

**El Efecto Hall:
Hacia la conceptualización de la corriente eléctrica. Análisis histórico y experimental**

Jose Miguel González Alfaro

**Asesor:
Mg. José Francisco Malagón Sánchez**

**Línea de investigación:
La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural**

Monografía presentada para obtener el título de licenciado en física

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de ciencia y tecnología
Departamento de Física
Bogotá D.C., Colombia
2016**

“En efecto existe, jueces, una ley no escrita, sino innata, la cual no hemos aprendido, heredado, leído sino que de la naturaleza hemos tomado, extraído, exprimido, para la que no hemos sido educados, sino hechos, y para la que hemos sido instruidos, sino impregnados.”

Marco Tulio Cicerón.

Resumen

La electricidad es una rama de la física muy reciente y a pesar de que en un principio solo se estudiaba la electricidad estática, la cual se podía producir al frotar objetos, la invención de la pila voltaica cambiaría el rumbo de esta, junto con la aparición de las corrientes eléctricas, la cual permitió un nuevo sentido en cuanto al estudio de las mismas. Así mismo, los experimentos de Faraday empezaron a dar explicaciones sobre las corrientes eléctricas en los fluidos y su comportamiento. En este orden de ideas, en el siguiente trabajo se hace una investigación de los trabajos científicos del físico estadounidense Edwin E. Hall, quien desarrolló un experimento para estudiar el comportamiento de las corrientes eléctricas en campos magnéticos, lo que lo llevó a descubrir el efecto que en la actualidad lleva su nombre. Además de resaltar en los capítulos la historia del electromagnetismo, que contribuyeron a la construcción de conocimiento científico, en este caso de cómo el efecto, anteriormente mencionado, pudo contribuir al entendimiento de la naturaleza de la corriente eléctrica y de su comportamiento en los metales.

Palabras clave: Efecto Hall, portadores de carga, corriente eléctrica, Hall, campo magnético, naturaleza de la electricidad, conductor, placa.

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN-RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de pregrado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	EL EFECTO HALL: HACIA LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA. ANÁLISIS HISTÓRICO Y EXPERIMENTAL.
Autor(es)	Gonzalez Alfaro, Jose Miguel
Director	Malagón Sánchez, José Francisco
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 53P.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	EFECTO HALL, PORTADORES DE CARGA, CORRIENTE ELÉCTRICA, HALL, CAMPO MAGNÉTICO, NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD, CONDUCTOR, PLACA.

2. Descripción
<p>El presente trabajo esta enmarcados dentro de los fundamentos de la línea de investigación Enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural como lo es los análisis de textos originales. En este caso se analizó un efecto de la física como lo es el efecto Hall el cual junto con la revisión del texto original escrito por Edwin H. Hall en el año de 1879 permitió encontrar elementos en los cuales se comienzan a hacer las primeras descripciones sobre el comportamiento de las corrientes eléctricas en los metales y caracterizar la naturaleza de las corrientes eléctricas, además de reseñar los problemas que tuvo Hall en el estudio del electromagnetismo, como lo es la asimetría entre la electrostática y la electrodinámica en cuestión de las acciones de las corrientes eléctricas.</p> <p>Donde la asimetría existente entre estas dos se plantea como un problema que aun en la actualidad puede tener cabida y se plantean más adelante unas preguntas referentes a esto. Luego de esto y en conjunto con lo anterior se procede a analizar un montaje experimental óptimo y de bajo costo el cual permita realizar las</p>

medidas de lo que es el efecto Hall. Para esto se seleccionó un trabajo en particular y se miró las condiciones que se requerían a nivel experimental, luego se procede a recrear estas y en particular la construcción un circuito amplificador el cual permitiera realizar dichas medidas.

En este orden de ideas, se presenta el proceso de la construcción y disposición de materiales de esta con el equipo de laboratorio que se dispone en la Universidad Pedagógica Nacional. Finalmente se presenta las conclusiones finales y las fuentes bibliográficas las cuales dan sustento al trabajo y los párrafos originales desde los cuales se hicieron las respectivas traducciones.

3. Fuentes

- ◆ A. Venegas, N. Alba, E. Munévar, J. M. Flórez, M. H. González. y C.E. Jácome, (2002), *Caracterización eléctrica de muestras de cobre y zinc por medio del efecto Hall*, Revista colombiana de física, Vol. 34, No. 1.
- ◆ Ayala, M. M. (2006). *Los Análisis Histórico-Críticos y La Recontextualización de Saberes Científicos*. Proposições Vol. 17, No. 1 (49), Unicamp, Brasil. Bogotá D.C., Colombia.
- ◆ Ayala, M. M., Romero, C.A., Malagón S. F., Rodríguez, R.O. , Aguilar, M. Y. y Garzón B. M., (2008), *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*, Bogotá D.C., Colombia, Kimpres, Pág. 11.
- ◆ Beléndez, A., (2008), *La unificación de la luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell*, Revista brasileña de Ensino de Física, Vol. 30, No. 2, p.p.2601.
- ◆ Berkson, W. (Ed) (1981, primera edición) (1985, segunda edición), *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*, Madrid, España, Editorial Alianza S.A. (Obra original publicada en 1974)
- ◆ Bridgman, P.W., (1939), *Biographical Memoir of Edwin Herbert Hall, 1855-1938*, The Acedemy of the Annual Meeting, National Academy of Sciences, Biographical Memoir, Vol. 21, Estados Unidos.
- ◆ Buchwald, J.Z. (1985), *From Maxwell to microphysics. Aspects of Electromagnetic Theory*

in the last quarter of the nineteenth century, The University of Chicago, Estados Unidos.

- ◆ Cánovas Picón, F., (s.f.) *James Clerk Maxwell*, Murcia, Universidad de Murcia.
- ◆ Castillo, J. C. (2008), *La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias*, Rollos Nacionales, Vol. 3, No. 25.
- ◆ David L.A. (Ed) (1968), *El descubrimiento del electrón* (David L. Anderson, trad.), México D.F., México, Editorial Reverte Mexicana S.A., (Obra original publicada en 1964)
- ◆ Farías de la Torre, E.M., González Dondo, D., Monardez, G.N., Ricón, R.A. y Alem, L.N., (2006), *Kit para la medición del efecto Hall en una placa metálica – Adquisición y procesamiento de datos*, Anales AFA, Vol.18.
- ◆ Franklin, B. (Ed) (1988), *Experimentos Y Observaciones Sobre Electricidad* (J. Summers, trad.), Alianza Editorial, S. A., Madrid, España (Obra Original Publicada En 1749) p. 93.
- ◆ Furió, C. y Guisasola, J., (1997), *Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico*, Enseñanza de las ciencias, Vol. 15, No. 2.
- ◆ Furió, C., Guisasola, J. y Zubimendi, J.L., (1998), *Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales*, Investigações em Ensino de Ciências, Vol. 3, No. 3.
- ◆ Hall, E. H. , (1879), *On a New Action of the Magnet on Electric Currents*, American Journal of Mathematics, Vol. 2, No. 3, p.p. 287-292. Artículo, Maryland, Estados Unidos.
- ◆ Leadstone, G.S., (1979), *The Discovery of the Hall Effect*, Physics Education, Vol. 14, No. 6, Artículo, South Wales, Reino Unido.
- ◆ Malagón, J. F. (2012). *Teoría y experimento, una relación dinámica: Implicaciones en la enseñanza de la física*. Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias. Vol. 8, No. 8, Artículo. Bogotá D.C., Colombia.
- ◆ Millikan, R. A. (Ed.) (1944), *Electrones (+ y -), protones, fotones, neutrones y rayos cósmicos* (C. Prélat y E. Iribarne, trad.), Buenos Aires –México, Editorial Espasa-Calpe Argentina S.A. (Obra original publicada en 1934) p.p. (25-27)
- ◆ Popovic, R.S., (2004), *Hall Effect devices, Second edition*, Bristol and Philadelphia.
- ◆ Purcell, M. E., (1985), *Electricidad y Magnetismo: Berkeley Physics, Course*, Vol. 2, No.2,

- ◆ Rodríguez, V., (2013), *el efecto Hall cuántico y sus contextos*, Scientiæ Zudia, São Paulo, Vol. 11, No. 1.
- ◆ Tatón, R. (1973), *Tomo III: La ciencia contemporánea, I: el siglo XIX* (Manuel Sacristán, trad.), Barcelona, España, Ediciones Destino, (Obra original publicada en 1987.)

4. Contenidos

El documento está organizado en tres partes. En la primera parte, se hace una recopilación histórica de como se ha venido trabajando todo lo relacionado con la carga eléctrica, la electricidad y el estudio de la naturaleza de esta y las diferentes posturas que se han tenido respecto a estas.

En la segunda parte del documento se presenta todo lo relacionado con el Efecto Hall, haciendo una introducción sobre la vida académica de Hall y sus esfuerzos por contribuir a la enseñanza de las ciencias y darle un papel privilegiado al experimento en los proceso de enseñanza. Luego de esto ya se comienza a hablar del cómo se dio el proceso para llegar a realizar el experimento que lo llevaría a descubrir el efecto que hoy lleva su nombre además de las dificultades que tuvo el profesor Hall para comprender las ideas del tratado de electricidad y magnetismo de Maxwell. Luego de esto se presentan uno gráficos desde los cuales se puede abordar las primeras especulaciones e ideas que tiene Hall sobre el comportamiento de las corrientes eléctricas y de cómo estas pudieron dar claridad sobre el comportamiento estas en un momento en el cual era poco lo que se sabía sobre la naturaleza de las corrientes eléctricas y su comportamiento en los metales.

La tercera parte del documento se encarga de exponer todo lo relacionado con el experimento del Efecto Hall como lo es el documento del cual se basó para hacer el montaje experimental el circuito amplificador como el componente principal del montaje todo con el fin de poder obtener mediciones de Efecto Hall. Luego de esto se presenta el fundamento matemático de dicho efecto y de cómo obtener los valores del coeficiente de Hall.

Luego de esto se presenta una guía de trabajo donde se exponen las preguntas que surgieron a través de la investigación y que podrían orientar hacia esa conceptualización de las corrientes eléctricas y por ultimo las Consideraciones finales sobre la investigación y se presentan las referencias bibliográficas de soporte del trabajo de grado.

5. Metodología

El desarrollo del presente trabajo se hizo bajo la implementación de una metodología de análisis de textos originales y de los estudios históricos críticos, el cual es característico en la línea de investigación enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. Pues, dentro de la línea de profundización es característico el estudio de textos originales, con la intención de establecer un “diálogo con los autores” que a su vez pueda decantar parte de las ideas expuestas por ellos. Esto, de modo que se puedan traer a colación temas específicos de los cuales se ocupaban estos autores y así, presentar estos contenidos de una manera distinta para ponerlos en práctica en pro de la enseñanza de las ciencias, particularmente de la física.

6. Conclusiones

- ◆ En el análisis de textos originales y las reconstrucciones históricas se puede adquirir herramienta para el análisis de fenómenos, además de adquirir perspectiva frente a la construcción de conceptos de la física a través de la historia, esto no dejan de ser importantes dentro de la construcción de las teorías físicas actuales ya que estas de alguna manera cimientan algunos conceptos fundamentales de la física contemporánea. Y así el estudiar esto permite poder reenfocar esos fenómenos a estudiar en pro de la enseñanza de las ciencias.
- ◆ Mediante el estudio realizado de la vida y obra de Edwin H. Hall, es relevante destacar sus logros tanto en el área de la física como en la educación. Siendo este el primer científico en poder aportar elementos sobre el estudio del comportamiento de la electricidad en conductores metálicos y en general sobre lo que se concebía como corriente eléctrica, destacando que en dicho momento de la historia era poco lo que se había estudiado respecto a esto y no se tenía muy claro estos fenómenos. De igual manera, Hall vivió en una época en donde el concepto de la electricidad tuvo un cambio significativo desde la época donde desarrolló sus primeros experimentos en el cual la electricidad era considerada

como un fluido, hasta sus últimos experimentos antes de morir donde pudo dar cuenta de estos con la teoría de los electrones. En general pudo ser un autor interesante para describir esa evolución en las corrientes eléctricas.

- ◆ A partir de la investigación realizada, es importante destacar que para el desarrollo experimental del Efecto Hall se tienen que tener en cuenta algunas características particulares que puedan garantizar una medición más precisa y exitosa de este experimento en particular un instrumento lo suficientemente sensible que pueda detectar el voltaje de Hall que se genera en el material, el cual es pequeño. De igual manera, es importante tener en cuenta aspectos sobre el conductor sobre el cual se va a realizar la medición del efecto Hall como lo es el espesor, el cual debe ser muy reducido, si no se tiene una fuente que le proporcione a la muestra una corriente alta. Estas muestras, además son de diferentes materiales como oro, plata, níquel, paladio, cobalto; que en su gran mayoría son metales de muy difícil acceso debido a su elevado costo en el mercado. Por otro lado, mediante la ejecución de este trabajo se observó que no es tan fácil llevar a cabo este experimento y que es bastante complejo realizarlo con materiales de bajo costo; razón por la cual se requiere de un equipo de laboratorio especializado.

- ◆ A partir del estudio histórico que se realizó en este trabajo, se pudo observar que existen algunas dificultades en cuanto a la enseñanza del electromagnetismo, ya que a veces pareciera que conceptos tales como lo es la *electrostática y corrientes eléctricas fueran lo mismo*; lo cual también se hace evidente en los libros de texto donde colocan los contenidos de esta misma forma, la cual daría para pensar esto. Por esta razón, es pertinente estudiar este tipo de dificultades que tienen un recorrido histórico fundamental dentro de la construcción de las teorías físicas, destacando así la importancia de esta en la resolución de los problemas de la enseñanza de estas temáticas del electromagnetismo en la actualidad. De igual modo, es significativo resaltar el valor que tiene la formación experimental para un docente, ya que esto permite elaborar conceptos un poco más estructurados de la física. Además de contribuir en la formación como docentes; pues es necesario que, al momento de ejercer la profesión, no se limite por la falta de recursos en las escuelas y se desarrollen solo clases teóricas dejando de lado la experiencia.

Elaborado por:	Jose Miguel Gonzalez Alfaro
Revisado por:	Jose Francisco Malagón Sánchez

Fecha de elaboración del Resumen:	25	11	2016
--	----	----	------

Índice General

Resumen	III
Índice De Figuras	V
Introducción	6
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
1. Las Corrientes Eléctricas	12
1.1. Contexto Histórico	12
2. El Efecto Hall	23
2.1 Los Primeros Indicios Relacionados con el Efecto	25
2.2 El Comienzo del Problema de Hall.....	26
3. El Experimento del Efecto Hall	36
3.1 El Principio del Efecto Hall	40
Guía de Trabajo	45
Preguntas	46
Conclusiones	47
Bibliografía	48
Apéndice	50

Índice de Figuras

Figura 1 Máquina electrostática de Otto de Guericke.....	19
Figura 2 Botella de Leyden	20
Figura 3 Experimento de Galvani con el sistema nervioso de las ranas	22
Figura 4 Pila voltaica	23
Figura 5 Henry Rowland	29
Figura 6 Experimento desarrollado por Rowland en 1878	30
Figura 7 Edwin H. Hall.....	31
Figura 8 Diseño experimental planteado por Thomson con el que investigó acerca de la magnetorresistencia en materiales ferromagnéticos	33
Figura 9 Esquema del pensamiento de Hall frente al comportamiento de las corrientes eléctricas en un conductor, donde los efectos de estas son directamente en las corrientes eléctricas a diferencia de lo planteado por Ampère sobre las acciones de las corrientes eléctricas en este caso dichas acciones implican el conductor como tal.....	38
Figura 10 Si representamos la corriente eléctrica como puntos los cuales circulan por medio del conductor, y si un campo magnético atrae la corriente dentro del conductor esta debería reseñarse a un costado de este	39
Figura 11 Ilustración del pensamiento de Hall haciendo una analogía con un fluido	40
Figura 12 Tabla de datos del primer experimento exitoso de Hall	42
Figura 13 Aparato para el Efecto Hall (plata)-Leybold	44
Figura 14 Laboratorio de efecto hall donde no se garantiza que las variaciones que se obtienen en el multímetro son debido a un Efecto Hall.	45
Figura 15 Primer desarrollo del montaje experimental para el efecto Hall	45
Figura 16 Nueva toma de datos con el amplificador, equipo de la izquierda	46
Figura 17 Toma de datos con un campo magnético suministrado por unas bobinas de Helmholtz	46
Figura 18 Sistema de Efecto Hall DC y AC de la UN	47
Figura 19 Circuito amplificador para la medición de la tensión Hall .. 44 Figura 18 Sistema de Efecto Hall DC y AC de la UN	48
Figura 20 PCB circuito amplificador para la medición de la tensión Hall	48
Figura 21 Circuito ya montado en la vácuola	49
Figura 22 Montaje que se realizó para medir el Efecto Hall	50
Figura 23 Diagrama Efecto Hall	51
Figura 24 Grafica de voltaje en función del campo magnético - Manual de equipo Efecto Hall	54

Introducción

La física es una ciencia cuyo propósito es dar explicaciones a ciertos fenómenos que se pueden observar en la naturaleza; esto a partir de la creación de una serie de modelos que buscan describir el fenómeno observado. No obstante, pese a que estas representaciones no siempre dan cuenta con exactitud del fenómeno descrito se busca la manera más idónea para que estos modelos proporcionen una mayor comprensión de los fenómenos naturales. Para que estas predicciones y comprensiones sean más precisas y claras se ha acudido a herramientas las cuales han permitido desarrollar experimentos que al mismo tiempo han posibilitado dicho avance, reconociendo así la actividad experimental como un eje fundamental en la física.

