



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Una Propuesta Didáctica orientada a facilitar el aprendizaje y comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes

Ángela Liliana Flórez Bohórquez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y
Naturales
Bogotá, Colombia
2013

Una Propuesta Didáctica orientada a facilitar el aprendizaje y comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes

Ángela Liliana Flórez Bohórquez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:

Físico, MSc Astronomía Benjamín Calvo Mozo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y
Naturales

Bogotá, Colombia

2013

El documento titulado “Una Propuesta Didáctica orientada a facilitar el aprendizaje y comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes” ha sido realizado por Ángela Liliana Flórez Bohórquez, bajo mi dirección.

*Benjamín Calvo Mozo
Físico, MSc Astronomía*

Firmado a los 3 días del mes de julio del año 2013.

*Yo no soy un maestro: sólo un compañero
de viaje al cual has preguntado el camino.
Yo te señalé más allá, más allá de mí y de
ti mismo.*

*George Bernard Shaw (1856 - 1950).
Dramaturgo y periodista irlandés.*

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud al profesor Benjamín Calvo, quien creyó en esta propuesta y con su constante acompañamiento y dirección, hizo que fuera posible plasmarla en este documento.

También agradezco a mis padres, por quienes soy la profesora que soy hoy.

Finalmente, quiero agradecer a mi esposo, René F. Gómez, que también es mi colega y colaborador incondicional.

Resumen

Aunque el tema “circuitos eléctricos” genera una amplia expectativa entre la mayoría de los estudiantes, debido en su mayor parte a las aplicaciones directas que tienen los circuitos eléctricos sobre el funcionamiento de aparatos electrónicos y tecnología en general, la motivación casi innata se evapora en el ambiente rápidamente, al momento de iniciar la exposición de los conceptos del tema. Esto puede ser producto de variables como la falta de bases conceptuales y herramientas metacognitivas. Pero en su mayor medida, la pérdida de interés se debe a la ausencia de contextos motivadores y novedosos, con situaciones problema que requieran para su solución, no sólo el manejo correcto de los circuitos eléctricos, sino de creatividad en el diseño de los mismos.

Este trabajo es en esencia, una propuesta para la enseñanza en el manejo apropiado de los circuitos eléctricos, usando como motivación las constelaciones celestes. Para ello, la Propuesta Didáctica aplicada en estudiantes mujeres de 5° a 8° grado, está constituida por una serie de actividades secuenciadas, que abarcan principalmente el estudio y familiarización con las constelaciones celestes y sus características. Luego de hacer la introducción teórico – práctica a los circuitos en serie y paralelo, se pretende que el estudiante cree los circuitos que modelarán las características de forma, luminosidad y color de las estrellas que conforman una constelación dada, usando leds.

Aunque los resultados obtenidos no fueron los esperados (ver Anexo M), se evidencia en los estudiantes a quienes se aplicó la Propuesta Didáctica, una familiarización importante con los conceptos y elementos físicos que constituyen un circuito en serie ó paralelo. Esto a futuro, es una base fundamental en la construcción de un modelo conceptual de circuito más sólido en cada estudiante.

Palabras clave: enseñanza, circuito eléctrico, conexión serie, conexión paralelo, constelación celeste.

Abstract

Though the subject of "electric circuits" generates a wide expectation among most students, due to direct applications on the operation of electronic gadgets and technology in general, when starting to expose the subject's initial concepts, almost innate motivation evaporates into the atmosphere quickly. This may be the result of variables such as lack of conceptual and metacognitive tools. But its greatest extent, the loss of interest is due to the absence of innovative and motivating contexts, problem situations that require for their solution, not only the proper handling of electrical circuits, but creativity in designing them.

This work is essentially a proposal for teaching in the proper handling of electrical circuits, using the celestial constellations as motivation. The students sample were girls from 5° to 8° grades. For this, the Didactic Proposal consists of a serie of sequential activities, covering mainly the study and familiarization with heavenly constellations and their characteristics. After a theoretical - practical introduction to series and parallel circuits, it is intended that the student creates circuits that model the shape, brightness and color characteristics of stars of a given constellation figure using leds.

Although the results were not as expected, (see Anexo M) is evident a important familiarization with concepts and physical elements that constitute a series or parallel circuit, in students who applied Didactic Proposal. This in future, is an essential foundation in building a more robust circuit conceptual model for each student.

Keywords: teaching, electrical circuit, series connection, parallel connection, celestial constellation.

Contenido

	Pág.
Resumen	XI
Lista de figuras	XV
Lista de tablas	XV
Introducción.....	1
1. Aspectos Históricos sobre el Desarrollo de la Teoría de Circuitos Eléctricos	3
1.1 Algunas teorías del siglo XVII	3
1.2 Panorama de las teorías eléctricas es el siglo XVIII	4
1.3 Conciliaciones teóricas sobre los circuitos eléctricos en el siglo XIX.....	7
1.3.1 Circuitos en serie y en paralelo	12
1.3.2 La cuantización de la carga.....	14
1.4 Teoría sobre diodos	15
1.4.1 El Efecto Edison	15
1.4.2 El diodo semiconductor.....	15
1.4.3 El diodo led	18
1.4.4 Cálculo de la resistencia limitadora de corriente	19
1.5 Análisis de circuitos complejos	20
2. Aspectos de la Astronomía relevantes en la <i>Propuesta Didáctica</i>.....	21
2.1 La bóveda celeste	21
2.2 Las constelaciones celestes.....	23
2.3 Identificación de las estrellas.....	25
2.4 El brillo y color de las estrellas	25
3. ¿Cómo enseñar los Circuitos Eléctricos?	29
3.1 El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP).....	29
3.1.1 Ventajas del ABP	30
3.1.2 Requerimientos en la implementación del ABP	31
3.2 El ABP en la <i>Propuesta Didáctica orientada a facilitar el Aprendizaje y Comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes</i>	31
4. Estructura de la Propuesta Didáctica	33
4.1 Actividades de la Primera Etapa – Motivación	34

4.1.1	¿Qué vemos en el cielo?	34
4.1.2	Relatos fantásticos de héroes y dioses.....	36
4.1.3	Letras extrañas	36
4.1.4	Ordenando las estrellas.....	37
4.1.5	Al interior de una constelación	39
4.2	Actividades de la Segunda Etapa – Adquisición de Herramientas	40
4.2.1	Prendiendo la estrella	40
4.2.2	¿Quién hace conexiones como yo? – Esquema de un circuito eléctrico.....	44
4.2.3	Estrellas de colores y brillos diferentes.....	46
4.3	Actividades de la Etapa Final – Solución del Problema: Constelaciones con Circuitos ..	48
4.3.1	Concepciones alternativas y Modelos para el estudio de la corriente y circuitos eléctricos.....	49
5.	Análisis de la ejecución de las Actividades de la <i>Propuesta Didáctica</i> en el Colegio Clemencia de Caycedo	51
5.1	Caracterización de la población y contexto	51
5.2	¿Qué vemos en el cielo?	52
5.3	Relatos fantásticos de héroes y dioses – Al interior de una constelación	53
5.4	Letras extrañas – Ordenando las estrellas	53
5.5	Prendiendo la estrella	53
5.6	¿Quién hace conexiones como yo? – Esquema de un circuito eléctrico	54
5.7	Estrellas de colores y brillos diferentes	54
6.	Recomendaciones.....	57
7.	Conclusiones.....	59
A.	Anexo: Talleres “Rompecabezas de círculos” y “Rompecabezas de puntos”	61
B.	Anexo: Presentación de diapositivas “Mitos griegos de algunas constelaciones”	62
C.	Anexo: Lotería del alfabeto griego	63
D.	Anexo: Presentación de diapositivas “Designación de Bayer”	64
E.	Anexo: Presentación de diapositivas “Constelación del Boyero”	65
F.	Anexo: Taller “Prendiendo la estrella”	66
G.	Anexo: Taller “¿Quién hace conexiones como yo?”	67
H.	Anexo: Taller “Modelo de una constelación”	68
I.	Anexo: Solución de Talleres “Rompecabezas de puntos”	69
J.	Anexo: Exposiciones de las estudiantes	70
K.	Anexo: Actividad “Letras extrañas”.....	71

L. Anexo: Solución talleres “¿Quién hace conexiones como yo?”	72
M. Anexo: Solución talleres “Estrellas de colores y brillos diferentes”	73
N. Anexo: Modelo de la constelación Orión.....	74
Bibliografía.....	75

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Leyes de Kirchhoff.....	11
Figura 1-2: “Corrientes derivadas” de Pouillet.....	13
Figura 1-3: El efecto Edison.....	15
Figura 1-4: Semiconductores tipo n y tipo p.....	16
Figura 1-5: Polarizaciones posibles de un semiconductor.....	17
Figura 1-6: Características de un diodo semiconductor.....	17
Figura 1-7: Proceso de electroluminiscencia en una unión p-n.....	18
Figura 1-8: Conexión en serie de diodo y resistencia.....	19
Figura 4-1: Imágenes del “Rompecabezas de círculos”.....	35
Figura 4-2: Designación Bayer para el asterismo de Orión.....	39
Figura 4-3: Conexiones esperadas para encender un bombillo.....	42
Figura 4-4: Conexiones equivalentes para encender un bombillo.....	42
Figura 4-5: Símbolos usados en los esquemas de circuitos eléctricos.....	45
Figura 5-1: Dibujos de las estudiantes en el Taller “Prendiendo la estrella”.....	54

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Voltajes de operación típicos para diodos led.....	19
Tabla 4-1: Modelos, concepciones alternativas y conflictos conceptuales.....	50

Introducción

Los circuitos eléctricos constituyen uno de los grandes pilares en el desarrollo de las teorías eléctricas y electrónicas, en cuanto a que la formulación correcta de éstos, determina si el proyecto realizado funcionará o no. Esta característica tan importante del tema, justifica la búsqueda de métodos y herramientas didácticas que faciliten su comprensión y manejo por parte de los estudiantes.

Comprender el funcionamiento de los circuitos eléctricos, puede tener relevancia para los estudiantes desde dos puntos de vista. El primero, anteriormente mencionado: un buen diseño de circuitos, determina la calidad del funcionamiento de cualquier proyecto que, un “futuro profesional” realice (en el caso de que el estudiante pueda acceder a la educación superior y se desempeñe en campos de la ciencia y/o tecnología). El segundo; el manejo correcto de circuitos, puede sentar las bases para una profesión no formal o tipo técnica en la manipulación de aparatos eléctricos, que pueda ser una fuente de ingresos para el estudiante en el futuro, incluso a corto plazo.

Se puede encontrar una gran variedad de recursos en publicaciones seriadas y memorias de congresos, sobre herramientas y metodologías diseñadas para mejorar la comprensión de los circuitos eléctricos, en su gran mayoría con el apoyo de software especializado. Sin embargo, no se encuentran propuestas realmente cautivadoras para el estudiante, que motiven la necesidad de construir un circuito.

Para cubrir esta necesidad, se combinan en la presente *Propuesta Didáctica* dos campos realmente atractivos, la electricidad y la astronomía. Ambos, cada uno desde su campo de acción, han despertado en la humanidad gran fascinación; la electricidad por sus aplicaciones en el desarrollo de diferentes tipos de máquinas, generación de luz artificial y por ser una fuente importante de energía, y la astronomía por la búsqueda de razones que expliquen lo que pasa más allá de lo que está a nuestro alcance. Estos campos están actualmente muy relacionados; los avances en tecnología contribuyen al avance en astronomía, y en general de otras ciencias... pero lo que se quiere lograr, es que por medio del contexto de la astronomía, se llegue a una aproximación casi intuitiva de los circuitos eléctricos. Los estudiantes tienen en mente como objetivo, el resolver un problema relacionado con la modelación de constelaciones celestes, aunque el objetivo principal sea el manejo apropiado de circuitos eléctricos.

1. Aspectos Históricos sobre el Desarrollo de la Teoría de Circuitos Eléctricos

Este capítulo es un intento por reseñar los hitos en la historia del desarrollo de la teoría eléctrica, alrededor de los siglos XVII, XVIII y XIX, que contribuyeron a establecer las teorías que describen el comportamiento de los circuitos eléctricos, hasta llegar a las leyes enunciadas por Ohm y Kirchhoff, como los dos grandes pilares de la teoría de circuitos en una primera aproximación, aunque en el manejo de circuitos complejos se usan además los teoremas de Thévenin y Norton, desarrollados posteriormente y de gran utilidad en el análisis de circuitos electrónicos modernos. Estos teoremas sólo se enunciarán de manera general al final del capítulo. Además, se incluye una sección dedicada a la teoría sobre diodos semiconductores, ya que son utilizados en la ejecución de la *Propuesta Didáctica*.

Cabe aclarar que es difícil realizar una secuencia lineal en el desarrollo de estas leyes, ya que en varios países de Europa, e incluso en Estados Unidos, muchos físicos realizaban sus propios experimentos y teorías, en forma simultánea, en pro de descifrar el misterio de los fenómenos eléctricos. Este hecho explica la existencia de tantas leyes y ecuaciones con distintos autores en toda la teoría eléctrica, más que en otras ramas de la física.

En la recopilación de la información que se presenta a continuación, se analizan documentos cuyo propósito principal es el de encontrar y superar las dificultades en el aprendizaje de conceptos relacionados con la electricidad. En general, estos documentos señalan la importancia de tener en cuenta la evolución histórica de los conceptos a la hora de enseñarlos. Entre los autores consultados destacan Carles Josep Furió, Jenaro Guisasola, Antonio Montero, Manuel Fernández, Isabel Garzón e Italo Testa. Los cuatro primeros son profesores que han publicado diversos artículos en revistas sobre enseñanza de las ciencias, y los dos últimos son estudiantes de doctorado cuyas tesis están relacionadas con el tema de este trabajo de grado. También se hizo consulta de textos universitarios de física general, moderna y electrónica, de autores como Roller y Blum, Halliday y Resnick, Giancoli, Trinklein y Metcalfe, y Boylestad y Nashelsky.

1.1 Algunas teorías del siglo XVII

Según Furió, Guisasola y Zubimendi (1998), el inglés William Gilbert (1544 - 1603), estableció una diferencia entre el comportamiento de los imanes y el clásico experimento de frotar ámbar, que, como es del conocimiento público, fue

estudiado en la antigüedad por los griegos, y de ahí el nombre de “electricidad”. En 1600 desarrolló un instrumento que llamó “versorio”, que detecta cuerpos cargados, y mediante la experimentación con él, realizó la primera clasificación de los materiales en “eléctricos” y “no eléctricos”¹. Gilbert afirmaba que la electrización se debía al liberarse con el frotamiento algo de la naturaleza del cuerpo; el “efluvio”, que caracterizado por la tendencia natural de regresar al cuerpo del que proviene, arrastra consigo pequeños objetos cercanos al cuerpo, lo que explica el fenómeno de atracción. Este modelo falló al explicar la repulsión eléctrica, encontrada por el italiano Nicolo Cabeo (1586 - 1650), y la transmisión eléctrica detectada por el inglés Stephen Gray (1666 - 1736). En la obra más importante de Gilbert, *De magnetibus, magneticisque corporibus, et de magno magnetis tellure*,² más conocida como *De magnetibus*, del año 1600, se incluyen importantes experiencias realizadas por él, sobre el magnetismo terrestre y la electricidad estática.³

Gray descubrió la electrización por contacto, al notar que el vidrio electrizado por fricción, le daba la misma propiedad a cuerpos conectados con él por medio de un alambre metálico y que no habían sido frotados. Si en lugar del metal se usaba un hilo de seda, no se observaba ninguna transmisión. Según Furió y Guisasola (1997), luego de estos resultados, era imposible apoyar la teoría del efluvio como algo ligado al material, tenía que ser una entidad independiente; el “fluido eléctrico”, análogo a la teoría del calórico, que a su vez, estaba influenciada por el auge de las ideas newtonianas. Así se realiza entonces, otra clasificación de los materiales en “conductores” y “aislantes”.⁴

1.2 Panorama de las teorías eléctricas es el siglo XVIII

En el documento de 1998 de Furió et al., se encuentra que el francés Charles François de Cisternay Du Fay (1698 - 1739), afirmó que debían existir dos tipos de electricidad; “vítrea y resinosa”, al explicar los resultados de sus experimentos con láminas de oro, una varilla de vidrio y otra de resina, en los que se presenta repulsión y atracción. Según Roller y Blum (1986), Du Fay estableció que “Los cuerpos análogamente electrificados se repelen entre sí, mientras que los cuerpos electrificados de manera diferente se atraen los unos a los otros.” (p. 915). Fue así como Du Fay desarrolló la teoría de los dos fluidos, haciendo algunas modificaciones en los experimentos hechos previamente por Gray (Garzón, 2012).

¹ Para Gilbert, los materiales eléctricos son aquellos que al ser frotados atraen objetos pequeños, y los no eléctricos son los metales, en los que esta propiedad no era evidente.

² Sobre los imanes, los cuerpos magnéticos y el gran imán terrestre.

³ Según Roller y Blum (1986), la obra de Gilbert compite con “Dos nuevas ciencias” de Galileo, en ser el primer texto de física moderna.

⁴ Respectivamente, no eléctricos y eléctricos, según la usanza de Gilbert.

Sin embargo, el estadounidense Benjamin Franklin (1706 - 1790), denominó positiva la electricidad vítrea y negativa la electricidad resinosa (Halliday y Resnick, 1970). Para él, no existían dos fluidos diferentes, sino que era un “fluido único” donde la carga positiva constituía un exceso de este fluido, y la carga negativa, una deficiencia, con respecto a un “contenido natural” del fluido en el material (Giancoli, 1997). Esta suposición tiene similitudes con la teoría de los dos fluidos, donde se supone que la electricidad vítrea y resinosa se equilibran cuando el cuerpo está en un estado natural (Furió et al., 1998).

Aunque para Franklin, el fluido eléctrico es sólo uno, la materia en cambio, es de dos tipos; la común y la eléctrica. Las partículas de materia común se atraen mientras que las eléctricas se repelen, gracias a la “atmósfera” que rodea a los cuerpos electrizados con un exceso del fluido.⁵ Sin embargo, esto no podía explicar por qué los objetos con deficiencia del fluido se repelen (Furió et al., 1998). Se considera que Franklin también sentó las bases de la Ley de Conservación de la Carga Eléctrica, al asegurar que cuando se produce una cantidad de carga en un objeto, simultáneamente se produce la misma cantidad, pero de carga opuesta, en otro objeto (Giancoli, 1997).

Los experimentos del alemán Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724 - 1802), inspirados en una posible relación entre la inducción y la botella de Leiden, sugieren que los materiales no conductores son impermeables a la electricidad, y por lo tanto, no se puede pensar que el fluido eléctrico exista más allá del cuerpo cargado. En su obra de 1759, *Propuesta de una teoría de la electricidad y el magnetismo*, rechaza la idea de “atmósfera eléctrica” de Franklin, por una aproximación newtoniana; explica los fenómenos de inducción y atracción de cuerpos cargados sobre neutros,⁶ por medio de fuerzas de acción a distancia (Furió et al., 1998). Aunque el físico inglés John Canton (1718 - 1772), entre otros, ya había estudiado el fenómeno de la inducción y la polarización eléctrica en 1753 (Roller y Blum, 1986).

Otro científico a favor de las ideas newtonianas fue el británico Joseph Priestley (1733 - 1804), quien en 1755 afirma que existe un comportamiento análogo entre la fuerza eléctrica y la fuerza de gravedad, al mostrar que una esfera metálica hueca, no tiene carga en sus paredes interiores (Furió et al., 1998).

Según Garzón (2012), hasta este momento, los científicos sólo habían hecho estudios cualitativos de los fenómenos eléctricos descubiertos, sin llegar a una hipótesis sólida que pudiera explicarlos y predecirlos. Así los términos que algunos de ellos usaban en sus explicaciones, eran usados indistintamente por otros. El primer paso en la formalización matemática lo dieron Cavendish y Coulomb (Garzón, 2012).

⁵ Es decir, carga positiva.

⁶ Polarización eléctrica.

El inglés Henry Cavendish (1731 - 1810), supuso que la posible ley para las interacciones eléctricas debía ser una razón inversa de alguna potencia de la distancia, y además, aseguró que esta debía ser inferior a la tercera potencia. También introdujo el término “grado de electrificación”, asociado a lo que posteriormente se conoció como potencial eléctrico. El concepto de potencial eléctrico junto con el de carga, llevarán al concepto de “capacidad”, para la estática, y al de “corriente eléctrica”, en la dinámica (Garzón, 2012).

En sus publicaciones de 1785 a 1786, el francés Charles Augustin de Coulomb (1736 - 1806), menciona por primera vez la “masa” o carga eléctrica con magnitudes mecánicas fundamentales, apoyando la teoría de los dos fluidos. Finalmente, la influencia de la mecánica newtoniana se evidenció en la ley que estableció Coulomb, hecho por el cual fue ampliamente aceptada por la comunidad científica (Furió et al., 1998), y aún se usa en nuestros días.

Aunque con Cavendish y Coulomb se había dado un salto importante en la elaboración de las teorías eléctricas, se podía sentir un sinsabor debido a la reciente interpretación de los fenómenos estudiados como acciones a distancia, así lo relata el físico holandés Pieter Van Musschenbroek:⁷

Se ha objetado contra el sistema de la atracción que no se puede comprender cómo dos cuerpos pueden obrar recíprocamente el uno sobre el otro sin tocarse. Estoy de acuerdo en ello, pero confieso, a mi vez, que no tengo absolutamente ninguna idea de la acción recíproca de ningún cuerpo. En efecto, es imposible, para el espíritu humano, concebir lo que es la acción de dos cuerpos llevados el uno hacia el otro o que están en contacto: no tenemos idea alguna de la fuerza que los hace obrar, no se comprende cómo pasa esa fuerza del uno al otro ni el modo cómo se produce ni cómo deja de obrar [sic]. Es un misterio por encima del alcance de nuestro entendimiento. (Tatón, 1988, citado en Garzón, 2012, p. 32).

