



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



**ELABORACIÓN DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS EXPERIMENTALES
QUE PERMITEN VISUALIZAR Y AFIANZAR LOS FENÓMENOS MAGNÉTICOS
PARA LA ASIGNATURA MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

Tutor académico: Prof. Rubén Terán

Elaborado por:

Castro, Lheiddy
González, Carmen

Valencia, Junio de 2011.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



**ELABORACIÓN DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS EXPERIMENTALES
QUE PERMITEN VISUALIZAR Y AFIANZAR LOS FENÓMENOS MAGNÉTICOS
PARA LA ASIGNATURA MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD
DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

Tutor académico: Prof. Rubén Terán

Elaborado por:

Castro, Lheiddy
González, Carmen

Valencia, Junio de 2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi fuente de inspiración y motivo de lucha mi Padre Luis Alberto Castro Colmenares, ya que por él soy quien soy hoy y seré siempre. Tus enseñanzas nunca las olvidaré al igual que el amor incondicional que me diste, desde el cielo sé que debes estar feliz y tranquilo porque a pesar de las adversidades y tropiezos lo logré, salí adelante alcanzando esta meta tan importante en mi vida, es la primera de muchas que vienen y de ahora en adelante pondré todo mi empeño para ser una profesional íntegra como lo fuiste tú y llevar tu nombre en alto y te sientas aún más orgulloso de la hija que tienes. ¡Te amo!

Lheiddý D. Castro C

DEDICATORIA

Como todas las cosas en mi vida, este trabajo va encomendado primeramente a Dios.

A mi madre, el mejor modelo de dedicación, esfuerzo y lucha. Espero llegar a ser la mitad de maravillosa de lo que has demostrado ser.

A mi padre, luchador incansable y con un corazón inmenso. Nunca pasaste por encima de nadie y siempre ayudaste a quien te necesitaba, guíame por favor a seguir tu ejemplo.

A mis primos y sobrinitos; todo sacrificio tiene su recompensa, no siempre será de la manera que esperamos pero si la más adecuada para nuestra vida.

A todos ustedes, vivan día a día, con sus penas y sus alegrías. Que les baste con saber que pusieron todo su esfuerzo, sin necesitar del reconocimiento de los demás para ser felices porque el único reconocimiento que necesitan es el de Dios, y él lo sabe todo.

Carmen María González Díaz

AGRADECIMIENTOS

Principalmente gracias a Dios, con él todo sin él nada, gracias por permitirme alcanzar esta meta tan deseada y por darme las fuerzas necesarias para no decaer.

A mi Padres, Luis Alberto Castro Colmenares, aunque no estés a mi lado se que nunca has permitido que sienta tu ausencia, me enviaste y, sé que lo seguirás haciendo, a unas personas maravillosas para que me brinden y den el apoyo que tu incondicionalmente me dabas día a día mientras te tuve en vida. Gracias papi!. Mi Madre Carmen Leonilde Carrero de Castro, no hay palabras para describir lo que has hecho por mí y por mi hermana, a pesar de mis tropiezos y mi manera de ser, has estado ahí luchando conmigo, JAMAS has dejado de creer en mí, GRACIAS de todo corazón por todo, tus trasnochos, tus palabras de consuelo, tu amor y tu apoyo incondicional, eres admirable y le doy gracias a Dios por tenerte a mi lado! Que Dios te bendiga y cuide siempre. ¡Te Amo!

A mi hermana Luisana Castro, Gracias por darme palabras de aliento, por estar pendiente de mí, por protegerme y brindarme tu mano amiga en todo momento. ¡Te amo hermana!

A mi familia, mis tíos, primos y Wilson León ya que eres como mi familia, que aunque estén tan lejos siempre buscaron la manera de brindarme su apoyo con una llamada o un mensaje haciéndome saber que ¡yo si puedo! y que soy capaz de lograr cualquier meta que me proponga o derribar cualquier obstáculo que se me presente. Kathy, Sr. Daniel ustedes también son mi familia, estuvieron ahí animándome siempre. ¡Gracias a todos, los Adoro!

A mi novio Félix Eduardo Guevara Añez, Gracias mi amor por estar ahí siempre, aun mas, en los momentos más difíciles, con tu manera muy peculiar me diste palabras de aliento para salir adelante, me ayudaste, me aclaraste dudas, me diste ideas, pero sobre todo me diste muchas lecciones de vida. ¡Te amo!

A Blanca Jaime mi amiga y casi hermana, quien me tendió su mano hasta el último momento, en las condiciones que estuviese, buscaba la manera de ayudarme para salir adelante en la realización de este trabajo, también creíste y confiaste en mí, gracias a tu hijo el ángel que lleno mi corazón de alegría cuando más lo necesitaba. ¡Gracias Blancura Te quiero!

A la Prof. Oriana Barrios por estar ahí, por brindarme su apoyo en la parte metodológica, y por ser tan especial gracias de todo corazón. Al Prof. Wilmer Sanz gracias por sus palabras siempre tan acertadas. Personas como ustedes nunca se olvidan. Al Prof. Rubén Terán y a la Prof. Ledy Laura Guerra por ayudarme en la realización de este trabajo. ¡Gracias!

Sr. Nelson Alarcón, Víctor Cano y Sixto Blanco mil gracias ya que sin ustedes este trabajo no se hubiese podido culminar, a ustedes me los mandaron del cielo, personas intachables, trabajadoras y serviciales que ayudaron en la construcción de los experimentos. ¡Una vez más gracias!

Lheiddý D. Castro C.

AGRADECIMIENTOS

Diosito, gracias por permitirme alcanzar esta meta y por acompañarme en todos los momentos de mi vida.

Nelly Diaz, la mejor madre de este mundo, siempre apoyándome incondicionalmente y luchando conmigo y por mí. Victor González, te me fuiste antes de tiempo pero estoy orgullosa de haberte tenido como padre. Mi consentidor por excelencia.

Mis hermanitos, Carlos José y Andy, a su manera fastidiosa me ayudaron a levantarme de las caídas que tuve estos últimos años. Mis tíos, tías, primos, primas, sobrinitos y mis hermanas Carhil, Kennia, Adri y As. Gracias por apoyarme cada uno a su manera.

Amigos incomparables que tuve la suerte de encontrar en la universidad, Asly, Sancho, Eloy, el Negro, Marbe, Manuel Parra, Anny y todos los demás que estuvieron conmigo desde el principio de la locura de estudiar ingeniería.

Mi insuperable grupo de estudio, Carlos, Dani, Gordito; negros gracias por explicarme cada vez que no entendí, por consolarme cuando estaba triste, por aguantar mis malos humores y por celebrar conmigo los triunfos. Hay muchísimos otros a quienes también va dirigido este agradecimiento pero es una lista larga, espero sepan que los quiero.

Las personas que ayudaron en la realización de este proyecto de grado, Ing. Rubén Terán, Ing. Ledy Guerra, los técnicos de los laboratorios: de Máquinas Eléctricas, de Circuitos y Mediciones, de Física en FACYT, de Procesos de Fabricación; Sr. Nelson, Sr. Víctor, Sr. Sixto, INSETECA, entre otros. Gracias.

Carmen María González Diaz

ELABORACIÓN DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS EXPERIMENTALES QUE PERMITEN VISUALIZAR Y AFIANZAR LOS FENÓMENOS MAGNÉTICOS PARA LA ASIGNATURA MÁQUINAS ELÉCTRICAS

(Realizado por Lheiddy Castro y Carmen González con el tutor Prof. Rubén Terán)

RESUMEN

En los últimos años se ha notado un incremento considerable en la cantidad de estudiantes que no aprueban la asignatura Máquinas Eléctricas I, por ésta, entre otras razones surge el presente trabajo de grado, el cual consiste en desarrollar herramientas didácticas de tipo experimental que permite visualizar y afianzar los conocimientos acerca de los fenómenos magnéticos que se estudian en la asignatura mencionada. Mediante un análisis del programa sinóptico de la materia en estudio, entrevistas informales a los docentes de la Escuela de Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo que imparten la cátedra y encuestas aplicadas a los estudiantes que cursaron la materia en el periodo 2-2010 se determinó que el tópico a desarrollar sea la Unidad I denominada Circuitos Magnéticos Excitados con Corriente Continua. Se realizaron diez (10) experimentos de los cuales cinco (5) de ellos consisten en la visualización de las líneas de campo magnético relacionadas con las configuraciones típicas estudiadas en la asignatura Máquinas Eléctricas I, los cinco (5) restantes tratan sobre el ángulo existente entre la corriente aplicada y el campo magnético que se genera utilizando una brújula, demostración de la Ley de Faraday, circuitos magnéticos con devanado concentrado y distribuido, comportamiento del campo magnético con diferentes materiales y pérdidas por corrientes parásitas. Para la elaboración de los experimentos se diseñaron prototipos para dimensionar correctamente, obtener los materiales necesarios y construirlos, por último se implementó y comprobó el correcto funcionamiento de los experimentos considerando los valores nominales de los equipos que intervienen para llevar a cabo cada uno de ellos, el resultado obtenido del material de apoyo adicional elaborado para la cátedra de Maquinas Eléctricas I de la Escuela de Eléctrica de la Faculta de Ingeniería de la Universidad de Carabobo fue satisfactorio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	VIII
Índice general.....	IX
Índice de figuras y tablas	XII
INTRODUCCIÓN.....	XVII

CAPÍTULO I. El Problema

1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 Justificación.....	7
1.4 Alcance.....	8

CAPÍTULO II. Marco Teórico

2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Ley de Coulomb del Magnetismo.....	15
2.2.2 Intensidad de Campo Magnético H.....	17
2.2.3 Ley de Biot-Savart.....	18
2.2.4 Ley de Ampère.....	24
2.2.5 Materiales Ferromagnéticos.....	30
2.2.6 Densidad de Campo Magnético B.....	32
2.2.7 Ley de Faraday.....	35
2.2.8 Circuitos Magnéticos.....	36
2.2.9 Pérdidas.....	45
2.3 Glosario.....	51

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO III. Marco Metodológico

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación.....	56
3.2 Técnica de Recolección de Datos.....	57
3.3 Fases de las Investigación.....	57

CAPÍTULO IV. Resultados

4.1 Experimento # 1: Visualización de las líneas de campo magnético de los imanes.....	107
4.2 Experimento #2: Experimento de Oersted.....	108
4.3 Distribución de líneas de campo magnético para configuraciones típicas de las Máquinas Eléctricas.....	110
4.3.1 Experimento # 3: Dos conductores con corrientes en sentidos opuestos.....	110
4.3.2 Experimento # 4: Tres conductores con corrientes en sentidos iguales.....	112
4.4 Experimento #5: Solenoide de longitud finita.....	114
4.5 Experimento #6: Toroide.	116
4.6 Experimento # 7: Comportamiento del campo magnético con diferentes materiales.....	117
4.7 Experimento # 8: Ley de Faraday.....	118
4.8 Experimento # 9: Circuitos Magnéticos.....	119
4.9 Experimento #10: Corrientes Parásitas.....	121

CAPÍTULO V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.....	124
-----------------------	-----

