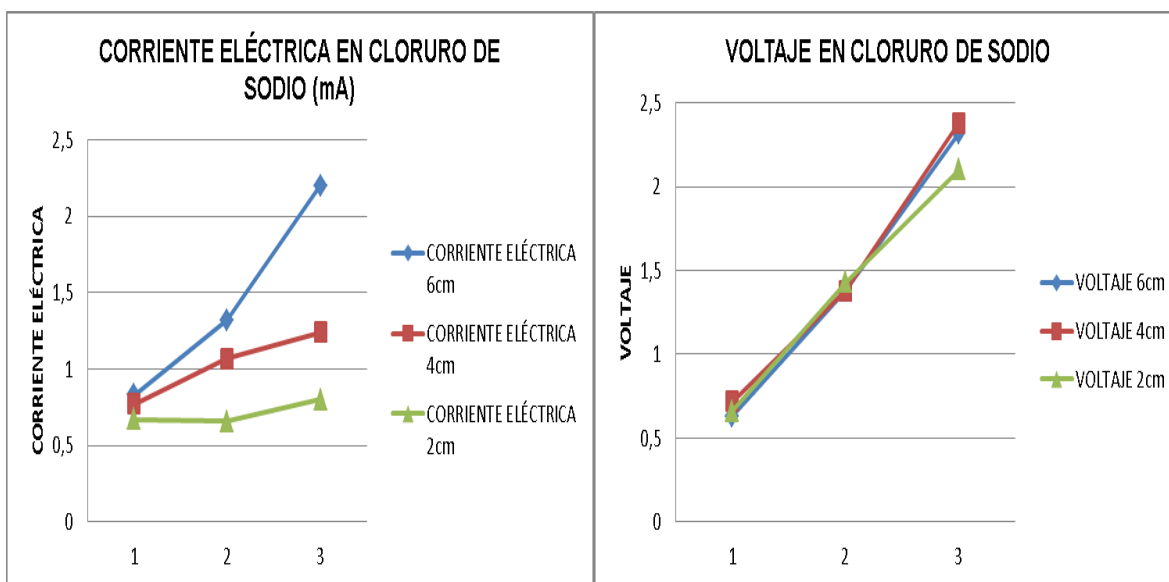


Al realizar esta disposición entre las placas de Zinc y Cobre se pudo observar algunos cambios físicos en cada una de las superficies de las placas, para la placa de Zinc se observó un cambio de color negro y para la placa de Cobre un cambio de color amarillo

claro, este color es más oscuro al aumentar la pareja de placas. Para la placa de Zinc se observó un precipitado de color negro con café, producto de la corrosión de la superficie de la placa Zinc. Además, se observó una presencia de burbujas en la placa de Zinc.

Al interactuar las placas de Zinc y Cobre en sulfato de cobre, se obtuvo como resultados que la corriente eléctrica producida por la acción química aumenta al tener dos parejas conectadas en serie. No son confiables las mediciones de corriente eléctrica para una distancia de 4 centímetros. Las mediciones de voltaje en sulfato de cobre aumentan para mayor cantidad parejas metálicas, sin embargo no es posible establecer una relación de proporcionalidad al variar las distancias entre las placas, se puede decir que el voltaje es mayor para una distancia de 6 centímetros.

Placas sumergidas en cloruro de sodio



Al realizar esta disposición entre las placas de Zinc y Cobre se pudo observar algunos cambios físicos en las superficies de la placa de Zinc como un cambio de color gris y una línea muy definida en el nivel del cloruro de sodio. A la placa de Cobre no se evidenció un cambio de color.

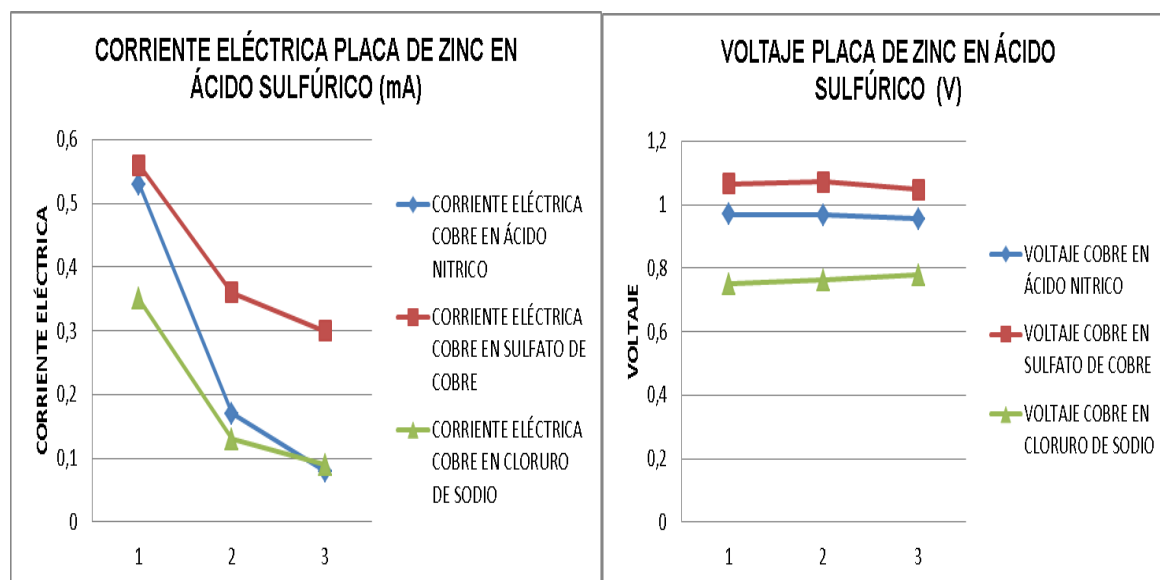
Además, no se observó presencia de burbujas en ninguna de las placas, por lo que se puede suponerse que no hay un proceso de evaporización apreciable.

