

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO, CON EXPERIMENTOS Y APLICACIONES ORIENTADAS A GENERAR UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO”.

AUTORES: ADRIANA DE LA ROSA TOVAR.
CARLOS ROJAS LEYVA.

DIRECTOR DE TESIS: ING.FRANCISCO MIGUEL
PÉREZ RAMÍREZ.

AGOSTO DEL 2003

OBJETIVO

Diseñar y realizar un conjunto de prácticas y equipos para el laboratorio de Electricidad y Magnetismo que demuestren de una manera práctica y clara algunos fenómenos eléctricos y magnéticos difíciles de comprender por parte de los alumnos.

JUSTIFICACIÓN.

En el laboratorio de Electricidad y magnetismo de la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se realizan prácticas con base en un manual que es el resultado del trabajo y la experiencia de los profesores que participaron en su elaboración y de versiones anteriores. La secuencia de los experimentos busca generar en el alumno un conocimiento duradero mediante la experimentación.

Los autores de este trabajo participamos hace algunos años como profesores de dicho laboratorio y observamos junto con otros compañeros que algunos conceptos del curso eran de difícil comprensión.

Después de participar en algunos cursos de didáctica llevados a cabo en la División de Ciencias Básicas, concluimos que la dificultad de aprendizaje se debe a que frecuentemente los alumnos no logran relacionar los conceptos presentados, con los fenómenos que observan en su vida diaria.

En este trabajo de Tesis proponemos diseñar y fabricar equipo didáctico que muestre las aplicaciones de los fenómenos eléctricos y magnéticos en los aparatos de uso diario, con el objetivo de lograr un aprendizaje significativo, aprovechando la experiencia que adquirimos al impartir clases, y el hecho de que uno de los integrantes de la tesis cuenta además con la carrera de Diseño Industrial.

Una de las mayores aportaciones que buscamos es equipar al Laboratorio de Electricidad y Magnetismo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM con equipo didáctico innovador; diseñado y fabricado según los requerimientos específicos del laboratorio.

Cabe señalar que la mayoría del equipo de laboratorio que se consigue en el mercado mexicano es de procedencia extranjera y que el Laboratorio de Electricidad y Magnetismo no cuenta con un proveedor nacional que le fabrique sobre pedido estos equipos.

Este trabajo fue el final de una etapa profesional; y el puente para la siguiente. Está dedicado a quienes siempre me han apoyado y me han brindado su amor incondicional: mis padres, mis hijos y mis maestros: a los primeros por creer en mí desde que tengo uso de razón, a mis hijos, pues son el motor que me impulsa a superarme día con día y a los últimos, por abrirme el camino hacia el mundo de la Ciencia, la belleza de los fenómenos físicos y la elegancia de las Matemáticas.

Mención aparte merece mi esposo Carlos, quien además de ser mi pareja, es mi colega, a quien admiro y de quien he aprendido tantas cosas. Por supuesto, ésta Tesis es otra de tantas aventuras que hemos tenido juntos. Espero que hayan miles más.

A pesar de que empecé el trabajo hace algún tiempo, las historias recientes y sus personajes que han estado girando alrededor de mí en estos dos últimos años, fueron el punto decisivo para que me decidiera a concluirlo, por lo tanto, donde quiera que ellos se encuentren, espero que se sientan complacidos al saber que fueron mi motivación .

Con amor: Adriana

Agosto del 2003

Dedico éste trabajo a Carlitos, a Sofi y a Arturito; para que cuando sean mayores, se enteren de que las ídas a C.U. por la Tesis (-sí, sí la tesis, la dichosa tesis- dijeran Sofi y Carlitos), se debieron al presente trabajo, el hecho de llevarlo a cabo significó para mí un gran esfuerzo, ya que además de ejercitar la parte intelectual correspondiente, tuve que desdoblarme a la vez en ambos roles profesional y familiar. Sin embargo: ¡El esfuerzo valió la pena!.

Dedico éste trabajo también a mis alumnos del Laboratorio de Electricidad y Magnetismo, ya que las horas que trabajamos juntos, sirvieron de inspiración para llevar a cabo esta tesis. De alguna forma, pensé en una manera sencilla de explicarles los conceptos que se les dificultaban, y el resultado está aquí: Pensé primero en mencionarles la evolución que ha tenido el desarrollo del conocimiento de la Electricidad y el Magnetismo, para posteriormente dar paso a las prácticas, que contienen una breve introducción teórica, y en donde se reproducen algunos de los experimentos llevados a cabo por los descubridores de los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Adriana

AGRADECIMIENTOS

Aunque nuestros hijos son pequeños todavía, son los primeros a quienes agradecemos que hayan tolerado el tiempo que no estuvimos con ellos para poder realizar esta tesis.

Queremos agradecer profundamente al Ing. Francisco Miguel Pérez Ramírez, por haber dirigido nuestra Tesis, y por su disponibilidad y paciencia para resolver las dificultades que se nos presentaron. Al Ing. Francisco Bonilla por habernos acercado al Laboratorio de Electricidad y Magnetismo con sus maravillosas clases y de manera muy especial, al Dr. Francisco Fernández de Miguel, del Instituto de Fisiología Celular, por la cuidadosa revisión que hizo del trabajo, y a quien se debe, en buena parte, la reestructuración del mismo, con las valiosísimas sugerencias que nos hizo.

Por supuesto, agradecemos también a nuestros sinodales, al Ing. Bernardo Frontana, por proporcionarnos algo de su tiempo para acercarse a leer nuestro trabajo, al Ing. Gabriel Jaramillo por su jovialidad y buena disposición para leer el documento; a la maestra Carmen Maldonado, y al maestro Larry Escobar, quien además fue nuestro profesor en la carrera, nos ofreció su amistad, y nos motivó a concluir nuestro trabajo. A todos ustedes, los respetamos profundamente como personas, y por la importante labor académica que desarrollan en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Agradecemos también al Dr. Romilio Tambutti del Centro de Enseñanza de la Física de la Facultad de Ciencias, por la información que nos facilitó acerca del primer capítulo de la Tesis, al Ing. Bruno Méndez, por su valiosa asistencia técnica en la elaboración del documento, y especialmente a nuestros padres, por haber confiado en nosotros y por haber hecho el esfuerzo de costear nuestros estudios profesionales.

A todos ustedes.....**¡¡¡ Muchísimas gracias!!!**

RESUMEN

En este trabajo, retomamos algunos conceptos difíciles de comprender por los alumnos de la materia: Laboratorio de Electricidad y Magnetismo, de la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Buscamos las causas por las que se da ésta situación, y realizamos una investigación bibliográfica acerca de los equipos didácticos existentes para la enseñanza de la materia, lo que nos permitió diseñar y construir algunos equipos, con los que propusimos algunos experimentos y un conjunto de prácticas, con el objetivo de mejorar la comprensión de los alumnos acerca de dichos conceptos, y también para que se den cuenta de que muchos de los fenómenos eléctricos y magnéticos que observan en su vida diaria, obedecen a leyes físicas descubiertas y estudiadas algunas de ellas, desde el siglo XIII.

CAPÍTULO 1	Página
INTRODUCCIÓN	
1.1. EL POR QUÉ DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA	10
1.2. PROBLEMÁTICA DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA A NIVEL BACHILLERATO	11
1.3. FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE MEDIOS PARA LA ENSEÑANZA	13
1.3.1. Situación de enseñanza	14
1.3.2. Limitaciones impuestas por la situación de enseñanza	14
1.3.3. Desempeño idóneo necesario	14
1.4. MEDIOS DE APRENDIZAJE	15
1.4.1. Equipos de laboratorio para demostración	16
1.5. SITUACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS DIDACTICOS	16
 CAPÍTULO 2.	
EVOLUCION DEL CONOCIMIENTO CIENTIFICO DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO	18
 CAPÍTULO 3.	
SUSTENTO TEÓRICO DE LAS PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO	20
3.1. Criterios de selección de las prácticas propuestas	22
3.2. Problemática de comprensión de las prácticas actuales	22
3.2.1. Generador Van de Graaff	22
3.2.2. Carga eléctrica	22
3.2.3. Distribución de carga y campo eléctrico	22
3.2.4. Campo eléctrico	23
3.2.5. Diferencia de potencial	24
3.2.6. Capacitancia	24
3.2.7. Fuerza magnética	25
3.2.8. Propiedades magnéticas de la materia	25
3.2.9. Ley de Faraday y Ley de Lenz	26
 CAPÍTULO 4	
PRESENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO	
4.1. GENERADOR VAN DE GRAAFF	27
4.2. CARGA ELÉCTRICA	31
4.3. DISTRIBUCIÓN DE CARGA Y CAMPO ELÉCTRICO	36

4.4. DIFERENCIA DE POTENCIAL	41
4.5. CONSTANTES DIELECTRICAS Y CAPACITANCIA	48
4.6. FUERZA ELÉCTRICA	53
4.7. FUERZA MAGNÉTICA	60
4.8. PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA	65
4.9. LEY DE FARADAY Y LEY DE LENZ	73
CAPÍTULO 5	
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	81
APÉNDICE 1 Medios de aprendizaje	82
APÉNDICE 2 Personalidades de la Electricidad y el Magnetismo	84
APÉNDICE 3 Conceptos básicos acerca de la ciencia y la tecnología	94
APÉNDICE 4 Planeación de los experimentos	96
BIBLIOGRAFÍA	97

Los científicos mexicanos somos conscientes de la situación por la que atraviesa México y estamos decididos a seguir trabajando con igual o mayor dedicación. Entre otras cosas porque sabemos algo que las autoridades mexicanas, (el gobierno, el Conacyt, etc.), ignoran o no quieren reconocer: que la única posibilidad que tiene nuestro país de empezar a ver tiempos mejores está en incrementar el número y la calidad de sus cuadros profesionales y técnicos.

Ruy Pérez Tamayo

Las Ciencias Sociales y Naturales, por referirse a los principios de la producción y al cambio o extinción de ciertos hechos o fenómenos, posibilitan la relación dialéctica que existe entre desarrollo científico, desarrollo tecnológico y desarrollo económico.

El estudio de la Física podrá permitir a los alumnos, en condiciones adecuadas, adquirir conocimientos y desarrollar habilidades y aptitudes consideradas valiosas para desenvolverse con mayores posibilidades de éxito en el ambiente académico, social y del trabajo.

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1. EL POR QUÉ DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Se supone que la educación en general, y la educación científica en particular, ayudan a alcanzar objetivos tales como **democracia, desarrollo, igualdad, tolerancia, creatividad, sentido crítico independiente, actitud científica, desmitificación de la ciencia, etc.**

La enseñanza de la Física en todos los niveles sufre una fuerte influencia por parte del sistema de los títulos otorgados. En cada nivel, aún en el posgrado, los estudiantes finalizan con un examen, de manera que este llega a ser para los estudiantes el objetivo principal. Al mismo tiempo, los libros de texto se proyectan teniendo en cuenta el examen. Frecuentemente la actividad principal del curso consiste en enseñar a resolver problemas. **La tendencia de la enseñanza es a hacerse dogmática. La discusión crítica de las Teorías no ofrece mucho interés**; la cuestión consiste en aprender a dar la respuesta **verdadera** a preguntas y problemas semejantes a los que figuran en los exámenes, pero resulta difícil encontrarle otra utilidad a estas actividades. La evaluación es frecuentemente una parte necesaria del proceso de aprendizaje. Sin embargo, el significado social del examen es con frecuencia tan importante que su función es la de dificultar el proceso de enseñanza⁽³⁾.

Learning to be⁽¹²⁾ subraya que la educación debe desarrollar y fortalecer la educación en su sentido más amplio. Sin embargo algunos críticos piensan que la estructura del sistema educativo, tal como es en la actualidad, es intrínsecamente una herramienta para la opresión. Así, Paulo Freire⁽⁸⁾ la denomina “**educación para la domesticación**”, en contraste con la “**educación para la liberación**”⁽⁷⁾ que en forma utópica, profética y esperanzada es la “**acción cultural para la libertad**” y por tanto “**un acto de conocimiento y no de pura memorización**”.

En muchos países subdesarrollados todo el material didáctico se elige teniendo en cuenta la escala de valores de una minoría, pero esos materiales no son apropiados para la mayoría. En la “**educación para la liberación**”, el profesor debe estudiar también y el estudiante enseñar^(7,8). El conocimiento adquirido en colaboración no está dado de antemano en algún almacén de conocimientos sino que se descubre en forma conjunta mediante una búsqueda motivada por los problemas reales que enfrenta la comunidad.

Se considera que este tipo de educación puede abrir el camino para que la pareja formada por el profesor y el alumno actúe para modificar la situación, mientras que la “educación para la domesticación” trata de adaptar al alumno a la situación imperante. Uno de los objetivos de la enseñanza de la Ciencia (y en particular de la Física), es **hacer conocer el método científico** y en que consiste la “**actitud científica**” (12)

Si la enseñanza ha de fortificar a la democracia y favorecer la liberación de los oprimidos, debería realizarse en forma de colaboración entre el profesor y el alumno durante la cual ambos aprendan y enseñen.

Ahora se mencionan algunos de los propósitos que persigue la **enseñanza de la Física** : (17)

1.-Desarrollar en el alumno habilidades que le permitan comprender y analizar fenómenos físicos y razonar metódicamente en el abordaje de problemas afines.

2.-Lograr que el alumno pueda organizar sus conocimientos conceptuales y metodológicos en forma coherente en teorías y modelos, y no solo amontone dichos conocimientos en forma arbitraria en su memoria, de tal manera que logre **desarrollar el pensamiento abstracto y causal**.

3.-Preparar al alumno para comprender mejor el espectacular desarrollo Científico y Tecnológico, para poder situarse en su propio espacio y tiempo histórico.

4.-Que conozca algunos aspectos relevantes Histórico - Críticos de las construcciones del conocimiento físico, de manera que pueda apreciar los contextos históricos en que fueron elaboradas las Teorías y la evolución de las ideas Físicas.

5.-Que el conocimiento de las ciencias (naturales, formales y sociales) ayuden al alumno a romper con la herencia de malos hábitos mentales y prácticas, los que, aunados a actitudes y valores negativos, mantienen nuestra posición de dependencia y fatalismo como país.

1.2 PROBLEMÁTICA DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA A NIVEL BACHILLERATO

Consideramos importante incluir este apartado para destacar la importancia de la enseñanza de la Física a nivel Licenciatura, ya que hemos observado que su problemática a nivel bachillerato, repercute negativamente en el aprovechamiento de los alumnos de los primeros semestres de las carreras de Ingeniería, una situación que podría mejorarse con la posible contribución que pueda aportar este trabajo.

Para ilustrar dicha situación, narraremos la experiencia obtenida por los docentes del colegio de profesores de Física de la Escuela Nacional Preparatoria, quienes organizaron un encuentro de profesores de esta materia, para evaluar el trabajo que han venido realizando en estos últimos años.

En dicho encuentro participaron 35 profesores del colegio de Física y los jefes de departamento de Matemáticas y Biología.

Se trató de un evento en el cual se realizaría un diagnóstico de la práctica docente y de los resultados obtenidos en esta asignatura, reconocida como de **reprobación y dificultad en su aprendizaje**.

Dicho evento se cristalizó en el seminario llamado “**REFLEXIONES CRÍTICAS SOBRE LA PRÁCTICA DOCENTE**” (17) y al final del mismo, se pudieron establecer acuerdos en el replanteamiento de los problemas.

Los participantes estuvieron de acuerdo en reconocer que:

Es el **conocimiento objetivo** el que **permite** a los alumnos comprender la **articulación que existe entre los fenómenos o procesos, al manipular experimentos o buscar**, a partir de observaciones seleccionadas y cuidadosas, **los vínculos y nexos entre variables y procesos**, desarrollando actitudes y habilidades valiosas para el desarrollo del pensamiento abstracto, causal y crítico. El **Conocimiento Científico** enseña a distinguir entre observación, explicación y demostración; a valorar los razonamientos claros, coherentes y objetivos que permiten la comprensión y la explicación de los fenómenos.

Ahora bien, entre algunos de los defectos respecto al dominio alcanzado en la materia por algunos alumnos en la actualidad se encuentran:

- a) Deficiente comprensión de los conceptos
- b) Memorización de enunciados y principios, carentes de significado para ellos
- c) Mecanización en la solución de problemas sencillos, resueltos por analogía
- d) Insuficiente desarrollo del pensamiento causal
- e) Escasa habilidad para plantear y resolver problemas.

Debido a estos defectos, se consigue que:

- a) Haya en el alumno falta de interés por la Ciencia, y en especial por la Física.
- b) Se alcance un alto porcentaje de alumnos reprobados y de deserción.

A los puntos mencionados, contribuyen características o factores relacionados con los alumnos, los profesores y la institución.

Respecto del alumno:

- 1.- Preparación insuficiente, tanto en matemáticas como en español.
(Presentan dificultad para hacer operaciones con números no enteros; además, su expresión oral y comprensión de la lectura son deficientes).
- 2.- Falta de buenos hábitos de estudio y generalmente poco interés por aprender significativamente en todas las materias.

Por parte del profesor:

- 1.- No está actualizado en Física, sobre todo en los aspectos experimentales. No está capacitado en el ejercicio docente, en muchos casos no tiene vocación y se dedica a la docencia como un medio para subsistir.
- 2.- No se preocupa porque el alumno tenga el dominio necesario tanto del español como del lenguaje formal matemático.
- 3.- Da información parcial de los temas que aborda de la Física, dando los cursos básicamente de tipo expositivo (gis y pizarrón), memorísticos y de mecanización.

Y en lo concerniente a la institución:

- 1.- No establece cursos suficientes para la actualización de los profesores, y los que ofrece no son accesibles muchas veces, por los horarios y sedes de los mismos.
- 2.- No ofrece apoyos mínimos como **EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO**, aulas, ni estímulos profesionales y económicos a los maestros.
- 3.- No lleva un seguimiento del trabajo docente, tampoco hace que se corrijan los defectos.

1.3. FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE MEDIOS PARA LA ENSEÑANZA

La enseñanza planeada para un aprendizaje eficaz puede transmitirse de varias maneras y a través de diversos medios⁽⁹⁾. El término **medios**, cuando se emplea dentro de un contexto didáctico, significa cualquier combinación de cosas o sistemas de cosas útiles para **transmitir comunicaciones u otros estímulos de enseñanza al individuo**. Los medios no diseñan ni formulan esas comunicaciones, simplemente las transmiten.

El contenido y programa de las comunicaciones transmitidas por los medios, los crea un planificador de la enseñanza, un profesor o un instructor. **La transmisión de lo diseñado es la función de un medio o combinación de medios.** Algunos de ellos, son extensa y frecuentemente utilizados, y por lo tanto, muy conocidos, como los libros y programas de televisión. Cuando se planifica la enseñanza para que dé por resultado un aprendizaje eficaz, es muy probable que entre las elecciones sobre la naturaleza de lo que se va a comunicar al sujeto se incluyan selecciones de medios de transmisión. A pesar de que la selección de medios depende de circunstancias locales como la disponibilidad, es deseable que los instructores tengan cierta idea de lo apropiado que son los medios en términos de su capacidad para transmitir las comunicaciones necesarias. Para llevar a cabo la selección de medios ⁽⁹⁾ deben considerarse factores tales como:

- a) Situación de enseñanza
- b) Limitaciones impuestas por la situación de enseñanza
- c) Desempeño idóneo necesario.

1.3.1. SITUACIÓN DE ENSEÑANZA

La selección de medios debe hacerse dentro del contexto de la situación de enseñanza prevalente o anticipada. Al introducir esta idea, la intención es resaltar el hecho de que la explicación no se limita, de manera alguna, a la situación de un profesor y su clase. Si bien es cierto que dicho escenario se presta para escoger muchos medios diferentes, tiene, al mismo tiempo, sus propias limitaciones.

1.3.2. LIMITACIONES IMPUESTAS POR LA SITUACIÓN DE ENSEÑANZA

Casi todos los sistemas de selección de medios proponen que se tomen decisiones con base en las características de éstos últimos; es decir, los tipos de propiedades que tienen los medios es un factor limitante mucho más significativo en la selección de los mismos.