ÍNDICE GENERAL

5.2 Recomendaciones.....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
ANEXOS	
Anexo A. Pensum de Ingeniería Eléctrica.....	131
Anexo B. Programa sinóptico de la asignatura Máquinas Eléctricas I.....	137
Anexo C. Programa sinóptico de la asignatura Máquinas Eléctricas II.....	140
Anexo D. Programa sinóptico de la asignatura Máquinas Eléctricas III.....	142
Anexo E. Estadísticas de la Dirección de Asuntos Estudiantiles de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.....	145
Anexo F. Encuesta y validación por los expertos.....	149
Anexo G. Gráfica de B vs H.....	153
Anexo H. Manual de los experimentos.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 2.1 Polos de un imán y sus líneas de campo magnético.....	16
Figura 2.2 Fuerza actuante entre dos imanes.....	16
2.2.(a) Fuerza de repulsión entre caras de polaridad igual.....	16
2.2.(b) Fuerza de atracción entre caras de distinta polaridad.....	16
Figura 2.3 Campo magnético en un punto debido a la corriente que circula por un conductor.....	19
Figura 2.4 (a) Esquema trigonométrico de la fuerza en un punto ejercida por un hilo conductor infinito. (b) Ángulos con respecto al eje x en los extremos del hilo conductor.....	23
Figura 2.5 Hilo conductor de longitud infinita por el cual circula una corriente de magnitud I.....	25
Figura 2.6 Solenoide con campo constante a lo largo del eje.....	26
Figura 2.7 Vista transversal de un solenoide ideal, donde el campo magnético interior es uniforme y el campo exterior es cero.....	28
Figura 2.8 Toroide con campo constante a lo largo de toda su trayectoria.....	29
Figura 2.9 (a) Dominios de un material ferromagnético desalineados. (b) Dominios alineados debido a la acción de un campo magnético externo aplicado.....	31
Figura 2.10 Curvas de histéresis de un material ferromagnético.....	32
Figura 2.11 Líneas de campo magnético B en un área.....	34
Figura 2.12 Vista transversal de las líneas de campo magnético B.....	34

ÍNDICE GENERAL

Figura 2.13 En presencia del movimiento relativo entre la bobina y el imán se registro una variación en el galvanómetro.....	36
Figura 2.14 Circuito magnético toroidal con devanado distribuido.....	37
Figura 2.15 Circuito magnético toroidal con devanado concentrado.....	38
Figura 2.16 Circuitos magnéticos mixtos.....	39
2.16 (a) Circuito magnético con núcleo de dos materiales ferromagnéticos distintos.....	39
2.16 (b) Circuito magnético con núcleo de sección transversal diferente.....	39
Figura 2.17 Circuito magnético con entrehierro.....	40
Figura 2.18 Analogía entre circuitos eléctricos y magnéticos.....	42
2.18 (a) Circuito eléctrico.....	42
2.18 (a) Circuito magnético.....	42
Figura 2.19 Circuitos magnéticos serie – paralelo.....	43
2.19 (a) Circuito serie.....	43
2.19 (a) Circuito paralelo.....	43
Figura 2.20 Circuito magnético excitado con corriente alterna.....	43
Figura 3.1. Flujograma de actividades.....	58
Figura 3.2. Diagrama correspondiente a la pregunta #1.....	61
Figura 3.3. Diagrama correspondiente a la pregunta #2.....	62
Figura 3.3.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #2.....	63
Figura 3.4. Diagrama correspondiente a la pregunta #3.....	64
Figura 3.5. Diagrama correspondiente a la pregunta #4.....	65

ÍNDICE GENERAL

Figura 3.5.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #4.....	66
Figura 3.6. Diagrama correspondiente a la pregunta #5.....	67
Figura 3.7. Diagrama correspondiente a la pregunta #6.....	68
Figura 3.8. Diagrama correspondiente a la pregunta #7.....	69
Figura 3.8.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #7.....	70
Figura 3.9.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #8.....	71
Figura 3.9.2. Diagrama correspondiente a la pregunta #8.....	72
Figura 3.9.3. Diagrama correspondiente a la pregunta #8.....	73
Figura 3.9.4. Diagrama correspondiente a la pregunta #8.....	74
Figura 3.10. Diagrama correspondiente a la pregunta #9.....	75
Figura 3.11 Experimento # 1. Caja de acrílico con imanes permanentes.....	81
Figura 3.12 Experimento # 2. Lámina de acrílico con un hilo conductor y una brújula.....	82
Figura 3.13. Experimento #3. Lámina de acrílico con espira rectangular.....	84
Figura 3.14. Experimento #4. Lámina de acrílico con tres espiras rectangulares en paralelo.....	86
Figura 3.15. Experimento #5. Lámina de acrílico que contiene un solenoide de longitud finita.	89
Figura 3.16. Experimento #6. Toroide con núcleo de aire.....	92
Figura 3.17. Experimento #7. Observación del campo magnético de distintos materiales.....	93
Figura 3.18. Experimento #8. Equipos para la demostración de la Ley de Faraday...	94

ÍNDICE GENERAL

Figura 3.19. Experimento #9. Núcleo de acero silicio con devanados concentrado y distribuido.....	96
Figura. 3.20. Experimento #10. Módulo para visualizar el efecto de las corrientes parásitas en los núcleos laminado y macizo.....	100
Figura 3.21 Mesa para movilizar los experimentos.....	104
Figura 3.22. Caja para almacenar los experimentos.....	105
Figura 4.1 Resultados del experimento #1. Orientación de las líneas de fuerza.....	107
Figura 4.1. (a) Polos opuestos enfrentándose.....	107
Figura 4.1. (b) Polos iguales enfrentándose.....	108
Figura 4.2. Resultado del experimento # 2. Deflexión de la aguja de la brújula.....	109
Figura 4.3. Resultado del Experimento #3. Orientación de las líneas de campo magnético en una espira rectangular.....	111
Figura 4.3. (a) Vista de planta del experimento.....	110
Figura 4.3. (b) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.....	111
Figura 4.4. Resultado del Experimento #4. Líneas de campo magnético en espiras rectangulares conectadas en paralelo.....	113
Figura 4.4. (a) Vista de planta del experimento.....	113
Figura 4.4. (a) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.....	113
Figura 4.5. Resultado del experimento #5. Líneas de campo magnético en un solenoide.....	115
Figura 4.5. (a) Vista de planta del arrollado.....	115
Figura 4.5. (a) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.....	115
Figura 4.6. Resultado del Experimento #6. Líneas de campo magnético en un Toroide.	117

ÍNDICE GENERAL

Figura 4.6. (a) Vista de planta del arrollado.....	116
Figura 4.6. (b) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.....	117
Figura 4.7. Resultado del Experimento #8. Lectura del galvanómetro.....	118
Figura 4.8. Resultado del Experimento #9 Devanado concentrado.....	120
Figura 4.8. (a) Lectura del voltímetro conectado a la pinza móvil posicionada en un extremo del núcleo.....	120
Figura 4.8. (b) Lectura del voltímetro una vez ubicada la pinza móvil alrededor del devanado conectado.....	120
Figura 4.9. Resultado del Experimento #9 Devanado distribuido.....	121
Figura 4.9. (a) Lectura del voltímetro conectado a la pinza móvil posicionada en un extremo del núcleo.....	121
Figura 4.9. (b) Lectura del voltímetro desplazando la pinza móvil alrededor del núcleo con el devanado distribuido conectado.....	121

TABLAS

1.1 Estadísticas de la asignatura Máquinas Eléctricas I (Años 2005 - 2009).....	4
2.1 Analogía entre los elementos de los circuitos eléctricos y circuitos magnéticos..	41
3.1 Materiales empleados en los experimentos.....	101
4.1. Resultados del experimento #2 para diferentes valores de corriente.....	109

INTRODUCCIÓN

Las máquinas eléctricas son uno de los elementos más importantes para el funcionamiento tanto de la industria como de la vida actual, y es evidente, ya que estos equipos integran los diversos sistemas eléctricos, generadores y consumidores de potencia. En el curso de Máquinas Eléctricas I se comienza a estudiarlas como aquellas que convierten la energía eléctrica en energía mecánica (motores eléctricos) o la energía mecánica en eléctrica (generadores) por medio de un campo magnético; adicionalmente se estudian los transformadores que son dispositivos que convierten la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, por medio de la acción de un campo magnético.

Tal y como se comentó anteriormente, se puede destacar que el estudio del magnetismo es fundamental para el entendimiento de las máquinas eléctricas, su constitución y funcionamiento, además de ser un tópico de difícil comprensión debido a que es un campo muy abstracto, esto y la información de tipo estadístico que brindó la Dirección de Asuntos Estudiantiles de la Facultad de Ingeniería de Universidad de Carabobo con respecto al rendimiento del estudiante estos últimos años, entre otras consideraciones, justifican que el presente trabajo se desarrolle en torno a dicha temática.

El análisis precedente conlleva a la elaboración de experimentos didácticos de tipo experimental, que serán utilizados en las clases de teoría de la asignatura Máquinas Eléctricas I de la escuela de Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, y sirven para demostrar algunos de los fenómenos magnéticos que ocurren en las máquinas y permitir así, a los estudiantes, aclarar dudas y fijar conceptos con este nuevo y dinámico material de apoyo.

INTRODUCCIÓN



El estudio se presenta en cinco capítulos, en el Capítulo I se encuentra el planteamiento del problema, los objetivos propuestos para la resolución del mismo, la justificación de este proyecto y el alcance de la investigación.

En el Capítulo II se incluyen los antecedentes de la investigación, los cuales constan de proyectos e investigaciones previas y sus respectivos aportes, además se establecen las bases teóricas que sustentan la investigación.

En el Capítulo III se especifica el tipo de investigación, los métodos para recolección de datos y análisis de los mismos, así como también la programación necesaria para cumplir con cada uno de los objetivos planteados.

En el Capítulo IV se señalan y analizan los resultados obtenidos después de la elaboración de cada uno de los experimentos.

En el Capítulo V están expresadas las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron luego de ejecutar los objetivos planteados.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo está conformada por seis escuelas, Ingeniería Química, Mecánica, Industrial, Civil, Telecomunicaciones y Eléctrica. Cada una de éstas posee un pensum de estudio donde se establecen las asignaturas afines a la temática de la carrera y al peso académico de las mismas, denominado Unidades de Crédito. Por consiguiente, al cumplir con el mínimo de unidades de crédito requeridos, el bachiller contará con los requisitos para obtener el título que lo acredite como Ingeniero. En el pensum de estudios de la escuela de Ingeniería Eléctrica (ver Anexo A) se plantea como base el conocimiento de las materias Teoría Electromagnética y Circuitos Eléctricos para todas las menciones de la carrera, las cuales son Potencia, Sistemas y Automática, Electrónica y Telecomunicaciones y cada una cuenta con un Departamento asociado a la misma. El pilar académico del Departamento de Potencia se encuentra en las cátedras de Máquinas Eléctricas I (ver Anexo B), Máquinas Eléctricas II (ver Anexo C) y Máquinas Eléctricas III (ver Anexo D), cuyo contenido programático en general está fundamentado en las máquinas de corriente continua y de corriente alterna.

La importancia de las máquinas eléctricas en el funcionamiento de la industria y en la forma de vida actual es evidente; estos equipos integran los diversos sistemas eléctricos, generadores y consumidores de potencia. Las máquinas eléctricas se clasifican en rotativas y estáticas. Las máquinas rotativas son los motores, que son capaces de convertir la energía eléctrica proveniente de una fuente en energía mecánica de rotación para el movimiento de cualquier dispositivo, y los generadores los cuales deben ser capaces de convertir la energía mecánica aplicada a su eje en

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

energía eléctrica que puede ser entregada a una carga. Las máquinas estáticas están compuestas por los transformadores, los cuales convierten la energía eléctrica que reciben en energía eléctrica, sin modificar la frecuencia de la misma [1].