Al interactuar las placas de Zinc y Cobre en cloruro de sodio, se obtuvo como resultados que la corriente eléctrica producida por la acción química aumenta al tener un mayor número de parejas conectadas en serie y aumenta cuando la distancia entre las placas es menor. Las mediciones de voltaje en cloruro de sodio son aproximadamente de igual magnitud para cada pareja metálica, y el voltaje va aumentando de manera directa al aumentar la distancia entre las placas.

Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones con una lectura estable.

METALES EN DIFERENTES SOLUCIONES CONDUCTORAS

Placa de zinc en ácido sulfúrico



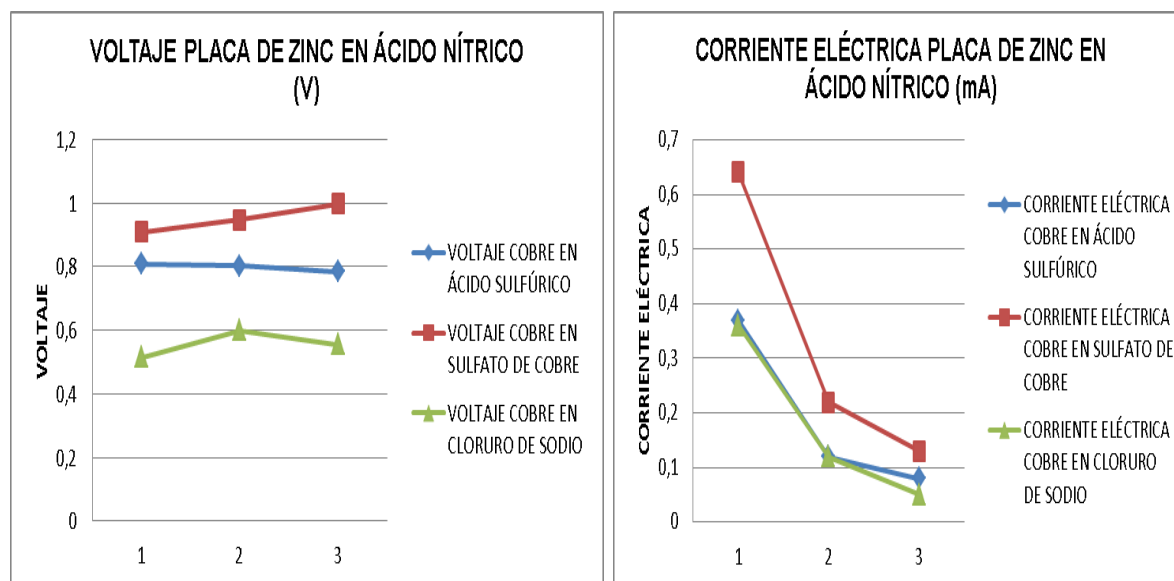
Al realizar esta disposición de la placa de Zinc en ácido sulfúrico se observó que la placa de Zinc presenta mucho burbujeo que aumenta al tener mayor cantidad de parejas relacionadas y para la placa de Cobre no se observó cambios físicos drásticos, únicamente un color rojo

claro en todas las sustancias. Además, se observó una presencia de burbujas en la placa de Zinc muy pequeña.

Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química disminuyen al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje en ácido sulfúrico son aproximadamente constantes para cualquier cantidad de parejas metálicas, sin embargo se obtiene mayor lectura de corriente y voltaje cuando la placa de Zinc está sumergida en ácido sulfúrico y la placa de Cobre sumergida en sulfato de cobre.

Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones con una lectura estable.

Placa de zinc en ácido nítrico

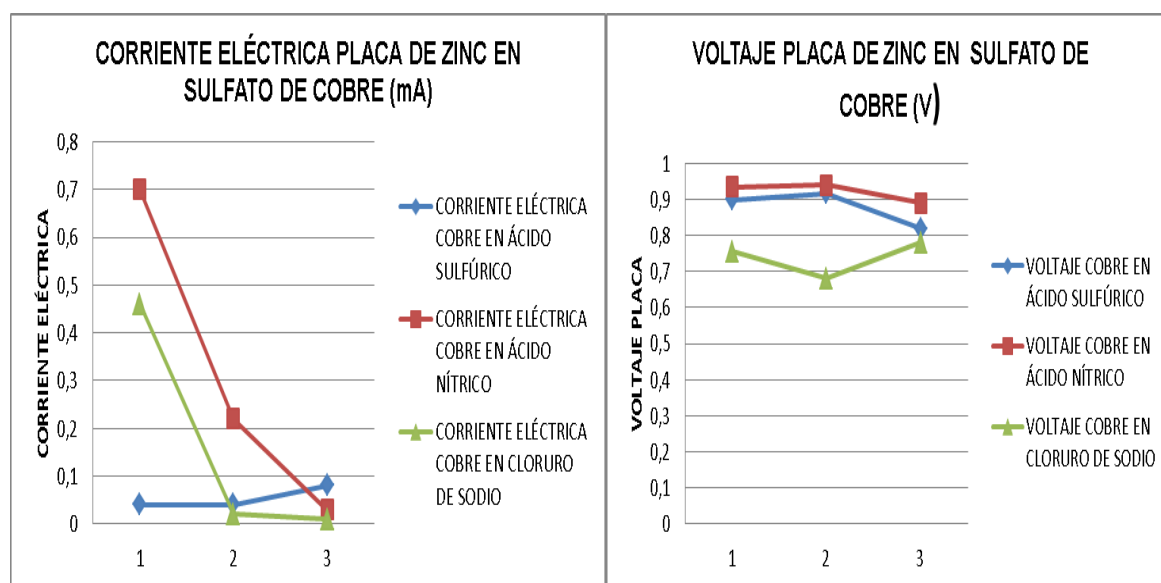


Al realizar esta disposición de la placa de Zinc en ácido nítrico se observó que la placa de Zinc cambia de color gris a negro y la placa de Cobre no se observó cambios físicos drásticos, únicamente un color rojo claro en todas las sustancias. No se observó que las placas de Zinc y Cobre presentaran burbujeo

Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química aumentan al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje en ácido sulfúrico disminuyen si se aumentan la cantidad de parejas metálicas, sin embargo se obtiene mayor lectura de corriente y voltaje cuando la placa de Zinc está sumergida en ácido nítrico y la placa de Cobre sumergida en sulfato de cobre.

Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones con una lectura estable.

Placa de zinc en sulfato de cobre



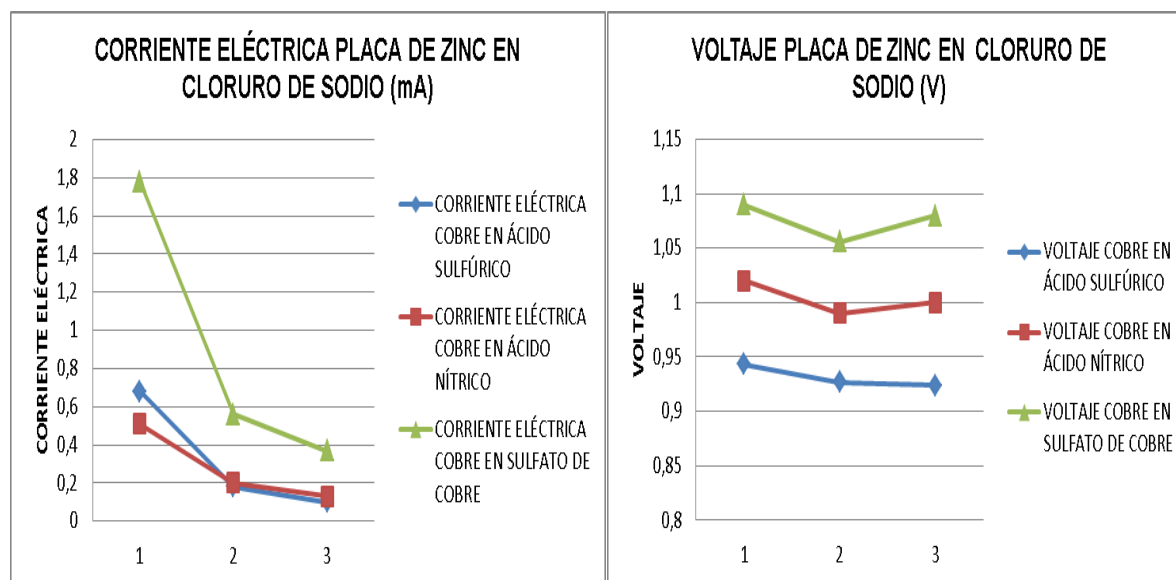
Al realizar esta disposición de la placa de Zinc en sulfato de cobre se observó que la placa de Zinc cambia de color gris a negro y la placa de Cobre no se observó cambios físicos drásticos, únicamente un color rojo claro en todas las sustancias. No se observó que las placas de Zinc y Cobre presentaran burbujeo

Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química disminuyen al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje en sulfato de cobre se mantienen casi constantes para cada interacción con la placa de Cobre, se obtiene

mayor lectura de corriente y voltaje cuando la placa de Zinc está sumergida en sulfato de cobre y la placa de Cobre sumergida en ácido nítrico.

Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones con una lectura estable.

Placa de zinc en cloruro de sodio



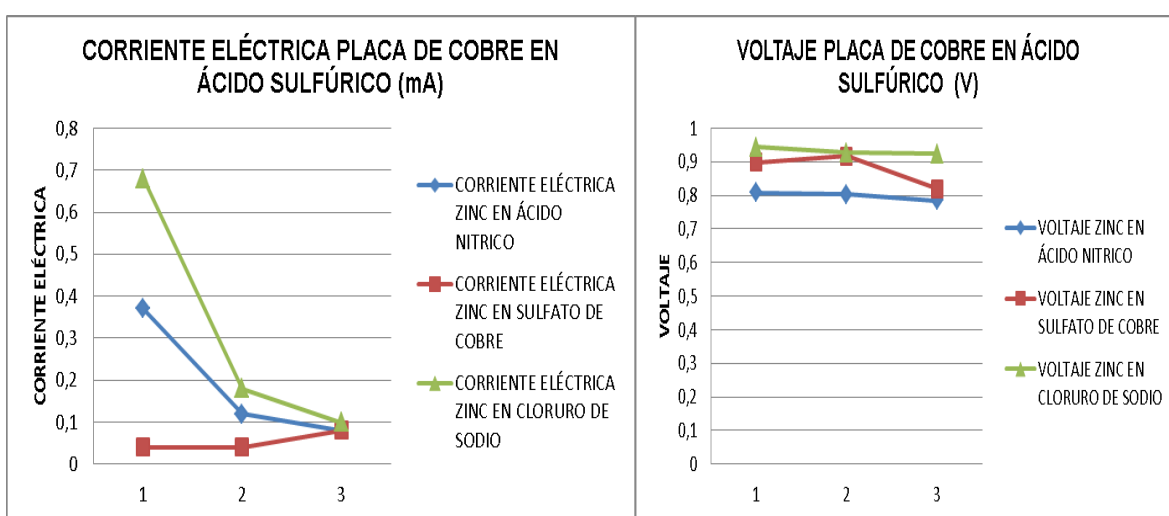
Al realizar esta disposición de la placa de Zinc en cloruro de sodio se observó que la placa de Zinc mantiene un color gris y la placa de Cobre no se observó cambios físicos. No se observó que las placas de Zinc y Cobre presentaran burbujeo.

Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química disminuyen al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje en cloruro de sodio se mantienen casi constantes para cada interacción con la placa de Cobre, se obtiene mayor lectura de corriente y voltaje cuando la placa de Zinc está sumergida en cloruro de sodio y la placa de Cobre sumergida en sulfato de cobre.

Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones con una lectura estable.