1.3.3. DESEMPEÑO IDÓNEO NECESARIO

Hay ocasiones en las que la situación de enseñanza se planea de tal manera que produce un desempeño adecuado tan pronto como se completa la capacitación desde el primer momento en que se necesita realizar el trabajo, ya que las consecuencias de un desempeño inadecuado o erróneo, ponen incluso la vida de las personas en peligro. Este tipo de características son de esperarse en ciertos trabajos realizados por los médicos, dentistas y otros profesionales de la salud; asimismo, en el caso de las personas que operan vehículos como las

aeronaves o quienes vigilan sistemas potencialmente peligrosos como las plantas nucleoelectricas.

Los individuos que están siendo instruidos tienen que adquirir destreza para generar un desempeño libre de errores. Será necesario, por ejemplo, que un piloto de avión practique las habilidades necesarias para aterrizar en un avión verdadero, en un campo de aterrizaje real o en una situación que se aproxime a la realidad tanto como sea posible.

A manera de otros ejemplos, el mismo tipo de cuestiones se aplican a los procedimientos delicadísimos de un cirujano, un experto en explosivos o un técnico de una planta nucleoelectrica.

Cuando se necesita un desempeño libre de errores como resultado de la enseñanza, el medio utilizado debe ser el equipo real necesario para ejecutar el trabajo o profesión, o bien, un simulador bastante apegado a la realidad en cuanto al uso del equipo real.

En general, puede decirse que la necesidad de un desempeño libre de errores limita la selección de medios a esas dos posibilidades : **uso del equipo real o una simulación de la tarea real** ⁽⁹⁾.

Cabe destacar en este punto, que los estudiantes de ingeniería por lo general deben tener un desempeño libre de errores a nivel profesional, dada la naturaleza riesgosa de algunas condiciones de trabajo ingenieriles, por lo cual, desde su formación universitaria, deben estar en contacto con los equipos que van a utilizar posteriormente y manejarlos con familiaridad para conseguir un desempeño adecuado.

1.4. MEDIOS DE APRENDIZAJE

Los **medios de aprendizaje** son los **instrumentos con los que cuenta el profesor para facilitar el aprendizaje de sus alumnos**, por lo tanto, desempeñan un papel fundamental en la eficiencia del proceso: **enseñanza – aprendizaje** ^(6,9).

Los **medios** se definen como los **materiales, equipos y procedimientos, cuya buena elección, producción y utilización favorecen el aprendizaje del alumno hacia determinado objetivo.**

Algunos medios que pueden emplearse para propósitos de aprendizaje son:

- Los textos
- Los libros programados
- **El equipo de Laboratorio para demostración**
- Los talleres
- La exposición oral
- Las cartulinas, acetatos, diapositivas y filminas
- La computadora
- Los audios y vídeos y
- Las dinámicas de grupos (discusión grupal y reunión en corrillos entre otras)

Es muy importante destacar que la elección de determinado medio de ninguna manera puede ser arbitraria, debe elegirse de acuerdo con la naturaleza del objetivo que se pretenda alcanzar, sea éste de carácter cognoscitivo, afectivo, psicomotor o de todos ellos. En algunos casos el medio desempeñará un papel fundamental como medio principal para el alcance del objetivo planteado; en otros servirá como medio de apoyo para el logro de dicho objetivo.

Se mencionará, como parte medular de este trabajo, lo referente al equipo de laboratorio para demostración y los demás medios pueden consultarse en el apéndice 1.

1.4.1. EQUIPOS DE LABORATORIO PARA DEMOSTRACIÓN

Sirven para ilustrar algún aspecto importante que se relacione con el tema que se está viendo en clase. Este medio puede emplearse como medio de apoyo para el logro de objetivos cognoscitivos, una vez que se haya alcanzado la “base” cognoscitiva mediante otro conducto.

También fomentan el trabajo individual y pueden servir para verificar o deducir alguna ley o principio; para el manejo de datos experimentales, para aprender el manejo de instrumentos, etc.

De acuerdo con lo expuesto con anterioridad, puede concluirse que ***los equipos didácticos desempeñan un papel fundamental en la eficiencia del proceso enseñanza-aprendizaje, como medios de transmisión de conocimientos de los fenómenos físicos.***

1.5. SITUACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS DIDÁCTICOS

Los equipos didácticos con los que se cuenta en la actualidad son casi todos ellos de origen extranjero y pueden adquirirse en México por medio de catálogos distribuidos por las oficinas de representación de la compañía en nuestro país, o bien por las formas de pedido anexas en el catálogo y enviadas por correo al país correspondiente. Cabe mencionar que no en todos los casos existen oficinas de representación en México, en los casos en que si las hay, es común que no tengan todos los aparatos que aparecen en los catálogos y por consiguiente, si el material que se desea comprar no está presente físicamente, las únicas referencias con que se cuenta, son las que aparecen en la publicidad impresa y la descripción del vendedor, limitando todo esto la posibilidad de comprar el equipo que realmente se necesita adquirir. Además, no se conocen empresas que se dediquen a la fabricación de equipos didácticos específicos sobre pedido.

RESUMEN DEL CAPÍTULO

De acuerdo con lo que acabamos de exponer, los medios de aprendizaje ayudan a los profesores, a transmitir determinados objetivos de aprendizaje a sus alumnos. Retomaremos ésta idea para diseñar y construir algunos equipos, y pondremos algunas prácticas de laboratorio, con la intención de explicarles a los alumnos en forma sencilla y clara algunos conceptos abstractos como el de carga puntual, líneas equipotenciales, Ley de Gauss, Ley de Faraday, dominios magnéticos, etc, que encuentran frecuentemente en los libros de Electricidad y Magnetismo; con la finalidad de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

CAPÍTULO 2

EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

Describiremos a continuación, las ideas y descubrimientos importantes en la materia ⁽¹⁹⁾.

La referencia escrita más antigua acerca de la brújula y el descubrimiento de los polos magnéticos datan del siglo XIII. En el siglo XVII, se observó la fuerza eléctrica de repulsión entre los cuerpos y apareció el concepto conocido como efluvio, precursor del concepto campo eléctrico, también en ese siglo se llevaron a cabo observaciones de que el fluido eléctrico reside en la superficie del material, y se dividió a los materiales en conductores y dieléctricos, asimismo, se descubrió que puede inducirse carga por frotamiento. Más adelante se observó que existían dos tipos de carga, lo que permitió clasificar a los materiales en vítreos y resinosos, por otro lado, aparecieron los conceptos básicos acerca del principio de conservación de la carga, y se describió el estado eléctricamente neutro de la materia. Se estableció la convención de Benjamin Franklin en el siglo XVIII para los dos tipos de carga existentes (positiva y negativa), y se llevaron a cabo observaciones acerca del campo eléctrico; asimismo, se introdujeron los conceptos de fuerza eléctrica de atracción y de repulsión. En ese siglo también, se descubrió el proceso de carga por inducción y se propuso el concepto de polarización eléctrica; por otro lado, la proposición, el establecimiento, y la experimentación de la ley de Coulomb que determina la fuerza eléctrica entre dos cargas, junto con la introducción del concepto potencial eléctrico, hicieron que la electricidad adquiriera el nivel de Ciencia Exacta. En dicho periodo Newton observó que la fuerza magnética era de distinta naturaleza que la fuerza de gravedad y por esos tiempos John Michell descubrió la ley de Fuerza entre polos magnéticos; es decir : “el polo norte de un imán atrae al polo sur”, y se determinó la ley del cuadrado inverso para la fuerza magnética. Se ratificó al mismo tiempo, que la electricidad en equilibrio quedaba confinada a la superficie de los conductores y no penetra a la sustancia interior; también en el siglo XVIII, Coulomb propuso que los polos magnéticos se encuentran en pares en la naturaleza, por otro lado, Poisson aplicó las matemáticas en el siglo XIX, para determinar la distribución de carga eléctrica en los conductores y la densidad superficial de carga en dos esferas conductoras. También en el siglo XIX, George Green extendió y generalizó las investigaciones eléctricas de Poisson, lo que lo condujo a desarrollar el Teorema de Green para el cálculo del potencial eléctrico.

Por otro lado, Galvani en el siglo XVIII, había observado que el nervio crural de una rana conducía electricidad y ocasionaba una contracción en el anca de la misma. En el siglo XIX Volta inventó la pila y el capacitor y Fabroni estudió la acción química de los metales en los efectos galvánicos. Durante ese periodo, Nicholson y Carlisle, descubrieron la hidrólisis del agua, al experimentar con pilas y observar la formación de gas alrededor del alambre conductor de las mismas.

Humpry Davy observó en el siglo XIX que el poder de acción del agua en las pilas dependía de la potencia fluida conductora para oxidar al Zn; estudió también la capacidad conductora de los metales y descubrió las relaciones de proporcionalidad existentes entre el área, la longitud y la temperatura, para la determinación de la conductividad. Más adelante se llevaron a cabo las primeras observaciones de la fuerza electromotriz inversa, y en ese siglo, Oersted observó que al hacer circular una corriente a través de un alambre próximo a una brújula, se producía una desviación en la aguja de la misma, reconociéndose entonces que un campo magnético podía ser producido tanto por una corriente eléctrica como por un imán. Tomando como base éstas observaciones. Biot y Savart repitieron y extendieron los experimentos de Oersted y publicaron un análisis preciso de sus efectos, lo que dio lugar a la ley de Biot y Savart, para la fuerza de origen magnético que se presenta al hacer circular una corriente eléctrica a través de un conductor. Tomando como base estos experimentos, Ampère mostró que dos alambres paralelos conduciendo corriente se atraen el uno al otro si las corrientes viajan en la misma dirección, y se repelen si las corrientes se dirigen en direcciones opuestas, una de sus contribuciones más importantes a la electricidad y el magnetismo, fue el establecimiento de la corriente eléctrica como una entidad fundamental; es decir que **“la carga es responsable de todos los fenómenos eléctricos y magnéticos conocidos”**, aceptándose entonces que un campo magnético podía ser producido tanto por una corriente eléctrica como por un imán.

También en el siglo XIX, Ohm estableció la ley que lleva su nombre, y Faraday realizó toda una serie de descubrimientos importantes fundamentales para la comprensión de los fenómenos eléctricos y magnéticos entre los que destacan la definición del concepto líneas de fuerza magnética, la observación de que un campo magnético variable induce una corriente en una espira y del fenómeno de auto inducción, también de que cada efecto conocido de la electricidad (fisiológica, magnética, luminosa, calorífica, química y mecánica), es de la misma naturaleza, independientemente de que la electricidad se obtenga por fricción o por medio de una pila voltaica, asimismo, realizó muchas observaciones con la pila voltaica^(19,5)(ver apéndice 2).

Mención aparte merece el físico escocés James Clerk Maxwell, quien alrededor de 1860, dedujo que las leyes experimentales de la electricidad y el magnetismo -las leyes de Coulomb, Gauss, Biot y Savart, Ampère y Faraday- podían resumirse de una forma matemáticamente concisa conocida como ecuaciones de Maxwell. En una de aquellas leyes, la ley de Ampère, aparecía una clara inconsistencia que Maxwell fue capaz de eliminar con la invención de la corriente de desplazamiento. El nuevo conjunto de ecuaciones, ya totalmente consistente, predice la posibilidad de transmitir ondas electromagnéticas en el espacio libre. Las ecuaciones de Maxwell relacionan los vectores de campo eléctrico y magnético E y B con sus fuentes que son las cargas eléctricas, las corrientes y los campos variables. Estas ecuaciones juegan en el electromagnetismo clásico un papel análogo al de las leyes de Newton en la mecánica clásica (16, p:943).

CAPÍTULO 3

SUSTENTO TEÓRICO DE LAS PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

Los experimentos que se proponen en esta tesis, abordan el tema de **Electricidad y Magnetismo**, división de la **Física** que se encarga del estudio de las **cargas**, en reposo (electrostática) o en movimiento (electrodinámica) (2).

La **carga eléctrica** es una propiedad de la materia tal como la masa gravitatoria o la temperatura. Existen diferentes formas de cargar cuerpos eléctricamente (frotamiento, contacto, inducción), así como de descargarlos (conexión a tierra, por ionización, por calentamiento, etc), dichos métodos se estudian en el laboratorio de electricidad y magnetismo. El **Campo Eléctrico** es la región del espacio donde se manifiesta la presencia de fuerzas entre las cargas eléctricas. Tiene una definición matemática y suele representarse de manera gráfica, con **líneas de campo**. De manera experimental, en el laboratorio de electricidad y magnetismo se lleva a cabo un arreglo experimental que permite visualizarlas y conocer sus propiedades. Ahora bien, de manera análoga al potencial gravitatorio, existe una magnitud eléctrica conocida como **potencial eléctrico**, ó **energía potencial de la carga unitaria**, cuyas unidades son los volts, y se define como el trabajo efectuado por el campo electrostático sobre una carga unitaria positiva, al mover dicha carga desde una posición inicial A hasta la posición final B (18). Por otro lado, existen fuentes capaces de **producir** energía eléctrica; se conocen como **Fuentes de Fuerza electromotriz**; en el laboratorio se trabaja con algunas de ellas, principalmente : químicas , ópticas, mecánicas, entre otras.

También existen dispositivos eléctricos que almacenan carga y energía, se conocen como **capacitores** y están formados por dos placas planas conductoras separadas por un **material dieléctrico** (material que se opone al flujo de carga) . Existen capacitores de varios tipos y se distinguen entre sí según el dieléctrico que empleen (electrolíticos, de tantalio, cerámicos o de poliéster) los dieléctricos se diferencian entre sí por una constante, conocida como k, o constante dieléctrica. En el laboratorio se estudian las variables que definen a los capacitores y a su constante dieléctrica, se realizan mediciones con diferentes tipos de dieléctricos para ver de qué manera influye la naturaleza del material, el área del mismo y la distancia existente entre los electrodos en el valor de capacitancia obtenido. Por último, se clasifica a los materiales según su campo de ruptura E_0 , que es: el campo máximo que puede soportar un material dieléctrico antes de pasar a ser conductor (conducir la corriente eléctrica).

Hablaremos ahora de cuando los cargas (electrones específicamente) empiezan a moverse (materia de estudio de la electrodinámica), definiendo la magnitud conocida como **corriente eléctrica** ($i = dQ/dt$ [A])

Para iniciar nuestra descripción, es necesario mencionar que existen materiales a través de los cuales las cargas fluyen libremente (conductores), otros que bajo ciertas condiciones permiten la circulación de corriente (semiconductores), y otros que no permiten su paso (aislantes o dieléctricos). En el Laboratorio se proporcionan diversos materiales que permiten conocer su **resistividad** ρ , indicador que determina el grado en que un material conduce la corriente eléctrica (el platino tiene una $\rho = 11 \times 10^{-8}$ [Ω. m], y es mejor conductor que el cobre $\rho = 1.7 \times 10^{-8}$ [Ω. m]. Se les da a conocer también a los alumnos, la **resistencia de los materiales**; la expresión que rige su comportamiento ($R = \rho (L / A)$), donde R : resistencia del material, L ; longitud del material, y A ; área del material). Se analizan las variables involucradas en la definición, y se observa su dependencia con respecto al valor total de resistencia obtenido.

Se hace mención de los **resistores**, elementos eléctricos que caracterizan a la resistencia eléctrica. Se da a conocer su clasificación (de acuerdo con su valor:: fijas y variables) y de acuerdo con su material de fabricación :carbón, térmicas; etc. Se analiza también el comportamiento de las termoresistencias , aquéllas cuyo valor de resistencia varía en función de la temperatura) y se establece la **Ley de Ohm**: $V = R \times I$ [V] .

En la práctica concerniente a **Leyes de Kirchhoff**, se lleva a cabo el estudio de los circuitos eléctricos. Se les mencionan a los alumnos los conceptos: nodo, rama, malla, marca de polaridad y se enuncian y comprueban las relaciones de energía establecidas por las *leyes de kirchhoff* de voltaje y corriente , y las leyes de Ohm y Joule, con circuitos armados por ellos mismos. Con este último tema concluye la parte correspondiente a electricidad.

Para la parte de magnetismo, se llevan a cabo en el laboratorio las prácticas : FUNDAMENTOS DEL MAGNETISMO, FUERZA DE ORIGEN MAGNÉTICO Y LEYES DE FARADAY Y LENZ. En la primera de ellas, se les menciona a los alumnos que el magnetismo forma parte de la naturaleza, pues la Tierra misma se comporta como si tuviera enterrado un imán en su interior. Se les muestran algunos imanes y se les enseña como determinar su polaridad por medio de la brújula; así como las leyes de los polos que rigen su comportamiento. Se les menciona también el funcionamiento del teslámetro (instrumento que sirve para determinar la intensidad del campo magnético). Se les da a conocer el concepto de líneas de Campo para representar los Campos Magnéticos (regiones del espacio donde se verifica la presencia de fuerzas de origen magnético); los alumnos pueden visualizarlas con la ayuda de materiales ferromagnéticos e identificar sus propiedades. Se reproducen también los experimentos de Oersted y Ampère (al hacer circular una corriente por un conductor, se induce un campo magnético); así como los de Faraday (la variación del campo magnético de un imán genera una corriente en una bobina), que dio pie a la invención del transformador.

En la práctica "Fuerza de origen magnético", se realizan experimentos que llevan a verificar la validez de la Ley de Fuerza Magnética : $F = qv \times B$ [N]. (Fuerza magnética ejercida sobre una partícula cargada); también se destaca la importancia de dicha fuerza en la operación de los motores, timbres, etc. (2,11,15,18).

3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS PRÁCTICAS PROPUESTAS.

Las prácticas de laboratorio propuestas quedan circunscritas al programa de estudios de la materia Electricidad y Magnetismo y se seleccionaron tomando en cuenta que los principios básicos son complicados para los alumnos; es decir, lo concerniente a carga eléctrica, diferencia de potencial, capacitancia, fuerza contraelectromotriz, etc. Hemos considerado importante retomar algunos conceptos difíciles de comprender, primero porque refuerzan los conceptos estudiados en la teoría, y en segundo lugar porque existen carencias de equipo para abatir ese problema, también porque los problemas de comprensión de las prácticas que se excluyeron ya se encuentran resueltos. Algunos de los experimentos propuestos son muy simples, como el que se refiere al de carga puntual (se cargarán dos globos metálicos y se observarán las fuerzas eléctricas entre ellos), otros comprenderán una extensión del conocimiento ya existente (estudio de diferentes patrones de campo eléctrico, análisis de diferentes modelos para el estudio del gradiente de potencial, estudio de la fuerza contraelectromotriz); también hay otros nuevos, como la obtención del momento dipolar eléctrico de un sistema, las propiedades magnéticas de la materia y el estudio de las corrientes parásitas.

Consideramos que el método de aprendizaje propuesto fomenta en los alumnos la capacidad de razonamiento y deducción, a partir de los fenómenos que observan y por otra parte, el aprendizaje que logran adquirir se hace significativo al relacionarlo con los fenómenos físicos que observan cotidianamente (carga electrostática de las prendas de vestir, uso del pararrayos y de la jaula de Faraday, funcionamiento del sistema de encendido de los automóviles, uso del wattorímetro, etc.).

3.2. PROBLEMÁTICA DE COMPRENSIÓN DE LAS PRÁCTICAS ACTUALES

3.2.1. GENERADOR VAN DE GRAAFF

Antes de describir la problemática, consideramos necesario mencionar que el equipo fundamental para las prácticas carga eléctrica, y campo eléctrico es el Generador van de Graaf, por lo tanto, el primer paso para realizar nuestro trabajo será construir uno con mejoras en el soporte y la banda; en forma conjunta, propondremos también una práctica que permita sensibilizar a los alumnos acerca de su importancia y de las aplicaciones que tiene.

3.2.2. CARGA ELÉCTRICA

El primer concepto que se enseña en la materia Electricidad y Magnetismo es el de carga eléctrica. A los alumnos les cuesta trabajo imaginar como se ejercen las fuerzas de tipo eléctrico entre cargas. Tratando de llenar esa deficiencia, se propone agregar a la práctica que realizan en el laboratorio un sistema formado por

un globo metálico que se colocará a una distancia próxima al generador. Se accionará el generador, y se podrán observar las fuerzas de atracción y repulsión entre el globo y el generador; haciendo notar a los alumnos que cada una de las superficies metálicas puede ser considerada como una carga puntual.