La cátedra de Máquinas Eléctricas I abarca el estudio de tres tópicos, estos son circuitos magnéticos, máquinas de corriente continua y transformadores, donde el análisis de los campos magnéticos es primordial para la materia, como se puede ver en el Anexo B. Los fenómenos magnéticos que ocurren en las máquinas son intangibles, convirtiéndose en un campo abstracto y de difícil comprensión.

En la tabla 1.1 se presentan las estadísticas de número de estudiantes inscritos, aprobados, aplazados y retirados ofrecidas por la Dirección de Asuntos Estudiantiles de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo en los semestres 1-2000 al 2-2010 (ver Anexo E). En ella se puede observar que el promedio de estudiantes inscritos es de 138, así como el 38,92% de estudiantes aprobados, 53,55% de estudiantes aplazados y el 15,56% de estudiantes retirados.

Se puede observar que entre los semestres 2-2007 al 1-2009 un aumento en el número de estudiantes aplazados, así como también de estudiantes retirados en la asignatura Máquinas Eléctricas I.

Adicionalmente se encuentra que en el Curso Especial de Nivelación y Avance (CEAN-Verano) el número promedio de estudiantes aprobados fue de 23 y el número promedio de estudiantes aplazados fue de 18,5.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

Tabla 1.1. Estadísticas de la asignatura Máquinas Eléctricas I (PW6E02), (Años 2000 - 2010)

PERÍODO LECTIVO	INSCRITOS	APROBADOS	%	APLAZADOS	%	RETIRADOS	%
2000-1	-	11	-	1	-	-	-
2000-2	-	20	-	3	-	-	-
2001-1	-	43	-	68	-	-	-
2001-2	-	60	-	68	-	-	-
2002-1	-	68	-	53	-	-	-
2002-2	-	51	-	57	-	-	-
2003-1	-	77	-	50	-	-	-
2003-2	-	64	-	52	-	-	-
2004-1	-	65	-	44	-	-	-
2004-2	-	66	-	42	-	-	-
2005-1	108	55	50,93	40	37,04	13	12,04
2005-2	134	62	46,27	63	49,60	9	6,72
2006-1	141	74	52,48	54	42,19	13	9,22
2006-2	114	46	40,35	54	54,00	14	12,28
2007-1	114	47	41,23	54	53,47	13	11,40
2007-2	149	43	28,86	67	60,71	39	26,17
2008-1	155	44	28,39	78	64,80	33	21,29
2008-2	162	54	33,33	79	59,09	29	17,90
2009-1	165	47	28,48	80	61,01	38	23,03
2009-1 (V)	-	15	-	26	-	-	-
2009-2	-	35	-	85	-	-	-
2010-1	-	78	-	84	-	-	-
2010-1 (V)	-	31	-	11	-	-	-
2010-2	-	47	-	46	-	-	-
Promedio total	138,00	52,05	38,92	57,32	53,55	22,33	15,56

(V) = Verano, - Los espacios en blanco se deben a información no disponible.

Fuente: Dirección de Asuntos Estudiantiles de la Facultad
de Ingeniería de la Universidad de Carabobo

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

Las posibles causas de dicha situación , a juicio previo de los autores, pueden encontrarse en el estudio mecanizado por parte del estudiantado debido a la falta de una buena metodología de aprendizaje, dado que la base conceptual adquirida en la unidad I del programa sinóptico de la asignatura Máquinas Eléctricas I no les permite intuir con mayor profundidad el funcionamiento de las máquinas eléctricas, unidades sucesivas, y también debido a lo extenso de los contenidos (ver Anexo B), estos factores pueden ocasionar a su vez desinterés en el estudiante lo que contribuye a disminuir el rendimiento académico.

En atención a la problemática expuesta se propone el desarrollo de herramientas didácticas que consistirán en construir una serie de experimentos, los cuales serán utilizados en las clases, con el fin de afianzar los conceptos que se imparten en las mismas.

Dichas herramientas ayudarán a visualizar los fenómenos que ocurren en las máquinas eléctricas con un enfoque especial en el magnetismo, dándole al estudiantado una idea más clara de los principios básicos de la asignatura.

Estos experimentos se pueden realizar a través de la construcción de varios modelos físicos didácticos con la utilización de ciertos materiales, como lo son brújulas, imanes, virutas de hierro, entre otros, que permitan demostrar y afianzar los fenómenos magnéticos que se presentan en todas las máquinas eléctricas y además analizar el comportamiento de diferentes materiales en presencia de un campo magnético, esto cubriría la parte de magnetismo.

Para visualizar o demostrar el funcionamiento de las máquinas de corriente continua es factible la aplicación de la Ley de Faraday con materiales como imanes, cobre, entre otros, adicionalmente se pueden observar los diferentes tipos de devanados tales como devanado

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

imbricado y ondulado, por último se puede hacer la representación visual del efecto de la reacción de armadura con un generador casero de una sola bobina.

Para observar el comportamiento del flujo y la tensión inducida así como también para demostrar las pérdidas de energía se pueden realizar experimentos con diferentes tipos de núcleo (macizo, laminado, entre otros) específicamente para el área de transformadores.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar herramientas didácticas de tipo experimentales que permitan visualizar y afianzar los conocimientos acerca de los fenómenos magnéticos que se estudian en la asignatura Máquinas Eléctricas I.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✦ Analizar los temas dictados en la cátedra de Máquinas Eléctricas I para determinar cuáles son los tópicos fundamentales.
- ✦ Seleccionar los temas a desarrollar en la herramienta didáctica según los objetivos de la asignatura.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

- ✦ Diseñar los experimentos que se adecuen más a cada tema seleccionado, en virtud de que sea de fácil entendimiento para el estudiante.
- ✦ Construir y desarrollar los experimentos diseñados para optimizar la enseñanza y el aprendizaje de la cátedra Máquinas Eléctricas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La elaboración de esta herramienta didáctica contribuirá al desarrollo de la línea de investigación “Algoritmo de cálculo, modelación y simulación de sistemas eléctricos y tecnología de enseñanza en formatos electrónicos”, con lo que se presenta una alternativa de enseñanza-aprendizaje que se espera permita optimizar el rendimiento de los alumnos.

La planificación de la enseñanza es una tarea difícil, cuyos resultados deben facultar a los estudiantes para alcanzar el conocimiento en áreas específicas, prepararlos para solucionar problemas más complejos y estimularlos para lograr su buen desempeño como futuros profesionales. El proceso de la transmisión de conocimientos señala que se debe abandonar la costumbre de recitar y escuchar, motivando a los estudiantes a adoptar un método de participación y una mayor actividad creadora.

Al momento de impartir los conocimientos, el educador contará con los experimentos como material de apoyo ya que en los mismos se podrán visualizar los fenómenos magnéticos afianzando los conceptos impartidos en clase. Los estudiantes tendrán una herramienta adicional, con la esperanza de que así se pueda mejorar el índice de aprobados. El recurso didáctico

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

utilizado debe adecuarse al tipo de asignatura, de manera que se presenten al alumno los estímulos ante los cuales debe reaccionar para que se cumpla el proceso de aprendizaje y proporcionen los medios eficaces para explicar e ilustrar la materia objeto de instrucción.

Este proyecto será de gran utilidad para la cátedra de Máquinas Eléctricas I debido a que proporciona a los docentes un material de enseñanza distinto y llamativo de tipo visual, donde se busca que el estudiante mediante la representación gráfica de información aclare sus dudas, refuerce su comprensión, integre nuevos conocimientos (organizando, procesando y priorizando información nueva o ya conocida) e identifique conceptos erróneos; generando satisfacción tanto en los docentes como en el estudiantado indicando que se ha cumplido con el propósito de formar exitosamente a futuros profesionales.

1.4 ALCANCE

En el presente trabajo se elaboró una serie de experimentos en relación con la temática de circuitos magnéticos y los principios básicos del magnetismo, los cuales son la base fundamental para la cátedra Máquinas Eléctricas I.

Los experimentos se realizaron acerca de los temas donde la complejidad del fenómeno no permite a los alumnos observar fácilmente el concepto. Estos se determinaron por medio de encuestas y entrevistas; partiendo de los resultados obtenidos se escogieron los temas y se analizaron para elaborar un bosquejo de los experimentos, el diseño de las herramientas didácticas se hizo basándose en la información anterior de manera de que fue de fácil aplicación y entendimiento para que la cátedra los emplee como instrumentos de enseñanza.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

Es importante la revisión de trabajos anteriores relacionados con la temática del proyecto de grado para tener un punto de partida en la investigación, esto junto con las bases teóricas que sustentan el presente proyecto, obtenidas a partir del análisis bibliográfico realizado, y un compendio de términos básicos conforman el presente capítulo.

2.1 ANTECEDENTES

Los antecedentes están constituidos mayormente por trabajos de grado avalados por universidades de prestigio o reconocidas, también se incluyen investigaciones publicadas y trabajos de ascenso, estos se escogen por la similitud que presentan con el trabajo de grado realizado y el aporte que brindan para el desarrollo del mismo.

En el año 1995 la Profesora Lastenia Meléndez de Laya publicó su trabajo de ascenso denominado “Evaluación formativa de la asignatura Máquinas Eléctricas I de la Escuela de Ingeniería Eléctrica” [2] con el que busca dar una posible solución al problema del índice de reprobados mediante un nuevo tipo de evaluación que permita orientar al docente y al alumno en el dominio del conocimiento de la asignatura y hacer las correcciones necesarias durante el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje, este trabajo sirvió como guía al momento de plantear el problema al que se desea dar una posible solución, y sus potenciales causas, dado que resultó ser el mismo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En un estudio realizado cinco (5) años más tarde, en el año 2000, Ramos, Elieser J. elaboró un trabajo especial de grado titulado “Aplicaciones interactivas asistidas por computador para la enseñanza de Máquinas Eléctricas II parte: Flujo Magnético y Campo magnético giratorio” [3], referido a los fenómenos que ocurren en las máquinas de corriente alterna por lo que se utilizó como guía al momento de definir los objetivos a realizar en este proyecto.

Una idea semejante se presentó ese mismo año con un trabajo de ascenso de la Profesora Lastenia Meléndez de Laya titulado “Animación computarizada aplicada a la enseñanza del funcionamiento de la Máquina de Corriente Continua” [4], este instrumento didáctico tiene información de herramientas de apoyo docente para la explicación de eventos físicos y además contiene documentación relacionada con las diferentes metodologías utilizadas en el proceso de enseñanza, estas fueron estudiadas para determinar el método más apropiado para el desarrollo del presente proyecto de grado.

Dentro de esta perspectiva, en el año 2002 se encuentra en el trabajo de grado de Aquino, Francisco y Valera, Jesús llamado “Aplicaciones interactivas asistidas por el computador para la enseñanza de transformadores monofásicos” [5] el cual presenta animaciones de las partes constitutivas de los transformadores y de algunos fenómenos magnéticos con sus respectivos textos y explicaciones, lo cual sirve como punto de partida para la herramienta que se desea desarrollar dado que los experimentos mostrarán el comportamiento de los fenómenos magnéticos que ocurren en los transformadores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En ese mismo año Campos, Lino y Pantoja, Salomón desarrollaron un “Sistema multimedia interactivo y didáctico para el aprendizaje de Circuitos Magnéticos en Corriente Continua y Alterna” [6], donde se busca, al igual que en este proyecto, poner de manifiesto la relación entre los conceptos teóricos impartidos en las clases y sus aplicaciones reales.