Así pues, la física tiene diferentes campos de estudio entre los que se encuentran: la mecánica, la termodinámica, la óptica, la relatividad, el electromagnetismo, entre otros. El electromagnetismo, en particular, es una rama de la física muy reciente, que se encarga de estudiar los fenómenos eléctricos y magnéticos conjuntamente; en sus inicios, cada una de estas disciplinas –electricidad y magnetismo- se estudiaban por aparte, lo que produjo que ambas se llegaran a confundir; no obstante, las investigaciones y el desarrollo que se dio durante los siglos posteriores las condujeron a ser una sola ciencia.

La electricidad, particularmente, se comenzó a explorar de forma muy cualitativa por Tales de Mileto, cerca del año 600 A.C., frotando objetos y viendo cómo estos podían atraerse con otros más ligeros. Después de esto, pasaron aproximadamente 2200 años en los que no se realizó ningún avance significativo en el estudio referente a los fenómenos eléctricos. Empero, fue hasta el siglo XVI donde de la mano de William Gilbert, las ideas de Tales de Mileto fueron retomadas. A partir de aquí, el estudio de la electricidad se caracterizaría por ser una ciencia empírica que aportaría, en gran medida, a las descripciones y la construcción del conocimiento alrededor de esta, tomando así gran relevancia en la física.

Estas descripciones, realizadas por Gilbert fueron el inicio de lo que sería el avance de numerosos experimentos que se desarrollaron paulatinamente y permitieron dar apreciaciones más profundas de los fenómenos eléctricos. Todas estas consideraciones eran publicadas y cada

vez se hacían más recopilaciones acerca del estado del arte de la electricidad, pero, asimismo, cada vez surgía algo nuevo, haciendo de esta una ciencia de gran dinamismo para la época. A lo largo de los años científicos como: *Stephen gray*, *Charles du Fay*, *Pieter van Musschenbroe*, *Benjamín Franklin*, *Henry Cavendish*, *Charles Coulomb*, *Luigi Galvani*, *Alessandro Volta*, *Humphry Davy* y *Michael Faraday*, entre otros, le dieron el estatus al estudio de la electricidad con los experimentos que desarrollaron cada uno.

Es importante resaltar que la experimentación tuvo un proceso de evolución que permitió instaurar la electricidad como uno de los fenómenos más importantes en el estudio de la física. Por esta razón, es significativo hacer referencia a este momento clave de la historia de la electricidad, pues el electromagnetismo es reconocido, actualmente, como una ciencia donde la actividad experimental fue y es fundamental. De igual manera, es pertinente poder reconocer estos momentos de la historia y la construcción de conocimiento en colectividad, pues aunque la gran mayoría de ideas preconcebidas por los científicos de años atrás ya no son válidas, no implica que estas carezcan de sentido frente a las teorías ya concebidas en la actualidad, igualmente, no se hubiesen podido consolidar estas ideas finales alrededor de la electricidad sin la construcción de planteamientos previos.

Por todo lo anterior, es importante no desconocer los trabajos desarrollados en la electricidad años anteriores, ya que estos fueron contundentes en el progreso de la teoría electromagnética moderna. Así pues, todas estas investigaciones han proporcionado una perspectiva que ha sido fundamental en la estructuración del conocimiento, para así poder encontrar problemas de los cuales no se hayan trabajado y trayéndolos a colación a la actualidad en el contexto de la enseñanza de la física. Un elemento clave en la enseñanza de las ciencias son los libros de texto, estos exponen una gran mayoría de las temáticas a trabajar alrededor de un curso en particular, en donde generalmente se presentan contenidos científicos como algo constituido y estos, a su vez, se apoyan con una actividad experimental para demostrar el tema expuesto. Sin embargo, esta idea supone, como afirma Castillo: “el conocimiento, y por ende la ciencia no puede ser entendida como producto terminado, sino como una actividad, en la cual se formulan problemas, se estructuran fenómenos y construyen explicaciones, actividad situada en contextos particulares

que se constituyen en espacio de significación donde esta cobra sentido para los sujetos involucrados”.¹

Por otro lado, los libros de texto no tienen en cuenta factores y consideraciones que son importantes a la hora de entender y explicar la ciencia, como son: la finalidad con la que se desarrollaban estos pensamientos para la ciencia, ni la época en que se plantean, ni sus consecuencias. Así pues, los textos originales toman gran importancia en la enseñanza, pues como afirman Ayala y otros: “El análisis de estos textos y fragmentos a través de los cuales los mismos científicos dieron a conocer públicamente sus propuestas teóricas y sus resultados contribuye a comprender que los conceptos que usualmente son presentados en la enseñanza de manera acabada, tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo para haber sido aceptados por la comunidad científica”.²

Precisado lo anterior, se decidió estudiar un momento en la historia en el cual se comenzó a constituir con fuerza lo que es la electricidad y, en particular, el caso de un científico que aunque no es muy conocido en el desarrollo de la teoría electromagnética, dispuso un experimento que fue clave para comenzar a dar cuenta sobre la naturaleza de la electricidad en conductores metálicos. Edwin Herbert Hall, físico estadounidense, desarrolló en el año de 1879, un experimento para analizar los efectos del campo magnético en un conductor con una corriente eléctrica. A raíz de esto descubrió que esta disposición experimental hacia que se produjera un campo eléctrico adicional y un voltaje en los extremos de la placa, este efecto que hoy en día lleva su nombre, y aunque actualmente su mérito es reconocido en el área del estado sólido, pues sus experimentos se pudieron explicar mejor con la teoría cuántica de los semiconductores en la cual los portadores de carga en el metal serían electrones (e^-) o huecos, en el año de 1879 no se

¹ Castillo, J. C. (2008). *La historia de las ciencias y la formación de maestros: la*

² Ayala, M. M., Romero, C.A., Malagón S. F., Rodríguez, R.O. , Aguilar, M. Y. & Garzón B. M. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá D.C., Colombia. Kimpres, Pág. 11

tenía conocimiento de esto, además no se había estudiado a profundidad la conducción eléctrica en los metales.³

A partir de lo anterior se puede hablar de dos posturas, una desde los artículos originales escritos por Hall y otra a partir de lo que se presenta actualmente en la gran mayoría de los textos de física: electromagnetismo, donde no se han tenido en cuenta las consideraciones que hizo Hall en principio para llegar a lo que actualmente se sabe de dicho efecto. Con esto, se muestra la importancia del estudio y análisis de textos originales, como un generador de elementos en la enseñanza de las ciencias. Además de considerar que sus experimentos y publicaciones pueden dar los primeros indicios sobre la conducción eléctrica en los metales, campo que no había sido estudiado con rigor a excepción de Faraday, quien lo había trabajado en los fluidos conductores, pero sus explicaciones no daban razón de los conductores metálicos.

El desarrollo que ha tenido esta temática ha sido en su gran mayoría experimental, donde se amplían montajes experimentales, distintas formas de medir el Efecto Hall y dar cuenta de los portadores de carga en un metal, sea oro, plata, cobre o zinc. Por otro lado, el análisis de textos originales ha tenido su fuerte con trabajos de *Jed Z. Buchwald*, quien ha escrito libros y artículos desarrollando el tema, tanto histórica como matemáticamente, los cuales se encuentran en inglés. En español, muy pocos son los trabajos que hablen del desarrollo que tuvo dicho efecto o que implementen los artículos originales escritos por el autor, en este caso, el más próximo es Rodríguez, V. (2013). *El Efecto Hall Cuántico y Sus Contextos*. Scientia Studia Revista Latino-Americana de Filosofía e Historia da Ciências, Vol. 11, Nº 1. Artículo Sao Paulo, Brasil. En este artículo, aunque es de una temática más del interés de la física cuántica, el autor hace una introducción de lo que fue el efecto Hall clásico, precisando detalles a partir del artículo original de Hall, de sus posturas y de cómo se construyó lo que se conoce hoy como el Efecto Hall clásico.

³ “Este efecto fue descubierto en 1879 por E. H. Hall, que estudió con Rowland en Johns Hopkins. En aquellos días nada se sabía de la conducción de los metales. El mismo electrón era desconocido. Era difícil que los resultados tuvieran sentido. Generalmente el signo del “voltaje Hall” estaba de acuerdo con la conducción por portadores de carga negativo, pero habían excepciones incluso para esto. El completo conocimiento del efecto Hall en los conductores metálicos solamente llegó con la teoría cuántica de los metales, unos 50 años después del descubrimiento de Hall” Berkeley vol. 2 pág. 239

Por lo tanto, se hace oportuna una revisión de los artículos originales que escribió el mismo Hall sobre sus trabajos experimentales y de sus descubrimientos, en donde se puedan identificar los pensamientos y desarrollos de los conceptos del autor. Así, con el desarrollo de esto, se pueden encontrar alternativas para la enseñanza y la comprensión que se tiene de la naturaleza de la electricidad y de las corrientes eléctricas, de tal forma que se constituya en una herramienta de aprendizaje que no reproduzca los planteamientos sugeridos en los textos usados en la enseñanza de la física. De acuerdo a lo expuesto anteriormente, surge la siguiente pregunta, la cual guiará la presente investigación:

¿Cómo a partir del Efecto Hall y del análisis de su actividad experimental es posible conceptualizar la corriente eléctrica en la enseñanza de las ciencias?

Para la discusión del presente trabajo, se hace un planteamiento que arroja un objetivo general del cual se desglosan tres objetivos específicos, a fin de que se dé un sentido al fundamento y a los cuestionamientos que guían esta investigación.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio del desarrollo histórico sobre la naturaleza de la electricidad y de cómo el experimento del Efecto Hall podría contribuir a la comprensión de las corrientes eléctricas en conductores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Sintetizar los diferentes postulados que se tenían sobre la naturaleza de la electricidad, partiendo de la invención de la pila voltaica hasta el descubrimiento del Efecto Hall.
- ◆ Contextualizar los procesos de desarrollo del Efecto Hall y la formalización de los sucesos físicos que dan lugar al mismo.
- ◆ Realizar un montaje experimental con materiales de fácil acceso, con los cuales se pueda realizar las mediciones del Efecto Hall.

En este orden de ideas, la presente investigación será dividida en tres capítulos:

En el primer capítulo se hace una recopilación de orden histórico, se considerarán todos los antecedentes que hacen referencia a dichos fenómenos en donde se pretende mostrar las concepciones que se tuvieron en relación a las cargas eléctricas y la naturaleza de la electricidad hasta el momento en que se realizaron los primeros experimentos hechos por el físico Edwin Hall; en el segundo capítulo, se hará una breve descripción de la vida académica de Hall, además se desarrollará todo lo referente al Efecto Hall, sus primeros planteamientos, experimentos y su descubrimiento, asimismo la formalización de los sucesos físicos que dan lugar a este; por último, en el tercer capítulo desarrollará todo lo referente al experimento, en donde se realizará un montaje experimental con materiales de fácil acceso para así, realizar las mediciones referentes al Efecto Hall, que permita impulsar las ideas planteadas en todos los capítulos anteriores. Para concluir se harán consideraciones finales sobre la investigación y las referencias bibliográficas que sirven de soporte del presente trabajo de grado.

Capítulo 1

LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS

La presente investigación, se concibe como una reflexión asociada a la construcción y concepción de la corriente eléctrica y su comportamiento a través del examen de aspectos fundamentales sobre el estudio del Efecto Hall. En este orden de ideas, es pertinente realizar una contextualización de cuáles eran las consideraciones respecto a la electricidad desde el siglo XVIII hasta el siglo XIX, señalando algunos aspectos históricos generales y de cómo se concebía la electricidad desde la invención de la pila hasta llegar al momento dónde se desarrollaría el Efecto Hall.

1.1. Contexto histórico

Durante el inicio del siglo XVII no fueron muchos los avances en el campo de la electricidad, los experimentos que se desarrollaban durante este periodo no diferían de lo que sabían los antiguos griegos, como Tales de Mileto, quien al frotar ámbar con una tela y ver cómo este podría atraer polvo y minúsculos trozos de madera. Pero el frotar materiales de todo tipo permitió establecer las propiedades de atracción y repulsión que algunos objetos como el vidrio y ámbar presentaban al frotarlos, estos experimentos permitieron consolidar nuevos términos, como lo sería fuerza eléctrica o atracción eléctrica. El renacer de estas experiencias dio cabida a la invención de máquinas electrostáticas, uno de los pioneros de estas creaciones fue Otto De Guericke, maquinas que permitieron desarrollar experimentos detallados y buscar explicaciones acerca de los fenómenos eléctricos.

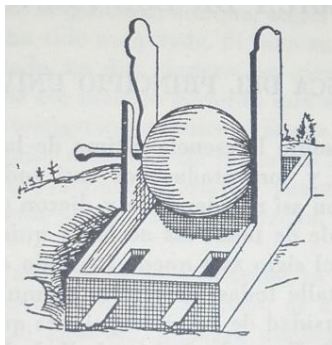


Fig. 1. Máquina electrostática de Otto de Guericke. (Tomado de Tatón 1973 vol. III p. 383)

A partir de ahí, el develar los fenómenos alrededor de la electricidad puso a experimentar a una gran cantidad de científicos, en su mayoría europeos, quienes postulaban sus teorías y se basaban en los trabajos de sus colegas. Es el caso del químico y físico Charles du Fay, quien estudió las propiedades atractivas y repulsivas de la electricidad y llegó a suponer que esta se podía comportar de dos maneras, para esto, frotó cristal y ámbar o sustancias resinosas en general. Llamó fluido eléctrico “vítreo” al primero, y fluido eléctrico “resinoso” al segundo, la electricidad vítrea sería aquella que repelería a objetos con su misma electricidad y contrariamente atraería a aquellas que contuvieran electricidad resinosa.⁴

Por esta época era común hablar sobre la existencia de fluidos para dar cuenta de diferentes fenómenos en el campo de la física, siendo así, para el calor, la luz, el magnetismo, y en este caso, la electricidad, llevando el nombre de “fluidos eléctricos”, idea que seguiría presente durante algún tiempo. Esto llevó a pensar a los hombres de ciencia en contener este fluido; por consiguiente, fue en la ciudad de Leyden (Holanda) donde el físico holandés Pieter van Musschenbroek, desarrolló un dispositivo bajo la siguiente suposición: si la electricidad era un fluido, esta se tendría que poder almacenar dentro de una botella. Fue así como surgió la *Botella de Leyden*, que fue de gran importancia para el desarrollo de nuevos experimentos alrededor de la electricidad.

