



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DE LA CONVERGENCIA DE LÍNEAS DE FARADAY
A LA DIVERGENCIA DE MAXWELL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

F I S I C O

P R E S E N T A :

NARCISO ENRIQUE FLORES MEDINA



DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARÍA DEL PILAR SEGARRA ALBERÚ

2004



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Flores Medina
Narciso Enrique

FECHA: 2 de diciembre de 2004

FIRMA: NGEM

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:
"De la Convergencia de Líneas de Faraday a la Divergencia de Maxwell"

realizado por Flores Medina Narciso Enrique

con número de cuenta 07820515-0 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

A t e n t a m e n t e

Director de Tesis
Propietario

Propietario	Dra. María del Pilar Segarra Alberú	
Propietario	M. en C. Ignacio Campos Flores	
Suplente	Dra. María de los Angeles Ortiz Flores	
Suplente	M. en C. Julieta Fierro Gossman	
	Fís. Ricardo César Arzate Trujillo	

Consejo Departamental de Física

M. EN C. ALICIA ZARZOSA PÉREZ
Coordinadora de Licenciatura

Dedicada a:

Mi abuelita "Mamá Cueta", por su inmensa ternura.

Mis padres, por su apoyo.

Mi esposa, por caminar junto a mí.

Mi niña, por cambiar mi vida.

Agradecimientos:

Agradezco a mi directora de Tesis: Dra. María del Pilar Segarra Alberú, por su enorme paciencia, su gran calidad humana y por sus sabios consejos a lo largo de todos estos años.

Sin su apoyo nunca hubiera podido concluir esta tesis.

A los sinodales, por sus valiosas aportaciones que enriquecieron mi visión, espero haber entendido sus señalamientos.

A mis compañeros, que siempre me estuvieron impulsando (fastidiando), para concluir la tesis.

A mi familia, por confiar en que lo iba a lograr.

Gracias.

N. Enrique Flores Medina.

ÍNDICE

1. Problema de la enseñanza de la Física

1.1 Acerca de la enseñanza de la Física	6
1.2 Acerca de la enseñanza del Campo Magnético	8

2. Historia de las ideas del Campo Magnético, hasta el siglo XIX

Época Precientífica:	11
2.1 Cultura China	
Época Científica:	
2.2 Los Griegos	12
2.3 La Edad Media	15
2.4 Edad Moderna	16
2.5 Siglo XVIII	18
2.6 Siglo XIX	20
2.7 Reflexiones	25

3. Modelo físico del Campo Magnético

3.1 Concepto de circulación	28
3.2 Rotacional y teorema de Stokes	31
3.3 Interpretación física del flujo	33
3.4 Divergencia y teorema de Gauss	34
3.5 Ecuación de movimiento de una partícula cargada, moviéndose en un Campo Electromagnético (Fuerza de Lorentz)	37
3.6 Conservación de la carga y la ecuación de continuidad	40
3.7 Ley de Coulomb y ley de Gauss para cargas eléctricas	42
3.8 Campo Magnético para sistemas en movimiento	43
3.9 Ley de Biot-Savart	47
3.10 Ley de Gauss para magnetismo	51
3.11 Ley de Ampere	52
3.12 Ley de Faraday	54
3.13 Síntesis de Maxwell, para corriente continua	55

4. Modelos de enseñanza

4.1 Transmisión-Recepción	58
---------------------------	----

4.2 Por Descubrimiento	61
4.3 Constructivismo	63
4.4 Investigación Dirigida	65
4.5 Cambio de actitud, metodológico y conceptual	67
5. Propuesta didáctica para abordar la problemática de la enseñanza del Campo Magnético	73
6. Secuencia Didáctica	
Actividad I: Experimentando con imanes	80
Actividad II: Espectro y polos del imán	83
Actividad III: Interacción imán-imán y brújula-imán	85
Actividad IV: Asignar nombre a los polos del imán	87
Actividad V: Polos del imán	93
Actividad VI: Electroimanes	95
Actividad VII: Campo en una bobina	101
Actividad VIII: Corriente eléctrica inducida por un campo magnético variable	106
Actividad IX: Movimiento de cargas eléctricas en un campo magnético	109
Conclusiones	114
7. Bibliografía	116

INTRODUCCIÓN

La principal preocupación de los docentes es lograr que los estudiantes aprendan, para alcanzar este objetivo, se investiga que modelos de enseñanza existen para contrastar y seleccionar las ventajas que mas se adecuen a las características de los actores educativos e infraestructura. Es importante poseer una sólida formación en la disciplina que se imparte, ya que en la medida que se tienen claros los conceptos, se diseñan actividades para el aprendizaje desde diferentes ángulos.

Otra situación que enfrentan los docentes, es lograr que los estudiantes perciban que la ciencia surge de las necesidades cotidianas e intelectuales, por lo que se recurre a la historia para conocer los problemas que originaron determinados conceptos y contextualizarlos.

Parafraseando a Feyerabend, se puede afirmar que para alcanzar el éxito en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física, todo se vale.

En particular la enseñanza del Electromagnetismo en el nivel medio superior ha sido un tema poco abordado debido a su dificultad conceptual y matemática, tanto para los profesores como para los estudiantes; sin embargo estoy convencido que se puede enseñar de manera conceptual los puntos fundamentales e incluso hacer una síntesis de las leyes de Maxwell.

Esto significa que el docente debe conocer el formalismo matemático, por lo que en la presente tesis se hace una propuesta conceptual para los estudiantes y también se aborda de manera matemática para los profesores.

Así en el capítulo 1, se plantea le problemática acerca de la enseñanza del Magnetismo en el cuarto año de la ENP.

En el capítulo 2, se realiza un recorrido a lo largo del tiempo para indagar las ideas principales de las cuales surgió la teoría Electromagnética y de manera somera, cómo fue evolucionando la ciencia en general y la Física en particular. Se empieza con una breve descripción de una de las grandes culturas antiguas: China, ya que conocían la brújula y aplicaban los fenómenos magnéticos a otras actividades.

Se sigue con los griegos, porque fueron los promotores de una de las grandes revoluciones científicas al pasar de unos conocimientos observacionales a conocimientos generales obtenidos a través del trabajo intelectual, además conocían algunos fenómenos magnéticos y eléctricos.

Fue hasta la Edad Media y debido a la necesidad de navegar de manera segura que se construyeron brújulas de manera "masiva", en esta etapa hay que recordar al soldado Pedro "El Peregrino" que con gran acuciosidad escribió en 1269, el primer tratado de magnetismo.

De esta manera se llega a la Edad Moderna, principios del siglo XVII, para ser más precisos, cuando el brillante médico real William Gilbert, escribe su tratado conocido como "De Magnete", en el cual muestra los avances hasta esa época.

No se realizaron grandes avances en las décadas posteriores, fue hasta finales del siglo XVIII, donde surge una pléyade de científicos como: Galvani, Volta, Franklin, Cavendish,

Coulomb, Thomson (Lord Kelvin), entre otros. Dejando todo listo para establecer en el siglo XIX, la Teoría Electromagnética.

Desde los inicios del siglo XIX, ocurrieron espectaculares descubrimientos como el de Oersted y estudios sistematizados, escritos de manera minuciosa como los de Faraday, Ampere, etc.

Para el "bum" solo faltaba la genialidad de James C. Maxwell, quién establece en lenguaje matemático la Teoría Electromagnética.

En el capítulo 3, después del recorrido temporal, se retoman las ideas fundamentales del siglo XIX y se establece de manera matemática las ideas principales del Electromagnetismo, haciendo énfasis en la Magnetostática, debido a que es lo que se enseña en el primer año de bachillerato de la ENP.

Se parte de que las ecuaciones de Maxwell son válidas, existen suficientes elementos que lo avalan. Así primero se deduce la ecuación para una partícula cargada, moviéndose en un campo electromagnético (fuerza de Lorentz) y con esta herramienta se deducen las ecuaciones de la Magnetostática, incluyendo la ley de Gauss para cargas eléctricas. Finalmente se hace una síntesis de las ecuaciones de Maxwell, para corrientes continuas, que es un caso particular del Electromagnetismo.

En el capítulo 4 se analizan cinco modelos de enseñanza:

- Transmisión-Recepción
- Por Descubrimiento
- Constructivismo
- Investigación Dirigida
- Cambio de actitud, metodológico y conceptual

Con base en este estudio comparativo se retoman las bondades de cada uno de los modelos para realizar la secuencia didáctica, apoyada fundamentalmente en el modelo constructivista.

La propuesta no es autodidacta, se tienen que reconstruir los conceptos de manera social a través de la discusión y reflexión de los actores educativos.

Para la construcción de la secuencia didáctica del capítulo 6, se utilizan los siguientes elementos:

- Preguntas abiertas para identificar las concepciones previas.
- Preguntas cuyo objetivo es crear conflicto cognitivo en los estudiantes.
- Experimentos sencillos que sirven para generar la discusión en el equipo y desarrollar las habilidades de predicción.
- Preguntas de reflexión con la finalidad de que los alumnos puedan aplicar los conceptos a situaciones nuevas.
- Tarea para relacionar el concepto construido en el aula con su entorno.

Los puntos que se abordan en la secuencia son:

- Experimentando con imanes
- Espectro y polos del imán

- Interacción imán-imán y brújula-imán
- Asignar nombre a los polos del imán
- Polos del imán
- Electroimanes
- Campo en una bobina
- Corriente eléctrica inducida por un campo magnético variable
- Movimiento de cargas eléctricas en un campo magnético

Con esta propuesta se logra que los estudiantes cambien sus concepciones previas como se muestra en las tablas de la conclusión, el problema de los procesos de enseñanza-aprendizaje es complejo y el camino para su solución es largo y escabroso, a pesar de esto hay que proponer soluciones, es nuestro trabajo.

CAPÍTULO 1:

1.1 Acerca de la Enseñanza de la Física

Generalmente uno piensa que para enseñar es suficiente “dominar” el área del conocimiento que se imparte.

Sin embargo cuando empecé a impartir clases en el Conalep, posteriormente en la Escuela Nacional Preparatoria y en preparatorias incorporadas a la UNAM, me di cuenta que esto es necesario pero no suficiente.

En primer lugar no sólo es enseñar, también existe la parte de aprender, lo que significa que son dos procesos: Enseñanza-Aprendizaje, que aunque están íntimamente ligados se dan en dos actores educativos diferentes.

Así empecé a entender porque me sentía frustrado en cada “evaluación” que realizaba a los estudiantes; sin embargo, al compartir mis cuitas con los profesores de “experiencia”, argumentaban:

“Los estudiantes son flojos y no estudian”

“Estamos en una universidad de masas”

“Los estudiantes vienen mal de la secundaria”

Estas justificaciones no lograban aquietar mi frustración ni mis dudas, parecía que la Física era para unos cuantos superdotados.

Percibí que uno de los problemas en el bachillerato, es que generalmente se utiliza el modelo de enseñanza Transmisión-Recepción, en el cual se pide a los estudiantes que reproduzcan los contenidos tal como el maestro los imparte, sin dar oportunidad a que expresen sus ideas y desarrollen sus habilidades.

A lo largo de mi experiencia docente, en la Escuela Nacional Preparatoria me he dado cuenta que a través del modelo de enseñanza Transmisión-Recepción y del trabajo tradicional de laboratorio, los estudiantes no logran adquirir una visión para explicar su entorno, debido a que los conceptos impartidos en el aula no tienen significado en su vida diaria, por lo que existe una Física escolar y otra para su realidad (Gil, 1991), aunque esto me parecía grave, lo que más me inquietó fueron los resultados insatisfactorios en las notas de los estudiantes.

Bajo esta línea, se observa que los estudiantes difícilmente modifican sus esquemas cognitivos, lo que conlleva a que repitan en los instrumentos de evaluación lo que “dijo el maestro” y entre más fiel sea la copia más seguros se sentirán y mejor calificación obtendrán (Jiménez, P. 1999).

El que mencione solamente a la Escuela Nacional Preparatoria, no significa que los demás centros educativos estén exentos de la problemática de la enseñanza de las ciencias y en particular de la Física, sino que en ésta institución es la única donde tuve los elementos necesarios para realizar una propuesta de solución acerca del problema de la enseñanza de la Física en el nivel medio superior.

Otro de los problemas que observé, es que en los procesos de enseñanza-aprendizaje, el lenguaje matemático desanima a los estudiantes de bachillerato que no están orientados al estudio de las ciencias.

No obstante, estoy convencido que el problema en sí, no son las matemáticas, sino la forma de abordar los problemas en el aula, ya que generalmente no se enseña a los estudiantes a resolver problemas en los cuales tengan que plantear hipótesis y hacer una reflexión de como obtener la solución, ya que sólo se limita al manejo de "fórmulas" y la obtención de un número que no tiene significado para ellos y muy a su pesar lo buscan afanosamente porque al encontrarlo piensan que el problema está resuelto.

La nueva información que se les transmite a los estudiantes, la consideran carente de significado, por lo que no perciben la necesidad de utilizar el modelo científico, ya que suele representar algo indescifrable, lleno de términos raros y ecuaciones que no pueden interpretar. A pesar de que son capaces de memorizar las definiciones y manejar el modelo matemático, tal parece que la ciencia sirve para explicar los fenómenos de otro planeta ajeno al que viven (Bravo, 1990).

Sin embargo, al presentarles una **Física Conceptual** con la cual pueden explicar su entorno, desarrollan un razonamiento más analítico y crítico que a su vez mejora su intuición Física, obteniendo una mejor percepción de la naturaleza, entonces las ecuaciones se convierten en una guía para razonar, más que símbolos de manipulación algebraica.

Con este enfoque, la Física se vuelve accesible para la mayoría de los estudiantes y adquiere sentido. Es importante comprender conceptualmente las ideas, desarrollar la capacidad de predicción y encontrar los principios de la naturaleza, observando que son pocos y sirven para explicar una gran cantidad de fenómenos. La enseñanza de la Ciencia debe estar dirigida a comprender el mundo que nos rodea.

Para proponer una solución al problema de la enseñanza de la Física, me puse a indagar una forma diferente de enseñar. Encontré que es recomendable partir de las concepciones previas de los estudiantes, las cuales generalmente no concuerdan con las aceptadas por la comunidad científica, sin embargo, estas concepciones poseen cierta coherencia y no son fáciles de modificar, debido a que las vienen arrastrando desde la cuna. A decir de Pozo (1996), las ideas de los estudiantes están demasiado arraigadas, por lo que se convierten en un enemigo más a vencer dentro del aula, si no se les toma en cuenta o si se manejan inadecuadamente.

Esta problemática obliga a utilizar un modelo de enseñanza más orientado en los intereses de los estudiantes, donde aprendan a interpretar los datos del mundo real y sobre todo que perciban la utilidad del nuevo aprendizaje (Varela et al, 1997).

Por ende, se considera importante crear en el aula un ambiente propicio para la reflexión, la libre expresión y discusión de las ideas, sin que ellos se sientan calificados y lograr que sus explicaciones sean lo más general posible y no tengan una para cada fenómeno en particular.

Para realizar la propuesta de enseñanza, seleccioné el tema del magnetismo, debido a que desde niños sentimos fascinación por los imanes, es algo maravilloso poseer un tesoro que "contiene" fuerza.

Además de que actualmente vivimos inmersos en un mundo lleno de campos eléctricos y magnéticos, utilizando a cada momento aparatos que funcionan con estos principios, desde los domésticos, el transporte masivo hasta los utilizados en la medicina y en la guerra.

1.2 Problemática de la Enseñanza del Campo Magnético

La teoría del Electromagnetismo es complicada conceptualmente, sólo hay que recordar lo elusiva que fue para grandes investigadores de antaño y la revolución que se generó cuando se observó que la fuerza no era newtoniana, se tuvo que esperar la llegada y la conjunción de dos genios, uno experimental como Michael Faraday y el otro un visionario teórico James C. Maxwell, para poder comprender y establecer los conceptos de la teoría electromagnética.

La matemática utilizada en ésta teoría no está al alcance de los alumnos de 4° año de bachillerato, sin embargo es importante que los estudiantes adquieran los conceptos fundamentales del Electromagnetismo.

Una vez que estuve convencido de que es posible enseñar de otra manera la Física, me di cuenta que para lograr que los estudiantes se entusiasmen por la ciencia, se debe partir de sus intereses y motivarlos para que expresen sus ideas.

Así que decidí obtener las ideas previas de los estudiantes, algunas de ellas son:

Los imanes:

1. Atraen a todos los metales.

Estudiante: "Tus aretes de oro son chafas, no los atrae el imán, te engañaron"

Se observa que prefieren dudar de la calidad del metal a cambiar su idea.

2. Tienen fuerza

Estudiante: "El imán atrae a los objetos metálicos, porque tiene fuerza"

3. Son fabricados con materiales metálicos, por lo tanto son rígidos.

Estudiante: "Esto no puede ser un imán, porque se dobla"

Difícilmente imaginan un imán flexible, aún cuando hayan jugado con el imán de cinta, que se usa en la puerta de los refrigeradores.

4. Tienen carga electrostática en sus extremos, en uno positiva y en el otro negativa.

Estudiante: "El imán atrae a los metales, por su carga eléctrica, como cuando se frota una regla con el pelo"

5. El polo norte tiene mayor intensidad.

Estudiante: "El polo norte es más fuerte, por eso los imanes siempre apuntan hacia allá."

Los estudiantes no hablan de:

6. Campo Magnético.

Estudiante: "La fuerza del imán, no llega hasta allá, por eso no jala al clip."

Se puede deducir que están pensando en acción a distancia.

7. Corriente eléctrica.

Estudiante: "A los electroimanes, se les acaba la fuerza, cuando se les quita la carga."

Estas son las concepciones previas más relevantes, en el capítulo 5, que es la propuesta didáctica, se describen otras concepciones previas de los estudiantes, en el capítulo 6, se presenta la secuencia para superarlas.

Capítulo 2

HISTORIA DE LAS IDEAS DE CAMPO MAGNÉTICO

Introducción

En este capítulo se hace un recorrido a través del tiempo para contextualizar el surgimiento y evolución de los conceptos físicos y en particular acerca de las ideas y utilización del campo magnético. Se parte de las ideas de las grandes culturas, para apreciar el desarrollo de los conceptos físicos y el cambio de metodología de la ciencia a lo largo de los siglos.

Así se nota que todo camino hacia la adquisición de un conocimiento nuevo, debe partir de una situación en la que se dispone de conocimiento adquirido previamente para evitar buscar a ciegas.

En el recorrido histórico, se observa que el primer conocimiento se adquiere a través de los sentidos, el ser humano al utilizar la ciencia va más allá de eso, repitiendo experiencias para aprender. Así la ciencia se convierte en una elaboración consciente de la experiencia suministrada por los órganos sensoriales.

Debido a que la ciencia es una actividad social y surge del esfuerzo cooperativo, es coordinada por el medio más poderoso de cohesión y desenvolvimiento social: **El Lenguaje**

Desde este punto de vista, las teorías y ecuaciones de la ciencia son únicamente extensiones esmeradas del proceso de construcción del lenguaje. Así algunas culturas refieren la importancia del lenguaje para poder trabajar de manera grupal, los hebreos narran la imposibilidad de construir la torre de Babel, cuando ya no existe comunicación.

En este sentido, la ciencia es uno de los testimonios irrefutables de la existencia esencialmente progresiva y social del ser pensante, sin embargo de acuerdo con Feyerabend (Chalmers, 2001), no existe una ciencia o modo de hacer ciencia superior a otro. Sólo existen diferentes formas de adquirir y crear conocimiento, por lo que no se pueden comparar de manera ingenua los diferentes conceptos generados en cada época.

Es importante tomar en cuenta que, a lo largo del desarrollo de la ciencia han existido tres ideas creativas:

- ♣ La del orden, para los antiguos la ciencia consistía esencialmente en ordenar las cosas, para llegar a determinar su naturaleza. Pretendían responder el ¿por qué?
- ♣ La idea de causa mecánica, durante la edad media pasó a ser la búsqueda de las causas de los fenómenos. Bajo este esquema intentaban responder el ¿cómo?

- ♣ La idea de probabilidad, buena parte de la ciencia moderna tiene como concepto primordial la probabilidad de ocurrencia de las distintas posibilidades de comportamiento. En esta etapa se cuestiona, si la realidad es la misma para todos.

No obstante se ha identificado que en los problemas científicos, la mayor dificultad está en establecer correctamente la pregunta.

Comienza el viaje desde una de las grandes culturas antiguas que aún no tenía una ciencia con marco teórico: China. Posteriormente se habla de manera más detallada de la Cultura Griega que desarrolló un vasto conocimiento especulativo. Finalmente se continúa por la Edad Media, la Edad moderna, hasta llegar al Siglo XIX, donde se establece el sustento matemático de la Teoría Electromagnética.

Época Precientífica

2.1 Cultura China

El uso de la "piedra magnética" como brújula se adscribe a los chinos, de acuerdo con una leyenda, Hoang-ti, personaje mítico, construye una "carroza del sur" (Tagüeña, 1989). La leyenda dice que Hoang-ti, fundador del Imperio chino, persigue con sus tropas a un príncipe rebelde y se pierde en la niebla. Para orientarse construye esta brújula en la cual la figura de una mujer siempre apunta al sur. Así atrapa a los rebeldes.

De Swam (1995), menciona que en la edad media los chinos ya utilizan las brújulas en la navegación y consideran que las brújulas apuntan hacia el norte. Las explicaciones que dan son:

- Existen grandes yacimientos de magnetita en el norte.
- Los imanes tenían algo de cielo, ya que se orientan según la posición de las estrellas.

Esta cultura también se preocupa por el lugar en que deben ser enterrados, escogen el lugar apropiado para construir su tumba. Una de las formas de determinar la ubicación de la tumba, es hacer girar un objeto sobre el tablero geomántico, el objeto que gira es fabricado de diversos materiales, incluso de magnetita, mientras los objetos de otros materiales dan resultados aleatorios, la magnetita siempre señalaba en la misma dirección. Así nace la brújula (Bernal, 1975).

Se puede apreciar que los conocimientos de ésta gran cultura son observacionales y con fines religiosos, no intentan generalizar sus observaciones para desarrollar teorías; sin embargo son útiles para establecer conocimientos ulteriores.

Época Científica

2.2 Los Griegos

A partir del siglo XII a.e. empieza la cultura griega, que a la postre fue de los pueblos que más se han ocupado de la ciencia y sus ideas han tenido gran influencia en nuestra cultura actual.

La ciencia griega nace en el norte de la franja occidental del Asia menor, llamada Jonia, concretamente en la ciudad de Mileto. Las empresas mercantiles de los jonios los ponen en contacto con Egipto, Fenicia y Babilonia (Hull, 1981); culturas que tienen el germen de la ciencia y lo transmiten a la joven Cultura Griega.

La importancia de la ciencia griega surge alrededor del siglo VI a.e. Retoman los conocimientos observacionales de las culturas más antiguas e intentan por primera vez dar explicación a los fenómenos, por lo que desarrollan enormemente el intelecto humano.

A decir de Bernal (1999), el pueblo griego es el único de la antigüedad que procura apropiarse de todos los conocimientos que todavía se mantienen de las grandes civilizaciones como, Creta, Egipto, Fenicia y Mesopotamia.

A pesar de las constantes guerras destructivas que ocurren muy a menudo en aquella época, hacen una recopilación y adaptación de los conocimientos a su idiosincrasia, rebasándolos por mucho, llegan a conocimientos más abstractos y racionales, no obstante se mantienen alejados de las cuestiones prácticas.

De acuerdo con Thomas Khun (1996), en este momento se da un cambio de paradigma, ya que se cambia la metodología y se observa con otra óptica al mundo, llegando a intentar crear una ciencia que explique todo; es decir, a partir de datos observacionales crear teorías generales, con las cuales explicar los fenómenos observados.

La ciencia griega se caracteriza por la lucha entre dos métodos en duro contraste:

a. El método filosófico, inspirado por el éxito en las matemáticas y según el cual el conocimiento se deduce de principios generales. El método filosófico predomina en Atenas. Su mayor aportación consiste en la obtención de propiedades generales a partir de premisas evidentes por sí mismas, llamadas axiomas, los cuales no requieren de ninguna justificación ni verificación experimental.

b. El método inductivo, en el que los principios generales, antes de ser utilizados como premisas, se derivan de la experiencia mediante la observación. El método inductivo es utilizado durante algún tiempo en Alejandría y muchos siglos después en la ciencia moderna.

Desgraciadamente en la tradición filosófica se olvida la evidencia empírica de los axiomas, a pesar de su evidencia por sí misma. Tal vez porque parecen estar de acuerdo con la experiencia.

Finalmente suponen que esas proposiciones poseen una verdad absoluta y que dicha verdad puede ser adquirida por el pensamiento puro, sin necesidad de un soporte empírico.

Estas dos posturas comparten su creencia en la razón y en el poder del juicio humano, la única discrepancia es en como se aplica el juicio humano.

En este sentido Bachelard (2001), escribe:

“La función de la razón es provocar crisis y únicamente las crisis de la razón pueden instruir a la razón”

▲ Los Jónicos

Tales de Mileto alrededor del 600 a.e. ya habla del imán en forma detallada. Sabe que atrae al hierro y que los trozos de hierro atraídos, atraen a su vez a otros y así sucesivamente; es decir conoce el efecto de inducción, sin embargo; nunca relaciona los imanes con la orientación.

En otra línea, Leucipo y Demócrito desarrollan la teoría atomista, creen que los átomos son individuales e indestructibles, que se mueven en todas direcciones en el seno de un espacio vacío. Afirmando que todo lo que existe es átomo y vacío, los átomos son tan pequeños que escapan de la percepción humana.

Así las cosas que vemos o tocamos se componen de átomos agrupados y ordenados. El cambio físico no es más que la redistribución de los átomos, no hay alteración en el átomo. El movimiento del átomo se mantiene uniforme hasta que choca con otro átomo.

Puesto que Leucipo y Demócrito son los fundadores de la teoría atomista, es de esperar que al magnetismo lo enmarquen en esta teoría. Proponen la siguiente explicación (Tagüeña, 1989):

“El imán exhala partículas que penetran a través de los poros del hierro y que, al crearse el vacío, hacen que el hierro se sienta atraído al imán.”

▲ Los Atenienses

A finales del siglo V a.e. Jerjes intenta conquistar a Grecia, forma un ejército muy numeroso, compuesto mayoritariamente por mercenarios.

La ciudad de Atenas, encabeza la resistencia de las ciudades griegas, derrota a los invasores. Por lo que al finalizar la guerra, Atenas se convierte en la ciudad de mayor importancia y centro cultural y científico de la antigüedad.

Los filósofos más sobresalientes de esta escuela son Sócrates, Platón y Aristóteles que defienden el método filosófico.

Para Platón todas las ciencias que utilizan instrumentos y medidas son secundarias y despreciables. Con esta concepción se limita el uso de las matemáticas en la Física, por considerar que es indigno mezclar las cosas terrenas con la pureza de las matemáticas.

De acuerdo con esta concepción, el conocimiento es cuestión exclusivamente del razonamiento, por lo que nunca se recurre a la experimentación, la desprecian como un método plagado de errores y variaciones, por lo que nunca los lleva al verdadero conocimiento de la esencia de las cosas. Por lo tanto para conocer algo se considera que es suficiente la reflexión y de esta manera se revela la naturaleza de los fenómenos.

En su diálogo *Ión*, Platón hace decir a Sócrates que la magnetita no sólo atrae anillos de hierro, sino que les imparte un poder similar para atraer a otros anillos. De esta manera se forman cadenas de anillos colgados unos con respecto a otros. Estos son los llamados anillos de Samotracia, isla griega donde los mineros habían descubierto este fenómeno que en la actualidad llamamos magnetización por inducción.

Influenciado por las ideas de su época, Aristóteles parte de ciertos principios generales e indemostrables, ya que son evidentes por sí mismos, infiriendo las características de los cuerpos para llegar a la naturaleza de las cosas y deducir el cómo de su comportamiento, por medio de un razonamiento riguroso, con cierto número de observaciones inmediatas bastante pobres y limitadas; sin embargo los conceptos obtenidos están integrados en un sistema lógico impecable por lo que resulta exitoso.

Así en su libro IV de Física, esboza la existencia del lugar, lo que probablemente, después se llama éter:

"Lo primerísimo de todo por cierto fue Caos y después Gea de amplio pecho, como si fuera necesario que primero hubiera un espacio para los entes, por suponer, como la mayoría, que todo está en alguna parte y en un lugar. Pero si esto fuera así, la fuerza del lugar sería asombrosa y estaría ante todas las cosas, pues aquello que existe sin las demás cosas, sin ser algo de las demás cosas, es necesariamente lo primero"

Incluso empieza a asignarle propiedades:

"Teniendo la naturaleza que tiene, no es un elemento, ni tampoco puede consistir de elementos, ni de corpóreos, ni de incorpóreos; si bien tiene magnitud, no tiene cuerpo...de tal suerteno es ni parte, ni estado {de un cuerpo}, sino separable de cada uno."

Párrafos más adelante hace la siguiente aseveración:

"En primer lugar se debe tener en mente que no se investigaría qué es el lugar si no existiera el movimiento local....empere el lugar es inmóvil"

Se observa que el conocimiento científico de esa época, se caracteriza por buscar en la meditación y en la reflexión especulativa, respuesta a sus interrogantes sobre la naturaleza, sin verificar jamás sus conclusiones mediante la experiencia, esto no significa que no supieran realizar trabajo experimental, más bien lo consideran denigrante, sólo para personas inferiores, afirmando que **el trabajo práctico atrofia el cuerpo y el espíritu.**

2.3 Edad Media

La enseñanza cristiana exalta la revelación como única fuente de verdad y conocimiento, menospreciando la razón.

No obstante, debido a las necesidades comerciales de la época se fomenta la construcción de aparatos, así tiene gran auge la construcción de brújulas, ya que son utilizadas para la navegación.