De igual modo Oropeza, Rubén y Ricardi, Iván presentaron el trabajo especial de grado “Aplicaciones interactivas asistidas por computador para la enseñanza de Máquinas Eléctricas IV parte: Motor de Inducción y Motores Monofásicos de Corriente Alterna” [7], en el 2002, cuyo principal objetivo era lograr la visualización de los fenómenos mediante módulos de simulación haciendo uso de todas las ventajas que ofrece el computador y sirvió como soporte del presente proyecto en el aspecto de los tipos y las teorías de aprendizaje, que a pesar de no ser la base fundamental del proyecto mencionado se encuentran explicadas con detalle.

Uno de los componentes más importantes publicados en el año 2002 fueron los videos de las clases del curso de Electricidad y Magnetismo dictadas por el Profesor Walter Lewin del Massachusetts Institute of Technology (MIT) [8], las cuales sirvieron como base para desarrollar la idea de utilizar herramientas experimentales como apoyo en las clases teóricas de la asignatura Máquinas Eléctricas I.

Por otra parte, en el año 2003, Rodríguez, Rosmina presentó el trabajo especial de grado denominado “Diseño de un Sistema de ayuda Multimedia para el Laboratorio de la asignatura Máquinas Eléctricas I” [9], el cual facilita el estudio, la comprensión y la autoevaluación del contenido teórico-práctico referente a la mencionada asignatura, al revisar dicho material se observó que se dedicaba exclusivamente a la parte de Máquinas

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Eléctricas de corriente Continua y Transformadores dejando por fuera la temática de Magnetismo que es de gran importancia para el entendimiento de todas las Máquinas Eléctricas, lo cual contribuyó a seleccionar el tópico de Magnetismo como base de las herramientas a desarrollar.

El principal objetivo del presente capítulo consiste en fundamentar teóricamente la herramienta didáctica a desarrollar en este proyecto de grado y todos los temas que sean necesarios para su aplicación y el entendimiento de la misma.

2.2 BASES TEÓRICAS

Las primeras evidencias de la existencia de la electricidad se observaron en el año 600 AC cuando el filósofo griego Tales de Mileto estudió el comportamiento de una resina fósil (ámbar) la cual denominó *elektron*, esta palabra griega dio origen al término electricidad. El investigador inglés William Gilbert descubrió que, además del ámbar, otras materias, tales como el cristal, adquirirían propiedades eléctricas con el frotamiento.

Pasados los años, en 1733, el químico francés Charles-Francis descubrió que mediante el frotamiento de dos varillas de ámbar o cristal, ambas se repelían, mientras que una varilla de vidrio atraía a otra de ámbar igualmente electrificada. Y cuando se las hacía entrar en contacto, ambas perdían su carga eléctrica.

A su vez Benjamín Franklin, alrededor del año 1752, también se dedicó al estudio de los fenómenos de la electricidad, argumentó que se trataba de un solo fluido. Cuando se frotaba el vidrio, la electricidad fluía hacia su interior cargándolo positivamente; por otra parte, cuando se

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

frotaba el ámbar, la electricidad escapaba de él, dejándolo cargado negativamente. Y cuando una varilla negativa establecía contacto con otra positiva, el fluido eléctrico pasaba de la positiva a la negativa hasta lograr el equilibrio neutral [10].

Los antiguos griegos tenían conocimiento del magnetismo desde el año 800 A.C. Descubrieron que la magnetita atrae pedazos de hierro. La leyenda atribuye el nombre de *magnetita* al pastor Magnes, quien atraía trozos de magnetita con los clavos de sus zapatos y la punta de báculo mientras apacentaba su rebaño.

En el año 1269 un francés llamado Pierre de Maricourt trazó las direcciones que seguía una aguja colocada en diversos puntos sobre la superficie de un imán natural esférico. Encontró que las direcciones formaban líneas que encerraban en un círculo a la esfera y que pasaban por dos puntos diametralmente opuestos el uno del otro, a los cuales llamó *polos del imán*. Experimentos subsiguientes mostraron que todo imán, sin importar su forma, tiene dos polos, llamados polos *norte* y *sur*, los cuales ejercen fuerzas sobre otros polos magnéticos de manera análoga a las fuerzas que ejercen entre sí las cargas eléctricas.

Aunque la fuerza entre dos polos magnéticos es similar a la fuerza entre dos cargas eléctricas, existe una importante diferencia. Las cargas eléctricas pueden aislarse (lo que corrobora el electrón y el protón), en tanto que un polo magnético individual nunca se ha aislado. Es decir, los polos magnéticos siempre se encuentran en pares.

La relación entre el magnetismo y la electricidad fue descubierta en 1819 cuando, durante una conferencia demostrativa, el científico danés Hans Christian Oersted encontró que una corriente eléctrica en un alambre desviaba la aguja de una brújula cercana. Poco tiempo después los científicos franceses Jean-Baptiste Biot y Félix Savart descubrieron la relación entre la corriente

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

y el campo magnético que esta produce y seguidamente en el año 1826 el científico André Ampère, formuló leyes cuantitativas para calcular la fuerza magnética ejercida sobre un conductor por otro conductor eléctrico que porta corriente. También sugirió que, a nivel atómico, las espiras de corriente eléctrica son responsables de todos los fenómenos magnéticos [11].

Los aportes obtenidos de los experimentos realizados por numerosos científicos han permitido a la civilización desarrollarse continuamente y seguir realizando mejoras en la tecnología y otros campos donde es posible la aplicación de los principios básicos de magnetismo y electricidad.

2.2.1 Ley de Coulomb del Magnetismo

En el magnetismo se estudian las características y fenómenos producidos por imanes, estos son cuerpos que poseen la propiedad de atraer el hierro y otros materiales ferromagnéticos. Coulomb determinó experimentalmente en 1785, al suspender una barra imantada por su zona media y dejándola en libertad de que gire, que ésta se alinea con el campo magnético de la tierra, al extremo de la barra que apunta hacia el norte se le llama polo norte del imán y al que apunta hacia el sur magnético de la tierra se le llama polo sur del imán.

Sucede que uno de los polos de la barra está sometido a una fuerza en determinado sentido mientras que el otro polo está sometido a una fuerza de igual magnitud pero de sentido contrario con lo cual se produce un par que tiende a alinear la barra en el sentido del campo exterior. Una vez alineada la barra esta no presenta tendencia a desplazarse en ningún sentido, lo cual sugiere que el poder magnético de ambos polos de la barra es el mismo pero de naturaleza opuesta y se puede representar mediante líneas de fuerza cerradas cuyo recorrido se observa en la figura 2.1 (líneas saliendo del polo norte del imán y entrando por el polo sur del mismo) [1].

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

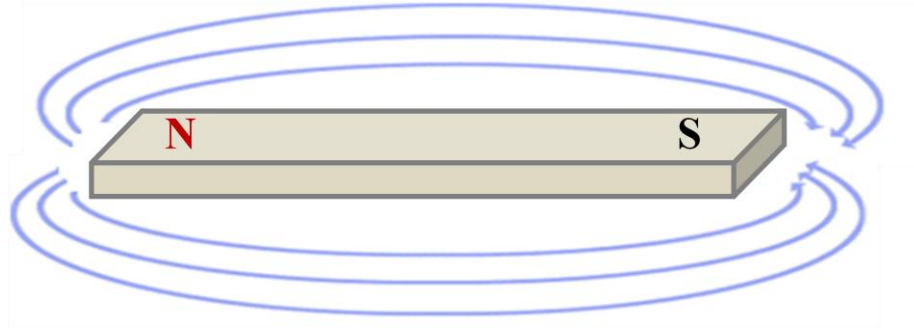


Figura 2.1. Polos de un imán y sus líneas de campo magnético

Fuente: Los autores.

Cabe destacar que resulta imposible separar los polos de un imán, ya que si se tiene una barra imantada con dos polos y se secciona en cualquier parte con intención de separarlos, se forman dos nuevos imanes cada uno con sus respectivos polos (norte y sur), si se acercan dos imanes por polos del mismo nombre se repelen, mientras que si se acercan por sus polos de distinto nombre se atraen tal como se muestra en la figura 2.2.

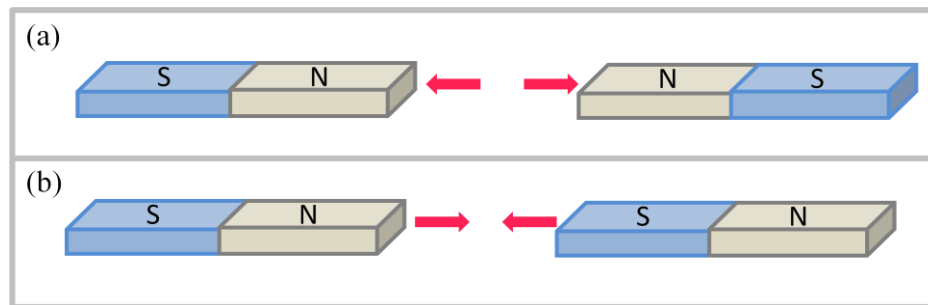


Figura 2.2. Fuerza actuante entre dos imanes. (a) Fuerza de repulsión entre caras de polaridad igual. (b) Fuerza de atracción entre caras de distinta polaridad.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Coulomb en uno de sus experimentos utilizó barras de gran longitud de tal manera que trabajando en las cercanías de uno de sus extremos, éste podía ser considerado como un polo aislado ya que la influencia del otro polo en esta zona era despreciable. La Ley de Coulomb para la magnitud de la fuerza entre dos polos aislados y separados por una distancia “r” se indica en la ecuación 2.1.

$$|\vec{F}| = \frac{p'_1 \times p'_2}{\mu_a \times r^2} \quad (2.1)$$

Donde:

$|\vec{F}|$: Magnitud de la fuerza de atracción o repulsión según la naturaleza de los polos. Unidades: Newton [N] en el Sistema Internacional.

p'_1 Y p'_2 : Poder magnético de cada polo y se mide en Weber en el Sistema Internacional.

μ_a : Permeabilidad absoluta del medio circundante. Unidades: $[Wb^2/N \cdot m^2]$ en el Sistema Internacional.

r : Distancia que separa los polos magnéticos. Unidades: metros [m] en el Sistema Internacional.

2.2.2 Intensidad de campo magnético H

Se conoce como vector de intensidad de campo magnético a la cantidad de fuerza magnética en un punto ejercida por una fuente de magnetismo (imán, corriente) y su expresión está dada por

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}_{magn\acute{e}tica}}{p'} \quad (2.2)$$

Donde:

$\vec{H}$: Vector intensidad de campo magnético y se mide en Lenz [L].

$\vec{F}_{magn\acute{e}tica}$: Fuerza de atracción o repulsión según la naturaleza de los polos. Unidad: Newton [N].

p' : Polo magnético aislado. Tiene como unidad Weber [Wb].

2.2.3 Ley de Biot-Savart

Poco después de que Oersted descubriera en 1819 que la aguja de una brújula era desviada por un conductor que llevaba corriente, Jean-Baptiste Biot y Félix Savart realizaron experimentos cuantitativos sobre la fuerza ejercida por una corriente eléctrica sobre un imán cercano, a partir de esos resultados llegaron a una expresión matemática que proporciona el campo magnético en algún punto en el espacio en términos de la corriente que produce el campo magnético. Fundamentalmente la Ley de Biot-Savart se utiliza para calcular el campo magnético producido en algún punto del espacio por un pequeño elemento de corriente y partiendo de este principio se puede calcular el campo magnético total debido a varias distribuciones de corriente.