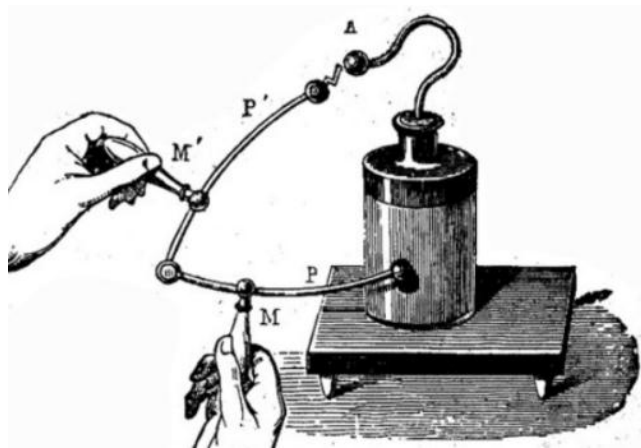


Fig. 2. Botella de Leyden (Tomado de Editions Garnier Fréires 1896 pág. 29)

⁴ Beléndez, A. (2008). *La unificación de la luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell*. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol. 30, N° 2, pp.(2601-1 – 2601-20)

Dicho invento traería fascinación por toda Europa, ya que causaba curiosidad y fascinación en los científicos, el hecho de que se pudiera “contener electricidad” en una botella y que al liberarla, esta se produjera en chispas que se asemejaban a los rayos que caían del cielo, esto impulsó con mayor fuerza el estudio de fenómenos eléctricos. Tal era el caso de Benjamín Franklin, quien desarrolló cierta fascinación por estos, lo cual lo llevó a realizar una serie de experimentos e investigaciones, recopiló todos sus hallazgos en una serie de cartas que fueron publicadas en el año de 1749, bajo el nombre de *Experimentos Y Observaciones Sobre Electricidad*, entre una de sus observaciones destacadas se encuentran⁵:

- ◆ La materia eléctrica consta de partículas extremadamente sutiles, que pueden penetrar en la materia común, incluso en los metales más densos, con tal facilidad y libertad, que no sufre resistencia alguna perceptible.
- ◆ Cuando un trozo de materia ordinaria, totalmente libre de materia eléctrica, se le acerca una partícula aislada y cargada, es atraída y entra en dicha posición ocupando un lugar entre su centro o en aquella posición donde la atracción con las restantes partículas sea la misma. Las nuevas partículas que entran toman posiciones de forma que guardan un equilibrio entre la atracción de la materia ordinaria y su propia repulsión mutua. Suponemos que estas partículas forman triángulos cuyos lados disminuyen a medida que su número aumenta, de manera que la materia ordinaria puede absorber tantas nuevas partículas hasta que su capacidad para compensar aquellos triángulos por atracción es igual a su capacidad de expansión de ellos mismos por repulsión. Entonces ese trozo de materia ordinaria no recibirá más.
- ◆ Cuando la cantidad de fluido eléctrico que ha sido extraída de un trozo de materia ordinaria es restaurada de nuevo, los triángulos que, antes, habían aumentado son de nuevo comprimidos hasta que ocupen el espacio primitivo.

⁵ Los ítems que están a continuación fueron expuestos textualmente de libro:
Franklin B. (1988) *Experimentos Y Observaciones Sobre Electricidad* (Summers J., Trad.). Alianza Editorial, S. A. Madrid , (Obra Original Publicada En 1749) p. 93

Con estas citas que se plantearon previamente en el texto acerca de Franklin, se puede ver cómo es uno de los primeros indicios que lo llevarían a plantear el principio de conservación de la carga. Además que sus observaciones lo llevaron a concluir la existencia de un único fluido eléctrico (fuego eléctrico), el cual se encontraba en su estado neutro y no en las dos que se presumían, asimismo postuló que los cuerpos poseían dos tipos de estados de electrización, que denominó: *positivo* y *negativo*, de acuerdo con la electricidad *vítrea* y *resinosa* respectivamente, donde el fluido eléctrico iría del cuerpo con un exceso fluido al que tuviera déficit del mismo. Con esto se puede hacer una idea de lo que para él es el fluido eléctrico, pues como lo propone Franklin, este está compuesto de una serie de partículas que penetran la materia; en este caso, aunque no se tiene una conjetura precisa sobre la naturaleza exacta de la electricidad, se puede ver que desde muchos años atrás ya se tenían ideas sobre la *electricidad* como un corpúsculo, a pesar de que no hubiera, en el momento, un experimento que permitiera definir estos planteamientos. Entonces, tendría que pasar casi un siglo para que lo planteado por Franklin pudiera esclarecerse de la mano de Michael Faraday.

En 1780, el médico Luigi Galvani, descubre cómo las descargas eléctricas actúan sobre el sistema nervioso de las ranas haciendo que los músculos de estas se contrajeran al circular una descarga. Para esto, conectó un gancho de cobre a la médula espinal de la rana y al ponerla sobre una plancha de hierro el cuerpo de esta experimentó una serie de contracciones en sus músculos; Galvani, al observar esto, volvió a repetir la experiencia, esta vez, con diferentes tipos de metales y observó que ocurría lo mismo; luego, probó con otros materiales no conductores, obteniendo con estos un resultado desfavorable. Galvani creía que esta electricidad era inherente al animal y comparó la disposición de circuito (sistema nervioso de la rana, plancha de hierro, gancho de cobre) con la Botella de Leyden, en dónde el nervio sería el interior de la armadura y el músculo la externa.

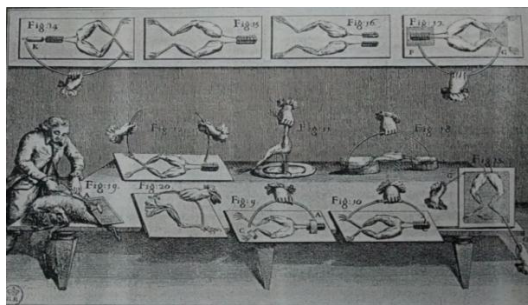


Fig. 3. Experimentos de Galvani con el sistema nervioso de las ranas (Tomado de Tatón 1973 vol. III pág. 38)

Con todo lo planteado por una gran variedad de científicos, entre ellos Stephen Gray, Charles du Fay y los mencionados anteriormente, y pese a que se gozaba de cierto avance en el estudio de los fenómenos eléctricos, no había una forma de producir electricidad de una manera estable, lo único eran las máquinas electrostáticas, que solo hacían una descarga transitoria. Sin embargo, este hecho se vería remediado por la invención de la pila en 1800 por Alessandro Volta, para lo cual, quien tuvo gran influencia por parte de Luigi Galvani y sus experimentos con las ranas.

Volta había trabajado en el campo de la electricidad y realizando diferentes experimentos, en 1792, encuentra los experimentos de Galvani, a pesar de que rechazaba su teoría de la electricidad animal, encontró interesante la disposición del circuito planteado por Galvani y el poder reflexionar cómo este podría generar alguna reacción eléctrica, así que decidió repetir sus experimentos y plantearse otros. Uno de estos experimentos consistía en la implementación de arandelas e incluso usó su propia lengua, en donde pudo notar que si se encerraba esta con arandelas de un material diferente y las unía con un hilo de metal, sentía una sensación ácida y alcalina. “El contacto entre conductores diferentes, sobre todo los metálicos. ..., que llamaré conductores secos, o de primera clase, y conductores húmedos, o de segunda clase, despierta el fluido eléctrico y le comunica cierta impulso o incitación”.⁶

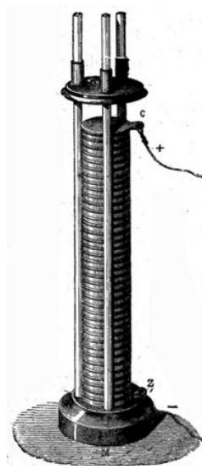


Fig. 4. Pila voltaica (tomado de Editions Garnier Freres 1896 pág. 48)

⁶ Como se cita en Tatón, 199, p.238

En 1800, Volta inventó la pila con discos de zinc y cobre separados por cartones húmedos, en donde cada disco de diferente metal actuaba como carga positiva y negativa, respectivamente. Con estos nuevos descubrimientos surgieron nuevos planteamientos acerca de cómo era posible producir una corriente ligando los procesos químicos con las corrientes eléctricas tal como lo planteó Humphry Davy “«las atracciones químicas y eléctricas están producidas por la misma causa»; pero reconoció también que para comprender esos hechos adecuadamente, harían falta «puntos de vista completamente nuevos acerca de las acciones corpusculares».” (Como se cita en Tatón, 199, p.239).

Años más tarde se empezaron a vincular los efectos eléctricos y magnéticos, ya que, anteriormente estos dos fenómenos se estudiaban de forma independiente a tal punto de confundir los fenómenos de atracción eléctricos con los magnéticos. Entre los científicos a destacar por trabajar en dichos efectos en conjunto está el físico francés André-Marie Ampère quien venía trabajando en el estudio de las acciones magnéticas de las corrientes eléctricas, “Mostró a la *Académie* que las corrientes eléctricas se atraen o se repelen recíprocamente y según leyes determinadas: era el descubrimiento de lo que llamó la *Electrodinámica*, descubrimiento fundamental que iba a eliminar los fluidos magnéticos de la Ciencia.” (Tatón, 1973, p.243). Dentro de todos los planteamientos de Ampère, existió uno en particular a resaltar en esta recolección de información, que sería una teoría de corrientes moleculares la cual pensó mientras desarrollaba sus experimentos de acciones entre las corrientes eléctricas y los imanes. “No existe en los imanes corrientes permanentes macroscópicas, sino *corrientes moleculares* “que circulan alrededor de sus partículas. Esta hipótesis me ha sido comunicada por el señor Fresnel, el cual ha encontrado varias ventajas en esta forma de considerar las corrientes eléctricas de un imán” (Tatón, 1973, p.244). Aunque estas posturas no fueron muy aceptadas por otros científicos y no obedecían a algunos principios de la mecánica estadística clásica.

En general la ciencia se encontraba en un momento de gran dinamismo, la electricidad ya tenía varios postulados y teorías, y en otros campos como la química estaba en auge el descubrimiento de nuevos elementos químicos. Ya se había mirado de una forma superficial la forma en que las acciones químicas influían en la aparición de electricidad, pero no se había especulado más acerca del tema, sería en este campo donde se comenzaría a introducir Michael

Faraday, este suele ser un científico muy reconocido por sus aportes a la ciencia y de su interés por esta además de caracterizarse por ser un gran experimentador, desde sus comienzos como encuadernador fue mostrando sus habilidades hasta llegar a ser el discípulo Humphry Davy, quien había hecho trabajos relacionados con las acciones químicas sobre las corrientes eléctricas. Faraday trabajó sobre la inducción de corrientes eléctricas por campos magnéticos y dio los primeros pasos para elaborar una teoría de campos. Además desarrolló un experimento que dio uno de los primeros avances en explicar la naturaleza de las corrientes eléctricas. La electrolisis fue esa serie de experimentos que él mismo diseñó, donde el desplazamiento de la electricidad en las sustancias electrolíticas, se produce por dos tipos diferentes de portador de carga, sea iones negativos o iones positivos. Y con esto estableció las leyes de la electrolisis sobre una base cuantitativa. Y entre sus conclusiones podemos ver:

Los átomos de materia están de algún modo dotados de potencias eléctricas, o bien asociados a dichas potencias.... Las masas equivalentes (equivalentes químicos) de los cuerpos son simplemente cantidades de los mismos que contienen una misma cantidad de electricidad.... O bien, si adoptamos la teoría fraseología atómica, los átomos de los cuerpos que son equivalentes entre si tienen cantidades iguales de electricidad asociada naturalmente. (Tatón, 1973, p.256)

Y aunque Faraday no era partidario de la idea de átomo dentro de sus concepciones, en sus estudios sobre la electrolisis puede verse una de las primeras ideas sobre la atomicidad de la electricidad y de la materia.

Uno de los personajes que creía en estas ideas de las corrientes eléctricas como partículas eléctricas en movimiento fue Wilhelm Weber cuyo propósito era el desarrollo de una teoría de interacción entre Partículas eléctricas en movimiento y reunir todo lo que se sabía hasta entonces de electrostática. Este consideraba que “la corriente por un alambre consistía en movimientos iguales y opuestos de minúsculas partículas cargadas positiva y negativamente” (Anderson, 1968, p.14). Además, usó las ecuaciones de Ampère para dar a conocer la ecuación de las corrientes inducidas al variar los campos magnéticos. También trabajó en publicaciones relacionadas como El magnetismo y el diamagnetismo ideas que no están tan lejanas a nuestras concepciones modernas.

Durante el transcurso de ese tiempo ya era conocida en gran medida la mecánica; y el descubrimiento de la conservación de la energía estaba en auge, se había trabajado sobre cómo expresar en términos mecánicos ramas de la física como era el caso de la termodinámica y la óptica. Entre las ambiciones de los teóricos de la época estaba explicar todos los fenómenos de la física a través de la mecánica, en ese caso lo que se buscaba era consolidar una teoría mecanicista de la electricidad y el magnetismo. Además por esta misma época, a este tipo de fenómenos (termodinámicos, ópticos, eléctricos y magnéticos) se les daba explicaciones a través una serie de fluidos; era el caso del calórico, el éter lumínico, el fluido eléctrico y fluido magnético. Estas explicaciones con el fin de darle un medio por el cual se propagara cada uno de estos fenómenos.

Finalmente, todos los postulados de los fenómenos eléctricos y magnéticos serían consolidados en una sola teoría: *electromagnetismo*, por el físico escocés James Clerk Maxwell, quien al ser un excelente matemático se le facilitó trabajar las ideas desarrolladas por Faraday, quien las había obtenido de manera experimental y las había expresado en un lenguaje simple de entender. A partir de esto, Maxwell daría forma a estas ideas y las expresaría dentro de una teoría matemática del *electromagnetismo*. Todo su trabajo se consolidó en las publicaciones del año 1873, en los dos volúmenes de su libro: *Tratado de electricidad y magnetismo*, donde modificó las ecuaciones y postulados de sus colegas. Además, buscó la forma de adaptar los modelos mecánicos a fenómenos eléctricos y magnéticos tal como muestra (Berkson, 1974):

El modelo del campo electromagnético de Maxwell es uno de los más imaginativos pero menos verosímiles que nunca se hayan inventado. Es el único modelo de éter que logró unificar la electricidad estática, la electricidad corriente, los efectos inductivos y el magnetismo, y a partir de él, Maxwell dedujo sus ecuaciones del campo electromagnético y su teoría electromagnética de la luz (p. 188)

Pero, a pesar de que sus ecuaciones fueron una revolución para la física, pues sus ecuaciones fueron un modelo para describir los fenómenos electromagnéticos, en sus tratados no se considera un modelo específico sobre la naturaleza de la electricidad, estos se establecen bajo la idea del éter, y sus ecuaciones dejan una incipiente manera en la que se puede entender la

electricidad, sea por la idea de un fluido continuo o como un conjunto de partículas. Al parecer no tenía mucha importancia al momento de hacer las predicciones teóricas sobre los fenómenos observables. Pero Maxwell parecía estar más de acuerdo con el modelo de fluido continuo y ver la idea de electricidad como corpúsculo de una manera provisional, pues referenciaba los fenómenos eléctricos al desplazamiento del éter.