Hacia finales del siglo XVIII, el italiano Luigi Galvani (1737 - 1798) inició una serie de experimentos que dieron origen a una “rama” nueva en los estudios eléctricos; el galvanismo, sustancialmente diferente de la electrostática, que hasta el momento había sido el único aspecto estudiado de los fenómenos eléctricos. Aunque las teorías de Galvani fueron abandonadas, su importancia radica en la novedad de introducir fenómenos dinámicos en el estudio de la electricidad, que anteriormente fue analizada por medio de conductores en configuraciones abiertas (Testa, 2008).

⁷ Desarrollador de la famosa “Botella de Leiden” (Roller y Blum, 1986).

El experimento de Galvani de 1789, consistía en lograr la contracción del músculo del anca de una rana, por el estímulo de una máquina de electricidad estática; encontró los mismos efectos cuando presionaba la médula espinal de la rana con latón y acero, e igualmente, con otros pares de metales. Galvani atribuyó estos resultados a algo propio en la naturaleza de la rana, y lo llamó “electricidad animal” (Giancoli, 1997).

Sin embargo, y lejos de reconocer en sus resultados un fenómeno diferente a los ya estudiados por otros científicos, Galvani atribuía al nervio y músculo del animal las características de una botella de Leiden, es decir, que éstos almacenan electricidad que desembocaba en una corriente instantánea cuando se unen mediante un conductor. La tendencia de seguir explicando desde la electrostática, los nuevos experimentos de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, era evidente tanto en las afirmaciones de Galvani, como en general, en los científicos contemporáneos a él (Benseghir y Closset, 1996, citado en Garzón, 2012).

1.3 Conciliaciones teóricas sobre los circuitos eléctricos en el siglo XIX

El italiano Alessandro Volta (1745 - 1827), como profesor y conocedor de la teoría electrostática, identifica la trascendencia del descubrimiento de Galvani, repite sus experimentos, y coincide con él sobre su hipótesis de la electricidad animal (Garzón, 2012). Pero experimentos posteriores llevaron a Volta a pensar que el origen de la electricidad estaba en el contacto de los dos metales, y que el punto de contacto húmedo entre ellos, como el músculo de la rana, o la lengua humana, era suficiente para establecer un circuito efectivo (Giancoli, 1997).

Garzón (2012) afirma que Volta introduce entonces en sus escritos a partir de 1796, el concepto de “fuerza electromotriz”, con el ánimo de explicar la caracterización descriptiva que hace sobre los resultados de sus experimentos. Para Volta, lo que llama fuerza electromotriz, es la causa de que las cargas se separen y se mantengan separadas cuando dos metales se ponen en contacto (Guisasola, Montero y Fernández, 2008). Ya en 1801, define la fuerza electromotriz como una medida de la desigualdad de electricidad entre los dos metales, la misma tensión eléctrica en un circuito abierto (Garzón, 2012). Tensión eléctrica la define en 1778 como el esfuerzo del propio fluido eléctrico para salir del metal (Garzón, 2012).

Según Giancoli (1997) y Testa (2008), Volta vio que los músculos de una rana tenían una sensibilidad mayor a la de cualquier electroscopio de la época, comportándose como una especie de amperímetro. Pero era necesario pasar del método orgánico propuesto por Galvani a un método inorgánico, si quería anular totalmente la hipótesis de la electricidad animal, consiguiendo esta transición en 1801 (Garzón, 2012).

Hacia 1800, Volta dispuso papel o tela impregnados en una solución de sal o ácido diluido, en medio de un disco de cinc y otro de plata (Giancoli, 1997). Apilando varios de estos pares, formó la primera *pila eléctrica*; “La pila afectaba un electrómetro y producía sensaciones de choque, sabor, luz, y sonido; además, la intensidad de los fenómenos observados era bastante notable.” (Garzón, 2012, p. 36).

Sin embargo, el hecho de que la teoría dominante fuera la electrostática, hizo que muy pocos científicos aceptaran las ideas de Volta sobre la dinámica de la electricidad (Testa, 2008). Incluso, desde el paradigma coulombiano, la fuerza electromotriz de Volta era simplemente vista como la capacidad de algunos cuerpos para producir electricidad en otros (Guisasola et al., 2008). La pila de Volta fue explicada como fenómeno electrostático, durante el primer tercio del siglo XIX. Por lo tanto, Volta sólo pudo hacer mediciones reales de las diferencias de tensión del fluido eléctrico entre dos metales, en lugar de medir corrientes eléctricas (Garzón, 2012).

El científico danés Hans Christian Oersted (1777 – 1851), suponía que las fuerzas de la naturaleza podían transformarse en otras, al saber que era posible imantar hierro por medio de un rayo (Garzón, 2012), y por sus experimentos, en 1820 presentó a la Academia Francesa de Ciencias, sus observaciones sobre la fuerza mecánica que una corriente ejerce sobre una aguja magnética (Roller y Blum, 1986). Oersted explica los resultados, asumiendo la corriente eléctrica como un conflicto permanente entre las fuerzas eléctricas, y este conflicto eléctrico se extiende más allá del propio conductor; está disperso por todo el espacio alrededor de éste (Garzón, 2012).

Tras dos semanas de las declaraciones de Oersted, el físico francés André - Marie Ampère (1775 - 1836), también presentó a la Academia Francesa de Ciencias, su descubrimiento sobre el comportamiento magnético de una “espiral galvánica” o bobina. En 1826 publicó su *Théorie des Phénomènes Electro - Dynamiques*, en la que se evidencia la influencia de la teoría newtoniana. Esta obra compila sus resultados sobre la relación entre los fenómenos magnéticos y las corrientes eléctricas (Roller y Blum, 1986), destacándose sus observaciones sobre la atracción y repulsión entre corrientes según su dirección relativa (Garzón, 2012).

Tan sólo un mes después, los franceses Jean-Baptiste Biot (1774 – 1862) y Félix Savart (1791 – 1841) llevaron a la misma Academia, la relación de la distancia a un conductor con la fuerza magnética generada por una corriente en él, consecuencia de sus estudios acerca de las fuerzas de las corrientes con

diferentes disposiciones geométricas, sobre los imanes.⁸ Mediante la medición de las fuerzas que ejercen las corrientes sobre una aguja magnética, Biot completó con éxito la ley que relaciona la fuerza magnética (campo magnético) con las contribuciones de cada pequeña parte de una corriente, ley que se conoce como de Biot – Savart (Roller y Blum, 1986).

El británico Michael Faraday (1791 - 1867), no coincidía con las explicaciones de Ampère, ya que eran concebidas bajo la noción de fluidos, y para Faraday la causa se debía más a una propiedad de la naturaleza del cuerpo cargado. Además había una incoherencia entre la atracción de corrientes del mismo sentido, mientras que con las cargas sucede lo contrario; las del mismo sentido se repelen. Por estas razones, Faraday se propone formular otra explicación para los experimentos de Oersted, rescatando la parte en la que él afirma que hay algo que se extiende por todo el espacio circundante. Para Faraday, no había otra razón por la que se afectara la aguja de una brújula a distancia (Garzón, 2012). En 1822 Faraday logró el efecto contrario a los experimentos de Oersted, experiencia conocida como “rotaciones magnéticas”, en la que recurre a la idea de la tendencia natural del cable a girar en torno a un polo magnético; así surge la idea de *Campo* de Faraday (Garzón, 2012).

El alemán George Simon Ohm (1789 - 1854), inició en 1825 experimentos con la pila de Volta, y luego, gracias al descubrimiento de la termoelectricidad por el físico de Estonia Thomas Johann Seebeck (1770 - 1831), Ohm trabajó con elementos termoeléctricos cobre – bismuto (Garzón, 2012). Inicialmente, Ohm pretende en su investigación, llegar a una relación entre las características del material que conduce corriente y fuerza magnética que produce (Guisasola, Montero y Fernández, 2005). Pero realizando un paralelo con el trabajo de Fourier sobre el calor, Ohm estableció su famosa Ley, con la que intentó hacer una interpretación matemática de los circuitos galvánicos (Testa, 2008):

i representa la intensidad de la corriente, medida o registrada por la desviación de la aguja de un galvanómetro; ε , la “tensión” de la pila, proporcional al número de sus elementos en serie; *R*, su resistencia, también proporcional a ese número; y *r* la resistencia del circuito exterior, dependiente, como había establecido Davy, de su naturaleza y dimensiones. (Tatón, 1988, citado en Garzón, 2012, p. 43).

El flujo de calor sólo es posible por la diferencia de temperaturas, así como el flujo eléctrico o, intensidad de corriente es debida a la diferencia entre, lo que Ohm llama, “fuerzas electroscópicas” (Guisasola et al., 2008 y Garzón, 2012). La expresión fuerza electroscópica fue definida en su libro *Die galvanische Kette*,

⁸ Siguiendo los experimentos de Oersted, y dejando de lado los de Ampère, así como hicieron otros investigadores (Roller y Blum, 1986).

Mathematisch bearbeitet, y era susceptible de medición con un instrumento electrostático. La diferencia entre fuerzas electroscópicas en los extremos de una porción de un circuito, fue definida por Ohm como “tensión” (Guisasola et al., 2008). A partir de 1850, se asocia el potencial eléctrico con la tensión de Volta (Garzón, 2012).

El objetivo de las investigaciones de Ohm, era el de determinar la influencia de las propiedades geométricas y físicas de los conductores en el flujo de electricidad. Su montaje experimental consistía en conectar en círculo una pila con varios cables conductores que sólo diferían en su longitud (Testa, 2008). Las mediciones se hacían por medio de una especie de brújula, que consistía en una aguja suspendida de un filamento; esta aguja gira por la fuerza magnética de la corriente en el circuito, y con la ayuda de un círculo con divisiones precisas, se podía determinar la “fuerza de la electricidad” a través de lo que indicara la aguja al girar sobre el círculo (McKnight, 1966, citado en Testa, 2008).

Ohm registró la cantidad de giro que hacía la aguja, con respecto a la longitud del cable de prueba, encontrando que entre más corto era el cable de prueba, mayor era el giro de la aguja. Así se llega a la relación:

$$(1) \quad \frac{I}{I_0} \approx \frac{1}{1 + \frac{R}{R_i}}$$

Donde I es la corriente en el circuito, I_0 es la corriente para un cable de referencia 0 , R es la resistencia del circuito, y R_i es la resistencia interna de la pila (Testa, 2008).

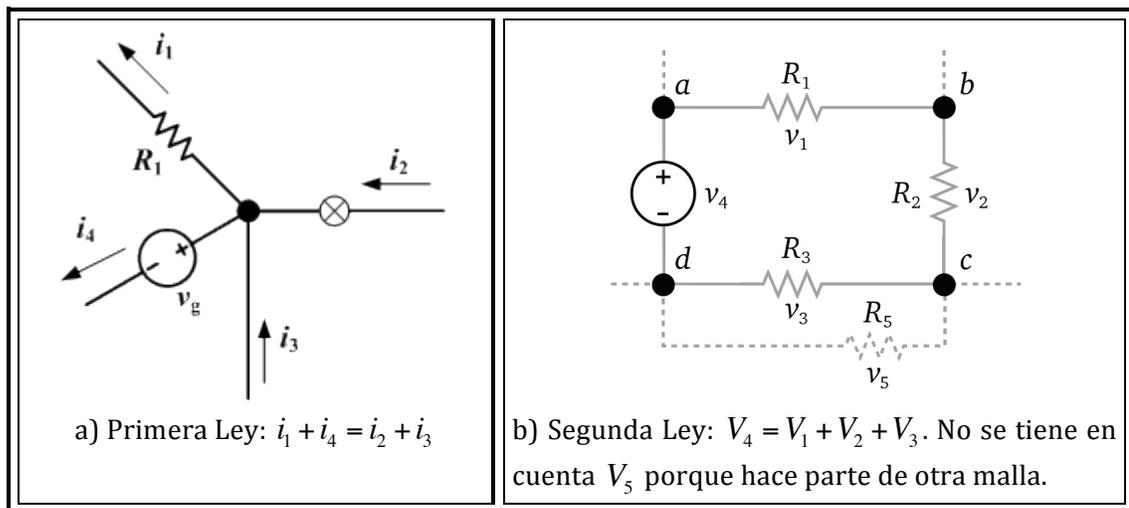
Gracias a los experimentos con el termopar, Ohm encontró una regularidad lineal entre la inversa de la intensidad eléctrica y la longitud de los cables de prueba. Durante 1826 y 1827, Ohm dedicó sus esfuerzos a la formalización matemática de sus resultados experimentales, que se encuentran consignados en su obra *Die galvanische Kette, Mathematisch bearbeitet* que según Testa, contiene los principios de su razonamiento:

- el primero, y más importante, sobre cómo se transmite la electricidad entre dos elementos contiguos de un cuerpo: la hipótesis es que el flujo de electricidad entre uno y otro elementos del cuerpo, ocurre casi instantáneamente y es proporcional a la diferencia de las "fuerzas eléctricas" (*elektrische Kräfte*) de los dos elementos;
- el segundo está relacionado con el hecho de que la electricidad se propaga dentro de los cuerpos ya que la dispersión en el aire es casi insignificante;

- el tercero, en palabras de Ohm, es sobre "la forma en que aparece la electricidad en los puntos de contacto de dos cuerpos diferentes" a la que llamó "tensión eléctrica" (*elektrische Spannung*): cuando dos cuerpos conductores se ponen en contacto, por ejemplo, con otro cuerpo conductor, la diferencia entre las "fuerzas electroscópicas" (*elektroskopischen Kräfte*) permanece constante.⁹ (2008, p. 13).

El físico alemán Gustav Robert Kirchhoff (1824 - 1887) estudia la producción de Ohm alrededor de 1845, y asocia el concepto de fuerzas electroscópicas con el concepto de Potencial Eléctrico que desarrollaron Poisson y Green hacia 1828 (Garzón, 2012). La diferencia entre estas fuerzas electroscópicas, Kirchhoff las identificó con la diferencia de potencial. Esto se logra gracias a la nueva concepción de energía, que permite interpretar los circuitos de forma global (Guisasola et al., 2008). Hacia 1847 Kirchhoff formula su dos leyes basadas en la conservación de la carga y la energía, que se ilustran en la Figura 1-1.

Figura 1-1: Leyes de Kirchhoff.¹⁰



Según Roller y Blum (1986):

La primera ley de Kirchhoff establece que, en estado estacionario, no puede acumularse carga en ningún punto del circuito. Por consiguiente, el flujo de carga que sale... debe ser igual al flujo de carga que entra... Definamos un nudo como

⁹ Traducción de la tesis doctoral de Testa por Ángela Flórez.

¹⁰ Imágenes tomada de http://es.wikipedia.org/wiki/Leyes_de_Kirchhoff

la intersección de tres o más conductores. Entonces podemos enunciar la primera ley de Kirchhoff del modo siguiente:

La suma de las corrientes que entran en un nudo cualquiera es igual a la suma de las corrientes que salen del mismo. (p. 1176).

Sobre la segunda ley de Kirchhoff, Roller y Blum afirman: “La suma de las FEM en un circuito es igual a la suma de las caídas de potencial en el circuito.” (1986, p. 1178).

El físico francés, Claude Servais Mathias Pouillet (1791 - 1868), publica en 1856 la séptima edición de su obra *Elementos de Física y Meteorología*. En uno de sus libros, *Magnetismo y Electricidad*, aborda cuestiones sobre el galvanismo y la naturaleza de las corrientes eléctricas. Sobre las corrientes eléctricas escribe:

Capítulo V, párrafo introductorio de las causas de las corrientes eléctricas (p. 578): *"Dado que las corrientes eléctricas no son más que la composición de dos fluidos opuestos, resulta que todas las causas que son capaces de activar la electricidad también son capaces de producir corrientes. Dado que los dos fluidos se activan siempre juntos y, como cualquier líquido libre tienen la tendencia a combinarse con una cantidad igual de fluido opuesto, será suficiente permitir esta combinación para activar las corrientes"*.¹¹ (Testa, 2008, p. 33).

con lo que realiza una conciliación en cuanto al origen de los resultados de Coulomb y Galvani, que hasta el momento, se habían considerado como fenómenos diferentes.

Pouillet en su obra, muestra cómo se deduce la ley sobre la igualdad de la intensidad de corriente en todos los puntos de un circuito cerrado, y también demuestra que la intensidad de la corriente es inversamente proporcional a la longitud del circuito pero directamente proporcional a su sección. Esto lo hace por medio de circuitos equivalentes, es decir, circuitos que en su estructura son diferentes pero con los que se obtienen los mismos efectos (Testa, 2008).

1.3.1 Circuitos en serie y en paralelo

En cuanto a la estructura de los circuitos, Pouillet llegó a las reglas que conocemos en la actualidad sobre las conexiones en serie y en paralelo. Para ello

¹¹ Traducción de la tesis doctoral de Testa por Ángela Flórez.

tuvo en cuenta la relación encontrada entre intensidad de corriente, longitud y sección transversal del circuito, que se puede expresar de la siguiente forma (Testa, 2008):

$$(2) \quad s'c'l = scl'$$

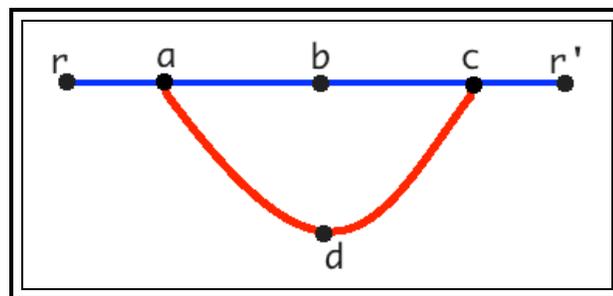
donde s , c y l son respectivamente la sección transversal, la conductividad y la longitud en un circuito dado, y las letras primadas corresponden a las características de otro circuito que tiene la misma intensidad de corriente que el primero. Para terminar su estudio, Pouillet usó un circuito heterogéneo, es decir, compuesto de diferentes conductores, y que fuera equivalente a otro circuito homogéneo, llegando a la relación (Testa, 2008):

$$(3) \quad l' = l'' \frac{s'c'}{s''c''} + l''' \frac{s'c'}{s'''c'''} + \dots = s'c' \left(\frac{l''}{s''c''} + \frac{l'''}{s'''c'''} + \dots \right)$$

donde las longitudes de cada parte del circuito heterogéneo son, respectivamente l'' , l''' , ..., sus secciones son s'' , s''' , ..., y conductividades c'' , c''' , ... La expresión (3) según Testa, corresponde a la expresión para calcular la resistencia equivalente a dos o más resistencias conectadas en serie.

Siguiendo a Testa (2008), el procedimiento para analizar los circuitos en paralelo, fue desarrollado por Pouillet mediante la conexión de un alambre de cobre, por los dos extremos, a otro también de cobre, por el que ya está circulando una corriente, como se muestra en la Figura 1-2.

Figura 1-2: “Corrientes derivadas” de Pouillet.



En el momento, este tipo de montajes se conocía como “corrientes derivadas”, ya que se asumía que la corriente que originalmente va por el cable $racbr'$ debe dividirse para pasar por el conductor adb . Para la descripción del montaje, Pouillet llama a la corriente antes de llegar al punto a , *corriente primitiva*; la corriente que pasa por el conductor acb , *corriente parcial*; y la corriente que pasa por el conductor adb , *corriente derivada*, y además, Pouillet asume que es posible que la derivación en el circuito debe afectar la corriente primitiva, así que llama *corriente principal* a la que va por el resto del circuito.

Para encontrar el valor de las corrientes descritas, Pouillet usa nuevamente los circuitos equivalentes y la expresión (2). Según Testa (2008), Pouillet redujo el estudio de un circuito derivado a la comparación de dos circuitos que se caracterizaron por tener la misma sección transversal, pero corrientes y longitudes diferentes, y encuentra evidente que la suma de la corriente parcial y derivada debe ser siempre la misma, igual a la corriente principal. Es así como Pouillet llega a la expresión

$$(4) \quad x = t \frac{l}{s} \left(\frac{s}{l} + \frac{s'}{l'} \right)$$

donde x es la corriente principal y t es la corriente primitiva. Según Testa (2008), la expresión (4) define la resistencia equivalente de dos resistencias en paralelo.

Con respecto a sus experimentos sobre las fuentes eléctricas, los resultados obtenidos por Pouillet le llevaron a concluir que “las fuentes eléctricas no pueden ser de ninguna manera definidas o caracterizadas por medio de la cantidad de electricidad que transfieren a la carga, o por medio de la intensidad de las corrientes que proporcionan al circuito” (Testa, 2008, p. 53), en otras palabras, el poder de la pila y la corriente generada en el circuito.¹²

1.3.2 La cuantización de la carga

El trabajo de electrólisis de 1833 de Faraday, condujo como resultado a una dependencia entre la cantidad de carga y el número de partículas, idea que lleva a pensar la electricidad, no como un fluido, sino como el tránsito de porciones discretas. A finales del siglo XIX, Jean Perrin (1870 - 1942), encontró que las descargas eléctricas en gases, llevan consigo cargas negativas (Roller y Blum, 1986), y en 1896, Joseph John Thomson, (1856 - 1940), descubre el electrón al demostrar que las partículas en la descarga tienen una masa de aproximadamente 1/1850 la masa de un átomo de hidrógeno, consideración a la que llega por la relación carga – masa que encontró en sus experimentos sobre la desviación de rayos catódicos en presencia de campos eléctricos y magnéticos (Halliday y Resnick, 1970).