Dicha expresión está basada en las siguientes observaciones experimentales para el campo magnético $d\vec{B}$ en un punto P asociado con un elemento de longitud $d\vec{s}$ de un alambre que conduce una corriente estable I [11], representado en la figura 2.3.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

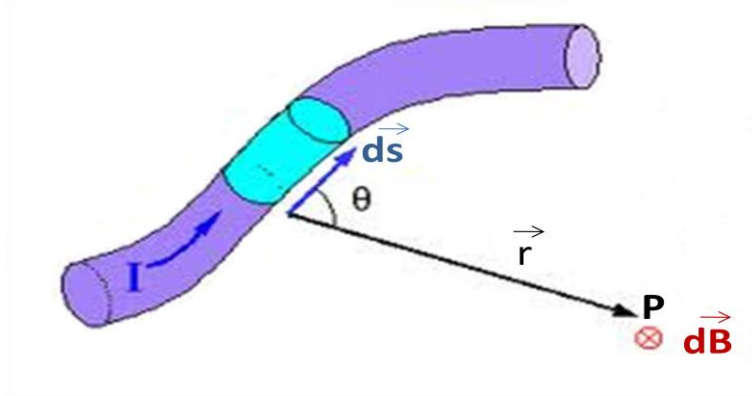


Figura 2.3. Campo magnético en un punto debido a la corriente que circula por un conductor.

Fuente: Los autores.

Propiedades del campo magnético creado por una corriente eléctrica:

- El vector $d\vec{B}$ es perpendicular tanto a $d\vec{s}$ como al vector unitario $\hat{r}$ dirigido desde $d\vec{s}$ a P.
- La magnitud de $d\vec{B}$ es inversamente proporcional a r^2 , donde r es la distancia desde $d\vec{s}$ hasta P.
- La magnitud de $d\vec{B}$ es proporcional a la corriente y a la magnitud $d\vec{s}$ del elemento de longitud $d\vec{s}$.
- La magnitud de $d\vec{B}$ es proporcional a $\sin\theta$, donde θ es el ángulo entre los vectores $d\vec{s}$ y $\hat{r}$.

Estas observaciones se resumen en la fórmula matemática de la Ley de Biot-Savart:

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} I \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.3)$$

Donde:

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$: Permeabilidad del espacio libre $[T \cdot m/A]$.

I: Corriente en Amperios [A] que circula por el conductor.

B: Densidad de campo magnético, se mide en Tesla [T].

r : Distancia entre el punto P y el diferencial de superficie escogido. Unidad: metros [m].

Para encontrar el campo magnético total $\mathbf{B}$ creado en algún punto por una corriente de tamaño finito, deben sumarse las contribuciones de todos los elementos de corriente $I \cdot d\vec{s}$ que conforman la corriente.

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_o I}{4\pi} \int \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.4)$$

Se puede determinar el campo magnético en un punto P ejercido por un hilo conductor de longitud infinita aplicando la ley de Biot-Savart. Partiendo de la ecuación fundamental de esta ley se espera que la magnitud del campo sea proporcional a la corriente en el conductor y disminuya conforme aumente la distancia a desde el hilo conductor al punto P. Comience por considerar un elemento de longitud $d\vec{s}$ que está a una distancia r de P. La dirección del campo magnético en el punto P debido a la corriente en este elemento apunta hacia afuera de la página, pues $d\vec{s} \times \hat{r}$ se orienta hacia afuera de la página. De hecho, dado que todos los elementos de corriente y $I \cdot d\vec{s}$ están en el plano de la página, todos ellos producen un campo magnético dirigido hacia afuera de

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

la página en el punto P . Por tanto, se tiene la dirección del campo magnético en el punto P , y sólo se necesita determinar la magnitud.

Tomando el origen en O y dejando que P este a lo largo del eje y positivo, con $\mathbf{k}$ como el vector unitario que apunta hacia afuera de la página, se ve que

$$d\vec{s} \times \hat{r} = \mathbf{k} |d\vec{s} \times \hat{r}| = \mathbf{k} (dx \cdot \sin\theta) \quad (2.5)$$

Donde, el módulo de $d\vec{s} \times \hat{r}$ representa la magnitud de $d\vec{s} \times \hat{r}$. Puesto que $\hat{r}$ es un vector unitario, la unidad del producto cruz es simplemente la unidad de $d\vec{s}$ que es longitud. Al sustituir en la ecuación (2.3) se obtiene

$$d\vec{B} = (d\vec{B})\mathbf{k} = \frac{\mu_o I}{4\pi} \frac{dx \cdot \sin\theta}{r^2} \mathbf{k} \quad (2.6)$$

Puesto que todos los elementos de corriente producen un campo magnético en la dirección $\mathbf{k}$, se tomara en cuenta la magnitud del campo debido a un elemento de corriente, la cual es:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o I}{4\pi} \frac{dx \cdot \sin\theta}{r^2} \quad (a)$$

Para integrar esta expresión, se deben relacionar la variables θ , $\hat{r}$ y x . Una aproximación es expresar x y $\hat{r}$ en términos de θ . A partir de la geometría de la figura 2.4(a) se tiene

$$r = \frac{a}{\sin\theta} = a \cdot \csc\theta \quad (b)$$

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Puesto que $\tan\theta = a/-x$ según el triángulo recto en la figura 2.4(a) (el signo negativo es necesario porque $d\vec{s}$ se localiza en un valor negativo de x), se tiene

$$x = -a \cdot \cot\theta$$

Tomando la derivada de esta expresión se obtiene

$$dx = a \cdot \csc^2\theta \cdot d\theta \quad (c)$$

La sustitución de las ecuaciones (b) y (c) en la ecuación (a) produce

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \frac{a \cdot \csc^2\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta}{a^2 \cdot \csc^2\theta} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi a} \sin\theta \cdot d\theta \quad (d)$$

Una expresión en la cual la única variable es θ . Ahora se puede obtener la magnitud del campo magnético en el punto P integrando la ecuación (d) sobre todos los elementos que comprenden ángulos que varían de θ_1 a θ_2 como se define en la figura 2.4(b).

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi a} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta \cdot d\theta = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi a} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (2.7)$$

Como se trata de un hilo conductor de longitud infinita, la longitud en el eje x varía entre $+\infty$ y $-\infty$ por lo que el ángulo $\theta_1 = 0$ y el ángulo $\theta_2 = \pi$. Sustituyendo los valores de los ángulos en la expresión anterior se obtiene el campo magnético en el punto P

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi a} \quad (2.8)$$

Donde:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$: Permeabilidad del espacio libre $[T \cdot m/A]$.

I: Corriente que circula por el conductor, se mide en Amperios [A].

B: Densidad de campo magnético. Unidad: Tesla [T].

a : Distancia vertical desde el hilo conductor hasta el punto donde se desea conocer el campo magnético. Unidad: metros [m].

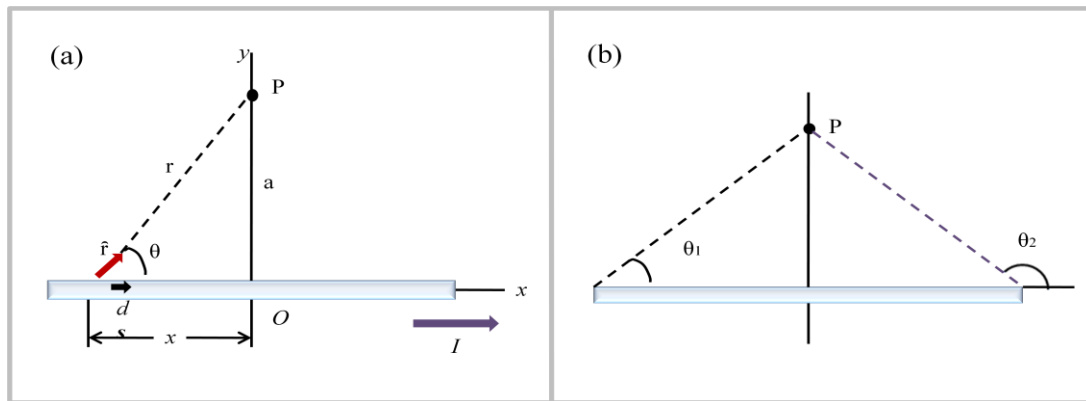


Figura 2.4. (a) Esquema trigonométrico de la fuerza en un punto ejercida por un hilo conductor infinito.
(b) Ángulos con respecto al eje x en los extremos del hilo conductor.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.2.4 Ley de Ampère

André Ampère fue uno de los primeros en dedicarse al estudio del magnetismo sugiriendo que la imanación de un material se debe a la orientación de las moléculas que lo componen, donde dichas moléculas están compuestas por átomos y estos a su vez por electrones (cargas negativas) y protones (cargas positivas). El flujo de electrones genera una corriente y alrededor de esta corriente se crea un campo magnético.

La intensidad de campo H se definió como la fuerza que actúa sobre una unidad de polo colocada en un campo magnético. Supongamos el caso de un hilo recto de longitud infinita que transporta una corriente continua de valor I . La fuerza H será constante en todos los puntos de una circunferencia de radio R concéntrica con el hilo, por lo tanto si se toma una unidad de polo y se desplaza una sola vez alrededor del hilo conductor y contra la acción de H , se realizara un trabajo igual a:

$$W = H \times 2\pi R = \frac{I}{2\pi R} \times 2\pi R = I \quad (2.9)$$

Donde:

W : Trabajo requerido para mover una unidad de polo. Unidad: Joule [J].

H : Intensidad de campo magnético. Unidad: Lenz [L].

R : Radio de la circunferencia concéntrica con el hilo conductor. Unidad: metros [m].

I : Corriente que circula por el conductor. Unidad: Amperios [A].

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

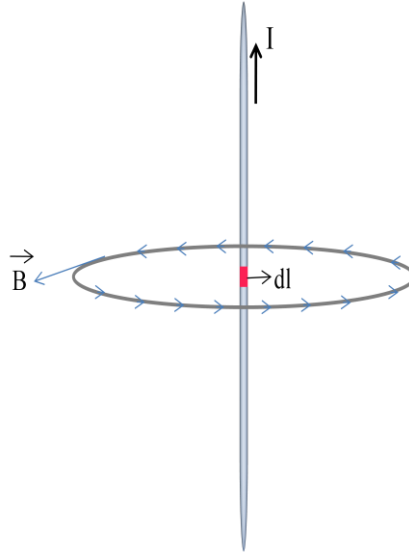


Figura 2.5. Hilo conductor de longitud infinita por el cual circula una corriente de magnitud I .

Fuente: Los autores.

Es decir, el trabajo realizado al desplazar la unidad de polo una sola vez en una trayectoria cerrada que envuelve la corriente es igual a la corriente enlazada.

El trabajo realizado es el mismo independientemente de la trayectoria cerrada usada para desplazar la unidad de polo, pero si se usa una trayectoria distinta de la que se usó, el campo H en general será distinto en cada punto de la trayectoria con la cual será necesario aplicar la expresión matemática de la Ley de Ampère:

$$\oint H \, dl = I \quad (2.10)$$

Al aplicar la Ley de Ampère lo que se determina es la energía (trabajo) necesaria para mover una unidad de polo a lo largo de una trayectoria cerrada [11].