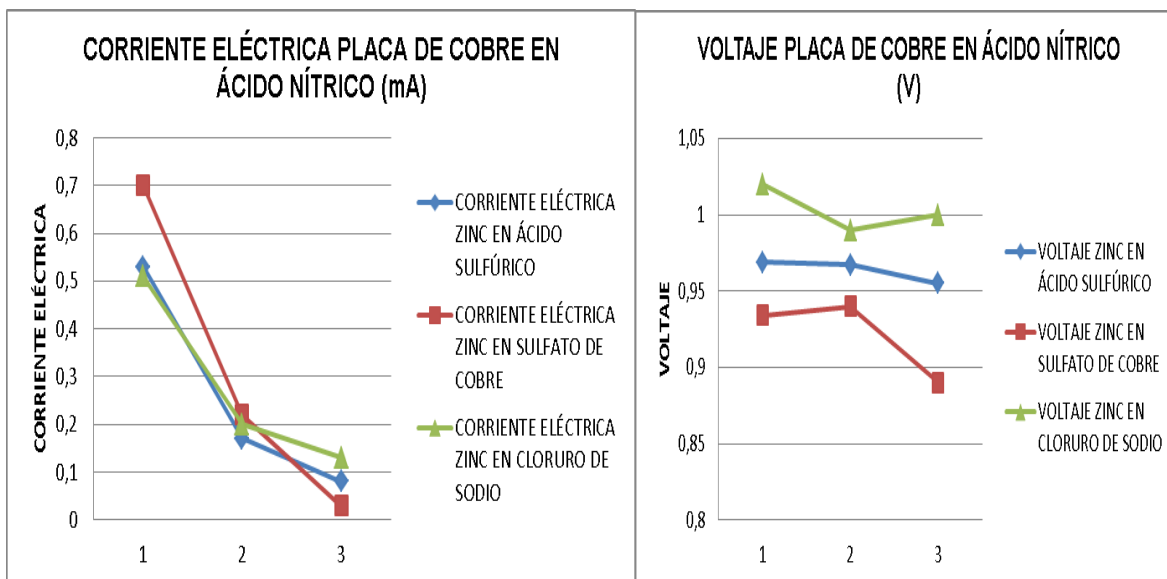
Al realizar esta disposición de la placa de Cobre en ácido sulfúrico, ácido nítrico y sulfato de cobre se observó que la placa de Cobre no presenta cambios físicos drásticos, únicamente un color rojo claro. Cuando la placa de Cobre se sumerge en cloruro de sodio no hay un cambio de color. Para la placa de Zinc se observaron los mismos cambios de color mencionados anteriormente. Es importante resaltar que fue posible realizar mediciones con una lectura estable.

Placa de cobre en ácido sulfúrico



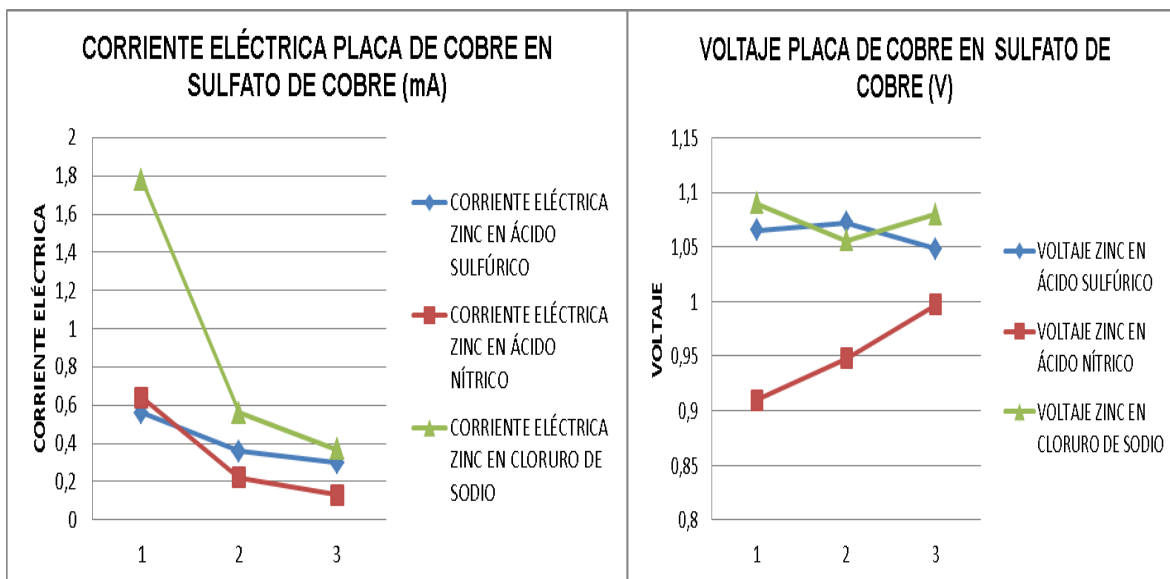
Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química disminuyen al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje son aproximadamente constantes para cualquier cantidad de parejas metálicas, sin embargo se obtiene mayor lectura de corriente y voltaje cuando la placa de Cobre está sumergida en ácido sulfúrico y la placa de Zinc sumergida en cloruro de sodio.

Placa de cobre en ácido nítrico



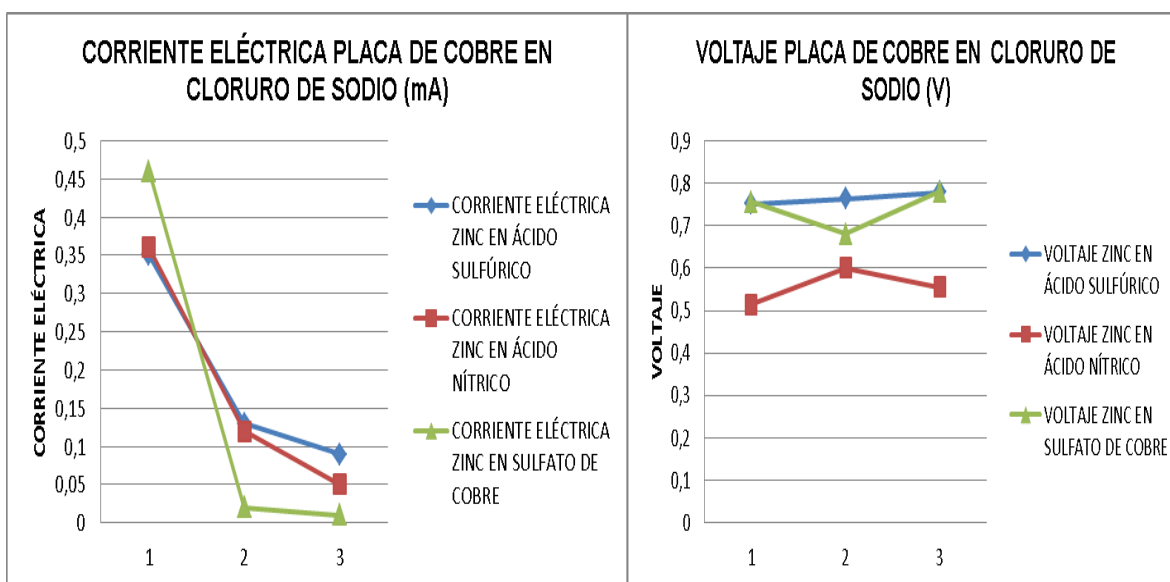
Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química disminuyen al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje son aproximadamente constantes para cualquier cantidad de parejas metálicas, sin embargo se obtiene mayor lectura de corriente cuando la placa de Cobre está sumergida en ácido nítrico y la placa de Zinc sumergida en sulfato de cobre, y se obtiene mayor lectura de voltaje cuando la placa de Cobre está sumergida en ácido nítrico y la placa de Zinc sumergida en cloruro de sodio.