“Esta teoría de la carga molecular puede servir como un método para recordar gran cantidad de fenómenos de la electrolisis. Es extremadamente improbable que se sostenga la teoría al conocer la verdadera naturaleza de la electrolisis, pues para entonces se tendrá una base segura para formar una verdadera teoría de las corrientes eléctricas e independizarse así de estas teorías provisionales”⁷. Así que, desde el año 1800 en el cual surgió la pila voltaica que permitió tener corrientes eléctricas continuas, más allá de simples fenómenos electrostáticos, hasta 1873, año de publicación del *Tratado De Electricidad y Magnetismo*, que recopilaba todo lo estudiado hasta el momento en los campos de la electricidad y el magnetismo, no había una teoría consolidada sobre la naturaleza de la electricidad en conductores metálicos, y las que habían eran para fluidos conductores pues como lo afirma Millikan: “Desde 1840 hasta alrededor de 1900. Durante este periodo los fenómenos eléctricos son concebidos casi exclusivamente en términos de compresiones y tensiones en el medio que rodea al cuerpo electrizado hasta esa época, un ente más o menos definido, llamado carga eléctrica, se suponía que existía *sobre* un cuerpo cargado y ejercía fuerzas sobre otros cuerpos cargados, colocados a cierta distancia de él...Entre 1833 y 1900, el físico se encontraba en una situación particular: cuando consideraba el pasaje de la electricidad a través de una solución, en la mayoría de los casos, y siguiendo a Faraday, se imaginaba puntos definidos o átomos de electricidad moviéndose a través de la solución, cada átomo de materia llevando un múltiplo exacto que podría ser cualquiera, entre uno y ocho, de un átomo eléctrico elemental definido; en tanto que cuando consideraba pasaje de una corriente a través de un conductor metálico abandonaba por completo la hipótesis atómica y trataba de imaginarse el fenómeno como un continuo «deslizamiento» o «ruptura de tensión» en la substancia del conductor.”⁸

⁷ Anderson D. L. (1968). *El Descubrimiento Del Electrón*. Editorial Reverte Mexicana S. A. México D.F. p. 19.

⁸ Millikan, R. A. (1944). *Electrones (+ y -), protones, fotones, neutrones y rayos cósmicos* (C. Prélat y E. Iribarne, trad.). Buenos Aires –México. (Obra original publicada en 1934) p. (25-27)

Y pese a que no se tenía clara la naturaleza de la carga eléctrica, se puede observar que en una gran cantidad de textos los autores hablaban de la carga eléctrica o “cantidad de sustancia eléctrica” aun cuando no se daba claridad si la electricidad era un fluido o por el contrario era un corpúsculo. Así pues, todo el trabajo que había desarrollado Faraday con los experimentos de la electrolisis, no daban cuenta del comportamiento de la naturaleza de la electricidad en conductores, pero permitieron que las ideas sobre la atomicidad de la electricidad y sobre las descomposiciones químicas tomaran cada vez más fuerza hasta ser más adelante desarrolladas por J. J. Thomson.

La publicación del tratado traería consigo una serie de opiniones divididas, a favor o en contra de lo que se planteaba en este, y el texto sirvió como una herramienta para generar problemas de investigación. Asimismo Maxwell había empezado a instruir a otros estudiantes bajo la mirada del tratado, los “Maxwellianos” como los denomina Buchwald en sus escritos⁹. De igual manera se comenzaron a confirmar de manera experimental algunas de las precisiones que se hacían en el tratado. Los estudios dieron frutos con rapidez con el descubrimiento de la relación que había entre la óptica y la electricidad por J. Kerr; los trabajos de Hertz en ondas electromagnéticas y por ultimo está el trabajo desarrollado por el profesor Henry J. Rowland, físico norteamericano quien acudió a trabajar al laboratorio de Helmholtz en Berlín, en donde este le pediría que verificara si las cargas electrostáticas en movimiento de translación generan en torno a ellas campos magnéticos, como ya lo habían dicho prestigiosos físicos de la época como Faraday, Maxwell y Weber entre otros.

⁹ Buchwald, J.Z. (1985), *From Maxwell to microphysics. Aspects of Electromagnetic Theory in the last quarter of the nineteenth century*, The University of Chicago, Estados Unidos.



Fig. 5. Henry Rowland (Tomado de The Discovery of the Hall Effect pág. 2)

Rowland no había aprendido electromagnetismo directamente del tratado de Maxwell, pero durante su estadía en Alemania aprendió sobre este y desarrolló un experimento para poder probar lo que se le había pedido. Al final recopiló sus experimentos en el artículo: *Acerca Del Efecto Magnético De La Convección Eléctrica*, en este podemos ver la siguiente afirmación, “El profesor Maxwell, en su *«Tratado De Electricidad»*, Art.770, ha calculado la acción magnética de una superficie electrizada móvil, pero si la acción existe no ha sido aún probado, ni experimentalmente ni teóricamente.”¹⁰

Para demostrar si un campo eléctrico en movimiento puede o no producir campos magnéticos, diseñó un experimento que consistía en una serie de discos, de distintitos materiales, en este caso el disco central era aislante (vulcanita) con un grosor de 0.5 cm, y tenía cubiertas sus caras con láminas de oro una conectada a tierra y la otra conectada a una batería respectivamente. Estos se harían girar y en dado caso se produjere una descarga eléctrica y por lo tanto detectar dicha acción magnética, en caso que se produzca. Para detectar dicha acción se ubicó una aguja imantada que estaba suspendida muy cerca de los discos y esta mediante su movimiento detectaría si se produjera el efecto. El campo magnético que debió detectar dicho montaje sería del orden 10^{-5} un valor cercano al campo magnético terrestre. A esto se le conoció como el *Efecto Rowland*, y aunque el experimento no tuvo los resultados esperados, siempre se dijo que había tenido ciertos errores y que eran contrarios a planteamientos de Weber.

¹⁰ Purcell, M. E., (199), *Electricidad y Magnetismo: Berkeley Physics, Course, Vol. 2, No. 2*

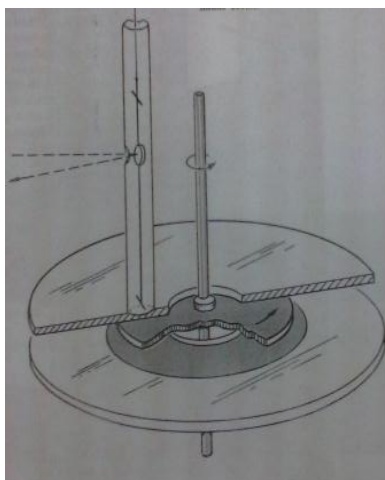


Fig. 6. Experimento desarrollado por Rowland 1878 (Tomado de Berkeley 199 pág. 220)

Tiempo más tarde, el profesor Rowland volvería a América, a enseñar en la Universidad Johns Hopkins, en la cual le sería asignada la cátedra de física, con el fin de enseñar y estudiar el tratado de electricidad y magnetismo de Maxwell de cual ya había adquirido perspectiva de sus trabajos realizados en Alemania. Dictando esta cátedra sería el maestro de Edwin Hall personaje principal de este trabajo, y quienes seguirían trabajando y estudiando las ideas que Maxwell exponía en sus trabajos.

En conclusión, los avances que se tuvieron en esta época respecto al estudio de la electricidad se deben en mayor parte a la gran cantidad de experimentos que se desarrollaron y el interés de múltiples autores por dar cuenta de dichos fenómenos. Pero, puntualmente en la naturaleza de la corriente eléctrica, pareciera que se asumían cosas respecto a estas sin tener clara una postura. También se puede evidenciar que desde ese tiempo la idea acerca de la electricidad, a pesar de que se seguía mirando como un fluido, se contemplaba la posibilidad que esta estuviera compuesta de corpúsculos o cómo funcionaría esta idea en las teorías matemáticas, dicha idea permeada de otros estudios de la física, como lo es la óptica. La influencia de la química en la posibilidad de producir un flujo de corriente continua de la mano de Volta y la invención de la pila, lo que permitió el estudio formal, tal y como lo hizo Faraday con el estudio de los electrolitos, y la carencia de un estudio del comportamiento de las corrientes eléctricas en conductores metálicos.

Capítulo 2

El Efecto Hall

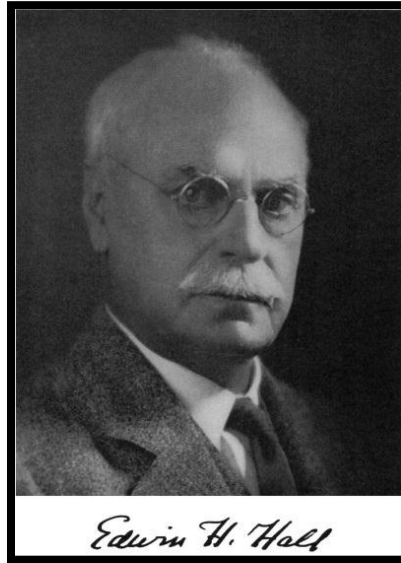


Fig. 7. Edwin Hall (Tomado de Bridgman 1939 pág. 72)

Edwin Herbert Hall, nació el 7 de septiembre de 1855 en la ciudad de Gorham, Estados Unidos. A la edad de 16 años entró a la Universidad Bowdoin, donde se graduó de licenciatura en letras y duraría 2 años dedicado a la enseñanza, hasta que en 1877 decidió entrar a estudiar física en un programa de postgrado en la Universidad Johns Hopkins en la ciudad de Baltimore, donde estudiaría bajo la tutoría de *Henry Rowland*.

Antes de hablar de su desarrollo en el campo de la física y de su trabajo más emblemático, el *Efecto Hall*, que estuvo ligado a toda su vida de actividad científica o con fenómenos relacionados, me parece pertinente tratar sus aportes como educador, puesto que estos no son muy conocidos. Sus escritos no se limitaron a la exposición de su tema de investigación (*Efecto Hall*), también elaboró artículos de interés popular y en el área de la educación, en la cual siempre tuvo gran interés.¹¹

¹¹ Véase Bridgman P. W. (1939). *Biographical memoir of Edwin Herbert Hall 1855-1938*. National academy of sciences of the United States of America. Volume XXI-second memoir.

Sus contribuciones a la enseñanza están centradas alrededor de algo muy importante en la física, como lo es el experimento, siendo gestor de esto, en la Universidad de Harvard en el año de 1881, el profesor Hall veía que en las escuelas secundarias no había una formación fuerte en el ámbito de prácticas de laboratorio y que estos en su mayoría eran rutinarios; siendo, entonces, el caso en el cual un estudiante podía pasar un curso de física sin siquiera hacer un experimento elemental. La iniciativa de Hall, junto con otro profesor de química de Harvard, era crear una serie de requisitos de trabajo de laboratorio en física para los estudiantes de nueva admisión. Así, la idea se materializaría en una publicación conocida como “*Harvard Descriptive List of Elementary Physical Experiments*”, la cual constaba de una serie de 40 ejercicios experimentales, que además fueron utilizados en las escuelas secundarias para la preparación de estudiantes para nueva admisión y tuvieron una gran recepción por los profesores de colegios, quienes los incorporaron a sus trabajos de laboratorio y, años más tarde, se incorporarían a la Asociación Nacional de Educación. Los experimentos eran tan simples que podían ser construidos por cualquier persona; al final el profesor Hall terminaría influenciando el esquema de la enseñanza de la física en las escuelas. También, figuró en una serie de publicaciones sobre física elemental en el año de 1891, donde, tiempo después, serían reconocidos todos sus esfuerzos en cuestión de la enseñanza de la física.

En 1924 participó en el *Congreso Solvay*, en Bruselas, durante su cuarta edición, donde el tema que se desarrolló fue la conducción eléctrica de los metales. En 1927 participó del *Congreso Volta*. En 1937 recibió el premio y la medalla de la *Asociación Americana de Profesores de Física* por sus notables contribuciones a la enseñanza de la física y se hizo el primer miembro honorario de la Asociación.¹² Aunque, en general, se desconocen un poco los esfuerzos de los científicos por la enseñanza de las ciencias o se le da más importancia a sus contribuciones en el área, como se ha mostrado con anterioridad, el profesor Hall no solo estuvo desarrollando sus investigaciones sobre el efecto que había encontrado, sino que, también, se preocupó por el modo de dar claridad a los conocimientos en física y, particularmente, parece

¹² Bridgman P. W. (1939). *Biographical memoir of Edwin Herbert Hall 1855-1938*. National academy of sciences of the United States of America. Volume xxi-second memoir

que le daba una gran importancia al desarrollo de experiencias en el aula, en particular en las escuelas.

2.1. Los primeros indicios relacionados con el efecto

En lo que se concierne a esa época en que se estudió el *Efecto Hall*, se destaca que el experimento pudo catalogar una nueva acción, lo que se conoce hoy como la *tensión Hall*, la cual se produce en los extremos de una placa metálica y donde se detecta el aumento de la resistencia en el conductor debido a un campo magnético, idea que ya había sido especulada y trabajada por diferentes científicos, entre los cuales se destaca, por ejemplo, William Thomson (Lord Kelvin) que en 1851 había planteado la propiedad de ciertos materiales ferromagnéticos, de ver alterada su resistencia eléctrica ante la influencia de un campo magnético y que, posteriormente, en 1857, se le llamaría *magnetorresistencia*. Para esto Thomson puso un material ferromagnético entre un electroimán que se encontraba a los lados de la placa.

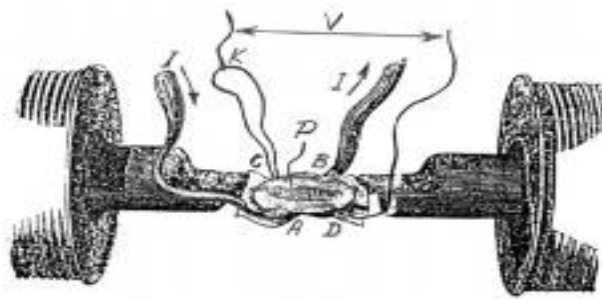


Fig. 8. Experimento de Thomson para investigar la magnetorresistencia (Tomado de Popovic 2004 pág. 4)

Diseño experimental planteado por Thomson con el que investigo acerca de la magnetorresistencia en materiales ferromagnéticos. En la imagen se tiene una placa (P) la cual está conectada a 4 contactos, en este caso son A, B, C, D donde de A a B está circulando una corriente I y la diferencia de potencial en la placa (V) se mide entre los puntos C y D. por último el contacto (K) se utiliza para poner en cero el voltaje de salida V antes de conectar el electroimán el cual está dispuesto de una forma que quede paralelo a la placa.

Aunque el efecto ya había sido predicho y buscado, como se mostró anteriormente, se le reconoce a Hall su constancia frente al tema y, por supuesto, el desarrollo experimental de este, el cual es muy complicado de hacer aún en la modernidad. Además, se puede decir que Hall fue uno de los primeros en medir los efectos de la magnetorresistencia en materiales no magnéticos. Con respecto al experimento, cabe señalar que en un principio estaba impulsado por otros motivos, sin embargo, Hall encontró algo diferente a lo que se esperaba, lo que lo llevó a publicar el resultado de sus experimentos y a refinarlos también, para esto viajó al laboratorio de Helmholtz, donde volvió a medir el efecto que acaba de registrar en numerosos metales, y

finalmente comunicó sus conclusiones a la asociación británica en 1881, en donde recibieron el documento con gran interés y del cual William Thomson (Lord Kelvin) señaló:

"El tema de este comunicado es, con mucho, el mayor descubrimiento que se ha hecho con respecto a las propiedades eléctricas de los metales desde los tiempos de Faraday - Un descubrimiento comparable con la gran prueba hecha por Faraday".¹³

2.2. El comienzo del problema de Hall

Edwin E. Hall entró a estudiar en el año de 1877 un postgrado en física en la Universidad Johns Hopkins, allí, mientras desarrollaba su trabajo de grado bajo la tutoría de Henry Rowland, se discutían las ideas del *tratado de electricidad y magnetismo* de James Clerk Maxwell. Hall ya había finalizado la lectura del primer volumen del tratado, este se ocupa de los fenómenos electrostáticos y su formalismo matemático, para proseguir con la lectura del segundo volumen, la cual trata sobre los fenómenos magnéticos y la electrodinámica; en esta segunda lectura, Hall encuentra un párrafo muy particular que le hace dudar sobre la veracidad que puede tener dicho discurso, que dice:

"Debe ser cuidadosamente recordado, que la fuerza mecánica que insta a un conductor que lleva una corriente a través de las líneas de fuerza magnética, actúa, no en la corriente eléctrica, si no en el conductor que la lleva. Si el conductor es un disco giratorio o un fluido que se moverá en la obediencia a esta fuerza, y este movimiento puede o no estar acompañada de un cambio de posición de la corriente eléctrica que se lleva. Pero si la corriente en sí es libre de elegir cualquier camino a través de un conductor sólido fijo o una red de cables y, a continuación, cuando se hace una fuerza magnética constante para actuar en el sistema, el camino de la corriente a través de los conductores no se altera de forma permanente, pero después de que ciertos fenómenos transitorios, llamados corrientes de inducción, han disminuido, la distribución de la corriente se encuentra para ser la misma que sin ninguna fuerza magnética estaba en acción. La única fuerza que actúa sobre las corrientes eléctricas es la fuerza electromotriz, que debe distinguirse de la fuerza mecánica que es el tema de este capítulo".¹⁴

¹³ Popovic, R.S., (2004), *Hall Effect devices, Second edition*, Bristol and Philadelphia.