Bernal (p.118) asegura que la brújula es inventada en el siglo VI d.e. y muy lentamente su uso se extiende hacia el occidente. Para su construcción se utiliza el fenómeno de inducción magnética.

Jeans (p.131), difiere y afirma que la primera descripción de la brújula de agua data del siglo XI d.e. Para su construcción, se utiliza una barra de hierro imantada sostenida sobre una tabla de madera y se coloca en un recipiente con agua para que se oriente.

La aguja imantada con pivote y la carta con la rosa de los vientos es inventada por los italianos en el siglo XIII.

Tal vez influenciado por la fiebre de las brújulas y el encanto de los imanes: el "8 de agosto del año del Señor 1269" (Tagüeña, p.12), Pedro el Peregrino de Maricourt, escribe su celebrada Epístola a Sygerius de Foucaucort. En él explica las propiedades de los imanes:

- ♣ Inducen el magnetismo.
- ♣ Tienen polos.
- ♣ Si se parte un imán se obtienen otros con dos polos cada uno.
- ♣ Polos contrarios se atraen y polos iguales se rechazan.

Asevera además que es de los polos magnéticos de la Tierra de donde los polos del imán reciben su virtud y discute sobre la aguja pivotada.

En cuanto al avance de la ciencia, es hasta el siglo XII cuando se empieza a hablar de la ciencia experimental, Roger Bacon escribe:

"En vista de que esta ciencia experimental es totalmente desconocida para el grueso de los estudiosos, soy incapaz de convencer a la gente de su utilidad a menos que al mismo tiempo revele su excelencia y verdadero significado. De esta forma, sólo esta ciencia sabe probar perfectamente lo que puede hacer la naturaleza..." En Bernal (1975, p.108)

2.4 Edad Moderna

A decir de Bernal (p. 319), una de las tareas más difíciles y tediosas para la fundación de la ciencia moderna, fue la eliminación de necesidades acumuladas en las épocas anteriores.

Así con respecto a la ciencia griega se tiene una ambivalencia, ya que por un lado se repudian las ideas griegas que han sido incorporadas sin crítica a la doctrina escolástica y por otro resucita el espíritu griego de libre investigación, en vez de la sumisión disciplinada a la autoridad.

Son personajes como: Copérnico, Galileo, Kepler, por mencionar solo algunos nombres, los que hacen la revolución científica de la época, proponen utilizar a las matemáticas como lenguaje de la ciencia y el método inductivo como el mejor camino para acceder al conocimiento y consideran que las cuestiones prácticas también ayudan al avance de la ciencia en todas las épocas. Así, la navegación es la que contribuye en esta ocasión.

Colón, a finales del siglo XV en su travesía por el Atlántico constata que la declinación cambia considerablemente a lo largo del viaje y a finales del siglo XVI Robert Norman el fabricante de brújulas, descubre la inclinación magnética al proponer que la brújula se mueva en un plano vertical.

En 1600 William Gilbert, médico de la Reina Isabel, publica el tratado *Magnete Magnetisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure Physiologia Nova*, mejor conocido como "De Magnete", es el primer libro realmente científico que trata de un problema científico utilizando una metodología experimental adecuada.

Bernal (p. 275), señala que Gilbert escribe:

"El supremo poder magnético está en el polo, mientras que el poder más débil y flojo está en las partes inmediatas al ecuador. Y como en la declinación se ve que esta fuerza ordenadora y rotativa crece cuando avanzamos desde el ecuador a los polos, así también el coito de los cuerpos magnéticos se hace más fuerte en los mismos grados y en la misma proporción. Porque en puntos lejanos del polo, la piedra magnética no tira de los cuerpos magnéticos en línea recta hacia su centro, sino que tienden hacia él oblicuamente...."

También observa que, la atracción entre el hierro y la magnetita puede ser aumentada "armando" la magnetita, esto es: poniendo casquetes de hierro en las juntas de la piedra. Esto hace que el peso que puede ser levantado aumente en un factor de cinco.

Gilbert detalla cómo se pueden hacer imanes por medio de tres métodos:

- Tocando objetos imantados
- Por deformación plástica
- Fabricando barras de hierro, calentándolas y dejándolas enfriar.

De hecho, estos métodos son los que se usan en la fabricación de imanes hasta 1820.

Asimismo Gilbert, establece la diferencia entre fenómenos eléctricos y magnéticos, al observar que el imán atrae solamente al hierro mientras que los cuerpos electrizados atraen a todos los cuerpos neutros, para esto construye una aguja de madera con pivote, mostrando que no interacciona con el imán, pero si lo hace con el cuerpo cargado, además establece que el agua es transparente al magnetismo, pero no a los fenómenos eléctricos.

A través de utilizar imanes esféricos a las cuales llamó terrellas, que significa Tierra pequeña, demuestra que existe una región alrededor de los imanes donde se perciben sus efectos, colocando brújulas cerca de la terrella pudo constatar que la dirección de las brújulas está determinada por los imanes. Por lo que concluye que la Tierra es un gran imán, debido a que interacciona con las brújulas y otros imanes.

Estos resultados lo entusiasman y usando analogías extrapola sus resultados al sistema copernicano, afirmando que las fuerzas entre los planetas son magnéticas y por lo tanto cumplen con la variación del inverso del cuadrado.

A pesar de haber logrado un avance importante en la ciencia, no logra desprenderse de las ideas de la época y así considera que no puede existir interacción si no hay contacto entre los cuerpos, por lo que se imagina que los cuerpos magnetizados están rodeados de un efluvio imponderable e invisible que se extiende a otros cuerpos, atrayéndolos hacia el que está magnetizado.

René Descartes (1596-1659), introduce el racionalismo en la ciencia, pero no le da importancia a la experimentación, no obstante ejerce una influencia considerable en su época. En la cuarta parte de sus Principia, elabora una teoría del magnetismo a través de vórtices, que no es más que una nueva versión de los efluvios del mundo clásico. Dicha teoría no resiste una comparación con los experimentos de Gilbert; sin embargo llega a la conclusión de que la existencia de imanes permanentes es consecuencia del Geomagnetismo.

Hasta ese momento no se ha aceptado de manera generalizada la utilización de las Matemáticas en el desarrollo de las ciencias y en particular de la Física.

Es sólo bajo la influencia de Galileo que se acepta adoptar a las matemáticas como lenguaje de la Física, el cual reemplaza a la metafísica en la descripción del universo y lo refleja en la siguiente frase:

"La filosofía está escrita en un gran libro siempre abierto ante nuestros ojos, pero uno no puede entenderlo sin entender su lenguaje y conocer los caracteres en que está escrito, esto es, el lenguaje matemático" (Bravo, 1997).

Con las aportaciones de Newton a finales del siglo XVII, se acepta de manera generalizada a las matemáticas como el lenguaje natural de la ciencia, pero desafortunadamente debido a lo fructífero de la teoría newtoniana, a todos los fenómenos les atribuyen una causa mecánica.

2.5 Siglo XVIII

El siglo XVIII es llamado frecuentemente la Era del Esclarecimiento (Arons, 1970). Ya que con las aportaciones de grandes personajes como: Leonhard Euler, Joseph Louis Lagrange, Pierre Simon de Laplace, se consolida la ciencia desarrollada durante el siglo anterior y avanza a pasos agigantados, tanto la Física como las Matemáticas, explotando de manera rápida la mecánica newtoniana, a tal grado que la explicación de los fenómenos naturales esta basada en principios mecánicos.

Por otro lado están las teorías del Calor y la Electricidad, cuyas explicaciones se fundamentan suponiendo la existencia de fluidos imponderables, estas teorías son especulativas y generalmente cualitativas; por lo que se mantienen apartadas de la exacta Mecánica, sin embargo; la influencia de Galileo y Newton hace que se le intente dar un tratamiento matemático y mecanicista a estas ramas de la Física.

En 1733 Du Fay propone la existencia de dos tipos de electricidad y en 1750 John Michell, inventa la balanza de torsión y constata que "la atracción o repulsión de los imanes decrece cuando los cuadrados de la distancia entre los respectivos polos aumenta" (Arons, p. 203). Como estas conclusiones no concuerdan con la teoría de vórtices, dan origen a teorías del magnetismo basadas en fluidos magnéticos.

Charles Agustín de Coulomb, modifica la teoría de los fluidos eléctricos y magnéticos, establece que la fuerza entre las cargas eléctricas varía con el inverso del cuadrado de la distancia entre ellas. Hizo la clara distinción entre cargas eléctricas y cargas magnéticas, debido a que estas últimas, nunca aparecen aisladas, sino en pares de polos magnéticos.

Una vez que se establece, que las interacciones entre polos, cargas y masas, varían de la misma manera, se sigue pensando que los fenómenos eléctricos y magnéticos están relacionados, aunque ya se ha aclarado que no son iguales.

Los científicos de aquella época se dan a la tarea de interpretar como ocurren dichas interacciones, llegando a la conclusión que se dan de forma instantánea, debido a que en la ecuación para estudiar estos fenómenos no aparece el tiempo. Por lo que a la interacción entre cuerpos la llamaron acción a distancia.

En 1745 en la Universidad de Leiden, se descubre el hecho de que en un recipiente de vidrio cubierto interior y exteriormente con un material metálico, se puede almacenar carga eléctrica, con la que se genera un choque al tocarla directamente o una chispa cuando se tocaba con otros objetos conductores.

Con estas botellas se puede estudiar a la electricidad de manera semicuantitativa a través de la intensidad de los choques y las chispas.

Cavendish hace medidas muy precisas acerca de la conductividad de diversos materiales, comparando las sensaciones fisiológicas de choque que él experimenta, descargando una botella de Leiden a través de diferentes materiales. Así determina la ley de Coulomb, la constante de atracción gravitacional entre las masas y la conducción de la electricidad; sin

embargo nunca publica sus investigaciones, se sabe de ellas hasta que Maxwell las da a conocer.

Durante las últimas décadas del siglo XVIII, el anatomista italiano Luigi Galvani, realiza experimentos con animales y observa que al tocar con un escalpelo un nervio en las ancas de rana, éstas se contraen bruscamente. Al seguir con sus experimentos encuentra que las contracciones ocurren cuando se hace contacto con un nervio por medio de cualquier conductor eléctrico, siempre y cuando las patas estén conectadas a tierra por medio de otro conductor eléctrico de diferente material.

También observa que con materiales no conductores, el efecto no ocurre y tiene la desventurada idea de que los animales son los generadores de cierto tipo de electricidad, ya que en esta época es bien conocido el fenómeno de que algunos animales marinos como el gimnoto y el pez torpedo, son capaces de un choque semejante al producido por las botellas de Leiden. Galvani incluso aplica estos nuevos conocimientos, a la cura de enfermedades.

Volta molesto por la interpretación de Galvani, retoma los trabajos de éste último y les da un enfoque más Físico, intenta encontrar carga almacenada en el cuerpo de las ranas, obviamente, la búsqueda resulta infructuosa, no detecta carga alguna, aún utilizando los electrómetros más sensibles que él ha construido, por lo tanto concluye que las contracciones se deben a una electricidad artificial que se genera al conectar dos metales diferentes en las patas o en cualquier parte del cuerpo de la rana.

Volta sigue con sus experimentos y llega a la conclusión que no es necesaria la pata de rana para generar electricidad, sino que es suficiente el contacto de dos metales diferentes y una solución salina, así construye baterías. En una carta mandada a la Real Sociedad, Volta describe su descubrimiento (Arons, p. 540):

“¡Sí! el aparato del cual hablo y que indudablemente les asombrará, es solamente una unión de buenos conductores de diferentes clases arreglados de una forma particular. Treinta, cuarenta, sesenta piezas o más de cobre, o mejor de plata, cada una en contacto con una pieza de estaño, o lo que es mucho mejor, de cinc y un número igual de capas de agua o algún otro líquido que sea mejor conductor que el agua pura.... o trozos de cartón o de cuero, bien mojados con estos líquidos; cuando tales capas humedecidas son colocadas entre cada par (o combinación de dos placas metálicas, puestas unas sobre las otras), tales series alternadas de estas tres clases de conductores, siempre en el mismo orden, componen el mismo dispositivo. Este instrumento imita los efectos de los recipientes de Leiden suministrando las mismas perturbaciones que ellos. En verdad, los efectos son mucho más inferiores que los de los recipientes altamente cargados en la fuerza y ruido de sus explosiones, en las chispas y en la distancia a través de la cual puede pasar la carga y son iguales en efecto al de un recipiente cargado en forma muy débil; sin embargo, es un recipiente de una enorme capacidad y el cual sobrepasa infinitamente la potencia de los recipientes eléctricos ya que no necesita, como ellos ser cargado de antemano por medio de una fuente exterior y en que puede producir la perturbación cada vez que sea tocado correctamente, no importa cuan a menudo”.

De estas investigaciones, Volta construye la pila que actualmente se usa a lo largo de todo el mundo al utilizarse en una infinidad de aparatos.

En resumen, al final del siglo XVIII las características principales de los fenómenos magnetostáticos ya han sido descubiertas y se interpretan con base en la teoría de dos fluidos y con el concepto de acción a distancia, implícito en la ley del inverso del cuadrado de la distancia, dando una interpretación mecánica al mundo.

2.6 Siglo XIX

En el siglo XIX, florece el capitalismo, con sus grandes desigualdades de riqueza insultante y miseria agobiante, por primera vez en la historia de la humanidad la producción de artículos manufacturados es enorme y con un mercado que parece ilimitado, con una gran confianza en la ciencia para la solución de problemas de todo tipo (Bernal, p. 524).

De aquí surge la necesidad de poder desplazar tanto materias primas como productos manufacturados, por lo que se da un gran desarrollo del buque de vapor y del ferrocarril, las ciudades se llenan de humo, como si con él se quisiera cubrir la hambruna del grueso de la población.

Con un enfoque utilitarista de la ciencia, se busca la aplicación al "progreso" a través de la tecnología industrial, desde la primera mitad del siglo XVIII, ya se utiliza la electricidad para las comunicaciones, con base en el descubrimiento de Hans Christian Oersted se inventa el telégrafo, debido a la necesidad imperiosa de poderse comunicar rápidamente, para saber los precios de las materias primas y conocer los acontecimientos que pudieran afectar al comercio.

Así el siglo de Maxwell ve la aplicación práctica de los principios del Electromagnetismo: con la generación de la electricidad aprovechando las caídas de agua; para iluminar las calles y hogares, con la bombilla eléctrica, el funcionamiento de motores eléctricos en la industria y el transporte.

A principios de éste siglo, es cuando se determina la influencia que tiene la electricidad sobre una aguja magnética. Esto se da debido a que se ha inventado la pila voltaica alrededor de 1800, con lo que se estimula el estudio de la electricidad y el magnetismo.

Se debe recordar que desde hace tiempo se sabe, que la brújula cambia de dirección cuando los rayos en una tormenta caen cerca de un barco y que trozos de hierro se magnetizan cuando están cerca del lugar donde cae un rayo.

Piña (1995, p.33) menciona, que el día 3 de agosto de 1802, el juez italiano Gian Dominico Romagnosci, da a conocer el mismo resultado que Hans Christian Oersted, en la Gazetta di Trentino, sin embargo pasa desapercibido.

Mientras que Oersted (1777-1851) busca la relación entre una corriente eléctrica y una aguja magnética. No fue sino hasta 1819, cuando nota que la aguja magnética se mueve cuando pasa corriente por un alambre paralelo a la misma.

Einstein (1986, p.63) afirma que Oersted escribe:

“De estos experimentos parece desprenderse que la aguja magnética se ha movido de su posición mediante la ayuda de un aparato galvánico, y esto sólo cuando el circuito galvánico estaba cerrado y no cuando estaba abierto, como ciertos físicos de renombre han intentado en vano hace varios años”.

Esto es algo sorprendente, pues nunca se había esperado una fuerza transversal, ya que de acuerdo con el punto de vista mecanicista, las fuerzas actúan a lo largo de la línea que une los dos cuerpos que se atraen o repelen.

Así que cuando Oersted publica una memoria sobre sus experimentos, causa gran sensación, dichos experimentos son reproducidos por Mago ante la academia francesa y sólo algunos días después Ampère, sugiere que el ferromagnetismo es originado por corrientes eléctricas internas y que éstas fluyen perpendicularmente al eje del imán.

La importancia de este descubrimiento se debe a que permite reconocer que existe una conexión entre los fenómenos eléctricos y los fenómenos magnéticos, los cuales hasta ese momento han sido observados y estudiados por separado.

Posteriormente Rowland realiza un experimento con cargas en movimiento, con ayuda de unos discos que giran.

Los físicos ingleses les van pisando los talones a sus colegas franceses, pues en el mismo año, Sir Humphry Davy reporta resultados similares. De esta manera se inicia una especie de competencia entre ambos lados del Canal de la Mancha para establecer la prioridad de los resultados.

En los inicios del siglo XIX, Simon Denis Poisson, un brillante matemático, introduce el concepto de potencial y desarrolla la teoría de la magnetostática. Tanto Simon Denis Poisson como Charles August Coulomb rechazan cualquier intento de especulación acerca de la naturaleza de los fluidos eléctrico y magnético.

En 1813, Michael Faraday (1791-1867), contando entonces con 23 años y siendo aprendiz de encuadernador, es contratado por Sir Humphry Davy como su ayudante en la Royal Institution.

Faraday al estudiar los fenómenos magnéticos, cree que la propagación de las fuerzas se puede representar mediante vibraciones en las líneas de fuerza y de acuerdo con este concepto, la materia se difunde por el espacio. Supone además, que la partícula existe sólo por esas fuerzas y donde hay fuerza, está la partícula.

Harman (p.98) afirma que Faraday en su libro “Especulación tocante a la conducción eléctrica y la naturaleza de la materia”, señala que de acuerdo con la teoría atómica, se considera que los átomos no están en contacto, y si se niega la acción entre partículas contiguas, entonces se hace necesario adscribir un papel a los espacios entre los átomos para dar cuenta de la comunicación de fuerza entre las partículas y considerar a las líneas de fuerza como pertenecientes a un cuerpo; como si en cierto sentido, fueran parte de él mismo.

Por lo tanto Faraday, cree que el campo está lleno de líneas de fuerza y que la acción mecánica y eléctrica en cada cuerpo está determinada por las líneas que llegan a él.

En sus propias palabras (Ley-Koo, 1995, p.45):

"Se describieron y definieron ciertas líneas alrededor de una barra imán, aquellas que se visualizan esparciendo limaduras de hierro en la vecindad de éste y se reconocieron como descripción precisa de la naturaleza, condición, dirección e intensidad de la fuerza en cualquier región dada, dentro y fuera de la barra. Esta vez las líneas se consideraron en abstracto. Sin apartarse en nada de lo dicho, ahora emprendemos la investigación de la posible y probable existencia física de tales líneas"

Se puede notar que está cuestionando las ideas de acción a distancia y de acciones instantáneas; también señala el importante papel que desempeña la presencia de diferentes medios en la ocurrencia de los fenómenos ópticos, eléctricos y magnéticos y plantea la interrogante sobre cómo ocurren en un vacío perfecto.

En la década de 1820-1830, los investigadores de esos fenómenos, incluido Faraday, especulan y experimentan sobre el fenómeno inverso al electromagnetismo, es decir la generación de efectos eléctricos a partir de un sistema magnético. Ninguno tiene éxito en esos años. Sin embargo en este momento la idea de línea de fuerza resulta fructífera, ya que lleva en 1845 a Faraday a descubrir el efecto que lleva su nombre:

"Mi intención era expresar que la línea de fuerza magnética es iluminada como la Tierra es iluminada por el Sol, o como la telaraña es iluminada por la lámpara de astrónomo. Usando un rayo de luz, podemos señalar, a ojo, la dirección de las líneas magnéticas a través de un cuerpo; y por la alteración del rayo y su efecto óptico sobre el ojo, se puede ver el curso de las líneas de la misma forma en que se puede ver el curso de un hilo de vidrio, o de cualquier otra sustancia transparente, que se hace visible mediante la luz: y esto es lo que quise decir con iluminación." (Ley-Koo, p. 41).

Faraday, sin lugar a dudas ha sido uno de los grandes genios de la física, tenía un tremendo poder de visualización, el cual, al combinarse con su gran paciencia y habilidad observacional, lo llevó a una vida de descubrimientos casi sin paralelo en la historia de la ciencia, el método que empleó Faraday en sus investigaciones consiste en recurrir constantemente a la experimentación como medio para probar la verdad de sus ideas y a una constante reflexión de las ideas bajo la influencia de los experimentos y reportar tanto los experimentos exitosos, como los fallidos.

Faraday utiliza bobinas para su estudio de inducción y hace la diferencia entre dos fenómenos iguales:

- a. Cuando el imán se movía y la bobina quedaba quieta.
- b. Cuando el imán quedaba quieto y la bobina se movía.

Hubo que esperar la genialidad de Einstein, para entender que ambos fenómenos son uno solo y comprender que el **movimiento es relativo**.

William Thomson y James Clerk Maxwell son los únicos de la época, que sí toman en consideración la alternativa planteada por Faraday. Thomson, quien más tarde sería lord Kelvin, en 1845 publica el artículo titulado "Sobre la teoría matemática de la electricidad en equilibrio" en el *Cambridge and Dublin Mathematical Journal*, cuya base experimental es el trabajo "Sobre Inducción Estática" de Faraday incluidas las "líneas curvas de acción inductiva".

Thomson sugiere una teoría mecánica de la transmisión de fuerzas eléctricas y magnéticas, simplemente como una **analogía matemática** entre las fuerzas eléctricas y magnéticas, por lo que desarrolla el concepto de campo de fuerza, para representar el campo magnético como una distribución continua en el espacio de una imaginaria materia magnética, ilustrando con esto, la conductividad de las líneas magnéticas de fuerza por las sustancias.

Por lo tanto concibe que la acción del campo se propaga a través de una plenitud etérea y el concepto de campo de fuerza puede representarse a partir del movimiento de un continuo etéreo, ya que la idea del vacío siempre fue rechazada.

Conviene hacer notar que en esa época Faraday solamente adopta las líneas de fuerza en su aspecto representativo. La matematización de sus ideas por Thomson, refuerza su creencia en la veracidad y generalidad del método de representación.

Diez años más tarde, cuando Faraday da a conocer sus ideas Físicas sobre las líneas de fuerza, el joven matemático James C. Maxwell, a la edad de 24 años, inicia sus contribuciones al estudio de la electricidad y el magnetismo a partir de los trabajos experimentales y las concepciones teóricas de Faraday.

Parte de las ideas de Faraday y retoma lo elaborado por Thomson acerca de la Teoría de Campo, explora las implicaciones geométricas de las líneas de fuerza, logra desarrollar un modelo físico de las partículas del éter para representar la transmisión de la acción en el campo mediante partículas contiguas del éter, establece la relación entre la propagación de la fuerza en el campo y la naturaleza de la sustancia material que constituye la estructura física del campo.

Además establece las implicaciones físicas de un modelo matemático de la naturaleza, hace uso del concepto de líneas de fuerza, considera que éstas llenan el campo, como un fluido con propiedades imaginarias, debido a que ni siquiera las considera como un fluido hipotético, sino como una analogía física para hacer tangible una idea matemática. Por lo tanto, crea una física más profunda e intuitiva y logra desarrollar una teoría física de las líneas de fuerza.

Así James Clerk Maxwell, traduce las ideas de Faraday a un lenguaje matemático en su monumental obra *Treatise on electricity and magnetism*, que se publica en 1873.

Por lo que se atribuye la idea de campo a Maxwell, quien intenta explicar las fuerzas a distancia mediante acciones que se ejercen por contigüidad, asociando al entorno espacial propiedades físicas.

Maxwell escribe (versión de 1904):

“No hago estos desarrollos, como una conexión que realmente exista en la naturaleza. Es sin embargo una conexión que es mecánicamente concebible y fácil de investigar, y sirve para ilustrar las conexiones reales entre los fenómenos electromagnéticos.....es a través del uso de analogías de este tipo que he tratado de formular, de una manera conveniente y manejable, esas ideas matemáticas que son necesarias para el estudio de los fenómenos de electricidad. Los métodos son en general los sugeridos por los procesos de razonamiento que se encuentran en las investigaciones de Faraday... Por el método que he adoptado, espero hacer evidente que no estoy tratando de establecer una teoría física de una ciencia en la que no he realizado experimento alguno y que el límite de mi empresa es mostrar cómo, mediante una aplicación estricta de las ideas y los métodos de Faraday, la conexión entre los muy diferentes tipos de fenómenos que él ha descubierto puedan colocarse de manera clara ante la mente matemática. Por lo tanto, evitaré tanto como pueda la introducción de cualquier cosa que no sirva como una ilustración directa de los métodos de Faraday, o de las deducciones matemáticas que se puedan hacer a partir de ellos”.

En la parte de Electricidad de su tratado escribe todo lo que se conocía acerca de los fenómenos eléctricos, algunos tópicos son:

- Diferentes formas de cargar un cuerpo.
- Conservación de la carga.
- Campo Eléctrico.
- Polarización de la carga en un dieléctrico.

En la parte de Electrocinemática habla acerca de:

- Batería voltaica.
- Corriente eléctrica.
- Acción magnética de una corriente.

En este último punto describe la dirección del campo magnético generado (Citado en De Swam, 1995, p.52):

“Si un hombre pusiera su cuerpo en la línea de la corriente de modo que ésta fluyera de cabeza (+) a sus pies (-), y si dirigiera su cara hacia el centro del imán, el extremo del imán que tiende a apuntar hacia el norte tendería a apuntar hacia su mano derecha”

En la parte de magnetismo resalta:

- Interacción entre los polos de los imanes.
- Intensidad de los polos en cada imán.
- Inexistencia de monopolos magnéticos
- Magnetización de los materiales.

En cuanto a los tópicos de electromagnetismo:

Fenómenos Electromagnéticos:

- Descubrimiento de Oersted.

- b. Interacción entre una corriente eléctrica y un imán.
- c. Interacción entre dos corrientes eléctricas.

Fenómenos Magnetoeléctricos:

- a. Inducción por variación de la corriente primaria.
- b. Inducción por movimiento del circuito primario.
- c. Inducción por movimiento del circuito secundario.
- d. Inducción por el movimiento relativo entre un imán y un circuito secundario.

Maxwell establece cuatro ecuaciones que resumen todas las investigaciones hechas por sus predecesores y que han servido como base a todo el desarrollo tecnológico en este campo.

Las soluciones de las ecuaciones de Maxwell muestran que las ondas electromagnéticas, que eran consideradas como ondas elásticas transversales, se propagan a la velocidad de la luz. Heinrich Hertz, en 1888, muestra que estas ondas son precisamente ondas de luz.

Ley-Koo (p.33) escribe que cuando Michael Faraday da a conocer que en una espiral de alambre se induce una corriente eléctrica, alguien del público le preguntó:

"¿Para qué sirve eso?", y él respondió: "¿Para qué sirve un bebé recién nacido?"

Afortunadamente para el estudio de los fenómenos electromagnéticos, Maxwell si acepta a ese bebé de Faraday haciéndolo su ahijado, vistiéndolo con las ropas del lenguaje matemático y además, contribuye a su desarrollo a través de la formulación de la teoría dinámica del campo electromagnético.

2.7 Reflexiones:

Se ha criticado en demasía a la ciencia griega, incluso se ha llegado a satanizarla y satirizarla; sin embargo se olvida que ellos hicieron una revolución científica de una magnitud al menos similar de la que se dio a principios del siglo XX.

Recordemos que antes de ellos, los conocimientos de las culturas antiguas, sólo eran adquiridos a través de los sentidos y por lo tanto eran observacionales, acumulando hechos y datos, por lo que se considera como una primera etapa de adquisición del conocimiento.

La segunda etapa se dio precisamente con los griegos, que partiendo del trabajo anterior, logran dar un marco teórico, tratando de entender a través de la razón todos los fenómenos y la esencia de las cosas.

Sin embargo; aquí ocurre algo paradójico, ya que por un lado retoman los conocimientos anteriores y por otro lado desprecian su metodología, tal vez tratando de no caer en los mismos errores.

Ocurre lo mismo cuando en la edad moderna se juzga a la ciencia griega, condenándola por no haber desarrollado una metodología experimental, olvidando que desde la perspectiva de

la ciencia griega, el marco teórico era un gran avance para los conocimientos observacionales.

En la edad moderna, tiene lugar otro cambio de paradigma, debido a que se retoman las dos propuestas de la antigüedad: Hacer una ciencia con marco teórico fundado en la metodología experimental. Por primera vez la comunidad científica acepta que no puede haber avance sin retomar las dos grandes propuestas que habían estado en pugna durante miles de años y tal vez continúe hasta nuestros días.

Así durante el siglo XVII, Galileo y Newton dieron un paso de gigante al combinar, tanto la metodología experimental como la aplicación de las matemáticas en el desarrollo de la Física, durante los dos siguientes siglos, sus teorías permitieron un acelerado avance, que culminó con los trabajos de Faraday y Maxwell sobre los fenómenos electromagnéticos.

Los físicos de aquella época, extasiados por la mecánica, creyeron que el universo era similar a una maquinaria de reloj, todo avanzando cronométricamente y con piezas que embonaban a la perfección.

Al intentar dar una explicación mecánica del mundo, se encontraron obstáculos insalvables, ya que se tuvo que recurrir a demasiadas sustancias "misteriosas", como los fluidos eléctricos y magnéticos, el éter y los corpúsculos para los diferentes colores.

Así, al pretender atribuir a los fenómenos electromagnéticos una causa mecánica. Ocurrió otra revolución científica, dando origen a la Teoría de la Relatividad.

Finalmente, al adentrarse en la historia, se percibe que algunas de las ideas que se expusieron en el pasado, se repiten de manera cotidiana en las aulas.

Por lo tanto, se observa que las tentativas del ser humano para comprender el mundo físico que le rodea son tan antiguas como su historia.