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

✦ Aplicación de la Ley de Ampère a un solenoide de longitud finita.

Un solenoide es un alambre largo, enrollado en forma de hélice compacta, que transporta una corriente i , la cual produce un campo magnético de valor casi constante a lo largo de su eje, excepto en las proximidades de sus extremos, éste se observa en la figura 2.6.

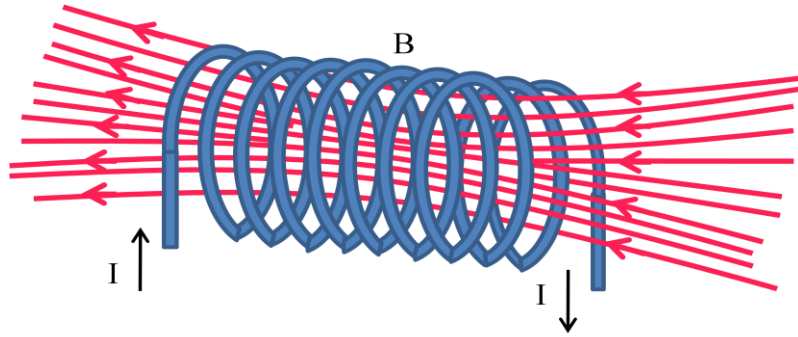


Figura 2.6. Solenoide con campo constante a lo largo del eje.

Fuente: Los autores.

La magnitud del campo magnético en el eje del solenoide se obtiene aplicando la ecuación 2.11.

$$\vec{H} = \frac{NI}{\sqrt{4R^2 + l^2}} \quad (2.11)$$

Donde:

N : Número de vueltas del solenoide.

I : Corriente que circula por la bobina, se mide en Amperios [A].

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

R : Radio del solenoide Unidad: metros [m].

l : Longitud del solenoide se mide en metros [m].

✦ Aplicación de la Ley de Ampère a un solenoide de longitud infinita.

Se puede usar la ley de Ampère para obtener una expresión para el campo magnético interior en un solenoide ideal producido por una corriente I (figura 2.7). Puesto que el solenoide es ideal, $\mathbf{B}$ en el espacio interior es uniforme y paralelo al eje, y $\mathbf{B}$ en el espacio exterior es cero. Considere la trayectoria rectangular de longitud l y ancho w mostrada en la figura 2.7. Se puede aplicar la ley de Ampère a esta trayectoria al evaluar la integral de $\mathbf{B} \cdot d\vec{s}$ sobre cada lado del rectángulo. La contribución a lo largo del lado 3 es cero, puesto que $B = 0$ en esta región. Las contribuciones de los lados 2 y 4 son cero porque $\mathbf{B}$ es perpendicular a $d\vec{s}$ a lo largo de estas trayectorias. El lado 1 brinda una contribución $B \cdot l$ a la integral, pues a lo largo de esta trayectoria $\mathbf{B}$ es uniforme y paralela a $d\vec{s}$. En consecuencia, la integral sobre la trayectoria rectangular cerrada es:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\vec{s} = \int_{\text{Trayectoria 1}} \mathbf{B} \cdot d\vec{s} = B \int_{\text{Trayectoria 1}} d\vec{s} = Bl \quad (2.12)$$

Trayectoria 1 Trayectoria 1

El lado derecho de la ley de Ampère incluye la corriente total que pasa por el área delimitada por la trayectoria de integración. En este caso, la corriente total a través de la trayectoria rectangular es igual a la corriente que pasa por cada vuelta multiplicada por el número de vueltas. Si N es el número de vueltas en la longitud l , entonces la corriente total a través del rectángulo es NI . Por tanto, la ley de Ampère aplicada a esta trayectoria produce

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = Bl = \mu_0 \cdot NI \quad (2.13)$$

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 n I \quad (2.14)$$

Donde:

$n = N/l$: número de vueltas por unidad de longitud.

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$: Permeabilidad del espacio libre [$T \cdot m/A$].

I : Corriente que circula por la bobina, se mide en Amperios [A].

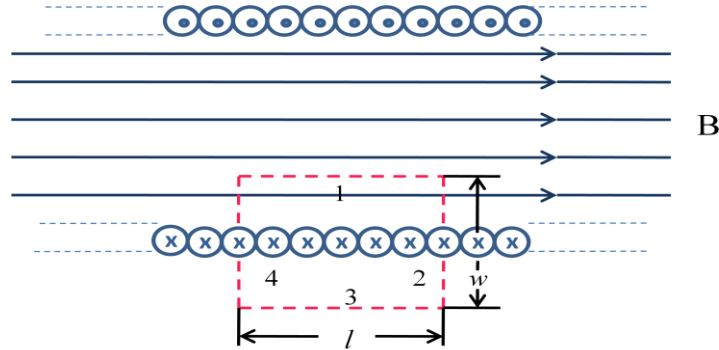


Figura 2.7. Vista transversal de un solenoide ideal, donde el campo magnético interior es uniforme y el campo exterior es cero.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

✦ Aplicación de la Ley de Ampère a un toroide.

Para eliminar el efecto terminal que se presenta en los extremos del solenoide se arrolla la bobina de manera uniforme sobre un núcleo toroidal cerrado, con lo cual el campo magnético en todos los puntos a lo largo de su eje se vuelve constante. Si se desea conocer el campo magnético producido por una bobina toroidal, semejante a la mostrada en la figura 2.8, puede aplicarse la Ley de Ampère, escogiendo como trayectoria cerrada la que pasa justamente por el eje del toroide, es decir:

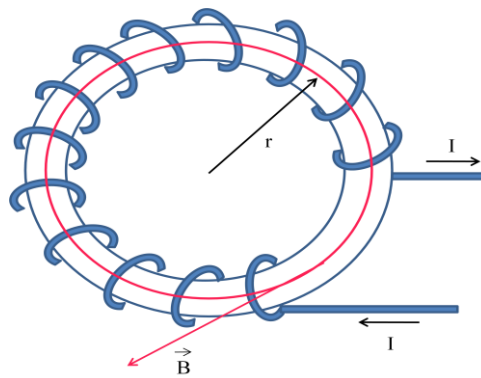


Figura 2.8. Toroide con campo constante a lo largo de toda su trayectoria.

Fuente: Los autores.

$$\oint H \, dl = NI \quad (2.15)$$

Como el campo H es constante en todos los puntos de la trayectoria, puede salir de la integral con lo cual:

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{NI}{2\pi R} \quad (2.16)$$

Donde:

N : Número de vueltas del toroide.

I : Corriente que circula por la bobina, se mide en Amperios [A].

R : Radio de la circunferencia que describe el campo magnético (H) que genera la corriente.

Unidad: metros [m].

Al producto NI se le denomina *fuerza magnetomotriz* y puede interpretarse como la energía o trabajo que se requiere para transportar la unidad de polo una sola vez a lo largo de un contorno cerrado que encierra la bobina [11].

2.2.5 Materiales Ferromagnéticos

Los materiales ferromagnéticos son aquellos que presentan propiedades magnéticas elevadas aún en presencia de campos magnéticos muy débiles, a la temperatura ambiente y por encima de ella sin sobrepasar la temperatura de Curie; para los materiales ferromagnéticos esta temperatura ocurre cuando el movimiento térmico es suficientemente grande para vencer las fuerzas de alineación de los dipolos. Los principales materiales ferromagnéticos son el hierro, cobalto, níquel y sus aleaciones [12].

Estos materiales están compuestos por pequeñas zonas llamadas dominios que tienen la particularidad de tener un campo magnético resultante en una dirección y sentido definidos, de tal

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

manera que cada dominio puede considerarse como un pequeño dipolo magnético o imán. El material ferromagnético sin embargo no presenta propiedades magnéticas ya que el campo magnético resultante de cada dominio está orientado al azar y en conjunto sus efectos se anulan.

Cuando el material se somete a la acción de un campo magnético externo, estos pequeños campos se alinean con la dirección del campo externo de tal manera que todos los dipolos alineados y actuando conjuntamente producen un nuevo campo magnético de magnitud mucho mayor que el campo magnético original que orientó los dominios [1], ver figura 2.9.

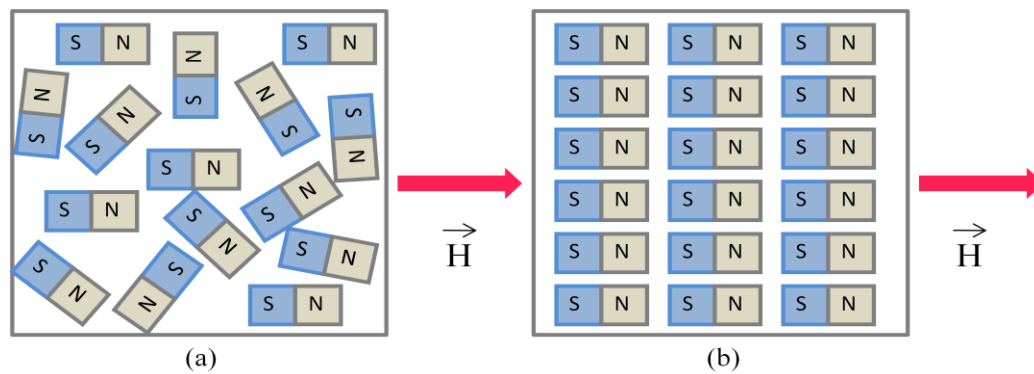


Figura 2.9. (a) Dominios de un material ferromagnético desalineados. (b) Dominios alineados debido a la acción de un campo magnético externo aplicado.

Fuente: Los autores.

✦ Curva de histéresis

El ciclo de histéresis es una gráfica con forma de hoja que representa la relación entre la intensidad de campo magnético H y la densidad de campo magnético B , donde el área bajo la curva constituye las pérdidas generadas por la magnetización y desmagnetización del material al

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

cual se le estén aplicando las pruebas, como se muestra en la figura 2.10. Su nombre proviene del griego y significa retraso indicando con ello el retardo en la imanación de un material respecto al campo aplicado. Cada material tiene asociada una curva de histéresis característica, esta histéresis, que en algunos materiales resulta muy grande, es la que permite la existencia de imanes permanentes muy potentes.

La relación H vs B o curva de imanación de cada material ferromagnético se obtiene únicamente mediante pruebas donde se aplican campos magnéticos variables al material en estudio. Las sustancias ferromagnéticas con mucha histéresis se llaman *duras*, mientras que las que presentan poca se denominan *blandas o dulces*.

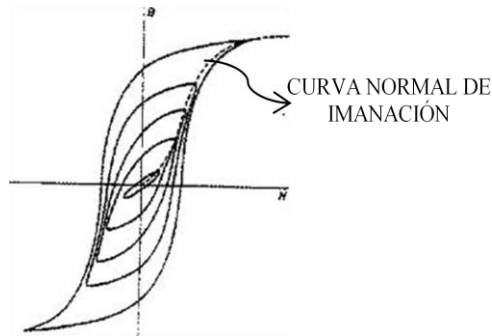


Figura 2.10. Curva de histéresis de un material ferromagnético

Fuente: Los autores.