¹⁴ Tomado y traducido de Hall, E. H. (1979). *On a New Action of the Magneto on Electric Currents*. American Journal Of Mathematics, Vol. 2, No. 3, pp. 287 (véase idioma original en apéndice #1)

Este párrafo es importante, pues de este surgen los cuestionamientos que pudieron guiar a detectar dicho efecto, cabe recordar que Hall no había sido instruido bajo la influencia del *tratado de electricidad y magnetismo* a diferencia de los estudiantes europeos que estaban siendo formados con este, así que Hall se estaba hasta ahora familiarizando con los términos y este párrafo, en particular, del tratado lo puso a pensar sobre la veracidad que pudiera tener este. Sobre este párrafo reflexionó:

*“Me sorprendí al leer hace unos meses el tratado de Maxwell en una página vol. II donde decía que la electricidad que fluye en un hilo conductor no se ve afectada por la proximidad de un imán, o alguna otra corriente. Esto parece diferente a lo que naturalmente se podría suponer, teniendo en cuenta el hecho que el alambre no se ve afectado por otro y también el hecho de que en la electricidad estática, un cuerpo electrificado atrae a otro cuerpo electrificado.”*¹⁵

Cuando Hall se refiere a electricidad, hace referencia a cuerpos cargados, dos cuerpos electrificados son cuerpos que tienen electricidad y las cargas eléctricas deberían verse afectadas configurándose de diferentes formas, ya sea repeliéndose o atrayéndose entre sí, y es la electricidad que se genera de esto la que causa esa atracción o esa repulsión. Pero, según lo que Hall había leído, en el caso de las corrientes eléctricas no sucede lo mismo. Para él, ese hecho no resultaba del todo creíble, siendo uno de los primeros problemas que tuvo Hall debido a que no tenía todavía muy claras las ideas de Maxwell, lo que le llevó a esta confusión entre la electrostática y la electrodinámica. Este problema puede ser normal, pues por esta época la electrostática ya había sido descrita en su mayoría, mientras que las corrientes eléctricas eran algo muy reciente de la mano de *Volta (1800)*, y no habían sido muy estudiadas a profundidad, pueden hacer que se asuma una igualdad en sus comportamientos. Resaltando que en ese momento los fenómenos electromagnéticos en general se encontraban en una época de gran dinamismo respecto a los planteamientos conceptuales y matemáticos de la época, así que lo que podría parecer un problema común tiene un trasfondo histórico, problema que aun hoy podría tener vigencia.

¹⁵ Buchwald, J.Z. (1985), *From Maxwell to microphysics. Aspects of Electromagnetic Theory in the last quarter of the nineteenth century*, The University of Chicago, Estados Unidos. - (véase en el idioma original apéndice #2)

Además, Hall no había realizado una distinción plena sobre lo que era el *flujo de carga en una superficie y el movimiento de un cuerpo cargado*, que en la teoría de Maxwell son efectos totalmente diferentes, un cuerpo cargado que se encuentra en movimiento no va a producir una corriente, mientras que el flujo de carga que circula por un conductor si puede generar una corriente. El flujo de carga, no es más que la combinación de la *Ley De Ohm* y la *Ecuación De Continuidad*, juntas suponen la redistribución de la carga, siempre y cuando exista un campo eléctrico en la región conductora. Por supuesto, la carga, propiamente hablando, no hace ningún flujo absoluto, más bien, el valor de la *densidad de flujo eléctrico* cambia en el tiempo en cualquier punto dado. Por el contrario, un cuerpo cargado, que esté en un campo eléctrico que se mueve físicamente en cualquier punto dado, lo hace por consideraciones energéticas que requieren moverse en una dirección que minimice la energía total almacenada en el campo electrostático. De estos dos procesos: *flujo de carga y movimiento de un cuerpo cargado*, se pueden establecer cosas comunes a ambos, pero en principio son cosas diferentes.

Luego de que Hall entendiera la diferencia que hay entre estos dos conceptos cambió su pensamiento respecto a esto. Pero la dificultad original de Hall, aquí, fue ocasionada por la aparente asimetría entre la electrodinámica y la electrostática, en esta materia. Pues Maxwell afirmaba que las corrientes no tenían ningún efecto sobre otras en circunstancias estacionarias, es decir que la variación de la densidad de flujo eléctrico no cambia en el tiempo. La razón principal para que Maxwell afirmara esto, era que no pudo encontrar ningún hecho experimental que corroborase la evidencia de esa acción. Se podría decir que eran efectos que no se podían ver a simple vista, donde finalmente Hall obtendría formas de actuar sobre la corriente con un imán y obtener efectos internos.

Las consideraciones sobre las acciones reciprocas de las corrientes, Maxwell afirmaba que si todas las corriente eléctricas se mantienen constantes, y el conductor en reposo, todo el estado del campo permanecerá constante debido a que no habrá ninguna variación. De esto, Maxwell reflexionó que este hecho no podría ser verídico, puesto que si hubiera una acción directa entre las corrientes que dependen de sus magnitudes en un momento dado. Aunque lo que este descuidó fue la posibilidad de que la acción podría ser neutralizada, en el estado estacionario, por la incapacidad de la corriente que se diera fuera del conductor. Esto debido a que Maxwell se

basó solamente en hechos experimentales y el separar de fuerza magnética de los procesos de campo asociados con corrientes las corrientes determinan la fuerza magnética a través de procesos de campo, pero son ellos mismos no afectados por ella en circunstancias estacionarias. Esto carecía de simetría para Hall, causándole una confusión que es totalmente válida, debido a que no había comprendido plenamente los fundamentos del concepto de carga y de corriente en la teoría de Maxwell, así que no podía entender por qué se producía esa asimetría.

A su vez Hall había leído un artículo del profesor Erik Edlund, titulado “*Inducción unipolar*”, en este se afirma que un imán actúa sobre una corriente en un conductor fijo, del mismo modo que actúa sobre el conductor cuando este es libre para moverse. Al encontrar esta afirmación, contraria a la de Maxwell, y al ver estos dos científicos en desacuerdo, Hall se permitió llevar este cuestionamiento al profesor Rowland, que también dudaba de este hecho, y quien ya había desarrollado un experimento para demostrar algo similar al mirar las acciones del imán sobre la corriente y sin obtener ningún resultado positivo.

Lo que se había planteado Ampere con anterioridad sobre cómo las corrientes en el mismo sentido se pueden atraer, y en sentido contrario se repelen, no son directamente interacciones de las corrientes sí, sino que son productos de otras causas; en sí, los conductores, en este caso los alambres, son los que se mueven, no las corrientes eléctricas mientras que el problema que se comienza a plantear Hall es el aumento de la resistencia en el conductor debido al campo magnético, dado el caso que el imán afectará las corrientes, su problema trata más sobre el comportamiento de la corriente en sí, suponer que pasa por dentro del alambre y los efectos que puede tener el campo magnético del imán en las corrientes al interior del conductor. Cosa que no habían tenido en cuenta ni Maxwell, ni demás científicos. Hall iba a poder demostrar, más adelante, de manera experimental y expresado en forma matemática, cómo con un imán se puede afectar la corriente así no haya un cambio aparente, además va a comenzar a cuestionarse sobre el sentido en que circula la corriente eléctrica.

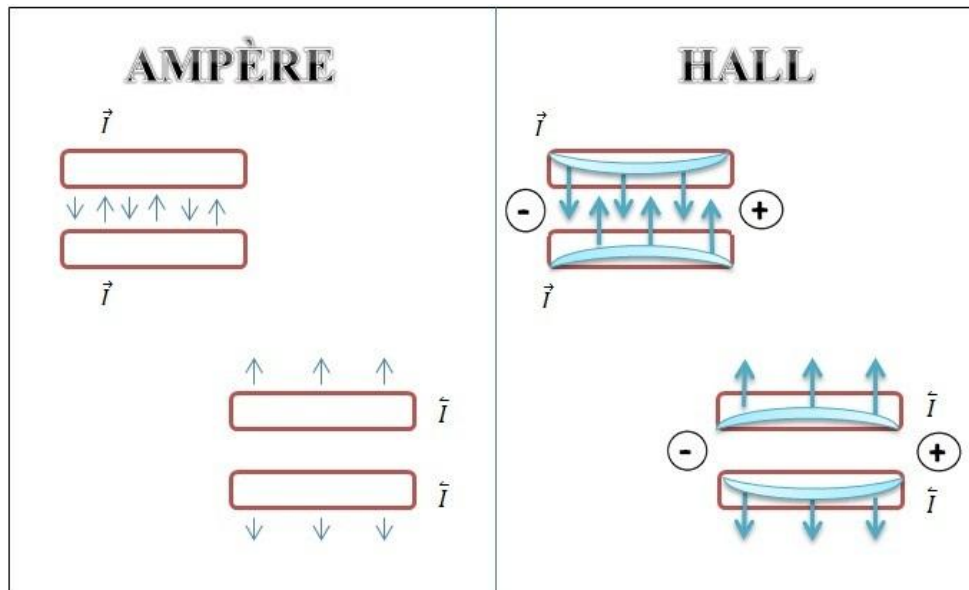


Fig. 9. Esquema del pensamiento de Hall frente al comportamiento de las corrientes eléctricas en un conductor, donde los efectos de estas son directamente en las corrientes eléctricas a diferencia de lo planteado por Ampère sobre las acciones de las corrientes eléctricas en este caso dichas acciones implican el conductor como tal: Elaboración propia.

Esto llevó a Hall a diseñar un experimento que pudiera resolver el problema de las acciones de las corrientes, para esto, el montaje consistía en una espiral de alambre de plata, que estaba encerrada entre dos discos de caucho y situados entre los polos de un electroimán, donde la corriente eléctrica que circula por el conductor formaría un ángulo recto con las líneas del campo magnético. La intensidad del campo magnético que produjo el electroimán fue entre 15.000 ó 20.000 veces la intensidad del campo magnético terrestre y se pudo producir esto al conectar 20 *Pilas De Bunsen*. Para medir dicha resistencia se usó un la configuración del *Puente De Wheatstone*, que estaba conectado a la espiral y a su vez a un Galvanómetro De Thomson, con el cual se podían realizar mediciones muy minuciosas de una parte en un millón. El experimento se llevó a cabo y estuvo acompañado por la siguiente reflexión:

“Si la corriente de electricidad dentro de un conductor fijo está en sí atraída por un imán, la corriente debería señalarse a un lado del alambre, y por lo tanto la resistencia experimentada debe ir aumentando.” (Hall, 1879)¹⁶

¹⁶ Tomado y traducido de Hall, E. H. (1979). *On a New Action of the Magneto on Electric Currents*. American Journal Of Mathematics, Vol. 2, No. 3, pp. 287 (véase en el idioma original apéndice #3)

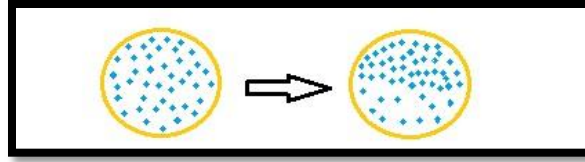


Fig. 10. Si representamos la corriente eléctrica como puntos los cuales circulan por medio del conductor, y si un campo magnético atrae la corriente dentro del conductor esta debería reseñarse a un costado de este: Elaboración propia.

Si esto fuera así, la corriente se reseñaría en un extremo y tendría una sección más pequeña del alambre con la misma fuerza electromotriz, siendo así, la resistencia en el circuito debería aumentar; en las primeras mediciones realizadas parecía no haber un cambio significativo en el galvanómetro, lo que llevó a pensar que el imán no podía afectar la corriente eléctrica y por tanto la resistencia no cambiaría. Pero para Hall esa idea tenía algo de validez, pues, razonando este, se afirma que si la electricidad es un fluido incompresible, como se creía por la época, podemos concebir que la corriente eléctrica que fluye en un alambre se pueda hacer mover hacia un lado del alambre o hace fluir en cualquier sentido, pero de una manera simétrica. El imán puede tener tendencia a desviar la corriente sin poder hacerlo. Es evidente, sin embargo, que en este caso existiría un estado de estrés en el conductor, la electricidad presionaría, por así decirlo, hacia un lado del alambre. Razonando así, Hall pensó en hacer una investigación más rigurosa de este asunto para la prueba de una diferencia de potencial entre los puntos en los lados opuestos del conductor.

Con los resultados desfavorables obtenidos por Hall, pasó a pensar lo que podía pasar en dicho conductor para así realizar cambios en la forma de hacer el experimento y, para esto, Hall propone la siguiente analogía partiendo de la electricidad como un fluido:

“Si la electricidad era un fluido incompresible que podía actuar en una dirección particular sin moverse en esa dirección. Tomé un ejemplo como éste.

Suponga una corriente de agua que fluye en un tubo perfectamente liso, que está sin embargo muy ajustado con grava. El agua se encontrará con la resistencia de la grava, pero nunca con el tubo que no ejerce resistencia por fricción.

Supongamos ahora un cuerpo, que al acercarlo al tubo que tiene el poder de atraer una corriente de agua. El agua evidentemente se presiona contra el lado de la tubería pero siendo incompresible y, con la grava, llenando completamente el tubo, no podría moverse en la dirección de la presión y el resultado sería simplemente un estado de estrés sin ningún cambio real en el curso de la corriente.