Capítulo 3

Modelo Físico del Campo Magnético

Introducción

Este capítulo va dirigido a los profesores del nivel medio superior, por lo que se abordan los conceptos fundamentales del Electromagnetismo de manera matemática y utilizando el formalismo actual, dichos conceptos se desarrollaron a lo largo de varios siglos hasta llegar a finales del siglo XIX.

Históricamente se abordó el problema del magnetismo a través del formalismo de la mecánica de fluidos, en la que se habla de vorticidad, medios elásticos y por extensión se habla de fluidos magnéticos, aunque posteriormente se consolida la teoría Electromagnética se conserva mucha terminología de la mecánica de fluidos.

En primer lugar se define el concepto de circulación, se establece la relación con el operador rotacional que antiguamente se llamaba vorticidad, en segundo lugar se define el concepto de flujo, se establece la relación con el operador divergencia, debido a que estos operadores se utilizan en la construcción de la teoría Electromagnética.

Enseguida se discute la interpretación física del rotacional y de la divergencia, se tiende el "puente matemático" entre el cálculo integral con el cálculo diferencial a través del teorema de Stokes y del teorema de Gauss.

Se deduce a través del formalismo de Lagrange, la ecuación de movimiento de una partícula moviéndose en un campo electromagnético (Fuerza de Lorentz) y junto con las leyes de: Coulomb, Biot-Savart, Gauss, Ampere y Faraday, nos dan la teoría electromagnética.

Si bien, en la propuesta no se trabaja con la ley de Coulomb, se menciona en este capítulo, ya que sin ella la Teoría Electromagnética queda incompleta y sería inconsistente.

Por otro lado, se sabe que una carga en movimiento genera un campo magnético, en este caso el magnetismo se considera un efecto relativista del campo eléctrico y cuando se cambia de un sistema de referencia fijo en el laboratorio a otro que se mueve con la partícula, se hace a través de las transformaciones de Lorentz, sin embargo para simplificar los cálculos, se toma una aproximación con las transformaciones galileanas y con éstas se deduce una ecuación del Campo Magnético, en función de la velocidad de la partícula y el campo eléctrico.

Finalmente se realiza una recapitulación, tanto en forma diferencial como en forma integral, de las ecuaciones de Maxwell para el caso particular de corrientes continuas, que nos llevan a la teoría de la Magnetostática.

Se utilizan sólo las ecuaciones de la Magnetostática, debido que es el material que se aborda en el capítulo 6 y es la propuesta que se realiza para enseñar el tema de Electromagnetismo en el cuarto año de bachillerato.

3.1. Concepto de Circulación

Históricamente el nombre de circulación proviene originalmente de considerar la circulación de un fluido, actualmente se aplica por extensión a todo campo vectorial, incluso cuando no hay una "circulación" de algo material.

Sea \mathbf{A} un campo vectorial arbitrario y ℓ una trayectoria cerrada.

Se define a la circulación de un campo vectorial \mathbf{A} , a lo largo de la trayectoria cerrada ℓ , como la integral cerrada de la componente tangencial A_t a lo largo de la curva ℓ :

$$\oint_{\ell} A_t \, dl = \oint_{\ell} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l}$$

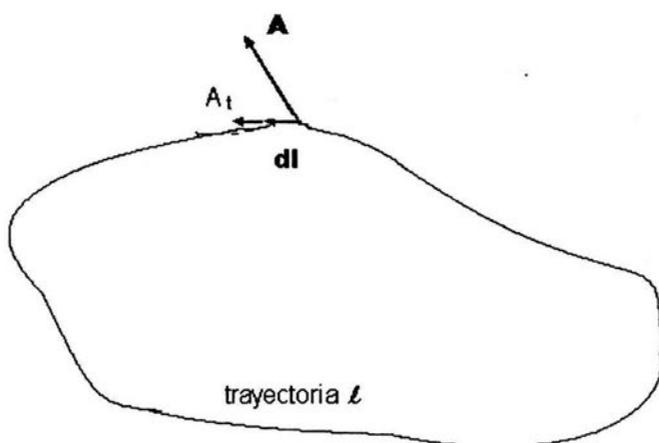


Figura 3.1 Circulación de \mathbf{A} , a lo largo de la trayectoria ℓ .

Para interpretar el resultado de manera intuitiva, hay que imaginar un fluido en movimiento y tomar una trayectoria cerrada en el seno del líquido (figura 3.2) y formular la siguiente pregunta: ¿está circulando el líquido? es decir, ¿existe movimiento a lo largo de la trayectoria cerrada?

Para contestar a la pregunta anterior, hay que suponer que en un instante se congela el líquido, excepto dentro de un tubo con diámetro uniforme que forme una trayectoria cerrada como se muestra en la figura 3.3.

Fuera del tubo el líquido se detiene, pero dentro del mismo continúa en movimiento debido a su momentum, por lo que se trata de un fluido con circulación diferente de cero.

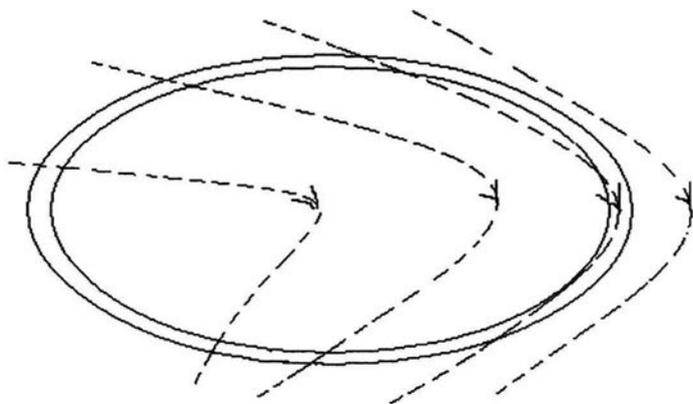


Figura 3.2 Tubo imaginario cerrado, en el seno de un fluido en movimiento.

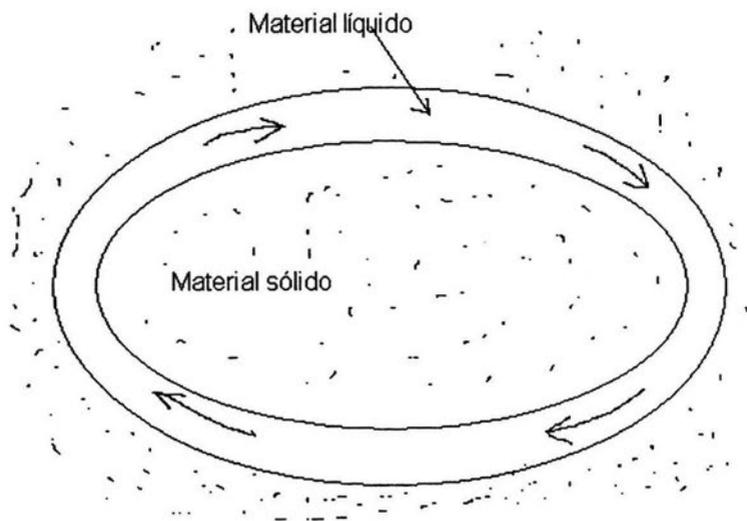


Figura 3.3 Fluido circulando en el tubo imaginario

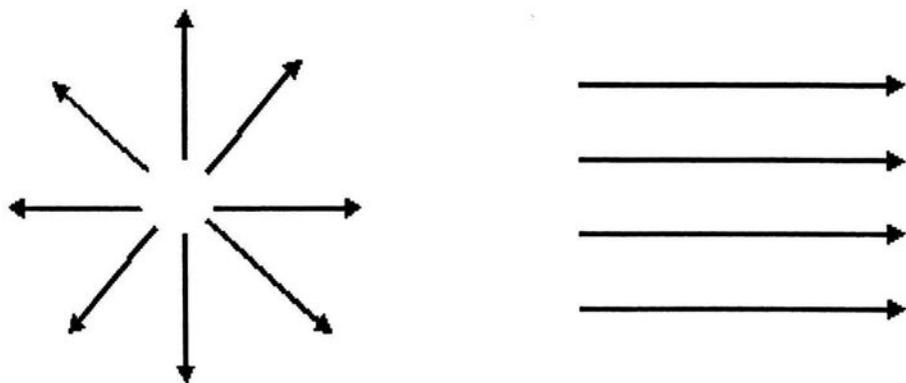


Figura 3.4 Imaginando que las líneas de campo representa el movimiento de un fluido y se coloca un corcho en el fluido, este no gira. Por lo tanto su circulación es cero.

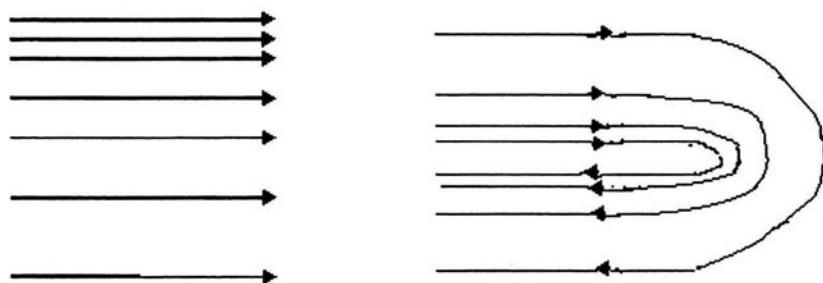


Figura 3.5 Campos con circulación diferente de cero, en el primer caso la velocidad es mayor en la parte superior.

3.2. Rotacional y Teorema de Stokes

Para calcular la circulación a lo largo de una curva cerrada ℓ , se divide a la trayectoria en un número grande de pequeñas trayectorias cerradas, de tal manera que se pueda considerar un cuadrado infinitesimal y la superficie encerrada se pueda considerar plana, como se muestra en la figura 3.6.

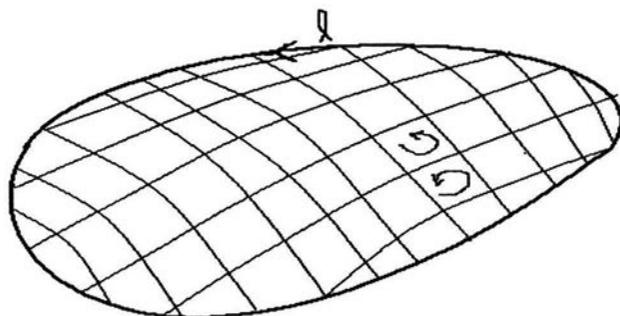


Figura 3.6 Superficie limitada por una trayectoria cerrada ℓ . La superficie está dividida en muchas superficies cuadradas planas aproximadamente.

Para determinar la circulación a lo largo de un cuadrado infinitesimal con lado horizontal Δx , lado vertical Δy y perímetro ℓ , se parte del vértice inferior izquierdo y se recorre la trayectoria en sentido dextrógiro como se muestra en la figura 3.7.

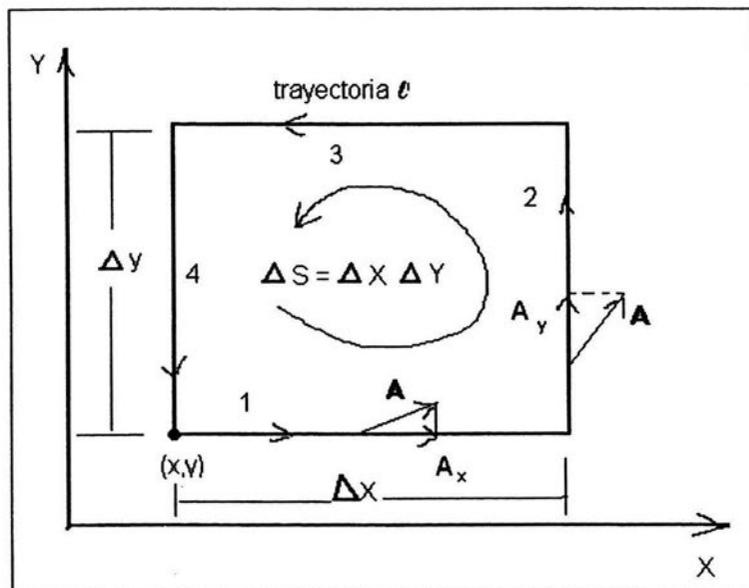


Figura 3.7 Circulación del vector \mathbf{A} , a lo largo de una trayectoria infinitesimal ℓ , cuyos lados son Δx y Δy .

Sea:

$A_x(1)$ la componente tangencial de \mathbf{A} , a lo largo del lado 1, con longitud Δx .

$A_y(2)$ la componente tangencial de \mathbf{A} , a lo largo del lado 2, con longitud Δy .

$A_x(3)$ la componente tangencial de \mathbf{A} , a lo largo del lado 3, con longitud Δx .

$A_y(4)$ la componente tangencial de \mathbf{A} , a lo largo del lado 4, con longitud Δy .

El valor de la integral a lo largo del primer tramo es: $A_x(1) \Delta x$

El valor de la integral a lo largo del segundo tramo es: $A_y(2) \Delta y$

El valor de la integral a lo largo del tercer tramo es: $-A_x(3) \Delta x$

El valor de la integral a lo largo del cuarto tramo es: $-A_y(4) \Delta y$

$$\Rightarrow \oint_{\ell'} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = A_x(1) \Delta x + A_y(2) \Delta y - A_x(3) \Delta x - A_y(4) \Delta y$$

Agrupando el primer y el tercer término, se obtiene:

$$[A_x(1) - A_x(3)] \Delta x$$

Por otro lado, en primera aproximación se tiene:

$$A_x(3) = A_x(1) + \frac{\partial A_x}{\partial y} \Delta y$$

De estos dos últimos resultados queda:

$$[A_x(1) - A_x(3)] \Delta x = -\frac{\partial A_x}{\partial y} \Delta x \Delta y$$

Procediendo de manera análoga con los otros dos términos, se obtiene:

$$A_y(2) = A_y(4) + \frac{\partial A_y}{\partial x} \Delta x$$

$$[A_y(2) - A_y(4)] \Delta y = \frac{\partial A_y}{\partial x} \Delta x \Delta y$$

$$\therefore \oint_{\ell'} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = \left[\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right] \Delta x \Delta y \quad (3)$$

Se puede observar que en el segundo miembro de la última expresión, la cantidad que está en el paréntesis es la componente z del rotacional y está multiplicada por el área.

Por lo tanto, la circulación se puede escribir como:

$$\oint_{\mathcal{L}'} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = (\nabla \times \mathbf{A})_z \Delta s$$

En general para una trayectoria diferencial con una orientación positiva, la circulación se obtiene multiplicando el área con la componente normal del rotacional del campo vectorial.

$$\oint_{\mathcal{L}} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot \Delta \mathbf{s} \quad (4)$$

Esta expresión es la circulación de cualquier vector \mathbf{A} , a lo largo de un cuadrado infinitesimal, para obtener el resultado a lo largo de toda la trayectoria, se realiza la suma de todos los cuadrados infinitesimales, obteniendo:

$$\oint_{\mathcal{L}} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{s} \quad (5)$$

Donde S es una superficie arbitraria delimitada por \mathcal{L} .

A este resultado se le llama teorema de **Stokes**.

Nos dice que la circulación del vector \mathbf{A} , a lo largo de una línea cerrada \mathcal{L} , es igual al flujo del rotacional a través de la superficie S.

Desde el punto de vista matemático, transforma una integral de superficie en una integral de línea.

3.3. Interpretación Física del Flujo

Se hace la aclaración que la palabra flujo, significa que alguna sustancia fluye, por ejemplo un líquido; sin embargo se ha generalizado la palabra "flujo" y se utiliza aunque no exista sustancia que fluya.

El flujo a través de un elemento de superficie se define como el producto de la componente normal del vector \mathbf{A} con la superficie ds.

$$\Phi = \text{Flujo} = (\text{componente normal del vector } \mathbf{A}) \cdot (\text{superficie})$$

El flujo nos permite determinar la rapidez con que "algo" está entrando o está saliendo a través de una superficie cerrada; es decir, si existe una fuente o un sumidero dentro de la superficie cerrada.

Entonces el flujo elemental del vector \mathbf{A} que sale por la superficie ds, es el producto de la superficie con la componente normal de \mathbf{A} , matemáticamente se escribe:

$$\text{Flujo de } \mathbf{A}, \text{ a través de } ds = d\Phi = \mathbf{A} \cdot d\mathbf{s} \quad (6)$$

Donde:

$d\mathbf{s} = \hat{\mathbf{n}} ds$ representa una área infinitesimal.

El vector \mathbf{A} , representa una magnitud física que “fluye” a través del área en la unidad de tiempo.

∴ El flujo total que sale por la superficie S se expresa como:

$$\Phi = \int_S \mathbf{A} \cdot d\mathbf{s} \quad (7)$$

∴ La connotación actual de la palabra flujo es: Integral de superficie de la componente normal de un vector.

3.4. Divergencia y Teorema de Gauss

Si se toma un punto r donde existe una fuente del campo y se rodea con una superficie cerrada S , el flujo total que atraviesa S es igual a Φ .

Enseguida se divide al volumen total V , en celdas de volumen ΔV_i , como se muestra en la figura 3.8, por lo que el flujo total a través de S , es Φ .

$$\Phi = \sum_i \Delta\Phi_i = \sum_i \frac{\Delta\Phi_i}{\Delta V_i} \Delta V_i \quad (8)$$

Donde Φ_i es el flujo a través de la celda con volumen ΔV_i

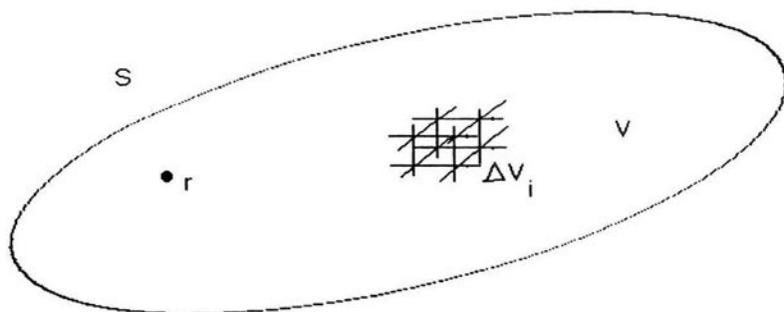


Figura 3.8 Volumen V dividido en múltiples cubos de volumen ΔV .

Se define a la divergencia \mathbf{A} en cualquier punto p en el interior de V como:

$$\operatorname{div} \mathbf{A} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta V} = \nabla \cdot \mathbf{A}$$

\therefore el flujo total es

$$\Phi = \int_V \operatorname{div} \mathbf{A} \, dv \quad (9)$$

Físicamente se puede considerar a la divergencia del campo vectorial \mathbf{A} en un punto dado, como una medida de la variación de flujo por unidad de volumen ó cuánto emana o diverge el campo desde ese punto, determinando que el flujo de \mathbf{A} a través de una superficie cerrada es igual a la suma de las fuentes en el interior de la superficie.

Si $\nabla \cdot \mathbf{A} > 0$ el flujo es hacia afuera (diverge), se dice que existe una fuente en p , lo que significa que el flujo en este punto aumenta.

Si $\nabla \cdot \mathbf{A} < 0$ el flujo es hacia adentro (converge), se dice que existe un sumidero en p , por lo que el flujo en este punto disminuye.

Si $\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$ significa que el flujo entrante es igual al flujo saliente, en consecuencia no existen ni fuentes ni sumideros en p , por lo tanto el flujo en este punto permanece constante.



Figura 3.9

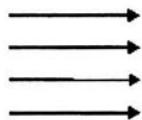
Finalmente, de acuerdo con la definición de flujo y con la definición de la divergencia podemos escribir:

$$\Phi = \int_S \mathbf{A} \cdot d\mathbf{s} = \int_V \operatorname{div} \mathbf{A} \, dv \quad (10)$$

Este último resultado es conocido como: **Teorema de Gauss o Teorema de la Divergencia.**

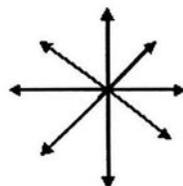
Matemáticamente, relaciona la integral extendida a un volumen con la integral a lo largo de la superficie que rodea a dicho volumen.

Se ilustra gráficamente campos con divergencia o rotacional con valor cero y con valor diferente de cero.



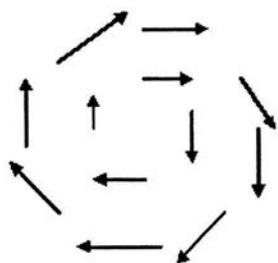
$$\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{A} = 0$$



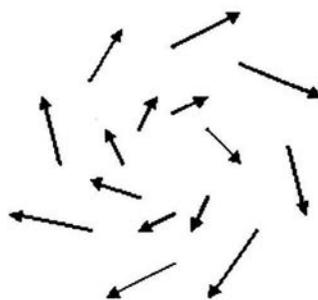
$$\nabla \cdot \mathbf{A} \neq 0$$

$$\nabla \times \mathbf{A} = 0$$



$$\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{A} \neq 0$$



$$\nabla \cdot \mathbf{A} \neq 0$$

$$\nabla \times \mathbf{A} \neq 0$$

Figura 3.10 Representación gráfica de campos.

3.5. Ecuación de Movimiento de una Partícula Cargada Moviéndose en un Campo Electromagnético (Fuerza de Lorentz)

La ecuación de movimiento para una partícula está dada por:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{F} \quad (11)$$

Se utiliza el formalismo de Lagrange para obtener la ecuación de movimiento de una partícula en un campo electromagnético.

La ecuación de Lagrange está dada por:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(r, v)}{\partial v} \right] - \frac{\partial L(r, v)}{\partial r} = 0 \quad (12)$$

La ecuación de Lagrange es función de r y v : $L(r, v)$ sin embargo solo se denotará como L .

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial v} \right] - \frac{\partial L}{\partial r} = 0 \quad (13)$$

$$\text{Donde: } L = T - U \quad (14)$$

$$T = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{Energía cinética.} \quad (15)$$

$$U = q\Phi - q \mathbf{A} \cdot \mathbf{v} \quad \text{Potencial generalizado.} \quad (16)$$

Para obtener la Lagrangiana se sustituye T y U en la ecuación (14), obteniendo:

$$L = \frac{1}{2} m v^2 - [q\Phi - q \mathbf{A} \cdot \mathbf{v}] \quad (17)$$

$$L = \frac{1}{2} m v^2 - q\Phi + q \mathbf{A} \cdot \mathbf{v} \quad (18)$$

El momento generalizado se define como:

$$\mathbf{P} = \frac{\partial L}{\partial v} \quad (19)$$

Sustituyendo L :

$$\mathbf{P} = \frac{\partial \left[\frac{1}{2} m v^2 - (q\Phi - q \mathbf{A} \cdot \mathbf{v}) \right]}{\partial v}$$

$$\mathbf{P} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}} \left(\frac{1}{2} m \mathbf{v}^2 \right) - \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}} (q\Phi) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}} (q\mathbf{A} \cdot \mathbf{v})$$

$$\mathbf{P} = m\mathbf{v} + q\mathbf{A} \quad (20)$$

Escribiendo la ecuación (20) en componentes:

$$P_i = m v_i + q A_i \quad (21)$$

Escribiendo la ecuación de Lagrange (13) en componentes:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial r_i} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_i} \right) = \frac{\partial L}{\partial r_i} \quad \text{y como } P_i = \frac{\partial L}{\partial v_i}$$

$$\frac{d}{dt} P_i = \frac{\partial L}{\partial r_i} \quad (22)$$

Sustituyendo la ecuación (21) en la ecuación (22), se obtiene:

$$\frac{d}{dt} (m v_i + q A_i) = \frac{\partial L}{\partial r_i}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} m v_i + \frac{d}{dt} q A_i = \frac{\partial L}{\partial r_i}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} m v_i = \frac{\partial L}{\partial r_i} - \frac{d}{dt} (q A_i) \quad (23)$$

Encontrando la derivada por separado de cada término del segundo miembro de la ecuación (23), para el primer término:

$$L = \frac{1}{2} m \mathbf{v}^2 - q\Phi + q \mathbf{A} \cdot \mathbf{v}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial L}{\partial r_i} = \frac{\partial}{\partial r_i} \left(\frac{1}{2} m \mathbf{v}^2 \right) - \frac{\partial}{\partial r_i} (q\Phi) + \frac{\partial}{\partial r_i} [q(A_x v_x + A_y v_y + A_z v_z)]$$

Como \mathbf{v} no depende de \mathbf{r} , se tiene que: $\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{r}} = 0$

$$\frac{\partial L}{\partial r_i} = q \left[-\frac{\partial \Phi}{\partial r_i} + \frac{\partial A_x}{\partial r_i} v_x + \frac{\partial A_y}{\partial r_i} v_y + \frac{\partial A_z}{\partial r_i} v_z \right]$$

Sin pérdida de generalidad se toma: $r_i = x$

$$\therefore \frac{\partial L}{\partial x} = q \left[-\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial A_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial A_y}{\partial x} v_y + \frac{\partial A_z}{\partial x} v_z \right] \quad (24)$$

Derivando el segundo término del miembro derecho de la ecuación (23)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} qA_x &= q \left[\frac{\partial A_x}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial A_x}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial A_x}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial A_x}{\partial t} \right] \\ \Rightarrow \frac{d}{dt} qA_x &= q \left[\frac{\partial A_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial A_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial A_x}{\partial z} v_z + \frac{\partial A_x}{\partial t} \right] \quad (25) \end{aligned}$$

Sustituyendo (24) y (25) en (23):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} mv_x &= q \left[-\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial A_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial A_y}{\partial x} v_y + \frac{\partial A_z}{\partial x} v_z \right] - q \left[\frac{\partial A_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial A_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial A_x}{\partial z} v_z + \frac{\partial A_x}{\partial t} \right] \\ \frac{d}{dt} mv_x &= -q \frac{\partial \Phi}{\partial x} + q \frac{\partial A_x}{\partial x} v_x + q \frac{\partial A_y}{\partial x} v_y + q \frac{\partial A_z}{\partial x} v_z - q \frac{\partial A_x}{\partial x} v_x - q \frac{\partial A_x}{\partial y} v_y - q \frac{\partial A_x}{\partial z} v_z - q \frac{\partial A_x}{\partial t} \end{aligned}$$

Agrupando y eliminando:

$$\frac{d}{dt} mv_x = -q \frac{\partial \Phi}{\partial x} - q \frac{\partial A_x}{\partial t} + q \left(\left[\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right] v_y + \left[\frac{\partial A_z}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial z} \right] v_z \right)$$

Esta parte es la componente "x" de $\mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{A})$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} mv_x = q \left[\left(-\nabla_x \Phi - \frac{\partial A_x}{\partial t} \right) + (\mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{A}))_x \right] \quad (26)$$

$$\therefore \frac{d\mathbf{mv}}{dt} = q \left[-\nabla \Phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right] + q [\mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{A})] \quad (27)$$

De acuerdo con el potencial escalar y el potencial vectorial se tiene:

$$\mathbf{E} = -\nabla\Phi - \frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t} \quad (28)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \quad (29)$$

$$\therefore \frac{d\mathbf{m}\mathbf{v}}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (30)$$

La ecuación (30) es la llamada fuerza de Lorentz y es la ecuación de movimiento de una partícula cargada en un campo electromagnético.

Se puede observar que la fuerza sobre una partícula cargada en movimiento está caracterizada por dos términos vectoriales. El primero es la fuerza eléctrica que es independiente de la velocidad de la carga y se describe por medio del Campo Eléctrico. El segundo término es una fuerza magnética, que depende de la velocidad de la carga y tiene una dirección perpendicular a los vectores \mathbf{v} y \mathbf{B} .

Para ilustrar experimentalmente la dirección de la parte magnética de la fuerza de Lorentz, se recurre a los dos experimentos de la actividad IX del capítulo 6:

Movimiento de una Carga Eléctrica a través de un Campo Magnético

Parte A: Fuerza Lateral

Parte B: Cargas en Movimiento en presencia de un Campo Magnético Constante

Para los estudiantes estas actividades son completamente nuevas, ya que no tienen idea de la trayectoria de las partículas estudiadas.

3.6. Conservación de la Carga y la Ecuación de Continuidad

En esta sección se hará uso de la conservación de la carga; esto significa que la carga eléctrica no se crea ni se destruye.

Partiendo de la definición de la intensidad de corriente eléctrica:

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (31)$$

Representa la variación de carga en el tiempo.

Se define al vector densidad de corriente como:

$$\mathbf{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{q_i \in \Delta V} q_i \mathbf{v}_i \quad (32)$$

Es la cantidad de carga que pasa por unidad de superficie y por unidad de tiempo; es decir la cantidad de corriente que atraviesa una unidad de superficie en la unidad de tiempo.

$\Rightarrow I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s}$ representa la rapidez con que la carga abandona el volumen encerrado por la superficie S, de acuerdo con la conservación de la carga se puede escribir:

$$\int_{\text{cualquier superficie cerrada}} \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} = - \frac{dQ_{(\text{encerrada})}}{dt} \quad \text{el signo menos se debe a que está saliendo carga.}$$

Aplicando el teorema de la divergencia se obtiene:

$$\int_{\text{cualquier superficie cerrada}} \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} = \int_{\text{volumen}} \nabla \cdot \mathbf{J} dV \quad (33)$$

Tomando a ρ como la cantidad de carga por unidad de volumen se tiene:

$$Q_{(\text{encerrada})} = \int_{\text{volumen}} \rho dV \quad (34)$$

$$\Rightarrow \frac{dQ_{(\text{encerrada})}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\text{volumen}} \rho dV$$

$$\Rightarrow \int_{\text{volumen}} \nabla \cdot \mathbf{J} dV = - \int_{\text{volumen}} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV$$

Como ambas integrales están sobre el mismo volumen, se obtiene:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (35)$$

Se llama ecuación de continuidad, representa la conservación de la carga.

Para el caso de corrientes estacionarias (no varían en el tiempo) se tiene:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (36)$$

El estudio de los fenómenos asociados al movimiento de cargas que dan origen a corrientes estacionarias es el objeto de la Magnetostática.