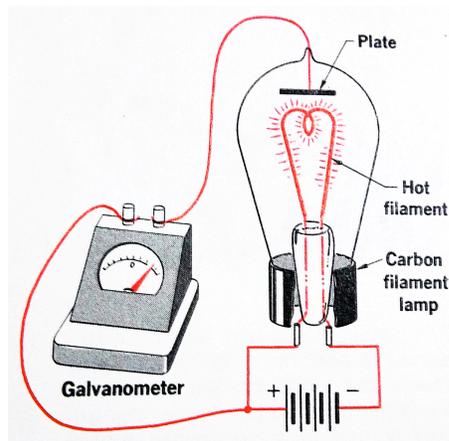
¹² Traducción de la tesis doctoral de Testa por Ángela Flórez.

1.4 Teoría sobre diodos

1.4.1 El Efecto Edison

Hacia finales del siglo XIX, las lámparas de incandescencia existentes tenían el inconveniente de ennegrecerse con el uso. El inventor estadounidense Thomas Alva Edison (1847 - 1931) realizaba pruebas para solucionar este problema, cuando en 1883 introdujo una placa metálica (o colector) dentro de un bombillo cerca del filamento, y lo conectó con un galvanómetro y una batería (Williams, Trinklein, Metcalfe y Lefler, 1972), como se muestra en la Figura 1-3. El galvanómetro indicaba el paso de corriente sólo cuando la placa era conectada a la terminal positiva de la batería.

Figura 1-3: El efecto Edison.¹³



La explicación del “Efecto Edison” llegó con el descubrimiento del electrón por Thomson, varios años después en 1896. Lo que sucede es que al ser conectado a la terminal positiva de la batería, el filamento caliente desprende electrones que se dirigen hacia la placa a través del espacio vacío dentro del bombillo. Por el contrario, si la placa se carga negativamente, impide el escape de los electrones y tampoco hay corriente eléctrica hacia el galvanómetro (William et al., 1972). El “Efecto Edison” fue usado por el físico británico John Ambrose Fleming (1849-1945) en 1904 para construir el primer diodo, llamado Válvula de Fleming, o Válvula termoiónica (William et al., 1972).

1.4.2 El diodo semiconductor

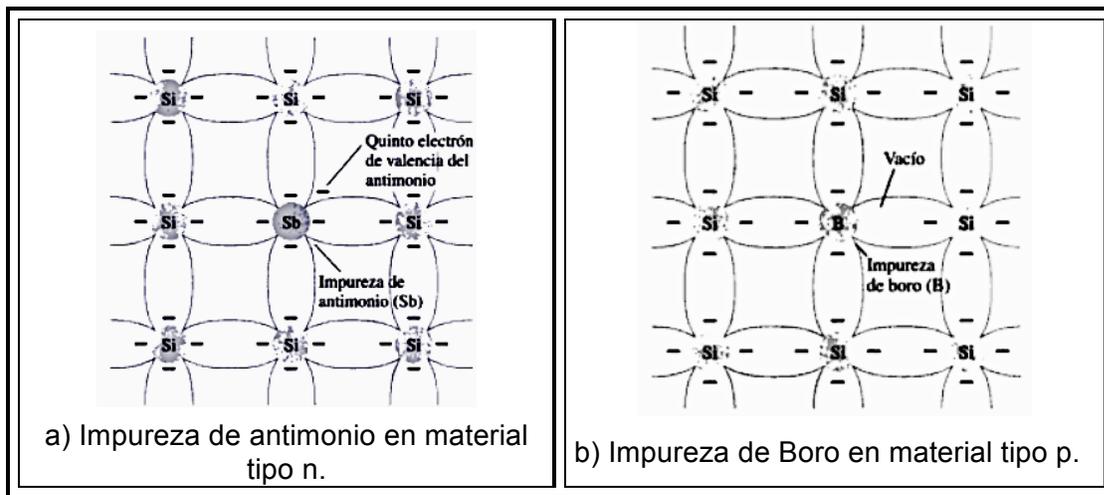
La conducción eléctrica no sólo es posible en el vacío, sino que también en el estado sólido, es decir, a través de la materia. Las sustancias en las que esta

¹³ Imagen tomada de Williams et al., 1972 p. 552.

conducción es posible se denominan semiconductores (Roller y Blum, 1986). Según Roller y Blum, los semiconductores pueden agruparse en dos categorías, una de ellas son los elementos llamados “frontera”¹⁴, tales como el carbono, silicio y germanio. La otra categoría son ciertos compuestos metálicos, como por ejemplo el óxido y el sulfuro de hierro.

En los materiales frontera, es usual dopar o adicionar “impurezas seleccionadas de modo que sean semejantes, pero no totalmente idénticas, a las moléculas del semiconductor en cuanto a su estructura electrónica exterior” (Roller y Blum, 1986, p. 1254). Según el dopaje del semiconductor logra un exceso o deficiencia de electrones libres en la sustancia, se dice entonces que el semiconductor es tipo n o tipo p, respectivamente. En el material tipo n, quedan electrones de la impureza sin enlaces, lo que hace que su movimiento por el material se dé fácilmente. Mientras que en el material tipo p, los átomos de la impureza no tienen los suficientes electrones para enlazar con los átomos del semiconductor, quedando “huecos” a la espera de ser llenados. El efecto de los dopajes puede observarse en la Figura 1-4.

Figura 1-4: Semiconductores tipo n y tipo p.¹⁵



Según Boylestad y Nashelsky (2003, p. 10), “el diodo semiconductor se forma al unir estos materiales”, es decir, al unir un semiconductor tipo n y uno tipo p. La unión causa una combinación de electrones y huecos, originando una carencia de portadores en la región cercana a la unión, llamada por esto, región de agotamiento. Ya sea que se aplique o no, una diferencia de potencial entre las dos terminales del diodo semiconductor, surgen “tres posibilidades: *sin polarización* ($V_D = 0$ V), *polarización directa* ($V_D > 0$ V), y *polarización inversa* (V_D

¹⁴ Denominados así por estar en medio de los metales y no metales en la tabla periódica.

¹⁵ Imágenes tomadas de Boylestad y Nashelsky, 2003, p. 8 y 9.

< 0 V)” (Boylestad y Nashelsky, 2003, p. 10). Estas posibilidades se ilustran en la Figura 1-5.

Figura 1-5: Polarizaciones posibles de un semiconductor.¹⁶

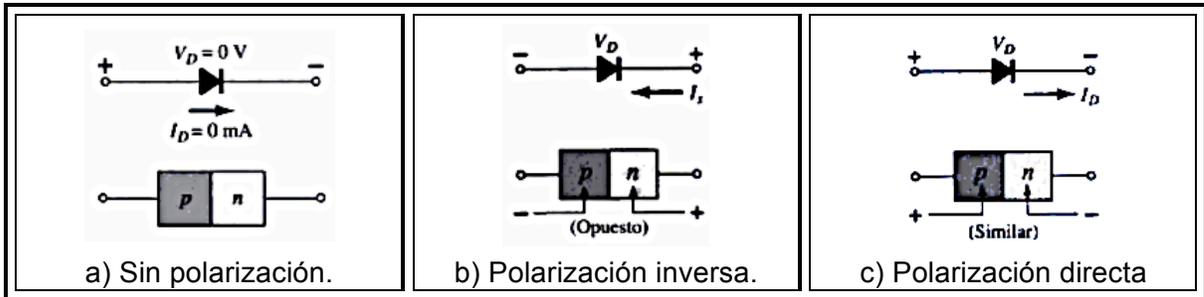
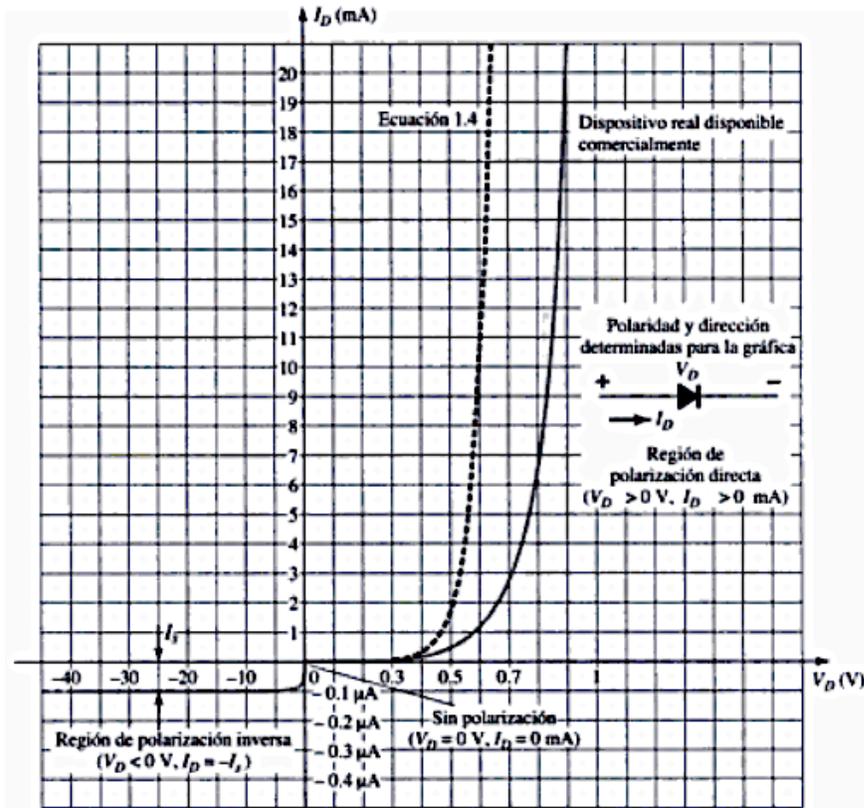


Figura 1-6: Características de un diodo semiconductor.¹⁷



Boylestad y Nashelsky (2003) establecen que las características generales de un diodo semiconductor se definen en la expresión

¹⁶ Imágenes tomadas de Boylestad y Nashelsky, 2003, p. 12 y 14.

¹⁷ Imagen tomada de Boylestad y Nashelsky, 2003, p. 14.

$$(5) \quad I_D = I_S e^{kV_D/T_K} - I_S$$

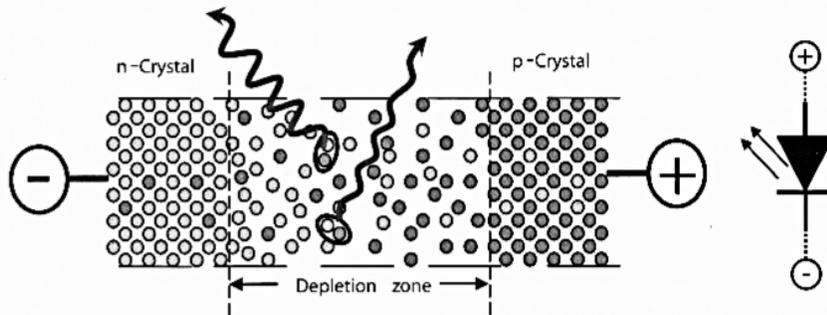
donde I_S es la corriente de saturación inversa, $k=11600/\eta$, η depende del semiconductor y los niveles de corriente en el diodo, y T_K es la temperatura en grados Kelvin. La gráfica de la expresión (5) se observa en la Figura 1-6.

Gracias a la física del estado sólido, se consiguió el tamaño mínimo que tienen en la actualidad los diferentes dispositivos electrónicos, con respecto a los tubos de vacío con los que se inició a principios del siglo XX.

1.4.3 El diodo led

El diodo emisor de luz o led¹⁸ emite luz visible cuando se polariza directamente. Esto se debe a que cierta cantidad de la energía necesaria para que los electrones libres pasen la región de agotamiento, se desprende en forma de calor y de fotones. En el silicio y el germanio, la luz visible emitida es insignificante, mientras que para el fosforo de arseniuro de galio (GaAsP) o el fosforo de galio (GaP), la cantidad de fotones emitidos es “suficiente como para crear una fuente de luz altamente visible”. Debido a que la luz de un led se genera por una fuente eléctrica, el proceso se denomina *electroluminiscencia* (Boylestad y Nashelsky, 2003, p. 40). La Figura 1-7 explica el proceso.

Figura 1-7: Proceso de electroluminiscencia en una unión p-n.¹⁹



Sobre las ventajas de los leds, Boylestad y Nashelsky afirman:

“operan en rangos de voltaje de 1,7 a 3,3 V lo cual los hace completamente compatibles con los circuitos de estado sólido. Cuentan con tiempos de respuesta rápidos (nanosegundos) y ofrecen índices buenos de contraste para mejor

¹⁸ En inglés Light Emitting Diode.

¹⁹ Imagen tomada de <http://www.fosilum.si/si/zakaj-led-svetila/led-dioda/>

visibilidad. Sus requerimientos de potencia son típicamente de 10 a 150 mW con tiempos de vida de más de 100.000 horas, y además su construcción de semiconductor les añade un factor de significativa durabilidad.” (2003, p. 42).

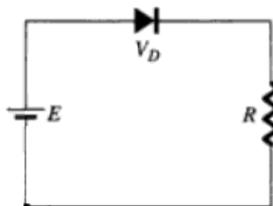
1.4.4 Cálculo de la resistencia limitadora de corriente

Para el diseño de circuitos con leds, se requiere conocer su voltaje de operación y el valor aproximado de la resistencia eléctrica que limitará el paso de la corriente a máximo 20 mA. Si no se cuentan con las especificaciones de los led, se puede hacer una buena aproximación teniendo en cuenta el color de la luz emitida, como se indica en la Tabla 1-1. El color que emite un led, depende de su composición, por ejemplo el arseniuro de galio (GaAsP) produce color verde y el fosforo de galio (GaP), color rojo (Floyd, 2012).

Tabla 1-1: Voltajes de operación típicos para diodos led.²⁰

COLOR	VOLTAJE (VOLTS)
Rojo	1.5
Naranja	2.0
Amarillo	2.1
Verde	2.2
Azul	3.3

Figura 1-8: Conexión en serie de diodo y resistencia.



Aplicando la Ley de Ohm para el circuito de la Figura 1-8, tenemos

$$(6) \quad R = \frac{E - V_D}{I}$$

La resistencia a usar deberá corresponder al valor comercial más próximo, por encima del obtenido en la fórmula, para que la corriente que circule no exceda a la esperada de 20 mA, y no se ocasione un daño irreparable en el diodo.

²⁰ Información tomada de <http://led.linear1.org/led.wiz>

1.5 Análisis de circuitos complejos

El francés Léon Charles Thévenin (1857 - 1926), enunció el teorema que lleva su nombre, gracias a su estudio de la Ley de Ohm en los circuitos eléctricos complejos. Según Roller y Blum (1986):

Toda red lineal compuesta por resistencias y FEM puede reemplazarse por una sola FEM, ε_{Th} , y una sola resistencia, R_{Th} , en serie entre dos puntos cualesquiera de la red que se han seleccionado como terminales de salida. (p. 1205).

El estadounidense Edward Lawry Norton (1898 - 1983) formuló su teorema de la siguiente manera (Roller y Blum, 1986):

Toda red lineal compuesta por resistencias y FEM puede sustituirse por un solo generador de corriente I_N en paralelo con una sola resistencia R_N entre dos puntos de la red que se seleccionan como terminales exteriores" (p. 1210).

2. Aspectos de la Astronomía relevantes en la *Propuesta Didáctica*

La astronomía constituye sin duda alguna, una de las ciencias más completas, ya que en su estudio se hace uso de herramientas no sólo de la física y las matemáticas, sino también de otras ciencias como la química y la biología que han empezado a hacer aportes para su desarrollo desde hace décadas.

De hecho, no es apresurado afirmar que la astronomía es “la madre de las ciencias”²¹ ya que en la antigüedad, muchos desarrollos matemáticos fueron hechos tratando de entender el Universo. Incluso el actual sistema de coordenadas geográficas, fue inspirado en el estudio del posicionamiento de las estrellas, pues las coordenadas celestes se construyen sobre una esfera unitaria, la esfera celeste, mientras que la Tierra se consideró esférica desde épocas remotas, como lo contempló Eratóstenes.²² Estos hechos demuestran que el estudio del cielo ha sido una gran motivación para muchos hombres, en diferentes culturas a lo largo de la historia. ¿Por qué no usar esta característica de la Astronomía para incentivar el amor y estudio de las ciencias?

Precisamente, actualmente en Bogotá, se están desarrollando propuestas muy interesantes al respecto, con excelentes resultados y de gran impacto en la comunidad educativa. Por esta razón, se quiere integrar la astronomía al estudio de una rama de la física con la que aparentemente no tiene ninguna relación, la electricidad. A continuación, se esboza de manera muy general, los aspectos de la astronomía que son clave en el diseño de la *Propuesta Didáctica orientada a facilitar el aprendizaje y comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes*.

2.1 La bóveda celeste

La bóveda celeste o esfera celeste, es un concepto que surge de la percepción visual que se tiene del firmamento desde la Tierra. Es decir, debido a las enormes distancias (ahora lo sabemos), que separan a los objetos celestes que son visibles cada noche, pareciera que todos ellos se encontraran a la misma distancia de un observador en la Tierra (Portilla, 2001), característica que define a una esfera, y de ahí su nombre.

²¹ Como se conoce popularmente.

²² Mencionado en la cátedra de Enseñanza de la Astronomía, por el profesor Benjamín Calvo.

La visión desde la Tierra, define qué se observa y cómo se observa esa bóveda celeste. Por ejemplo, no es posible observar por completo toda la bóveda sino que se observa la mitad,²³ y además, por la rotación de la Tierra alrededor de su eje, cada noche cambia un poco lo que se observa en la bóveda, que también parece rotar alrededor de un eje (Portilla, 2001). Las estrellas cerca de los polos del eje polar celeste giran muy poco, a diferencia de las estrellas que se encuentran equidistantes a ambos polos.

Es del conocimiento público, que antiguamente se creía que la Tierra era plana, y que era el centro del Universo, alrededor del cual giraban, el Sol y las estrellas. Con el tiempo se evolucionó a la concepción de una Tierra esférica. También antiguamente se creía que la bóveda celeste era real, y que las estrellas en ella se encontraban fijas, pero a una distancia mucho mayor que la de la Luna, el Sol y los demás planetas (Portilla, 2001). Sin embargo, el avance de la ciencia ha permitido desmentir este hecho, y ahora se sabe que todos estos objetos en la bóveda celeste se encuentran en movimiento y separados a diferentes valores de distancia de la Tierra.

El profesor Portilla (2001) define los siguientes conceptos relacionados con la observación de la bóveda celeste desde la Tierra:

- ★ Polo norte celeste (PNC) y polo sur celeste (PSC): Es la proyección en la bóveda celeste de los polos norte y sur terrestres.
- ★ Ecuador celeste (EC): Es la proyección del ecuador terrestre en la bóveda celeste. El EC divide la bóveda celeste en el hemisferio norte y sur celestes.
- ★ Meridianos celestes: Corresponden a la proyección de los meridianos terrestres en la bóveda celeste.
- ★ Cenit o zenit (C): “es el punto de la esfera celeste que está situado directamente sobre el observador” (Portilla, 2001 p. 52).
- ★ Nadir (C’): Es el punto de la bóveda celeste que se encuentra bajo los pies del observador, y por lo tanto, no le es visible.
- ★ Horizonte del observador: Corresponde al plano que divide la bóveda celeste en el hemisferio visible y en el no visible para el observador. Este horizonte es en el que popularmente se dice que salen o se ponen los astros, es decir, empiezan a ser visibles o ya no son visibles para el

²³ Lo que se conoce como horizonte de la Tierra, separa la parte de la bóveda que es visible de la que no es visible.

observador, según transitan por la bóveda celeste debido al movimiento diurno aparente de los astros (hacia el oeste).

2.2 Las constelaciones celestes

Básicamente, una constelación se define como una agrupación de estrellas que aparentemente son cercanas en la bóveda celeste. En estas agrupaciones no importa el tamaño de sector de cielo que ocupan, ni tampoco la cantidad de estrellas que contienen. Como explica el profesor Portilla,²⁴ no hay ninguna razón de fuerza para hacer estas divisiones, simplemente, surgieron por el estudio que hacían los antiguos de la bóveda celeste, así cómo surgieron las divisiones entre barrios, localidades o países.

La causa de esta sectorización de la bóveda celeste, se encuentra en el hecho de que el hombre, sin importar la época o cultura a la que pertenezca, busca algo que reconocer en medio el caos o posicionamiento aleatorio de las estrellas en el firmamento (Portilla, 2001). Es así como reconoce figuras de animales, objetos, o seres de los que ha escuchado y que nunca ha visto, uniendo los puntos en el cielo, o como lo hicieron los antiguos incas, poniendo más atención en los sectores oscuros en los que se encuentra cierto grupo de estrellas (Pasachoff, Stavinschi, y Hemenway, 2012).

Actualmente, la bóveda celeste se divide en 88 sectores. Según narra el profesor Portilla:

En la primera reunión de la Unión Astronómica Internacional (UAI), en el año de 1922, oficialmente se adoptó la lista completa de 88 constelaciones que usamos hoy. (...) cualquier estrella, nebulosa, galaxia, etc., “pertenece” a alguna de las 88 constelaciones en que se ha dividido el cielo. (...) los astrónomos se vieron en la necesidad de establecer fronteras entre las mismas constelaciones, las cuales se definieron por medio de coordenadas ecuatoriales ya para el año de 1930. (2001, p. 63).