Es evidente sin embargo, que si se hace un agujero transversalmente a través de tubo en la dirección de la presión, y en los dos orificios se conectara un segundo tubo, El agua fluiría hacia el objeto que lo atraer y dentro en la dirección opuesta al orificio. Esto supone, por supuesto, que el objeto que lo atraer actúa en la dirección en la que fluye la corriente en la cual no actúa igualmente por el contrario, de la corriente en la otra dirección”¹⁷

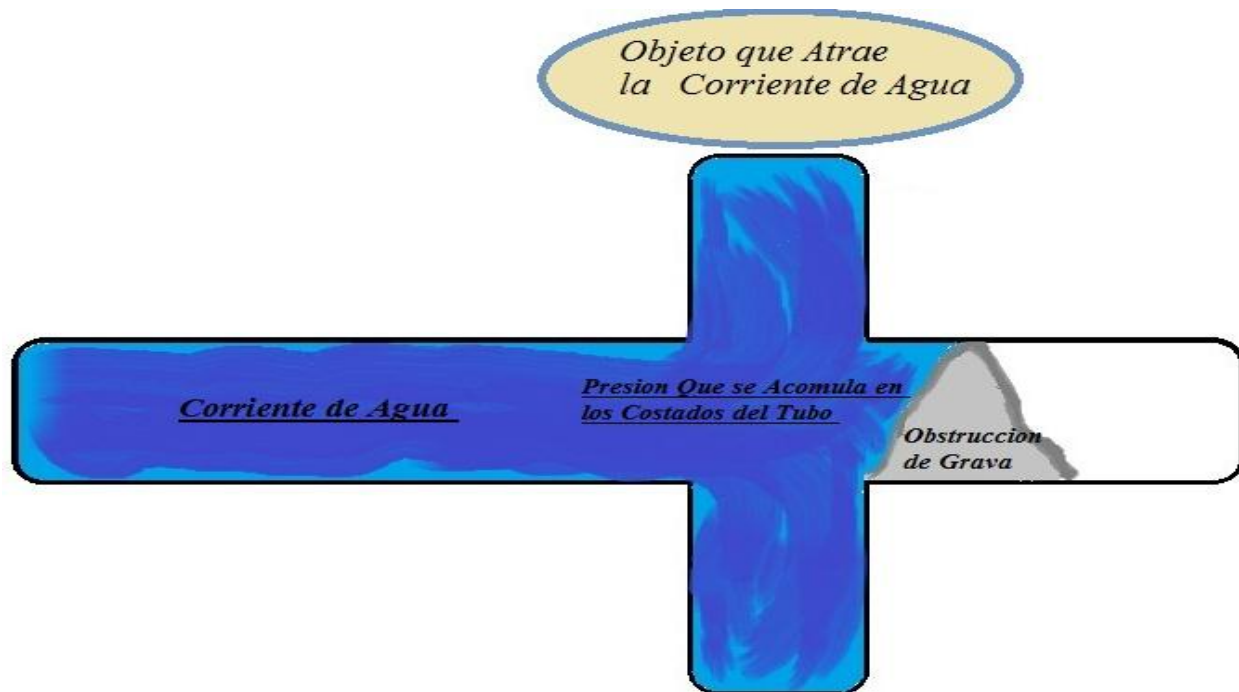


Fig. 11. Ilustración del pensamiento de Hall haciendo una analogía con un fluido: Elaboración propia

Finalmente, el 28 de octubre de 1879, Hall obtiene una desviación en la aguja del galvanómetro, siendo improbable que esta fuera debido a la acción del imán sobre la aguja de este. Tampoco se podía decir que fuera por la inducción, pues esta acción era permanente sobre la aguja y además el efecto fue revertido cuando se invirtieron los polos del imán y no por medio de invertir los polos de las conexiones del galvanómetro. Lo más importante fue que Hall había detectado un efecto del imán sobre la corriente o, por lo menos, un efecto sobre el circuito nunca antes observado o demostrado. Luego de esto Hall se permite hacer la siguiente reflexión, pues el efecto que acababa de medir se encontraba en la dirección contraria a lo que este esperaba, en este caso opuesta a la dirección en la que se movía la corriente, con lo cual supone:

¹⁷¹⁷ Buchwald, J.Z. (1985), *From Maxwell to microphysics. Aspects of Electromagnetic Theory in the last quarter of the nineteenth century*, The University of Chicago, Estados Unidos. (véase en el idioma original apéndice # 4)

“Si consideramos una corriente eléctrica como una sola corriente que fluye del polo positivo al negativo, desde el polo de carbono de la batería a través del circuito al polo de zinc, en este caso los fenómenos observados indican que dos corrientes paralelas y en la misma dirección, tienden a repelerse entre sí.

Por otra parte, si consideramos la corriente eléctrica, como una corriente que fluye desde el negativo al polo positivo, en este caso los fenómenos observados indican que dos corrientes paralelas y en la misma dirección tienden a atraer una a la otra.”¹⁸

Además, Hall agrega que es sabido que dos conductores que llevan una corriente paralela, una a la otra y en la misma dirección, tienden a juntarse uno hacia el otro. Y todo lo que había dicho con anterioridad tiene relación con la dirección absoluta de la corriente eléctrica, admitiendo que esto es solo una especulación, puesto que era su primer experimento. Recordemos que aunque Ampere ya había planteado la repulsión o atracción de corrientes paralelas y su dirección y que este efecto era de forma visible, afectaba al conductor en sí (véase Fig., 9), puede que no se tuviera en cuenta el sentido de circulación la corriente eléctrica, de positivo a negativo o al contrario; así, dentro de este contexto, se puede decir que Hall comienza a especular acerca de la veracidad sobre el sentido de la corriente, pues como había planteado Franklin, esta fluía del polo positivo al negativo, esto a partir de sus experimentos sobre la electrostática. Pero en este caso ya se trata de corrientes eléctricas y el primer experimento de Hall pudo ser un punto de partida para cuestionar el verdadero sentido de la corriente eléctrica y lo que circula por esta, pues más adelante, al refinar sus experimentos y sus análisis, se podría determinar esto.

Después de esto Hall procede a realizar un nuevo experimento, con una lámina de oro y esta vez realizando variaciones conocidas del campo magnético, al cual estaba expuesto la muestra, y de la corriente eléctrica que se le aplicó. Para esto Hall registró el orden de magnitud de la corriente que se detectaba con el galvanómetro de Thomson lo cual le arrojó los siguientes resultados:

¹⁸ Tomado y traducido de Hall, E. H. (1979). *On a New Action of the Magneto on Electric Currents*. American Journal Of Mathematics, Vol. 2, No. 3, pp. 289 (véase en el idioma original apéndice # 5)

Current through Gold Leaf Strip. <i>C.</i>	Strength of Magnetic Field. <i>M.</i>	Current through Thomson Galvanometer. <i>c.</i>	$\frac{C \times M}{c}$
.0616	11420 <i>H</i>	.00000000232	303000000000.
.0249	11240 “085	329.....
.0389	11060 “135	319.....
.0598	7670 “147	312.....
.0595	5700 “104	326.....

Fig. 12. Tabla de datos del primer experimento exitoso de Hall (Tomado de Hall 1979 pág. 291)

En este caso H es la intensidad horizontal del campo magnético de la tierra la cual es de .19 aproximadamente, Hall también al finalizar el artículo habla sobre la perfección del experimento los experimento que han intentado develar que la corriente aparentemente tiende a moverse, sin que haya un movimiento aparente del conductor. Además hace un planteamiento matemático sobre la situación que se presenta la siguiente ecuación:

$$E' \propto \frac{Mc}{s}$$

Donde E' es el campo eléctrico que se genera en los extremos de la placa, M es la intensidad del campo magnético, c es la corriente que se le aplica a la placa de oro y s es el área de ésta.

El profesor Hall publicaría sus primeros experimentos que lo llevaron a realizar experimentos más formales a lo largo de su carrera, investigando los comportamientos que tenían ciertos metales como: el oro, la plata, el tungsteno, el manganeso, cobalto, hierro y aluminio, entre otros, puestos en esa disposición experimental. Además de hablar de otros efectos que se relacionaban con el efecto Hall, como son el Efecto Nernst–Ettingshausen y el Efecto Leduc-Righi, los cuales están relacionados con la aparición de voltajes cuando hay una temperatura. Recordemos que el Hall murió en el año de 1938, lo que le permitió conocer el replanteamiento que tuvo la corriente eléctrica desde el descubrimiento del electrón y poder dar una explicación del efecto que había descubierto desde esta perspectiva moderna. Además, Hall buscaba dar una explicación de sobre un Efecto Hall positivo, que era algo extraño para la época, cabe aclarar que esto solo tendría explicación con la teoría cuántica de los metales cerca de 50 años después, como lo indica Hall a continuación en uno de sus artículos:

*“es fácil dar cuenta de un Efecto Hall negativo ya que debido al empuje transversal del campo magnético sobre la corriente de electrones libres dentro de la placa de metal, pero un Efecto Hall positivo es más difícil de explicar, aunque varios intentos en esta dirección han sido realizados por Sir J.J. Thomson y otros. Tengo una teoría, más o menos verosímil, de la acción positiva, pero en este trabajo no me comprometeré a dar.”*¹⁹

En conclusión, Hall, que vivió en una época trascendental para el estudio del electromagnetismo, pudo ver la evolución que tuvo desde lo poco que se sabía sobre los efectos de repulsión y atracción de objetos, hasta que todo esto permitiera llegar a lo que se conoce como la teoría moderna de la electricidad. Esto le hubiera permitido hacerse una idea general sobre lo que fueron las concepciones sobre la corriente que se manejaron en ese momento de gran dinamismo para establecer su naturaleza. También, cabe resaltar la importancia que tuvo el desarrollo de sus experimentos, pues permitió que se comenzara a dar importancia al estudio del comportamiento de las corrientes eléctricas en los metales, además de que diera cuenta del hecho que no siempre los portadores de carga en los metales son de naturaleza negativa, sino que hay variaciones de naturaleza positiva.

¹⁹ Hall, E. H. , (1923), *A Theory of the Hall Effect and the Related Effect for Several Metals*, Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of United States Of America , Vol. 9, No. 2, p.p. 41. (véase en el idioma original apéndice #6)

Capítulo 3

El Efecto Hall: Implicaciones Experimentales

En este capítulo se intentarán realizar mediciones del *Efecto Hall*, cabe recordar que medir dicho efecto sin un equipo de laboratorio óptimo es bastante difícil, puesto que para medir este se necesitan electroimanes que produzcan un campo magnético muy grande, además que se requiere un voltímetro muy sensible que sea capaz de medir voltajes de microvoltios a nanovoltios, que es el orden de medida para medir el voltaje Hall. Para esto, empresas especializadas en la venta de instrumentos de laboratorio ofrecen un conjunto de aparatos para medir dicho efecto, como es el caso de LEYBOLD o PHYWE. Estos constan de dos electroimanes de 250 vueltas y producen un campo magnético que se encuentra entre 0,1T hasta 0,9T. Un microvoltímetro, el cual medirá la tensión Hall y la fuente de alimentación de 12 v hasta los 20A, la cual alimentará la muestra en la cual se quiere medir el Efecto Hall.

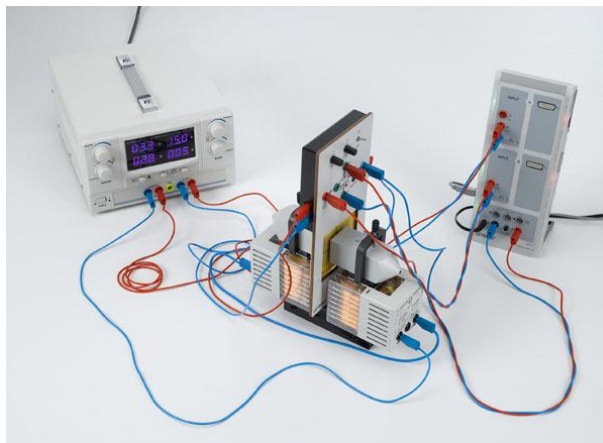


Fig. 13. Aparato para el Efecto Hall (plata)-Leybold (Tomado de Aparato para el Efecto Hall (tungsteno) referencia # 58681/84)

Luego de esto se encontró un video de la Universidad Complutense de Madrid en el cual se muestra un montaje para medir Efecto Hall, este en particular llama mucho la atención pues lo que aparece en dicho video son equipos los cuales se tienen acá en la Universidad Pedagógica Nacional como lo es un osciloscopio, una fuente de 3A entre otros. Pero luego de ver el video se descartó un tipo de montaje así puesto que en este no se deja en ningún momento fijo los imanes así que las variaciones que se veían en dicho multímetro puede ser ocasionadas por la inducción electromagnética al acercar y alejar los imanes de la placa sobre la cual se vería dicho efecto.



Fig. 14. Laboratorio de efecto hall donde no se garantiza que las variaciones que se obtienen en el multímetro son debido a un Efecto Hall (Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=bErhfTnJnu8>)

A continuación de esto se procedió a realizar un montaje experimental similar, en este caso los imanes se mantendrían firmes a comparación del video y se usarían el equipo de laboratorio de la universidad.

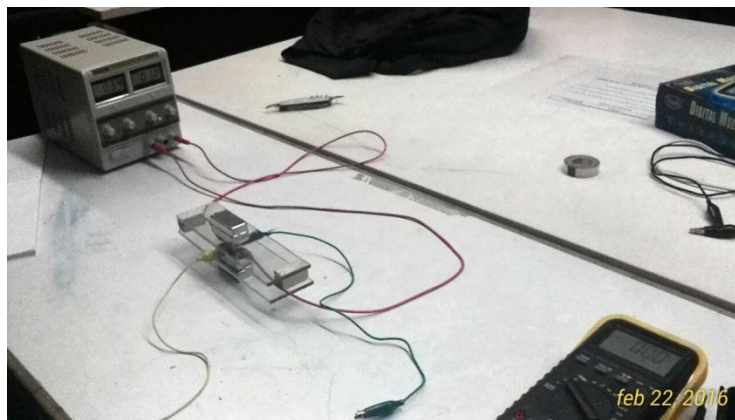


Fig. 15 Primer desarrollo del montaje experimental para el efecto Hall

Al no obtener ningún resultado en la toma de datos de dicho efecto, se buscó un equipo el cual pudiera amplificar dicha medida de Efecto Hall ya que sus valores son muy pequeños y donde un multímetro común no podría detectar estas señales. En este caso se buscó un amplificador de la Leybold el cual está en poder del profesor tutor y se utilizó para realizar nuevas mediciones.

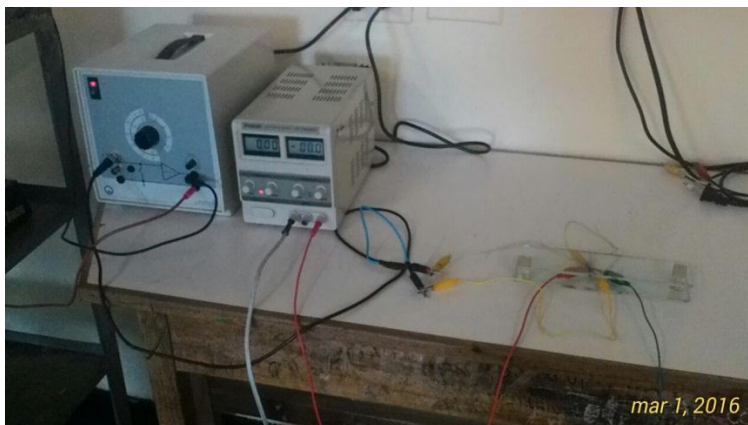


Fig. 16. Nueva toma de datos con el amplificador, equipo de la izquierda

Al realizar esta experiencia no se obtuvo ningún resultado positivo lo cual llevo a pensar que esto fuerza debido al campo magnético suministrado en este caso de los imanes. Lo que llevo a la implementación de unas bobinas de Helmholtz las cuales suministraran un campo magnético más intenso, pero aun así no se obtuvo ninguna variación en la medida del Efecto Hall.



Fig. 17 Toma de datos con un campo magnético suministrado por unas bobinas de Helmholtz.

Después de investigar lo que requiere el montaje, se buscó la forma de poder ver más de cerca uno de estos montajes, para esto en la Universidad Nacional De Colombia sede Bogotá D.C. cuentan con un montaje de Efecto Hall esta cuenta con un electroimán y una fuente DC que lo alimenta, una fuente DC-AC la cual alimenta la muestra y esto conectado a un nanovoltímetro que mide el voltaje que se genera en la placa, por último un gaussímetro, para medir la intensidad de los campos magnéticos. Todos estos componentes van conectados a un computador el cual tiene un software que permite recoger y analizar los datos que se obtienen del experimento.



Fig. 18. Sistema de Efecto Hall DC y AC de la UN (Tomado de Melo 2011 pág. 48)

Al observar esto se vio la gran cantidad de equipo de laboratorio que se necesita para la medición de dicho efecto y desafortunadamente la universidad no cuenta con los equipos necesarios para la medición del Efecto Hall, o con el que se cuenta no está en buen estado, es el caso de los electroimanes que se encuentran en el salón B-215. Esto impide no solo desarrollar dicha actividad experimental, si no muchas más que pueden ser de importantes para un docente en formación. Por esta razón es importante buscar alternativas para la construcción de equipo de laboratorio de bajo costo para poder suplir la carencia de material de laboratorio, en este caso se buscó un montaje experimental que fuera de fácil acceso, bajo costo y que requiriera de un equipo de laboratorio sencillo, se buscaron diferentes trabajos, tanto nacionales como internacionales, y se seleccionó uno en particular, el de: Farías de la Torre, E.M., González Dondo, D., Monardez, G.N., Ricón, R.A. y Alem, L.N., (2006), *Kit para la medición del efecto Hall en una placa metálica – Adquisición y procesamiento de datos*, Anales AFA, Vol.18, p.p. 50-58. Este artículo se destaca por ofrecer un circuito para la medir la tensión de Hall, el cual puede amplificar esos voltajes de microvoltios, con materiales que se pueden obtener en cualquier tienda de electrónica de la ciudad; además que los requerimientos tanto de corriente como de campo magnético son accesibles. Lo más difícil de recrear es la muestra para la medición de la tensión Hall que cuenta con unas dimensiones de milímetros y un espesor muy pequeño del orden de micrómetros.