Por otro lado, cuando en la parte de la práctica que se realiza actualmente se trabaja con los experimentos concernientes a las interacciones de tipo eléctrico; se utiliza el Generador Van de Graaff y una esfera de descarga, estableciéndose un campo eléctrico entre ambos elementos y soltándose entonces pelos de la piel de conejo en esta región, observándose las fuerzas de atracción y repulsión entre ellos. Sucede a menudo que en temporadas de calor, surgen los siguientes inconvenientes: al estar manipulando el Generador Van de Graaff a 70 kV, invariablemente se carga el ambiente, por lo que tanto los alumnos como los profesores reciben descargas continuamente; también se ha observado que algunos alumnos presentan alergia cuando trabajan con los pelos de la piel de conejo. Para mejorar la calidad de las condiciones de trabajo en esta práctica, se sustituirán los pelos de la piel de conejo que se utilizan actualmente, por confetti de papel.

En la práctica docente, se ha observado también que los alumnos no comprenden fácilmente por qué los cuerpos cargados se descargan rápidamente a través de puntas metálicas; para que los alumnos puedan apreciar de mejor manera este fenómeno, se pensó en utilizar un conductor cónico en un extremo y plano en el otro, se colocará un electroscopio y un electrómetro a cada uno de sus lados, de tal manera que ellos puedan apreciar la concentración de cargas en los extremos del conductor. Con estos experimentos, podrán aprender que la configuración geométrica del conductor, determinará la manera en la que se distribuyen las cargas. (En una punta se concentran más cargas que en una superficie elíptica), y que en dicho fenómeno se basa el principio de operación del pararrayos.

3.2.3. DISTRIBUCIÓN DE CARGA Y CAMPO ELÉCTRICO

En la parte correspondiente a la visualización de las líneas de Campo Eléctrico se utilizan actualmente recipientes de vidrio con aceite y semillas de pasto, junto con pares de electrodos de diferentes geometrías tanto planas como volumétricas, al introducir los electrodos en el aceite, las semillas de pasto se polarizan y se alinean con el campo eléctrico; debido a que se trabaja con varios pares de electrodos, sucede frecuentemente que se invierte mucho tiempo en armar los componentes y debido a esta situación, surge alguno de los siguientes problemas: los alumnos no terminan de realizar la práctica, o la realizan de manera automática sin comprender realmente lo que están haciendo. El equipo nuevo permitirá una optimización del tiempo empleado en la realización de la práctica, pues tanto los electrodos como el aceite se encontrarán integrados en un solo estuche; además se agregarán electrodos de geometrías distintas a los que ya se tienen.

Como una innovación a esta práctica, se diseñará y construirá una Jaula de Faraday para explicar la Ley de Gauss. Los alumnos podrán apreciar la presencia del Campo Eléctrico dentro y fuera del conductor por medio de un electroscopio. Se implementará también el siguiente experimento: se utilizará un radio de pilas encendido y sintonizado en una estación de A.M. se colocará dentro de la jaula y los alumnos podrán apreciar que no hay transmisión de señales y el radio deja de sonar. Se les hará saber entonces la importante aplicación que tiene tanto en el aspecto de protección del personal que labora en líneas de alta tensión, como en el aislamiento de circuitos con microprocesadores para evitar fallas en los sistemas debido a la interferencia electromagnética.

3.2.4. DIFERENCIA DE POTENCIAL

Uno de los temas a desarrollar en esta práctica, permite conocer de manera tangible un concepto matemático que se les enseña a los alumnos de manera recurrente en la materia de cálculo vectorial: el gradiente de una función; para electricidad y magnetismo: el **gradiente de potencial eléctrico**, para lo cual se pide a los alumnos que identifiquen líneas equipotenciales al generador Van de Graaff por medio de la punta sensora del electrómetro. La punta se coloca de manera concéntrica a la esfera, y se realizan las mediciones de una manera poco precisa debido al temblor del pulso humano. Se propone, para eliminar este problema, el diseño de un soporte para la punta, ajustable a diversos radios concéntricos al generador. En la segunda parte de la práctica, los alumnos utilizan el siguiente equipo: un par de placas planas metálicas introducidas en un recipiente con arena de mar húmeda, que se encuentran conectadas a las terminales de una fuente de poder y un Voltímetro. Ellos localizan **líneas equipotenciales** con el voltímetro a lo largo de los tres ejes del recipiente, y pueden corroborar los valores matemáticos de la función $E = (\partial V/\partial x, \partial V/\partial y, \partial V/\partial z)$. Se pretende ampliar éstos conocimientos con el diseño de dos modelos: uno de acrílico y otro de cerámica con configuraciones geométricas diferentes.

3.2.5. CONSTANTES DIELECTRICAS Y CAPACITANCIA

En esta práctica se utiliza en la actualidad un capacitor variable para medir la capacitancia y encontrar la relación que existe entre ésta y algunas de las variables implícitas en la definición: distancia entre las placas que componen el capacitor, tipo de dieléctrico, área comprendida entre las placas y el dieléctrico, etc. El equipo con que se cuenta ya está muy usado, y existen algunos desajustes en los tornillos que inciden en errores de los valores de las mediciones de capacitancias. Se llevará a cabo una mejora en el capacitor que permita variar el área de las placas.

3.2.6. FUERZA ELÉCTRICA

Se propone esta nueva práctica que estará constituida por un par de placas circulares metálicas, una de las cuales estará sujeta de un dinamómetro a la parte

superior de un soporte universal, la otra placa, se ubicará debajo de la primera y se conectará a tierra. Por medio de un variac, se le proporcionarán distintos valores de voltaje a la placa superior, estableciéndose una fuerza de repulsión entre los dos platos y de esta manera, podrán obtenerse entre otras cosas: la fuerza eléctrica entre los platos y el momento dipolar.⁽¹⁶⁾

3.2.7. FUERZA MAGNÉTICA

En este punto del trabajo de Tesis propuesto, se supone que los alumnos cuentan ya con los conocimientos elementales de magnetismo, y han trabajado ya con las bobinas de Helmholtz, lo que les permite desarrollar el tema: Fuerza de origen magnético, $F = i \times B \cdot \sin \theta$, que involucra a las variables F , B , i , en su calidad de vectores. Se ha considerado pertinente incluir un modelo tridimensional de acrílico que permita observar claramente estas variables, ya que con éste modelo, se podrá apreciar que la magnitud de la fuerza magnética será máximo si el ángulo entre los vectores de campo eléctrico y de campo magnético es 90° , y mínimo cuando dicho ángulo es 0° , situación difícil de comprender cuando los alumnos reciben una explicación en el pizarrón, pues ahí se maneja únicamente el plano.

Por otra parte, les quedará claro el concepto líneas de flujo magnético atravesando una superficie dada.

El experimento propuesto para ilustrar los efectos de la fuerza magnética permitirá observar el funcionamiento de un motor lineal^(10,p:347), que estará formado por una bobina que servirá de soporte a un riel que contendrá un conductor en forma de u, sobre el cual se colocará una barra de metal con movimiento libre. Se aplicará una corriente alterna a la bobina y podrá observarse que se ejercerá una fuerza sobre la barra que la hará moverse hacia un extremo o a hacia el otro del conductor, dependiendo del sentido de polaridad aplicado.

3.2.8. PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA.

Las prácticas concernientes a electromagnetismo están estructuradas de tal manera que los alumnos logran obtener un panorama general de la materia, pero existen algunos aspectos que aún no se han estudiado, como son las propiedades magnéticas de la materia a nivel molecular. Se realizó una investigación bibliográfica acerca de la teoría de los dominios magnéticos y se llegó a la conclusión de que diversos tipos de materiales pueden ser analizados microscópicamente con equipos muy sofisticados, de nacionalidad extranjera y por consiguiente muy costosos. Se pensó entonces en implementar algunos experimentos más sencillos que permitan obtener conocimientos comparables.

El primero de ellos será un modelo en acrílico formado por tornillos de material ferromagnético acomodados en renglones y columnas con giro libre, de tal manera que al aplicar un campo electromagnético intenso (proporcionado las bobinas de Helmholtz), los tornillos se orientarán siguiendo la polaridad del Campo Magnético aplicado. El segundo equipo estará formado por un sistema de dos imanes adaptados a dos tornillos que permitirán ajustar la distancia entre los

imanes, y por consiguiente la intensidad de campo magnético. Se colocarán entonces muestras de materiales ferromagnéticos, diamagnéticos y paramagnéticos, pudiéndose observar la respectiva alineación o no de la muestra con respecto al campo producido por los imanes. El tercer equipo servirá para mostrar el efecto Barkhausen, que es un fenómeno acústico que permite percibir las discontinuidades que ocurren cuando un material ferromagnético es magnetizado. Se implementará con una bobina conectada en uno de sus extremos, a un amplificador de audio, que a su vez se encuentra conectado a una bocina. Al aproximar un imán a la bobina; es decir, al variar el campo magnético de la bobina, se percibirá un ruido en la bocina. Estas actividades servirán para ilustrar de manera experimental los conceptos: dipolos magnéticos y momentos dipolares que constituyen la Teoría de los dominios, base de la Resonancia Magnética.

3.2.9. LEY DE FARADAY Y LEY DE LENZ

Para ilustrar el efecto que produce la variación del Campo Magnético, se armará un circuito análogo al que se utiliza en el sistema de encendido de los autos, compuesto por los siguientes elementos: una pila conectada al primario de una bobina de ignición, y a un interruptor de llave con un capacitor conectado al mismo en paralelo. El secundario se encuentra conectado a las terminales de una espira en circuito abierto. Cuando se conecte la batería, se hará circular una corriente por el primario, y al suspender la alimentación de la batería, se inducirá un voltaje en el secundario de la bobina, (en este punto se varía el campo magnético del transformador), produciéndose entonces una chispa que formará un arco entre las dos terminales de la espira.

Se mencionará que bajo este principio de operación funcionan las electrosoldadoras.

Para explicar la Ley de Lenz, y la fuerza electromotriz de retorno, se propone armar un circuito que alimente a dos focos, uno de mayor potencia que el otro. En condiciones normales de operación, operará el de mayor potencia, y al apagar el circuito alimentador, se observará que el segundo foco se enciende.

Para demostrar la acción de las corrientes parásitas, se utilizará un tubo de aluminio y se dejará caer un imán a través de sus paredes interiores, observándose que el imán cae "suavemente"; con una aceleración menor que la debida a la gravedad, debido al efecto de las corrientes parásitas, que se mueven de manera circular en las paredes del tubo.

CAPITULO 4.

PRESENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DEL LABORATORIO

4.1. PRÁCTICA 1: "GENERADOR VAN DE GRAAFF"

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

- a) Conocer las partes elementales del generador
- b) Conocer sus principios de operación
- c) Observar algunos fenómenos asociados a su funcionamiento

CONCEPTOS ANTESCEDENTES :

- a) Carga eléctrica
- b) Proceso de carga por contacto
- c) Proceso de carga por inducción
- d) Efecto corona

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

El generador electrostático Van de Graaff es una máquina electrostática. Las cargas son agregadas al conductor por una banda portadora móvil ⁽¹⁾. En su forma esquemática más simple, está compuesto de un motor que maneja una banda vertical, (hecha de cinta, de tela, de papel o de otro material aislante), se encuentra sujeta por dos rodillos. La parte más baja de la banda es cargada eléctricamente por un peine o cepillo, el cual se encuentra conectado a una fuente de alto voltaje. Las cargas, que pueden ser negativas o positivas dependiendo de la fuente, son transportadas por la banda a un electrodo esférico hueco localizado en la parte superior de la máquina. Aquí, las cargas son transferidas de la banda a la esfera por un segundo cepillo o peine. Las cargas eléctricas se acumulan en la superficie externa del conductor y el potencial de la esfera queda limitado solo por el efecto corona y por la constante dieléctrica del medio circundante. La

tensión eléctrica máxima, que en las máquinas con gran aislamiento del aire puede alcanzar miles de volts con respecto a tierra, es una función del diámetro del conductor esférico. A continuación les presentamos nuestro generador Van de Graaff:



Fig.1. Generador Van de Graaff con soporte de acrílico que permite observar el movimiento de la banda transportadora de cargas

Este aparato marcó fuertemente varias décadas de la ciencia contemporánea y encontró varias aplicaciones en los campos de la Física, astrofísica y medicina, así como en varias industrias⁽²⁾. Dependiendo de su uso, tamaño y potencia, puede ser considerado como un instrumento “clásico”, como una máquina electrostática de demostración, así como un artefacto de ciencia aplicada para acelerar partículas en radioactividad. Algunas de sus aplicaciones son: la radiación para el tratamiento del cáncer⁽²⁾, fotos de rayos X de máquinas locomotivas, o la esterilización de comida con rayos gamma. Más cercanos a nuestros propósitos son sus usos educativos, ya que la máquina de Van De Graaff es un dispositivo excelente para estudiar electrostática, la ciencia del voltaje y la carga eléctrica.

Las baterías pueden producir grandes corrientes, mientras que las máquinas de Van de Graaff pueden producir grandes voltajes. Una máquina pequeña de este tipo puede funcionar a 50 μA de corriente, y producir un voltaje entre cero y 100,000 volts.

Una máquina Van de Graaff se parece un poco a una batería. Todos los generadores tienen una terminal positiva y una terminal negativa: el electrodo esférico constituye una terminal y un cable conectado a la base constituye la otra. Si la terminal de la base se conecta a tierra, la tierra entera llega a ser la segunda terminal del generador⁽¹⁾.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Generador Van de Graaff
- 1 Conector con estambres
- 1 Juego de timbre con una tuerca móvil

DESARROLLO

I.

- 1.- Quite el casco al generador Van de Graaff. Identifique sus componentes y haga funcionar el motor para observar la fricción de la banda con los peines.
- 2.- Dibuje claramente un diagrama de dichos componentes.
- 3.- Coloque el casco en su lugar y coloque el conector con pedazos de estambre en la parte más alta del generador, como se muestra:



Fig.2. Conector con hilos de estambre, colocado en la parte superior del Generador Van de Graaff

4.-Proporcione una explicación del fenómeno observado

III. Coloque ahora el timbre lo más cercano posible al generador

3.- ¿A qué atribuye el fenómeno observado?

4.- Proporcione un concepto, con sus propias palabras, para los procesos de carga que observó en la práctica.

BIBLIOGRAFIA

1.- Beatty, William J.
VAN DE GRAAFF GENERATOR
www.amasci.com/emotor/vdg.html
1998

2.- Brenni, Paolo
THE VAN DE GRAAFF GENERATOR
Bulletin of the Scientific Instrument Society No. 63
www.hometown.aol.com/lyonelb/sis.html
1999

4.2. PRÁCTICA 2: “CARGA ELÉCTRICA”

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

- a) Comprender el concepto de carga
- b) Deducir cuantos tipos de carga existen, conocer su convención y fenómenos asociados a éstos (atracción, repulsión).
- c) Provocar el exceso de carga en cuerpos diversos, utilizando cada uno de los métodos descubiertos.
- d) Demostrar que la distribución de carga de un cuerpo depende de la geometría de su superficie.

CONCEPTOS ANTESCEDENTES

- a) Fuerza
- b) Modelo del átomo de Bohr
- c) Masa gravitatoria

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

La carga eléctrica es una propiedad intrínseca de la materia. Ocurre cuando se da una transferencia de electrones entre dos cuerpos que son capaces de conducir la carga. Para que dos cuerpos se carguen, es necesario que ocurra alguno de los siguientes procesos: i) que dos cuerpos se froten (**frotamiento**), ii) que un cuerpo cargado “toque” a otro que no esté cargado (**contacto**), y iii) que un cuerpo “cargue” a otro cuerpo sin tocarlo (**inducción**). La carga se expresa cuantitativamente en Coulombs.

Así como existen diversas formas de cargar cuerpos, también existen distintas maneras de descargarlos: **por contacto**, por medio de una **conexión a tierra**, a través de **luz ultravioleta** o radiaciones más energéticas y por medio de **puntas**.

Los equipos más comunes que se utilizan para la observación de los fenómenos de atracción y repulsión en el laboratorio entre las cargas son: el generador Van de Graaff, que es un acelerador de partículas⁽²⁾, y el electroscopio que es un detector de carga; así como el electrómetro, que permite realizar mediciones de carga de los cuerpos y de voltaje en el generador Van de Graaff.

Mencionaremos a continuación, una breve clasificación de los materiales, de acuerdo con su capacidad de conducción de carga: **conductores**: aquellos en los que la carga se mueve con facilidad (conducen la carga de manera eficiente), **dieléctricos**, los que no la conducen; y **semiconductores**, los materiales que conducen carga bajo ciertas condiciones.

Los materiales como el vidrio y el caucho caen en la categoría de aislantes o dieléctricos. Cuando materiales de este tipo se cargan por frotamiento, solo el área que se frota se carga y no existe tendencia a que la carga se mueva a otras

regiones del material. En contraste, materiales como el cobre, el aluminio y la plata son buenos conductores. Cuando materiales de este tipo se cargan en alguna pequeña región, la carga se distribuye con facilidad sobre toda la superficie del conductor. Otro factor que determina la manera en la que se distribuyen las cargas en un cuerpo conductor es su geometría: las puntas acumulan una mayor cantidad de cargas que las superficies esféricas o cilíndricas(15, p.426).

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Generador van de Graaff
- 1 Globo metálico
- 1 Esfera de descarga
- 1 Conductor cónico
- 1 Electroscopio
- 1 Electrómetro
- Bandeja de Aluminio con confetti de papel

DESARROLLO.

a)Coloque el globo metálico , a una distancia aproximada de 5 cm del generador como se muestra:



Fig.3.La figura muestra dos superficies huecas conductoras.

Ponga a funcionar el Generador Van de Graaff.

- 1.- ¿Qué sucede?
- 2.- ¿A qué atribuye el fenómeno observado?
- 3.- Escriba la Ley de Coulomb
- 4.- ¿Qué analogía encuentra entre las dos superficies metálicas y la mencionada ley?

II.

- b) Coloque ahora la esfera de descarga a una distancia aproximada de 15 cm. del generador. Acciónelo y suelte el confetti entre las dos esferas como se muestra:

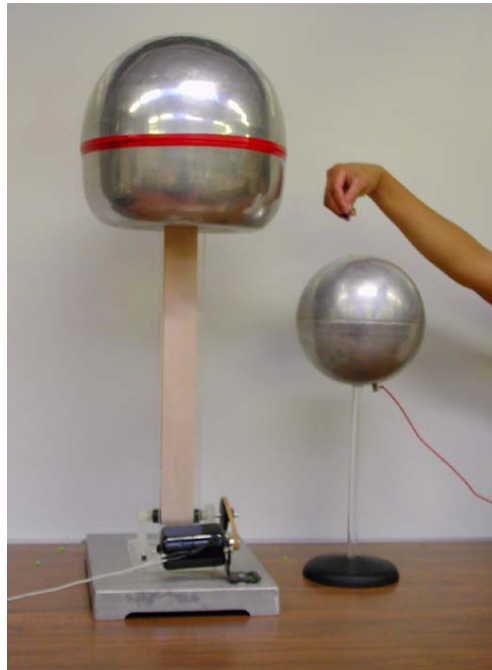


Fig 4: Partículas de confetti entre dos esferas conductoras.

- 5.- ¿Qué les sucedió a las partículas de confetti?
- 6.- ¿Qué proceso de carga se utilizó

III.

- c) Cargue el conductor cónico y verifique con el electroscopio, la presencia de carga en ambos extremos del conductor.



Fig. 5. Conductor cónico con electroscopio

7.- ¿En qué lado del conductor observó una mayor desviación en la laminilla del aparato?

d) Vuelva a cargar el conductor y tome la medición de carga en ambos extremos del conductor por medio del electrómetro, con la ayuda de su profesor (a).



Fig 6: Conductor cónico con electrómetro

- 8.- ¿Cuáles fueron los resultados?
- 9.- Explique de que manera influye la geometría del conductor en la distribución de cargas de su superficie.
- 10.- Mencione una posible aplicación de los conductores cónicos, o “puntas”, en la ingeniería eléctrica.