Gran parte de estas constelaciones son las mismas que definieron los griegos, aunque si ellos hubieron observado sectores de la bóveda celeste próximos al polo sur celeste, seguramente las constelaciones allí también tendrían actualmente, la misma denominación que ellos les hubieran asignado. Estas constelaciones son (Ridpath, 2000):

²⁴ Conferencias de la asignatura “Introducción al viaje espacial” en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

1. Andromeda, Andrómeda
2. Antlia, la bomba de aire.
3. Apus, el ave del paraíso.
4. Aquarius, el aguador.
5. Aquila, el águila
6. Ara, el altar.
7. Aries, el carnero.
8. Auriga, el cochero.
9. Boötes, el pastor.
10. Caelum, el cincel.
11. Camelopardalis, la jirafa.
12. Cancer, el cangrejo.
13. Canes venatici, los perros de caza.
14. Canis major, el can mayor.
15. Canis minor, el can menor.
16. Capricornus, el pez cabra.
17. Carina, la quilla.
18. Cassiopeia, Casiopea.
19. Centaurus, el centauro.
20. Cepheus, Cefeo.
21. Cetus, la ballena.
22. Chamaeleon, el camaleón.
23. Circinus, el compás.
24. Columba, la paloma.
25. Coma berenices, la cabellera de Berenice.
26. Corona australis, la corona austral.
27. Corona borealis, la corona boreal.
28. Corvus, el cuervo.
29. Crater, la copa.
30. Crux, la cruz del sur.
31. Cygnus, el cisne.
32. Delphinus, el delfín.
33. Dorado, el pez dorado.
34. Draco, el dragón.
35. Equuleus, el caballo menor.
36. Eridanus, el río.
37. Fornax, el horno.
38. Gemini, los gemelos.
39. Grus, la grulla.
40. Hercules, Hércules.
41. Horologium, el reloj de péndulo.
42. Hydra, la serpiente marina.
43. Hydrus, la serpiente marina menor.
44. Indus, el indio.
45. Lacerta, el lagarto.
46. Leo, el león.
47. Leo minor, el león menor.
48. Lepus, la liebre.
49. Libra, la balanza.
50. Lupus, el lobo.
51. Lynx, el lince.
52. Lyra, la lira.
53. Mensa, la montaña mesa.
54. Microscopium, el microscopio.
55. Monoceros, el unicornio.
56. Musca, la mosca.
57. Norma, la escuadra.
58. Octans, el octante.
59. Ophiuchus, el portador de la serpiente.
60. Orion, Orión el cazador.
61. Pavo, el pavo real.
62. Pegasus, el caballo halado.
63. Perseus, Perseo
64. Phoenix, el ave fénix.
65. Pictor, el caballote del pintor.
66. Pisces, los peces.
67. Piscis austrinus, el pez austral.
68. Puppis, la popa.
69. Pyxis, el compás.
70. Reticulum, el retículo.
71. Sagitta, la flecha.
72. Sagittarius, el arquero.
73. Scorpius, el escorpión.
74. Sculptor, el escultor.
75. Scutum, el escudo.
76. Serpens, la serpiente.
77. Sextans, el sextante.
78. Taurus, el toro.
79. Telescopium, el telescopio.
80. Triangulum, el triángulo.
81. Triangulum australe, el triángulo del sur.
82. Tucana, el tucán,

83. Ursa major, la osa mayor.
84. Ursa minor, la osa menor.
85. Vela, la vela de barco.

86. Virgo, la virgen.
87. Volans, el pez volador.
88. Vulpecula, la zorra.

2.3 Identificación de las estrellas

El hombre no sólo tuvo la necesidad de sectorizar el cielo, sino que además, quiso identificar individualmente cada una de las estrellas que podía observar. Algunos de los nombres que se dieron en la antigüedad a las estrellas siguen usándose hoy en día, como Procyon, Canopus, Antares, Sirius y Arcturus, que vienen del griego, ó Aldebarán, Algenib y Algol, que vienen del árabe (Portilla, 2001).

Sin embargo, intentar poner nombre a cada una de las estrellas se convirtió en una tarea titánica, debido a la gran cantidad de ellas en la bóveda celeste. Además, con las mejoras hechas en los instrumentos de observación, el número de estrellas crecía cada vez más. Así, el cartógrafo celeste alemán Johann Bayer, en 1603 publicó en su obra *Uranometría*, un sistema en el que “asocia las letras griegas con las estrellas y se conoce como sistema Bayer” (Ridpath, 2000, p. 9). En palabras del profesor Portilla:

De esta manera la designación de una estrella está dada por la letra griega seguida de la forma genitiva (la declinación que da la idea de pertenencia) del nombre de la constelación. Así por ejemplo la estrella Sirius, la estrella más brillante de la constelación de Canis Major (el can mayor) queda, bajo la designación de Bayer, Alfa Canis Majoris. (2001, p. 65).

En la actualidad, una estrella puede tener varias designaciones diferentes según la especialidad de cada catálogo que la referencie. Pero las estrellas visibles a ojo desnudo (que son las que se usan en ésta *Propuesta Didáctica*), pueden identificarse por su nombre propio o la designación de Bayer.

2.4 El brillo y color de las estrellas

Es evidente que en algunos lugares, las estrellas no son tan visibles como en otros. Esto se debe a aspectos relacionados con la contaminación lumínica de las grandes urbes, y a las características de nubosidad del sitio de observación. Sin embargo, algunas estrellas son visibles a pesar de ello, y en los lugares donde se reúnen excelentes condiciones para la visibilidad de estrellas, claramente unas se ven más brillantes que otras.

El primero en hacer una categorización de las estrellas con respecto a su brillo fue Hiparco, astrónomo griego en el siglo I a. C. (Portilla, 2001). Él dividió las

estrellas en 6 niveles de brillo, (Ridpath, 2000) las más brillantes son de primera magnitud (1), y las más tenues son de sexta magnitud (6). Esta denominación del brillo puede crear confusión, ya que el mayor brillo no está relacionado con el mayor valor de magnitud. Pero este método se sigue empleando actualmente, aunque con mayor precisión, gracias a los avances en ciencia y tecnología.

De esta forma, se le asigna a cada objeto celeste, un valor de magnitud que indica que tan brillante es, visto desde la Tierra. Por ejemplo, el Sol tiene una magnitud de -26, la luna llena de -18, Vega de 0, Aldebarán de 1 y la estrella polar de 2. Estrellas que son observables con la ayuda de binoculares o telescopios, tienen magnitudes mayores a 6, como Próxima Centauri que tiene una magnitud de 11 (Torres y Fierro, 2009).

Sin embargo, no debe perderse de vista el hecho de que estos valores de magnitud son asociados por una característica que se define por lo que se observa desde la Tierra, es decir, que es aparente. Si todas las estrellas estuvieran a la misma distancia, serían otras las características de brillo relativo entre unas estrellas y otras (Torres y Fierro, 2009). Por ejemplo, Próxima Centauri, que es la estrella más cercana al Sol, se observaría mucho más brillante que Sirio, que es la estrella más brillante aparentemente desde la Tierra.

Entonces, ¿para que sirve realizar esta categorización si es aparente? Bueno, con instrumentos sensibles llamados fotómetros, se mide la cantidad de luz que llega a la Tierra desde las lejanas estrellas. Con estos datos, se pueden hacer estimaciones sobre la distancia a la que se encuentra la estrella. (Torres y Fierro, 2009).

También es posible observar que algunos de los puntos en el cielo tienen coloraciones. Incluso, el característico tono de la estrella Antares en la constelación Scorpius, fue el origen de su nombre en griego, que significa “rival de Ares”, es decir, rival del planeta Marte, porque ambos cuerpos celestes se aprecian de un color rojo.

El color de las estrellas ha sido estudiado porque está en relación con su temperatura superficial, las estrellas de temperaturas menores son rojas y las que tienen altas temperaturas son azules (Torres y Fierro, 2009).

Aunque aparentemente, las características de brillo y color no tienen nada en común, Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell, de forma independiente, lograron relacionar estas características en lo que se conoce como Diagrama H-R, (Torres y Fierro, 2009) el cual tiene una gran importancia para la Astronomía. Si se grafica la temperatura contra el brillo de varias estrellas, podríamos esperar obtener una gráfica con puntos aleatorios y sin ningún patrón reconocible. Sin embargo, no es así. Usando la luminosidad que se obtendría

suponiendo que todas las estrellas se encuentran a la misma distancia, se obtiene un patrón del que Torres y Fierro afirman:

(...) muchas de las estrellas caen sobre una línea ligeramente ondulada que recorre el cuadro de la parte superior izquierda a la parte inferior derecha (...) a esta banda se le conoce como la secuencia principal (...) En este diagrama las estrellas de mayores dimensiones se encuentran en la parte superior derecha, y las de menor tamaño se encuentran en la parte inferior izquierda (2009 p. 54,55).

3. ¿Cómo enseñar los Circuitos Eléctricos?

Diversas investigaciones catalogadas dentro de la Didáctica de las Ciencias han tenido como objetivo responder a esta pregunta. La gran mayoría de los artículos referenciados en esta *Propuesta Didáctica* son relativamente recientes, pero a partir de las fechas de las referencias que usan sus autores, se puede concluir que durante al menos los últimos 40 años, investigadores en didáctica han tratado de encontrar la respuesta a por qué son tan persistentes los errores conceptuales o *concepciones alternativas*²⁵ sobre aspectos relacionados con la electricidad, incluso después de varios años de instrucción y a nivel universitario. (Campos, 2009; Duit y Rhöneck, 1997; Guisasola et al., 2005; Periago y Bohigas, 2005; Pro y Rodríguez, 2010; Psillos, 1997; Varela, Manrique y Favieres, 1988; Garzón, 2012). Este hecho da una idea de la enorme empresa que constituye el diseño de una propuesta didáctica que apunte a solucionar dicha persistencia.

Actualmente y desde hace algunas décadas, se analiza en qué forma pueden ser usadas las tendencias y enfoques de la didáctica general en la enseñanza de las ciencias. En el artículo de 1999 de Campanario y Moya, se encuentra un excelente compendio de las tendencias y enfoques que han sido objeto de este análisis. Este artículo se tomó como base primordial en la escogencia del enfoque didáctico bajo el cual se diseñó la *Propuesta Didáctica*.

El enfoque de enseñanza *Aprendizaje Basado en Problemas* (en adelante ABP) es el que enmarca la *Propuesta Didáctica orientada a facilitar el aprendizaje y comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes*. Esto, debido a que la *Propuesta Didáctica* fue pensada como un contexto motivador y novedoso, con situaciones problema que requirieran para su solución, no sólo el manejo correcto de los circuitos eléctricos, sino de creatividad en el diseño de los mismos.

3.1 El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)

Según Campanario y Moya (1999), este enfoque tiene sus orígenes en el método de aprendizaje del derecho en algunos países, en los que la atención se centraba

²⁵ Según Garzón, las concepciones alternativas son “interpretaciones de los estudiantes que están en conflicto con el concepto formal como es entendido por un físico experto” (p. 2, 2012). Siguiendo a Furió y Guisasola (1999), esta forma de denominar las ideas de los estudiantes resalta el interés del docente en conocerlas, asignarles un grado de validez y construir sobre ellas el conocimiento científico, en lugar de simplemente señalarlas como errores.

en el análisis de casos, más que en el aprendizaje de códigos y normas. Con respecto a las ciencias naturales, los orígenes del ABP se basan en los métodos de las escuelas de medicina de algunas universidades en Canadá y Estados Unidos. Campanario y Moya, afirman que estas escuelas tenían la percepción de que “gran parte de los conocimientos que tenían que aprender los estudiantes de medicina eran irrelevantes para su futuro desempeño profesional.” (p. 182, 1999).

El Tecnológico de Monterrey, en su publicación del Programa de Desarrollo de Habilidades Docentes, establece que el ABP es “una técnica didáctica que se caracteriza por promover el aprendizaje auto-dirigido y el pensamiento crítico encaminados a resolver problemas” (p. 2). Esto implica que el estudiante cree un *modelo conceptual*²⁶ al abordar un problema inicialmente, y luego, que descubra alternativas y enfoques para encontrar posibilidades de solucionarlo. El modelo conceptual inicial se mejora en el proceso de solucionar el problema, ya que el estudiante busca y aprende contenidos relevantes, en el trabajo colaborativo en el aula (Campanario y Moya, 1999).

3.1.1 Ventajas del ABP

Campanario y Moya, citando a Birch (1986), afirman que “el aprendizaje a partir de problemas es el mejor medio disponible para desarrollar las potencialidades generales de los alumnos” (p. 182, 1999). También señalan dentro de las ventajas encontradas por Birch, las siguientes:

- Debido a que las ciencias principalmente abordan la búsqueda de soluciones, este método prepara mejor al estudiante para su futuro como profesional.
- Es altamente motivante, ya que evidencia explícitamente la aplicación de la teoría.
- Integra mejor los conocimientos teóricos y los procedimentales, ya que el estudiante está en la búsqueda y empleo continuo de conocimientos para solucionar su problema.

²⁶ “Un modelo conceptual es un constructo mental funcional que está asociado con un concepto, o con un tema específico, y que puede ser aplicado directamente en contextos relevantes para obtener resultados explicatorios [*sic*]. Están ligados a veces a representaciones proposicionales e imágenes.” (Zamorano, Gibs y Viau, 2006 p. 3).

3.1.2 Requerimientos en la implementación del ABP

Un enfoque que promete tantos buenos resultados, requiere en su implementación de un alto grado de compromiso, no sólo del estudiante sino también del docente. Según Birch (1986), el profesor dedica una mayor cantidad de tiempo para seleccionar y secuenciar adecuadamente los problemas, y ya que los estudiantes deben apropiarse de los problemas que seleccionó el profesor, necesitan un nivel de autonomía que difícilmente han manejado con los métodos tradicionales de enseñanza. Esto puede crear diversos conflictos e incluso frustración, cuando empieza a implementarse el ABP (citado por Campanario y Moya, 1999).

El papel que desempeñan docentes y estudiantes sufre cambios drásticos en el ABP, con respecto a la enseñanza tradicional. El docente deja de ser el protagonista y centro de atención, para aparecer sólo “tras bastidores”, preparando escenarios en los que los estudiantes, mediante el trabajo en equipo, discutan las opciones que tienen y busquen lo que necesitan para resolver su problema (Tecnológico de Monterrey, s.f.). Sin embargo, el profesor no deja a la deriva a sus estudiantes, sino que los guía constantemente, según el documento del Tecnológico de Monterrey “haciendo preguntas, siendo proveedor de recursos, dirigiendo la discusión, diseñando evaluaciones, etc.” (p. 2). El docente los guía hacia un objetivo que va más allá de encontrar la solución del problema; el objetivo de que los estudiantes se apropien del conocimiento.

3.2 El ABP en la *Propuesta Didáctica orientada a facilitar el Aprendizaje y Comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes*

La *Propuesta Didáctica orientada a facilitar el Aprendizaje y Comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes*, surge como una alternativa a la gran variedad de recursos sobre herramientas y metodologías diseñadas para mejorar la comprensión de los circuitos eléctricos. Estos recursos aparecen tanto en publicaciones seriadas especializadas, como en memorias de congresos y trabajos finales de postgrados en educación. En el análisis de algunos de estos recursos de los que se dispone fácilmente en internet, no se encuentran propuestas realmente cautivadoras para el estudiante, que motiven la necesidad de construir un circuito.

Es por esto que desde el punto de vista del ABP, se ubica a la Astronomía, y específicamente a las constelaciones celestes, en el escenario del planteamiento del problema a resolver. Dado que lo que se observa a ojo desnudo en el cielo, ha despertado en la humanidad gran fascinación, no es difícil conseguir que los estudiantes se sientan atraídos hacia la mitología de las figuras que imaginaban

antiguas civilizaciones en el cielo, y tras de esto, que empiecen a indagar sobre las características de los elementos que hacen parte de estas figuras. El problema a resolver consiste entonces, en hacer un modelo con leds sobre estas figuras con estrellas, es decir, realizar un modelo de la constelación escogida, que asemeje no sólo su forma, sino también el brillo relativo entre las estrellas que la componen. Los estudiantes tendrán en mente como objetivo, el resolver un problema relacionado con la modelación de constelaciones celestes, aunque el objetivo principal es conseguir un apropiado manejo de las conexiones serie, paralelo y mixtas en circuitos eléctricos.

En cuanto a los recursos que proporciona el profesor, éstos se concentran en su mayoría en experiencias sobre circuitos serie, paralelo y mixtos con bombillos y leds, ya que sólo se tendrá en cuenta cómo afecta el tipo de conexión al brillo de cada bombillo o led, sin entrar en detalles sobre otros dispositivos eléctricos como potenciómetros y condensadores. Aunque estos elementos pueden jugar un papel importante en una continuación posterior de esta *Propuesta Didáctica*, dirigida al manejo de circuitos eléctricos (y electrónicos) de mayor complejidad.

En esta *Propuesta Didáctica*, es importante que el docente se abstenga de proporcionar “analogías” con el ánimo de facilitar la comprensión de lo que sucede. Aunque esto pueda funcionar en algunos casos, McDermott (1993) expone que “los alumnos deben participar en la construcción del conocimiento y en este caso las analogías se proporcionaron con un enfoque transmisivo [sic], sin que los alumnos generaran sus propias analogías.” (Citado en Tecpan, Treviño, y Zavala, 2010 p. 4). Por consiguiente, proporcionar una analogía, estaría en contra del enfoque de enseñanza de ABP. Sin embargo, las analogías pueden usarse en la Etapa Final de la ejecución de la *Propuesta Didáctica*, cuando el estudiante tenga su propio modelo conceptual. Aún así, el docente debe ser cuidadoso con la analogía que facilite a los estudiantes, ya que podría favorecer la permanencia de concepciones alternativas, en lugar de aproximarlos al conocimiento científico.

Aspectos relacionados con el uso de fórmulas y solución de ejercicios numéricos sobre circuitos eléctricos, son dejados de lado en las primeras etapas de la *Propuesta Didáctica*, de acuerdo con McDermott (1993) “resulta eficaz aplazar el uso de fórmulas hasta lograr la comprensión del concepto pues de lo contrario no se involucra significativamente al alumno en su aprendizaje” (Citado en Tecpan et al, 2010 p. 4), consideración que está en concordancia con el enfoque del ABP. La introducción de fórmulas como la Ley de Ohm y las Leyes de Kirchhoff, se propone sólo hasta la Etapa Final de la ejecución de la *Propuesta Didáctica*, cuando el estudiante haya construido un modelo conceptual aproximado que le sirva para hacer predicciones confiables, y mediante el uso de las fórmulas y la medición con multímetros pueda comprobarlas.

4. Estructura de la Propuesta Didáctica

Para el logro de los objetivos iniciales, la *Propuesta Didáctica* se divide en tres grandes etapas, que pretenden en su secuencia, primero motivar a los estudiantes en el estudio de una ciencia que es totalmente nueva para ellos, como lo es la astronomía; segundo, proporcionar las herramientas, es decir, el conocimiento necesario para armar un circuito funcional; y finalmente, solucionar el problema de modelar una constelación mediante uno o varios circuitos eléctricos.

Primera Etapa – Motivación. Las actividades en esta etapa están orientadas a que los estudiantes se familiaricen con las constelaciones de la bóveda celeste, por medio del conocimiento de la mitología asociada, la identificación de las estrellas más brillantes y las líneas que forman éstas, que en algún momento, fueron asociadas con diversas clases de figuras por los antiguos.

Segunda Etapa – Adquisición De Herramientas. Se presentan a los estudiantes diferentes actividades encaminadas al conocimiento del circuito eléctrico funcional, mediante el empleo de fuentes, conectores, resistencias y cargas, haciendo especial énfasis en las diferentes formas de conectar los elementos que harán parte del circuito.

Etapa Final – Solución del Problema: Constelaciones con Circuitos. Con las herramientas adquiridas por los estudiantes, se les propone el problema o reto, de modelar una constelación usando diodos led en un circuito. Dada la naturaleza de trabajo autónomo y personalizado de esta etapa de la *Propuesta Didáctica*, no se diseñan actividades específicas para su desarrollo. El papel del maestro en esta fase es el de asesor y guía en los proyectos de sus estudiantes.

En la descripción de las actividades, se diferencian los siguientes elementos:

Objetivo: Describe tanto la meta que se quiere alcanzar al ejecutar la actividad, como los conceptos que los estudiantes van a obtener o explorar con ella.

Conceptos necesarios: Define los conceptos que los estudiantes necesitan conocer de antemano para llevar a cabo con éxito la actividad.

Materiales: Recursos necesarios para la ejecución de la actividad, que pueden ser presentaciones de diapositivas, talleres propuestos, y/o elementos que los estudiantes pueden llevar fácilmente a las clases.

Metodología: Enuncia de manera general cómo debe ejecutarse la actividad para lograr el objetivo propuesto.

4.1 Actividades de la Primera Etapa – Motivación

4.1.1 ¿Qué vemos en el cielo?

OBJETIVO. Identificar el significado de la palabra constelación y su relación con la descripción de las creencias, mitos o leyendas de las civilizaciones del mundo en la antigüedad.

CONCEPTOS NECESARIOS. No es necesario ningún concepto específico especializado previamente.

MATERIALES.

- ★ Historias, mitos o leyendas asociadas a las constelaciones celestes, incluyendo las de algunas culturas antiguas en América, China, Persia, etc. En la ejecución de la actividad se usó el documento *Cuentos de Estrellas*,²⁷ propiedad de UNawe – Universe Awareness y CSIC – Consejo Superior de investigaciones científicas.
- ★ Talleres “Rompecabezas de círculos” y “Rompecabezas de puntos”²⁸ (Anexo A).
- ★ Imágenes de la constelación de Orión.
- ★ Documento *Zoo Cósmico*,²⁹ también de UNawe y CSIC

METODOLOGÍA.