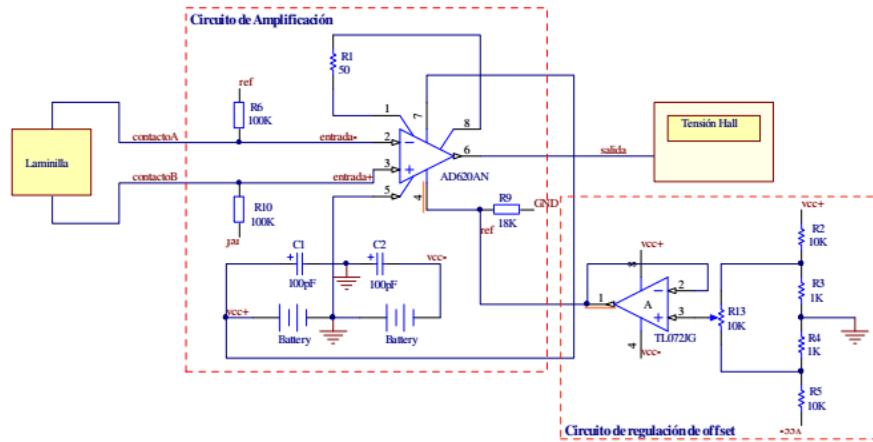


Fig. 19. Circuito amplificador para la medición de la tensión Hall (Tomado de Farfás de la Torre y otros 2006 pág. 6)

En este caso, los dos componentes principales del circuito son AD620AN, que es un amplificador de bajo costo, el cual tiene un rango de ganancia de 1 a 10000 dependiendo de la configuración que se le da al interior del circuito, así si sabemos el rango de amplificación del amplificador podemos tomar el dato de salida del amplificador y volver al valor original que se registró este, para esto el componente se alimenta 2 pilas de 9v. El segundo componente más importante es el TL072, el cual reducirá el ruido que se pueda generar en el circuito. En dicho trabajo se fabricó un electroimán con hierro y neodimio, este producía un campo magnético entre 100 mT y 1T, y la fuente que se utilizó para alimentar la muestra suministra una corriente entre 0 y 3A. Finalmente, la muestra que se usó tenía las dimensiones de $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ y un espesor de $0,32\mu\text{m}$. Para este trabajo se ha procedido a recrear el circuito que proponen en dicho documento, y asimismo se han buscado todos los implementos afines al trabajo, en este caso se procedió a dibujar el PCB de circuito e imprimirlo en una máquina quedando de la siguiente forma:

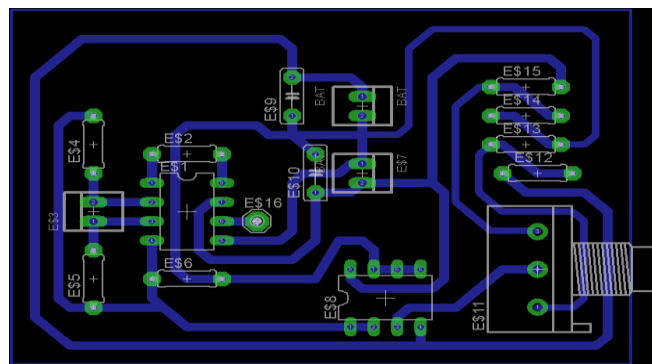


Fig. 20. PCB circuito amplificador para la medición de la tensión Hall: Elaboración propia

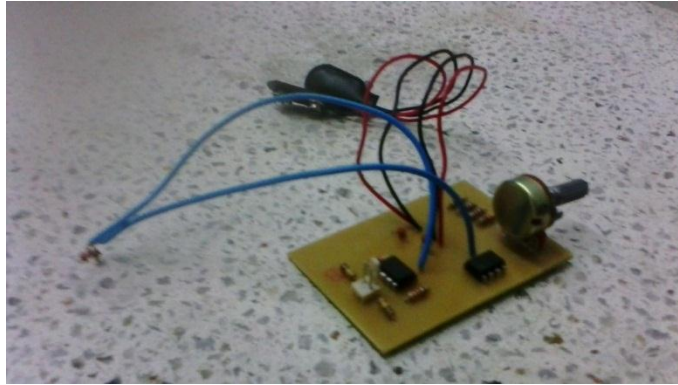


Fig. 21. Circuito ya montado en la váquela

El circuito se compone dos pines de entrada que llevan la señal de la tensión Hall a los pines 2 y 3 del amplificador AD620AN y por el pin numero 6 la señal saldría amplificada en el caso del trabajo del cual se tomó esto iba a una computadora que recolectaba los datos. En el caso de este trabajo se usaría un multímetro normal para esta lectura puesto que el circuito amplificaría la señal hasta el orden de milivoltios donde un multímetro cualquiera puede hacer esta lectura. Para esta lectura el cable de color rojo va conectado al pin de salida y el cable negro del multímetro va conectado a la tierra del circuito amplificador. El componente TL072, va conectado a un potenciómetro de 10 k que permite variar el valor de la resistencia y así controlar el ruido que se presente al interior del circuito. Esto acompañado de una configuración de resistencias de 1k y 10 k.

Para obtener un campo magnético como decía en el trabajo original el cual era de 100mT y 1T, para obtener un valor cercano a estos se cuenta con 4 imanes de neodimio y se estima que cada uno tiene un campo magnético de aproximadamente 4200 Gauss y en total 16800 Gauss o 1.68 Tesla. Para la muestra se cuenta con una lámina de cobre de un espesor 1.9mm a diferencia del documento original donde la lámina cuenta con un espesor menor, pues con un espesor menor la muestra necesita una corriente menor para generar una tensión Hall, y finalmente para la toma de datos se cuenta con un multímetro digital donde su rango de medida alcanza los milivoltios.

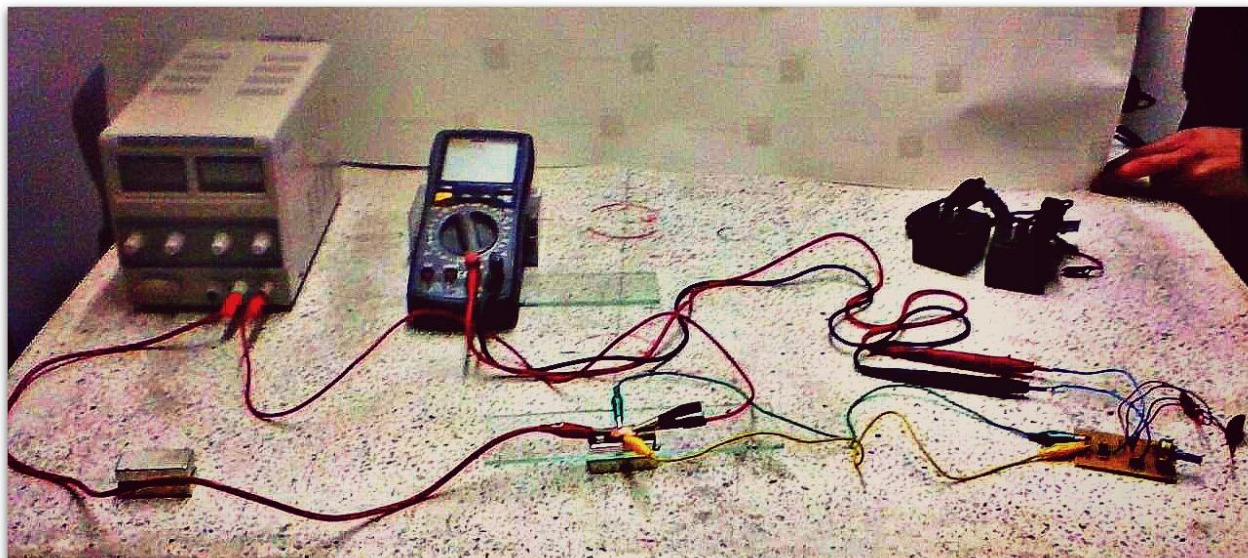


Fig. 22. Montaje que se realizó para medir el Efecto Hall: Elaboración propia

Con este montaje experimental el multímetro obtuvo ciertas variaciones pero en ningún momento estas fueron constantes siempre había fluctuaciones de estas, aun con la fuente que suministraba la corriente a la muestra apagada el multímetro variaba en sus mediciones sin quedar en un valor fijo. Lo que lleva a pensar que esto es producto de las impedancias que puedan tener los equipos y de las corrientes internas dentro del circuito, esto ocasionando un resultado negativo en la medición de dicho efecto sin obtener un valor en particular.

3.1. El principio del Efecto Hall

El experimento del Efecto Hall es un experimento que permite dar cuenta del signo de los portadores de carga en diferentes metales, pues con anterioridad se creía que los portadores de carga en estos eran negativos pero en algunos materiales parecía que había una excepción siendo de naturaleza positiva. El completo conocimiento del efecto Hall en los conductores metálicos solamente llegó con la teoría cuántica de los metales, unos 50 años después del descubrimiento de Hall.²⁰ Entender dicho efecto trajo beneficios pues entre sus aplicaciones se encuentran sensores de *Efecto Hall* que permiten medir campos magnéticos.

²⁰ Berkeley vol. 2 pág. 239

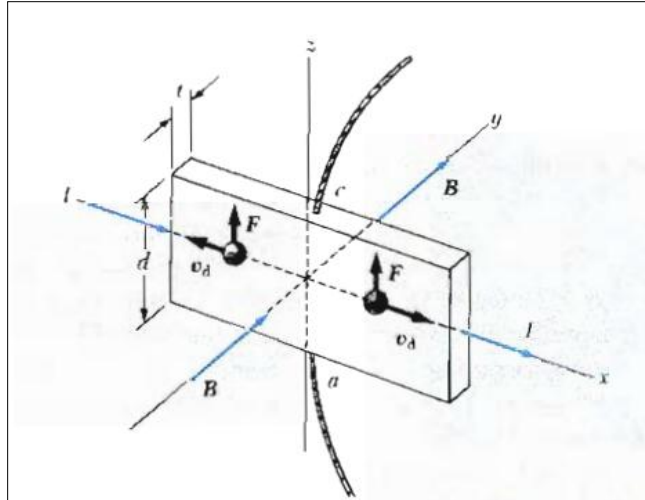


Fig. 23. Diagrama Efecto Hall (Tomado de Serway 1 pág.)

Para dar cuenta de dicho fenómeno se hace a través de un conductor en forma de tira plana, el cual lleva una corriente (I) en la dirección del eje x y a la cual se le aplica un campo magnético (B) en dirección y o perpendicular al sentido en el cual circula la corriente. Al tener esta configuración los portadores de carga experimentarán una fuerza (F) que se conoce como la fuerza de Lorentz, y que hace que las cargas se distribuyan en uno de los extremos de la placa produciendo una densidad superficial de carga, y por lo tanto al otro extremo aparecerá una densidad de carga igual y opuesta. Estas cargas seguirán acumulándose en los extremos de la muestra hasta que la fuerza eléctrica que actúa sobre las cargas en movimiento se equilibre con la fuerza magnética que actúa sobre los portadores de carga. Al alcanzar este estado de equilibrio, los portadores de carga ya no seguirán desviándose a los extremos de la muestra, estas cargas que están en cada uno de los extremos hacen que se produzca una diferencia de potencial lo que se conoce en los textos como el voltaje de Hall.

Para la deducción de cada una de las ecuaciones se parte de la fuerza de Lorentz la cual actúa sobre los portadores de carga que circulan en la muestra, y esta fuerza magnética está dada por la siguiente ecuación:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Donde esta fuerza magnética queda en equilibrio con la fuerza electrostática, en este caso la que se produce por la separación de los portadores de carga, y se expresa como:

$$\vec{F} = q\vec{E}_H$$

Si igualamos la fuerza electrostática que se genera en los extremos de la muestra con la fuerza magnética que actúa en los portadores de carga tenemos que:

$$q\vec{E}_H = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Despejando el campo eléctrico de Hall tenemos que:

$$\vec{E}_H = v\vec{B}$$

Donde esa v es la velocidad de deriva del portador de carga y B es el campo magnético que se le está aplicando a la muestra, y así obtener lo que se conoce como el campo eléctrico de Hall.

Para determinar el voltaje de Hall tenemos la expresión:

$$\vec{V}_H = \vec{E}_H d = v\vec{B}d$$

Así el voltaje de Hall viene dado por el producto del campo eléctrico de Hall que se genera por la separación de cargas en los extremos y el ancho del conductor en este caso d . Pero si recurrimos a la ecuación de densidad de corriente para despejar la velocidad de deriva nos queda:

$$\vec{J} = qn\vec{v}$$

Despejando en la velocidad de deriva tenemos:

$$\frac{1}{qn}\vec{J} = \vec{v}$$

Donde la expresión $1/qn$ se conoce como el coeficiente o la constante de Hall, la cual se denota por R_H y varía dependiendo el material al que se le esté realizando la medición. Luego si remplazamos la velocidad de deriva en la ecuación del voltaje Hall tenemos que:

$$\vec{V}_H = \frac{1}{qn} B d \vec{j}$$

Finalmente, para determinar la concentración del número de portadores de carga, dada la relación existente entre la corriente, la densidad de corriente y el área $I = \int t ds$, otra forma de definir la densidad de corriente puede ser la siguiente:

$$\vec{j} = \frac{I}{A}$$

Donde I es la corriente eléctrica y A es el área de la placa $A = td$, siendo t el grosor de la muestra y d el ancho del conductor. Así, si remplazamos en el voltaje Hall tenemos:

$$\vec{V}_H = \frac{I}{qnt} \vec{B}$$

Quedando este voltaje en función de la corriente y del campo magnético. Para el análisis de un laboratorio de efecto Hall, lo que proponen manuales como los de LEYBOLD, es importante conocer esa constante de Hall, en esos casos lo que se hace en esos experimentos es variar la intensidad del campo magnético y de acuerdo con esto se van recaudando los datos del voltaje de Hall, a partir de esto se procede a hacer una gráfica de V_H en función del campo magnético. Y así hallar el coeficiente de Hall (R_H), como se muestra en la siguiente imagen:

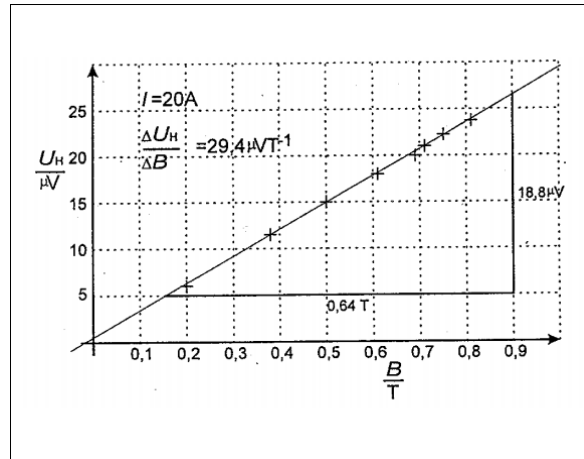


Fig. 24. Grafica de voltaje en función del campo magnético- manual de equipo Efecto Hall (Tomado de Aparato para el Efecto Hall (tungsteno) referencia # 58681/84)

Así que el coeficiente Hall el cual es el de mayor interés para el estudio de determinado material se puede expresar de la siguiente forma:

$$R_H = \frac{\Delta V_H t}{\Delta B I}$$

Para concluir, si se quiere realizar un montaje de Efecto Hall lo indispensable es contar con un instrumento que mida voltajes muy pequeños, rangos de milivoltios y nanovoltios, pues sin un instrumento así no se podrá detectar este efecto; a diferencia del campo magnético, que, en dado caso de no contar con instrumento que proporcione un campo magnético lo suficientemente intenso, se puede hacer un tratamiento a la muestra en la que se pueda realizar dicha medición, para que no necesite de un campo magnético muy grande. Este tratamiento consiste en obtener una placa con el menor espesor posible y de un tamaño menor.