4.3. PRÁCTICA 3 :” DISTRIBUCIÓN DE CARGA Y CAMPO ELÉCTRICO

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

- Comprender los conceptos de fuerza, campo y líneas de campo.
- Deducir las propiedades de las líneas de campo.
- Conocer el funcionamiento de la Jaula de Faraday
- Demostrar que el Campo Eléctrico dentro de una superficie conductora cerrada es cero.
- Conocer las aplicaciones de la jaula de Faraday

CONCEPTOS ANTESCEDENTES

- Carga eléctrica
- Procesos de carga

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Debido a que las interacciones eléctricas entre las partículas involucran el análisis de fuerzas de tipo eléctrico, es de especial interés para la materia de electricidad y magnetismo, el estudio de las fuerzas de atracción y repulsión que ocurren en los cuerpos, al ser cargados.

Cabe mencionar que de acuerdo con la convención de Benjamin Franklin, existen dos tipos de cargas: **negativa**, que adquiere una barra de ebonita al ser frotada con una piel de conejo, y **positiva**, la que adquiere una barra de vidrio al ser frotada con un paño de seda. (15, p.425)

La fuerza eléctrica entre los objetos cargados fue medida cuantitativamente por Coulomb, utilizando la balanza de torsión que inventó, con este aparato Coulomb confirmó que la fuerza eléctrica entre dos pequeñas partículas cargadas varía de manera inversamente proporcional al cuadrado de su separación:

$$F \propto 1 / r^2.$$

CAMPO ELÉCTRICO

“La fuerza eléctrica ejercida por una carga sobre la otra es un ejemplo de acción a distancia, semejante a la fuerza gravitatoria ejercida por una masa sobre la otra”. La fuerza que ejerce una carga eléctrica sobre otra se describe como “la interacción entre una carga y el campo eléctrico de la otra”.

El campo eléctrico es la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga de prueba q_0 , colocada en ese punto, dividida entre q_0 . **El vector campo eléctrico E**, en cualquier punto del espacio se define como la **fuerza eléctrica que actúa sobre una carga de prueba positiva colocada en ese punto**, dividida entre la magnitud de la carga de prueba q_0 . Se puede afirmar

entonces que **“existe un campo eléctrico en algún punto, si una carga de prueba en reposo, colocada en ese punto, experimenta una fuerza eléctrica”** ⁽¹⁵⁾. El campo eléctrico se expresa en el Sistema Internacional de Unidades como $[N / C]$.

El campo eléctrico tiene magnitud, dirección y sentido. Su magnitud (intensidad) puede medirse a partir del efecto que produce sobre las cargas que se encuentran en su dominio. Imaginando una pequeña carga de prueba positiva en un campo eléctrico, “allí donde sea mayor la fuerza que se ejerce sobre la carga de prueba, el campo eléctrico será mayor”. En los puntos en los que es débil la fuerza que se ejerce sobre la carga de prueba, el campo será débil. Por convención, la dirección del campo eléctrico en un punto cualquiera es la dirección de la fuerza eléctrica que se ejerce sobre una pequeña carga de prueba positiva en el punto considerado. Así pues: “si la carga que produce el campo es positiva, el campo apunta hacia afuera de la carga. Si la carga que produce el campo es negativa, el campo apunta hacia esa carga” .

Dado que el campo eléctrico tiene magnitud, dirección y sentido, se trata de una “cantidad vectorial” que puede representarse por medio de un vector⁽¹³⁾. Si quisiera representarse el campo eléctrico por medio de vectores, se tendría que trazar un vector en cada uno de los puntos del espacio que rodea a la carga. El campo sería completamente ilegible. Una forma más útil de representar el campo eléctrico, es usando *líneas de campo eléctrico*, también llamadas líneas de fuerza. El campo es débil en los puntos en que las líneas están más separadas. Las líneas correspondientes a una sola carga se prolongan hasta el infinito, mientras que para dos o más cargas de tipo diferente, las líneas emanan de una carga positiva y terminan en una carga negativa. (una propiedad de las líneas de fuerza).(ver fig 7)

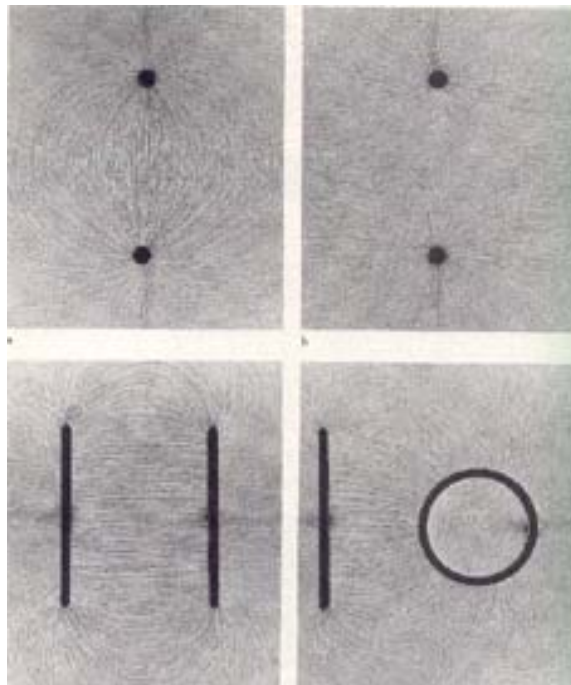


Fig 7. Se muestran en la figura, algunos patrones de campo eléctrico debidos a distintas configuraciones geométricas

Si nuestro interés por las fuerzas eléctricas se restringiese a la fuerza que produce una carga puntual aislada, el concepto de campo eléctrico sería de utilidad limitada. “La fuerza entre dos cargas puntuales está dada por la ley de Coulomb”, pero en la mayoría de los casos, las cargas se extienden sobre una gran variedad de superficies. Además las cargas se mueven. Este movimiento se transmite a las cargas vecinas por medio de cambios en el campo eléctrico. El campo eléctrico puede almacenar energía (8) p:552-555.

LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO

Resulta conveniente representar el campo eléctrico dibujando las líneas que indican la dirección del campo eléctrico en cualquier punto. El vector de campo E es tangente a la línea en cada punto e indica la dirección del Campo Eléctrico en dicho punto. Las líneas del campo eléctrico se llaman también líneas de fuerza, ya que muestran la dirección de la fuerza ejercida sobre una carga de prueba positiva. A continuación mencionamos algunas reglas para dibujar las líneas de campo eléctrico.

- 1.- Las líneas de campo eléctrico comienzan en las cargas positivas y terminan en las negativas.
- 2.- Las líneas se dibujan simétricamente saliendo o entrando a la carga.
- 3.- El número de líneas que abandonan una carga positiva o entran en una carga negativa es proporcional a la carga.
- 4.- La densidad de líneas (número de ellas por unidad de área perpendicular a las mismas) en un punto es proporcional al valor del campo en dicho punto.
- 5.- A grandes distancias de un sistema de cargas, las líneas de campo están igualmente espaciadas y son radiales como si procediesen de una sola carga puntual igual a la carga neta del sistema.
- 6.- No pueden cortarse nunca dos líneas de campo.
(no se cruzan, no se cortan)⁽¹⁸⁾.

Se concluye entonces, que la carga eléctrica tiene las propiedades importantes siguientes: ⁽¹⁸⁾

- 1) Existen dos cargas en la naturaleza, con la propiedad de que las cargas contrarias se atraen entre sí.
- 2) La fuerza entre las cargas varía en forma inversamente proporcional al cuadrado de su separación.
- 3) La carga se conserva
- 4) La carga está cuantizada.

EQUIPO Y MATERIALES:

- Cajas de acrílico con electrodos de diferentes geometrías
- Generador Van de Graaff
- 1 radio portátil.
- 1 jaula de Faraday

DESARROLLO

I.

- a) Conecte una de las terminales de las cajas de acrílico al generador, y la otra a Tierra. Siga el mismo procedimiento para cada una de las cajas.

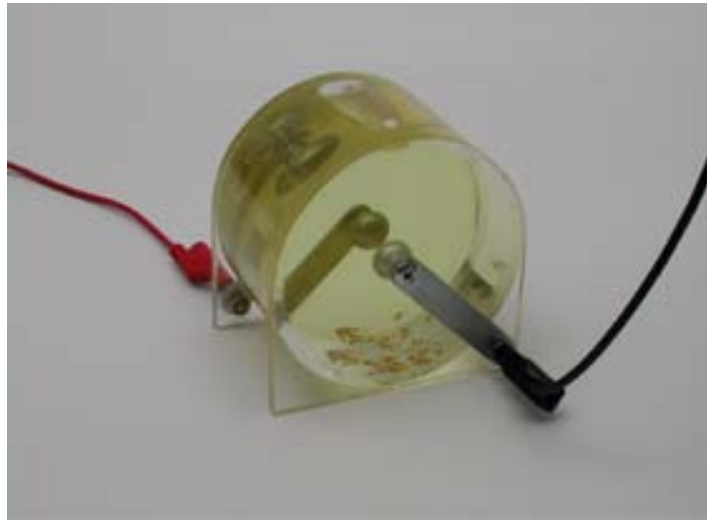


Fig 8. Caja de acrílico con electrodos esféricos

- 1.- ¿Qué sucede con las semillas de pasto al accionar el generador?
- 2.- Dibuje las configuraciones de las líneas de campo eléctrico para cada uno de los electrodos.
- 3.- Deduzca algunas de las propiedades que tienen las líneas de campo eléctrico según sus observaciones.

II.

b) Conecte el radio portátil y sintonícelo en alguna estación.

c) Coloque la jaula de Faraday de la siguiente manera:



Fig 9. Jaula de Faraday

4.- ¿Qué sucede con la señal de radio?

d) Con ayuda de la barra de acrílico observe si el electroscopio detecta la presencia de carga en la pared de la jaula.

5.- Deduzca el valor del campo eléctrico. en esa región y anótelo.

e) Lleve a cabo la misma prueba en el centro de la jaula

6.- Deduzca el valor del campo eléctrico en esa región y anótelo.

7.-Enuncie la ley física a que obedece este fenómeno.

8.- Mencione una aplicación de la jaula de Faraday.

4. 4. PRÁCTICA 4: “DIFERENCIA DE POTENCIAL”

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

- a) Definir, comprender y utilizar los conceptos de diferencia de potencial y potencial eléctrico
- b) Comprender la utilidad del voltímetro y su modo de uso.
- c) Conocer los conceptos de potencial eléctrico de referencia, de superficie, volumen y línea equipotenciales.
- d) Deducir o determinar la función matemática que pueda relacionar el vector de campo eléctrico de un punto con la superficie equipotencial correspondiente a éste.

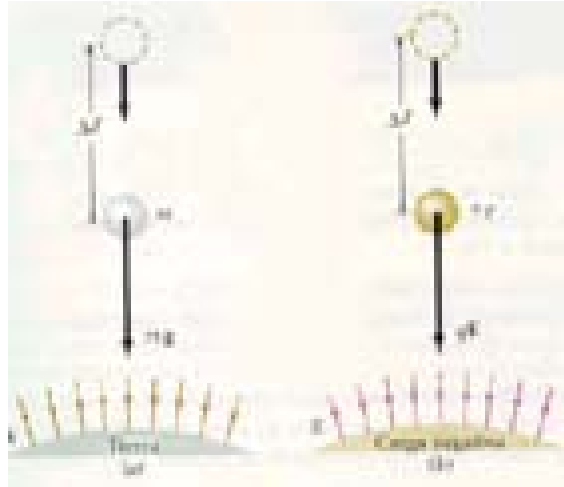
CONCEPTOS ANTESCEDENTES

- a) Lugar geométrico
- b) Gradiente de una función escalar de variable vectorial
- c) Campo eléctrico
- d) Líneas de campo
- e) Trabajo y energía potencial

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Al estudiar la mecánica destacábamos la gran utilidad del concepto de energía potencial. Si levantamos un objeto de masa “ m ” a una distancia vertical “ h ” cerca de la superficie terrestre, el trabajo realizado se convierte en energía potencial mgh del sistema Tierra - masa. Si dejamos caer el objeto, la energía potencial se convierte en energía cinética (ver fig. 10). De manera análoga, un objeto cargado puede adquirir energía potencial en virtud de su posición en un campo eléctrico. Del mismo modo en que se requiere trabajo para levantar un objeto contra el campo gravitatorio de la Tierra, se requiere trabajo para desplazar una partícula cargada contra el campo eléctrico de un cuerpo con una carga. La energía potencial eléctrica de una partícula cargada aumenta cuando se realiza

trabajo sobre ella para moverla contra el campo eléctrico de algún objeto cargado.(11,18) .



.Fig 10. En la figura se muestra la analogía entre la energía potencial gravitatoria y la energía potencial electrostática

En la siguiente figura se muestra una carga positiva pequeña, ubicada a cierta distancia de otra cargada con el mismo signo:

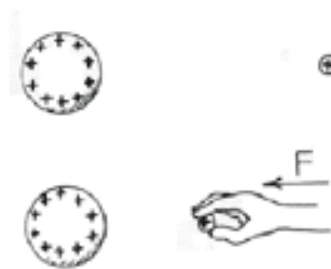


Fig 11. En la figura se muestra el trabajo que se tiene que realizar para vencer la fuerza repulsiva entre las cargas del mismo signo.

Si se aproxima la carga pequeña a la esfera, se invierte energía para vencer la repulsión eléctrica. Del mismo modo en que se hace trabajo al comprimir un resorte, se hace trabajo al empujar la carga contra el campo eléctrico de la esfera. Dicho trabajo es equivalente a la energía que adquiere la carga. La energía que posee la carga en virtud de su posición se conoce como energía potencial eléctrica. Si se suelta la carga, su energía potencial eléctrica se transformará en energía cinética. Si en el análisis anterior empujamos dos cargas en vez de una sola, realizaremos el doble de trabajo. Dos cargas en la misma posición tienen dos veces más energía potencial eléctrica que una sola; tres cargas tendrán el triple de energía potencial; un grupo de diez cargas tendrá diez veces más energía y así sucesivamente. En vez de ocuparnos de la energía potencial total de un grupo de cargas, es conveniente cuando se trabaja con electricidad, considerar la energía potencial de cada unidad de carga. La energía potencial eléctrica de cada unidad de carga se denomina **potencial eléctrico**.

La unidad del Sistema Internacional de Unidades es el volt. Se estudiará en la presente práctica, la función potencial eléctrico ⁽¹⁶⁾

$$E = -\nabla V = -\left[\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)\mathbf{i} + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)\mathbf{j} + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)\mathbf{k}\right]$$

El modelo de cerámica que vamos a analizar, representa el campo y el potencial eléctrico absoluto a una distancia r de una carga puntual positiva. El modelo permite observar que el potencial diverge, es decir, tiende a infinito cuando r se acerca a cero ^(2,p465).

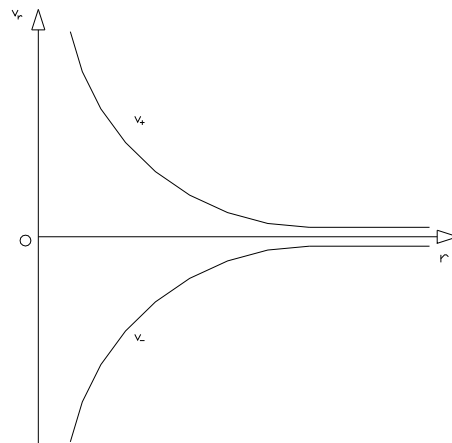


Fig 12. Campo y potencial eléctrico de una carga positiva.

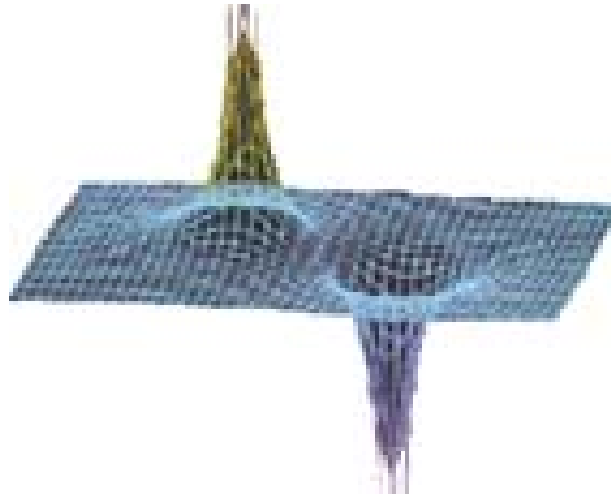


Fig.13. Se muestra en la figura una reconstrucción tridimensional del caso mostrado líneas arriba., para una carga positiva y otra negativa.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Generador van de Graaff
- 1 Electrómetro
- 1 Soporte ajustable para punta sensora
- 1 Modelo de superficies equipotenciales cerámico
- 1 Modelo de superficies equipotenciales en acrílico

DESARROLLO

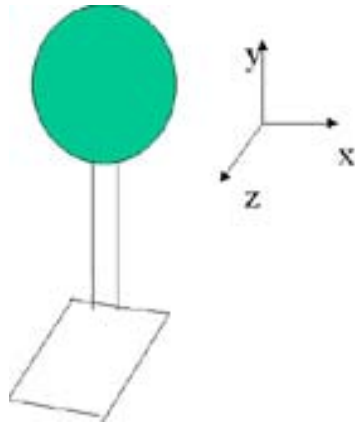
I.

a) Coloque el soporte para la punta sensora del electrómetro al generador van de Graaff.

b) Seleccione el modo de medición de voltaje del electrómetro y calíbrelo en la escala más grande, siguiendo las instrucciones de su profesor(a).

c) Tomando como nivel de referencia cero la base del conductor, localice líneas equipotenciales. Realice mediciones de longitud y de diferencia de Potencial.

Tome la siguiente referencia de ejes coordenados:



Consigne sus datos en las siguientes tablas:

Distancia (eje x) [m]	Potencial[volts]
0.00	
0.05	
0.10	
0.15	

Distancia (eje y) [m]	Potencial[volts]
0.00	
0.05	
0.10	
0.15	

Distancia (eje z) [m]	Potencial[volts]
0.00	
0.05	
0.10	
0.15	

- 1.- ¿Qué sucedía con el valor de diferencia de potencial a medida que se incrementaba la distancia, respecto del nivel de referencia?
- 2.- ¿A qué distancia se obtuvieron los valores máximos de diferencia de potencial?
- 3.- ¿A qué distancia se obtuvieron los valores mínimos de diferencia de potencial?

La función que determina la variación de potencial con respecto a la longitud se denomina gradiente de potencial eléctrico :

$$E = -\nabla V = - \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) i + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right) j + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right) k \right]$$

d) Localice una sola línea equipotencial sobre el generador y conteste:

- 4.- ¿Qué valor tiene el gradiente alrededor del generador?
- 5.- ¿ En qué direcciones el gradiente de potencial se mantuvo constante?

II.

e) Observe los modelos de acrílico y cerámica que se le proporcionaron y dibuje claramente los sitios en donde existiría gradiente de potencial, y aquellos en donde su valor sería cero, en el hipotético caso de que dichos modelos fueran metálicos y susceptibles de ser cargados por algún medio.



Fig 14. Modelo cerámico del campo y el potencial eléctrico de una carga positiva.

4.5. PRACTICA 5: “CONSTANTES DIELECTRICAS Y CAPACITANCIA”

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

- Comprender el concepto de Capacitancia.
- Conocer los elementos de un capacitor, la función y su clasificación.
- Conocer las relaciones de proporcionalidad existentes entre las distintas variables involucradas en la definición de capacitancia..