3.7 Ley de Coulomb y ley de Gauss para cargas eléctricas

La fuerza entre dos cargas eléctricas está dada por la ley de Coulomb:

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^3} (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1) \quad (37)$$

Además se cumple el principio de superposición, por lo tanto si se tiene una configuración con muchas cargas, la expresión de la fuerza sobre la j -ésima carga está dada por:

$$\mathbf{F}_j = k \sum_{i \neq j}^n \frac{q_i q_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^3} (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)$$

El campo eléctrico para la j -ésima carga, está dado por:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_j}{q_j}$$

\therefore Para la posición \mathbf{r}_j :

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}_j) = k \sum_{i \neq j} \frac{q_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^3} (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) \quad (38)$$

Una distribución uniforme de carga en un volumen V , se llama densidad de carga $\rho(\mathbf{r})$, en este caso el campo eléctrico está dado por:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = k \int_V \frac{\rho(\mathbf{r}')(\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} dV' \quad (39)$$

Si se encierra una carga q en una superficie, el flujo del campo eléctrico está dado por:

$$\Phi_E = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad (40)$$

Por otro lado:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$ds = r^2 \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

$$\int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_0^\pi \sin\theta \, d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$$

$$\int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (41)$$

Ley de Gauss en forma integral, para cargas eléctricas.

Aplicando el teorema de Gauss:

$$\int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \int_V \nabla \cdot \mathbf{E} \, dV$$

Combinando con la ecuación (34)

$$\Rightarrow \int_V \nabla \cdot \mathbf{E} \, dV = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho \, dV$$

$$\therefore \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (42)$$

Ley de Gauss para cargas eléctricas, en forma diferencial.

3.8. Campo Magnético para sistemas en movimiento

Lo que se pretende en esta sección es establecer una relación entre Campo Eléctrico y Campo Magnético para posteriormente deducir la Ley de Biot-Savart

Sean dos sistemas inerciales S y S'

Donde S es un sistema de referencia fijo en el sistema de laboratorio y S' es un sistema que se mueve con velocidad constante v con respecto a S.

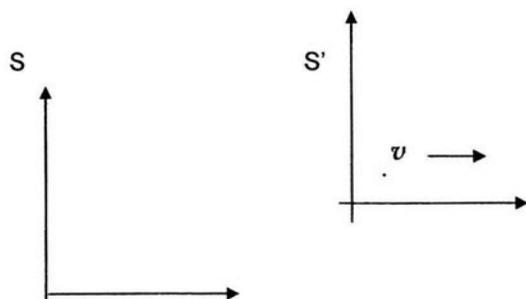


FIGURA 3.11

Para pasar de S a S', se utilizan las transformaciones de Lorentz:

$$\begin{aligned}
 x' &= \gamma(x - vt) \\
 y' &= y \\
 z' &= z \\
 t' &= \gamma \left(t - \frac{v x}{c^2} \right)
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

Las transformaciones del campo eléctrico y magnético están dadas por:

$$\begin{aligned}
 E' &= E_{\parallel} \\
 B' &= B_{\parallel} \\
 E'_{\perp} &= \gamma(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})_{\perp} \\
 B'_{\perp} &= \gamma \left(\mathbf{B} - \left(\frac{\mathbf{v} \times \mathbf{E}}{c^2} \right) \right)
 \end{aligned}
 \tag{44}$$

Para simplificar los cálculos, se considera $v \ll c$ y se hace una aproximación a través de las transformaciones de Galileo:

$$\begin{aligned}
 x' &= x - v_x t \\
 y' &= y - v_y t \\
 z' &= z - v_z t \\
 t' &= t
 \end{aligned}
 \tag{45}$$

Utilizando estas transformaciones para el operador diferencial se tiene:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial t} &= \frac{\partial t'}{\partial t} \frac{\partial}{\partial t'} + \frac{\partial x'}{\partial t} \frac{\partial}{\partial x'} + \frac{\partial y'}{\partial t} \frac{\partial}{\partial y'} + \frac{\partial z'}{\partial t} \frac{\partial}{\partial z'} \\
 \frac{\partial}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t'} - v_x \frac{\partial}{\partial x'} - v_y \frac{\partial}{\partial y'} - v_z \frac{\partial}{\partial z'} \\
 \therefore \frac{\partial}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t'} - (\mathbf{v} \cdot \nabla')
 \end{aligned}
 \tag{46}$$

De manera análoga y considerando que:

- x' solo depende de x y t
- y' solo depende de y y t
- z' solo depende de z y t

Se obtienen las otras diferenciales:

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x'}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y'}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z'}$$

$$\therefore \nabla = \nabla' \quad (47)$$

Tomando la ecuación de Maxwell (Ley de Ampere) para el sistema en reposo:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (48)$$

Para obtener la misma ecuación en el sistema primado, se sustituye (25) y (26) en (27):

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \left(\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t'} - (\mathbf{v} \cdot \nabla') \mathbf{E} \right) \quad (49)$$

Utilizando la siguiente identidad vectorial:

$$\nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{E}) = \mathbf{v} (\nabla \cdot \mathbf{E}) - \mathbf{E} (\nabla \cdot \mathbf{v}) + (\mathbf{E} \cdot \nabla) \mathbf{v} - (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{E}$$

éstos términos se anulan,
porque $\mathbf{v} = \text{cte.}$

$$\Rightarrow \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{E}) = \mathbf{v} (\nabla \cdot \mathbf{E}) - (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{E}$$

$$\Rightarrow -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{E} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{E}) - \mathbf{v} (\nabla \cdot \mathbf{E}) \quad (50)$$

Sustituyendo (50) en (49)

$$\nabla' \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \left(\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t'} + \nabla' \times (\mathbf{v} \times \mathbf{E}) - \mathbf{v} (\nabla' \cdot \mathbf{E}) \right)$$

$$\nabla' \times \left(\mathbf{B} - \frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{E})}{c^2} \right) = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t'} - \mu_0 \varepsilon_0 \mathbf{v} (\nabla' \cdot \mathbf{E}) \quad (51)$$

De acuerdo con las ecuaciones 42 y 47 se tiene:

$$(\nabla' \cdot \mathbf{E}) = (\nabla \cdot \mathbf{E}) = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (52)$$

Sustituyendo (52) en (51):

$$\nabla' \times \left(\mathbf{B} - \frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{E})}{c^2} \right) = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t'} - \frac{\mu_0 \varepsilon_0 \rho \mathbf{v}}{\varepsilon_0}$$

$$\nabla' \times \left(\mathbf{B} - \frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{E})}{c^2} \right) = \mu_0 (\mathbf{J} - \rho \mathbf{v}) + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t'} \quad (53)$$

Aplicando la ecuación de transformación (47) a la ecuación de continuidad se obtiene:

$$\nabla' \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Utilizando (46):

$$\nabla' \cdot \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t'} + (\mathbf{v} \cdot \nabla') \rho \quad (54)$$

Desarrollando el segundo término del segundo miembro:

$$\nabla' \cdot (\rho \mathbf{v}) = \frac{\rho \nabla' \cdot \mathbf{v} + \mathbf{v} \cdot \nabla' \rho}{\text{Cero}} ; \quad \text{como } \mathbf{v} = \text{cte.}$$

$$\Rightarrow (\mathbf{v} \cdot \nabla') \rho = \nabla' \cdot (\rho \mathbf{v})$$

Sustituyendo (55) en (54):

$$\nabla' \cdot \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t'} + \nabla' \cdot (\rho \mathbf{v})$$

$$\nabla' \cdot (\mathbf{J} - \rho \mathbf{v}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t'} \quad (55)$$

La ecuación (56) nos sugiere que se tome:

$$\mathbf{J}' = \mathbf{J} - \rho \mathbf{v} \quad (56)$$

$$\Rightarrow \nabla' \cdot \mathbf{J}' = -\frac{\partial \rho}{\partial t'} \quad (57)$$

Sustituyendo (56) en (53):

$$\nabla' \times \left(\mathbf{B} - \frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{E})}{c^2} \right) = \mu_0 \mathbf{J}' + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t'} \quad (58)$$

De la ecuación (58) se toma \mathbf{B}' como:

$$\mathbf{B}' = \mathbf{B} - \frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{E})}{c^2} \quad (59)$$

Donde \mathbf{B}' es el Campo Magnético en el sistema S' .

Por lo tanto si nos paramos en S' para realizar las observaciones, se notará que \mathbf{B}' es cero, y la ecuación 38 queda:

$$\mathbf{B} - \frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{E})}{c^2} = 0$$

$$\Rightarrow \mathbf{B} = \frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{E})}{c^2} \quad (60)$$

3.9. Ley de Biot-Savart

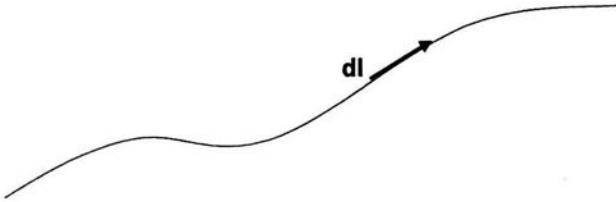


Figura 3.12

Sea $d\mathbf{l}$ un vector tangente al conductor y en la misma dirección que la corriente convencional.

Considerando que:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{l}}{dt} \quad \text{y} \quad d\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad (61)$$

Sustituyendo (61) en (60):

$$d\mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{d\mathbf{l}}{dt} \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

$$d\mathbf{B} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{dq}{dt} \frac{d\mathbf{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$\Rightarrow d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\mathbf{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

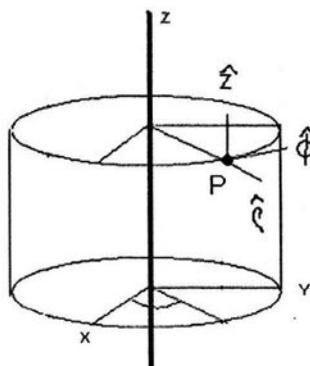
$$\therefore d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3} \quad (62)$$

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^2} \quad (63)$$

Esta expresión es conocida como la ley de Biot-Savart.

En el experimento de Oersted se utiliza la ecuación (63) para determinar la intensidad de Campo Magnético en un punto, producido por una corriente eléctrica, ver actividad VI de la sedite.

Este problema tiene una simetría cilíndrica, por lo que se utilizaran coordenadas cilíndricas para encontrar la solución.



ρ : radio del cilindro que pasa por el punto P, es decir la distancia radial del eje Z al punto P.

$$0 \leq \rho < \infty$$

Φ : ángulo azimutal, está sobre el plano XY y se mide a partir del eje X.

$$0 \leq \Phi < 2\pi$$

Z: eje vertical $-\infty < Z < \infty$

Figura 3.13

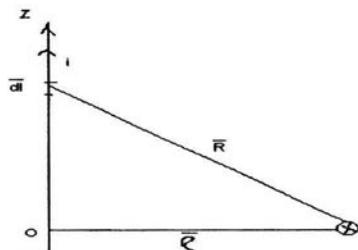


Figura 3.14

De la figura:

$$\hat{\phi} = \hat{z} \times \hat{\rho}$$

$$\mathbf{R} = \rho \hat{\rho} - Z \hat{z}$$

$$\Rightarrow d\mathbf{l} \times \mathbf{R} = dZ \hat{z} \times (\rho \hat{\rho} - Z \hat{z})$$

$$\therefore d\mathbf{l} \times \mathbf{R} = \rho dz \hat{\phi}$$

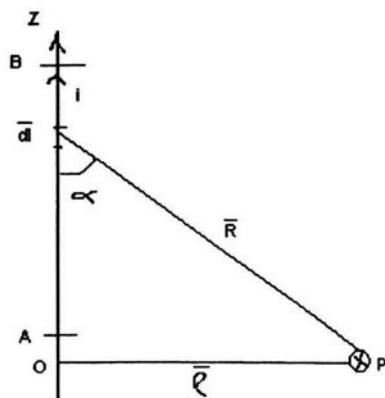


Figura 3.15

De la figura:

$$R = (Z^2 + \rho^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$R^3 = (Z^2 + \rho^2)^{\frac{3}{2}}$$

Además: $\text{sen } \alpha = \frac{\rho}{R}$

Sustituyendo éstos valores en 62:

$$dB = \frac{\mu_0 i \rho dz}{4\pi(Z^2 + \rho^2)^{\frac{3}{2}}} \hat{\phi}$$

$$\therefore \mathbf{B} = \int \frac{\mu_0 i \rho dz}{4\pi(Z^2 + \rho^2)^{\frac{3}{2}}} \hat{\phi} \quad (64)$$

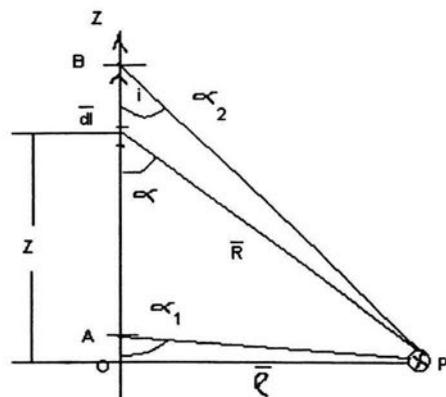


Figura 3.16

De la figura:

$$\cot \alpha = \frac{z}{\rho}$$

$$\Rightarrow z = \rho \cot \alpha$$

$$dz = -\rho \csc^2 \alpha d\alpha$$

Sustituyendo en (64):

$$\mathbf{B} = -\frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{\rho^2 \csc^2 \alpha d\alpha}{\rho^3 (1 + \cot^2 \alpha)^{3/2}} \hat{\phi}$$

Utilizando la identidad trigonométrica: $\csc^2 \alpha - \cot^2 \alpha = 1$

$$\mathbf{B} = -\frac{\mu_0 i}{4\pi \rho} \hat{\phi} \int \frac{\csc^2 \alpha d\alpha}{\csc^3 \alpha}$$

$$\mathbf{B} = -\frac{\mu_0 i}{4\pi \rho} \hat{\phi} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \operatorname{sen} \alpha d\alpha$$

Para un alambre finito:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi \rho} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \hat{\phi} \quad (65)$$

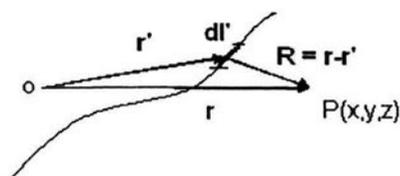
Para un alambre infinito, $\alpha_1 = 180^\circ$ y $\alpha_2 = 0^\circ$

$$\therefore \mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{2\pi \rho} \hat{\phi} \quad (66)$$

3.10. Ley de Gauss para Magnetismo

Seguendo con la ley de Biot-Savart, ecuación (63):

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^2} \quad (67)$$



Sea

$$\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{r}'$$

$$= [(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2]^{\frac{1}{2}}$$

Además se tiene que:

$$\nabla \left(\frac{1}{R} \right) = -\frac{\mathbf{R}}{R^2}$$

Figura 3.17

Sustituyendo en (67):

$$\mathbf{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \int_L i d\mathbf{l}' \times \nabla \left(\frac{1}{R} \right)$$

Por otro lado:

$$\nabla \times \left(\left(\frac{1}{R} \right) d\mathbf{l}' \right) = \left(\frac{1}{R} \right) (\nabla \times d\mathbf{l}') + \left[\nabla \left(\frac{1}{R} \right) \right] \times d\mathbf{l}'$$

$$\Rightarrow d\mathbf{l}' \times \nabla \left(\frac{1}{R} \right) = \frac{1}{R} \nabla \times d\mathbf{l}' - \nabla \times \left(\frac{d\mathbf{l}'}{R} \right)$$

Este término

es cero, debido a que el operador nabla no actúa sobre $d\mathbf{l}'$

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L i \left[\nabla \times \left(\frac{d\mathbf{l}'}{R} \right) \right]$$

$$\Rightarrow \mathbf{B} = \nabla \times \int_L \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\mathbf{l}'}{R} \quad (68)$$

$$\text{Sea } \mathbf{A} = \int_L \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\mathbf{l}'}{R} \quad \text{Potencial Magnético Vectorial.} \quad (69)$$

$$\therefore \mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (70)$$

Si se aplica la divergencia de \mathbf{B} , se obtiene:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (71)$$

Ley de Gauss para el magnetismo en forma diferencial.

De acuerdo con esta ecuación, se puede afirmar que el flujo neto de la densidad de Campo Magnético es cero. Esto significa que las líneas de campo son curvas cerradas, regresando al punto de donde salen.

Por lo tanto se verifica lo que se obtiene en la actividad II de la secuencia. **No existen imanes con un solo polo.**

Aplicando el teorema de Gauss, a la ecuación 71:

$$\int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0 \quad (72)$$

Ley de Gauss para magnetismo en forma integral.

3.11. Ley de Ampere

Obteniendo el rotacional de la ecuación (70):

$$\Rightarrow \nabla \times \mathbf{B} = \nabla \times \left[\nabla \times \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\mathbf{j} \, d\mathbf{l}}{r} \right] = \nabla \times \left[\nabla \times \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\mathbf{J} \, dV}{r} \right]$$

Utilizando la identidad vectorial:

$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{F}) = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{F}) - \nabla^2 \mathbf{F}$ Donde \mathbf{F} es un vector arbitrario.

$$\begin{aligned} \Rightarrow \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\nabla \int \mathbf{J} \cdot \nabla \left(\frac{1}{r} \right) dV - \int \mathbf{J} \nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) dV \right] \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\nabla \int \frac{\nabla \cdot \mathbf{J}}{r} dV - \int \mathbf{J} \nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) dV \right] \end{aligned}$$

Para corrientes estacionarias se cumple: $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$

$$\Rightarrow \nabla \times \mathbf{B} = - \frac{\mu_0}{4\pi} \int \mathbf{J} \nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) dV \quad (73)$$

Analizando $\nabla^2\left(\frac{1}{r}\right)$:

1. Si $r = 0$ la función no está definida.

2. Si $r \neq 0$

$$\nabla^2\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} \left(r \cdot \frac{1}{r}\right) = \frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (1) = 0$$

3. Realizando la integral en un pequeño volumen que contenga a cero:

$$\int_V \nabla^2\left(\frac{1}{r}\right) dV = \int_V \nabla \cdot \nabla\left(\frac{1}{r}\right) dV$$

Aplicando el teorema de Gauss:

$$\begin{aligned} \int_V \nabla \cdot \nabla\left(\frac{1}{r}\right) dV &= \int_S \nabla\left(\frac{1}{r}\right) \cdot d\mathbf{a} \\ &= \int_S \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r}\right) r^2 d\Omega \right] = - \int_S d\Omega = -4\pi \end{aligned}$$

$$\therefore \nabla^2\left(\frac{1}{r}\right) = -4\pi\delta(\mathbf{r}) = -4\pi\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}')$$

Sustituyendo en la ecuación 52 se obtiene:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \int_V \mathbf{J} \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}') dV$$

$$\therefore \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} \quad (74)$$

Ecuación de la ley de Ampere en forma diferencial.

Integrando ambos lados de la ecuación:

$$\int_S \nabla \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s}$$

$$\Rightarrow \int_S \nabla \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 i$$

Aplicando el teorema de Stokes al lado izquierdo de la última ecuación:

$$\int_s \nabla \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \int_l \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$$

$$\therefore \int_l \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i \quad (75)$$

Ecuación de la ley de Ampere en forma integral.

3.12. Ley de Faraday

Como se mencionó en el capítulo de historia, se pensaba que existía relación entre los fenómenos magnéticos y eléctricos.

Después de que Oersted dio a conocer su descubrimiento, los investigadores de la época se dedicaron afanosamente a encontrar el fenómeno inverso:

Producir corriente eléctrica a partir del magnetismo.

En 1845 el genio experimental Faraday fue quién descubrió que existen fenómenos eléctricos cuando el campo magnético varía en el tiempo.

Si se ponen dos alambres y en uno de ellos circula una corriente variable, entonces se induce una corriente en el otro.

También estableció que al mover un imán cerca de un circuito eléctrico, también se induce una corriente eléctrica.

Por lo que se dice que las corrientes son inducidas.

Esta parte se aborda con la actividad VIII de la secuencia didáctica, aunque solamente se toma el caso cuando el imán se mueve.

Partiendo de la ecuación que relaciona el trabajo por unidad de carga con la integral de línea del Campo Eléctrico:

$$\frac{W}{q} = \int_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (76)$$

Donde:

$$\frac{W}{q} = V \text{ donde } V \text{ es la diferencia de potencial o voltaje.}$$

Además se tiene que el voltaje inducido, es igual a la variación del flujo con respecto al tiempo:

$$V = \frac{d\Phi}{dt}$$

De acuerdo con la ley de Lenz, la fuerza electromotriz inducida se opone al cambio de flujo:

$$\Rightarrow \text{fem} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (77)$$

Combinando las ecuaciones (76) y (77) se obtiene:

$$\int_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{Ley de Faraday en forma integral.} \quad (78)$$

$$\Rightarrow \int_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$$

$$\Rightarrow \int_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_s \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{s}$$

Aplicando el teorema de Stokes:

$$\int_s \nabla \times \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \int_s \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{s}$$

$$\therefore \nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{Ley de Faraday en forma diferencial.} \quad (79)$$

3.13. Síntesis de Maxwell, para corriente continua.

1. Ley de Gauss para la electricidad, describe la carga eléctrica y el campo eléctrico.

Forma Integral

Forma Diferencial

$$\oint_s \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

El flujo del Campo Eléctrico a través de una superficie cerrada es igual a la carga neta en el interior de la superficie entre ϵ_0 .

2. Ley de Gauss para el magnetismo, describe el Campo Magnético.

Forma Integral

Forma Diferencial

$$\oint_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

El flujo de \mathbf{B} , a través de cualquier superficie cerrada es igual con cero.

De acuerdo con la interpretación de Rodríguez et al (1995):

*“Expresa que el vector **B**, carece de fuentes y sumideros y que, consecuentemente, no tiene sentido físico hablar de cargas magnéticas reales.”*

Relación con la actividad II, de la Secuencia Didáctica.

3. Ley de Ampere, describe el efecto magnético de una corriente eléctrica o de un campo eléctrico variable.

Hay que recordar que en este trabajo, sólo se utilizan corrientes continuas, por lo que la ecuación de Maxwell es válida para esta condición.

Forma Integral

Forma Diferencial

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}$$

La circulación de **B**, a lo largo de ℓ es igual a μ_0 por el flujo del vector densidad de corriente a través de S.

Relación con las actividades VI VII, de la Secuencia Didáctica.

4. Ley de Faraday, describe el efecto eléctrico de un Campo Magnético variable.

Forma Integral

Forma Diferencial

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

La circulación del Campo eléctrico a lo largo de ℓ es igual a la variación con respecto al tiempo del flujo de **B**, a través de S.

Relación con la actividad VIII, de la Secuencia Didáctica.

CAPÍTULO 4

MODELOS DE ENSEÑANZA

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrollan algunos de los modelos de enseñanza que se han utilizado a largo del siglo XX:

1. Transmisión-Recepción, también llamado tradicional
2. Por Descubrimiento
3. Constructivista
4. Investigación Dirigida
5. Cambios: de Actitud, Metodológico y Conceptual

En cada uno de estos modelos, se resaltan sus características epistemológicas, psicológicas y se hace énfasis en cada uno de los siguientes puntos:

- ♣ Fundamento Filosófico
- ♣ Concepción de Enseñar Ciencia
- ♣ Concepción de Aprender Ciencia
- ♣ Interacción en el aula (estructura social)
- ♣ Axioma

Al final de cada modelo se hace un análisis, con el fin de identificar los cambios que han ido teniendo en un intento por mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En efecto, la primera impresión que se tiene al comparar los cinco modelos, es creer que cada modelo es más eficiente que su antecesor, sin embargo; durante el trabajo cotidiano en el aula y al reflexionar más detenidamente sobre los resultados obtenidos por los estudiantes, se vislumbra que no existe un modelo mejor que otro; dado que cada uno de éstos modelos aporta elementos útiles para el aprendizaje.

Por lo tanto, la utilización de alguno de los cinco modelos, dependerá del objetivo de cada clase, del tipo de grupo con el que se esté trabajando, del carácter de cada docente y de las condiciones en el aula e incluso parece que lo más apropiado es retomar las bondades de cada modelo, así en algunas ocasiones se dará una clase de transmisión-recepción en otra ocasión constructivista y es de utilidad que los estudiantes a lo largo de cada periodo realicen pequeñas investigaciones para que desarrollen sus diferentes habilidades.

Modelos de Enseñanza

Toda propuesta docente se inscribe en un modelo de enseñanza-aprendizaje de manera implícita o explícita y tiene una concepción del sujeto que va a aprender, considerando que llega en “cero” o que posee ciertas ideas que ha adquirido a lo largo de su vida académica y cotidiana, sin olvidar a la cultura en la que está inmerso.

Para orientar la enseñanza es necesario conocer los diferentes modelos didácticos, con el fin de diseñar materiales, seleccionar contenidos y organizar las actividades de acuerdo a los objetivos que se establecen, de tal manera que se facilite en la medida de lo posible el aprendizaje (Jiménez, 1999).

En el aula los modelos raramente se practican de manera única, siendo frecuente que las estrategias de un modelo aparezcan combinadas con las de otros, en algunos momentos se puede dar una clase magistral, en otros proponer un problema que los estudiantes deben resolver diseñando sus propias estrategias o hacer una experiencia de cátedra para inducir la discusión.

4.1. TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN

Fundamento Filosófico:

Este modelo de enseñanza tiene una postura positivista de la ciencia, debido a que se considera que la ciencia es acumulativa y enciclopédica.

Se atiende esencialmente a la estructura de la disciplina, enfocándose la enseñanza principalmente al contenido, considerando a los alumnos y a las alumnas como una página en blanco donde es posible “grabar” toda la información suministrada por el profesor.

En esta lógica, el papel del docente es exponer los contenidos de manera clara y ordenada, privilegiando la enseñanza verbal: repetición, asociación de ideas, analogías, contraste y deducción.

Se considera a la ciencia como algo acabado y como una fiel representación de la realidad. Por lo que es suficiente conocer bien la disciplina, ya que el docente es el transmisor del conocimiento y fuente de autoridad, el contenido que imparte debe estar lógicamente estructurado, con aplicaciones a problemas numéricos que nada tienen que ver con el entorno de los estudiantes.

En esta óptica, el Profesor debe transmitir a sus estudiantes:

- ◆ Los conceptos inalterables de la materia
- ◆ Las verdades de su disciplina
- ◆ Las características del método científico

Para que con ayuda del docente y de los textos, sean capaces los estudiantes de acceder a nuevos conocimientos verdaderos y **fieles de la realidad**.

Los conocimientos son acumulativos y se considera a la ciencia como un sistema cerrado y comprobado, en el que los conceptos constituyen su razón de ser; se hace énfasis en que los alumnos memoricen definiciones, leyes, teorías, ecuaciones y apliquen todos estos elementos en la resolución de problemas de fin de capítulo.

Dentro de esta postura es necesario que el profesor domine la disciplina y cuente con conocimientos actualizados; por consiguiente, si el alumno no aprende será por culpa de él, porque no ha observado o experimentado adecuadamente, porque no ha sabido usar los conceptos y el método que se le ha transmitido.

Se prepara a los alumnos y alumnas para el siguiente nivel educativo, no se contextualiza el conocimiento, la manera de evaluar es la memorización, realizando en cada examen una copia de lo que dijo el profesor o de lo que dice el texto, a través de repetir fielmente la definición, demostraciones y solución de problemas tipo (Gil, 1991).

El trabajo en el laboratorio consiste en seguir unas instrucciones precisas y obtener datos para demostrar alguna ley previamente vista en clase; sin comprender claramente el objetivo del experimento o las razones que han llevado a escoger tal o cual práctica.

El laboratorio se concibe como:

- ◆ El único espacio válido donde se debe hacer trabajo experimental, siguiendo la receta impuesta por el docente.
- ◆ El lugar natural para comprobar la teoría impartida en el aula, sin cuestionarla.
- ◆ La oportunidad para adquirir el método científico; como la única metodología válida en los experimentos de ciencia.
- ◆ La única manera válida de desarrollar y reportar un trabajo científico.

Concepción de Enseñar Ciencia:

Cátedra Magistral y experimentos de cátedra, o la realización de experimentos siguiendo un formato rígido.

Clase Típica:

- ◆ **Introducción:** Contextualización lógica del nuevo contenido.
- ◆ **Presentación** de los nuevos conceptos: Definición, clasificación, unidades, ejemplos, contraejemplos y representación gráfica.
- ◆ **Relación** con otros conceptos previamente definidos: Leyes, Ecuaciones y demostraciones.

- ◆ **Aplicaciones:** Resolución de problemas y prácticas de laboratorio.

Concepción de Aprender Ciencia:

El papel de los alumnos y las alumnas es memorizar los contenidos tal y como la ciencia los ha formulado y el docente los entiende, sin variar ni un ápice las definiciones y mucho menos utilizar procedimientos diferentes a los vistos en clase para la resolución de los problemas, aunque se llegue al resultado correcto:

- ◆ Los problemas son fundamentalmente numéricos, para aplicar la teoría y posteriormente evaluar con ellos.
- ◆ Se hace énfasis en los problemas tipo, como medio de aprendizaje.
- ◆ Los problemas utilizados son cerrados.
- ◆ Se dedican a ellos sesiones exclusivas.
- ◆ Es muy importante la "matemática" del problema.
- ◆ Se da mayor importancia al resultado numérico, que al proceso de solución.

La interacción en el aula es:

Docente —→ **Estudiante**

La participación de los estudiantes se da exclusivamente cuando se les solicita, no hay interacción entre estudiantes, más bien se considera a la interacción entre ellos como indisciplina, propiciando que la comunicación sea unidireccional.

Axioma Pedagógico: Los estudiantes escuchan y aprenden en silencio.

Análisis del modelo:

El carácter reproductivo del aprendizaje en forma de datos y hechos hace que el proceso fundamental de enseñanza sea la repetición y el de aprendizaje sea la memorización.