2.2.6 Densidad de campo magnético B

Es el campo magnético resultante entre la sumatoria del campo magnético debido a la corriente más el campo debido a la alineación de los dipolos. La densidad de campo magnético B depende del medio en el que se ubica el punto donde se mide, y se relaciona con el campo H (Intensidad de campo magnético) de la siguiente forma:

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

$$B = \mu \cdot H \quad (2.17)$$

En los materiales ferromagnéticos, μ tiene un valor elevado y no es uniforme, lo que significa que su magnitud depende del módulo de H . Para los demás materiales, sean aislantes o conductores eléctricos, la permeabilidad es prácticamente la del vacío [12]:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H/m]$$

Donde:

B : Densidad de campo magnético, se mide en Tesla [T].

H : Intensidad de campo magnético, su unidad es Lenz [L]. μ : Permeabilidad del medio. Unidad: [H/m].

✦ Flujo magnético

El flujo total o número total líneas que atraviesan un área donde existe una inducción magnética B uniforme, ver figura 2.11, será igual al producto del área por la componente de B normal al área [1].

$$\phi = \int B \cdot \cos\alpha \cdot ds \quad (2.18)$$

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

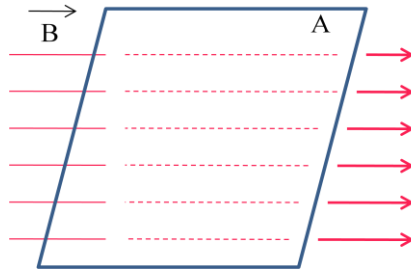


Figura 2.11. Líneas de campo magnético $\vec{B}$ en un área.

Fuente: Los autores.

Como el campo magnético aplicado es uniforme la ecuación anterior queda

$$\phi = B \cdot \cos\alpha \int ds \quad (2.19)$$

Por lo que

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha \quad (2.20)$$

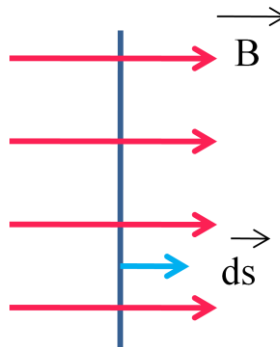


Figura 2.12. Vista transversal de las líneas de campo magnético B.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Y como el campo es perpendicular al área como se observa en la figura 2.12, entonces

$$\phi = B \cdot A \quad (2.21)$$

Donde:

ϕ : Flujo magnético a través del área y se mide en Weber [Wb].

B : Magnitud de la densidad de campo magnético, se mide en Tesla [T].

A : Área transversal a las líneas de campo. Unidad: metros [m].

α : Ángulo existente entre la normal al área y la dirección de B .

2.2.7 Ley de Faraday

Si se tiene una bobina de N espiras que enlaza un flujo variable en el tiempo, se induce en ella una tensión proporcional al número de espiras de la bobina y a la velocidad con que cambia el flujo enlazado en el tiempo, es decir:

$$e = \pm N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.22)$$

Donde:

e : Tensión Inducida medida en voltios [V].

N : Número de espiras de la bobina.

ϕ : Flujo magnético variable en el tiempo. Unidad: Weber [Wb].

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Si el circuito de la bobina se cierra circulará una corriente inducida que producirá un flujo que se opone en todo momento al crecimiento o decrecimiento del flujo que la induce (**Ley de Lenz**), la polaridad instantánea de la tensión inducida puede determinarse entonces con la Ley de Lenz.

Faraday comprobó que un campo magnético puede inducir tensiones en un circuito eléctrico (y corrientes si el circuito es cerrado) siempre y cuando exista movimiento relativo entre el campo magnético y el circuito [1], ver figura 2.13.

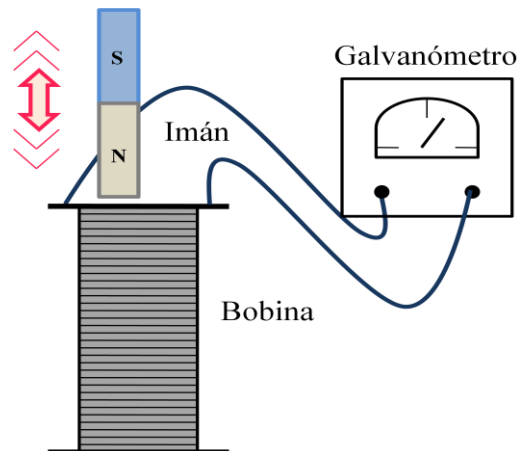


Figura 2.13. En presencia de movimiento relativo entre la bobina y el imán se registra una variación en el galvanómetro.

Fuente: Los autores.

2.2.8 Circuitos Magnéticos

Un circuito magnético es una trayectoria cerrada que indica el recorrido seguido por las líneas de flujo magnético, dentro de un material de alta permeabilidad y sección transversal aproximadamente uniforme que puede presentar espacios de aire cortos denominados entrehierros [1].

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

✦ Circuito magnético toroidal de sección uniforme

- Con bobinas uniformemente distribuidas

Se tiene un toroide de material ferromagnético que tiene arrollada una bobina uniformemente a lo largo de toda su longitud, tal como se observa en la figura 2.14. La intensidad de campo magnético H producida por la bobina en cualquier punto a lo largo de su eje es constante y su relación con la fuerza magnetomotriz (NI) según la Ley de Ampere es:

$$NI = Hl \quad (2.23)$$

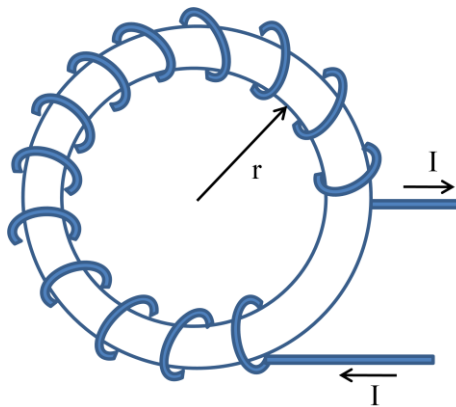


Figura 2.14. Circuito magnético toroidal con devanado distribuido.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

- Con bobinas concentradas

Cuando la bobina tiene este tipo de arrollado, figura 2.15, en cualquier zona del toroide los campos magnéticos elementales se orientan y estos a su vez van orientando a los campos adyacentes en forma encadenada hasta que se magnetiza el material por inducción en toda su longitud, por lo que la intensidad de campo magnético H es el mismo para ambos tipos de arrollados.

La diferencia con el caso anterior está en que ahora algunas líneas de flujo tienen una trayectoria que no abarca la totalidad de la longitud del toroide sino que se cierran por otros caminos a través del aire.

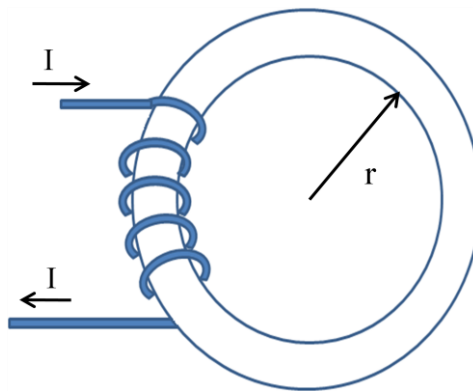


Figura 2.15. Circuito magnético toroidal con devanado concentrado.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

✦ Circuitos magnéticos mixtos

Un circuito magnético simple se convierte en un circuito magnético mixto al poseer un núcleo de dos materiales ferromagnéticos distintos, representados en la figura 2.16 (a), o un mismo material ferromagnético pero con secciones transversales de diferente tamaño, figura 2.16 (b). Si el circuito mixto se encuentra bajo condiciones de no saturación el comportamiento será igual al de un circuito simple y por ende el flujo presente en el núcleo tendrá la misma magnitud en ambos [1].

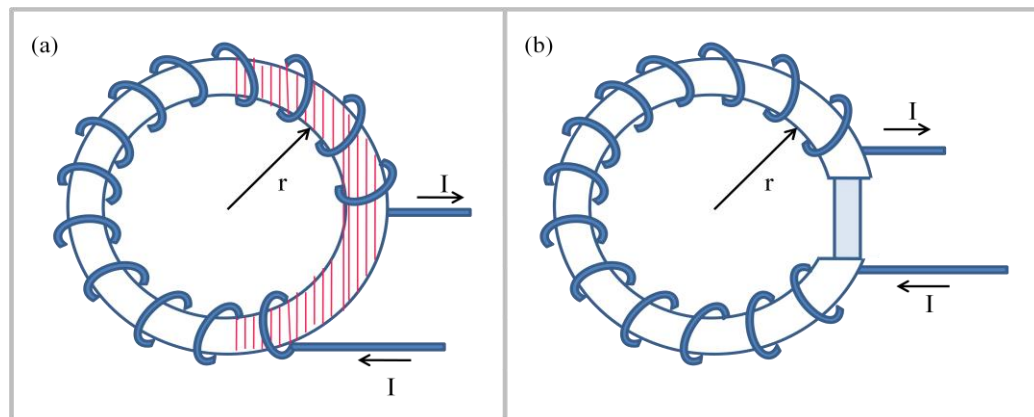


Figura 2.16. Circuitos magnéticos mixtos. (a) Circuito magnético con núcleo de dos materiales ferromagnéticos distintos.(b) Circuito magnético con núcleo de sección transversal diferente.

Fuente: Los autores.

✦ Circuitos magnéticos con entrehierro

Un entrehierro no es más que un espacio de aire intercalado en el circuito magnético y su existencia puede deberse a razones mecánicas o de construcción, o a la necesidad de modificar el

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

comportamiento magnético del circuito a fin de que el dispositivo funcione de alguna manera especial, o a la necesidad de crear un campo magnético en el aire en alguna región determinada.

En las bobinas con núcleo de hierro suelen introducirse entrehierros a fin de lograr que la autoinducción del elemento sea esencialmente independiente de la corriente que circula por la bobina para valores de su intensidad contenidos en un dominio prefijado de trabajo y, al propio tiempo, que la autoinducción sea mayor que la que tendría la misma bobina con núcleo de aire. Siempre que se intercale un entrehierro en serie en un circuito magnético de material ferromagnético, se produce un incremento de la reluctancia del camino magnético.

Si se introduce un espacio de aire o entrehierro en una zona del material ferromagnético, figura 2.17, se produce un efecto desorientador del campo en las cercanías del entrehierro con lo cual se pierde en parte la magnetización y disminuye el valor del flujo en todo el circuito, esto siempre y cuando no varíe la fuerza magnetomotriz aplicada [13].

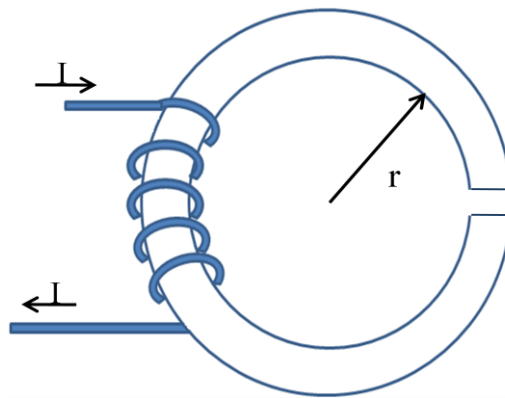


Figura 2.17. Circuito magnético con entrehierro.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

✦ Analogía entre circuitos magnéticos y circuitos eléctricos

El concepto de circuito magnético se basa en la idea de que un flujo magnético tiende a confinarse en los caminos de permeabilidad elevada de una estructura ferromagnética de manera parecida a como tienden las corrientes eléctricas a confinarse a las trayectorias de gran conductibilidad de un circuito eléctrico. Este concepto lleva a la realización de ciertas analogías entre el comportamiento de un circuito resistivo no lineal y el comportamiento de un circuito ferromagnético que no es lineal de por sí como se muestra en la tabla 2.1 [13]. Una representación grafica de esta equivalencia se observa en la figura 2.18.