Placa de cobre en sulfato de cobre



Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química disminuyen al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje aumentan al tener mayor pareja metálicas, sin embargo se obtiene mayor lectura de corriente y voltaje cuando la placa de Cobre está sumergida en sulfato de cobre y la placa de Zinc sumergida en cloruro de sodio.

Placa de cobre en cloruro de sodio



Los resultados de la corriente eléctrica producida por la acción química disminuyen al tener un mayor número de parejas conectadas en serie. Las mediciones de voltaje son aproximadamente constantes para cualquier cantidad de parejas metálicas, sin embargo se obtiene mayor lectura de corriente cuando la placa de Cobre está sumergida en cloruro de sodio y la placa de Zinc sumergida en sulfato de cobre, y se obtiene mayor lectura de voltaje cuando la placa de Cobre está sumergida en cloruro de sodio y la placa de Zinc sumergida en ácido sulfúrico.

CONDICIONES EXPERIMENTALES

A continuación se presenta las condiciones experimentales para las cuales se describe los mejores resultados de la relación entre los procesos químicos y la corriente eléctrica generada por una pila voltaica, los cambios físicos observados de cada placa metálica en una solución determinada, la disposición de cada uno de los materiales y la magnitud de esta interacción. En el diseño y ejecución de las prácticas experimentales surgieron una serie de preguntas de esta interacción: ¿Qué conductores metálicos y líquidos tienen mejores resultados de producción de corriente eléctrica?, ¿Qué cambios físicos se presentan durante este proceso químico? ¿Cuál es la relación entre la variación de las distancias entre las dos placas, cobre y zinc, y las corrientes eléctricas que se producen en una misma solución? ¿Cuál es la relación entre la variación de las distancias entre las dos placas, cobre y zinc, y las tensiones que se producen en una misma solución? ¿En qué caso las corrientes son distintas? ¿En qué caso las tensiones son distintas? ¿Cuáles son las condiciones experimentales en las que se produce mayor corriente eléctrica? ¿Cuáles son las condiciones experimentales en las que se produce mayor tensión eléctrica?

Para dar respuesta a estas preguntas y hacer un análisis de estos resultados obtenidos se debe considerar que las reacciones químicas son producto de una interacción entre un conductor líquido y dos placas de diferentes materiales (*Ver pila de Volta*). A continuación se presenta una organización de las respuestas a las preguntas desencadenadas de la actividad experimental, teniendo en cuenta las condiciones en las que se obtienen ciertas características de la interacción.

Producción de corriente eléctrica en función de los conductores metálicos y líquidos:

Para construir una pila de Volta y generar un flujo de electricidad es necesario establecer un contacto entre dos placas metálicas de distinto material y una sustancia conductora que permita comunicar las placas. Para su construcción se realizó un registro de dos montajes experimentales (*Ver propuesta experimental: organización y análisis del fenómeno corriente eléctrica*) donde las placas estaban sumergidas en una sustancia conductora o en un segundo montaje donde las placas estaban sumergidas en dos sustancia conductora. Para

describir las interacciones químicas que hacen posible la producción de un flujo de electricidad se decidió analizar los efectos producidos de interacciones de distinta clase, para los cuales se seleccionó dos ácidos y dos sales como sustancia conductoras y se varió la distancia entre las placas metálicas.

A partir de los montajes y la disposición de los conductores se logró determinar que hay mayor producción de corriente eléctrica cuando las placas están sumergidas en una solución, donde los mejores efectos y mediciones se obtienen al utilizar ácidos, con una magnitud de aproximadamente 90mA con el ácido nítrico y aproximadamente la mitad de ácido nítrico para el ácido sulfúrico y con las sales como el sulfato de cobre logran mejores resultados de corriente eléctrica que las obtenidas con el cloruro de sodio. Cabe aclarar que estos resultados se obtienen al utilizar tres parejas de metales, para los cuales si se tiene mayor cantidad de parejas mayor será la corriente eléctrica producida por la pila. Esta corriente producida depende de la interacción placas metálicas y solución conductora en un medio específico, así si se tienen más disposiciones de esta clase resulta una adición de corrientes eléctricas producidas por cada interacción.

Cambios químicos durante el proceso:

En algunas reacciones se produjo cambios físicos como descomposición del metal, precipitación, desintegración y cambio de color, especialmente en la placa de Zinc con el ácido nítrico y sulfato de cobre. Es decir, que estas reacciones químicas alteran las características de los conductores metálicos durante un proceso considerando que no todas las reacciones químicas afectan de igual manera a la placa de Zinc y Cobre, lo que se hace necesario definir cada interacción (metal y líquido) por separado. Cabe mencionar que los cambios físicos de las placas metálicas en una solución son de menor afectación si se tiene una sola pareja de metales en interacción que los cambios físicos producidos en una solución con tres parejas de metales. De esta manera cuando las placas metálicas están en una misma solución se puede afirmar que al aumentar la cantidad de parejas metálicas (Cobre-Zinc) aumenta el cambio físico propio que se esté dando, adicionalmente se debe considerar que el cambio físico generado por la interacción también está en función de la

distancia entre las placas metálicas las cuales se obtienen mayores cambios físicos cuando las placas tienen una menor distancia, lo anterior puede suponer que estas dos variables (igual solución y menor distancia) que logran mayores cambios físicos dependen de la magnitud corriente eléctrica producida por la pila, ya que en estas condiciones esta magnitud fue mayor.