CONCEPTOS ANTESCEDENTES

- Modelo atómico de Bohr
- Dipolo eléctrico
- Polarización de la materia
- Proceso de carga por inducción
- Principio de conservación de la carga
- Diferencia de potencial
- Campo eléctrico

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

La energía eléctrica se puede almacenar por medio de un dispositivo común llamado *capacitor*. El capacitor más sencillo consiste simplemente en un par de placas planas conductoras separadas por una pequeña distancia que contiene un dieléctrico⁽¹¹⁾ La propiedad que tiene un conductor para almacenar carga se mide por una cantidad llamada *capacitancia*⁽¹⁶⁾. La capacitancia de un dispositivo dado depende de su geometría y del material que separe los conductores cargados, conocido como dieléctrico ⁽¹⁵⁾. Cuando se conectan las placas a un dispositivo de carga como una batería, se transfiere carga de una a otra placa. Esto sucede cuando la terminal positiva de la batería tira de los electrones que se encuentran en la placa a la que está conectada como se muestra:

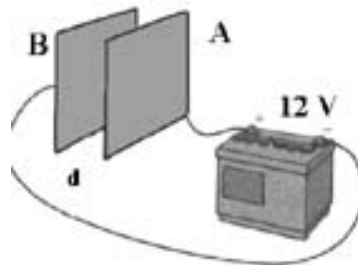


Fig. 15. Se muestra un capacitor de placas planas, polarizado con una fuente de 12 Volts

El efecto es que esos electrones son impulsados como por una bomba a través de la batería y de la terminal negativa hacia la placa contraria. Las placas del capacitor tienen entonces cargas iguales y opuestas: la placa positiva está conectada a la terminal positiva de la batería y la placa negativa a la terminal negativa. El proceso de carga se detiene cuando la diferencia de potencial entre las placas es igual a la diferencia de potencial entre las terminales de la batería; es decir, al voltaje de la batería. Cuanto mayor sea el voltaje de la batería y cuanto más grandes sean las placas y más próximas estén, mayor será la cantidad de carga que almacenen. Un capacitor cargado se descarga cuando aparece un camino conductor entre las placas. La capacitancia se define como $C = Q / V$ (15), es una medida de su capacidad para almacenar carga y energía potencial eléctrica. La unidad de capacitancia en el Sistema Internacional de Unidades es el farad :

$$(\text{Capacitancia}) = 1 \text{ F} = 1 \text{ C} / \text{V}$$

Un dieléctrico es un material no conductor como el caucho, el vidrio o el papel. Si se introduce un material dieléctrico entre las placas de un capacitor, la capacitancia generalmente aumenta. Si el dieléctrico llena por completo el espacio entre las placas, la capacitancia aumenta en un factor adimensional κ , conocido como constante dieléctrica. Se define la capacitancia como: $C = \kappa C_0$, en donde C_0 es la capacitancia cuando no existe dieléctrico; puede verse que la capacitancia de un capacitor de placas planas paralelas es proporcional al área de sus placas e inversamente proporcional a la separación de éstas (14, P:745) esto es : la capacitancia aumenta en un factor κ cuando el dieléctrico llena por completo la región entre las placas. Para un conductor de placas planas paralelas, en el que $C_0 = \epsilon_0 A / d \dots$ (2), cuando el capacitor está lleno con un dieléctrico, la capacitancia se puede expresar como :

$$C = \kappa \epsilon_0 A / d \dots \dots (3)$$

Con base en las ecs. (2) y (3), parecería que la capacitancia podría hacerse muy grande si disminuye d , la distancia entre las placas. En la práctica, el valor más bajo de d queda limitado por la descarga eléctrica que podría ocurrir a través del medio dieléctrico que separa las placas. Para cualquier separación dada, la tensión máxima que puede aplicarse a un capacitor sin provocarle una descarga , depende de la resistencia dieléctrica (intensidad máxima del campo eléctrico) del dieléctrico. Si la intensidad del campo en el medio es mayor que la resistencia dieléctrica, se destruyen las propiedades aislantes y el medio empezará a conducir

Nota Importante: La energía que almacena un capacitor proviene del trabajo necesario para cargarlo(11,p:561-562). La energía está en forma de campo eléctrico entre las placas. El campo eléctrico entre dos placas

paralelas es uniforme, como indican las figuras de los distintos patrones de campo de la práctica campo eléctrico. Así pues, la energía que almacena un capacitor es la energía almacenada en el campo eléctrico.⁽⁹⁾

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 capacitor variable
- Muestras circulares de vidrio, acrílico, cartón y neopreno, de diferentes espesores.
- Calibrador o vernier
- Regla de 30 cm.
- Puente de impedancias

DESARROLLO

- I.
 - a) Identifique los elementos que forman el capacitor variable que se le proporcionó.



Fig 16. Capacitor variable con movimiento que permite variar el área entre las placas

1.- Dibuje en un diagrama dichos elementos, así como sus características geométricas : d (distancia entre las placas; espesor del dieléctrico) y A (área del capacitor).

2.- Coloque cada uno de los dieléctricos delgados y tome la medición de capacitancia por medio del puente de impedancias (realice las mediciones siguiendo cuidadosamente la instrucciones de su profesor(a)), con cada una de las muestras.



Fig 17. Capacitor variable con neopreno.

3.-Registre sus datos en la siguiente tabla:

Dieléctrico	Espesor (mm)	Capacitancia (F)
Acrílico		
Vidrio		
Cartón		
Neopreno		

b) Quite los dieléctricos del capacitor y sustitúyalos por los más gruesos

4.- Registre sus datos en la siguiente tabla:

Dieléctrico	Espesor (mm)	Capacitancia (F)
Acrílico		
Vidrio		
Cartón		
Neopreno		

d).-Escoja las muestras delgadas y varíe el área del capacitor, moviendo una de sus placas.

5.- Consigne sus datos en la tabla:

Dieléctrico	Área[m ²]	Capacitancia[F]

6.-Compare las mediciones que obtuvo con las correspondientes al mismo espesor obtenidas en el inciso anterior.

7- ¿En qué casos se obtuvo una medición mayor de capacitancia?

8.- ¿Qué dieléctrico arrojó un mayor valor de capacitancia?

9.- ¿Qué relaciones de proporcionalidad encuentra entre las variables estudiadas para la obtención del valor de la capacitancia?

(C y d, C y A , C y $\kappa \epsilon_0$)

4.6. PRÁCTICA 6: FUERZA ELÉCTRICA

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- a) Observar el establecimiento de la fuerza eléctrica entre dos platos capacitivos
- b) Determinar cuantitativamente la fuerza eléctrica, el campo eléctrico, y el momento dipolar del sistema.

CONCEPTOS ANTESCEDENTES

- a) Carga eléctrica
- b) Fuerza eléctrica
- c) Campo eléctrico
- d) Dipolo eléctrico
- e) Momento dipolar eléctrico

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

La fuerza eléctrica debida a dos cargas, se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{FUERZA ELÉCTRICA : } F = K \frac{Q}{L^2} \quad \text{donde :}$$

F; fuerza eléctrica
 K; constante de Coulomb
 $K = 8.99 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$]
 Q; carga de los platos [C]
 L, separación entre los platos capacitivos [m]

El Campo eléctrico es la región del espacio en donde se manifiesta la presencia de fuerzas de tipo eléctrico.

Un dipolo eléctrico es un sistema de dos cargas iguales y opuestas q, separadas por una pequeña distancia L. Su característica fundamental es el momento dipolar eléctrico p, o vector que apunta de la carga negativa a la positiva y cuya magnitud es el producto de la carga q por la separación L⁽¹⁵⁾.

EQUIPO Y MATERIALES

- Soporte universal
- Dinamómetro Ohaus de 0 a 100 g.
- Platos capacitivos
- Generador van de Graaff
- Variac
- Cables de conexión
- Calibrador o Vernier
- Regla de 30 cm
- Electrómetro

DESARROLLO

a) Realice las conexiones siguientes:



Fig 17. La figura muestra dos platos capacitivos, separados entre sí, uno de ellos se encuentra conectado al generador y está sujeto de un dinamómetro, y el otro, está conectado a Tierra

4.7. PRÁCTICA 7: “FUERZA MAGNÉTICA”

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

- a) Conocer las componentes vectoriales de la Fuerza Magnética.
- b) Observar la Fuerza magnética ejercida sobre la barra conductora de un motor Lineal.

CONCEPTOS ANTESCEDENTES

- a) Corriente eléctrica
- b) Polo magnético
- c) Uso de la brújula
- d) Línea de inducción
- e) Producto vectorial
- f) Regla de la mano derecha

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Es conveniente describir la interacción entre objetos cargados en términos de campos eléctricos. Recuerde que un campo eléctrico rodea a toda carga eléctrica. La región del espacio que rodea a una carga móvil incluye un campo magnético además de un campo eléctrico. Un campo magnético también rodea a cualquier sustancia magnética.

FUERZA EJERCIDA POR UN CAMPO MAGNÉTICO⁽¹⁶⁾

La existencia de un campo magnético B en un punto del espacio puede demostrarse de un modo directo. Basta colocar una brújula en dicho punto y comprobar si tiende a alinearse en una dirección particular. Si no existen imanes o corrientes eléctricas en las proximidades, la aguja apuntará en la dirección del campo magnético terrestre. Experimentalmente se demuestra que cuando una carga q posee la velocidad v dentro de un campo magnético, aparece una fuerza que depende de q y de la magnitud y dirección de la velocidad. Supongamos que conocemos la dirección del campo magnético B en un punto del espacio mediante la observación realizada con una brújula. Realizando experimentos con distintas velocidades en tal punto, se obtienen los siguientes resultados para la fuerza magnética:

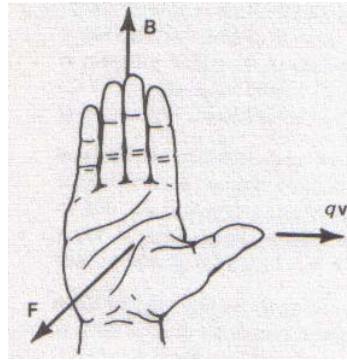


Fig 18. Se muestra la regla de la mano derecha, que indica la dirección del vector de fuerza magnética, en función de los vectores B y qv .

- La magnitud de la fuerza magnética es proporcional a la carga q y a la velocidad v de la partícula.
- La magnitud y dirección de la fuerza magnética depende de la velocidad de la partícula y de la magnitud y dirección del campo magnético.
- Cuando la partícula cargada se mueve paralela al vector de campo magnético, la fuerza magnética sobre la carga es cero.
- Cuando el vector velocidad forma un ángulo θ con el campo magnético, la fuerza magnética actúa en una dirección perpendicular tanto a v como a B ; es decir, F es perpendicular al plano formado por v y B .
- La fuerza magnética sobre una carga positiva está en la dirección opuesta a la dirección de la fuerza sobre una carga negativa que se mueve en la misma dirección.
- Si el vector velocidad forma un ángulo θ con el campo magnético, la magnitud de la fuerza magnética es proporcional a $\sin \theta$. Estas observaciones pueden resumirse escribiendo la fuerza magnética en la forma:

$F = q v \times B$ (Fuerza magnética sobre una carga móvil); cuando la partícula se mueve en una región en la que hay tanto un campo eléctrico como uno magnético, la fuerza total es la suma vectorial de la fuerza eléctrica qE , y la fuerza magnética $qv \times B$. Esto es

$$F = q(E + v \times B)$$

Esta expresión se conoce como fuerza de Lorentz porque fue identificada por primera vez en esta forma por Hendrik Lorentz. (1, p:480-481)

Donde la dirección de la fuerza magnética es en la dirección $v \times B$ si Q es positiva, la cual por definición del producto cruz, es perpendicular tanto a v como a B . Podemos considerar esta ecuación como una definición operacional del campo magnético en algún punto del espacio. Esto significa que, el campo magnético se

definen en términos de una fuerza lateral que actúa sobre una partícula cargada móvil. La magnitud de la fuerza magnética tiene el valor:

$$F = qv.B. \text{sen } \theta \quad ; \text{ donde :}$$

θ es el ángulo más pequeño entre v y B .

A partir de esta expresión , vemos que la fuerza F es cero cuando v es paralela a B ($\theta = 0$ ó 180°) y máxima ($F_{\text{máx}} = qvB$) cuando v es perpendicular a B ($\theta = 90^\circ$).

Hay varias diferencias importantes entre las fuerzas eléctrica y magnética :

- La fuerza eléctrica siempre está en la dirección del campo eléctrico, en tanto que la fuerza magnética es perpendicular al campo magnético.
- La fuerza eléctrica actúa sobre una partícula cargada independientemente de la velocidad de la partícula mientras que la fuerza magnética actúa sobre la partícula cargada solo, cuando ésta está en movimiento.
- La fuerza eléctrica efectúa trabajo al desplazar una partícula cargada, en tanto que la fuerza magnética asociada a un campo magnético estable no trabaja cuando se desplaza una partícula.⁽¹⁶⁾

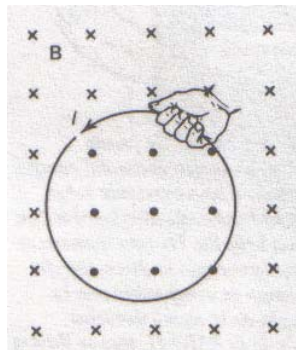


Fig.19. Regla de la mano derecha para conductores de corriente

EQUIPO Y MATERIALES

- Modelo vectorial de la fuerza magnética.
- Motor elemental
- Fuente de C.D.
- Interruptor de timbre

DESARROLLO

I.

a) Observe el modelo en acrílico

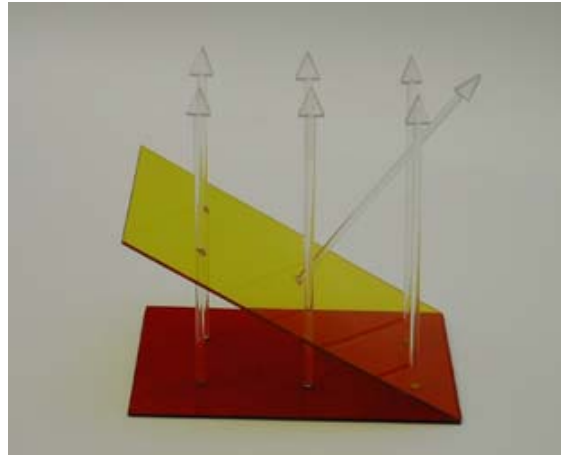


Fig 20. Modelo en acrílico de los vectores; F , B e i

1.-Represente en un dibujo, los vectores involucrados en la obtención de la Fuerza Magnética.

Sustituya ahora el valor del ángulo $\Theta = 0^\circ$ en la Ecuación $F = il \cdot B \cdot \text{sen } \theta$

2.- ¿Cuál fue el valor de la fuerza, para $\Theta = 0^\circ$?.

3.- Observe el modelo y dé una explicación física de dicho resultado

4.- ¿Qué repercusión tiene en la magnitud de la fuerza, el hecho de que el ángulo sea igual a 90° ?

5.- Observe el modelo y dé una explicación física de dicho resultado

c) Realice las conexiones siguientes :

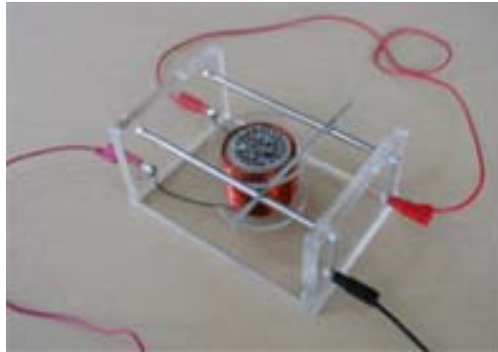


Fig. 21. Motor lineal

Coloque la barra conductora móvil encima del motor lineal. Conecte la fuente de alimentación de 127 (volts) de Corriente Alterna y observe lo que sucede.

5.- Verifique la validez de la regla de la mano derecha, para lo cual necesita dibujar un diagrama en donde se observen claramente: el sentido de la corriente eléctrica, el campo magnético producido, y la dirección de la fuerza magnética que hizo que la barra se desplazara.

d) Invierta ahora el sentido de la polaridad de la corriente a la barra, ya sea invirtiendo los cables de la fuente, o las terminales que van hacia la barra.

6.- ¿Qué observa ahora? ¿Por qué?

7.-¿ Se sigue cumpliendo la regla mencionada?

El motor lineal es el más elemental de los motores, y con base en su funcionamiento operan todos los demás motores. (Un vector de campo eléctrico variable produce un campo magnético, y en conjunto generan una fuerza de origen magnético).

4.8. PRÁCTICA 8: “PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA”

OBJETIVO DE APRENDIZAJE.

a) Conocer las propiedades magnéticas de algunos materiales

CONCEPTOS ANTESCEDENTES

- a) Dipolos magnéticos
- b) Diamagnetismo
- c) Ferromagnetismo
- d) Paramagnetismo
- e) Dominios magnéticos
- f) Fenómeno de Barkhausen.

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

NATURALEZA DE UN CAMPO MAGNÉTICO

El magnetismo está muy relacionado con la electricidad. Una carga eléctrica está rodeada de un campo eléctrico, y si se está moviendo también se encuentra dentro de un campo magnético. Las cargas en movimiento tienen asociados tanto un campo eléctrico como un campo magnético. El movimiento de la carga eléctrica produce un campo magnético. Surge entonces la siguiente pregunta: ¿Dónde está el movimiento de cargas eléctricas en un imán de barra común? Si bien el imán en conjunto puede estar inmóvil, está compuesto de átomos cuyos electrones están en movimiento constante. Los electrones se comportan como si se moviesen en órbitas alrededor de los núcleos atómicos. Esta carga en movimiento constituye una minúscula corriente que produce un campo magnético. Y lo que es más importante, los electrones giran en torno a su propio eje como trompos. Un electrón en rotación alrededor de su eje constituye una carga en movimiento, y por tanto, genera otro campo magnético. En la mayoría de los materiales, el campo producido por la rotación de los electrones alrededor de sus ejes predomina sobre el campo debido al movimiento orbital.

Todos los electrones en rotación son imanes diminutos. Dos electrones que giran en el mismo sentido constituyen un imán más intenso. Pero si giran en sentidos opuestos se produce el efecto contrario: sus campos magnéticos se anulan el uno al otro. A ello se debe que la mayoría de las sustancias no sean imanes. En casi todos los átomos, los diversos campos se anulan mutuamente debido a que los electrones giran en sentidos opuestos. Pero en materiales como el hierro, el níquel

y el cobalto, estos campos no se anulan totalmente. Cada átomo de hierro posee cuatro electrones cuyo campo magnético debido a la rotación no se anula. Así pues, cada átomo de hierro es un imán diminuto. Lo mismo ocurre, aunque en menor grado, con los átomos de níquel y de cobalto.

DOMINIOS MAGNÉTICOS

El campo magnético individual de los átomos de hierro es tan intenso que las interacciones entre átomos vecinos hacen que se alineen unos con otros en numerosos cúmulos. Dichos cúmulos de átomos alineados se llaman **dominios magnéticos**. Cada dominio está totalmente magnetizado y está compuesto de miles de millones de átomos alineados. Los dominios tienen dimensiones microscópicas y hay un gran número de ellos en cada cristal de hierro.

La diferencia entre una pieza de hierro ordinario y una de hierro magnetizado reside en la alineación de sus dominios. Los dominios de un clavo de hierro común y corriente están orientados al azar. Cuando se le aproxima un imán intenso se producen dos efectos: por un lado, aumenta el tamaño de los dominios orientados en la dirección del campo magnético. Este aumento de tamaño va en detrimento de los dominios que no están alineados. Por otro lado, el campo magnético induce a los dominios no alineados a girar para orientarse en la misma dirección. Los dominios se alinean en forma similar a las cargas eléctricas de un trozo de papel que se alinean en presencia de una barra cargada. Al retirarse el clavo del imán, la mayoría de los dominios, o todos, vuelven a orientarse al azar debido al movimiento térmico.^(11,p:602-604)



Fig 22. La primera figura muestra la orientación aleatoria de los dominios, en ausencia de magnetización, la segunda muestra la alineación de los dominios ante la magnetización.

PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA.

El campo producido por una corriente en una bobina nos brinda un indicio de lo que podría provocar que ciertos materiales muestren fuertes propiedades magnéticas. Una bobina por la que se hace circular una corriente, tiene un polo norte y un polo sur. En general, cualquier espira de corriente tiene un campo magnético y un momento magnético correspondiente. De manera similar, los momentos magnéticos en una sustancia magnetizada pueden describirse como si surgieran de corrientes internas a nivel atómico. Para los electrones que se mueven en torno al núcleo, lo anterior es consistente con el modelo de Bohr (después de modificar los números cuánticos). También hay un momento magnético intrínseco para electrones, protones, neutrones y otras partículas que solo puede modelarse aproximadamente como si surgieran de cargas en rotación.

Una de sus aplicaciones son las cintas magnéticas^(18, p.887), (ver fig 23)



Fig 23: Se muestran los dominios magnéticos de un cassette.