Se inicia con una sencilla pregunta a modo de introducción: ¿Cómo pasaba el tiempo la gente, cuando no existía la radio, la televisión o el computador? El objetivo de esta pregunta es llamar la atención sobre la belleza del cielo nocturno y cómo aún en la actualidad, muchos se apasionan en su observación. Dado que por muchas razones esta belleza no es apreciable en las noches bogotanas, es conveniente preguntar a los estudiantes en qué se diferencia nuestro cielo nocturno con el de otros lugares cuando van de vacaciones al campo.

Retomando las respuestas de los estudiantes a la pregunta inicial, se concluye que la observación del cielo constituía un aspecto importante en la vida antigua

²⁷ Recuperado de http://es.unawe.org/static/archives/books/pdf/Cuentos_estrellas.pdf

²⁸ Adaptados del libro “El universo a sus pies: Actividades y Recursos para Astronomía” de la Astronomical Society of the Pacific.

²⁹ Recuperado de http://sac.csic.es/unawe/Animaciones/zoo_cosmico.pdf

para las personas, no sólo para distraerse y crear historias fantásticas, sino también para predecir eventos futuros de los que dependía su bienestar, como lo era la inundación de un río, o la llegada de las estaciones.

Seguidamente, se hace lectura de los cuentos, mitos o leyendas llevados a clase, con el ánimo de hacer evidente que la idea de poner historias en el cielo no fue de unas pocas personas, sino que es algo presente en la mayoría de culturas antiguas, incluso culturas precolombinas en toda América. Para que los estudiantes tengan más claro este hecho, se da a cada uno el taller “Rompecabezas de círculos” en el que se les pide hacer dibujos diferente para cada uno de los círculos que aparece en la hoja. Tomando luego algunos de los talleres terminados, se hace hincapié en que aunque varios estudiantes pudieron pensar en dibujar, por ejemplo, un gato, todos los gatos dibujados son diferentes (como los mostrados en la Figura 4-1), porque dependen de lo que cada estudiante visualizó previamente antes de plasmarlo en el papel.

Figura 4-1: Imágenes del “Rompecabezas de círculos”.



De igual manera se procede con el taller “Rompecabezas de puntos”, que contiene el conocido asterismo de la constelación de Orión. Los estudiantes no saben esto, así que ellos tendrán que unir los puntos, o formar una figura alrededor de ellos y ponerle un nombre. Nuevamente se toman algunos talleres para ver las similitudes y diferencias en los dibujos creados.

Luego, se muestra a los estudiantes mediante imágenes, que los puntos en el “Rompecabezas de puntos”, corresponden realmente a la constelación de Orión, señalando las tres estrellas que forman el cinturón, popularmente conocidas como *Los tres reyes magos*.

Para finalizar, con la presentación del documento en formato digital “Zoo Cósmico”, se muestra a los estudiantes que aunque todas las estrellas visibles en el cielo pertenecen a una constelación ya definida, las personas siguen viendo animales, cosas o personas, en los objetos del cielo profundo visibles gracias a los telescopios modernos.

4.1.2 Relatos fantásticos de héroes y dioses

OBJETIVO. Fomentar el interés por el origen tras las figuras que evocan las constelaciones antiguas que prevalecen en la sectorización actual de la bóveda celeste.

CONCEPTOS NECESARIOS. Constelación.

MATERIALES.

- ★ Presentación de diapositivas con información sobre los mitos de algunas constelaciones griegas y sus imágenes (Anexo B).
- ★ Películas relacionadas con la mitología griega como “Furia de Titanes”.
- ★ Acceso a la sala de informática de la institución educativa.

METODOLOGÍA.

La presentación preparada para esta actividad se ha copiado previamente en varios computadores de la sala de informática, y se le pide a los estudiantes que en grupos (según el número de computadores disponibles) vean la presentación y escojan el mito y constelación que más les llame la atención.

La tarea del grupo consiste en preparar muy bien el relato para que lo cuenten al resto de sus compañeros en una próxima reunión. Se le aclara a los estudiantes que deben investigar el significado de las palabras o nombres propios desconocidos, y que su relato sea de muy buena calidad, con el apoyo mínimo de apuntes. Si el grupo lo desea, puede enriquecer la narración de su cuento con imágenes en el formato que más se les facilite.

Las películas escogidas se usan para presentar la visión de algunos artistas del séptimo arte, a la hora de adaptar las historias fantásticas al cine. Es necesario organizar esta actividad como un Cine – Foro, en el que los estudiantes puedan expresar las diferencias encontradas entre las historias vistas en la clase, con lo narrado en la película, y además, discutir sobre preguntas preparadas por el docente, que inviten a la reflexión sobre las situaciones dramáticas o complejas que puedan presentarse en la película.

4.1.3 Letras extrañas

OBJETIVO. Reconocer el alfabeto griego, su orden, y la equivalencia entre los caracteres griegos y latinos.

CONCEPTOS NECESARIOS. No es necesario ningún concepto específico especializado previamente.

MATERIALES.

- ★ Acceso a la sala de informática de la institución educativa, con un programa de procesamiento de texto como Microsoft Word.
- ★ Video del alfabeto griego *The (koine) Greek Alphabet Song*.³⁰
- ★ Lotería del alfabeto griego (Anexo C).

METODOLOGÍA.

Una vez los estudiantes se han distribuido en la sala de informática, se les pide que abran un documento nuevo en Microsoft Word, y escojan la fuente *Symbol*. Luego, cada estudiante debe escribir su nombre, pero con todas las letras minúsculas. Dado que la gran mayoría de estudiantes (si no todos) no conocen este tipo de caracteres, empezarán a preguntar sobre estas “letras extrañas”. En ese momento, se les indica que corresponden a otro tipo de alfabeto, diferente al latino que usamos todo el tiempo; el alfabeto griego.

Posteriormente, se pide a los estudiantes que deletreen su nombre usando las letras griegas, y para que logren esto más fácilmente, se proyecta el video *The (koine) Greek Alphabet Song*. En él, se puede ver cada una de las letras del alfabeto griego mientras es pronunciada, por medio de una canción.

Cuando el docente identifique que los estudiantes empiezan a relacionar el nombre de cada la letra con su respectivo caracter, presenta a los estudiantes el juego de lotería. Este juego consiste en varios tableros, cada uno con nueve letras griegas, tanto en mayúscula como minúscula. El profesor lidera el juego sacando una a una las cartas que cubren los tableros, diciendo en voz alta, el nombre de la letra griega que está en ella. La estimulación del ganador mediante algún premio, hará la actividad más atrayente a los estudiantes.

4.1.4 Ordenando las estrellas

OBJETIVO. Conocer a grandes rasgos, las formas en que algunos astrónomos han intentado nombrar, ordenar o caracterizar, las estrellas visibles en el cielo.

CONCEPTOS NECESARIOS. Constelación, el alfabeto griego.

MATERIALES.

- ★ Presentación de diapositivas con información sobre la designación de Bayer (Anexo D).

METODOLOGÍA.

Siguiendo la secuencia de las diapositivas en la presentación, se inicia recordando el significado de la palabra constelación y su origen. Se resalta el

³⁰ Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=3gaeUsPJ-Y>

hecho de que además, los antiguos no sólo se ocuparon en dar nombre a sectores del cielo, sino también a las estrellas de cada uno de estos sectores. La charla se enriquece al explicar a los estudiantes el origen del nombre de algunas estrellas, como por ejemplo, Aldebarán, que procede del árabe “el que sigue”, y este a su vez viene de la traducción de la obra del matemático y filósofo griego - egipcio Ptolomeo, con el mismo significado.

Es conveniente mantener el hilo del tema de la presentación, haciendo preguntas relacionadas con la cantidad de estrellas que se pueden ver en una noche despejada

- ¿han contado las estrellas?
- ¿cuántas creen que son?
- ¿se puede dar nombres a todas?
- ¿sería sencillo recordar el nombre de cada una de esas estrellas?

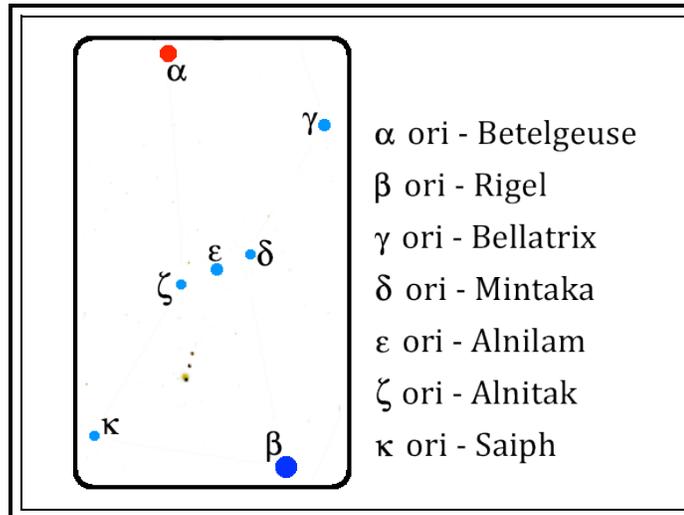
Así, los estudiantes verán la utilidad de buscar otros métodos, diferentes al de asignar nombre propios, para identificar todas y cada una de las estrellas de la bóveda celeste.

Aprovechando que con la actividad anterior, los estudiantes ya reconocen el alfabeto griego, se presenta el método de Johann Bayer para la identificación de las estrellas con respecto a su brillo aparente. Aunque esta denominación de las estrellas se emplea en la actualidad, los estudiantes deben saber que no es la única, y que actualmente, se usan las coordenadas de la bóveda celeste para identificar cada una de las millones de estrellas que se han descubierto gracias a los telescopios modernos.

Es un error común pensar que la estrella designada con la letra α , corresponde a la estrella más brillante de la constelación, que β , es la segunda estrella según su brillo, y la tercera, y así sucesivamente. Para mostrar a los estudiantes que esto se cumple sólo en algunas constelaciones, se les pide que designen las estrellas de la constelación de Orión, según lo que han aprendido sobre el método de Bayer. En la imagen de la diapositiva en la presentación usada como guía, se ve claramente la diferencia en dos de las estrellas más brillantes de Orión. Los estudiantes coincidirán en asignar a la estrella Rigel la letra α , mientras que la estrella Betelgeuse será asociada con β . Para las otras estrellas de Orión, habrá ambigüedad entre los estudiantes, ya que la diferencia en su brillo es poco apreciable en la imagen. Luego de presentarle a los estudiantes la designación real de Bayer para la constelación, y enfatizar que α **ori** y β **ori** están truncadas con respecto a lo que afirmaron previamente (Ver Figura 4-2), se llama la atención sobre otros aspectos que tuvo en cuenta Bayer (mitología, posición,

percepción...) para identificar las estrellas, y que por lo tanto, no debe esperarse que la estrella α de cualquier constelación sea siempre la más brillante.

Figura 4-2: Designación Bayer para el asterismo de Orión.



4.1.5 Al interior de una constelación

OBJETIVO. Indagar sobre las características de las estrellas y otros objetos del espacio profundo que pertenecen a una determinada constelación.

CONCEPTOS NECESARIOS. Constelación, designación de Bayer para las estrellas.

MATERIALES.

- ★ Presentación de diapositivas con la descripción de una constelación específica (Anexo E).

METODOLOGÍA.

En la actividad 2.1.2 *Relatos fantásticos de héroes y dioses*, se pidió a los estudiantes que profundizaran en la mitología de la constelación que más les llamara la atención. Con la presentación de la diapositivas en la presente actividad, se propone a los estudiantes que reseñen como en el ejemplo, la constelación que escogieron para que la “adopten” y además se empapen muy bien de sus características. Esto es muy importante cuando posteriormente se les plantee el problema de modelar la forma de la constelación mediante circuitos eléctricos. Los estudiantes toman como ejemplo la caracterización de la constelación Boyero, que aparece en la presentación de diapositivas hecha por el docente. En ella, se especifican

- el significado del nombre de la constelación,

- ☑ mito o mitos asociados,
- ☑ líneas de la constelación,
- ☑ descripción de las estrellas principales usando la denominación Bayer, en la que se incluye:
 - el significado del nombre de la estrella (si tiene),
 - su distancia al sistema solar,
 - su tamaño comparado con el Sol,
 - su temperatura,
 - su color,
- ☑ y objetos del espacio profundo como galaxias, nebulosas, cuásares, cúmulos estelares... que hayan sido descubiertos en la constelación y de los que se tenga imágenes en internet.

Es muy importante que el docente sepa qué constelaciones caracterizarán sus estudiantes, para que en el momento de la exposición de los trabajos, esté preparado para corregir imprecisiones o responder las diferentes dudas que pueden surgir sobre la naturaleza de las estrellas y objetos del espacio profundo de la constelación tratada. En esencia, la investigación que hacen los estudiantes, busca que lleguen a la clase con el entusiasmo por encontrar respuestas a las inquietudes producto de sus consultas.

4.2 Actividades de la Segunda Etapa – Adquisición de Herramientas

4.2.1 Prendiendo la estrella

OBJETIVOS.

- ★ Identificar los preconceptos presentes sobre la conexión entre una pila y uno o varios bombillos para que estos iluminen.
- ★ Establecer las condiciones mínimas necesarias para que exista una corriente eléctrica.
- ★ Comprender que existen materiales que son mucho mejores que otros para ser usados en un circuito eléctrico.
- ★ Construir una idea intuitiva aproximada de la resistencia eléctrica y la Ley de Ohm.
- ★ Experimentar sobre las diferentes maneras de realizar conexiones en circuitos eléctricos.
- ★ Establecer la relación que existe entre la cantidad de bombillos, el brillo de cada uno, y la forma en que se conectan en un circuito eléctrico.

CONCEPTOS NECESARIOS. Nociones elementales de electrostática.

MATERIALES.

- | | |
|-------------------------------------|--|
| ★ Pilas de 1,5 V. | ★ Palo de pincho. |
| ★ Cables conductores. | ★ Cuchillo de plástico. |
| ★ Bombillos pequeños para linterna. | ★ Destornillador. |
| ★ Borrador en barra. | ★ Clips para papel. |
| ★ Mina de carbón. | ★ Taller “Prendiendo la estrella” (Anexo F). |

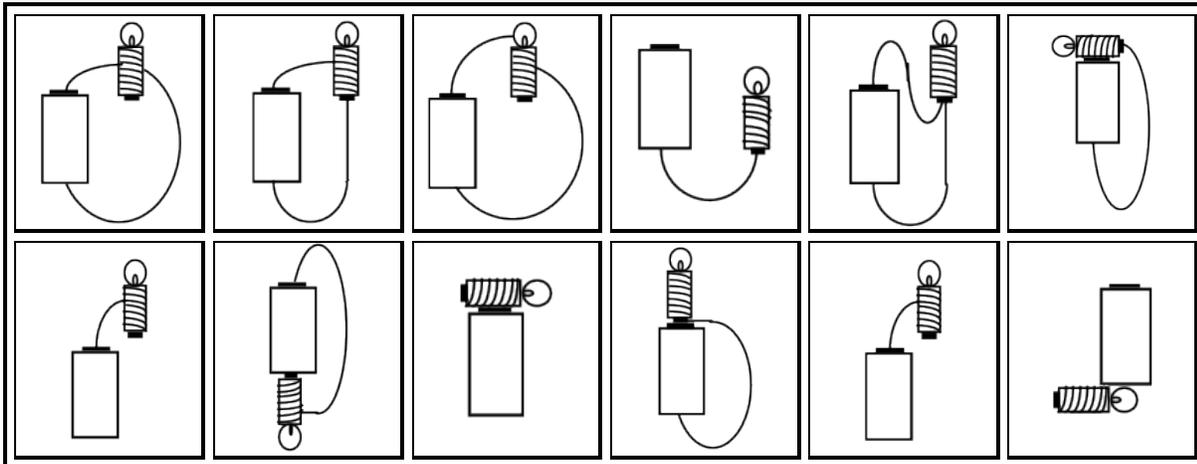
METODOLOGÍA.

Dado el salto en el tema principal de las actividades anteriores (astronomía) al de esta nueva actividad (electricidad), es necesario explicar a los estudiantes el proyecto de realizar un modelo de la constelación que han trabajado, usando bombillos. Para lograr esto con éxito, es entonces necesario conocer algunas ideas básicas sobre las conexiones de los elementos que se usarán en el modelo. Esta actividad se divide en 4 partes y el cierre.

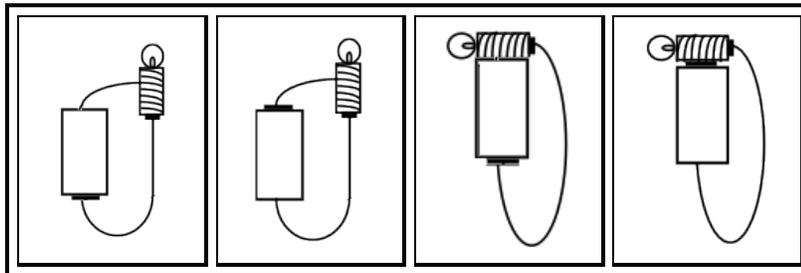
PARTE 1.

Basada en la Experiencia 1 de la propuesta de Martín, Muñoz y Rodríguez (1989). Cada estudiante cuenta con una pila y un bombillo pequeño de linterna, y se inicia la actividad planteando la siguiente pregunta: ¿Qué se necesita para encender el bombillo usando una pila? El docente dirige la lluvia de ideas de los estudiantes para que busquen la forma de conectar el bombillo y la pila usando los cables a su disposición. El docente debe estar atento a cada una de las formas en que los estudiantes intentan conectar los elementos (Figura 4-3) y por medio de comparación con dispositivos que usen pilas para su funcionamiento, llevar a los estudiantes a la forma correcta de hacer la conexión. Algunos ejemplos de preguntas que pueden conducir a los estudiantes hacia la forma correcta de hacer la conexión y encender el bombillo, son:

- ¿En un control remoto, sólo hay que hacer contacto con un extremo de la pila?
- Un bombillo ilumina y además se calienta ¿si la pila se calienta, que hace falta para que se ilumine?
- ¿Se obtienen los mismos resultados al conectar cualquier parte del bombillo?

Figura 4-3: Conexiones esperadas para encender un bombillo.³¹

Cuando los estudiantes logren encender el bombillo, se les pide que cambien el orden de la conexión de la pila al bombillo, como en la Figura 4-4 y observen si este cambio afecta en algo al bombillo. En este momento se puede asegurar que los estudiantes ya han formado un modelo conceptual sobre lo que está sucediendo en la conexión que acaban de hacer, gracias a que experimentaron intentos previos en los que no se tuvo éxito. Este modelo conceptual será pulido y ampliado mediante la ejecución de las próximas actividades.

Figura 4-4: Conexiones equivalentes para encender un bombillo.³²

PARTE 2.

Se pone a disposición de los estudiantes el borrador en barra, la mina de carbón, el palo de pincho, el cuchillo de plástico, el destornillador y los clips para papel; solicitando que cada grupo incorpore uno de estos elementos en la conexión con que lograron encender el bombillo. Cada grupo debe mostrar a los demás lo que sucedió con el brillo del bombillo al introducir el nuevo elemento en su circuito, y el docente debe favorecer una discusión entre los estudiantes en la que puedan

³¹ Imágenes tomadas de Engelhardt, (1997, p. 46, 129 y 190).

³² Imágenes tomadas y adaptadas de Engelhardt, (1997, p. 129 y 190).

llegar a algún acuerdo sobre la naturaleza de los materiales que son mejores para un circuito, ya que hay unos que permiten que encienda el bombillo con diferente cantidad de luz, y otros, que no permiten que se encienda. Entonces, es el momento adecuado para introducir los conceptos de “conductor” y “aislante”. Los estudiantes pueden ir formando una idea aproximada al concepto de “resistencia” que se amplía en la siguiente parte de la actividad.

PARTE 3.

Para ilustrar conceptualmente la Ley de Ohm, se muestra a los estudiantes cómo cambia el brillo de un bombillo cuando se varia la longitud efectiva de una mina de carbón dentro de un circuito eléctrico.³³ Cuando el brillo del bombillo sea mínimo, se pregunta a los estudiantes ¿cómo se puede aumentar el brillo nuevamente, sin cambiar la longitud de la mina en el circuito? La discusión de los estudiantes en torno a las causas de lo observado, deben conducir a una relación casi intuitiva entre la diferencia de potencial (valor de las pilas), resistencia e intensidad de corriente eléctrica (brillo del bombillo).

Debido a que hasta ahora, no se ha dado ninguna definición formal de los conceptos de potencial, intensidad de corriente y resistencia, y tampoco se ha preguntado acerca de sus explicaciones sobre lo que sucede al interior de los elementos en el circuito, no es conveniente mostrar la relación matemática de la Ley de Ohm, y tampoco medir las variables en el circuito. Esto sólo provocaría confusión en los estudiantes, y el objetivo primordial es la familiarización con los efectos reales “evidentes” en un circuito, antes que el manejo de instrumentos de medición o fórmulas matemáticas. Sin embargo, el docente debe ser cuidadoso con la terminología que maneja cuando guía las discusiones de los estudiantes o responde sus preguntas; cada palabra usada es vital en la construcción del modelo personal del estudiante, para comprender lo que sucede y hacer predicciones. (Duit y Rhöneck, 1997).

PARTE 4.

Basada en la Experiencia 3 de la propuesta de Martín et al., (1989). Se proporciona a cada estudiante (o por grupos pequeños, según la cantidad de recursos disponibles) un segundo bombillo, con el reto de encender ambos bombillos usando sólo una pila, e intentando con dos formas diferentes de conexiones. Una vez lo han logrado se agrega un tercer bombillo al reto de encenderlos con una sola pila y con diferentes formas de conexión. El docente debe fomentar el trabajo colaborativo, al incentivar los grupos que logran conexiones eficaces, a que compartan sus hallazgos con los demás. Además, el docente debe estar en la capacidad de conducir poco a poco el trabajo de los grupos hacia el descubrimiento de conexiones en serie, en paralelo y mixtas, si observa que algunos estudiantes no consiguen encender los bombillos de

³³ Basado en el video <http://www.youtube.com/watch?v=VqmougF19fg>

diferentes maneras. Una forma de guiarlos, puede ser por el uso del término “lazo”; haciendo alusión al circuito formado al inicio de la actividad con sólo un bombillo, los cables y la pila.