Relación entre la variación de las distancias entre las placas de cobre y zinc con las corrientes eléctricas que se producen en una misma solución:

Teniendo en cuenta los montajes experimentales propuestos se puede analizar otra variable que involucra las interacciones cuando las placas metálicas cambian su comunicación, es decir cuando estas placas interactúan en un medio a distancias específicas tales como 2cm, 4cm y 6cm. Para el cual se puede decir que a partir de los resultados obtenidos las variaciones de distancia implican unas variaciones directamente proporcionales de la corriente eléctrica. Se obtuvo mejores resultados cuando las placas metálicas están a una distancia de dos centímetros (2cm) para el ácido sulfúrico y el sulfato de cobre y para una distancia de seis centímetros (6cm) ocurre con el ácido nítrico y el cloruro de sodio.

Estas variaciones de distancia entre las placas indican una variable que nace al considerar la cantidad de solución presentes en las dos placas, es decir el volumen entre ellas, para el cual se puede afirmar que una distancia menor entre las placas sumergidas en ácido sulfúrico y sulfato de cobre mayor facilidad tiene el flujo de electricidad de pasar entre una placa a otra, se puede decir que el espacio ocupado de estas sustancias tiene una propiedad (se podría llamar resistencia) capaz de permitir que las interacciones se den con mayor facilidad. Sin embargo esta propiedad es particular de cada solución pues para la solución de ácido nítrico y cloruro de sodio la distancia debe ser mayor.

Se puede concluir que la pila con estables y mejores resultados de corriente eléctrica se obtiene cuando las placas metálicas se encuentran en una solución de ácido sulfúrico.

Relación entre la variación de las distancias entre las placas de cobre y zinc con las tensiones eléctricas (voltaje) que se producen en una misma solución:

Al realizar las mediciones de voltaje se está relacionando la propiedad llamada tensión, la cual establece la relación directa que genera cada pareja de metales en una solución y esta relación no depende de la distancia entre las placas. Al tener más disposiciones de placas y una solución se aumenta la tensión, pues cada disposición tiene su tensión propia la cual al ir aumentando la disposición aumenta la tensión si se trata de una solución.

En los resultados obtenidos se encontró que la tensión es aproximadamente igual cuando se varían las distancias en la pila para una, dos y tres parejas de placas, estos resultados se mantienen aproximadamente constante si están las placas sumergidas en ácido sulfúrico y en cloruro de sodio. Los mejores resultados se obtuvieron cuando las placas se sumergen en ácido sulfúrico, cloruro de sodio, ácido nítrico y finalmente sulfato de cobre.

Relación entre las corrientes eléctricas y la tensión que se producen en diferentes soluciones:

Cuando las placas metálicas están sumergidas en diferentes soluciones se obtienen relaciones diferentes a aquellas que se sumergen en una solución, por ello cuando las placas metálicas están sumergidas en diferentes soluciones se puede afirmar que al aumentar la cantidad de parejas metálicas (Cobre-Zinc) disminuye la intensidad de corriente eléctrica, lo cual involucra de manera directa afirmar que la corriente eléctrica encuentra mayor resistencia (tensión) al aumentar la cantidad de placas en interacción.

Los resultados de corriente eléctrica y tensión son de menor magnitud al compararlos con aquellos que se producen en una solución, por lo que no se recomienda esta disposición y combinación de sustancias para construir una pila de Volta modificada. Las mediciones indican que se obtiene mejor cantidad de corriente eléctrica cuando la placa de Zinc está sumergida en ácido nítrico y la placa de Cobre está sumergida en sulfato de cobre para una pareja de metal y cuando la placa de Zinc está sumergida en cloruro de sodio y la placa de

Cobre está sumergido sulfato de cobre para una pareja de metal. Para la tensión (voltaje) de cada pareja de metales se mantuvo aproximadamente constante en una pila donde la placa de Zinc está sumergida en ácido sulfúrico y la placa de Cobre está sumergida en sulfato de cobre

Como precauciones generales y para obtener mejores resultados y confiables, se debe limpiar la superficie de las placas metálicas y dejarlas sin residuos o sin ninguna sustancia; para esto, se sugiere pulir la superficie con una lija una vez se realice cualquier medición. Es importante hacer las mediciones en el instante que las placas metálicas entren en contacto con la solución, debido a que se inicia de manera inmediata una reacción química placa metálica - solución.

Finalmente se realizó mediciones de temperatura antes y después de hacer las conexiones entre las parejas metálicas, para lo cual se encontró que la temperatura no cambia drásticamente, es decir las variaciones de temperatura son aproximadamente inferiores a un grado Celsius. Sin embargo, la única variación de dos grados se determinó cuando los conductores metálicos están en la solución de ácido nítrico.

CONCLUSIONES

Los docentes al asumir una postura actual en la enseñanza de las ciencias requieren considerar el rol y análisis de una clase de fenómenos, para los cuales se hace necesario que el docente lleve a cabo investigaciones que le permitan comprender los fenómenos presentes en una situación. Como punto de partida no es de gran aporte que los docentes tengan como referente principal fuentes de divulgación, pues estas se enfatizan en aspectos teóricos, formulaciones matemáticas y descripciones deterministas de un fenómeno. Como se ha presentado en el desarrollo de este trabajo investigativo se ha consolidado un momento de análisis histórico, experimental y reflexión pedagógica sobre el fenómeno de la corriente eléctrica, el cual brinda elementos necesarios para que el docente comprenda la corriente eléctrica desde la relación entre los efectos químicos y eléctricos que emergen en la actividad experimental.