Empezaremos con un breve análisis de los momentos magnéticos debidos a electrones. Las fuerzas mutuas entre estos momentos de dipolo magnético y su interacción con un campo magnético externo son de importancia fundamental para entender el comportamiento de materiales magnéticos. Describiremos tres categorías de materiales: paramagnéticos, ferromagnéticos y diamagnéticos. Los paramagnéticos y ferromagnéticos son aquellos que tienen átomos con momento de dipolo magnético permanente. Los materiales diamagnéticos son aquellos cuyos átomos no tienen momentos de dipolo magnético permanentes.^(16,p:882)

DIAMAGNETISMO.

Si se aplica un campo magnético a una sustancia, los electrones que se mueven en los átomos o moléculas están sujetos a una fuerza adicional debida al campo magnético externo. Esto provoca una perturbación del movimiento electrónico. El efecto del campo magnético sobre el movimiento electrónico de un átomo es equivalente a una corriente adicional inducida en el átomo que produce un momento dipolar magnético orientado en dirección opuesta a la del campo magnético. Este momento polar inducido es bastante pequeño 10^{-28} [JT⁻¹] Como este efecto es independiente de la orientación del átomo, llegamos a la conclusión de que la sustancia adquiere una magnetización opuesta al campo magnético.

PARAMAGNETISMO

Consideremos una sustancia cuyos átomos o moléculas tienen un momento dipolar permanente que está asociado con el momento angular de sus electrones y que es del orden del magnetrón de Bohr $10^{-23} [JT^{-1}]$. En este caso la presencia de un campo magnético externo produce un torque que tiende a alinear los dipolos magnéticos a lo largo del campo, teniendo como resultado una magnetización conocida como paramagnetismo. En los metales, el paramagnetismo se debe también a una alineación de los momentos de spin de los electrones de la conducción.

El efecto de orientación producido por el campo magnético aplicado se opone al desorden debido al movimiento térmico. (1,pag570)

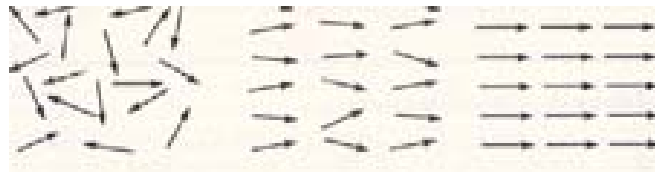


Fig. 24. Se muestra el efecto de la orientación producida por diferentes intensidades de campo magnético aplicado (1,p570).

FERROMAGNETISMO

Una tercera clase de sustancias son las ferromagnéticas, su principal característica es que muestran una magnetización permanente, lo cual sugiere una tendencia natural de los momentos atómicos o moleculares a alinearse por la acción de sus interacciones mutuas. Las sustancias ferromagnéticas normalmente son sólidos y buenos conductores. Así, el ferromagnetismo es semejante a la ferroelectricidad en su comportamiento general, aunque en sus orígenes es distinto. Está asociado con una interacción magnética entre spins de parejas de electrones. El resultado es una orientación paralela de los spins electrónicos en regiones muy pequeñas conocidas como dominios. La dirección de la magnetización de un dominio depende de la estructura cristalina de la sustancia. Por ejemplo para el hierro, que se cristaliza con una estructura cúbica, las direcciones de fácil magnetización son a lo largo de los tres ejes del cubo.

En una sustancia ferromagnética, los dominios pueden estar orientados en diferentes direcciones, lo que produce un efecto magnético macroscópico neto que puede ser cero o despreciable. En presencia de un campo magnético externo los dominios experimentan dos efectos: los que están orientados favorablemente con respecto al campo magnético crecen a expensas de los que están orientados menos favorablemente, debido a un efecto de reorientación por parte del campo magnético; conforme aumenta la intensidad del campo magnético, la

magnetización de los dominios tiende a alinearse en la dirección del campo. (1)Pag 590

EFECTO BARKHAUSSEN

Es una serie de cambios repentinos en el tamaño y orientación de dominios ferromagnéticos, o de cúmulos microscópicos de imanes magnéticos alineados, que ocurre durante un proceso continuo de magnetización o desmagnetización. El efecto Barkhausen ofreció la evidencia directa para la existencia de los dominios ferromagnéticos, que había sido postulada teóricamente de manera previa(1).

HENRICH BARKHAUSSEN

Este físico alemán descubrió en 1919 que un incremento lento y suave de un campo magnético aplicado a una pieza de material ferromagnético, tal como el hierro, ocasiona que se magnetice no de manera continua sino en escalones. Los saltos repentinos en la magnetización pueden ser detectados por una bobina de alambre rodeando al material ferromagnético; las transiciones repentinas en el campo magnético del material producen pulsos de corriente en la bobina que, cuando se amplifican, producen una serie de clicks en el altoparlante. Estos saltos son interpretados como cambios discretos en el tamaño o la rotación de los dominios ferromagnéticos. Algunos cúmulos microscópicos de átomos magnéticos orientados similarmente, que se alinean con el campo magnetizante externo se incrementan en tamaño por una suma repentina de imanes atómicos vecinos y especialmente, al tiempo que los campos magnetizantes se hacen más fuertes, otros dominios completos se alinean en la dirección del campo externo. (Enciclopedia Britannica)

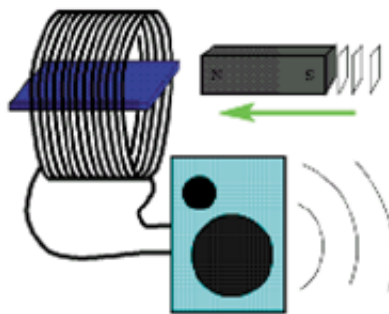


Fig. 25 El esquema muestra los elementos que componen el experimento de Barkhausen (1).

EQUIPO Y MATERIALES

- Placa de acrílico con tornillos de giro libre.
- Imán
- Bobinas de Helmholtz
- Probador de muestras diamagnéticas
- Muestras de hierro, vidrio, acrílico y gis
- Bocina
- Amplificador de audio
- Bobina

I.

- a) Realice cuidadosamente las conexiones pertinentes para energizar las bobinas de Helmholtz (fig), siguiendo las indicaciones de su profesor. Coloque la placa de acrílico entre las dos bobinas y observe lo que sucede con los tornillos dentro de la placa.

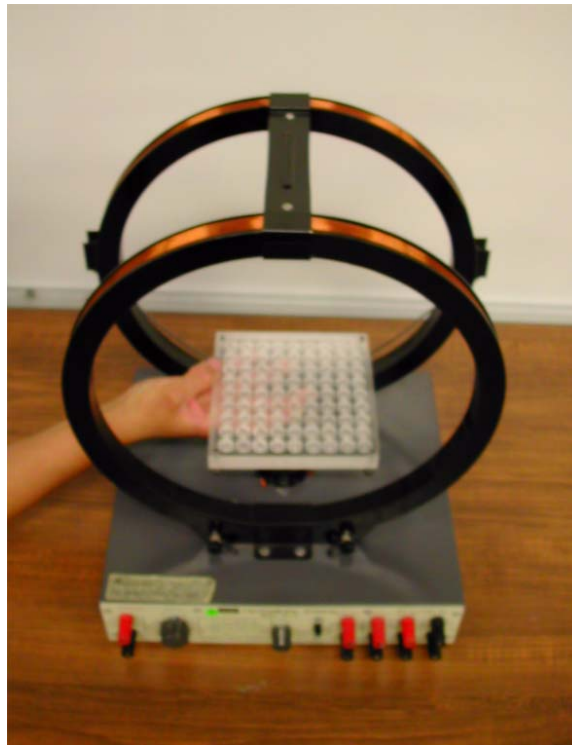


Fig.26. Bobinas de Helmholtz con placa de acrílico con tornillos ferromagnéticos.

1.-A qué atribuye el fenómeno observado?

2.- ¿De qué tipo de material están fabricados los tornillos, de acuerdo con sus propiedades magnéticas?

II.

b) Coloque una por una, las diferentes muestras proporcionadas en el probador y observe que pasa con cada una de ellas.

3.- ¿Qué sucedió con la muestra de gis?

4.- ¿Las muestras de acrílico y vidrio se alinearon con el campo producido por los imanes?

5.- Dibuje como se llevó a cabo internamente la alineación de dominios al colocar la muestra ferromagnética en el probador.

III.

a) Realice las siguientes conexiones:



Fig.27. Experimento de Barkhausen

Acerque el imán a la bobina rápidamente.

6.- ¿Qué sucedió?

7.- ¿Cómo puede interpretarse dicho fenómeno?. Escriba alguna posible contribución de dicho fenómeno a la teoría de los dominios.

La teoría de los dominios es el fundamento de la Resonancia Magnética nuclear.

1.- Napier Tom

BARKHAUSEN EFFECT

www.csonline.net/bdpaddock/scalar/bark.html

4.9. PRÁCTICA 9 “LEY DE FARADAY Y LEY DE LENZ”

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

- a) Conocer el principio de operación del sistema de encendido de los automóviles
- b) Observar los efectos de la fuerza contraelectromotriz
- c) Medir la fuerza contra-electromotriz
- d) Observar el efecto de las corrientes torbellino.

CONCEPTOS ANTESCEDENTES:

- a) Fuerza magnética
- b) Regla de la mano derecha

INTRODUCCION TEÓRICA

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA ⁽¹¹⁾

Faraday y Henry descubrieron que se podía generar corriente eléctrica en un alambre con el simple movimiento de meter y sacar un imán de una bobina. No se requería batería ni fuente de voltaje alguna : bastaba el movimiento del imán en la bobina o en una sola espira de alambre. Descubrieron que el movimiento relativo de un alambre y un campo magnético inducían un voltaje.

La producción de voltaje solo depende del movimiento relativo del conductor y el campo magnético. El voltaje se induce ya sea que el campo magnético o imán se mueva respecto a un conductor en reposo o que el conductor se mueva respecto a un campo magnético en reposo. El resultado es el mismo ya sea que se mueva el imán, el conductor o ambos. El fenómeno que consiste en inducir voltaje alterando el campo magnético que rodea a un conductor se conoce como **inducción electromagnética**.

La magnitud del voltaje inducido depende del ritmo al que el alambre corte las líneas de campo magnético. Si el movimiento es muy lento apenas se produce voltaje. Si el movimiento es rápido el voltaje inducido es mayor.

Cuanto mayor sea el número de espiras que se desplazan en un campo magnético, mayores serán el voltaje inducido y la corriente que fluye por el alambre. Si se duplica el número de espiras de la bobina en la que introducimos el imán, también se duplica el voltaje inducido; si el número de espiras se multiplica por diez, el voltaje inducido es diez veces mayor; y así sucesivamente

El fenómeno de la inducción electromagnética se puede resumir en un enunciado conocido como **Ley de Faraday** :

“El voltaje inducido en una bobina es proporcional al producto del número de espiras y la razón de cambio del campo magnético dentro de dichas espiras”.

La magnitud de la corriente que se genera por inducción electromagnética no depende solamente del voltaje inducido, sino también de la resistencia de la bobina y la resistencia del circuito al que está conectada. Por ejemplo, podemos meter y sacar un imán de una espira cerrada de caucho y de una espira cerrada de cobre. El voltaje inducido es el mismo en ambos casos, siempre y cuando ambas espiras corten el mismo número de líneas de campo magnético. Pero las corrientes de estas espiras son muy distintas: en el cobre es muy intensa y en el caucho es casi nula. Los electrones del caucho experimentan el mismo voltaje que los del cobre, pero el estar ligados a átomos fijos les impide moverse con la libertad con la que se desplazan los electrones en el cobre. (11,p:616-618)

En otras discusiones previas, la fem en un circuito se localizó en una región específica del mismo, por ejemplo, entre las terminales de la batería . Sin embargo, la fem inducida por un flujo magnético variable puede considerarse distribuida a través del circuito.

LEY DE LENZ (18)

El signo negativo de la ley de Faraday está relacionado con la dirección de la fem inducida. La dirección y sentido de la fem y la corriente inducidas pueden determinarse mediante un principio físico llamado Ley de Lenz.

La fem y la corriente inducidas poseen una dirección y un sentido tal que tienden a oponerse a la variación que las produce. Este enunciado de la ley de Lenz no especifica el tipo de variación que causa la fem y la corriente inducidas.

La siguiente figura:

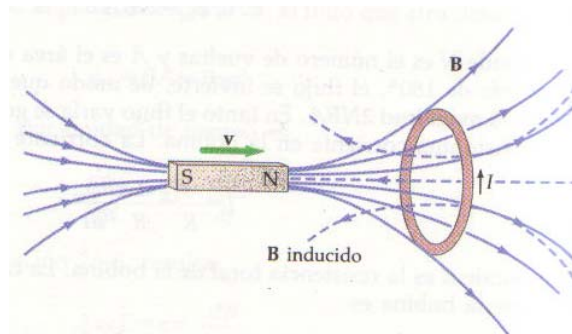


Fig.27. Imán de barra acercándose a un conductor

muestra una barra magnética que se mueve acercándose a una espira de resistencia R . Como el campo magnético correspondiente a la barra está dirigido hacia la derecha emergiendo de su polo norte, el movimiento del imán hacia la espira tiende a incrementar el flujo a través de la espira. (El campo magnético en la

espira es más intenso cuando el imán está más próximo). El campo magnético produce a su vez un campo magnético propio. Esta corriente inducida posee el sentido que se muestra en la figura, de tal modo que el flujo magnético producido se opone al del imán. El campo magnético inducido tiende a disminuir el flujo que atraviesa la espira. Si el imán se desplazara alejándose de la espira, el flujo producido por el imán que atraviesa la espira disminuiría y la corriente inducida en ésta tendría un sentido opuesto al de la figura.

En este caso, la corriente produciría un campo magnético hacia la derecha, el cual tendería a incrementar el flujo a través de la espira. Como es lógico, el desplazamiento de la espira acercándose o alejándose del imán produce el mismo efecto que el movimiento del imán. Solo importa el movimiento relativo.

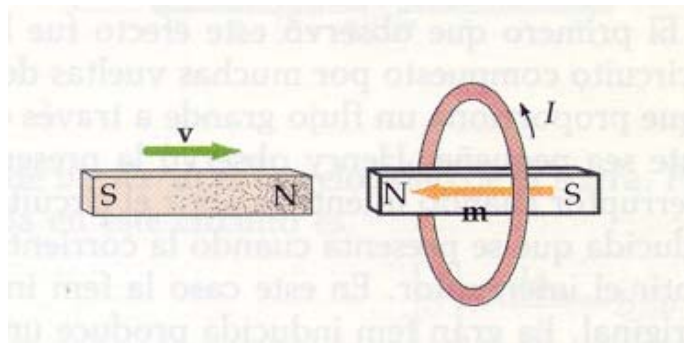


Fig 28. Se muestra la fuerza magnética que aparece en la espira, de tipo repulsiva, debido a la dirección de la corriente que circula a través de ella, y que se puede comprobar con la regla de la mano derecha.

La figura 28. muestra el momento magnético inducido en la espira de corriente cuando el imán se aproxima, del mismo modo que en la figura 27. La espira actúa como un pequeño imán con su polo norte a la izquierda y su polo sur a la derecha. Como los polos opuestos se atraen y los polos iguales se repelen, el momento magnético inducido de la espira ejerce una fuerza sobre la barra magnética hacia la izquierda que se opone a su movimiento hacia la espira. Así puede expresarse la ley de Lenz en función de las fuerzas en lugar de los flujos. Si la barra magnética se mueve hacia la espira, la corriente inducida debe producir un campo magnético que se oponga a ese cambio.

Es muy importante tener muy en cuenta que existe una fem inducida solo mientras el flujo está variando. La fem no depende de la magnitud del flujo, sino solamente de la rapidez con que se verifica el cambio.

Una aplicación general de la Ley de Lenz, es el funcionamiento de los transformadores, y de manera más particular, el sistema de encendido de los autos (ver figura 29)

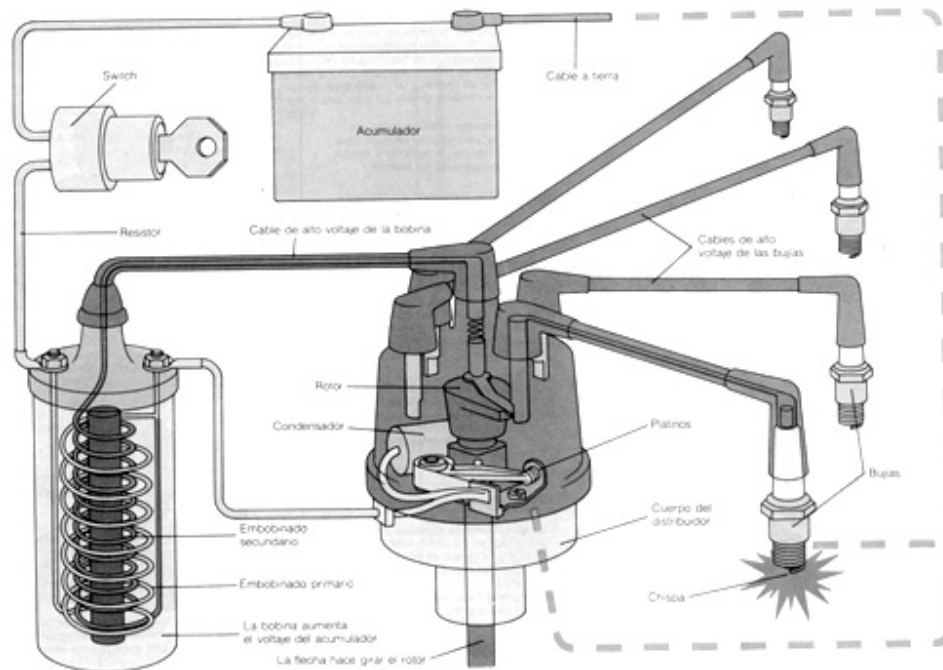


Fig 29. Esquema general del sistema de encendido de los autos.

FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ

Consideremos el circuito aislado siguiente:

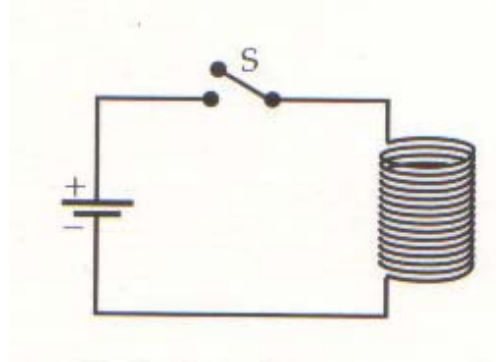


Fig.30. Circuito de Fuerza contraelectromotriz

Cuando existe una corriente en el circuito, existe un flujo magnético a través del mismo debido a su propia corriente. Cuando la corriente varía, el flujo también varía, y existirá una fem en el circuito. Esta fem auto-inducida se opone a la

variación de la corriente y se denomina **fuerza contraelectromotriz**. Debido a esta fem auto-inducida, la corriente de un circuito no puede saltar instantáneamente desde cero hasta un valor finito o desde cierto valor determinado hasta cero. El primero que observó este efecto fue Henry, cuando experimentaba con un circuito compuesto por muchas vueltas de alambre, dispositivo que proporciona un flujo grande a través del circuito incluso aunque la corriente sea pequeña. Henry observó la presencia de una chispa que saltaba en el interruptor cuando intentaba abrir el circuito. Esta chispa se debe a la gran fem inducida que se presentaba cuando la corriente variaba rápidamente como sucede al abrir el interruptor. En este caso, la fem inducida intenta mantener la corriente original. La gran fem inducida produce una gran caída de tensión a través del interruptor cuando éste se abre. El Campo Eléctrico entre los bornes del interruptor es lo suficientemente grande para arrancar electrones de las moléculas del aire, produciendo la ruptura del dieléctrico. Cuando las moléculas del dieléctrico aire están ionizadas, el aire conduce la corriente eléctrica en forma de chispa.

CORRIENTES PARÁSITAS O DE FOUCAULT ⁽¹⁵⁾

Como se ha visto, se induce una fem y una corriente en un circuito mediante un flujo magnético variable. En la misma forma, corrientes circulantes, llamadas corrientes parásitas, se originan en piezas voluminosas de metal que se mueven a través de un campo magnético. Esto puede fácilmente comprobarse permitiendo que una placa plana metálica en el extremo de una barra rígida oscile como un péndulo a través de un campo magnético.