Una vez todos los grupos de trabajo han logrado encender los bombillos, y también han visto cómo hicieron las conexiones otros grupos, se les pide que formando “sólo un lazo”, conecten uno, luego dos, y finalmente tres bombillos. Se espera que los estudiantes noten qué cambia en relación al brillo de los bombillos, y que manifiesten sus observaciones. Luego, se les pide que usen “lazos diferentes” para conectar dos, y finalmente tres bombillos, esperando también que los estudiantes noten lo que está sucediendo con el brillo de éstos, y puedan expresar lo observado haciendo comparaciones con la conexión en serie.

CIERRE.

Finalmente, cada estudiante diligencia el taller “Prendiendo la estrella”, y luego se ponen en común los resultados obtenidos, a manera de conclusión de la actividad. No es necesario y tampoco conveniente, indagar en este momento sobre la explicación que los estudiantes tienen sobre lo que está sucediendo en los circuitos, debido a que probablemente para la mayoría de ellos, esta es su primera experiencia en la manipulación directa de estos elementos, y las afirmaciones que hagan pueden ser precipitadas y poco elaboradas (Martín et al., 1989), por lo que no constituyen un aporte al objetivo principal, que es el de manejar eficazmente las conexiones serie y paralelo para circuitos eléctricos.

4.2.2 ¿Quién hace conexiones como yo? – Esquema de un circuito eléctrico

OBJETIVOS.

- ★ Conocer los símbolos asociados a los elementos de un circuito eléctrico para su representación gráfica.
- ★ Interpretar las representaciones gráficas de circuitos eléctricos con la forma real en que se conectan los elementos.
- ★ Identificar todas las posibles conexiones reales que son equivalentes a un esquema de circuito eléctrico dado.

CONCEPTOS NECESARIOS. Conclusiones obtenidas de la actividad 2.1. *Prendiendo la estrella.*

MATERIALES.

- ★ Pilas de 1,5 V.
- ★ Cables conductores.
- ★ Bombillos pequeños para linterna.
- ★ Talleres “Prendiendo la estrella” completados por los estudiantes.

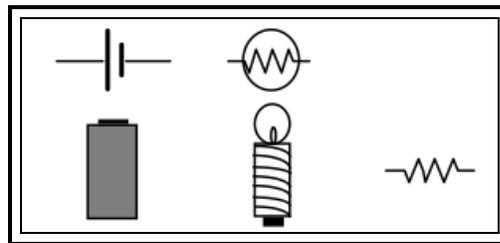
- ★ Taller “¿Quién hace conexiones como yo? – Esquema de un circuito eléctrico”³⁴ (Anexo G).

METODOLOGÍA.

Mostrando los dibujos realizados sobre las conexiones de la actividad 2.2.1 *Prendiendo la estrella*, se pregunta a los estudiantes si pueden agrupar aquellos dibujos que significan lo mismo. Es muy probable que cada grupo de trabajo dé poca importancia al hecho de buscar una forma más simple, pero equivalente, de los circuitos que hacen, usando así demasiados cables o “enredándolos” para lograr el objetivo de prender los bombillos... en los dibujos será evidente ese “enredo”.

Se encamina la discusión que surja al respecto, hacia las siguientes preguntas: ¿qué hago para que cualquier persona (en el mundo) pueda conectar los elementos como yo deseo? ¿Hay alguna manera menos complicada de hacer estos dibujos? Entonces, se explica a los estudiantes que muchas comunidades de científicos buscan símbolos que cualquier persona pueda entender y asociar con el mismo objeto o fenómeno, y sucede igual con respecto a los elementos de un circuito eléctrico, y la forma en cómo se conectan.

Figura 4-5: Símbolos usados en los esquemas de circuitos eléctricos.³⁵



En este momento se muestra a los estudiantes (en el tablero o alguna presentación) el símbolo de cada elemento usado hasta ahora: bombillo, cable, resistencia, pila... y se llama la atención sobre que es mucho más sencillo dibujar estos símbolos que los elementos reales. Luego se muestra el esquema para un circuito con un bombillo, mostrando que es equivalente (o que da lo mismo) la forma rectangular en que se dibujan los cables, y las líneas curvas que hicieron los estudiantes en el taller anterior. Igualmente se procede a mostrar el esquema serie para dos o más bombillos, y luego el esquema paralelo, introduciendo estos dos conceptos y recordando los resultados encontrados en la práctica de la actividad anterior, con respecto al brillo de varios bombillos en un circuito.

³⁴ Las ilustraciones de este taller fueron tomadas y adaptadas de Engelhardt (1997, p. 134, 189, 190, 195).

³⁵ Imágenes tomadas de Engelhardt, (1997, p. 211).

Luego, se motiva a los estudiantes a que se arriesguen a realizar el esquema del circuito que dibujaron en el taller “Prendiendo la estrella”, puede ser en el tablero con el fin de que todos puedan dar sus opiniones sobre cómo hacerlo, o si no, en hojas de manera individual.

Para concluir, y a modo de evaluación de lo comprendido, se proporciona a cada estudiante el taller “¿Quién hace conexiones como yo? – Esquema de un circuito eléctrico”, que consiste en agrupar circuitos reales con sus respectivos esquemas.

4.2.3 Estrellas de colores y brillos diferentes

OBJETIVOS.

- ★ Identificar la manera apropiada de conectar un diodo para que permita la circulación de corriente eléctrica.
- ★ Analizar si el brillo de los diodos led es afectado por el tipo de conexión en que se usan.
- ★ Anticipar el tipo de conexión necesario para cumplir una tarea específica, antes de hacer el montaje real.

CONCEPTOS NECESARIOS. Conclusiones obtenidas de las actividades 2.2.1 *Prendiendo la estrella* y 2.2.2 *¿Quién hace conexiones como yo? – Esquema de un Circuito Eléctrico*.

MATERIALES.

- ★ Pilas de 1,5 V y 9 V.
- ★ Cables conductores.
- ★ 30 (o más) diodos led de diferentes colores.
- ★ Taller “Modelo de una constelación” (Anexo H).
- ★ Resistencias eléctricas entre 0,22 K Ω y 1 K Ω .
- ★ Lámina de icopor aproximadamente de 10 cm x 10 cm y 0,5 cm de espesor.

METODOLOGÍA.

El docente debe realizar pruebas antes de hacer la actividad, para determinar cuántas pilas de 1,5 V necesita para trabajar con el tipo de led que le dará a los estudiantes (incluso, es mejor llevar a clase algunas pilas de 9V). También debe tener presente qué valor de resistencia debe conectar para limitar la corriente que circula por el led a 20mA.

EJEMPLO DEL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA LIMITADORA

En la actividad se usaron baterías de 9V, resistencias de 1K Ω , y leds verdes. Entonces, según la Tabla 1-1 y la expresión (6), tenemos:

$$R = \frac{E - V_D}{I}$$

$$R = \frac{9V - 2,2V}{0,02A}$$

$$R = 340\Omega$$

El valor se aproxima bien con una resistencia de 0,39 K Ω , y para cada led se conecta en serie su propia resistencia.

Se muestra a los estudiantes los diodos led, indicándoles que son más fáciles de usar que los bombillos, gracias a su tamaño y mayor durabilidad. Además los leds de colores permiten hacer un mejor modelo de las estrellas de la constelación escogida. Cuando los estudiantes los tengan en sus manos para observarlos, el docente debe asegurarse de que noten la diferencia en la longitud de los terminales del led. Este es un momento adecuado para preguntar ¿dónde han visto “bombillitos” como éstos? con el objetivo de que asocien elementos de su cotidianidad a la práctica que se realizará en la actividad.

A cada grupo (o individualmente, según la cantidad de material disponible) se le da un led, 2 cables conectores, y la cantidad de pilas necesarias que el docente ha calculado previamente. Se pide a los grupos que armen un circuito en el que el led se encienda. La mayoría, sino la totalidad de los grupos, lo harán de la misma forma como lo hicieron con el bombillo, pero algunos grupos lograrán y otros no, que el led se encienda. El docente propone invertir la conexión del led, a los grupos que aún lo tienen apagado. Al igual que en las actividades anteriores, no se indaga por las posibles explicaciones que tengan los estudiantes sobre lo observado, pero en este caso, se pide a los estudiantes que se fijen cuál terminal del diodo led queda conectada al “+” y cuál al “-” de la pila.

Se da otro cable conector y una resistencia a cada grupo, para que agreguen este “nuevo elemento” al círculo, pero formando con todos los elementos “un lazo”. ¿Qué pasa con el led? El docente debe guiar la discusión entre los estudiantes para que recuerden lo sucedido con la mina de carbón en el circuito con el bombillo, y así poder describir la función del “nuevo elemento” en el circuito con el led.

Aprovechando la cantidad de grupos, a uno se le pide que conecten dos led en serie, mientras que a otro grupo que se encuentre ubicado cerca, se le pide que conecte dos led en paralelo. Para los estudiantes será más fácil sacar sus conclusiones al observar los dos circuitos a la vez. La actividad se completa pidiendo que agreguen uno a uno los led al tipo de circuito y tengan en cuenta con cuántos led ya no se pueden encender.

Finalmente, se pide a los estudiantes que diligencien el taller “Modelo de una constelación”, en el que deberán dibujar las conexiones necesarias entre las estrellas para que luzcan más o menos brillantes, relativamente a las estrellas que la acompañan. En esta actividad los estudiantes necesitan tener en cuenta que el brillo de los led puede variar según el tipo de conexión y la cantidad de

ellos conectados. Los estudiantes deben probar sus circuitos, ubicando los led en una cara de la lámina de icopor y realizando las conexiones al respaldo.

4.3 Actividades de la Etapa Final – Solución del Problema: Constelaciones con Circuitos

Con las herramientas adquiridas por los estudiantes en la etapa anterior, se propone el problema o reto, de modelar una constelación usando diodos led en un circuito. Dada la naturaleza de trabajo autónomo y personalizado de esta etapa de la *Propuesta Didáctica*, no se diseñan actividades específicas para su desarrollo. El papel del maestro en esta etapa es el de asesor y guía en los proyectos de sus estudiantes. Sin embargo, se recomienda que el docente tenga en cuenta los siguientes aspectos para que esta etapa se desarrolle con éxito:

1. Tener conocimiento general de la constelación que ha escogido cada uno de los estudiantes. Los estudiantes no sentirán que están “solos” en esta etapa, si confían en que una persona “experta” siempre estará presente para ayudarles a resolver sus dudas.
2. Proporcionar a cada estudiante, diagramas en los que sea claro la diferencia en el brillo aparente de las estrellas de la constelación escogida. Los estudiantes pueden tener dificultades en conseguir estas imágenes por sus propios medios, ya sea porque las fuentes en las que indagan no son confiables, o porque no disponen de recursos como bibliotecas cercanas, o conectividad a internet.
3. Disponer de multímetros para medir resistencias, corrientes y voltajes o tensiones eléctricas. Los estudiantes pueden requerir de estos valores para el modelo de su constelación, y el docente debe aprovechar el interés y la motivación para introducir temáticas no abordadas en la etapa anterior, como el manejo de instrumentos de medida, la Ley de Ohm y las Leyes de Kirchhoff.
4. Organizar puestas en común de los trabajos hechos por los estudiantes, con el fin de que cada uno identifique semejanzas, diferencias, o incluso conexiones y esquemas más sencillos (pero igualmente efectivos), con respecto a los circuitos de su propia creación.
5. Indagar sobre los modelos de corriente eléctrica que han formado los estudiantes, ya que pueden estar influenciando negativamente la forma en cómo realizan las conexiones (Pro y Rodríguez, 2010). El modelo propio del estudiante puede ser mejorado o cambiado, aprovechando la interacción directa con los elementos de los circuitos eléctricos.

Las concepciones alternativas y modelos para el estudio de la corriente y circuitos eléctricos, han sido caracterizados por varios investigadores en didáctica de la física. A continuación se esbozan de manera general algunos aspectos en los que coinciden la mayoría de los autores que se han consultado.

4.3.1 Concepciones alternativas y Modelos para el estudio de la corriente y circuitos eléctricos

La Tabla 4-1 constituye un recurso adicional para el docente, con el objetivo de que identifique más fácilmente las dificultades que tengan los estudiantes y así mismo, pueda proporcionar herramientas que les ayuden a superarlas. La *Propuesta Didáctica orientada a facilitar el Aprendizaje y Comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes*, ha sido diseñada para que sólo hasta ésta etapa, se analice la forma en que los estudiantes están comprendiendo la corriente y los circuitos eléctricos. Siguiendo a Campos (2009):

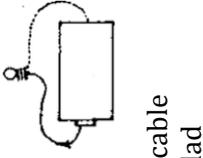
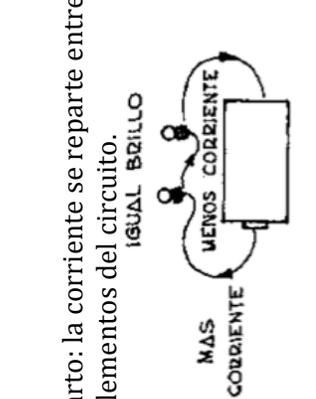
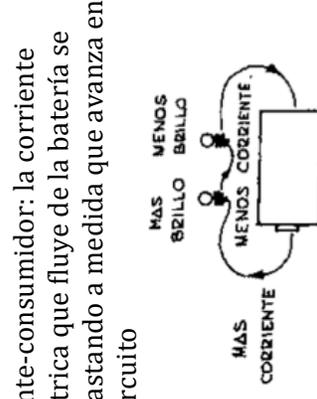
Se ha encontrado que un medio efectivo para obtener el grado de compromiso mental deseable es generar un conflicto conceptual y solicitar a los estudiantes que lo resuelvan. Igualmente importante es la necesidad de insistir que los estudiantes confronten y resuelvan los temas que han surgido. Este procedimiento puede ser resumido como una secuencia de pasos que pueden ser caracterizados, según los autores antes mencionados, como: sacar a luz, confrontar, resolver. (p. 4).

Esto implica que, desde un enfoque constructivista, se favorezca un cambio conceptual, entendido no sólo como “la simple sustitución de un concepto equivocado por otro correcto, sino que el proceso de cambio debe involucrar relaciones entre preconceptos, de modo que todos ellos sean los que entran en crisis y no un concepto aislado.” (Periago y Bohigas, 2005, p. 4).

En ninguna de las actividades previas, se vio la necesidad de introducir alguna analogía para ayudar a los estudiantes en la comprensión de lo sucedido con las experiencias de circuitos, ya que se dio prioridad a que el estudiante construyera su propio modelo conceptual de corriente. Las analogías pueden ser usadas en posteriores etapas de este proyecto, en las que se profundice el manejo de las definiciones y conceptos claves de la electricidad.

Cada uno de los cuatro modelos que se toman como referencia de la investigación de Solano (2003, p. 98), están acompañados de concepciones alternativas en el razonamiento de los estudiantes que acogen el modelo (Campos, 2009, p. 3, 4; Periago y Bohigas, 2005, p. 13; Duit y Rhöneck, 1997 p. 2, 3), y que se pueden identificar fácilmente cuando el estudiante manifiesta algunas predicciones. Estas predicciones son descritas como “síntoma” del modelo y la concepción alternativa. Para lograr el conflicto conceptual que propone Campos (2009) o también según Psillos (1997), conflicto cognitivo, se proponen algunas experiencias. Para el caso del modelo de Fuente – Consumidor y el de Atenuación, las experiencias para el conflicto conceptual son tomadas de Psillos (1997). Las imágenes de los modelos de corriente son tomadas del artículo de Varela et al., (1988).

Tabla 4-1: Modelos, concepciones alternativas y conflictos conceptuales.

MODELO	CONCEPCIÓN ALTERNATIVA	SÍNTOMA	CONFLICTO CONCEPTUAL
<p>Unipolar: la corriente eléctrica circula solamente desde un polo de la pila hasta la bombilla, siendo el otro cable innecesario o de seguridad</p> 	<p>La pila es una fuente de corriente que suministra las cargas que se mueven a través del circuito.</p>	<p>Para que un bombillo prenda basta con conectarlo a sólo un polo de la pila.</p>	<p>Cuando introduces una pila en tus controles ¿Se conecta sólo un polo, o los dos?</p>
<p>Reparto: la corriente se reparte entre los elementos del circuito.</p> <p>IGUAL BRILLO</p> 	<p>Atención sobre un punto del circuito ignorando lo que pasa en el resto. La pila proporciona siempre la misma corriente independientemente del circuito al que esté conectada. No se diferencia tensión e intensidad, como la fuerza que dirige aquello que fluye en el circuito.</p>	<p>En una conexión paralelo de varios bombillos con una pila, el brillo de cada una es menor al brillo de un bombillo en conexión simple. La corriente eléctrica "se reparte" en todos los bombillos, y lo misma explicación sirve para una conexión-serie.</p>	<p>¿Se facilita el avance de las personas en un almacén cuando se habilitan más cajas para pagar? ¿Salen más personas del almacén cada minuto cuando hay varias cajas o cuando hay una sola caja?</p>
<p>Fuente-consumidor: la corriente eléctrica que fluye de la batería se va gastando a medida que avanza en el circuito</p>  <p>Atenuación: La corriente circula en una dirección, debilitándose gradualmente. Los últimos componentes recibirán menos que los primeros.</p>	<p>Los estudiantes no consideran que la carga eléctrica se conserva y como consecuencia de ello, la corriente eléctrica también se conserva en un circuito.</p> <p>La conservación de la corriente está en desacuerdo con el hecho que la pila debe "vacarse".</p> <p>No se diferencia intensidad de corriente y energía.</p>	<p>En una conexión de una pila con varios bombillos, el bombillo que brilla más es el que está más cerca del polo positivo de la pila.</p> <p>Entre más bombillos tenga un circuito, sin importar el tipo de conexión, la pila dura menos que con un único bombillo.</p>	<p>Observa detenidamente una conexión - serie de una pila y varios bombillos iguales ¿alguno de ellos brilla más que los otros?</p> <p>En dos circuitos diferentes, uno tiene una pila y un bombillo y el otro tiene una pila en serie con dos bombillos. ¿Se apagan primero los bombillos de la conexión - serie, o la conexión simple?</p>

5. Análisis de la ejecución de las Actividades de la *Propuesta Didáctica* en el Colegio Clemencia de Caycedo

5.1 Caracterización de la población y contexto

El colegio distrital Clemencia de Caycedo, es un colegio femenino en la localidad Rafael Uribe, que está implementando la Jornada Escolar de 40 horas, bajo la perspectiva de ofrecer una gran variedad de opciones a las estudiantes para que escojan las que deseen como complemento a su jornada académica convencional de 30 horas semanales, y asistan a las clases ofrecidas en contra-jornada o los sábados.

Dentro de las opciones que ofrece la Jornada de 40 horas, se encuentran los grupos de Banda Marcial, Porrás, Danzas, Baloncesto, Microfútbol, Natación, Patinaje, Coro, Música, Inglés, Lecto – escritura, Artes plásticas, Ajedrez y el grupo de Robótica y Astronomía. En este último grupo se implementó la *Propuesta Didáctica orientada a facilitar el Aprendizaje y Comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes*.

Durante el primer semestre del año 2013, el grupo de Robótica empezó a trabajar en temas de astronomía y circuitos eléctricos, una hora todos los sábados, con el objetivo de preparar al grupo en futuros proyectos relacionados con la Exploración Espacial, convirtiéndose en un grupo de Ciencia y Tecnología. Por lo tanto, los conocimientos de las estudiantes sobre astronomía y circuitos eléctricos, eran prácticamente nulos al inicio de la ejecución de la Propuesta, incluso en tres de las integrantes que tienen una trayectoria en el grupo de Robótica de más de 3 años.

De la totalidad del grupo, sólo las tres estudiantes antiguas asistieron a todas las sesiones de los días sábados. Algunas niñas que iniciaron a principio del curso, cambiaron su opción a grupos relacionados con arte y deportes, mientras que en sesiones posteriores iban incorporándose nuevas estudiantes, procedentes de otros grupos. Las estudiantes nuevas en Robótica y Astronomía que asistieron con regularidad, faltaron a algunas sesiones por compromisos familiares los días sábados, citas médicas, o cruces de actividades que tenían con los otros grupos de Jornada 40 horas a los que pertenecían.

Por tanto, a lo largo del primer semestre de 2013, la cantidad de estudiantes en el grupo de Robótica osciló entre 15 y 20 integrantes pertenecientes a los grados Quinto, Sexto, Séptimo y Octavo. Se contó con la importante presencia de dos estudiantes de grado Décimo, que aunque no estaban obligadas a cumplir con el requisito de las 40 horas semanales, asistieron y participaron activamente de todas las actividades programadas.

Las directivas académicas del colegio aún no definen las actividades de la Jornada de 40 horas, como parte del currículo oficial, y por tanto, las estudiantes trabajan sin ningún tipo de valoración para estas clases, en el boletín de informe académico. Esto puede ser tanto una ventaja como una desventaja, Por un lado, la estudiante trabaja en su grupo sólo con el ánimo de aprender algo nuevo, divertirse, o pasar el tiempo, pero en el momento de asignar actividades para realizar en casa, la estudiante no siente obligación de cumplirlas ya que no encuentra mayores consecuencias al no hacerlas.