Lo anterior, brinda al docente ampliar la perspectiva fenomenológica de la corriente eléctrica, reconociendo desde la actividad experimental relaciones entre fenómenos y caracterizando la corriente eléctrica a partir de sus efectos, los cuales pueden ser observables y medibles. Dichos momentos promueven la indagación y análisis constante de referentes históricos, diseños de montajes experimentales con unas intenciones y preguntas particulares, clasificación y organización de materiales pertinentes para el análisis del fenómeno, descripciones y mediciones de los efectos de un fenómeno, reflexiones finales de la actividad experimental promueven propuestas de aula encaminadas a la ampliación de la experiencia, construcción y reconstrucción de explicaciones sobre lo que ocurre en el fenómeno, preguntas que se desencadenan para crear un amplio rango en la comprensión de la corriente eléctrica.

El abordaje y análisis histórico de fuentes primarias y secundarias permite identificar avances experimentales de contextos específicos en el fenómeno de la corriente eléctrica. Desde la controversia por determinar la causa de su producción, la invención de la pila de

Volta, detectar conmociones producidas al cuerpo humano las cuales son descritas como intensas o leves, definir que la corriente eléctrica tiene diferentes efectos que dependen las características de los conductores, su interacción y disposición, la descripción de los efectos que pueden ser observados y cuantificados por un experimentador entre los que se destacan los efectos químicos, magnéticos y lumínicos.

El análisis histórico creó un vínculo con la propuesta de investigación, donde la actividad experimental diseñada crea unos referentes para comprender la corriente eléctrica a partir de sus efectos y unos referentes para elaborar una propuesta de aula diseñada a la enseñanza de los fenómenos eléctricos. La propuesta experimental permite estructurar una caracterización de la corriente eléctrica desde la relación de dos efectos, eléctrico y químico, para lo cual se diseña y se construye una pila que permite realizar una serie de observaciones y mediciones pertinentes para estos efectos. Cabe mencionar que a pesar de la relación de estos dos efectos se puede ampliar la caracterización de la corriente con otros montajes experimentales, como el propuesto en el trabajo investigativo de Maestría en Docencia de la Química titulado “*Elaboración de la categoría de equivalencia desde una visión fenomenológica para la enseñanza de la estequiometría*” realizado por las estudiantes Leydy Paola Jiménez Vásquez y Yeimi Consuelo Preciado (Jiménez Vásquez & Preciado, 2016), donde se establece una relación entre los efectos magnéticos y químicos⁴⁴.

La actividad experimental como actividad pedagógica crea un escenario significativo para la enseñanza, desde la observación, las inquietudes, las hipótesis, las propuestas experimentales y la experiencia a la que se encuentra ligado el estudiante y el docente son otras propuestas posibles encaminadas a comprender un evento, donde los referentes teóricos y modelos conceptuales no son la base de comprobación, es decir, la actividad experimental tiene otras intenciones como problematizar el conocimiento y consolidar nuevos conocimientos de un fenómeno.

⁴⁴ Este trabajo investigativo, fundamentado con los trabajos de Faraday, propone montajes experimentales para medir la cantidad de sustancia que se descompone en un tiempo determinado. Es decir, se hacen mediciones de la cantidad de gas (volumen) producido por cada interacción y la cantidad de efecto magnético producido por la pila voltaica.

PROYECCIONES

Este trabajo se presenta como una manera de abordar el corriente eléctrica desde la perspectiva fenomenológica a través de la caracterización de la relación entre dos efectos, eléctrico y químico, en donde se reconoce que no es una relación única de efectos producidos de una interacción entre conductores metálicos y líquidos. Este trabajo se constituye como referente para otras investigaciones, las cuales involucran otras relaciones entre efectos y la construcción de instrumentos de medida para establecer una magnitud llamada corriente eléctrica.

Debido a la importancia que se le dio a la actividad experimental para caracterizar la corriente eléctrica dirigida a los docentes, se puede proponer y profundizar propuestas significativas y contextualizadas para llevar al aula, es decir que este trabajo sea la base para futuras investigaciones sobre la fenomenología de la corriente eléctrica, la importancia para la ampliación de la experiencia, la elaboración de explicaciones a la relación entre otros efectos y la construcción de una magnitud que permita relacionar la caracterización de la corriente eléctrica con el instrumento de medida.

La experiencia de la corriente eléctrica, se reduce por lo general en una serie de vivencias organizadas en las cuales se ha dado una relación en conjunto de tres aspectos de los circuitos eléctricos: la corriente eléctrica, la resistencia y el voltaje. Esta serie de vivencias se presentan sin una reflexión profunda y sin alguna experiencia sensible y apreciable que permita hacer una indagación de los fenómenos que están presentes, se aborda estos aspectos en conjunto construyendo esquemas de circuitos eléctricos y haciendo mediciones que permitan llegar a una comparación entre los datos experimentales y la ley de Ohm, pero no hay una comprensión de cada uno de ellos (*Ver planteamiento del problema*). Es por ello que desde este trabajo la ampliación de la experiencia desde la actividad experimental resulta necesario para construir un campo de estudio desde lo fenomenológico y desde el estudio de los efectos e interacciones para generar unos espacios de indagación, cuestionamiento, observación, discusión y construcción de explicaciones del fenómeno.

De esta manera la actividad experimental desde la construcción de explicaciones, llevadas a cabo en la enseñanza de las ciencias, y de gran interés en la enseñanza de la corriente eléctrica, este trabajo propone futuras propuestas de aula que privilegie la construcción de explicaciones y comprensiones acerca de los fenómenos abordados a partir de las relaciones entre los efectos.