De acuerdo con Pozo (2001), no se aprende con la pura memorización, es necesario rehacer los conceptos, discutirlos entre iguales y reflexionar para lograr entenderlos.

Así mismo las actitudes y los procedimientos no se consideran importantes en la enseñanza, la disciplina es entendida como tomar la clase en silencio, la comunicación es unidireccional y el alumno pasa a segundo término.

Aún cuando los docentes están insatisfechos de su ejercicio, es difícil cambiar debido a que durante mucho tiempo se ha enseñado y sobre todo se ha aprendido con este modelo, por lo

que se puede deducir que tiene gran peso la tradición. *“Es más seguro no variar nada, a menos que las circunstancias hagan absolutamente imposible el mantenimiento de la vieja tradición”* (Bernal, J. La Ciencia en la Historia, México 1989).

A pesar de que este modelo ha tenido críticas desde hace varios siglos, con Santo Tomás de Aquino y Descartes (Bernal, p. 321), aún se sigue utilizando, ya que autores como Eggen y Kauchak (2002), consideran que la forma natural de aprender es a través de la imitación, por lo que el docente es el centro de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Bajo este modelo no se conocen, ni se consideran importantes las concepciones previas del alumno e incluso a veces los profesores mantienen ideas que se asemejan bastante a la de ellos; por lo tanto resulta difícil que el profesor pueda diseñar actividades para que los alumnos superen sus ideas previas (Hierrezuelo y Montero, 1988).

4.2. POR DESCUBRIMIENTO

Fundamento Filosófico:

Se basa en la visión empirista de la ciencia, parte de la observación y experimentación, se considera que a través de éstas se van a descubrir las leyes de la naturaleza.

Por lo tanto su método de razonamiento es inductivo, a través del cual, los estudiantes mediante la observación son capaces de descubrir conceptos y leyes.

En este sentido, la mejor manera de que un niño aprenda es que lo “invente”, que lo descubra por sí mismo (Piaget y García, 2000).

Concepción de Enseñar Ciencia:

Es enseñar las destrezas de investigación, organizar y coordinar actividades experimentales, el profesor no debe introducir los conceptos, ni dar las instrucciones para resolver un problema, ya que se supone que los alumnos serán capaces de descubrirlos a través de las actividades realizadas. Lo más importante es el método y las destrezas cognitivas, pasando a segundo término los contenidos.

El rol del profesor consiste en proporcionar oportunidades de investigación y experiencias que tienden a desarrollar las habilidades procedimentales y cognitivas de los estudiantes. Por lo que el profesor juega un papel secundario en el proceso de aprendizaje y el contenido científico lleva una carga muy grande de metodología (Perales, P. Et al. 2000).

Secuencia en una clase típica:

- ◆ Confrontación del alumno a una situación problemática.
- ◆ Experimentación en torno a dicha situación.
- ◆ Verificación de los datos recogidos durante la experimentación.

- ◆ Organización y explicación de la información obtenida.
- ◆ Reflexión sobre la estrategia seguida durante la investigación.

Papel asignado a la solución de problemas:

- ◆ Los problemas se utilizan para la adquisición de habilidades cognitivas.
- ◆ Lo que importa en la solución es la metodología.
- ◆ Se acentúa el carácter práctico y creativo del problema.
- ◆ El resultado obtenido en el problema se interpreta en términos de descubrimiento.

Concepción de Aprender Ciencias:

Es un modelo centrado en los estudiantes, quienes tienen una activa participación e interacción con sus compañeros a largo de la resolución de problemas.

En este modelo se concibe la existencia de un método científico universal y único, al cual se deben apegar los estudiantes para realizar sus investigaciones. Por lo tanto, requieren dominar los procesos del método científico y aplicándolo llegarán a descubrir los conceptos, como si existiera una receta mágica o un algoritmo único que por medio de éste se llegará a las leyes de la naturaleza.

El alumno es el responsable de los procesos de enseñanza-aprendizaje a través de sus intereses y de una reconstrucción de conceptos ya establecidos, se intenta prescindir del profesor.

La interacción en el aula es:

Profesor ←— Estudiante

Estudiante ↔ Estudiante

La estructura social en el aula permite la interacción entre iguales; sin embargo, se cae en otro extremo, debido a que el docente pasa a segundo término, limitando así la retroalimentación hacia los estudiantes.

Axiomas Pedagógicos:

1. Hacer para aprender.
2. Pensar subordinado a hacer.

Análisis del modelo:

Se pretende el desarrollo de pensamiento formal de los estudiantes, porque a través de las investigaciones que llevan a cabo, se genera la discusión entre ellos al proponer diferentes hipótesis y contrastarlas a través de la experimentación, sin embargo no existe un marco teórico para interpretar los resultados de los experimentos.

4.3. MODELO CONSTRUCTIVISTA

Surge en la década de los 80^s. Al igual que el modelo anterior, está centrado en los estudiantes, a quienes no se considera como páginas en blanco, sino que tienen ideas adquiridas desde la *cuna* "que orientan sus experimentos y condicionan sus interpretaciones, influyendo en el aprendizaje." (Driver, en Jiménez, 1999).

Fundamento Filosófico:

Está fundamentado en una visión cognoscitiva de la ciencia, se considera que a través de la experimentación, discusión, argumentación y reflexión se pueden construir los conceptos que nos ayudarán a encontrar las reglas de la naturaleza.

Concepción de Enseñar Ciencias:

Es mediar en el proceso de aprendizaje, tanto en lo que respecta a la planificación y organización de actividades relevantes, como en la dirección del trabajo individual y en equipo con la intervención en determinadas etapas.

A decir de Eggen (2002), el docente es un líder activo en la tarea de ayudar a los alumnos a procesar la información, por lo tanto debe poseer la habilidad para indagar y guiar el pensamiento de los estudiantes.

Asimismo juega un papel flexible y debe contar con un banco muy grande de actividades, además de poseer una gran creatividad para cambiar las actividades si fuese necesario y hacer la pregunta adecuada en el momento oportuno.

El docente requiere crear un ambiente propicio en el aula, para que los alumnos puedan expresarse libremente, sin temor a que sus ideas sean ridiculizadas o ser tomadas en cuenta negativamente, lo que no significa que no puedan ser discutidas y rebatidas, para llegar a un consenso durante la clase.

Se evalúan tanto las destrezas como los conceptos y la capacidad de aplicar lo aprendido a la solución de problemas nuevos.

Es vital que el docente identifique, las concepciones previas de los estudiantes acerca del tema, ya que éstas juegan un papel de primera magnitud en la construcción de nuevos conocimientos, debido a que existe interacción entre lo que saben (o creen saber) y el conocimiento nuevo, mediante un proceso de construcción activa.

Características de las concepciones previas de los alumnos:

- ◆ Se diferencian de un modo significativo de las construidas por la ciencia para describir los fenómenos naturales, variando desde aproximaciones burdas hasta claramente erróneas.
- ◆ No suelen variar sustancialmente entre sujetos de contextos socioculturales diferentes.
- ◆ Son profundamente resistentes al cambio con la instrucción.
- ◆ En determinados casos se ha comprobado una cierta analogía con la evolución experimentada por los conceptos científicos en el devenir histórico.

Se considera a la Ciencia como un proceso de interpretación de la realidad mediante un modelo, que condiciona la observación a través de “anteojos” conceptuales.

Bajo este modelo, uno de los objetivos principales es lograr un cambio conceptual en los estudiantes y para lograrlo es pertinente plantear problemas contextualizados en su entorno.

De esta manera se deriva la siguiente función asignada a la solución de problemas:

- ◆ Los problemas juegan un papel crucial en la construcción conceptual
- ◆ Su enunciado y resolución deben estar conectados con la experiencia previa del sujeto
- ◆ La resolución del problema también sirve para un cambio metodológico
- ◆ El objetivo fundamental del problema es facilitar el cambio conceptual:
 - a. Articulando el propio alumno sus ideas previas (el problema como diagnóstico)
 - b. Contrastando sus ideas previas con las explicaciones científicas (el problema como generador del cambio conceptual)
 - c. Aplicando las nuevas ideas (el problema como consolidación del cambio conceptual)

Concepción de Aprender Ciencias:

Partiendo de las concepciones previas de los estudiantes, se reconstruyen los conceptos aceptados por la comunidad científica.

Con este enfoque, los estudiantes desarrollan su propia comprensión acerca del mundo en lugar de obtenerla directamente del docente.

Por ende, la responsabilidad de aprender le compete al alumno, es decir, es un constructor de su propio conocimiento, construye significados, atribuye sentido a lo que aprende, relaciona los conceptos que va a aprender y les da un sentido a partir de la estructura conceptual que ya posee.

Las concepciones de los estudiantes son el punto de partida que sirven para desarrollar actividades que involucren tareas de tipo cognitivo y no solo de manipulación, logrando la confrontación de sus ideas y generando un conflicto cognitivo para que el estudiante vea la necesidad de discutir y cambiar sus conceptos.

La Interacciones en el aula:

Profesor \longleftrightarrow Estudiante

Estudiante \longleftrightarrow Estudiante

Se promueve la cooperación y la discusión en el aula, construyendo un clima de diálogo y reflexión, donde ningún estudiante sienta temor a exponer sus ideas o a estar equivocado, mas bien se ve como una oportunidad de contrastar diferentes puntos de vista para construir el conocimiento de manera colectiva.

Axioma Pedagógico:

Construir conceptos para poder interpretar a la realidad.

Se puede concluir haciendo referencia a Perales (2000) *"El constructivismo ofrece una perspectiva de trabajo y no una solución lista para usar."*

Análisis del modelo:

La perspectiva constructivista radical, sugiere que mas que extraer conocimientos de la realidad, la realidad sólo existe en la medida que la construimos, debido a que los datos y hechos son interpretados con base a las ideas previas y a un marco teórico.

Este modelo pretende recoger los aspectos positivos de los que le precedieron como:

- ◆ La importancia de dominar y comprender la disciplina de lo que se va a enseñar (de transmisión).
- ◆ La participación activa de los estudiantes (descubrimiento).

4.4. Modelo por Investigación Dirigida

Bajo el esquema constructivista no se han alcanzado los resultados esperados en el cambio metodológico, actitudinal y conceptual, hacia el aprendizaje de las ciencias (Furió, 1996).

En un intento por superar los problemas que plantea el constructivismo y recuperando los aspectos positivos del modelo por descubrimiento, eclosionó el modelo por investigación dirigida.

Éste modelo de enseñanza propone que el alumno se familiarice con los procesos de la ciencia, a través de problemas que sean atractivos para ellos y estén acorde con su entorno,

para que sean capaces de explicar los fenómenos que observan diariamente y constaten que la ciencia sirve para explicar los fenómenos del mundo real.

Para obtener la solución de este tipo de problemas, se propone:

- ◆ Seguir la metodología de los científicos profesionales.
- ◆ Recurrir a la historia, para saber como se superaron los escollos en la construcción de conceptos difíciles.
- ◆ Diseñar estrategias semejantes a las utilizadas por los científicos de épocas anteriores, de tal manera que facilite a los estudiantes, la reconstrucción de los conocimientos.

Concepción de Enseñanza Aprendizaje:

- ♥ La enseñanza-aprendizaje de la ciencia se convierte en una actividad con unos objetivos claros y explícitos para los alumnos, en la medida que puedan resolverse problemas auténticos y significativos para ellos.
- ◆ Este modo de trabajo aproxima al alumno al quehacer científico
- ◆ Sirve de aglutinante para el aprendizaje de las tres vertientes del conocimiento científico:
 - a) Actitudes
 - b) Procesos
 - c) Conceptos

Papel asignado a la resolución de problemas:

- ◆ La enseñanza debe plantearse en torno a interrogantes que han de resolverse.
- ◆ La ciencia se considera una empresa fundamentada en la resolución de problemas.
- ◆ El problema representa el núcleo de la investigación.
- ◆ La resolución de problemas se convierte en una oportunidad para el cambio conceptual, el aprendizaje de procesos y la adquisición de actitudes.
- ◆ Se relacionan conceptos teóricos y aplicaciones prácticas, ayudando a transferir los conocimientos escolares a ámbitos más cotidianos.

Con este modelo se promueve el diseño de estrategias por parte del alumno y la reflexión sobre su trabajo desde los procedimientos de búsqueda y organización de la información hasta la elaboración de informes.

El profesor ayuda a definir el problema, crear dudas, formular preguntas que ayuden a centrar la tarea y a encontrar una estrategia de resolución, fomentando la reflexión sobre el proceso y sus consecuencias. Cuidando que los problemas no sean demasiado abiertos o ambiguos para los alumnos.

La interacción en el aula es:

Profesor \longleftrightarrow Estudiante

Estudiante \longleftrightarrow Estudiante

Axioma de este Modelo es: Promover en los alumnos formas de pensamiento próximas a las que usan los científicos.

4.5. Cambio de Actitud, Metodológico y Conceptual

Los cuatro modelos anteriores buscan fundamentalmente un **Cambio Conceptual**, Sin embargo algunos autores como Pozo y Gómez Crespo (2001) consideran el cambio conceptual como otro modelo de enseñanza-aprendizaje y para que éste cambio sea exitoso, se debe tomar en cuenta que cada estudiante tiene habilidades y actitudes diferentes hacia la ciencia que influyen en su manera de interesarse y aprenderla, sin olvidar que el conocimiento es una construcción personal, siendo necesarias las estructuras cognitivas del alumno. Por lo que es preciso emplear una metodología y una evaluación adecuadas a las características, actitudinales, procedimentales y cognitivas.

En este sentido, se sugiere trabajar y promover cambios en las Actitudes, Métodos y Conceptos.

a. Cambio de Actitud

Una de las principales dificultades para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, son las actitudes de los alumnos, su forma de comportarse en clase y sus valores, son dos elementos que incomodan a los profesores en su trabajo cotidiano, por lo que se debe enseñar a los estudiantes a comportarse en clase, a cooperar con sus compañeros e incluso a descubrir el interés por la ciencia.

Generalmente se lamenta la pasividad de los alumnos y su poca disposición a colaborar, sin embargo, esos mismos rasgos pueden estar presente en la actitud del docente, en la búsqueda de solución a muchos problemas que aquejan a la realidad educativa de la que forman parte y a la que contribuyen diariamente.

Lograr el cambio de actitud no es fácil, en primera instancia se recurre a la distribución de premios y castigos, que sin duda es un mecanismo eficaz para controlar la conducta de los alumnos, sin embargo, no se logran cambios duraderos, sino existe un compromiso por parte de todos los actores educativos involucrados.

No se puede olvidar que los profesores, están transmitiendo actitudes a los estudiantes, a través de su conducta en el aula, por lo tanto es necesario un cambio en la conducta en todos, incluyendo al docente.

Es necesario tener claridad en las conductas que se quieren cambiar y cuáles se quieren

fomentar, ya que solo a través de la persuasión y de un trabajo continuo a lo largo de todo el ciclo escolar, se obtendrán resultados.

Por lo anteriormente expuesto, el docente que desee lograr un cambio de actitud en los estudiantes, debe ser cuidadoso en:

- ◆ Planificar actividades, dando continuidad en el desarrollo de la clase y cuidando que no haya rupturas durante un cambio de tema.
- ◆ Desarrollar un experimento, permitiendo cierta autonomía a los alumnos, considerando sus hipótesis.
- ◆ La forma de resolver problemas, enfatizando el proceso y analizando el resultado numérico.
- ◆ La manera de asesorar a los alumnos que tienen dificultades ante una actividad, permitiendo que expresen sus ideas.

Además se debe fomentar que los alumnos interioricen ciertas normas y formas de comportarse en el aula para convertirlos en valores, como:

- ◆ Trabajo en equipo.
- ◆ Solidaridad.
- ◆ Tolerancia a las ideas de los compañeros de clase.
- ◆ Respeto a la clase.
- ◆ Compromiso académico (participación, tareas, etc.).
- ◆ Puntualidad y asistencia.
- ◆ Críticos con las ideas expuestas en clase.
- ◆ Reconocer el impacto de la ciencia en el entorno.

Aprender ciencias es complejo por lo que se debe invertir tiempo y mucha dedicación, para que los estudiantes estén dispuestos a realizar actividades científicas, se requiere que se sientan capaces de hacerlo, que tenga sentido en su entorno y que se valore su esfuerzo. Por lo tanto, se deben buscar actividades que estén de acuerdo a su capacidad y conocimiento, partiendo de sus inquietudes, para lograr que sienta curiosidad por los problemas planteados y que su espíritu de indagación sea conmovido, dejando cierta autonomía y guiándolo para que se incrementen sus expectativas de éxito en las actividades, se tiene que lograr que los alumnos deseen el conocimiento con impetuosidad.

Cuando el alumno no cumpla exitosamente sus actividades, se le debe hacer consciente en los errores cometidos, atribuyéndolos a factores modificables para que los trascienda, logrando con esto un incremento en su autoestima.

b. Cambio Metodológico

El cambio conceptual no es posible sin un cambio metodológico, ya que las concepciones previas están asociadas a una metodología de la superficialidad con respuestas rápidas y mecánicas, que no son sometidas a ningún tipo de análisis (Pozo y Gómez Crespo, 2001).

Tradicionalmente se ha enseñado la Física entrenando a los estudiantes en algoritmos y técnicas de cuantificación, sin hacer un análisis del proceso ni del número obtenido, sin embargo, es necesario enseñar a los estudiantes, que analicen los datos experimentales, las soluciones obtenidas en los ejercicios y se hagan explícitas las limitaciones de la teoría, considerando las idealizaciones a las que se recurre en la solución de problemas.

Si se hace un análisis del trabajo de laboratorio, se observará que generalmente ha sido utilizado para “comprobar” la teoría vista con anterioridad, a través de seguir una serie de pasos ya establecidos.

Hodson (1994), asevera que los motivos expresados por los Profesores para el uso de laboratorio son:

- ◆ Motivar, mediante la estimulación del interés y la diversión.
- ◆ Enseñar las técnicas de laboratorio.
- ◆ Intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos.
- ◆ Proporcionar el proceso del método científico y desarrollar la habilidad en su utilización.

Lo anterior no da la certeza de que el trabajo en el laboratorio motive a los alumnos, ayude a entender mejor los conceptos o se desarrollen habilidades científicas, paradójicamente los estudiantes perciben que trabajar en el laboratorio es:

- ◆ Seguir una receta con instrucciones paso a paso.
- ◆ Cuantificar algo.
- ◆ Mirar a sus alrededores para copiar lo que están haciendo los otros.
- ◆ Entregar un reporte aunque no se entienda lo que se hizo y menos los conceptos involucrados.

Por lo tanto se limita su iniciativa y creatividad, ya que no puede plantear hipótesis propias.

Por lo anteriormente expuesto, es imprescindible cambiar la metodología, para que los estudiantes sean activos, desarrollen procedimientos y estrategias de aprendizaje, que los lleven a convertir sus conocimientos declarativos y conceptuales en acciones o predicciones y valoren la ventaja de saber decir y saber hacer.

El camino a seguir por los estudiantes dependerá del tipo de tarea a realizar, si tiene un

carácter rutinario, si es repetitiva, si consiste en un ejercicio o si por el contrario es una situación nueva que implica cuestiones reflexivas, donde tiene la oportunidad de plantear hipótesis y contrastar sus puntos de vista con sus compañeros, para poder tomar una decisión acerca del proceso de solución del problema, promoviendo con esto cierta autonomía.

La metodología utilizada por los estudiantes, puede ser desde simples técnicas y destrezas que se aprenden de manera mecánica a través de la repetición, hasta las estrategias donde es necesario el razonamiento y la toma de decisiones.

Las estrategias se conciben como el uso intencional de las técnicas permeadas tanto por conocimiento declarativo como conceptual, la motivación, la autoestima, la atención, la concentración, sin olvidar la fácil adquisición de los materiales.

Bajo este modelo, la función del profesor es de supervisar el proceso, dirigiendo al alumno y promoviendo la reflexión de sus éxitos y fracasos para que los estudiantes aprendan a aprender.

c. Cambio Conceptual

El aprendizaje significativo ha dado paso al estudio del cambio conceptual, entendido como el cambio de las concepciones previas de los alumnos, dichas concepciones son compartidas por personas de diversas culturas, edades y niveles educativos, tienen relativa coherencia y en algunos casos guardan una notable similitud con concepciones ya superadas en la propia historia de las disciplinas científicas. El proceso de cambio conceptual supone una reestructuración cognitiva en la mente del alumno, el elemento importante es el racionalismo, donde lo prioritario es desarrollar la lógica y el razonamiento del alumno, mientras que los contenidos específicos pasan a segundo término.

Generalmente cuando se habla de una enseñanza conceptual de la ciencia, los estudiantes tienen la creencia que se les van a dar definiciones y datos numéricos que tienen que memorizar, piensan que la ciencia es algo inmutable y bien establecido por algún "iluminado", siendo difícil que expresen sus ideas acerca de los fenómenos que observan, ya que no están acostumbrados a la discusión, no conciben a la ciencia como una actividad social, esto complica que puedan modificar sus concepciones.

La ciencia que se les ha impartido hasta ese momento se fundamenta primordialmente en datos y hechos que no se discuten ni se interpretan, simplemente se memorizan como un dogma.

Un dato o hecho es una información que afirma o declara algo sobre el mundo; sin embargo, comprender un dato requiere utilizar conceptos, es decir relacionar esos datos dentro de una red de significados que explique cómo surgen y que consecuencias tienen. Por ende la mejor forma de aprender ciencia es comprender los fenómenos.

No se está proponiendo una enseñanza sin datos, la ciencia está plagada de ellos, pero tienen que estar contextualizados, dejando de ser arbitrarios e interpretarlos para que

promuevan aprendizajes que los lleven al cambio conceptual.

Para que se logre el cambio conceptual en los estudiantes, es necesario que ellos sientan insatisfacción con sus concepciones previas, que encuentren contradicciones en ellas o que vean que no les sirven para resolver problemas nuevos que se les han planteado, si los alumnos no perciben la necesidad de cambiar sus concepciones previas, no será posible el cambio conceptual.

Por lo tanto, se debe promover el conflicto cognitivo en los estudiantes, para que se hagan conscientes de la insuficiencia de sus ideas y en este momento se le debe guiar para que construya una nueva idea con la que pueda explicar los fenómenos estudiados.

La nueva idea debe cumplir con los requisitos de:

i) Ser Inteligible

- ◆ Hay que conocer y comprender los términos, símbolos y modo de expresión utilizados.
- ◆ La información debe estar estructurada de una manera coherente.
- ◆ Favorecer el procesamiento de la información para que se incorpore al esquema conceptual del alumno, no solo memorizarla.

ii) Ser verosímil

- ◆ No estar en contradicción con la experiencia cotidiana del alumno.
- ◆ Se necesita tiempo suficiente para la reflexión.
- ◆ Hay que dar suficientes ejemplos y contraejemplos hasta que sea asimilada.

iii) Ser útil

- ◆ Debe servir para resolver los conflictos.
- ◆ Debe ampliar el campo de conocimientos de los alumnos.

Se ha visto que los conceptos se aprenden relacionándolos con las concepciones previas que se poseen y éstos se van construyendo a diferentes niveles.

El conocimiento conceptual que los alumnos traen al aula y con él sus actitudes y procedimientos, se refiere al mundo cotidiano, mientras la ciencia que se les enseña se mueve más en una realidad de otros mundos, del microcosmos y del macrocosmos, por ende, los resultados del aprendizaje no solo dependen de la situación y de las experiencias que se proporcionen, sino del sentido que se les da y las relaciones establecidas entre el

conocimiento adquirido en el aula y el entorno del alumno, diluyendo la existencia de dos conjuntos de conocimientos paralelos, esto ayuda a los alumnos a comprender el significado de los modelos científicos y a interesarse por ellos (Pozo, 2001).

En este modelo de enseñanza-aprendizaje es necesario que los actores educativos estén dispuestos a saborear y compartir el **fruto amargo del conocimiento**.

CAPÍTULO 5

PROPUESTA DIDÁCTICA

El problema de enseñanza- aprendizaje es sumamente complejo y con base en el análisis que se realiza en el capítulo anterior, se observa que por lo que no existe un modelo que lo resuelva, más bien son propuestas que ayudan a obtener mejores resultados, no son recetas mágicas.

Los modelos: Constructivista, Por Investigación Dirigida y Cambios, son modelos centrados en los estudiantes y proponen que se parta de las concepciones previas, para que los estudiantes construyan su conocimiento al interactuar con sus compañeros, con los libros y con el maestro, es importante señalar que la participación activa de los actores educativos es crucial, para lograr una mejor habilidad de pensar y una mayor comprensión del contenido estudiado.

La comprensión entendida como: hacer con un tema diferentes cosas que requieran del pensamiento, como dar explicaciones, encontrar pruebas y ejemplos, generalizar, aplicar, hacer analogías, en suma representar al tópico de una nueva forma (Eggen, 2001).

En suma, bajo este esquema se concibe al estudiante como el actor principal en la construcción de sus conocimientos y al profesor como un guía, sin embargo no se pretende el aprendizaje inductivo y autónomo, es necesaria la participación de todos los actores educativos.

De cada uno de los cinco modelos, se propone retomar lo que mejor se adapte al tema, al docente e incluso al grupo, tanto para el diseño de las actividades de la Secuencia Didáctica, como para favorecer que los estudiantes sean activos y creativos proponiendo hipótesis, actividades experimentales e incluso interpreten y expliquen los resultados, para que construyan los conceptos de la Magnetostática en el aula y reflexionen acerca de su propio proceso de aprendizaje.

Como primer punto, se busca un cambio en la actitud de los estudiantes hacia la Física, para lograrlo se crean las condiciones en el aula para que se expresen libremente y asimilen que el conocimiento es una actividad social, que requiere de tiempo, esfuerzo y compromiso. Además se promueve el aprendizaje entre iguales, tomando en cuenta que los alumnos no son sujetos pasivos durante los procesos de enseñanza-aprendizaje, debido a que existe interacción e intercambio de ideas. De acuerdo con Vigotsky (1978) *“El aprendizaje humano presupone un carácter social y un proceso por el cual los estudiantes se introducen, al desarrollarse, en la vida intelectual de aquellos que le rodean”*.

No obstante que se propone una interacción con mas libertad con el Profesor y con otros alumnos para organizar el trabajo, se debe cuidar que los estudiantes no se dediquen al “chacoteo” mientras realizan las actividades, ellos deben discutir, obtener conclusiones y escribir en su cuaderno, tanto los detalles del experimento como las conclusiones, generando actitudes científicas. También es crucial que sepan verbalizar, por lo que se les pide que lean sus conclusiones, las fundamenten y defiendan frente a todo el grupo, ya que

durante el proceso de aprendizaje se avanza intelectualmente al reflexionar sobre el propio pensamiento.

El segundo cambio que se pretende es el metodológico, recordemos que históricamente los griegos dieron un gran salto al cambiar los conocimientos observacionales por conocimientos teóricos y que se volvió avanzar en el siglo XVI, cuando se utilizó una metodología experimental. Por lo tanto se concibe a la actividad experimental como una oportunidad para desarrollar la creatividad en la propuesta de diseños experimentales y ratificar o rectificar las propias hipótesis.

El tercer cambio es lograr el cambio conceptual en los estudiantes, es a través del conocimiento de la teoría, de la discusión y la reflexión como se logra un avance intelectual.

Para alcanzar los tres cambios planteados, se elabora una Secuencia Didáctica de actividades por parte del docente, para desarrollarla de manera conjunta entre los actores educativos, de tal manera que puedan observar y vivenciar que la ciencia es una actividad social.

Los experimentos propuestos son sencillos de realizar, el material utilizado es de bajo costo y fácil adquisición para que los estudiantes lo puedan conseguir, de esta manera adquieren confianza, gusto y destreza en el hacer, fusionando método y contenido.

Para el diseño de la secuencia didáctica, se parte de:

- Las concepciones previas de los alumnos.
- Un modelo que retome las bondades, de los anteriormente expuestos.

Para que los estudiantes construyan los conceptos de la Magnetostática y comprendan que la fuentes del Campo Magnético son los imanes y las corrientes eléctricas.

Para llevar a cabo la secuencia se trabaja en equipos de 4 ó 5 estudiantes con la finalidad de que se retroalimenten y aprendan a trabajar en equipo, a ser críticos y respetuosos con las ideas expuestas por sus compañeros.

Los elementos de la secuencia son:

- a) Preguntas abiertas para identificar las concepciones previas.
- b) Preguntas cuyo objetivo es crear conflicto cognitivo en los estudiantes.
- c) Experimentos sencillos que sirven para generar la discusión en el equipo y desarrollar las habilidades de predicción.
- d) Preguntas de reflexión con la finalidad de que los alumnos puedan aplicar los conceptos a situaciones nuevas.
- e) Tarea para relacionar el concepto construido en el aula con su entorno, unificando sus mundos.

Con base en un cuestionario y a través de lluvia de ideas, se detectaron las siguientes Concepciones Previas:

i) Acerca de los imanes:

- ♣ Son objetos que tienen fuerza.
- ♣ Transmite su fuerza a los cuerpos que están en contacto con él.
- ♣ Son siempre metálicos.
- ♣ Atraen a todos los metales.
- ♣ Tienen cargas electrostáticas en los extremos.
- ♣ El polo norte tiene mayor intensidad.
- ♣ Pueden tener un solo polo.

ii) Acerca de la brújula:

- ♣ Siempre apunta hacia el norte geográfico, porque en ese hemisferio, existe mayor cantidad de hierro.
- ♣ El norte es más fuerte.
- ♣ El polo norte es el positivo.
- ♣ Se vuelve "loca" en presencia de un Campo Magnético.

iii) Acerca de electroimanes:

- ♣ La corriente le transmite fuerza al núcleo.
- ♣ El electroimán necesita un núcleo de hierro para poder atraer objetos de hierro y/o níquel.

iv) Existen también aspectos importantes de los cuáles no tienen información:

- ♣ La brújula es un imán.
- ♣ Las líneas de campo son cerradas.
- ♣ La corriente eléctrica produce Campo Magnético.
- ♣ Un Campo Magnético variable produce una corriente eléctrica.