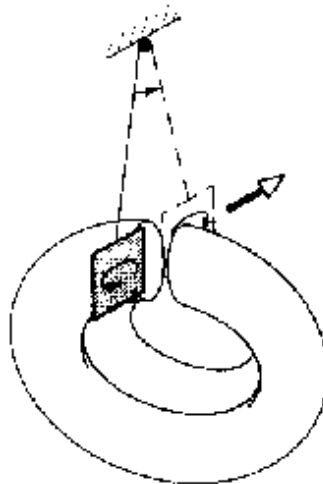


Fig 31 Placa de aluminio que oscila en forma pendular entre los polos de un imán, debido a las corrientes parásitas en la misma.

El metal deberá ser un material no magnético como aluminio o cobre. A medida que la placa entra al campo, el flujo variable crea una fem inducida en la placa, la cual a su vez provoca que los electrones libres en el metal se pongan en movimiento, produciéndose corrientes parásitas en remolino. Conforme a la ley de Lenz, la dirección de las corrientes parásitas debe oponerse al cambio que las

produce. Por esta razón, las corrientes parásitas deben producir polos magnéticos efectivos en la placa, los cuales son repelidos por los polos del imán; el resultado es una fuerza repulsiva que se opone al movimiento del péndulo. (Si lo contrario fuera cierto, el péndulo aceleraría y su energía aumentaría después de cada oscilación, lo que viola la ley de conservación de la energía). Por otra parte, la fuerza retardatriz se puede “sentir” jalando una lámina metálica a través del campo de un imán muy intenso.

En los sistemas de frenado de muchos trenes subterráneos, vehículos rápidos y balanzas se emplea la inducción electromagnética y las corrientes parásitas.

EQUIPO Y MATERIALES

- Imán de neodimio
- Varilla de aluminio
- Lámpara
- Probador de fuerza contraelectromotriz
- Circuito de encendido de bujía
- Circuito probador de muestras diamagnéticas
- Amperímetro
- Freno

DESARROLLO

Realice las conexiones siguientes con el circuito que contiene a la bujía:



Fig.32. Circuito análogo al de encendido de los autos

- I.
 - a) Gire la manivela del circuito de la bujía
 - 2.- ¿Qué sucedió?
 - 3.- ¿Cómo se conoce dicho fenómeno?
 - 4.- Dibuje el diagrama eléctrico del circuito

El diagrama presentado constituye en términos elementales un transformador eléctrico, con su embobinado primario, su entrehierro y su embobinado secundario, con la salvedad de que la fuente impulsora no es el tomacorriente, sino el movimiento mecánico proporcionado por el giro de la manivela.

Este sistema se usa para encender los autos, y bajo este principio de operación funcionan las electrosoldadoras.

- II.
 - f) Reúna los siguientes elementos:



Fig. 34. Tubo de aluminio con imán y lámpara.

- g) Coloque el tubo de aluminio encima de la lámpara y deje caer el imán dentro del tubo.
- 9.- ¿Qué pasa con el imán?
- 10.- Proporcione una posible explicación de lo ocurrido

11.-¿Qué dirección siguen las corrientes en las paredes del tubo?

Bajo el principio de corrientes parásitas funcionan los frenos magnéticos, conocidos como frenos de corrientes de torbellino.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con la puesta en marcha del presente trabajo, nos quedaron claros algunos aspectos importantes de la tecnología de la educación, tales como los objetivos que persigue la enseñanza de la Física y su problemática, que junto con la información que obtuvimos de instituciones internacionales como la PIRA(Physics International Research Association) y de diversas universidades, como la norteamericana de Berkeley, nos permitieron estructurar sólidamente la selección y el contenido de las prácticas propuestas.

En lo que respecta a la fabricación de los equipos, trabajamos con diversos materiales, como acrílico, aluminio, vidrio, madera, neopreno, cerámica y aceite. Para algunos de ellos, requerimos hacer embobinados manuales, como el del motor lineal, o la bobina utilizada en el experimento de Barkhausen, en otros casos, llevamos a cabo la construcción de algunas piezas torneadas de aluminio, y mandamos a hacer por separado, el modelo cerámico de la superficie equipotencial divergente. Es pertinente mencionar que algunos de ellos no pudieron realizarse como teníamos pensado hacerlos, como en el caso del conductor metálico con superficie cónica en un lado y elipsoidal por el otro, ya que se utilizó uno cónico por un lado y hueco por el otro que se tiene en el laboratorio, pero en términos generales, cumplimos con nuestro objetivo de diseñar equipo didáctico, y las mejoras que propusimos para los que ya existían en el laboratorio, permitirán una mejor comprensión de los conceptos de las prácticas correspondientes al generador Van De Graaff, Carga eléctrica, Diferencia de potencial, Capacitancia y Ley de Faraday. Por otro lado, permitirán también una mejor observación de los fenómenos, como en el caso de los estuches de acrílico con electrodos metálicos sumergidos en aceite, el funcionamiento del motor lineal, la placa de acrílico con tornillos que se utiliza con las bobinas de Helmholtz. Y la proposición de las prácticas totalmente nuevas de Fuerza eléctrica, que como innovación permite obtener el momento dipolar de dos cargas y la de Propiedades magnéticas de la materia, que permite observar la alineación de los dominios ante la magnetización, para el caso del probador de muestras diamagnéticas; o , la alineación de los tornillos ferromagnéticos con la magnetización proporcionada por las bobinas de Helmholtz, al aplicarles

una corriente. Así como la observación del fenómeno acústico de Barkhausen.

Cabe destacar que muchos de ellos son susceptibles de mejorarse, lo cual rebasa nuestro objetivo inicial.

Un aspecto importante para nosotros que se desprende de la presente tesis, es el hecho de que todos los conocimientos con los que trabajamos, además de los que adquirimos a lo largo de nuestra carrera profesional, nos han permitido desenvolvernos con soltura en nuestros respectivos trabajos; en el área del Diseño Industrial y Electrónico, y próximamente en el área de Investigación, concretamente, en electrofisiología.

APENDICE 1

MEDIOS DE APRENDIZAJE⁽⁶⁾

LIBROS DE TEXTO

Este medio puede considerarse como uno de los más antiguos y aparece todos los años y ciclos de estudio. Surge desde el primer año de enseñanza primaria e incluso figura en la parte más avanzada de un programa de posgrado. El libro de Texto se diferencia de los demás por su estructura, por su enfoque y porque se elaboró con propósitos de aprendizaje.

Este tipo de publicación debe conducir al lector al alcance gradual de los objetivos de aprendizaje, por medio de un lenguaje claro, empleando diferentes tipos de letra, haciendo uso de colores, de figuras, tablas, fotografías, etc.

TALLER

El asistir a un taller, impulsa el trabajo individual y permite la realización de diseños, de ensambles, de maquinados y de prácticas en general de acuerdo con la naturaleza del taller. El empleo de este medio es recomendable para lograr objetivos cognoscitivos de naturaleza práctica.

EXPOSICIÓN ORAL.

La exposición oral es el medio más tradicional y el que más se emplea, se recomienda su uso para motivar a los alumnos (objetivos afectivos), para definir los objetivos de aprendizaje; para destacar las partes importantes de los temas que ya se han tratado, para coordinar una discusión grupal (objetivos cognoscitivos), etc.

CARTULINAS, ACETATOS, DIAPOSITIVAS Y FILMINAS

Por medio de este procedimiento pueden presentarse diagramas, dibujos o ilustraciones, que por lo general, no sean de fácil y rápida reproducción. Este medio es muy esclarecedor y puede adaptarse a diferentes ambientes. Se recomienda el empleo de este medio como apoyo en la exposición del profesor, en las discusiones con el fin de alcanzar los objetivos cognoscitivos.

AUDIO Y VÍDEO

Estos medios están constituidos por una componente visual, y por una componente de audio (exposición oral en vivo o grabada). Sirven para poder presentar situaciones únicas o de difícil reproducción como la realización de ciertos experimentos o para mostrar de una manera ordenada y sintetizada algunos aspectos de determinado tema.

DINÁMICA DE GRUPOS

La dinámica de grupos nos brinda un instrumento muy útil en el manejo adecuado de los grupos escolares. Existen numerosas técnicas aplicables a la dinámica de grupos, aquí nos limitaremos a destacar dos de ellas: la discusión grupal y las reuniones en corrillos.

La técnica de discusión grupal nos permite intercambiar ideas, puntos de vista e información dentro de un grupo. Crea un ambiente informal y permisivo, enseña a pensar y a comentar en grupo, lo que crea la posibilidad de ampliar puntos de vista y a formar una opinión o consenso de grupo. El uso de este medio se recomienda para el logro de objetivos afectivos (motivación, interés de los alumnos), y como apoyo para la obtención de objetivos cognoscitivos. (discusión de algunos puntos o de ciertos problemas de un punto dado, etc).

REUNIONES EN CORRILLOS

Esta técnica se aplica en pequeños grupos (no mayores de seis personas), y sirve para trabajar, para intercambiar ideas y para estimular la participación de los integrantes de cada grupo. El empleo de esta técnica es de gran ayuda en la resolución de los problemas, en la realización de prácticas o experimentos, en el análisis de un punto dado, etc.

APENDICE 2

PERSONALIDADES DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO⁽¹⁹⁾

ALEXANDER NECKHAM (1157-1217)

Dió la referencia más antigua acerca de la brújula en un trabajo escrito.

PETER PEREGRINUS (PIERRE DE MARICOURT) (1269)

Descubrió los polos magnéticos, y les asignó ese nombre.

WILLIAM GILBERD o GILBERT (1540-1603)

Publicó un trabajo sobre la electricidad y el magnetismo, en donde refiere su descubrimiento acerca de que la Tierra se comporta como un imán. Dio el nombre de eléctricos a los fenómenos que ocurren al frotar cuerpos (del griego *elektron* que significa ámbar). Aportó la idea de que los fenómenos eléctricos se deben a la naturaleza del material.

NICCOLO CABEO (1585-1650)

Fue quizás el primero que observó la fuerza de repulsión entre los cuerpos. Asimismo, observó que la emisión de la electricidad no causaba disminución del peso (propiedad extensiva de la materia).

WILLEM JACOB GRAVESANDE (1688-1742)

Atribuyó los efectos eléctricos a las vibraciones inducidas en el efluvio (concepto anterior al Campo eléctrico).

STEPHEN GRAY(1666-1736)

Realizó experimentos con diversos tipos de materiales. Debido a que en esa época se realizaban experimentos tanto con el calor como con la electricidad, concluyó que mientras que el primero se disemina a través de la sustancia de un cuerpo, el fluido eléctrico reside en la superficie ó cerca de ella. En la mitad del siglo. XVIII, el fluido eléctrico se comparaba generalmente con una atmósfera envolvente.

JEAN TEÓPHILE DESAGULIERS (1683-1744)

Dividió a los materiales en conductores y dieléctricos. Apareciendo entonces el nombre de fluido eléctrico. Observó que la electricidad y el calor pueden inducirse por fricción, inducir la combustión y ser transferidos de un cuerpo a otro por contacto; observó también que los

mejores conductores de calor son en general los mejores conductores de electricidad.

CHARLES FRANCOIS du FAY (1698- 1739)

Dividió a los materiales por su naturaleza eléctrica en materiales vítreos y en materiales resinosos.

PIETER VAN MUSSHENBRUCK (1692-1761)

Descubrió un método para acumular o intensificar la potencia eléctrica

WILLIAM WATSON (1715-1787)

Infirió que el éter eléctrico que aparecía en eventos eléctricos al cargar o descargar un vaso de Leyden, es transferido, pero no creado o destruido (es el concepto básico sobre el que reposa el principio de conservación de la energía).

BENJAMIN FRANKLIN (1706-1790)

Sugirió que la electricidad es un elemento presente en una cierta proporción en toda materia en su condición normal (Estado neutro), conclusión a la que arribó al establecer que la cantidad de electricidad en cualquier sistema aislado es invariable (Principio de conservación de la carga eléctrica). Atribuyó el carácter positivo a la electricidad vítrea. Como resultado de sus experimentos, sentó la base de acción a distancia entre las partículas de fluido eléctrico. Observó que la forma de la atmósfera eléctrica, es la del cuerpo que la rodea. Estableció que el efluvio no parecía ser afectado por el aire, debido a que era posible respirar libremente en la vecindad de los cuerpos electrificados, y aún más: una corriente de aire seco no destruía atracciones ni repulsiones.

Las hipótesis de Watson y Franklin forman la Teoría generalmente llamada ***Teoría de la electricidad de un fluido***.

FRANKLIN ULRICH THEODOR AEPINUS (1724-1802)

Desplazó la teoría del efluvio por la Teoría de acción a distancia. Generalizó la doctrina de que el vidrio es impermeable a la electricidad, en la que enuncia que los no conductores son impermeables al fluido eléctrico. Observó que “debido a que dos cuerpos vítreos se repelen, la fuerza entre dos partículas del fluido eléctrico debe ser repulsiva”, y debido a que existe una atracción entre cuerpos cargados con carga opuesta, la fuerza entre la electricidad y la materia debe ser de atracción.

JOHN CANTON (1718-1772)

Estudió que si un conductor se trae a la vecindad de un cuerpo excitado sin tocarlo, la porción remota del conductor adquiere una carga eléctrica de la misma clase que la del cuerpo cargado, mientras que la porción más cercana adquiere carga del signo opuesto (inducción de cargas eléctricas). El estableció los fundamentos de la Teoría Matemática de la electrostática.

JOHANN CARL WILCKE (1732-1796)

Siguió el trabajo de Canton y propuso que un dieléctrico expuesto a un campo eléctrico se encuentra en un estado de polarización eléctrica.

JOSEPH PRIESTLEY (1733-1804)

Determinó la ley de acuerdo a la cual, la fuerza entre dos cargas eléctricas varía con la distancia entre ellas. Estableció que la atracción de la electricidad está sujeta a las mismas leyes que las de la gravedad, propuso entonces que la electricidad estaba de acuerdo, con los cuadrados de las distancias.

HENRY CAVENDISH (1713-1810)

Redescubrió la ley del inverso cuadrado, pero se negó a comunicar a los otros, éste y muchos otros trabajos de importancia. William Thomson (Lord Kelvin) encontró en los manuscritos de Cavendish, el valor correcto para el radio de las cargas eléctricas soportadas por un disco circular y una esfera del mismo radio que había sido colocada en una conexión metálica balanza de Cavendish. Cavendish anticipó a sus sucesores las ideas de la capacidad electrostática y capacidad específica inductiva. Además introdujo la noción de potencial eléctrico.

Estudió también las propiedades conductoras de algunos elementos tales como los conductores y varios tipos de agua: destilada, marina, de lluvia, etc. Concluyó que los alambres de hierro conducen la electricidad 400 millones de veces mejor que el agua en sus distintas modalidades.

JOHN ROBINSON (1739-1805)

Determinó la ley de fuerza por experimentación directa y conjeturó que la potencia era el inverso cuadrado.

Debido al establecimiento de la ley de Franklin de la conservación de la carga eléctrica y la de Priestley de atracción de cuerpos cargados, la electricidad adquirió el nivel de Ciencia Exacta.

Pasaremos ahora a exponer a los científicos que establecieron la Teoría del **Magnetismo**.

ISAAC NEWTON (1642-1727)

Enuncia en los *principia* que la fuerza de gravedad es de diferente naturaleza que la fuerza del magnetismo. Ésta última puede ser incrementada o disminuida y algunas veces en mayor cantidad para la misma cantidad de materia que la fuerza de gravedad. Sostenía que la fuerza ejercida por un imán sobre otro es proporcional al cubo de la distancia.

JOHN MICHELL (1724-1793)

Descubrió la ley de fuerza entre polos magnéticos. Estableció la teoría magnética como sigue:

“En donde sea que se encuentre magnetismo, sea en el imán mismo o en una pieza de hierro, excitada por un imán, se encuentran siempre dos polos, generalmente llamados el norte y el sur”. “El polo norte de un imán atrae al polo sur” y viceversa. “Cada polo atrae o repele exactamente igual, a distancias iguales en cualquier dirección”. “La atracción y repulsión de los imanes decrece en tanto que los cuadrados de las distancias de los respectivos polos se incrementa”.

Éste descubrimiento que constituye la base de la Teoría matemática del magnetismo fue deducida por una parte de sus propias observaciones y por la otra de previos investigadores (e.g. Dr. Brook Taylor y P. Mushenbroek), que como el observa, habían hecho experimentos precisos, pero habían fallado al no tomar en cuenta todas las consideraciones necesarias para una discusión teórica de ellas.

CHARLES AUGUSTIN COULOMB (1736-1806)

Con ayuda de la balanza de Torsión inventada por Michell y él mismo, verificó la ley fundamental de Priestley.

No aceptó la teoría de un fluido de Franklin, Aepinus y Cavendish. Retomó las ideas de Symmer de que los fenómenos eléctricos se manifiestan a través de dos fuerzas actuantes, expresando éstas ideas como sigue:

“Cualquiera que sea la causa de la electricidad, podemos explicar todos los fenómenos suponiendo que hay dos fluidos eléctricos, las partes del mismo fluido repeliendo al otro de acuerdo al cubo inverso de la distancia, y atrayendo las partes del mismo fluido de acuerdo a la misma Ley del cubo”. De acuerdo a la teoría de los dos fluidos, el fluido natural contenido en toda materia, puede ser decompuesto, bajo la influencia de un campo eléctrico, en cantidades iguales de electricidad vítrea y resinosa, la cual puede volar entonces a la superficie del cuerpo.

Coulomb mostró que la electricidad en equilibrio queda confinada a la superficie de los conductores, y no penetra a la sustancia interior. En su sexta memoria establece virtualmente el resultado de que la fuerza eléctrica cerca de un conductor es proporcional a la densidad de la superficie de electrificación.

Asimismo, rindió grandes servicios a la Teoría Magnética, al desechar en 1777 la hipótesis de los vórtices, por simple razonamiento mecánico. Confirmó también la ley de Michell de acuerdo a la cual, las partículas del fluido magnético atraen o repelen a otras con fuerzas proporcionales al cubo inverso de la distancia, Coulomb fue más allá al considerar que dos fluidos magnéticos no pueden obtenerse separadamente (algo que sí sucede con las cargas eléctricas), encontrando que cuando un imán se rompe en dos pedazos, cada pieza es un imán independiente poseyendo sus propios polos, por lo tanto es imposible obtener un norte y un sur en aislamiento.

SIMEON DENIS POISSON (1781-1846)

Propuso que cuando todas las partes de un cuerpo contienen cantidades iguales de los dos fluidos. A ésta distribución igual y uniforme de los dos fluidos la llamó el estado natural (estado neutro), cuando éste estado se perturba en cualquier cuerpo, se dice que el cuerpo está electrificado, y empiezan a tener lugar los diferentes fenómenos de la electricidad.

Estableció que cuando un exceso de carga es comunicado a un cuerpo metálico, ésta carga se distribuye sobre la superficie del cuerpo, formando una capa cuyo espesor en cualquier punto depende de la forma de la superficie. Poisson mostró con ayuda de estos principios, que es posible determinar en ciertos casos la distribución de la electricidad sobre la capa superficial.

Lagrange en una memoria sobre el movimiento de los cuerpos por el efecto gravitatorio, había mostrado que las componentes de la fuerza atractiva en cualquier punto, pueden ser expresadas simplemente como las derivadas de la función, la cual es obtenida agregando juntas las masas de todas las partículas de un sistema de atracción, cada uno dividido por la distancia a ese punto.

Poisson propuso que cuando varios conductores se encuentran en presencia uno del otro, la distribución de electricidad sobre sus superficies debe ser determinada por el principio que tomó como base de su trabajo, de que cualquier punto en el interior de cualquiera de los conductores, la fuerza resultante debido a las capas superficiales debe de ser cero.