Guía de Trabajo

Guía De Trabajo Para El Montaje Del Efecto Hall Encaminado A Las Corrientes Eléctricas

Respecto al desarrollo original del *Efecto Hall* ha habido cambios sustanciales en estos 137 años, las explicaciones de dicho efecto se complementaron con la aparición de la mecánica cuántica y en la actualidad tiene gran importancia en el estudio del estado sólido, el cual se dedica a examinar la estructura a nivel microscópico de la materia, sus propiedades eléctricas y térmicas. En los contenidos de electromagnetismo, puntalmente, es poco lo que se habla del Efecto Hall, se presenta como un experimento que sirve para estudiar las diferentes fuerzas que actúan en una corriente eléctrica, con exactitud, un portador de carga y que la medición del efecto aportará los datos suficientes para estimar el número de portadores de carga por átomo, en el conductor en el que se esté midiendo el efecto. Pero, en este caso, la siguiente guía tiene como propósito plantear una serie de cuestionamientos y actividades experimentales alrededor del experimento del *Efecto Hall*, pues como se ha venido argumentando y planteado en este trabajo, este efecto tiene los elementos suficientes para proponer problemas y actividades alrededor de las corrientes eléctricas, y poder hacer un acercamiento a su enseñanza y comprensión.

Para esto se ha establecido y se propone trabajar con el siguiente equipo de trabajo, el cual se compone de:

- ◆ 2 imanes de neodimio, cada uno provee un campo magnético de 4200 G
- ◆ Circuito amplificador (necesario para medir el efecto, debido a que sus valores son del orden de microvoltios)
- ◆ 2 pilas de 9 voltios para alimentar el circuito amplificador
- ◆ Un multímetro
- ◆ Una placa de cobre de 5mm x 5mm
- ◆ Una fuente que provea una corriente de 3A

El procedimiento para poder evaluar este efecto consiste en medir la diferencia de potencial que se genera al interior de una placa conductora, en este caso la placa de cobre, la cual va conectada por sus costados a una fuente y provee la muestra de una corriente de 3A. A su vez, la placa conductora está entre dos rectángulos de vidrio cuya función es separar los imanes de neodimio para que así se pueda obtener un campo magnético homogéneo y que este se encuentre perpendicular al sentido en el que circula la corriente eléctrica. Los extremos de la placa irán conectados al amplificador, el cual trae un potenciómetro que permite controlar el ruido que pueda tener el montaje. Los puntos de salida del circuito se conectan al multímetro que arrojará el resultado de dicha medición. En este caso, al tener un campo magnético que no se puede variar por ser imanes, lo que puede cambiar es la corriente que se le aplica a la muestra, y mirar cómo varía el voltaje Hall en función de la corriente eléctrica.

Preguntas:

1. Cuando usted tiene 2 objetos cargados, estos se atraen o se repelen entre sí. ¿Por qué no pasa lo mismo con dos alambres que llevan una corriente eléctrica?
2. ¿Qué diferencias físicas pueden existir entre un objeto cargado electrostáticamente y un conductor por el cual circula una corriente eléctrica? Por ejemplo, ¿qué diferencia tiene una varilla de vidrio cargada y una pila conectada a un circuito?
3. ¿Por qué cree usted que el convencionalismo que existe alrededor del sentido en el que circula una corriente eléctrica implica algún cambio en la medición de las magnitudes físicas que se miden alrededor de estos?
4. ¿Por qué si en las corrientes eléctricas lo que se supone que circula por esta son electrones y según los postulados de la electrostática las cargas de naturaleza igual se repelen entre sí? ¿Pasará lo mismo en un conductor?
5. ¿Cree que la disposición que tiene las redes eléctricas en los postes tiene que ver con las acciones que se producen alrededor de las corrientes eléctricas?
6. ¿Está usted de acuerdo con el hecho de basarse netamente en hechos experimentales observables? (lo que hizo Maxwell fue decir que no actuaba porque no encontró ninguna evidencia experimental de tal acción).

7. ¿Cree usted que en la actualidad existe una diferencia plena entre los fenómenos electrostáticos y las corrientes eléctricas?
8. ¿Se produce corriente eléctrica cuando se carga un objeto eléctricamente por fricción?
9. Afectación de los imanes a las corrientes

Conclusiones

- ◆ A través de la reconstrucción histórica que se realizó en este trabajo, se pudo evidenciar la importancia que tuvieron los experimentos en cuanto al estudio de la naturaleza de la electricidad; esto, ya que las investigaciones que se fueron desarrollando acerca de los fenómenos electrostáticos permitieron con la llegada de la física moderna desarrollar una explicación más contundente y completa del comportamiento de la corriente. Particularmente, el hallazgo de los efectos químicos de las corrientes planteado por Faraday condujo a instaurar nuevos caminos para hablar de la naturaleza de las corrientes eléctricas; así pues, fue Hall el primero en dar una explicación acerca de la naturaleza de la corriente eléctrica en los conductores metálicos exponiendo el carácter negativo de la misma. Por otro lado, es significativo señalar que pese a las dificultades que se presentaron en la consecución de estos estudios, no dejan de ser importantes dentro de la construcción de las teorías físicas actuales ya que estas de alguna manera cimientan algunos conceptos fundamentales de la física contemporánea.
- ◆ Mediante el estudio de los trabajos de Hall que se analizó en esta monografía, es relevante destacar los logros que realizó este científico tanto en el área de la física como en la educación, pues como se expuso a lo largo del texto Hall tuvo gran interés por la educación y en particular, por hacer del *experimento* una herramienta necesaria para el estudio de la física, promoviendo así la importancia de la práctica experimental. Ahora bien, los descubrimientos en el campo de la física van más allá del descubrimiento del efecto Hall en sí, pues las investigaciones posteriores a este experimento fueron cada vez más completas e incorporaron nuevos efectos que se producían en el mismo, siendo así el primer físico en dar los primeros indicios de lo que hoy se denomina como superconductividad; además de caracterizar la naturaleza de los portadores de carga en un conductor metálico. De igual manera, Hall vivió en una época en donde el concepto de la electricidad tuvo un cambio significativo desde la época donde desarrolló sus primeros experimentos en el cual la electricidad era considerada como un fluido, hasta sus últimos experimentos antes de morir donde pudo dar cuenta de estos con la teoría de los

electrones. En general pudo ser un autor interesante para describir esa evolución en las corrientes eléctricas.

- ◆ A partir de la investigación realizada, es importante destacar que para el desarrollo experimental del Efecto Hall se tienen que tener en cuenta algunas características particulares que puedan garantizar una medición más precisa de este experimento; específicamente las que conciernen con el campo magnético de gran intensidad y un instrumento lo suficientemente sensible que pueda detectar el voltaje de Hall que se genera en el material, el cual es pequeño. De igual manera, es relevante que la muestra cuente con algunos rasgos como su espesor, el cual debe ser muy reducido, si no se tiene una fuente que le proporcione a la muestra una corriente alta. Estas muestras, además son de diferentes materiales como oro, plata, níquel, paladio, cobalto; que es su gran mayoría son metales de muy difícil acceso debido a su elevado costo en el mercado. Por otro lado, mediante la ejecución de este trabajo se observó que no es tan fácil llevar a cabo este experimento y que es bastante complejo realizarlo con materiales de bajo costo; razón por la cual se requiere de un equipo de laboratorio especializado. Así pues, es de gran importancia que, desde la Universidad Pedagógica Nacional, dada la deficiencia que existe en algunos equipos de laboratorio, se generen mecanismos que permitan a los docentes en formación desarrollar múltiples experiencias que permitan recrear estos experimentos que son de gran importancia dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.
- ◆ A partir del estudio histórico que se realizó en este trabajo, se pudo observar que existen algunas dificultades en cuanto a la enseñanza del electromagnetismo, ya que a veces pareciera que conceptos tales como lo es la *electrostática y corrientes eléctricas fueran lo mismo*; lo cual también se hace evidente en los libros de texto donde colocan los contenidos de esta misma forma, la cual daría para pensar esto. Por esta razón, es pertinente estudiar este tipo de dificultades que tienen un recorrido histórico fundamental dentro de la construcción de las teorías físicas, destacando así la importancia de esta en la resolución de los problemas de la enseñanza de estas temáticas del electromagnetismo en la actualidad. De igual modo, es significativo resaltar el valor que tiene la formación

experimental para un docente, ya que esto permite elaborar conceptos un poco más estructurados de la física. Además de contribuir en la formación como docentes; pues es necesario que, al momento de ejercer la profesión, no se limite por la falta de recursos en las escuelas y se desarrollen solo clases teóricas dejando de lado la experiencia.

Bibliografía

- ◆ A. Venegas, N. Alba, E. Munévar, J. M. Flórez, M. H. González. y C.E. Jácome, (2002), *Caracterización eléctrica de muestras de cobre y zinc por medio del efecto Hall*, Revista colombiana de física, Vol. 34, No. 1.
- ◆ Ayala, M. M. (2006). *Los Análisis Histórico-Críticos y La Recontextualización de Saberes Científicos*. Proposições Vol. 17, No. 1 (49), Unicamp, Brasil. Bogotá D.C., Colombia.
- ◆ Ayala, M. M., Romero, C.A., Malagón S. F., Rodríguez, R.O. , Aguilar, M. Y. y Garzón B. M., (2008), *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la contrucción del conocimiento sobre los fenomenos físicos*, Bogotá D.C., Colombia, Kimpres, Pág. 11.
- ◆ Beléndez, A., (2008), *La unificación de la luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell*, Revista brasileña de Ensino de Física, Vol. 30, No. 2, p.p. 2601.
- ◆ Berkson, W. (Ed) (1981, primera edición) (1985, segunda edición), *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*, Madrid, España, Editorial Alianza S.A. (Obra original publicada en 1974)
- ◆ Bridgman, P.W., (1939), *Biographical Memoir of Edwin Herbert Hall, 1855-1938*, The Acedemy of the Annual Meeting, National Academy of Sciences, Biographical Memoir, Vol. 21, Estados Unidos.
- ◆ Buchwald, J.Z. (1985), *From Maxwell to microphysics. Aspects of Electromagnetic Theory in the last quarter of the nineteenth century*, The University of Chicago, Estados Unidos.
- ◆ Cánovas Picón, F., (s.f.) *James Clerk Maxwell*, Murcia, Universidad de Murcia.
- ◆ Castillo, J. C. (2008), *La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias*, Rollos Nacionales, Vol. 3, No. 25.
- ◆ David L.A. (Ed) (1968), *El descubrimiento del electrón* (David L. Anderson, trad.), México D.F., México, Editorial Reverte Mexicana S.A., (Obra original publicada en 1964)

- ◆ Farías de la Torre, E.M., González Dondo, D., Monardez, G.N., Ricón, R.A. y Alem, L.N., (2006), *Kit para la medición del efecto Hall en una placa metálica – Adquisición y procesamiento de datos*, Anales AFA, Vol.18.
- ◆ Franklin, B. (Ed) (1988), *Experimentos Y Observaciones Sobre Electricidad* (J. Summers, trad.), Alianza Editorial, S. A., Madrid, España (Obra Original Publicada En 1749) p. 93.
- ◆ Furió, C. y Guisasola, J., (1997), *Defisencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico*, Enseñanza de las ciencias, Vol. 15, No.2.
- ◆ Furió, C., Guisasola, J. y Zubimendi, J.L., (1998), *Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales*, Investigações em Ensino de Ciências, Vol. 3, No. 3.
- ◆ Hall, E. H. , (1879), *On a New Action of the Magnet on Electric Currents*, American Journal of Mathematics, Vol. 2, No. 3, p.p. 287-292. Artículo, Maryland, Estados Unidos.
- ◆ Leadstone, G.S., (1979), *The Discovery of the Hall Effect*, Physics Education, Vol. 14, No. 6, Artículo, South Wales, Reino Unido.
- ◆ Malagón, J. F. (2012). *Teoría y experimento, una relación dinámica: Implicaciones en la enseñanza de la física*. Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias. Vol. 8, No. 8, Artículo. Bogotá D.C., Colombia.
- ◆ Millikan, R. A. (Ed.) (1944), *Electrones (+ y -), protones, fotones, neutrones y rayos cósmicos* (C. Prélat y E. Iribarne, trad.), Buenos Aires –México, Editorial Espasa-Calpe Argentina S.A. (Obra original publicada en 1934) p.p. (25-27)
- ◆ Popovic, R.S., (2004), *Hall Effect devices, Second edition*, Bristol and Philadelphia.
- ◆ Purcell, M. E., (1985), *Electricidad y Magnetismo: Berkeley Physics, Course*, Vol. 2, No.2.
- ◆ Rodríguez, V., (2013), *el efecto Hall cuántico y sus contextos*, Scientiæ Zudia, São Paulo, Vol. 11, No. 1.
- ◆ Tatón, R. (1973), *Tomo III: La ciencia contemporánea, I: el siglo XIX* (Manuel Sacristán, trad.), Barcelona, España, Ediciones Destino, (Obra original publicada en 1987.)

Apéndice

1. *"It must be carefully remembered, that the mechanical force which urges a conductor carrying a current across the lines of magnetic force, acts, not on the electric current, but on the conductor which carries it. If the conductor be a rotating disk or a fluid it will move in obedience to this force, and this motion may or may not be accompanied with change of position of the electric current which it carries. But if the current itself be free to choose any path through a fixed solid conductor or a network of wires, then, when a constant magnetic force is made to act on the system, the path of the current through the conductors is not permanently altered, but after certain transient phenomena, called induction currents, have subsided, the distribution of the current will be found to be the same as if no magnetic force were in action. The only force which acts on electric currents is electromotive force, which must be distinguished from the mechanical force which is the subject of this chapter."*
2. *"I was surprised to read some months ago statement in Maxwell Vol. II page [157] that the Electricity itself flowing in a conducting wire was not at all affected by the proximity of a magnet or another current. This seemed different from what one would naturally suppose, taking into account the fact that the wire alone was certainly not affected and also the fact that in Static Electricity it is plainly the Electricity itself that is attracted by Electricity."*
3. *"If the current of electricity in a fixed conductor is itself attracted by a magnet, the current should be drawn to one side of the wire, and therefore the resistance experienced should be increased."*
4. *"If electricity were an incompressible fluid it might be acted on in a particular direction without moving in that direction. I took an example about like this, suppose a stream of water flowing in a perfectly smooth pipe which is however loosely fitted with gravel. The water will meet with resistance from the gravel but none from the pipe as least no frictionally resistance. Suppose now somebody brought near the pipe which has the power of attracting a stream of water. The water would evidently be pressed against the side of the pipe but being incompressible and, with the gravel completely filling the pipe,*

it could not move in the direction of the pressure and the result would simply be a state of stress without any actual charge of course by the stream [“It is evident however that in such a case the pipe might be taped on the side toward the attracting object an a second pipe applied to the orifice” crossed out] It is evident however that if a hole were made transversely through the pipe in the direction of the pressure and the two orifices thus made were connected by a second pipe, water would flow out toward the attracting object and in at the opposite orifice. This suppose of course that the attracting objects acts upon the current flowing in one direction without acting, equally at least, upon the current in the other direction.”

5. *”It is easy to account for a negative Hall Effect as due to the transverse push of the magnetic field on a free electron stream within the metal plate, but a positive Hall Effect is harder to explain, though various attempts in this direction have been made by Sir J. J. Thomson and others. I have a theory, more or less plausible, of the positive action, but in this paper I shall not undertake to give it.”*