Con las concepciones previas y la aplicación de un modelo mixto de enseñanza, se proponen las siguientes actividades:

Actividad I. Experimentando con Imanes

Parte A: Materiales con que se fabrican imanes

Parte B: Materiales Ferromagnéticos

Por ser las primeras actividades se utilizan como introducción a los fenómenos magnéticos, con éstas se pretende modificar la concepción de que todos los imanes son metálicos y que interaccionan con todos los metales.

Se solicita que cada estudiante lleve al menos un imán y que acerque su imán con diferentes materiales, para que se de cuenta que existen metales que son atraídos por el imán y metales que no son atraídos por el imán. Sin embargo, a pesar de la evidencia prefieren pensar en una mala calidad del metal y no modificar la concepción de que todos los metales son atraídos por el imán como se muestra en el siguiente diálogo entre estudiantes:

“Javier: Hay que acercar al imán a esta lata de refresco.”

“Sergio: No entiendo porque la lata no es atraída, si es de metal”

En esta actividad los objetos que son atraídos por el imán son de hierro o níquel, que pertenecen a los materiales ferromagnéticos. No se trabaja con materiales paramagnéticos.

Actividad II: Espectro y Polos del Imán.

Los estudiantes ubican los polos a través del espectro del Campo Magnético del imán, se muestra que las líneas de campo son cerradas.

Generalmente los estudiantes piensan que los polos se encuentran en los extremos, por lo que se debe mostrar muchos tipos de imanes, de barra, cuadrados, de los que se utilizan en el refrigerador, de forma toroidal, etc.

Se realiza un análisis con los imanes de barra que se han ido desmagnetizando debido a que los polos se han recorrido de los extremos, dando la impresión de que este imán tiene tres polos.

También los estudiantes tienen la creencia que las líneas de fuerza salen del “polo positivo” y llegan al “negativo”, como se muestra en el comentario:

“Alejandra: Las líneas salen del polo positivo, porque es el que tiene más fuerza.”

La discusión del espectro se retoma en la actividad VI y VII, al observar el campo magnético dentro de una bobina, en este punto se imparte la clase utilizando el modelo de transmisión-recepción, para que los estudiantes vinculen los experimentos realizados con la ley de Gauss para el magnetismo y se les explica la Física de esta ecuación, se logra que comprendan que la corriente eléctrica genera un campo magnético, esto significa que se tiene un campo magnético sin imán!

Actividad III: Interacción Imán-Imán / Imán-Brújula.

Los estudiantes tienen la creencia que en polos del imán existen cargas eléctricas. Se crea conflicto cognitivo cuando hacen interaccionar a los imanes con pedacitos de papel.

Los estudiantes analizan la orientación de la brújula en presencia de un campo magnético producido, extrapolando los resultados a la interacción de la brújula con el Campo Geomagnético, para que la brújula deje de ser una caja negra.

“Mariana: la brújula es un dispositivo con una cajita y algo adentro, que hace que siempre apunte hacia el norte.”

Actividad IV: Asignar nombre a los Polos del Imán

Parte A: Con ayuda de una Brújula

Parte B: Con ayuda del Campo Geomagnético

Para esta actividad se consideran de los siguientes puntos:

- Los imanes tienen dos polos.
- Polos contrarios se atraen y polos iguales se rechazan.
- La brújula es un imán

Con la finalidad que se pueda asignar nombre a los polos del imán, hay que hacer énfasis que en la brújula, lo que comúnmente se llama polo norte, en realidad es el polo buscador del norte; por lo tanto es el polo sur y viceversa.

De acuerdo con la convención de Geofísicos de 1965, el norte magnético y el norte geográfico, están en el mismo hemisferio y recíprocamente con el polo sur.

Actividad V: Polos

Parte A: Intensidad de los Polos

Parte B: Polos en pedazos de imanes

Los estudiantes tienen la creencia que el polo norte tiene más “fuerza”, por lo que la brújula siempre apunta hacia el norte, siguen manteniendo esta concepción aún cuando se ha realizado la actividad de la orientación de la brújula en un Campo Magnético.

“Ricardo: la brújula siempre apunta hacia el norte, porque este polo tiene más fuerza.”

Una vez que se han ubicado los polos, se muestra que ambos polos tienen la misma intensidad, para esta actividad es conveniente utilizar imanes de barra, para mostrar que en el centro la intensidad es mínima.

Es importante mostrar que no existen imanes con un solo polo, debido a que los estudiantes piensan que el comportamiento de los polos es igual al de las cargas electrostáticas, incluso cuando parten los imanes les cuesta trabajo aceptar que no existen imanes con un solo polo.

“Pedro: este pedacito de imán es un tiene un solo polo, porque siempre es atraído por el imán grande.”

Actividad VI: Electroimanes

Parte A: Campo Magnético inducido por una Corriente Eléctrica

Parte B: Campo Magnético Generado por una Espira

Al colocar una brújula paralela a un conductor recto, se observa que la aguja se deflexa cuando se hace pasar una corriente a través del conductor, esto indica que una corriente eléctrica produce un campo magnético, fenómeno muy importante que históricamente sirvió para relacionar la electricidad con el magnetismo (Experimento de Oersted).

Usando la brújula y limadura de hierro, se mapea el campo magnético producido por el alambre recto y a partir de esto se establece la dirección del campo magnético: *“Se sitúa el dedo pulgar de la mano derecha paralelamente al conductor y apuntando en la dirección de la corriente y los demás dedos rodeando al mismo, estos últimos apuntarán en el sentido de las líneas de inducción.”* (Einstein e Infeld, 1986).

Es importante que los estudiantes experimenten con diferentes intensidades de corrientes, para que observen la relación que existe, al menos de manera cualitativa, entre campo magnético generado y la intensidad de corriente eléctrica. Para discutir posteriormente con los estudiantes la ley de Ampere.

Actividad VII: Campo e Interacción entre bobinas.

Parte A: Campo en una Bobina

Parte B: Interacción entre Bobinas

El fenómeno de inducción magnética nos permite fabricar electroimanes, para ello basta con enrollar un alambre conductor de manera que forme un conjunto de espiras sucesivas (solenoides o bobinas) y hacer pasar una corriente. La potencia del electroimán depende tanto de la intensidad de la corriente como del número de espiras de la bobina.

En este punto se hace énfasis en mostrar que una bobina, por la cual circula una corriente eléctrica, posee las mismas propiedades de un imán de barra; es decir el campo magnético es generado por imanes y por corrientes eléctricas.

Actividad VIII: Corriente Eléctrica inducida por un Campo Magnético Variable

El hecho de que una carga eléctrica en movimiento produzca efectos magnéticos nos lleva inmediatamente a preguntarnos si un imán en movimiento producirá algún efecto eléctrico, para responder a esta pregunta, se utiliza un imán y un circuito formado por una bobina conectada a un amperímetro. Cuando el imán se mueve dentro de la bobina, la aguja del amperímetro se deflexa, lo cual indica que existe una corriente eléctrica inducida por el movimiento del imán. La cantidad de corriente inducida depende de la velocidad del imán, ya que esta determina el cambio en el flujo del campo magnético. Se analiza también qué ocurre, cuando se introduce el imán en sentido contrario o cuando es la bobina la que se mueve y el imán permanece inmóvil.

El fenómeno de inducir corriente al cambiar el flujo magnético a través de una bobina, se denomina inducción eléctrica y es la manera en que se produce la corriente que llega a nuestras casas.

Este fenómeno fue elusivo para los investigadores del siglo XIX, hasta que fue descubierto por Faraday, después de años de esfuerzo y dedicación. También fue el fenómeno que indujo pensar a Einstein, en la teoría de la Relatividad, ya que se obtiene el mismo resultado si el imán se mueve y la bobina queda inmóvil o si la bobina se mueve y el imán queda estático; es decir el movimiento es relativo.

Este punto es el crucial para explicar a los estudiantes la ley de Faraday y hacer una recapitulación de la Teoría Electromagnética, con las cuatro ecuaciones de Maxwell.

Actividad IX: Movimiento de una Carga Eléctrica a través de un Campo Magnético

Parte A: Fuerza Lateral

Parte B: Cargas en Movimiento en presencia de un Campo Magnético Constante

Se explica a los alumnos que toda carga en movimiento genera un campo magnético, enseguida se muestra que dicha carga en movimiento siente una fuerza al moverse a través del Campo Magnético y finalmente se observa la trayectoria que sigue la carga en movimiento.

En las últimas cuatro actividades, los estudiantes no tienen ideas acerca de los fenómenos, por lo que se les debe impartir la teoría, para que puedan interpretar los experimentos.

No hay que olvidar que los experimentos se interpretan con base a una teoría, por lo que se les debe impartir las clases necesarias, contextualizando los conceptos, de modo que sean significativos para los estudiantes.

Con estas actividades, se busca balancear los diferentes aspectos de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Tomando en cuenta que cada estudiante tiene diferentes habilidades e intereses.

Por lo tanto se promueve que los estudiantes adquieran la actitud y la metodología próxima a la utilizada por la comunidad científica, de tal manera que aprendan a hacer, aprendan a decir y aprendan a comportarse para que construyan sus conceptos a través de la discusión, reflexión y la interpretación de los experimentos con ayuda del docente.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

CAPÍTULO 6

Secuencia Didáctica

Introducción

Las actividades propuestas son para 4° año de bachillerato y de acuerdo con el programa de Física III, se tienen 20 horas para desarrollar este tema.

El tema de magnetismo se ve después de la teoría de circuitos eléctricos y antes Física Moderna, por lo que nos sirve de puente entre la Física clásica y la Física Moderna.

Con esta secuencia didáctica, los estudiantes construyen los conceptos de la Magnetostática, por lo que sólo se utiliza corriente directa.

Actividad I: Experimentando con Imanes

Objetivos

El alumno:

- ♣ Identificará los materiales con que fabrican a los imanes.
- ♣ Discriminará los materiales ferromagnéticos.

Concepciones Previas:

- ♣ Los imanes son siempre metálicos.
- ♣ Los imanes atraen a todos los metales.

Material

- ♣ Imanes de diferentes materiales
- ♣ Materiales metálicos y no metálicos

Desarrollo

Parte A: Materiales con que se fabrican imanes.

1. Discute con tu equipo y escribe las características de un imán.

2. Intercambia tu imán con tus compañeros, para que puedas observar imanes de diferentes materiales.
 - a. ¿De qué material están fabricados los imanes?
3. Discute tu respuesta con tus compañeros de equipo y anota tus conclusiones.
4. Elabora una lista de los materiales con los que fabrican a los imanes.

Es importante que cada alumno lleve al menos un imán, ya que así se podrá tener una gama más amplia de los diferentes materiales que se utilizan al fabricar a los imanes.

En la mayoría de los casos, cuando los alumnos observan imanes flexibles, tienen la idea de que son de plástico solamente y como saben que este material no es atraído por el imán, les sorprende que existan imanes fabricados con este material, ya que para ellos cualquier cosa que tenga hierro debe ser duro.

Parte B: Materiales Ferromagnéticos

1. Acerca el imán a diferentes objetos y elabora una lista de los objetos que son atraídos por el imán y otra con los materiales que no son atraídos.
2. ¿Todos los objetos metálicos son atraídos por el imán? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
3. ¿De qué materiales están hechos los objetos que son atraídos por los imanes?
4. Elabora una lista de los materiales que son atraídos por el imán.

Los objetos que se utilizaron durante la actividad y que son atraídos por el imán, están fabricados con hierro ó níquel, estos dos materiales pertenecen al grupo de materiales ferromagnéticos.

Preguntas de Reflexión:

1. ¿Por qué el imán queda pegado al pizarrón, si no es de hierro?
2. ¿Por qué el imán atrae a la pila?
3. Escribe las características del imán que utilizaste.
4. ¿Todos los imanes tienen las mismas características? Explica.

Es recomendable que dentro de los materiales que se utilicen, se encuentre una pila, en este momento uno puede identificar la manera en que los estudiantes relacionan las cargas

eléctricas con el magnetismo, generalmente afirman que el imán atrae a la pila debido a que ésta tiene carga eléctrica.

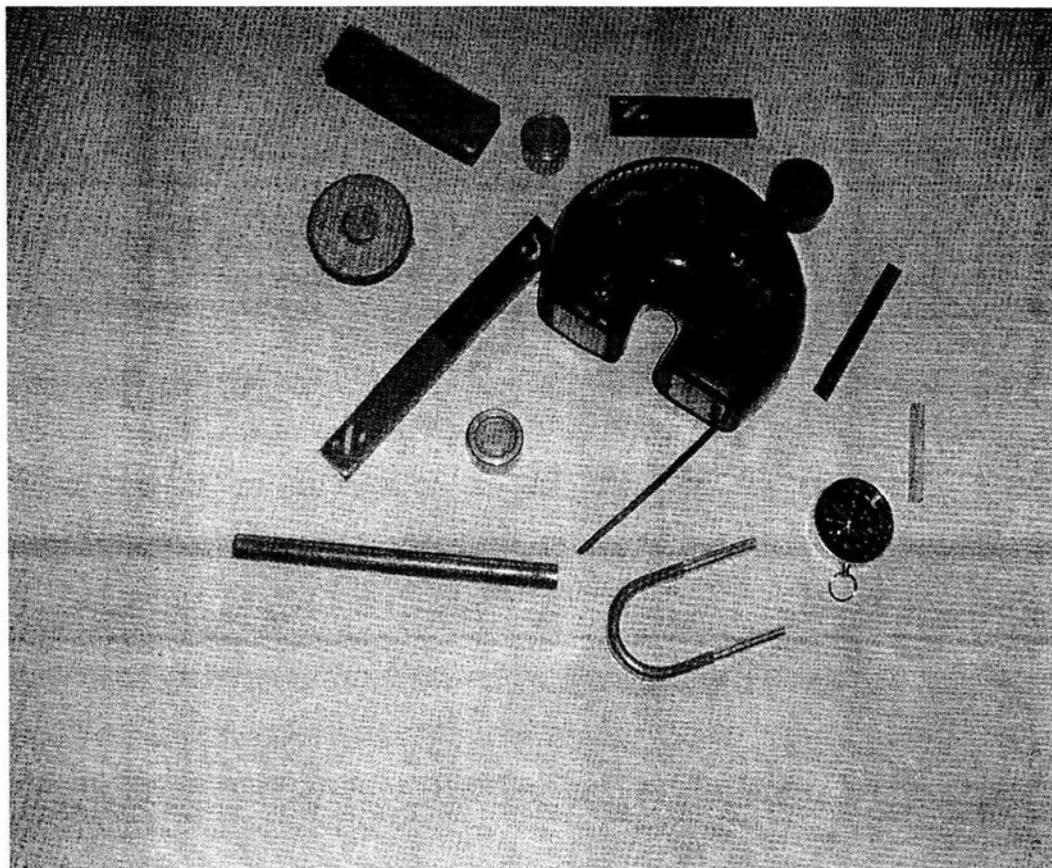


Figura 6.1. Diferentes tipos de imanes

Actividad II: Espectro y Polos del Imán

Objetivos

El alumno:

- ♣ Visualizará el espectro del imán con ayuda de limadura de hierro.
- ♣ Ubicará los polos del imán.

Material:

- ♣ Imanes
- ♣ Limadura de hierro
- ♣ Limadura de cualquier metal
- ♣ Trozo de cartón grueso
- ♣ Tinta china
- ♣ Cepillo dental
- ♣ Brújula
- ♣ Periódico

Desarrollo

1. Coloca el imán debajo del cartón y espolvorea con la limadura sobre el cartón, da unos pequeños golpecitos sobre el cartón, hasta que se forme el espectro.

- a. ¿Qué ocurre?
- b. ¿Qué forma tienen las figuras del espectro?

2. Sumerge el cepillo dental en la tinta china, saca el cepillo, coloca el dedo pulgar sobre las cerdas del cepillo y recórrelo a lo largo de las cerdas, salpicando de tinta china el cartón, de tal manera que quede marcado el espectro magnético del imán.

A las líneas se les llama líneas de campo y al conjunto de ellas se le denomina espectro magnético.

3. Espera que se seque la tinta y sacude el cartón hasta que se caiga toda la limadura.
4. Analiza la figura formada y marca las regiones del espectro en las cuales existe mayor cantidad de líneas de campo. Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
5. ¿Por qué se forma el espectro? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones
6. ¿Existen regiones donde se acumula más la limadura?
7. ¿En qué extremo del imán existe mayor cantidad de limadura?

8. ¿Cómo se llama a las regiones donde se acumula la limadura?

A las regiones del imán, donde existe mayor acumulación de líneas, se les denomina polos.

La región donde se percibe la presencia del imán, se llama Campo Magnético. Además si el imán se mueve, también se mueve su Campo Magnético.

Preguntas de reflexión:

1. ¿Cuántos polos tiene tu imán?
2. ¿Todos los imanes tienen el mismo número de polos? Discute con tus compañeros.
3. ¿Existen imanes con un número impar de polos? Discute con tus compañeros.
4. Acerca y aleja el imán de los objetos. ¿Qué ocurre con la fuerza de atracción al variar la distancia?
5. ¿Hasta dónde se extiende el campo de un imán? Discute con tus compañeros.

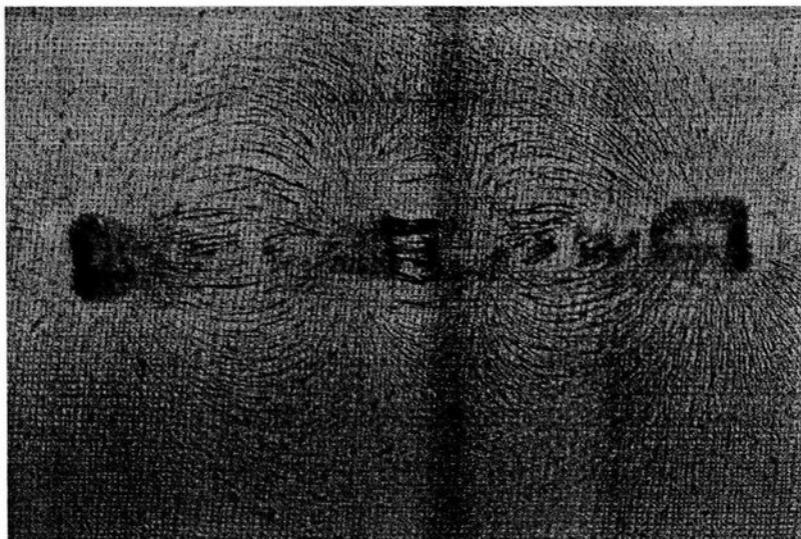


Figura 6.2. Espectro de dos imanes de barra atrayéndose.

Actividad III: Interacción Imán-Imán / Brújula-Imán

Objetivo

- ♣ El alumno identificará que la brújula es un imán.

Concepción Previa:

- ♣ La brújula es una caja con un mecanismo adentro que la hace apuntar al norte.

Material

- ♣ Brújula
- ♣ Dos imanes de barra
- ♣ Un metro de hilo grueso

Desarrollo

1. Amarra por el centro al imán, procurando que quede horizontal al colgarlo.
2. Sostén con tu mano el otro imán, debajo del que está colgado.
3. Gira lentamente el imán de tu mano.
 - a. ¿Qué observas?
 - b. ¿Por qué gira el imán que está colgado? Explica.
 - c. Si retiras el imán de tu mano, ¿qué orientación tendrá el imán que está colgado? Explica.
4. Retira los imanes de barra.
5. Deja la brújula sobre la mesa, espera a que se oriente.
 - a. ¿Hacia dónde apunta? Explica.
 - b. ¿Qué ocurrirá si giras la brújula?
 - c. ¿Qué ocurrirá si colocas un imán sobre la brújula?
6. Coloca el imán encima de la brújula, gira lentamente el imán, sin que se mueva la brújula.
 - a. ¿Qué observas? Explica
7. Coloca la brújula encima del imán.
 - a. ¿Qué ocurre?
8. Gira lentamente a la brújula, sin que se mueva el imán.
9. Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
 - a. ¿En qué dirección se orienta la brújula?

- b. ¿Por qué la aguja de la brújula sigue al imán?
- c. ¿El imán se puede usar como brújula? Explica
- d. ¿Los imanes siempre apuntan hacia el norte? Explica

Un imán siempre se alinea con un Campo Magnético.

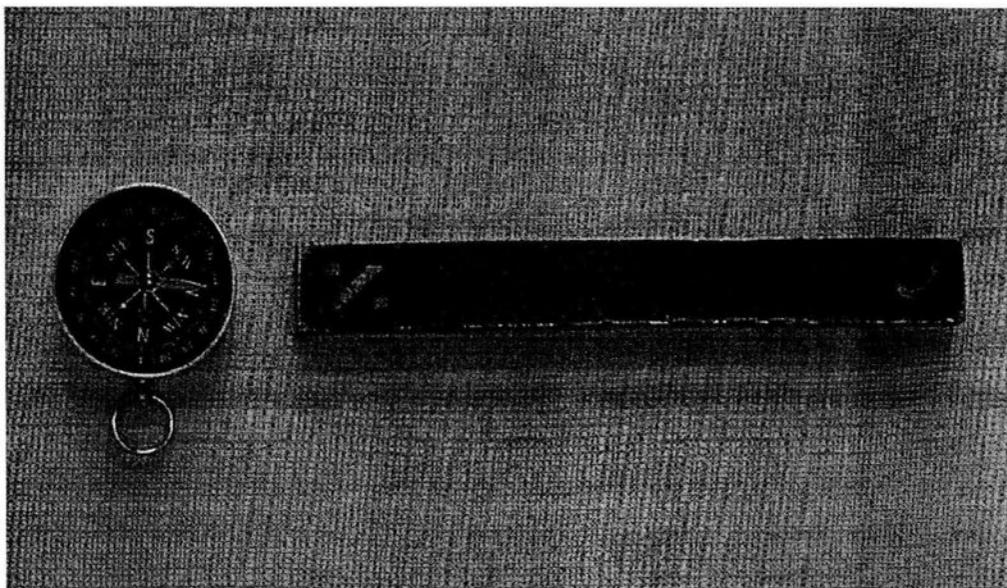


Figura 6.3. Interacción entre un imán y una brújula.

Actividad IV: Asignar nombre a los Polos del Imán

Objetivos

El alumno:

- ♣ Asignará nombre a cada polo.
- ♣ Discriminará entre carga eléctrica y polo magnético.

Concepciones Previas

- ♣ Los nombres de los polos son positivo y negativo.
- ♣ Los imanes tienen carga eléctrica en sus polos.

Material

- ♣ Dos imanes
- ♣ Un metro de cuerda
- ♣ Una brújula
- ♣ Clips
- ♣ Pedacitos de papel
- ♣ Regla de plástico

Desarrollo

Parte A: Asignar nombre a los Polos con ayuda de una Brújula

1. Juega con dos imanes acercándolos en diferentes posiciones.
 - a. ¿Qué observas? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
2. Escribe cuántos tipos de polos existen.
3. Marca los polos de tu imán, ¿cuántos son?
4. Acerca un polo del imán a la brújula. Anota tus observaciones.
5. Realiza la misma operación, utilizando el otro polo.
 - a. ¿Qué ocurre?
 - b. ¿La brújula atrae al mismo polo? Explica.
6. Marca con la letra **S** o con la **N**, según corresponda a cada extremo del imán.

Al polo del imán que atrae al polo norte de la brújula, se llama polo sur y al otro extremo polo norte.

Parte B: Asignar nombre a los Polos con ayuda del Campo Geomagnético

1. Amarra un imán con la cuerda.
2. Cuelga al imán y espera a que se estabilice, marca cual es el polo norte y cual es polo sur.
 - a. ¿Cómo determinaste los nombres de los polos?
3. Repite la misma operación con otro imán.
4. Cuelga el imán y espera que se estabilice.
 - a. ¿Qué ocurre?
 - b. ¿Existe alguna similitud entre la posición del imán y la de la brújula? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
5. Marca el polo sur y el polo norte en cada imán.
 - a. ¿Existe alguna diferencia cuando asignas nombre con la brújula? Explica
6. Acerca los imanes de tal manera que coincidan los polos norte.
 - a. ¿Qué observas?
7. Obtén el espectro y dibújalo en tu cuaderno.
 - a. ¿Son líneas cerradas? Explica.
8. Realiza lo mismo, con los polos sur.
 - a. ¿Se cierran las líneas? Explica
 - b. ¿Qué ocurre si acercas polos diferentes? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
9. Obtén el espectro y dibújalo en tu cuaderno.
 - a. ¿Se cierran las líneas? Explica.

Parte C: Diferencia entre Carga Eléctrica y Polo Magnético

1. Coloca los pedacitos de papel sobre la mesa.
2. Frota la regla de plástico con tu cabello.
3. Acerca la regla a los pedacitos de papel.
 - a. ¿Qué ocurre? Explica.
 - b. ¿Por qué son atraídos los pedacitos de papel?
 - c. ¿La regla tiene carga eléctrica? Explica.
4. Acerca el imán a los pedacitos de papel.
 - a. ¿Qué ocurre?
 - b. ¿El imán tiene carga eléctrica? Explica.

De acuerdo con la convención internacional de Geofísicos de 1965. El polo magnético que se encuentra en el hemisferio norte se llama norte magnético y el polo sur magnético se encuentra en el hemisferio sur.

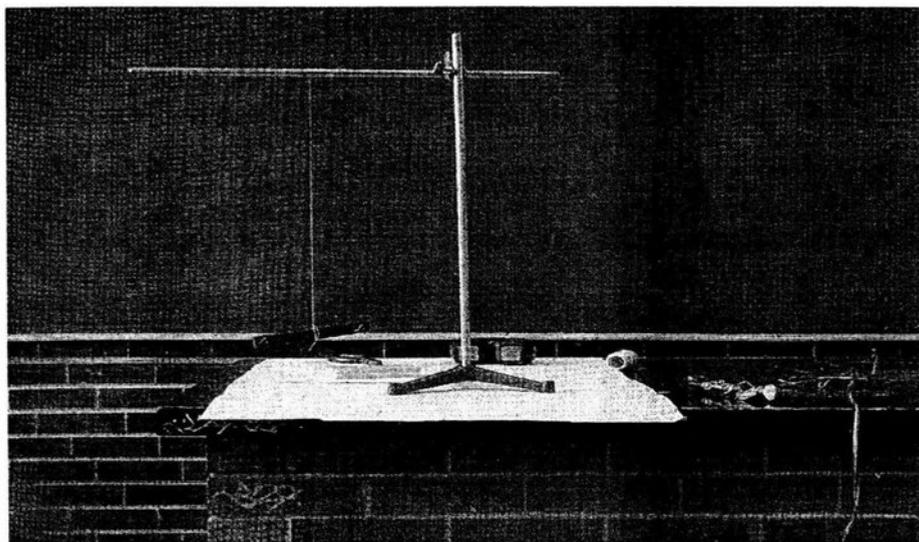


Figura 6.4. Un imán se orienta con el Campo Geomagnético.

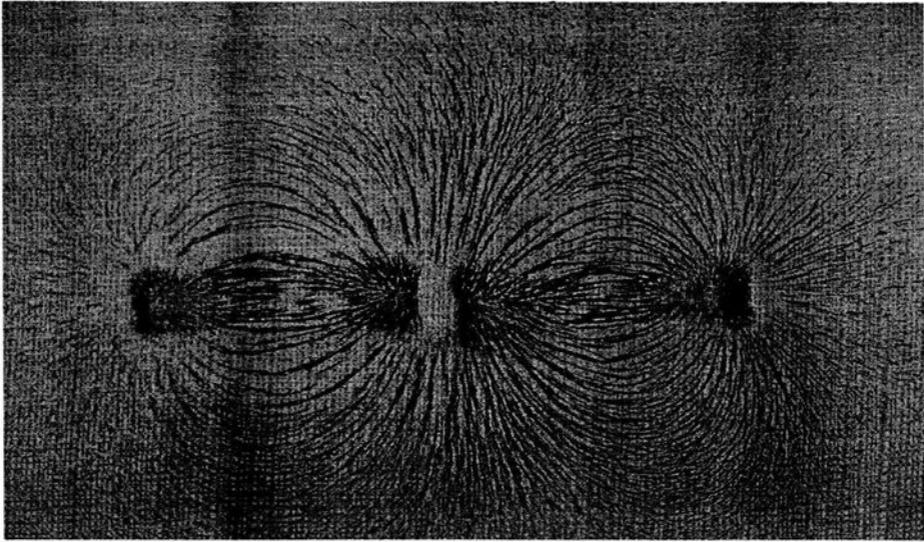


Figura 6.5. Espectro de dos imanes de barra repeliéndose.

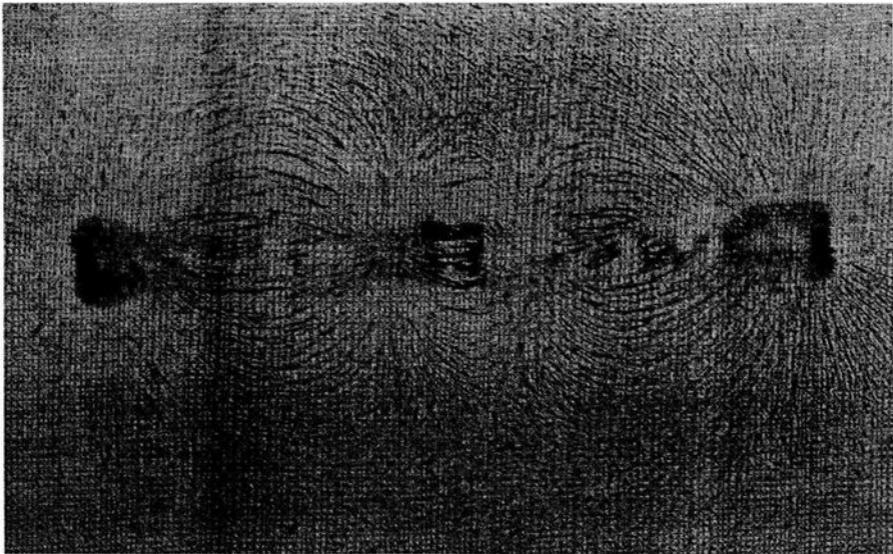


Figura 6.6. Espectro de dos imanes de barra atrayéndose.