El discutió en particular, uno de los problemas clásicos de electrostática: determinar la densidad superficial de dos esferas conductoras cargadas ubicadas a cualquier distancia una de cada otra. Posteriormente desvió su atención hacia el magnetismo, tomando como punto de partida las ideas establecidas por Coulomb para los dos fluidos

GEORGE GREEN (1793-1841)

Extendió y generalizó las investigaciones eléctricas y magnéticas de Poisson. El tratamiento de Green se basa en las propiedades de la función utilizada por Lagrange, Laplace y Poisson, la cual representa la suma de todas las cargas eléctricas y magnéticas en el campo, dividida por sus respectivas distancias desde algún punto dado. A ésta función Green le dio el nombre de **POTENCIAL**. Como ha sido conocida desde entonces.

Al inicio de sus notas está establecida la celebrada fórmula conectando las integrales de superficie y de volumen, que es generalmente llamado **Teorema de Green**, que es una particular aplicación de las distribuciones de superficie y volumen equivalente de magnetización.

LUIGI GALVANI (1737 -1798)

Descubrió que el nervio crural de una rana conducía la electricidad, y que la descarga producida, ocasionaba una contracción en el anca de la misma. Repitió su experimento con varios tipos de conductores y se dio cuenta de que algunos provocaban una mayor contracción en la rana que otros. Sus experimentos le permitieron darse cuenta de que las ancas de la misma, se contraían cuando se realizaba una conexión entre los nervios y músculos por un arco metálico, generalmente formado por más de una clase de metal; adelantó la hipótesis de que las convulsiones son ocasionadas por el transporte de un fluido peculiar de los nervios a los músculos, actuando el arco como un conductor.

ALESSANDRO VOLTA(1745-1827)

Propuso que el origen de los estímulos en el experimento de Galvani se derivaba esencialmente de la conexión de dos metales a través de un cuerpo húmedo. Conectó cadenas de diferentes metales, inventando así la pila, observando que se trataba de una fuente de fuerza electromotriz. Sus experimentos con discos de diferentes materiales lo llevaron a la invención del capacitor.

GIOVANNI FABRIONI (1752-1822)

Habiendo puesto dos platos de diferentes metales en el agua, observó que uno de ellos se había oxidado parcialmente cuando fueron puestos en contacto, de lo cual concluyó correctamente que alguna acción química está inseparablemente conectada con efectos galvánicos.

WILLIAM NICHOLSON(1753-1815) Y ANTHONY CARLISLE(1768-1840)

Construyeron la primera pila voltaica en Gran Bretaña. Al repetir los experimentos de Volta, y poner una gota de agua como un punto de contacto en el plato más alto de la pila, como medida de seguridad, notaron la liberación de gas alrededor del alambre conductor en ese punto. Posteriormente, al introducir un tubo de agua, dentro del cual habían alambres sumergidos de la pila, observaron la presencia de burbujas de un gas inflamable en una de las terminales, mientras que la otra se llegó a oxidar. Esto constituyó el descubrimiento de la hidrólisis del agua.

HUMPRY DAVY (1778-1829)

Empezó a experimentar con pilas voltaicas y mostró que no existe corriente cuando el agua entre los pares de platos es pura, y que su poder de acción es en gran medida proporcional a la potencia de la sustancia fluida conductora entre los platos conductores para oxidar el zinc. Sus puntos de vista estaban de acuerdo con la idea de Fabrioni de que los efectos galvánicos están siempre acompañados de acción química. Concluyó que la pila de Volta actúa solo cuando la sustancia conductora entre los platos es capaz de oxidar al Zinc, en la medida en que una mayor

cantidad de oxígeno entre en combinación con el zinc en un tiempo dado, una mayor proporción tendrá la potencia de la pila para descomponer el agua y proporcionar una chispa mayor. De sus experiencias se concluye que la oxidación del Zinc en la pila, y los cambios químicos conectados con ello, son de alguna manera, los efectos eléctricos que produce.

El contacto de metales es la causa que perturba el equilibrio, mientras que los cambios químicos continuamente restablecen las condiciones bajo las cuales la energía de contacto puede ejercerse. Davy aseveró que la afinidad química es esencialmente de naturaleza eléctrica.

Davy estudió la capacidad conductora de los metales, midió las longitudes y los pesos de alambres de diversos materiales y las secciones transversales, y al compararlos, mostró que la capacidad de un alambre es inversamente proporcional a su longitud y directamente proporcional a su área seccional, pero independientemente de la forma de su sección transversal, demostró que las corrientes fluyen a través de la substancia del conductor y no a través de su superficie.

En el mismo escrito, comparó las conductividades de varios metales y estudió el efecto de la Temperatura. Encontró que la conductividad variaba con la temperatura, disminuyendo su valor al incrementarse la temperatura.

JOHANN WILHELM RITTER (1776-1810)

En 1803 construyó el modelo precursor de la celda acumulador. Observó que cuando la corriente de carga es interrumpida, los productos de la descomposición establecen una fuerza electromotriz inversa.

HANS CHRISTIAN OERSTED (1777-1851)

Este profesor de filosofía natural de Copenhague en el periodo (1819-1820), anunció su intención de examinar la acción de la electricidad sobre la aguja magnética. Tuvo la idea de que los cambios observados en la aguja de una brújula durante una tormenta eléctrica le daría la clave del efecto que estaba buscando, lo que lo llevó a pensar que el experimento debería intentarse con el circuito galvánico cerrado en lugar de abierto, y preguntarse si se produce algún efecto cuando una corriente pasa a través de un alambre vecino. Al principio colocó el alambre a ángulos rectos de la aguja sin obtener resultado. Se le ocurrió colocar el alambre paralelo a la aguja, y al intentarlo se observó una deflexión pronunciada de la aguja, **encontrándose con éste experimento la relación entre la electricidad y el magnetismo.**

El descubrimiento de Oersted fue descrito en la academia francesa el 11 de Septiembre de 1820 por el académico Arago.

JEAN-BAPTISTE BIOT (1774-1862) y FÉLIX SAVART (1791-1841)

Estos investigadores repitieron y extendieron los experimentos de Oersted y publicaron un primer análisis preciso de los efectos. Anunciaron

que la acción experimentada por un polo magnético austral o boreal, cuando se encontraba colocado a alguna distancia de un alambre conduciendo una corriente voltaica podía expresarse: “Dibujando el polo perpendicular al alambre, la fuerza sobre el polo se localiza a ángulos rectos a esta línea y al alambre, y su intensidad es proporcional al recíproco de la distancia”.

Era reconocido ahora que un campo magnético puede ser producido tanto por una corriente eléctrica como por un imán.

ANDRÉ-MARIE AMPERE (1775-1836)

Mostró que dos alambres paralelos conduciendo corriente se atraen el uno al otro si las corrientes viajan en la misma dirección, y se repelen si las corrientes se dirigen en direcciones opuestas.

Descubrió que los circuitos portadores de corrientes eléctricas ejercen fuerzas ponderativas entre sí, y que dichas fuerzas son ejercidas sobre tales corrientes por los imanes. El dio el nombre de electrodinámica a aquella que trata con la acción mutua de corrientes.

Como resultado de su trabajo, **prefirió establecer a la corriente eléctrica en lugar del fluido magnético como una entidad fundamental**, y consideró al magnetismo realmente como un fenómeno eléctrico; cada molécula magnética debe sus propiedades de acuerdo a este punto de vista, a la presencia de un circuito cerrado en el cual una corriente eléctrica se encuentra fluyendo de manera perpetua.

THOMAS JOHANN SEEBECK (1770-1831)

Descubrió que una corriente eléctrica puede establecerse en un circuito de metales, sin la interposición de ningún líquido, meramente por una perturbación del equilibrio de la Temperatura.

GEORG SIMON OHM (1787-1854)

Descubrió que si un número de células voltaicas se colocan en serie en un circuito, la corriente es proporcional a su número si la resistencia externa es muy grande, pero es independiente de su número si dicha resistencia es pequeña.

Estableció la relación:

$$S = \gamma E$$

Donde :

S; corriente

γ ; conductividad

E; fuerzas electroscópicas (potencial electrostático)

Y es la versión original de la expresión moderna que hoy conocemos como Ley de Ohm: **$V = R.I$**

Donde :

V; voltaje

R: resistencia

I; corriente

Con ésta expresión quedaba claro que la corriente que fluye a través de un conductor depende solamente de la conductividad inherente al conductor.

La teoría de Ohm fue confirmada experimentalmente por varios investigadores, entre ellos Gustav Theodor Fechner (1801-87) y Charles Wheatstone (1802-75).

MICHAEL FARADAY (1791-1867)

Trabajó de manera inicial con Humphry Davy, realizando experimentos de química, lo que constituyó una influencia natural para el desarrollo de algunos de sus trabajos. Se mencionan en los párrafos siguientes algunas de sus contribuciones más importantes :

Definió el concepto **líneas de fuerza magnética**, que ya había sido propuesto por los filósofos Aristotélico - escolásticos, como líneas que siguen trayectorias cerradas en los imanes.

Encontró que se induce una corriente en un circuito cuando la intensidad de una corriente se altera, o cuando un imán se coloca de manera próxima al circuito; o cuando el circuito mismo se mueve en presencia de otra corriente o imán.

Observó que en todos los casos la inducción depende del movimiento relativo del circuito y de las líneas de fuerza magnética en su vecindad.

Estudió la dependencia que existía entre la fuerza electromotriz y el movimiento relativo del alambre y las líneas de fuerza concluyendo que: "La cantidad de energía convertida a corriente es directamente proporcional al número de curvas intersectadas ". La fuerza electromotriz es de hecho, simplemente proporcional al número de líneas unitarias de fuerza magnética intersectadas por el alambre en un segundo. (Principio fundamental de inducción de corriente).

Retomó los experimentos hechos por William Jenkin, que lo llevaron a observar el fenómeno de auto - inducción.

Mostró que cada efecto conocido de la electricidad –fisiológica, magnética, luminosa, calorífica, química y mecánica–, es de la misma naturaleza, independientemente de que la electricidad se obtenga por fricción, o por medio de una pila voltaica.

Realizó investigaciones con la pila voltaica y sus relaciones con la electricidad. Introdujo los términos utilizados para describir el fenómeno de composición electroquímica. A las terminales por las que entra o

sale la corriente a través del cuerpo a descomponerse dio el nombre de **electrodos**. Al electrodo de alto potencial lo llamó **ánodo** y al de bajo potencial **cátodo**. A los cuerpos que se descomponen directamente por la corriente los llamó **electrolitos** y a las partes en las que se descomponen **iones**; los iones ácidos que viajan al ánodo los llamó **aniones**, y a los iones metálicos que pasan al cátodo **cationes**.

Probó la validéz de la suposición de Gay-Lussac y Thénard, de que la tasa a la que se descompone un electrolito, depende únicamente de la intensidad de la corriente eléctrica pasando a través de él, y no depende del tamaño de los electrones ni de la potencia de la solución.

Encontró al comparar diferentes electrolitos, que la masa de cualquier ión liberado por una cantidad dada de electricidad es proporcional a su equivalente químico, lo cual se expresa diciendo que una corriente eléctrica liberará exactamente un átomo del elemento en cuestión en el tiempo que le llevaría liberar n átomos de hidrógeno.

Aseveró que la actividad ininterrumpida de una celda voltaica va siempre acompañada de uniones químicas o descomposiciones. Descubrió junto con Roget que la cantidad de electricidad puesta en circulación depende de la cantidad de químicos consumidos.

Retomó la fuerza electromotriz descrita por Volta para los metales, la cual dura mientras que la electricidad sea puesta en movimiento, nunca se gasta y continúa siendo ejercida sin disminución de la potencia, en la producción de un efecto incesante. Estableció que en todos los casos, la energía no solo es generada sino que se transforma.

Realizó experimentos con sustancias no-conductoras como el aceite de turpentina ó el sulfuro, que no conducen electricidad ni se descomponen, pero si las caras metálicas de un capacitor se mantienen a una diferencia de potencial definida y si el espacio entre ellos es ocupado por una de esas sustancias aislantes, se encuentra que la carga en cada cara depende de la naturaleza de la sustancia aislante. (Descubrimiento del capacitor).

HEINRICH GEORG BARKHAUSSEN (1881-1956)

Descubrió por métodos acústicos las discontinuidades que ocurren cuando un material ferromagnético es magnetizado; ésta observación conocida como el efecto Barkhausen, jugó parte importante en la elucidación de la naturaleza discreta del magnetismo por la teoría de los dominios.

APÉNDICE 3

CONCEPTOS BÁSICOS

ACERCA DE Y LA

LA CIENCIA Y LA

TECNOLOGÍA.^(13,14)

PENSAMIENTO PRIMITIVO

Forma de pensar ingenua y simplista, está formada por categorías absolutas y con un fuerte componente mágico.

SEUDOCONOCIMIENTO:

Está constituido por las respuestas al mismo problema que trata la Ciencia, pero generadas por la fe.

CONOCIMIENTO VULGAR :

Serie de conceptos y esquemas conceptuales satisfactorios para los usos prácticos de la humanidad . Resalta en este conocimiento común, la importancia atribuida a la autoridad y la carencia de un espíritu crítico de duda.

De acuerdo con el científico Mexicano Ruy Pérez Tamayo, la filosofía de la Ciencia enseña que las decisiones racionales siempre deberán hacerse sin información completa, que nuestro destino en la Tierra es adivinar la conformación más probable del sector de la naturaleza cuya estructura nos interesa, y trabajar incansablemente en averiguar hasta donde nuestra imaginación corresponde con la realidad. El resultado de éste proceso doloroso es lo que llamamos **conocimiento**.

CONOCIMIENTO CIENTIFICO:

Información obtenida por una serie de construcciones teóricas sometidas a rigurosas pruebas objetivas (experimentales o de otra índole)

MÉTODO CIENTIFICO:

de una manera general, **consiste en tener ideas y ponerlas a prueba**, para lo cual, llevamos a cabo **experimentos**.

La **Ciencia** es una **actividad creativa** cuyo objetivo es la comprensión de la naturaleza y cuyo producto es el **conocimiento**.

La **Tecnología** es una actividad transformadora cuyo objetivo es el aprovechamiento de la naturaleza y cuyo producto son **bienes de consumo o de servicio**.

EXPERIMENTO :

Es una **manipulación controlada de algún fenómeno natural**, realizada por el investigador con el propósito de generar información que no se da espontáneamente, o de acelerar el tiempo y / o amplificar la magnitud de lo que se genera.

OBJETIVOS DE LOS EXPERIMENTOS:

- 1.- Acumulación de hechos adecuadamente documentados sobre un problema específico.
- 2.- Discriminación entre varias hipótesis que pretenden explicar un mismo proceso o segmento de la naturaleza.

Los experimentos cuyos resultados solo contribuyen a la acumulación de hechos documentados sobre un problema específico se conocen como **triviales**, mientras que los diseñados para escoger entre varias hipótesis explicatorias se designan como **cruciales**. En el apéndice 2 se incluye un apartado relativo a la planeación de los experimentos.

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA:

Es la búsqueda sistemática, controlada, empírica y crítica de las proposiciones hipotéticas acerca de las relaciones entre los fenómenos.

CARACTERÍSTICAS CENTRALES DE LA PRÁCTICA CIENTÍFICA MODERNA.

-Busca entender de una manera sistemática los fenómenos estudiados

-Tiene la preocupación deliberada por examinar y comprobar las Teorías e hipótesis.

En la manera como se pretende comprobar, radica la principal diferencia entre las ciencias empíricas modernas y las construcciones Teológico- especulativas de la Edad Media; mientras la Teología apoyaba sus asertos en la autoridad bíblica o eclesiástica, la Ciencia Empírica insiste en el recurso sistemático y controlado a la experiencia como el único camino para establecer la validez de sus proposiciones.

El científico empírico se mueve por lo tanto en dos niveles: el abstracto de la Teoría y las Hipótesis y el concreto, apegado a la realidad de la observación.

APÉNDICE 4

PLANEACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS (4)

- 1.- Variables físicas a investigarse
 - 2.- Control que debe ejercerse sobre el experimento (ambiente)
 - 3.- ¿Qué márgenes de las variables básicas son necesarias para describir los fenómenos de estudio?
 - 4.- ¿Cuántos puntos de información deben tomarse en los diversos intervalos de operación para asegurar un muestreo de los datos, considerando la exactitud de los elementos y otros factores?
 - 5.- ¿Qué exactitud de instrumento se requiere para cada medición?
 - 6.- Si está implicada una medición dinámica, ¿qué respuesta a la frecuencia deben tener los instrumentos?
 - 7.- Si los instrumentos se encuentran en el mercado, ¿deben fabricarse para los experimentos?
 - 8.- ¿Qué precauciones de seguridad son necesarias si alguna operación peligrosa está implicada en el experimento?
 - 9.- ¿Qué recursos financieros están disponibles para realizar el experimento, y cómo entran los diversos requerimientos de diversos instrumentos en el presupuesto propuesto?
 - 10.- ¿Qué provisiones deben tomarse a fin de registrar la información?
- La importancia del control de cualquier experimento debe reconocerse siempre

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Alonso M.;Finn E.J.
FÍSICA
Ed. Addison-Wesley Iberoamericana
1995
- 2.-Blatt, Frank J.
FUNDAMENTOS DE FÍSICA
Ed. Prentice-Hall
1989
- 3.- Boletín de enseñanza, CEF CIENCIAS
Julio-Agosto
1982
- 4- Cobb, George W.
INTRODUCTION TO DESIGN AND ANALYSIS
OF EXPERIMENTS
Ed.Hamilton Printing Co.
1998
- 5.-DICTIONARY OF SCIENTIFIC BIOGRAPHY
Ed.American Council of learned societies
1976
- 6.-Domínguez Álvarez, Héctor
UNA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
DE LA EDUCACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE
LA FÍSICA
Ed, U.N.A.M.
1988
- 7.- Freire, Paulo
LA EDUCACIÓN COMO PRÁCTICA DE
LA LIBERTAD
50ª.Edición
Ed. SXXI
2002
- 8.-Freire, Paulo
PEDAGOGÍA DEL OPRIMIDO
54ª.Edición
Ed. SXXI
2002
- 9.-Gagné, Robert
LAS CONDICIONES DEL APRENDIZAJE
Ed. Interamericana.
1985

- 10.- Jaramillo Morales G.A.; Alvarado Castellanos A.A.
ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
Ed. Trillas
1997
- 11.-Hewitt, Paul G.
FÍSICA CONCEPTUAL, SEGUNDA EDICION
Ed. Addison-Wesley Iberoamericana
1995
- 12.-NUEVAS TENDENCIAS DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
Unesco
1978
- 13.-Pérez Tamayo,Ruy
CIENCIA, PACIENCIA Y CONCIENCIA
Ed. Siglo XX1.
1991
- 14.- Pérez Tamayo, Ruy
ACERCA DE MINERVA
Ed. FCE (Colección la Ciencia desde México)
1995
- 15.-Serway, Raymond
FISICA 2
Ed. Mc.Graw_Hill
1987
- 16.-Serway,
FÍSICA, TOMO 2. 4a. Edición
Ed. Mc. Graw_Hill
1997
- 17.-Tambutti , Romilio,
CONTACTOS vol IV No.3,
Ed.UAM
1989
- 18.- Tipler, Paul
FÍSICA II. 3a. Edición
Ed Reverté
1995
- 19.-Whittaker, Edmund Taylor
A HISTORY OF THE THEORIES OF AETHER AND
ELECTRICITY
Ed.American Institute of Physics
1987

LISTA DE EQUIPOS DISEÑADOS Y CONSTRUIDOS

- Generador van de Graaff
- Globos de Mylar con base de acrílico
- Recipiente de aluminio con confetti de papel
- Estuches de acrílico con diversos patrones de campo con semillas de pasto sumergidas en aceite..
- Jaula de Faraday
- Soporte metálico para la punta del electrómetro.
- Modelo circular tridimensional en acrílico
- Modelo cerámico de superficie hiperbólica
- Capacitor variable
- 8 Muestras dieléctricas de vidrio, cartón, acrílico y neopreno. Para 2 espesores distintos.
- Platos capacitivos con dinamómetro
- Modelo tridimensional en acrílico de la fuerza magnética
- Motor elemental
- Placa de acrílico con tornillos ferromagnéticos
- Probador de muestras diamagnéticas
- Equipo demostrador de efecto Barkhausen
- Circuito análogo al de encendido de un automóvil
- Tubo de corrientes parásitas
- Circuito demostrador de la Fuerza contraelectromotriz de retorno