Los aspectos antes mencionados, dificultan la realización de un análisis estadístico sobre la ejecución de las actividades, por lo que a continuación se menciona de manera descriptiva, algunos aspectos importantes que merecen ser destacados sobre lo que se observó en cada sesión.

5.2 ¿Qué vemos en el cielo?

Al momento de introducir algunas historias sobre las nombres que llevan las constelaciones y otros objetos visibles en el cielo nocturno, la dinámica de la actividad nos llevó a hablar sobre el significado del nombre “Vía Láctea”. Algunas estudiantes tenían conocimiento de que nuestra galaxia lleva ese nombre, y una de ellas, pensó que podía hacer un comentario gracioso al decir que ese nombre era porque había mucha leche. Su sorpresa fue grande al confirmarle, que efectivamente, eso mismo pensaron los griegos, que era un camino formado por la leche derramada de la diosa Hera.

En el Rompecabezas de Puntos, las estudiantes debían plasmar una imagen que les sugirieran los puntos. Ellas no lo sabían en ese momento, pero estos puntos correspondían al asterismo fácilmente reconocible de la constelación de Orión. Entre las figuras que hicieron las estudiantes se encuentran números, letras, animales, caras y objetos de uso cotidiano como los moñitos del cabello (Anexo I). Coincidentemente, muchas de las niñas vieron en el asterismo de Orión, la misma mariposa que veían los polinesios. Se destaca el hecho de que las estudiantes dibujaron objetos que usan habitualmente, así como la civilización china vio el carro del emperador en la Osa Mayor, y los arahuacos vieron un cesto de recolección en Orión el Cazador. (Agencia de noticias UN, 2012).

5.3 Relatos fantásticos de héroes y dioses – Al interior de una constelación

En el desarrollo de estas actividades, se hicieron evidentes las grandes dificultades de la mayoría de las estudiantes en cuanto a lectura, consulta y oralidad. Las estudiantes estuvieron a gusto cuando los mitos les eran narrados por su profesora, pero en el momento en el que debían leerlos, escoger uno, y prepararlo para la siguiente clase, y luego, explicar cada estrella de la constelación asociada al mito, sólo destacó la forma de trabajar de las tres estudiantes antiguas en el grupo. Al final de la actividad, se hizo una reflexión para el grupo en compañía del profesor de robótica, sobre cómo las estudiantes que han tenido experiencia en expresarse ante diversos públicos (las estudiantes antiguas han hecho parte en repetidas ocasiones de concursos y presentaciones) les ayudaba a elaborar unas excelentes exposiciones, con el apoyo mínimo de textos guías, y que los docentes pretenden que todas las estudiantes nuevas lleguen a ese nivel.

Destaca el trabajo de una de las estudiantes antiguas, que buscó mitos diferentes a los que se habían propuesto, y realizó su exposición sobre la Cabellera de Berenice (Anexo J). Narró tan bien la historia, que las demás estudiantes empezaron a llamarla “Berenice” y en sesiones posteriores aún recordaban la historia de la constelación.

5.4 Letras extrañas – Ordenando las estrellas

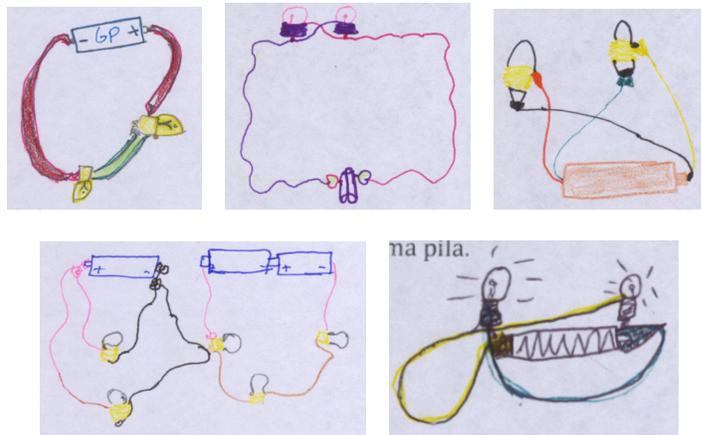
Las estudiantes fueron altamente receptivas a estas actividades, quizás debido a lo lúdico del material seleccionado para su ejecución. Las niñas no se cansaban de escuchar y ver el video *The (koine) Greek Alphabet Song*, afirmando que la tonada era bastante “pegajosa”, y el concurso de la lotería las estimuló a querer aprender el nombre de cada una de las letras griegas (Anexo K). En el ejercicio planteado en la presentación sobre la designación de Bayer, se pudo ver que las estudiantes recordaban claramente las primeras letras del alfabeto griego, cuando las usaron para nombrar las estrellas de la constelación de Orión, gracias a lo significativa que fue la actividad sobre el alfabeto griego.

5.5 Prendiendo la estrella

Muchas de las estudiantes perdieron la paciencia y se desanimaron después de varios intentos de encender el bombillo con la pila y no conseguirlo. Pero cuando una de ellas (que ya había hecho la misma experiencia en su anterior colegio), consiguió encenderlo, las demás trataron de copiar el mismo montaje para cumplir con la tarea.

Al momento de encender un bombillo adicional, cabe destacar la cantidad de formas diferentes en que lo lograron, aunque algunas de las propuestas eran demasiado “enredadas” (Ver Figura 5-1). Resulta interesante ver cómo aunque se podría esperar que las estudiantes descubrieran primero la conexión en serie, la mayoría de las estudiantes optó por arreglos que eran conexiones en paralelo, mientras que sólo una niña lo hizo en serie.

Figura 5-1: Dibujos de las estudiantes en el Taller “Prendiendo la estrella”.



5.6 ¿Quién hace conexiones como yo? – Esquema de un circuito eléctrico

Para diligenciar con éxito el taller asociado a ésta actividad, cada estudiante debía estar atenta y concentrada en la exposición de la profesora en el tablero. Sin embargo, debido a que las otras sesiones no se habían desarrollado exposiciones de éste tipo, algunas estudiantes requirieron de explicaciones adicionales para entender lo que debían hacer en el taller. Fue muy gratificante ver que la estudiante que necesitó una explicación adicional, la cual se le brindó de manera personalizada, pudo diligenciar el taller con más facilidad que incluso las estudiantes que dijeron haber comprendido en la primera explicación.

Con respecto a algunas estudiantes, era intrigante ver que no usaban dentro de sus criterio de selección algo que podía ser obvio, como la cantidad de bombillos tanto del dibujo real como del esquema de la conexión. Esto muestra una deficiencia en la capacidad de analizar y resolver sencillas pruebas de relación y semejanzas (Anexo L).

5.7 Estrellas de colores y brillos diferentes

Esta actividad es en esencia, un “ensayo” de la *Etapa Final – Solución del Problema: Constelaciones con Circuitos*. Nuevamente se ven dificultades en la

interacción con objetos reales y abstractos, al no coincidir la cantidad de leds en los montajes con la cantidad de estrellas del taller. Además, en algunas estudiantes se genera frustración al no conseguir el objetivo con los primeros intentos, y no terminan la actividad (Anexo M). De forma coherente con Campos (2009), las estudiantes realizan conexiones esperando obtener resultados que no coinciden con lo que se ha experimentado en actividades anteriores. Para esto, fue de gran ayuda el mostrarles nuevamente como cambia el brillo relativo de los leds, en 2 tipos de conexiones diferentes, una en serie y la otra en paralelo.

En este punto de la ejecución de la *Propuesta Didáctica*, se ha logrado conocer a cada una de las niñas que asisten con regularidad a las sesiones, gracias a la interacción con ellas no sólo en el aula, sino también mientras se comparte el tiempo del descanso. De este conocimiento se podía realizar una “predicción” de quienes lograrían el objetivo de modelar la constelación escogida, con base en aspectos como la tolerancia a la frustración, la persistencia en conseguir los objetivos propuestos, la participación y asistencia a las sesiones anteriores... aspectos determinantes para el alcance de cualquier meta que se pretenda en este tipo de trabajos extracurriculares.

6. Recomendaciones

- Como primera recomendación y la más importante, el docente debe estar abierto a la posibilidad de que posea errores conceptuales o concepciones alternativas, y por lo tanto, es aconsejable que se someta a pruebas que ayuden a identificar estas falencias y busque medios para superarlas. Es muy difícil orientar a los estudiantes para que alcancen un manejo y dominio del conocimiento que su maestro no posee, y por el contrario, puede favorecer la persistencia y arraigo de concepciones alternativas en los estudiantes.
- En las actividades propuestas para la Segunda Etapa, ninguna va encaminada específicamente al tema de cargas estáticas, ya que su introducción no puede justificarse desde la secuencia de las actividades de la Primera Etapa a la Segunda, y esto afectaría la transición que se hace del estudio de la astronomía al estudio de los circuitos eléctricos. Sin embargo, es aconsejable que el docente haya revisado con los estudiantes, aspectos concernientes a la electrostática previamente a la ejecución de la *Propuesta Didáctica orientada a facilitar el Aprendizaje y Comprensión de los Circuitos Eléctricos en Serie, Paralelos y Mixtos, usando como pretexto las Constelaciones Celestes*.

Estas actividades que corresponden entonces a una Etapa Previa, consisten en experiencias sencillas como la electrización por fricción de materiales aislantes, conductores con una parte aislada y sin aislar del todo, construcción de electros copios o versorios, electrización por inducción. Varias de estas actividades y su respectivo análisis pueden encontrarse en la publicación de 1999 de Furió y Guisasola.

- El enfoque de ésta *Propuesta Didáctica* promete mucho para continuar la profundización en el estudio de la electricidad. Vale la pena que el docente se aventure a complementar sus clases abordando cuestiones como el significado de “cargar una pila”, la diferencia entre fem y diferencia de potencial, e incluso, el impacto ambiental que ocasionan pilas y bombillos, y las ventajas y desventajas de usar leds para reemplazarlos. Se sugieren los documentos “Carga de una batería’ y ‘electricidad’, dos términos de utilización confusa”³⁶ (de Quintela y otros), y “¿Cómo se presenta el concepto de fuerza

³⁶ Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/17/33/a33.pdf>

electromotriz? Visiones distorsionadas de la electricidad en los libros de texto³⁷ (de Guisasola y otros).

- El docente puede verse tentado a usar elementos que faciliten las conexiones de las partes del circuito, como conectores caimán, portapilas y portalámparas. Pero esto debe evitarse al menos durante la Parte 1 de la actividad “Prendiendo la estrellas”, pues con un portalámparas, no es claro cuáles son las partes del bombillo que deben hacer contacto para que se encienda. Los portapilas se encuentran al interior de todos los controles remotos, y sin embargo esto no hace que los estudiantes realicen conexiones correctas desde el primer intento. En resumen, estos elementos facilitan la manipulación, pero no la comprensión del montaje del circuito.

³⁷ Recuperado de http://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRA196compre.pdf

7. Conclusiones

La astronomía puede convertirse en un aspecto motivacional para el aprendizaje y comprensión de los circuitos eléctricos, haciendo énfasis en la modelación de constelaciones celestes.

La consulta exhaustiva sobre publicaciones relacionadas con la enseñanza – aprendizaje de la electricidad, ayudó a identificar de una manera más fácil algunos de los aspectos más relevantes a tener en cuenta para el diseño de las actividades de la *Propuesta Didáctica* y sus objetivos específicos.

Coincidiendo con Shepardson y Moje (1994, citado en Pro y Rodríguez, 2010), los estudiantes no presentan mayores dificultades al describir, interpretar, predecir, diseñar y comprobar sus circuitos eléctricos, sin hacer referencia explícita a conceptos que en lugar de convertirse en un avance en el aprendizaje de los estudiantes, crean conflictos innecesarios.

Con la ejecución de las actividades experimentales desde el enfoque del Aprendizaje Basado en Problemas, se crean espacios donde los estudiantes diseñan conexiones y evalúan sus circuitos, estableciendo relaciones entre las variables involucradas a nivel cualitativo, y además, se puede hablar de un verdadero aprendizaje ya que por la ejercitación de habilidades procedimentales, el estudiante asimila de mejor manera conocimientos con significado real para él.

En la interacción con los estudiantes, se debe dar prioridad al proceso de enseñanza – aprendizaje, por encima de la comprensión de los temas tratados. Con una guía bien establecida por parte del docente, el estudiante adquiere herramientas muy útiles para la solución de diversas clases de problemas en su entorno.

Como lo muestran numerosos investigadores en Enseñanza y Didáctica de las Ciencias (Duit y Rhöneck, 1997), los avances de los estudiantes en la comprensión de la física, y específicamente, la electricidad, constituyen procesos complejos, que incluyen tanto progresos como retrocesos. Por consiguiente, con la mera aplicación de una propuesta innovadora no se consiguen resultados abrumadores. La mejor manera de solucionar estos inconvenientes es con la ejecución constante a lo largo de todo el ciclo escolar, de propuestas didácticas como la que se muestra en éste documento, y que están orientadas bajo enfoques didácticos no tradicionales como el Aprendizaje Basado en Problemas.

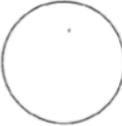
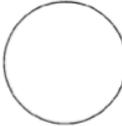
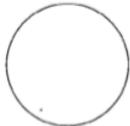
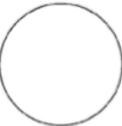
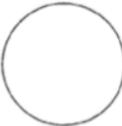
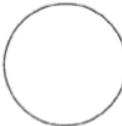
La enseñanza en grupos pequeños es bastante gratificante. No sólo se consigue la mayor parte de objetivos iniciales, sino que se logra un conocimiento general

de habilidades de los estudiantes como el nivel de trabajo en equipo, colaboración, interacción con los elementos de su entorno... elementos que el docente puede potenciar en cada estudiante, logrando una efectiva formación integral.

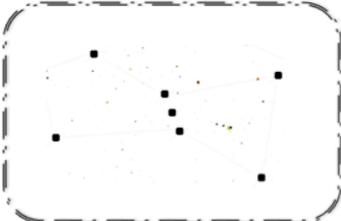
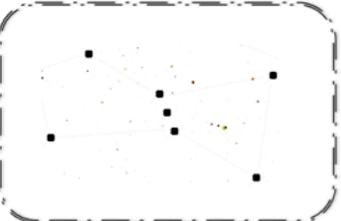
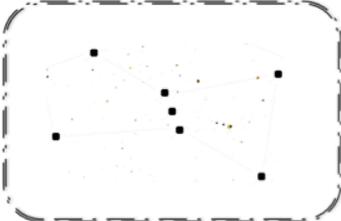
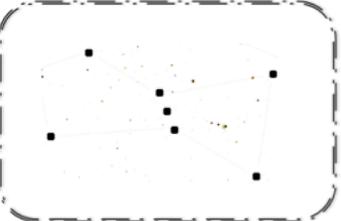
Un grupo de estudio conformado por estudiantes de diferentes edades, hace crecer en los integrantes mayores el instinto de protección y colaboración con los integrantes más jóvenes, y estos a su vez, desarrollan sus habilidades en entornos apropiados y con la compañía de buenos modelos a seguir. El grupo de Ciencia y Tecnología del Colegio Clemencia de Caycedo, se puede describir como una familia con muchas hermanas.

A. Anexo: Talleres “Rompecabezas de círculos” y “Rompecabezas de puntos”

ROMPECABEZAS DE CÍRCULOS Astrónoma: _____

 niño	 reloj		
			

ROMPECABEZAS DE PUNTOS Astrónoma: _____

C. Anexo: Lotería del alfabeto griego

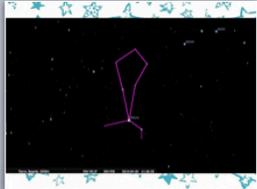
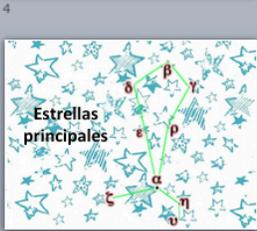
Ρ ρ	Κ κ	Θ θ	Ζ ζ	Μ μ	Ψ ψ	Ν ν	Α α	Λ λ
Ξ ξ	Χ χ	Ω ω	Τ τ	Γ γ	Β β	Ο ο	Δ δ	Ω ω
Ι ι	Α α	Δ δ	Φ φ	Η η	Λ λ	Π π	Ρ ρ	Θ θ
Α α	Ζ ζ	Μ μ	Υ υ	Φ φ	Π π	Ψ ψ	Τ τ	Λ λ
Ε ε	Θ θ	Σ σ	Ν ν	Β β	Ω ω	Ι ι	Γ γ	Υ υ
Χ χ	Ο ο	Κ κ	Ξ ξ	Η η	Ρ ρ	Ε ε	Δ δ	Σ σ

alfa	beta	gamma	delta	epsilon	zeta
teta	iota	kappa	lambda	mu	nu
omicron	pi	rho	sigma	tau	upsilon
chi	psi	omega	chi	psi	omega

D. Anexo: Presentación de diapositivas “Designación de Bayer”

<p>Nombre y denominación de las estrellas.</p>	<p>Desde las civilizaciones más antiguas, las estrellas se han considerado agrupadas en constelaciones. Los nombres de las estrellas proceden tanto de los griegos tales como Sirio, Procyon, Polux, Castor, Régulo, Polaris, Arturo, Canopus, las Pléyades, como de los árabes: Alcor (la dátil), Mizar (velo), Vega (caída), Aldebarán (el seguidor), Deneb (la cola), Rigel (la pierna), Algol (estrella demonio), Betelgeuse (hombre-manó del gigante), y unos centenares de nombres más.</p>		<p>Ante la imposibilidad de dar nombre a la enorme cantidad de estrellas se planteó la idea de dar otro sistema de nomenclatura que resultase más útil para los astrónomos. En 1603 el alemán Johannes Bayer publicó una obra denominada Uranometria, un atlas de mapas estelares en el que se indicaban las estrellas de cada constelación utilizando letras del alfabeto griego al que seguía el genitivo del nombre latino de la constelación a la que pertenece.</p>
<p>Bayer estableció un orden de brillo dentro de cada constelación, de modo que llamó α a la estrella más brillante, β a la que le seguía en brillo, γ a la siguiente, y así sucesivamente. El inconveniente de esta nomenclatura es que el alfabeto griego solo consta de 24 letras, mientras que, por término medio, hay unas 70 estrellas visibles por constelación. Cuando las letras del alfabeto griego resultaban insuficientes para una constelación, Bayer recurrió al empleo de las letras minúsculas del alfabeto latino, complicando el método empleado.</p>		<p>Tras la aparición del telescopio se demostró la existencia de un número mayor de estrellas, y se planteó de nuevo el problema de su denominación. En 1712, el astrónomo inglés John Flamsteed, hizo el primer catálogo con la ayuda del telescopio, denominado Historia Coelestis Britannica, recurrió al empleo de los números en vez de letras, asignó un número a cada estrella según el orden en que llegaba al meridiano.</p>	<p>Con el tiempo se perfeccionaron los telescopios, observándose ya millones de estrellas en cada constelación, a las estrellas se las distingue, no por su nombre, ni letras, ni números, sino por la posición que ocupan en la esfera celeste, esto es, por su ascensión recta y declinación.</p>
			<p>...designemos las estrellas de Orión.</p> 

E. Anexo: Presentación de diapositivas “Constelación del Boyero”

<p>LA CONSTELACIÓN “BOYERO” Ó “BOOTES”</p>	<p>Boyero significa “conductor de bueyes”, es decir, alguien que se dedica a sembrar o pastorear.</p>		
	<p>Mitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ Filométeo, hijo de la diosa de la agricultura Deméter, con Io (Lasiote). Los dioses del Olimpo ayudaron a los humanos en el cultivo del campo, permitieron la unión de la diosa Deméter con el agricultor Yasonte (Io Lasiote), y nació Filométeo, inventor del arado. ★ El rey Licón invitó a Zeus a un banquete y le sirvió a su propio nieto Arkas, como alimento. El dios recompuso el cuerpo de Arkas y lo llevó al cielo. 	<ul style="list-style-type: none"> ★ Un labrador que manejó los bueyes y cuida a la Osa Mayor utilizó sus dos perros. Los bueyes fueron atados al eje polar y la acción del boyero mantuvo los cielos en la rotación constante. ★ El dios Dionisio enseñó a Icaro los secretos de la uva y el vino en premio a su hospitalidad. Cuando Icaro dio vino a los pastores de su localidad, estos confundieron la intoxicación etílica con envenenamiento, y lo asesinaron. Dionisio lo puso en el cielo para honrarlo. 	<p>Estrellas principales</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ★ Arturo – el Boo: es la tercera estrella más brillante del cielo, después de Sirio (α Canis Majoris) y Canopus (α Carinae). Arturo en griego significa “el guardián de la osa”. Arturo es una gigante naranja que está a 36 años luz de nosotros. Su temperatura es de 4290 K, es visualmente 113 veces más luminosa que el Sol y es casi 26 veces más grande. Su masa es aproximadamente un 50% mayor que la del Sol. Se sospecha que puede ser una estrella variable. 		<ul style="list-style-type: none"> ★ Nekkar – β Boo: En árabe significa “el que conduce los bueyes”. Es la sexta más brillante de El Boyero. ★ Nekkar es una gigante amarilla con una temperatura de 4950 K y 190 veces más brillante que el Sol. Su radio es 19 veces mayor que el radio solar. Estos parámetros sugieren que su masa es ligeramente superior a tres masas solares y tiene una edad en torno a 350 millones de años. 	<ul style="list-style-type: none"> ★ Seginus – γ Boo: la palabra es el resultado de latinizar una forma árabe del nombre griego de la constelación El Boyero, significa “El pastor”. Seginus está a 85 años luz y es una estrella gigante blanca, con una temperatura de 7600 K. Es 34 veces más brillante que el Sol y su radio es 3.5 veces mayor. Seginus es una estrella binaria.