La ampliación de la experiencia y la elaboración de explicaciones a partir de la actividad experimental son momentos que sirven a la base para construir una unidad de medida. La observación, la descripción y la ordenación de cualidades presentes en un montaje experimental son producto de un análisis alrededor de los fenómenos que están a la base de la actividad experimental. Un proceso necesario para describir y caracterizar de forma cuantitativa la magnitud de los fenómenos evidenciados, sin embargo, este proceso requiere de unos criterios de ordenación en relación a las cualidades descritas que se organizan en una escala⁴⁵ específica de dicha cualidad. El conjunto de las cualidades y la ordenación de una escala proponen la construcción de un instrumento de medida, implicando relacionar las cualidades que abarcan la comprensión de un conjunto de fenómenos. El instrumento de medida ligado a la actividad experimental y por ende a la construcción de magnitudes y formas de medida para la corriente eléctrica, requiere primero ampliar el estudio de la relación entre efectos relacionados en el fenómeno, realizar unas ordenaciones a las cualidades observadas para lo cual lleva a construir una magnitud que manifieste estas cualidades descritas. Es importante mencionar que la construcción de una magnitud está estrechamente vinculada al campo fenomenológico, las escalas de ordenación de cualidades (implica una caracterización de los fenómenos) y al diseño de un instrumento que permita cuantificar los efectos producidos.

⁴⁵ La escala suministra una ordenación, la cual no necesariamente debe ser una escala numérica.

BIBLIOGRAFÍA

FUENTES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

Bernardi, W. (2000). *The Controversy on Animal Electricity in Eighteenth-Century Italy: Galvani, Volta and Others*. Nova Voltiana: Studies on Volta and His Times.

Castellanos García, G. (1934). *Panorama histórico: ensayo de cronología cubana, desde 1492 hasta 1933*. Cuba: Ucar, García y Cía.

Faraday, M. (1834). *Experimental Researches in Electricity*. London: Royal Society of London.

Joule, J. P. (1884). *The Scientific Papers of James Prescott Joule*. Londres: The physical Society of London.

Khun, T. (1994). *¿Qué son las revoluciones científicas?* Barcelona: Fondo de Cultura Económica.

Latorre, R., López-Berneo, J., Bezanilla, F., & Llinás, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Pera, M. (1986). *La rana ambigua: La controversia sull'elettricità animale tra Galvani e Volta*. Storica Einaudi.

Pérez, J. (2005). Una aproximación a la vida y obra de James Prescott Joule. Del motor eléctrico a la conservación de la sabia mano de un cervecero de Mancheste. *El Día*, págs. 1-7.

Rhys Morus, I. (2017). *Williams Robert Grove: Victorian Gentleman of Science. Scientists of Wales*. University of Wales Press.

Romero, O., & Bautista, M. (2011). *Hipertexto Física*. Bogotá: Editorial Santillana .

Rudomín, P. (1997). *La controversia Galvani-Volta sobre la electricidad animal*. Italia en la Medicina: Ensayos Mexicanos.

Sallent del Colombo, E. (1798/2000). Alessandro Volta: sobre la electricidad excitada por el simple contacto de sustancias conductoras de distintas especies. Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, SEHCYT.

Volta, F. A. (2013). *Fondazione Alessandro Volta*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de <http://alessandrovolta.it/scoperte-e-strumenti/>

PROPUESTAS DE INVESTIGACION PARA LA ENSEÑANZA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Barco, H., Arango, P., & Devia, A. (2013). *Laboratorio de Física III*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Cano, J., Gómez, J., & Cely, I. (2009). *La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico-epistemológico*. Antioquia.

Jiménez Vásquez, L., & Preciado, Y. (2016). *Elaboración de la categoría de equivalencia desde una visión fenomenológica para la enseñanza de la estequiometría*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Martínez, J. (2013). *Propuesta metodológica para mejorar el aprendizaje del tema de electroquímica en estudiantes de 10 grado de la institución educativa cañaveral a través del estudio de sus ideas previas*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

TEXTOS ESCOLARES Y UNIVERSITARIOS

Bueche, F. (2007). *Física general*. España: Schaum.

Garritz, A., & Chamizo, J. (1994). *Química*. México: Pearson Educación.

Mondragón, C., Peña, L., Sánchez, M., Arbeláez, F., & González, D. (2010). *Hipertexto Química*. Bogotá: Editorial Santillana.

O'Connor, P., Haenisch, MacNab, & MacClellan. (1982). *Química experimentos y teorías*. Barcelona: Editorial Reverté.

Phillips, J., Strozak, V., Wilstrom, C., & Zike, D. (2012). *Química: conceptos y aplicaciones*. McGraw Hill.

Sears, & Zemansky. (2009). *Física universitaria con física moderna*. México: Pearson Educación.

Serway, F. (2005). *Física*. México: Thompson.

Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. México: Cengage Learning.

Tippens, P. (2011). *Física conceptos y aplicaciones*. Perú: McGraw-Hill Interamericana Editores.

DEFINICIONES Y BIBLIOGRAFÍAS

CECs. (2010). *Recursos para la educación: Centro de estudios científicos*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <http://www.cecs.cl/educacion/index.php?section=fisica&classe=28&id=50>

cubana, R. (2009). *EcuRed: conocimiento con todos y para todos*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de https://www.ecured.cu/%C3%81cido_sulf%C3%BArico

Daniell, J. F., Miller, W. A., & Tomlinson, C. (1845). *Elements of Meteorology*. Londres: Stanford University Libraries.

Delft, E. U. (1993). *Lenntech*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm#ixzz4jjx3gbDW>

Ganot, A. (1862). *Tratado de Física experimental y aplicada y de meteorología con una numerosa colección de problemas*. Madrid: Librería extranjera y nacional, científica y literaria.

Historia Universal. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 2017, de <https://mihistoriauniversal.com/biografia/michael-faraday/>

Institute, T. F. (s.f.). *The Franklin Institute*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de <https://www.fi.edu/benjamin-franklin/benjamin-franklin-faq>

Jenkins, J. D. (1982). *Sparkmuseum*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de http://www.sparkmuseum.com/BOOK_NOLLET.HTM

Varela, J. (s.f.). *A hombres de gigantes. Ciencia y tecnología*. Recuperado el Febrero de 2017, de 2014: <https://ahombrosdegigantescienciaytecnologia.wordpress.com/2015/08/06/el-descubridor-del-paladio-el-rodio-y-el-inventor-de-una-pila-singular-wollaston/>

Weisstein, E. (1996). *Science a wolfram web resource*. Recuperado el 1 de Mayo de 2017, de <http://scienceworld.wolfram.com/biography/Poggendorff.html>