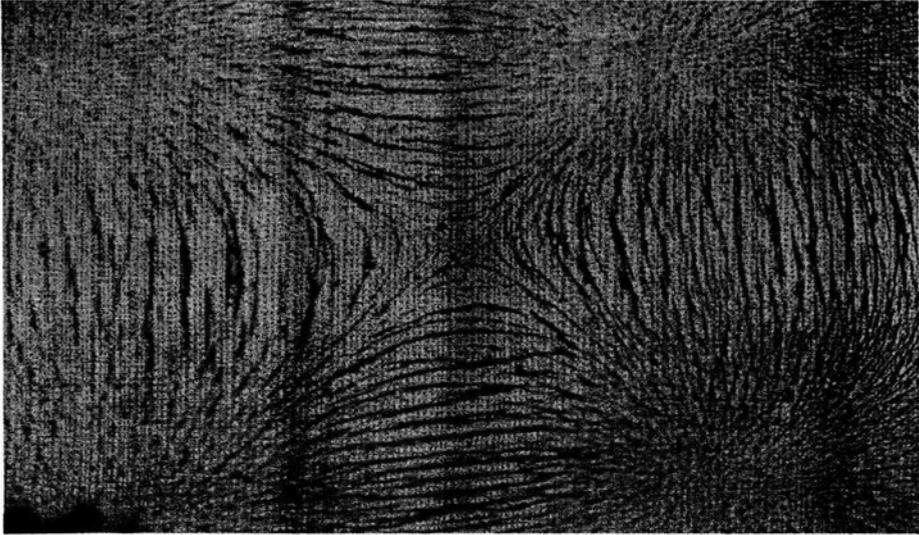


Figura 6.7. Espectro de dos imanes de herradura atrayéndose.

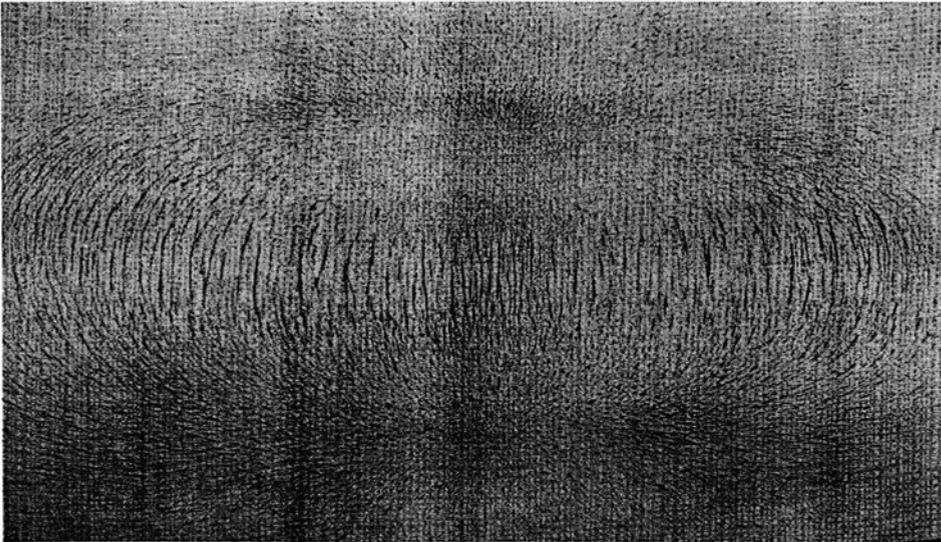


Figura 6.8. Espectro de dos imanes de herradura repeliéndose.

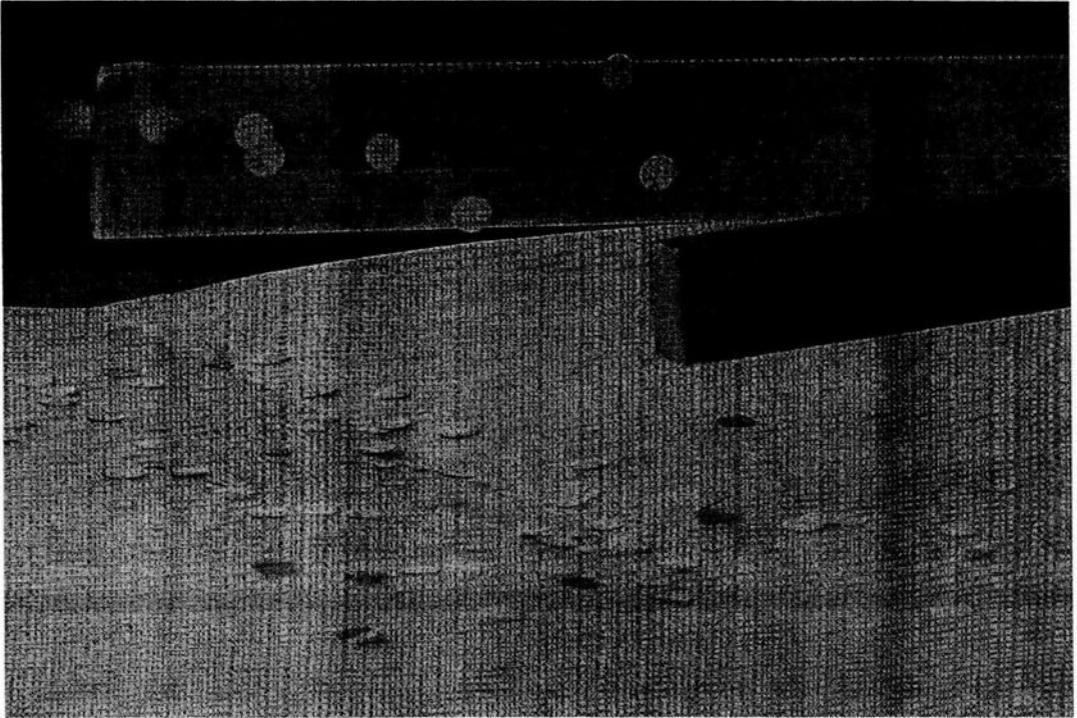


Figura 6.9. Los trozos de papel son atraídos por una regla de plástico cargada, pero no por el extremo del imán.

Actividad V: Análisis de los Polos del Imán

Objetivos

El alumno:

- ♣ Contrastará la intensidad de los polos.
- ♣ Verificará que los imanes siempre tienen polo norte y polo sur.

Concepciones Previas

- ♣ El polo norte tiene mayor intensidad.
- ♣ Al partir un imán, se obtienen dos pedazos con un solo polo.

Material

- ♣ Imán de barra
- ♣ Imán de plástico
- ♣ Pinzas
- ♣ Clips
- ♣ Limadura de hierro

Desarrollo

Parte A: Intensidad de los Polos

1. Ubica los polos del imán de barra.
2. ¿Qué polo tiene mayor intensidad? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
3. Con cuidado y con ayuda de tus compañeros, levanta el mayor número de clips con un polo del imán. Anota en tu cuaderno, el número de clips que lograste levantar con ese polo.
4. Repite la operación con el otro polo.
 - a. ¿Con qué polo lograste levantar mayor cantidad de clips?
 - b. ¿Qué polo tiene mayor intensidad? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
5. ¿La orientación de la brújula tiene que ver con la intensidad de los polos? Explica.

Parte B: Polos en pedazos de imanes

1. Parte con las pinzas, los imanes de plástico.
2. Acerca el pedazo de imán a otro imán más grande, en diferentes posiciones.
 - a. ¿Qué observas?
 - b. ¿Cuántos polos tiene cada parte del imán que dividiste?
3. Vuelve a partir el pedazo de imán.
 - a. ¿Qué observas?
 - b. ¿Cuántos polos tiene cada parte del imán que dividiste?
4. Sigue dividiendo al imán, hasta que obtengas uno, lo más pequeño posible.
 - a. ¿Cuántos polos tiene? Justifica tu respuesta.

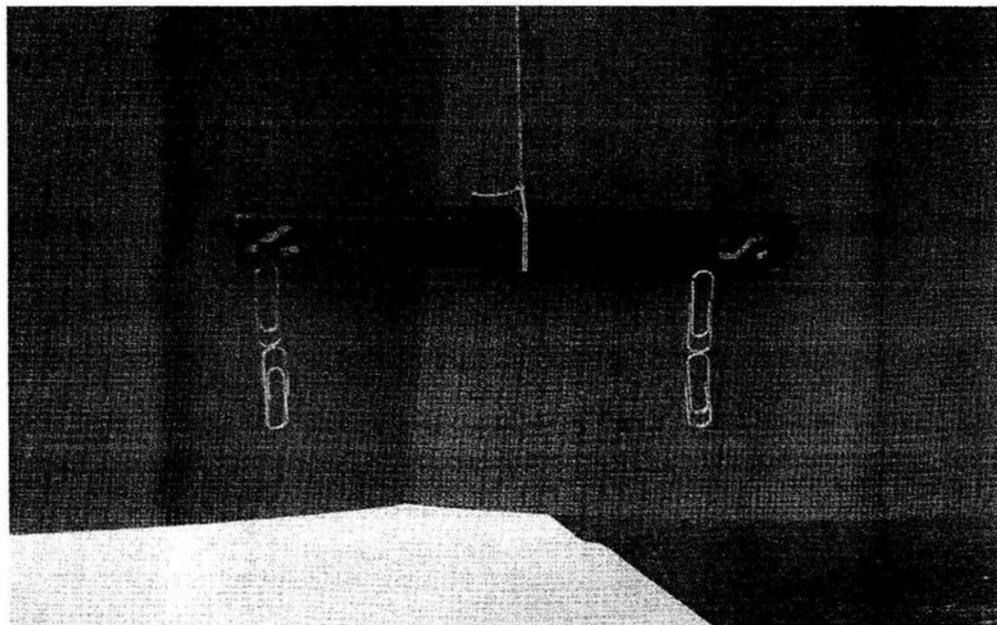


Figura 6.10. Los polos del imán tienen la misma intensidad.

Actividad VI: Electroimanes

Objetivo

El alumno comprenderá que la corriente eléctrica, genera un Campo Magnético.

Material

- ♣ 30 cm de alambre de nicromel
- ♣ Bobina con base de madera
- ♣ Dos bobinas sin base
- ♣ Fuente de poder
- ♣ Espira con base de madera
- ♣ Cables banana-caimán
- ♣ Limadura de hierro
- ♣ Brújula
- ♣ Núcleo de hierro
- ♣ Dos postes
- ♣ Base para los postes
- ♣ Soporte universal
- ♣ Dos nueces
- ♣ 50 cm de alambre calibre 10
- ♣ Trozo de cartón rígido de 10 cm de lado
- ♣ Porta vaso

Desarrollo

Parte A: Experimento de Oersted (figura 6.13)

1. Fija los postes en la base.
2. Coloca el cable en los postes.
3. Coloca la brújula sobre la base, espera a que se estabilice.
4. Gira la base de tal manera, que el cable quede paralelo a la aguja de la brújula.
5. Prende la fuente poder y espera un poco.
6. Apaga la fuente de poder para evitar que se dañe.
7. Describe lo que observas.
 - a. ¿En qué dirección gira la aguja de la brújula?
 - b. Si vuelves a encender la fuente, ¿la brújula se moverá en la misma dirección? Explica.

8. Coloca la brújula por encima y paralela al cable.
 - a. Al prender la fuente, ¿se mueve la aguja de la brújula?
 - b. ¿En qué dirección gira la aguja de la brújula?
 9. Discute con tus compañeros de equipo tus observaciones y anota tus conclusiones.
 10. Cambia la dirección de la corriente y realiza lo anterior.
 - a. ¿Gira en la misma dirección? Explica.
 11. Con un lápiz, haz una perforación en el centro del cartón.
 12. Arma el soporte universal, como se muestra en la figura 6.14.
 13. Coloca el cartón sobre el porta vaso.
 14. Coloca el cable verticalmente de tal manera que pase por el centro del cartón.
 15. Conecta el cable a la fuente.
 16. Espolvorea limadura sobre el cartón.
 17. Enciende la fuente.
 18. Da unos golpecitos sobre el cartón.
 19. ¿Qué figura se forma? Explica.
 20. ¿Cómo determinas la dirección del campo? Discute con tus compañeros.
 21. Con ayuda de la brújula, determina la dirección del campo.
 - a. ¿Qué ocurre si inviertes la dirección la polaridad de la corriente?
 - b. ¿Cambia la dirección del campo? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones
- Regla de la mano derecha: El dedo pulgar señala la dirección de la corriente convencional y el resto de los dedos señala la dirección del Campo Magnético (figuras 6.11 y 6.12).**

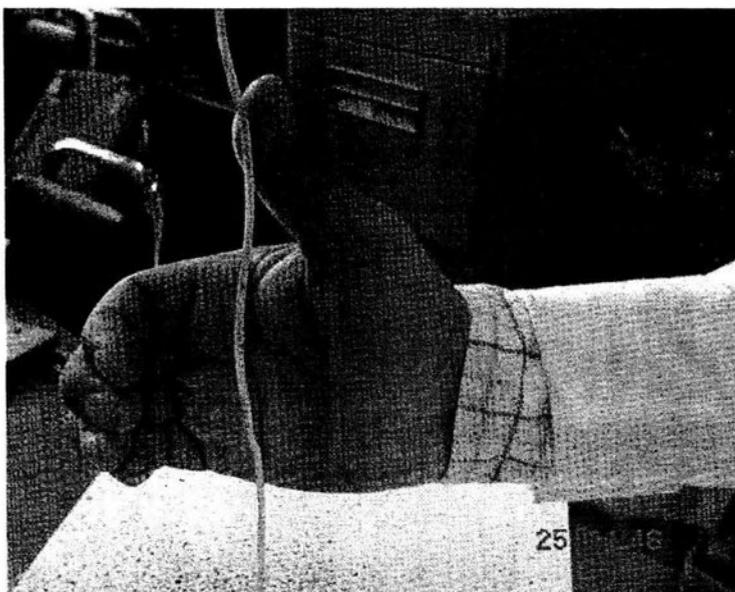


Figura 6.11



Figura 6.12. Regla de la mano derecha.

Parte B: Campo Magnético alrededor de una Espira

1. Espolvorea limadura en la base de la espira (figura 6.16), haz circular una corriente por la espira. Dibuja el espectro.
2. Determina la dirección del Campo Magnético en la región horizontal y las dos verticales de la espira.
3. Invierte el sentido de la corriente y determina la dirección del Campo Magnético en cada región de la espira.
4. Retira la limadura de hierro de la base de la espira.
5. Haz circular una corriente por la espira.
6. Con la brújula mapea el campo alrededor de la espira en todas las regiones.
 - a. ¿Por qué cambia la dirección del campo en cada región? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
 - b. Realiza un dibujo del campo en cada región de la espira.

Preguntas de Reflexión

1. ¿Cómo será el campo dentro de una bobina? Explica.

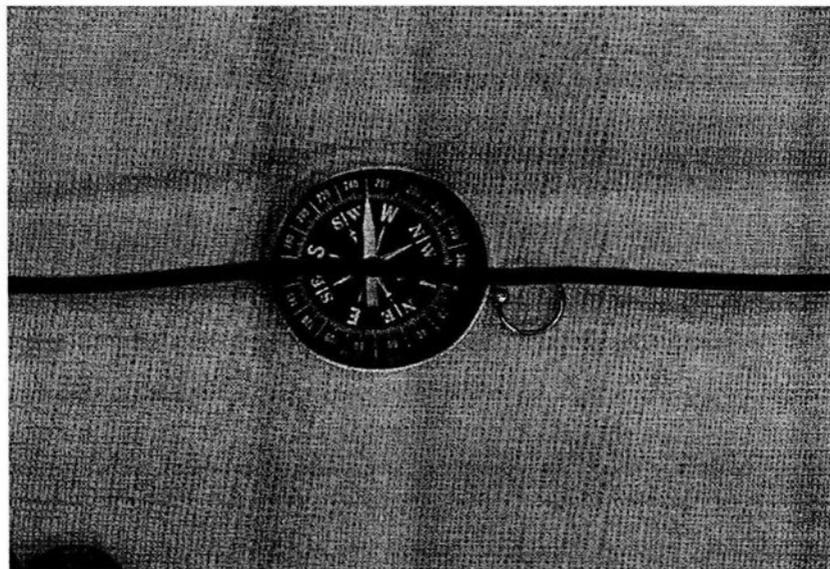


Figura 6.13. Experimento de Oersted.

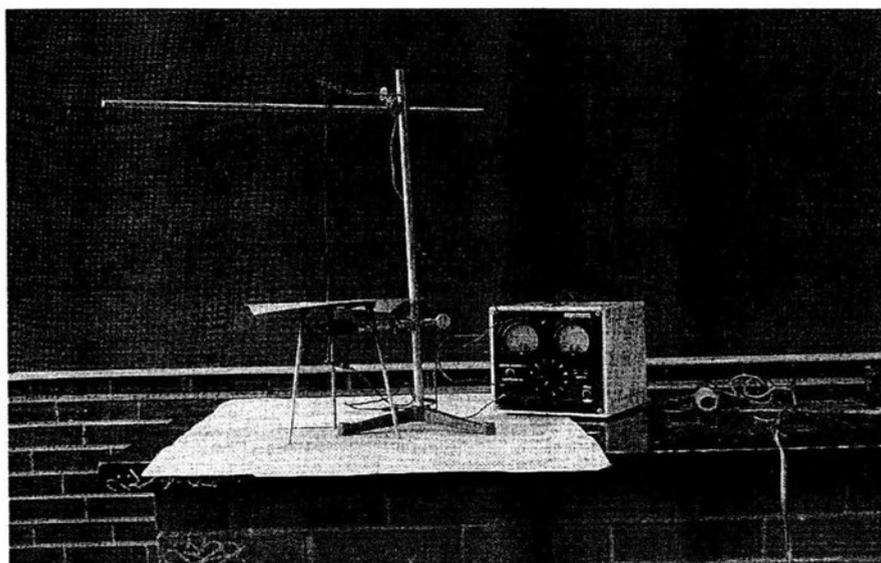


Figura 6.14. Dispositivo experimental para visualizar el Campo Magnético alrededor de un conductor.

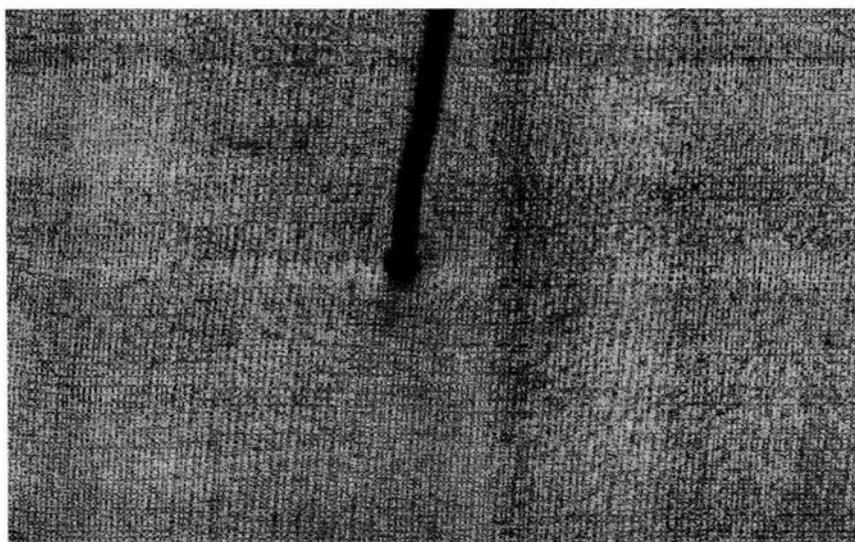


Figura 6.15. Campo Magnético alrededor de un alambre.

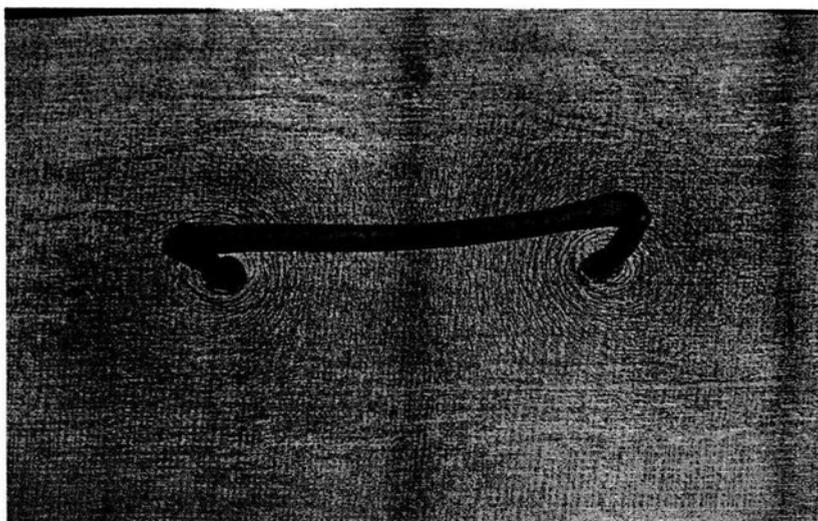


Figura 6.16. Campo Magnético alrededor de una espira.

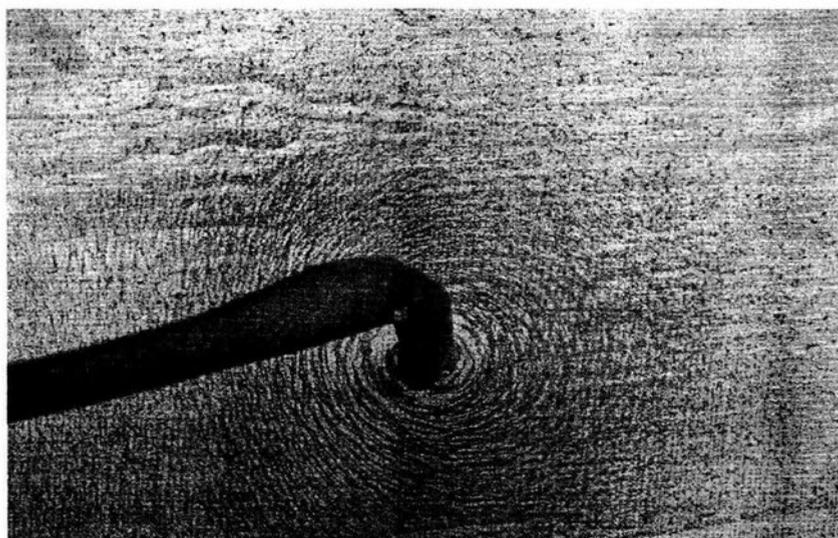


Figura 6.17. Detalle del Campo Magnético alrededor de una espira.

Actividad VII: Campo Magnético en una Bobina

Objetivos

El alumno:

- ♣ Identificará que las líneas de fuerza son cerradas.
- ♣ Determinará que el campo en una bobina es igual al de un imán de barra.
- ♣ Evaluará el uso de un núcleo de hierro en bobinas

Concepción Previa

- ♣ El núcleo de hierro es el que atrae a los objetos ferromagnéticos.

Material

- ♣ Bobinas con diferente número de vueltas
- ♣ Núcleo de hierro
- ♣ Cables
- ♣ Soporte universal
- ♣ Hilo grueso
- ♣ Núcleos de diferentes materiales, tanto ferromagnéticos como diamagnéticos
- ♣ Clips
- ♣ Brújula
- ♣ Bobina con base de madera
- ♣ Limadura de hierro
- ♣ Fuente de poder
- ♣ Monedas de 50 ¢
- ♣ Cinta Canela

Desarrollo

Parte A: Campo en una Bobina (figura 6.18)

1. Espolvorea limadura en la base de la bobina.
2. Conecta la bobina a la fuente.
3. Prende la fuente
4. Da unos golpecitos a la base (apaga la fuente cuando se haya formado el espectro).
5. Discute con tus compañeros y anota tus observaciones.

6. Mapea con una brújula el campo formado por la bobina y compáralo con el campo formado por un imán de barra.
7. ¿Qué forma tienen las líneas de fuerza?
 - a. ¿Son cerradas?
8. Determina la dirección del campo en el exterior y en el interior de la bobina.
 - a. ¿Existe alguna diferencia? Explica
9. Coloca un clip en uno de los extremos de la bobina y prende la fuente.
 - a. ¿Qué ocurre? Explica.
 - b. ¿Si colocas el clip en el otro extremo, qué ocurre? Explica.
 - c. ¿Qué ocurrirá, si colocas una moneda de 50 ¢ ? Explica.
10. Introduce el núcleo de hierro en la bobina.
11. Acerca el clip en uno de los extremos de la bobina, prende la fuente de poder.
 - a. ¿Qué ocurre? Explica.
 - b. ¿Si lo colocas en el otro extremo, qué ocurre?
 - c. ¿Qué función tiene el núcleo de hierro?
12. Coloca un clip diagonalmente dentro de la bobina.
13. Prende la fuente de poder.
 - a. ¿Qué le sucede al clip? Explica.

Parte B: Interacción entre Bobinas

1. Conecta la bobina con el menor número de espiras a la fuente.
2. Con ayuda de la brújula, determina los polos del campo generado por la bobina.
3. Acerca lentamente un clip y determina la distancia a la que es atraído el clip.
4. Conecta a la fuente la bobina que tiene un mayor número de espiras.
5. Acerca lentamente un clip y determina la distancia a la que es atraído el clip.
 - a. ¿Qué hace que el clip se mueva?
 - b. ¿En qué caso el clip es atraído con mayor intensidad?
 - c. ¿La intensidad del Campo Magnético, depende del número de espiras en la bobina? Explica.
6. Introduce el núcleo de hierro en una de las bobinas y conéctala a la fuente de poder.
7. Acerca el clip.
 - a. ¿Qué observas?
 - b. ¿Existe algún cambio en la intensidad del Campo Magnético al introducir el núcleo de hierro? Explica.

- c. ¿Ocurre lo mismo con las otras bobinas?
8. Forma el espectro del campo formado por las bobinas sin núcleo.
9. Forma el espectro del campo formado por las bobinas con núcleo.
- ¿Qué diferencia existe?
 - ¿Qué ocurre con las líneas de fuerza al introducir el núcleo de hierro?
 - Explica porqué aumenta la intensidad del Campo Magnético al introducir el núcleo de hierro.
10. Introduce en la bobina cualquier otro núcleo metálico no ferromagnético.
- ¿Aumenta la intensidad del campo?
 - ¿Qué ocurre con las líneas de fuerza? Explica.
11. Introduce un núcleo de níquel (constrúyelo con clips).
- ¿Aumenta la intensidad del campo? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
 - ¿Qué ocurre con las líneas de fuerza? Explica.

Solo los materiales ferromagnéticos juntan las líneas de fuerza

12. Fija en el soporte, la bobina con núcleo de hierro.
13. Amarra con el hilo, la bobina sin núcleo y acércala lentamente a la bobina fija, de tal manera que se atraigan.
- ¿Qué bobina es la que atrae? Explica
14. Ahora invierte: Fija en el soporte a la bobina sin núcleo y amarra la bobina con núcleo.
15. Acerca lentamente la bobina, de tal manera que se atraigan.
- ¿Qué bobina es la que atrae? Explica.
 - ¿Qué bobina jala con mayor intensidad? Explica.
16. Realiza los mismos pasos, cambiando la posición de las bobinas, de tal manera que se rechacen.
- ¿Qué pasa si ambas bobinas tienen núcleos de hierro? Explica.

La intensidad del Campo Magnético generado por una bobina depende del número de espiras y del núcleo que se introduzca en la bobina.

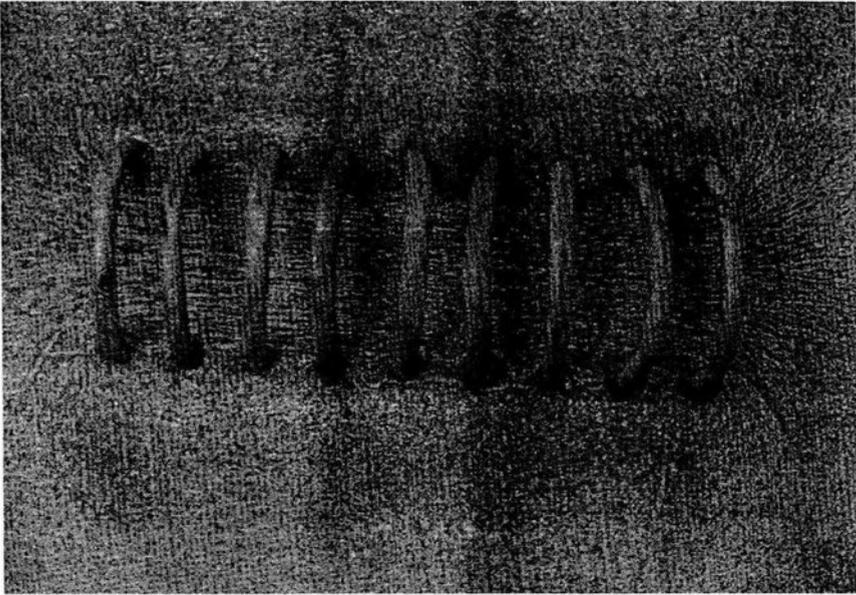


Figura 6.18. Campo Magnético en una bobina.