F. Anexo: Taller “Prendiendo la estrella”

“PRENDIENDO LA ESTRELLA”

ASTRÓNOMA: _____



1. Dibuja cada uno de los elementos que usas en la actividad. Debes poner en cada dibujo la mayor cantidad de detalles del elemento.
 2. Realiza un esquema que muestre cómo conectaste la pila, el cable y el bombillo, para que éste se encendiera.
 3. Realiza un esquema que muestre la(s) conexión(es) que hiciste para que se encendieran dos bombillos usando la misma pila.
 4. Realiza un esquema que muestre la(s) conexión(es) que hiciste para que se encendieran tres bombillos usando la misma pila.
5. Responde las preguntas:
- a. ¿Qué pasa si inviertes la forma en que se une el bombillo y la pila? _____

 - b. Describe que sucede con la luminosidad a medida que añades los bombillos, uno por uno, a la conexión. ¿En todos las formas de conectar sucede lo mismo? _____

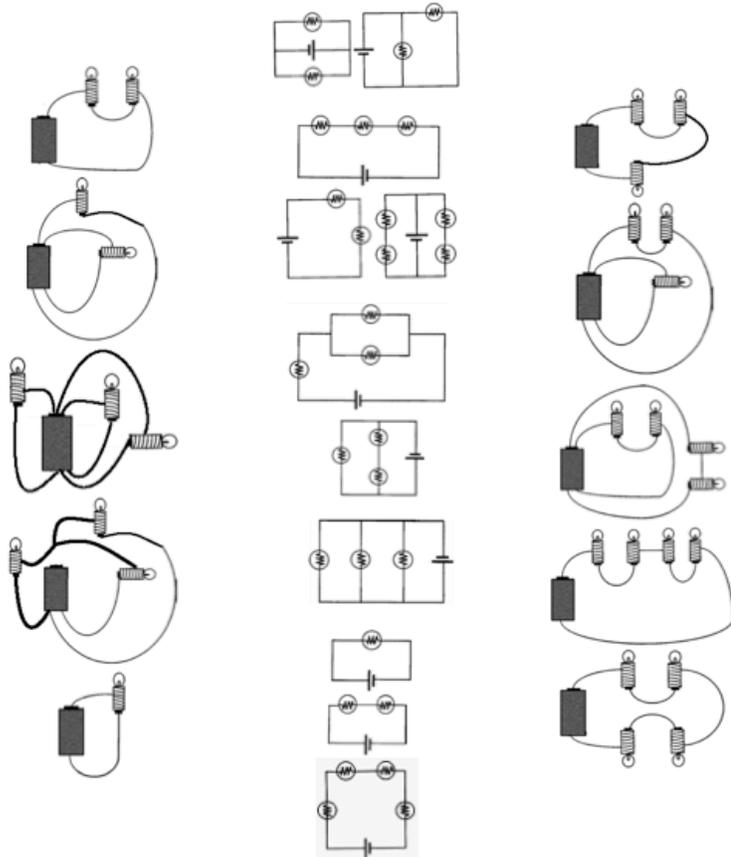
G. Anexo: Taller “¿Quién hace conexiones como yo?”

¿QUIÉN HACE CONEXIONES COMO YO?
ESQUEMA DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO



ASTRÓNOMA: _____

Une con líneas de diferente color, el esquema del circuito de la columna central, con la(s) correspondiente(s) conexión(es) real(es) de las columnas laterales.



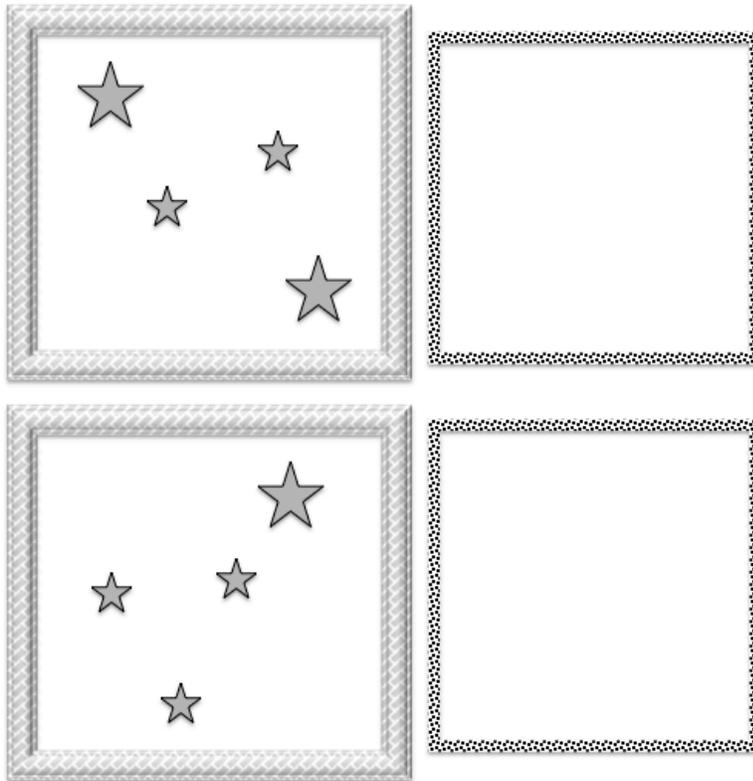
H. Anexo: Taller “Modelo de una constelación”

MODELO DE UNA CONSTELACIÓN

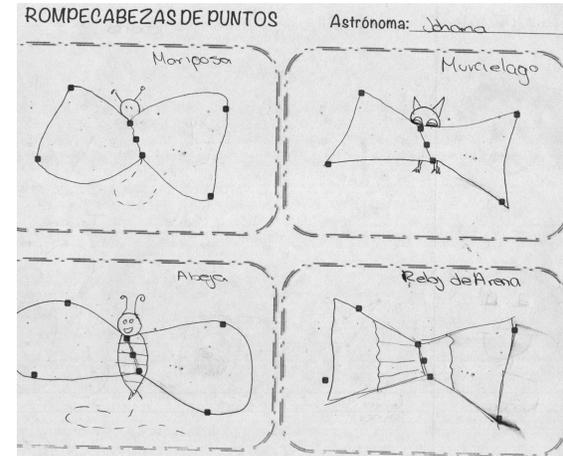
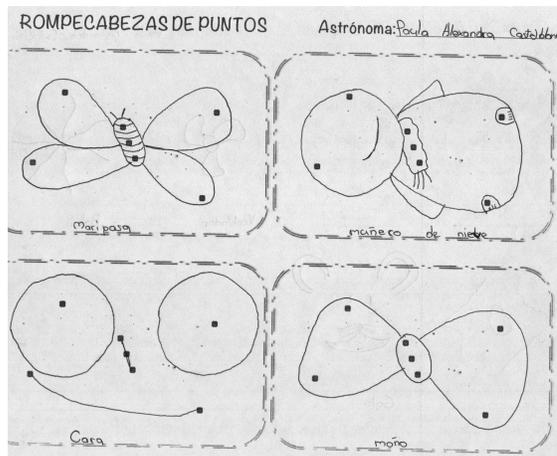
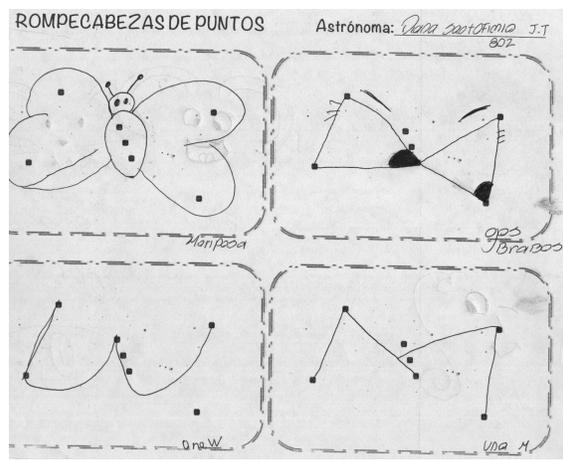
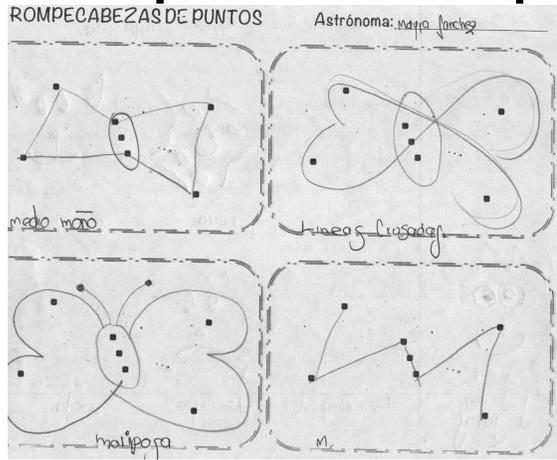
ASTRÓNOMA: _____



El tamaño de cada estrella en los siguientes esquemas, está relacionado con su brillo. Realiza las conexiones adecuadas entre ellas, para que luzcan con brillos diferentes. Dibuja el esquema del circuito en el cuadro en frente de la constelación. Luego prueba tus constelaciones con [leds](#).



I. Anexo: Solución de Talleres "Rompecabezas de puntos"



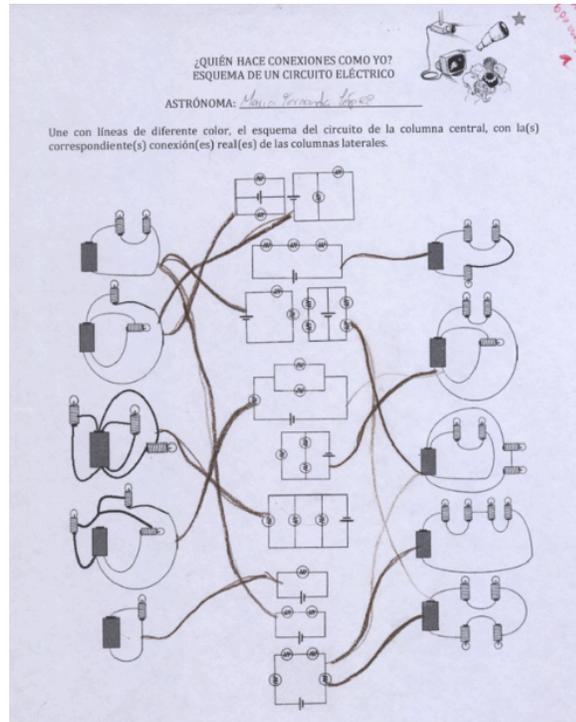
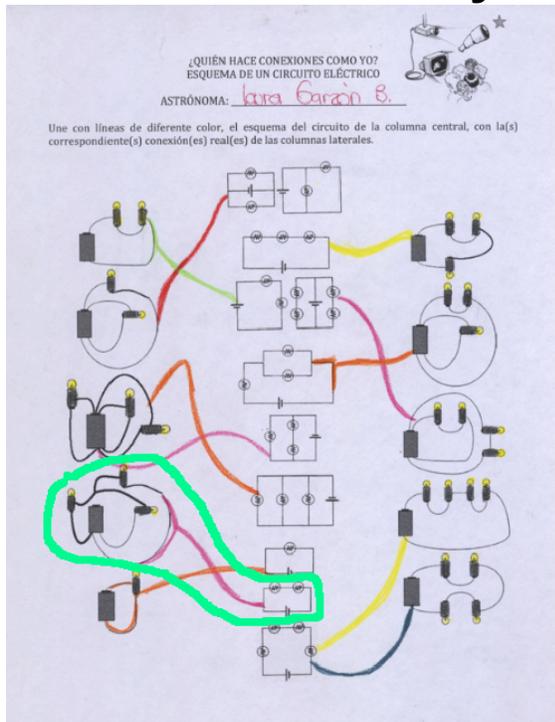
J. Anexo: Exposiciones de las estudiantes



K. Anexo: Actividad “Letras extrañas”



L. Anexo: Solución talleres “¿Quién hace conexiones como yo?”

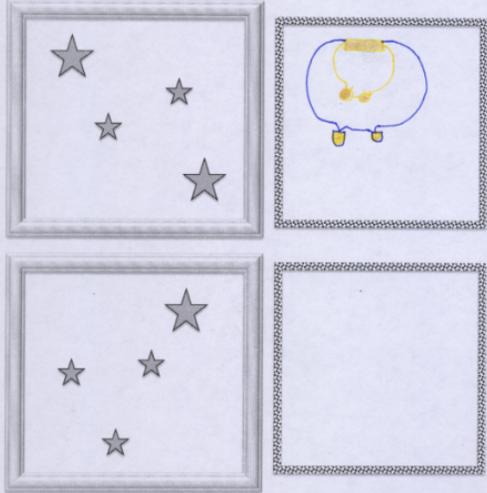


M. Anexo: Solución talleres “Estrellas de colores y brillos diferentes”

MODELO DE UNA CONSTELACIÓN

ASTRÓNOMA: Mari Yanesca S.P

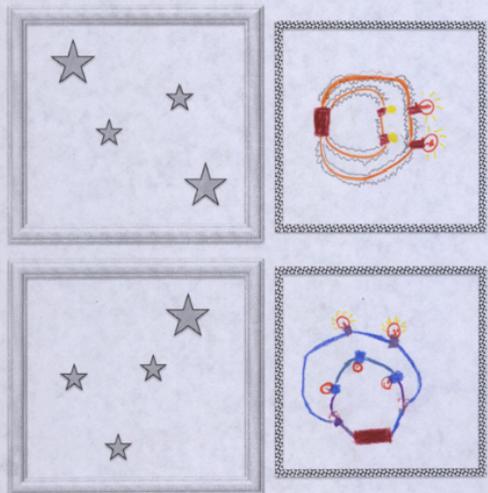
El tamaño de cada estrella en los siguientes esquemas, está relacionado con su brillo. Realiza las conexiones adecuadas entre ellas, para que luzcan con brillos diferentes. Dibuja el esquema del circuito en el cuadro en frente de la constelación. Luego prueba tus constelaciones con leds.



MODELO DE UNA CONSTELACIÓN

ASTRÓNOMA: _____

El tamaño de cada estrella en los siguientes esquemas, está relacionado con su brillo. Realiza las conexiones adecuadas entre ellas, para que luzcan con brillos diferentes. Dibuja el esquema del circuito en el cuadro en frente de la constelación. Luego prueba tus constelaciones con leds.



N. Anexo: Modelo de la constelación Orión.



Bibliografía

Agencia de Noticias UN. (2012). Las Matemáticas y el desarrollo de la Astronomía moderna. Entrevista al profesor Benjamín Calvo. Recuperado en junio de 2013 <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/las-matematicas-y-el-desarrollo-de-la-astronomia-moderna.html>

Astronomical Society of the Pacific. (2002). El Universo a sus Pies: Actividades y Recursos para Astronomía. Edición en Español. San Francisco CA: Project Astro.

Boylestad R. L., y Nashelsky L. (2003) Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. México. Pearson Prentice Hall.

Campanario, J. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 1999, 17 (2), 179-192. Recuperado en junio de 2013 <http://www2.uah.es/jmc/an11.pdf>

Campos, M. (2009). Conceptos errados en circuitos eléctricos “Dificultades relacionadas con la corriente eléctrica en un circuito de corriente continua”. *Ciencia Ahora*, 24. Recuperado en junio de 2013 http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/cursos/material_de_apoyo-F-C-CIFH/3MaterialdeapoyocursosINA/Fundamentoselectronicaparainformaticos/Conceptoserrados.pdf

Duit, R. y Rhöneck, C. (1997). Aprender y comprender los conceptos claves de la electricidad. En Resultados de Investigaciones en Didáctica de la Física en la Formación de Docentes. Publicado por la Comisión Internacional de la Enseñanza de la Física (ICPE). Recuperado en junio de 2013 <http://icar.univ-lyon2.fr/Equipe2/coast/ressources/ICPE/espagnol/toc.asp>

Engelhardt, P. (1997). Examining students' understanding of electrical circuits through multiple-choice testing and interviews (PhD. Dissertation, North Carolina State University). Recuperado en junio de 2013 <http://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=11585&DocID=2500>

Floyd, T. L. (2012). Electronic devices: electron flow version. United States of America. Pearson Prentice Hall.

Furió, C. y Guisasola, J. (1997). Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), 259-271. Recuperado en junio de 2013 <http://ddd.uab.es/record/22194?ln=es>

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*, 3(3), 165-188. Recuperado en junio de 2013 http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID43/v3_n3_a1998.pdf

Furió, C. y Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 441-452. Recuperado en junio de 2013 <http://ddd.uab.cat/record/1458>

Garzón, I. (2012). El Concepto de Fuerza Electromotriz en Cursos Introductorios de Física en la Universidad: Dificultades de Aprendizaje y la Presentación del Concepto en los Libros de Texto. (Tesis Doctoral, Universidad de Valencia: Departamento de Didáctica de las Ciencias) Recuperado en junio de 2013 <http://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/24919/Tesis%20Final.pdf?sequence=1>

Giancoli, D. (1997). Física: principios con aplicaciones. México: Prentice Hall.

Guisasola, J., Montero, A. y Fernández, M. (2005). Concepciones de futuros profesores de ciencias sobre un concepto «olvidado» en la enseñanza de la electricidad: la fuerza electromotriz. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 47-60. Recuperado en junio de 2013 <http://ddd.uab.es/pub/edlc/02124521v23n1p47.pdf>

Guisasola, J., Montero, A. y Fernández, M. (2008). La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30-1, 1604. Recuperado en junio de 2013 <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/301604.pdf>

Halliday, D. y Resnick, R. (1970). Física Parte II. México: Compañía Editorial Continental S. A.

Martín, A., Muñoz, T. y Rodríguez, A. (1989). Experiencias de investigación - acción sobre el aprendizaje por descubrimiento de los circuitos eléctricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 168-172. Recuperado en junio de 2013 <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/51252/92996>

Pasachoff, J., Stavinschi, M. y Hemenway M. (2012). Historia de la astronomía. En 14 pasos hacia el Universo: Curso de Astronomía para profesores y posgraduados de ciencias. Red para la educación astronómica en la escuela NASE Unión Astronómica Internacional UAI. Unión Europea. Recuperado en octubre de 2013 http://sac.csic.es/astrosecundaria/z_Old_web/libro/llibre_castella.pdf

Periago, M. C. y Bohigas, X. (2005). Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7 (2). Recuperado en junio de 2013 <http://redie.uabc.mx/vol7no2/contenido-periago.html>

Portilla, J. G. (2001). Elementos de Astronomía de Posición. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Observatorio Astronómico Nacional.

Pro, A. y Rodríguez, J. (2010). Aprender competencias en una propuesta para la enseñanza de los circuitos eléctricos en educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 385–404. Recuperado en octubre de 2013 <http://ddd.uab.cat/record/64501>

Psillos, D. (1997). Enseñar la electricidad elemental. En Resultados de Investigaciones en Didáctica de la Física en la Formación de Docentes. Publicado por la Comisión Internacional de la Enseñanza de la Física (ICPE). Recuperado en junio de 2013 <http://icar.univ-lyon2.fr/Equipe2/coast/ressources/ICPE/espagnol/toc.asp>

Ridpath, I. (2000). Estrellas. Traducción de Germán Puerta Restrepo. Colombia: Panamericana Editorial Ltda, 2006.

Roller, D. E. y Blum, R. (1986). Física: Electricidad, Magnetismo y Óptica. España: Editorial Reverté.

Solano, F. (2003). Enseñanza de la Electricidad desde una perspectiva constructivista en los diferentes niveles del sistema educativo: determinación de preconcepciones y propuesta de la utilización de nuevas metodologías didácticas para su corrección. (Tesis doctoral, Universidad de Extremadura: Departamento de Física). Recuperado en junio de 2013 <http://dehesa.unex.es:8080/xmlui/handle/10662/456>

Tecnológico de Monterrey. (s.f.). Aprendizaje Basado en Problemas. Técnicas didácticas. Recuperado en junio de 2013 http://sitios.itesm.mx/va/diie/tecnicas/didacticas/2_2.htm

Tecpan, S., Treviño, M. y Zavala, G. (2010). Enseñanza de la física por analogías y razonamiento científico. Ponencia presentada en el IV Congreso de Investigación, Innovación y Gestión Educativas. Tecnológico de Monterrey. Monterrey, México. Recuperado en junio de 2013 http://ciige.mty.itesm.mx/memorias/CIIGE_IV/undefined/memorias/area2/folio83.pdf

Testa, I. (2008). Electric Circuits for Prospective Elementary Teachers - The Educational Reconstruction Model in the design, development and evaluation of a Teaching-Learning Path about Electric Circuits for Prospective Elementary

Teachers based on Logical Circuits and Equivalent Resistance. (Dissertation Thesis Dottorato di Ricerca in Matematica e Fisica, Università degli Studi di Udine) Recuperado en octubre de 2013 <http://www.yumpu.com/en/document/view/7069721/learning-difficulties-about-electric-circuits-dipartimento-di-fisica>

Torres, S. y Fierro, J. (2009). Nebulosas planetarias: la hermosa muerte de las estrellas. México: Fondo de Cultura Económica.

Varela, P., Manrique M. y Favieres, A. (1988). Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza - aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 285-290. Recuperado en junio de 2013 <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/download/51105/92974>

Williams J. E., Trinklein F. E., Metcalfe H. C. y Lefler R. W. (1972). Modern Physics. United States of America. Holt, Rinehart and Winston, Inc.

Zamorano, R., Gibbs, H. y Viau, J. (2006). Modelización analógica en la enseñanza de circuitos de corriente continua. *Journal of Science Education*, 1 (7), 30-33. Recuperado en junio de 2013 http://www.cienciamao.if.usp.br/dados/epef/_modelajeanalogicoenlaens.urldotrabalho.pdf