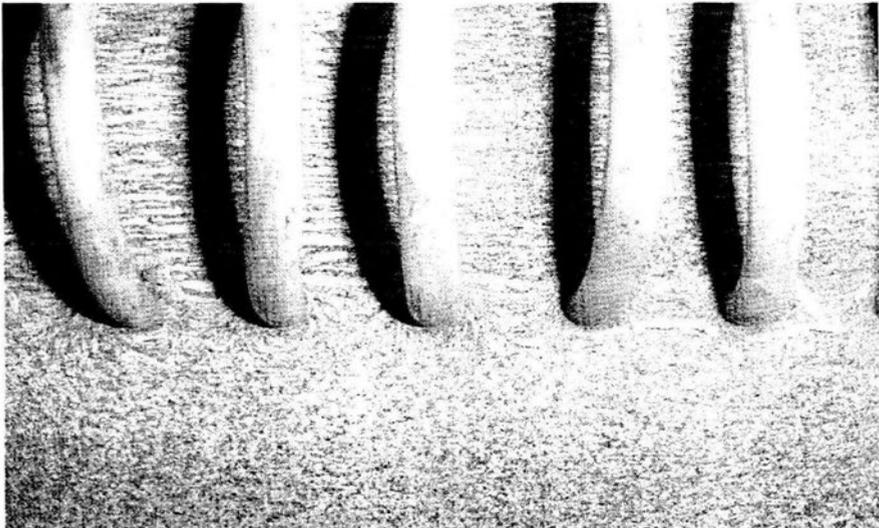


Figura 6.19. Detalle del Campo Magnético en una bobina.

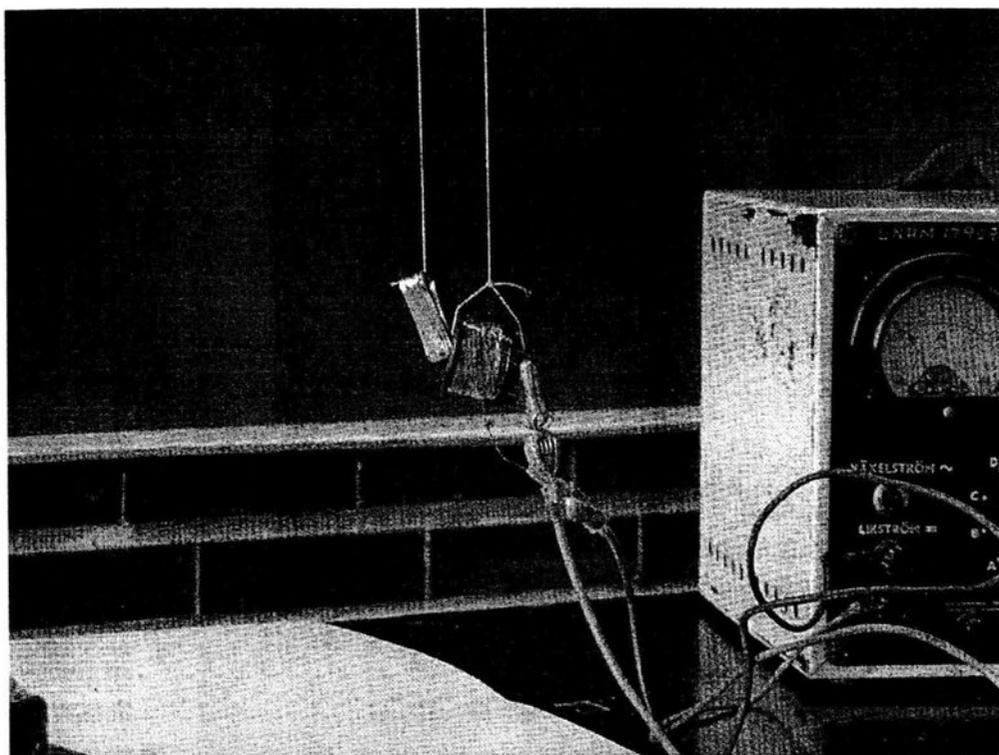


Figura 6.20. Interacción entre un electroimán y una lámina de hierro.

Actividad VIII: Corriente Eléctrica inducida por un Campo Magnético Variable

Objetivo

El alumno relacionará, la intensidad de la corriente eléctrica con:

- ♣ El número de espiras en la bobina.
- ♣ La velocidad relativa entre la bobina y el imán.

Concepción Previa

- ♣ No tienen información del fenómeno.

Material

- ♣ Bobinas con diferentes número de vueltas
- ♣ Imán de barra
- ♣ Amperímetro
- ♣ Cables Banana-banana

Desarrollo

1. Conecta la bobina con menor número de vueltas al amperímetro.
2. Mantén estática a la bobina.
3. Introduce lentamente el imán en la bobina.
 - a. ¿Qué observas?
 - b. ¿Hacia dónde se mueve la aguja del amperímetro?
4. Saca lentamente el imán de la bobina.
 - a. ¿Qué observas?
 - b. ¿Hacia donde se mueve la aguja del amperímetro?
5. Mantén estática la bobina
6. Introduce con rapidez el imán en la bobina.
 - a. ¿Se defleca más la aguja del amperímetro?
 - b. ¿De qué depende la intensidad de la corriente?
7. Realiza los pasos anteriores con las bobinas que tienen un mayor número de Vueltas.
8. ¿Qué ocurre con la corriente a medida que aumenta el número de espiras?

9. ¿De qué variables depende la intensidad de la corriente eléctrica?

10. Mantén estático al imán y mueve ahora a la bobina.

a. ¿Ocurren los mismos efectos? Explica.

Preguntas de Reflexión

1. ¿Qué significa que el movimiento entre la bobina y el imán sea relativo? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.

2. ¿Qué sucede cuando mueves simultáneamente a la bobina y al imán, en direcciones opuestas?

a. Cuando se acercan.

b. Cuando se alejan.

3. ¿Qué sucede cuando mueves simultáneamente a la bobina y al imán, en la misma dirección? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.

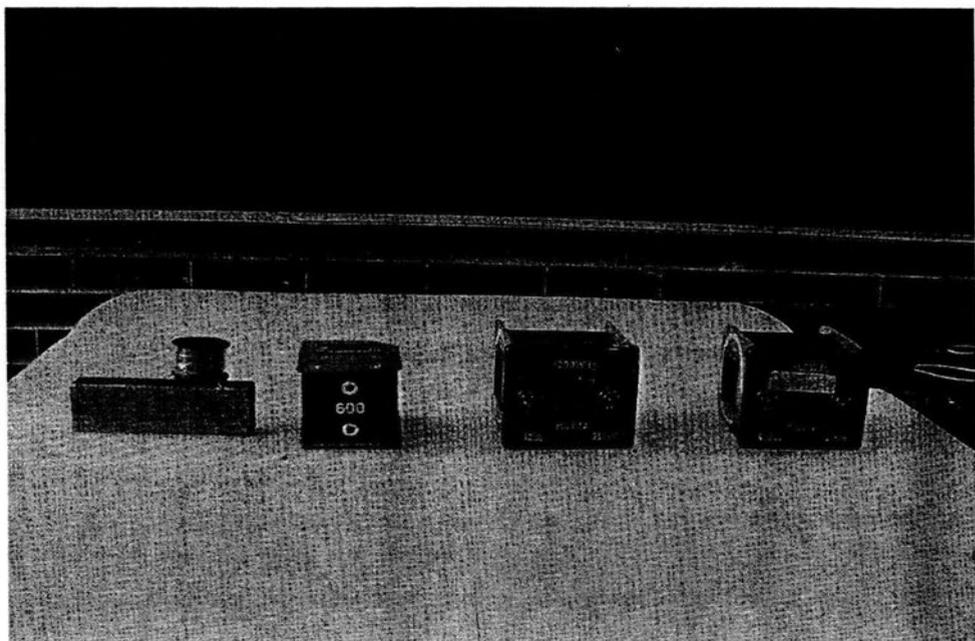


Figura 6.21. Bobinas con diferente número de vueltas.

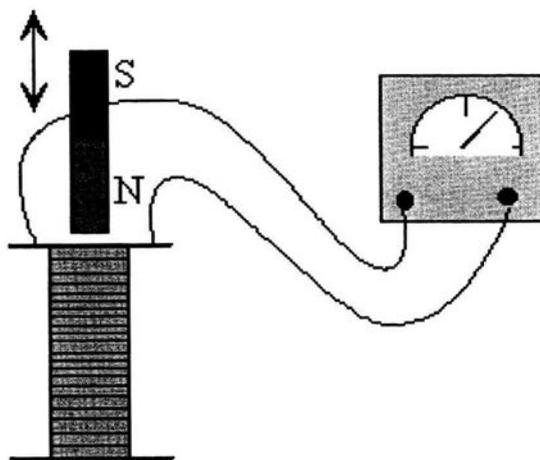


Figura 6.22. Movimiento de un imán a través de una espira, para generar una corriente eléctrica.

Actividad IX: Movimiento de Cargas Eléctricas en un Campo Magnético

Objetivos

El alumno:

- ♣ Determinará la dirección de la fuerza que actúa sobre una carga en movimiento en un Campo Magnético.
- ♣ Determinará la trayectoria de una carga en un Campo Magnético.

Concepción Previa:

- ♣ No tienen información del fenómeno.

Material

- ♣ 130 cm. de alambre de cobre calibre 12 o 10
- ♣ Fuente de poder
- ♣ Soporte universal
- ♣ Nuez
- ♣ Varilla auxiliar
- ♣ Par de cables banana-caimán
- ♣ Imán de herradura o de cerámica en forma toroidal
- ♣ Recipiente de plástico o de vidrio, ligeramente mayor al imán
- ♣ Sal de cocina
- ♣ Tinta
- ♣ Gotero
- ♣ Dos pedazos cuadrados de papel aluminio de 3 cm de lado

Desarrollo

Parte A: Fuerza Lateral (figura 6.23)

1. Corta el alambre en tres partes, dos de 60 cm. otra de 10 cm.
2. Pela las puntas de todos los trozos de cable.
3. Arma el soporte universal.
4. Cuelga verticalmente las dos partes grandes sobre la varilla auxiliar, separadas una distancia de 8 cm. aproximadamente.

5. En el extremo inferior de los alambres y utilizando solo las partes peladas, hacer un rizo para poder sostener a la otra parte del alambre horizontalmente, de tal manera que se forme un columpio, como se muestra en la figura.
6. Coloca el imán de tal manera que el cable horizontal quede en medio del imán.
7. Conecta el cable a la fuente de poder.
8. Prende la fuente de poder y apágala enseguida.
 - a. ¿Por qué se mueve el cable? Explica
9. Invierte el sentido de la corriente.
 - a. ¿Qué ocurre? Explica.
10. Invierte la dirección del Campo.
 - a. ¿Qué ocurre? Explica.
11. Realiza un diagrama con vectores, que represente:
 - a. La corriente eléctrica.
 - b. El campo magnético generado por la corriente.
 - c. El campo magnético generado por el imán.
 - d. La fuerza que siente, el cable horizontal.

Preguntas de Reflexión

1. ¿Qué ocurre, cuando una carga eléctrica se mueve en un Campo Magnético?
2. ¿Por qué se desvía la carga? Explica.
3. ¿Cuál es la dirección de la fuerza, que siente una carga moviéndose a través de un Campo Magnético? Explica utilizando un diagrama.

Parte B: Trayectoria de una Carga Eléctrica en un Campo Magnético (figura 6.26)

Desarrollo

1. Llena el recipiente con agua salada a saturación.
2. Dobla por la mitad los pedazos del papel aluminio.
3. Colócalos diametralmente sobre el borde del recipiente, verificando que un extremo de cada papel, quede dentro del agua.
4. Coloca el recipiente sobre el imán.
5. Deja caer unas gotas de tinta en el recipiente.

6. Conecta la fuente de poder al papel aluminio.
 - a. ¿Qué ocurre? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
7. ¿Existen cargas eléctricas en el recipiente? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
8. ¿Existe una corriente eléctrica en el recipiente? Discute con tus compañeros y anota tus conclusiones.
9. En un diagrama vectorial marca:
 - a. La dirección de la corriente eléctrica.
 - b. La dirección del Campo Magnético.
10. ¿Qué ángulo forman el Campo Magnético y la corriente eléctrica?
11. ¿Qué trayectoria siguen las cargas en el recipiente? Explica
 - a. ¿Qué observas?
 - b. ¿Hacia dónde se mueve la aguja del amperímetro?

Preguntas de Reflexión

1. ¿En qué dirección se moverán los iones, si inviertes la corriente?
2. ¿En qué dirección se moverán los iones, si inviertes la dirección del campo?

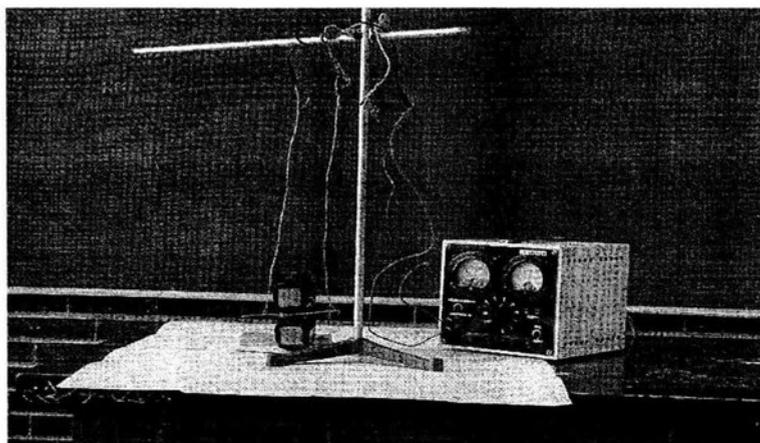


Figura 6.23. Dispositivo experimental para la fuerza lateral.

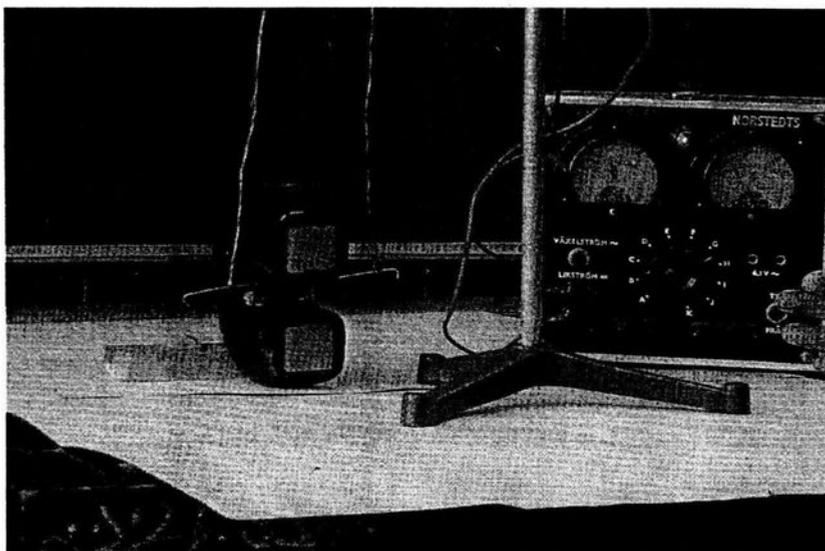


Figura 6.24. Fuerza atractiva.

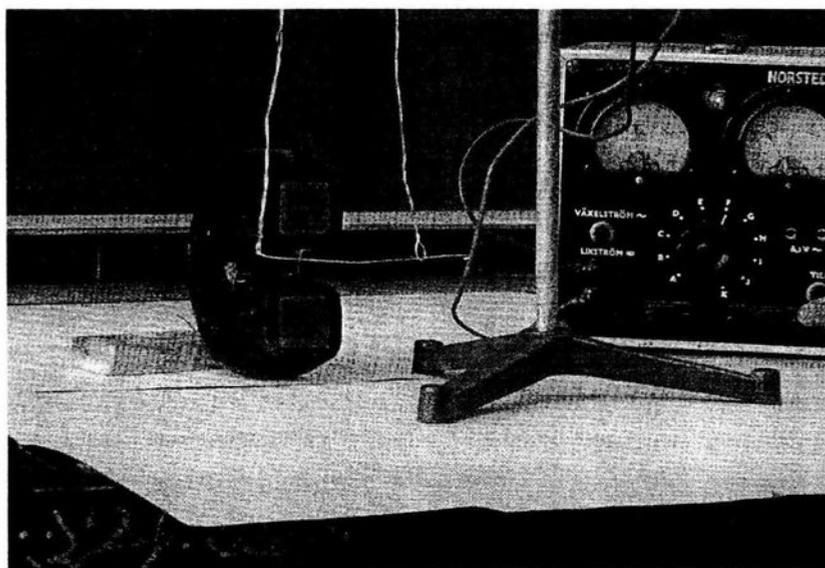


Figura 6.25. Fuerza repulsiva.

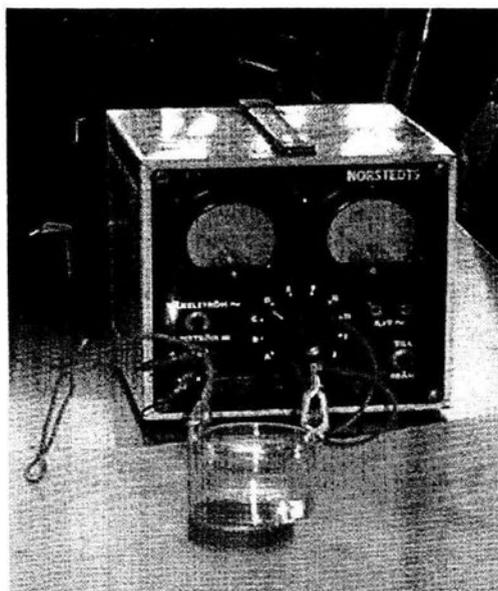


Figura 6.26. Dispositivo experimental para movimiento de iones en un Campo Magnético.

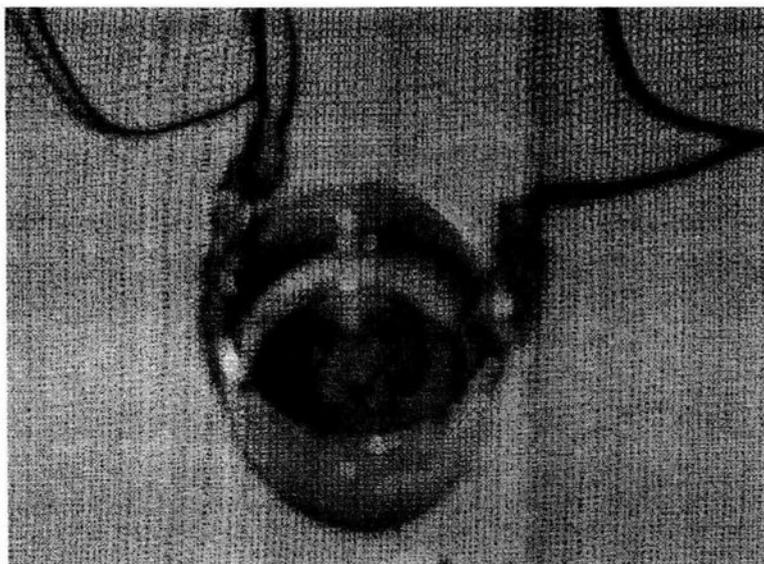


Figura 6.27. Movimiento de iones en un Campo Magnético.

CONCLUSIONES

Con la propuesta se logra que los estudiantes modifiquen sus concepciones previas y perciban a la Física como una actividad social y una construcción experimental e intelectual que les ayuda a explicar fenómenos de su entorno.

Ya no es la materia llena de ecuaciones raras, con un montón de problemas que no le “ven” sentido.

Ocurren varios cambios en los estudiantes, se responsabilizan de su material, aprenden a escuchar para posteriormente debatir, son más tolerantes y críticos con las ideas expuestas en el aula, el trabajo experimental ya no es un requisito más, se convierte en una actividad para corroborar o modificar las ideas, aprenden a escribir y defender sus propuestas.

También se da el cambio conceptual, como una aproximación a los conocimientos de la comunidad científica.

Se muestran tablas de los cambios conceptuales que ocurren en los estudiantes.

Concepción Previa:	Nueva Concepción:
El imán	El imán
Atrae a todos los metales	Atrae al hierro y al níquel
Tiene carga eléctrica en sus extremos	Tiene polos
Tiene fuerza	Produce un Campo Magnético
Pueden tener un solo tipo de carga	Tiene un número par de polos
Tiene mayor intensidad en lado positivo	Tiene la misma intensidad en ambos polos

Concepción Previa:	Nueva Concepción:
La brújula	La brújula
Es una caja negra	Es un imán
Siempre apunta al norte	Se alinea con un Campo Magnético
Se vuelve loca en presencia de un Campo Magnético	Se alinea con un Campo Magnético
El polo norte es el positivo	No hay polo positivo ni polo negativo

Concepción Previa:	Nueva Concepción:
La corriente le transmite fuerza al núcleo	La corriente produce un Campo Magnético
El electroimán necesita un núcleo para poder atraer a los objetos	El Campo Magnético es el que interacciona con los objetos

Existen también aspectos importantes de los cuáles al principio no tienen información y al final de la secuencia ya hablan de ello:

- La brújula es un imán.
- Las líneas de campo son cerradas.
- La corriente eléctrica produce Campo Magnético.
- Un Campo Magnético variable produce una corriente eléctrica.

No obstante que la propuesta resulta fructífera, sigue existiendo el reto de que la Física sea aceptada por todos y que todos estén dispuestos a aceptar **el fruto amargo del conocimiento**, que se les ofrece.

De acuerdo con este trabajo y con mi experiencia docente, me queda claro que para despertar el interés de los estudiantes por la ciencia se necesitan al menos los siguientes 10 puntos:

1. Tener conocimientos sólidos del tema.
2. Conocer los intereses de los estudiantes.
3. Centrarse en los intereses de los estudiantes para motivarlos.
4. Tener una cultura amplia para poder relacionar los temas de clase con el entorno de los estudiantes.
5. Manejar recursos didácticos para explicar desde diferentes ángulos un tema.
6. Ser capaz de explicar un tema a un grupo heterogéneo y lograr que aprendan.
7. Conocer y manipular con destreza aparatos e instrumentos de laboratorio.
8. Conocer y enseñar las reglas de seguridad e higiene durante una sesión de laboratorio.
9. Introyectar valores en los estudiantes.
10. Estar dispuesto a ser un educador.

Bibliografía

1. Alonso, J. *Motivación y aprendizaje en el aula: Como enseñar a pensar*, Santillana, Madrid, 1994.
2. Alonso, M. y Finn, E. *Física Volumen II: Campos y Ondas*, Fondo Educativo Interamericano, México, 1976.
3. Álvarez Méndez, J. M. *Evaluar para conocer, examinar para excluir*, Morata, Madrid, 2001.
4. Aristóteles, *Física*, Programa Editorial, UNAM, México, 2001.
5. Arons, A. *Evolución de los conceptos de la Física*, Trillas, México, 1970.
6. Bachelard, G. *El compromiso racionalista*, Siglo XXI Editores, México, 2001.
7. Bachelard, G. *La formación del espíritu científico: Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*, Siglo XXI Editores, México, 2000.
8. Bernal, J. *La ciencia en la historia*, Nueva imagen, México, 1999.
9. Bernal, J. *La proyección del hombre: historia de la Física clásica*, Siglo XXI de España Editores, Madrid, 1975.
10. Boyce, W y Diprima, R. *Ecuaciones Diferenciales y Problemas con valores a la Frontera*, Limusa, México, 1980.
11. Braun, E. *Electromagnetismo: De la ciencia a la tecnología*, La ciencia desde México # 112, Fondo de Cultura Económica, México, 1995.
12. Bravo, S. *La ciencia su método y su historia*, Cuadernos del Instituto de Geofísica # 7, UNAM, México, 1997.
13. Bravo, S. *¿Usted también es Aristotélico?* Cuadernos del Instituto de Geofísica , # 4 , UNAM, México, 1990.
14. Caballer, Ma. De J. Y Oñorbe, A. *Resolución de problemas y Actividades de Laboratorio*. Ed. Cuadernos de Formación de Profesores de Secundaria. Barcelona, 1997.
15. Courant, R y John, F. *Introducción al Cálculo y al Análisis Matemático*, Vol. I, Limusa, México, 1982.
16. Courant, R. y John, F. *Introducción al Cálculo y al Análisis Matemático*, Vol. II, Limusa, México, 1993.
17. Chalmers, A. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos*, Siglo XXI Editores, México, 1984.

18. De Swam, B. *El inventor del porvenir: James Clerck Maxwell*, Conaculta, México 1995.
19. Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien A. *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*, Morata, Madrid, 1990.
20. Einstein, A. e Infeld, L. *La evolución de la Física*, Salvat, Barcelona, 1986.
21. Feynman y Leighton, *Física volumen II: Electromagnetismo y Materia*, Addison-Wesley Interamericana, Delaware, EUA, 1987.
22. Flores, J. *La gran ilusión I: El mono polo magnético*, La ciencia desde México # 11, Fondo de Cultura Económica, México, 1986.
23. Furió, C. Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias, Grao, 1996.
24. Gardner, H. *Inteligencias Múltiples*, Paidós, Barcelona, 1995
25. Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez – Terregrosa, J. *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, Horsori, Barcelona, 1991.
26. Goldstein, *Mecánica Clásica*, Reverté, España, 1995.
27. Halliday, D. y Resnick, R. *Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería*, CECSA, México, 1980.
28. Harlen, W. *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Ministerio de Educación y Ciencia y Ed. Morata, Madrid, 1989.
29. Harman, P. *Energía, fuerza y materia: el desarrollo conceptual de la Física del siglo XIX*, Alianza Editorial, Madrid, 1990.
30. Hasser, N. y Lasalle, J. *Análisis Matemático V.2*, Trillas, México, 1976.
31. Hasser, N. y Lasalle, J. *Análisis Matemático V. 1*, Trillas, México, 1979.
32. Hecht, E. *Física en Perspectiva*, Addison Wesley, México, 1987.
33. Hewitt, P. *Física Conceptual*, Pearson Educación de México, 2004.
34. Hierrezuelo, M. Y Montero, M. *La ciencia de los alumnos*. Cuadernos de Pedagogía, Ed. Laia, Barcelona, 1989.
35. Hodson, D. (1994). "Hacia un enfoque más crítico del trabajo en laboratorio. Enseñanza de las ciencias". V. 12, N° 3, pp. 299-313.
36. Jeans, J. *Historia de la Física*, Breviarios # 84, Fondo de Cultura Económica, México, 1986.
37. Jiménez, Ma. P. *Modelos Didácticos*, Universidad de Santiago de Compostela, Alambique, 1999.

38. Jones, E. y Childers, R. *Física Contemporánea*, Mc Graw Hill, México, 2001.
39. Jordan, P. *La Física del siglo XX*, Breviarios # 22, Fondo de Cultura Económica, México, 1963.
40. Kuhn, T. *La estructura de las revoluciones científicas*, Breviarios # 213, Fondo de Cultura Económica, México, 1996.
41. Landau y Lifshitz, *Física teórica, volumen 2, Teoría Clásica de los Campos*, Reverté, España, 1992.
42. Lang, S. *Introducción al Análisis Matemático*, Addison-Wesley Interamericana, Delaware, EUA, 1990.
43. Larocque, G. "Teorías de la comunicación contra teorías del aprendizaje", *Perfiles Educativos*, # 40, UNAM, México, 1998.
44. Larson, R. y Hostetler, R. *Cálculo y Geometría Analítica*, Mc. Graw Hill, España, 1988.
45. Ley-Koo, E. "Líneas físicas de fuerza: uno de los bebés de Faraday, ahijado de Maxwell". *Michael Faraday: Un Genio Experimental*. Fondo de Cultura Económica, México, 1995.
46. Marión, J. *Dinámica Clásica de las Partículas y Sistemas*, Reverté, España, 1981.
47. Marsden, J. y Tromba, A. *Cálculo Vectorial*, Fondo Educativo Interamericano, EUA, 1981.
48. Marshall, S y Du Broff, R. *Electromagnetismo: Conceptos y Aplicaciones*, Prentice Hall Hispanoamericana, Naucalpan, México, 1997.
49. Maxwell, J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism, Volumen II*, Oxford University Press, Londres, 1937.
50. Miras, M. y Solé, I. "La evaluación del aprendizaje y la evaluación en el proceso de enseñanza y aprendizaje". En Coll, César et al. *Desarrollo psicológico y educación II. Psicología de la Educación.*: Alianza, Madrid, 1998.
51. Perales, F. et al, *Resolución de problemas*, Síntesis Educación, Madrid, 2000.
52. Pérez Echeverría, M. P. y Pozo, J. I. "Aprender a resolver problemas y resolver problemas para aprender". En Pozo, J. I. *Solución de Problemas.*: Santillana, Madrid, 1994.
53. Piaget, J. y García, R. *Psicogénesis e historia de la ciencia*, Siglo XXI Editores, México, 2000.
54. Portis, A. *Campos Electromagnéticos, volumen II*, Reverté, España, 1985.
55. Pozo, J. I. y Gómez, M. A. *Aprender y enseñar ciencia*, Morata, Madrid, 2001.
56. Pozo, J. Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónde van ...y mientras tanto que hacemos con ellas, Alambique, España, 1996.

57. Purcell, E. *Electricidad y Magnetismo*, Reverté, Barcelona, 1980.
58. Riveros, H. *Electricidad y Magnetismo: Preguntas y Respuestas*, Trillas, 1998.
59. Rodríguez, M. y Bellver, C. *Campos Electromagnéticos*, Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla, 1995.
60. Sadiku, M. *Elementos de Electromagnetismo*, CECSA, México, 2002.
61. Spivak, M. *Calculus: Cálculo Infinitesimal*, Reverté, España, 2003.
62. Tagüeña, J. y Martina, E. *De la brújula al espín: El magnetismo*, La ciencia desde México # 56, Fondo de Cultura Económica, México, 1989.
63. Varela, P. Et. al. *Electricidad y Magnetismo*. Ed. Síntesis Educación, Madrid, 1997.
64. Vygotsky, S. *Psicología Pensamiento y Lenguaje*, Alfa Omega, México, 1991.