Tabla 2.1. Analogía entre los elementos de los circuitos eléctricos y circuitos magnéticos.

CIRCUITOS ELÉCTRICOS	CIRCUITOS MAGNÉTICOS
Corriente (I)	Flujo (Φ)
Movimiento de electrones en un área.	Líneas de campo magnético, no hay movimiento de las mismas.
Resistencia (R)	Reluctancia ($\mathcal{R}$)
Oposición al paso de electrones.	Oposición a la alineación de dipolos, es variable y depende de la permeabilidad magnética.
Caída de Potencial Eléctrico ($N \cdot I$)	Caída de Potencial Magnético ($\mathcal{R} \cdot \Phi$)
Es cuando los electrones pierden energía al chocar y la transforman en calor en la resistencia.	No hay pérdidas de potencial.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

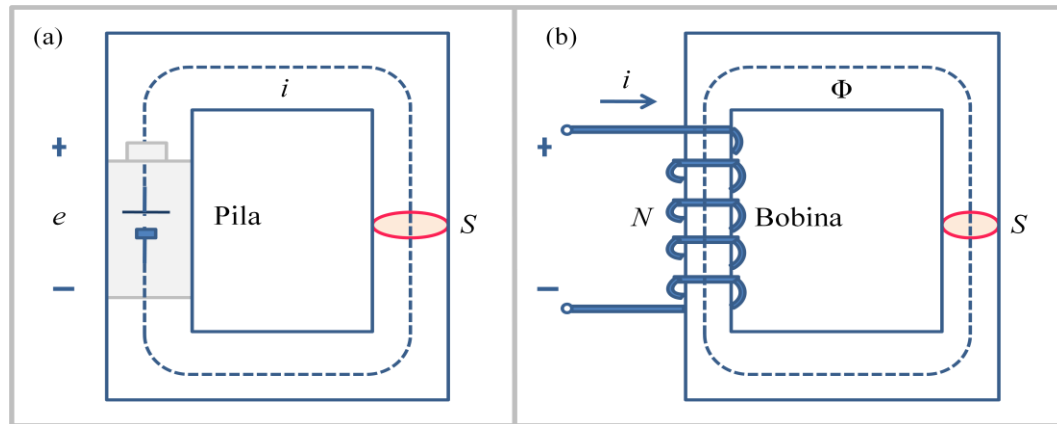


Figura 2.18. Analogía entre circuitos eléctricos y magnéticos.

(a) Circuito eléctrico. (b) Circuito magnético

Fuente: Los autores.

✦ Circuitos magnéticos serie-paralelos

En los circuitos magnéticos serie el flujo se comporta de igual manera que en un circuito simple, figura 2.19 (a). Los circuitos magnéticos paralelos son aquellos que presentan puntos o zonas donde convergen dos o más ramas de material magnético (nodos), en consecuencia el flujo se divide a través de las ramas del núcleo y la sumatoria de los flujos asociados a cada nodo debe ser igual a cero presentando una similitud con las leyes de Kirchhoff para los circuitos eléctricos, mostrados en la figura 2.19 (b).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

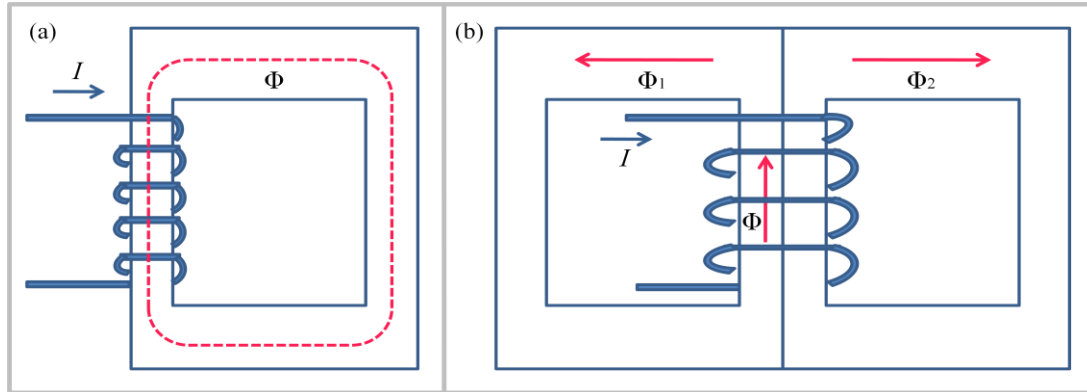


Figura 2.19. Circuitos magnéticos serie-paralelo. (a) Circuito serie. (b) Circuito paralelo.

Fuente: Los autores.

✦ Circuitos magnéticos con corriente alterna

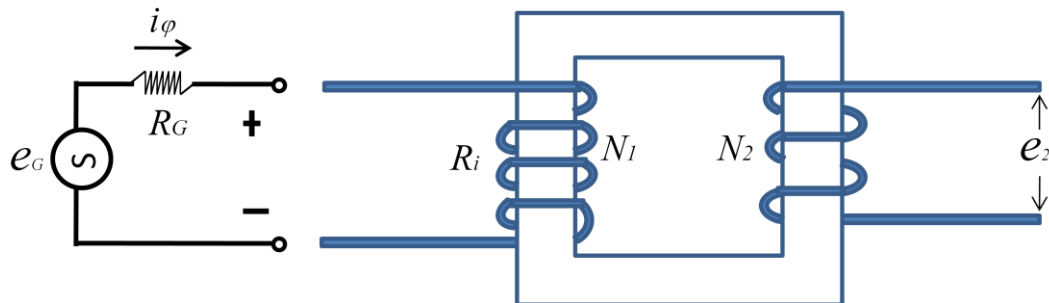


Figura 2.20. Circuito magnético excitado con corriente alterna.

Fuente: Los autores.

Al conectar una fuente de tensión alterna en los terminales de una bobina con núcleo de hierro el comportamiento de los parámetros del circuito magnético difiere de los casos estudiados anteriormente. La ecuación de las tensiones en el circuito de la figura 2.20 es:

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

$$e_G = (R_G + R_1) \cdot i_\phi + \frac{d\lambda_1}{dt} \quad (2.24)$$

Donde:

R_1 : Resistencia efectiva del devanado primario, se mide en Ohmios [Ω].

i_ϕ : Intensidad instantánea de la corriente. Unidad: Amperios [A].

λ_1 : Flujo instantáneo presente en el devanado, se mide en Weber [Wb].

Suponiendo que todo el flujo ϕ atraviesa las N_1 espiras primarias, el flujo que atraviesa el primario será igual a N_ϕ y la fuerza contraelectromotriz inducida en el primario es:

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.25)$$

Por lo que la ecuación de tensión puede escribirse

$$e_G = (R_G + R_1) \cdot i_\phi + N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.26)$$

El flujo ϕ lo crea la fuerza magnetomotriz de la corriente de intensidad i_ϕ , que por ello recibe el nombre de corriente de excitación. La inducción magnética en el hierro es proporcional al flujo en el núcleo, y el campo magnético es aproximadamente proporcional a la intensidad de corriente de excitación. Por tanto, el ciclo flujo-intensidad de corriente tendrá aproximadamente la misma forma que el ciclo de histéresis del material del núcleo para la inducción magnética máxima correspondiente. Esta conclusión prescinde del efecto magnético de las corrientes de Foucault, de

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

las incertidumbres introducidas por los ángulos del núcleo, y de la fuerza magnetomotriz requerida por los entrehierros.

Cuando son importantes tanto la caída óhmica $(R_G + R_1) \cdot i_\phi$ como la fuerza contraelectromotriz e_1 la solución de la ecuación 2.25 es difícil por varias razones, el ciclo de histéresis que relaciona la corriente de excitación con el flujo no es lineal ni uniforme, la falta de linealidad magnética del núcleo hace que la corriente de excitación no sea sinusoidal aún cuando la tensión del generador e_G lo sea, por ende la caída óhmica no será sinusoidal y tendrá la misma forma de onda que la corriente de excitación. En consecuencia todo intento de solución teórica deberá basarse en métodos gráficos [13].

2.2.9 Pérdidas

Las pérdidas en el núcleo se deben a dos causas: la tendencia del material a conservar su imanación o a oponerse a una variación de imanación, que ocasiona las llamadas *pérdidas por histéresis*, y el calentamiento por efecto Joule que aparece en el material a consecuencia de las corrientes de Foucault que se inducen en él al ser variable el flujo con el tiempo; esto constituye las *pérdidas por corrientes parásitas*.

Pueden calcularse las pérdidas totales en el núcleo como la suma de las pérdidas por histéresis más las pérdidas por corrientes parásitas, sin embargo cuando se quieren pérdidas totales estas se pueden predecir en forma más precisa mediante el uso de gráficas obtenidas por medio de ensayos sobre muestras de material.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

✦ Pérdidas por Corrientes Parásitas

De acuerdo con la ley de Faraday, aparecerán en el material unas fuerzas electromotrices inducidas que darán lugar a unas corrientes parásitas que circularán por el material. Téngase en cuenta que el hierro es conductor de la electricidad, y aunque su conductividad es pequeña en comparación con la del cobre, las fuerzas electromotrices inducidas provocaran corrientes de circulación por la masa del hierro. Estas corrientes, denominadas corrientes de Foucault, tienen un sentido de circulación tal que el flujo producido por estas corrientes se opone (ley de Lenz) al flujo inductor de la bobina.

Estas corrientes pueden originar grandes pérdidas de potencia, con el consiguiente calentamiento de los núcleos. Para prevenir estas pérdidas, el hierro empleado en los circuitos magnéticos suele estar laminado, en forma de chapas magnéticas de pequeño espesor. El plano de las chapas es paralelo al flujo, por lo que las corrientes parásitas quedan confinadas a trayectorias de sección transversal pequeña.

Consideremos una de estas chapas de dimensiones transversales $a \times b$ (donde $a \ll b$) y profundidad L , tal como se señala en la Figura 2.20 (b), que es atravesada por el campo magnético $B_z = B_m \cdot \cos(\omega t)$.

Suponiendo que el campo es uniforme en la sección transversal de la chapa, el flujo que atraviesa la espira sombreada de la Figura 2.20 (b) es:

$$\phi = 2 \cdot b \cdot y \cdot B_m \cdot \cos(\omega t) \quad (2.27)$$

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Ya que la superficie cerrada de la espira es $2by$. Por la ley de Faraday, la fuerza electromotriz inducida tiene un valor modular dado por:

$$e = 2 \cdot w \cdot b \cdot y \cdot B_m \cdot \text{sen}(wt) \quad (2.28)$$

Tomando una longitud unidad en la dirección del eje Z, la fuerza electromotriz anterior produce una corriente alrededor de la espira indicada, cuya resistencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{2 \cdot b}{\sigma \cdot dy} \quad (2.29)$$

Donde se ha tenido en cuenta que $a \ll b$ y que la conductividad del material es σ . La potencia instantánea en la espira será:

$$dP_F = R \cdot i^2 = \frac{e^2}{R} = \frac{4 \cdot w^2 \cdot b^2 \cdot y^2 \cdot B_m^2 \cdot \sigma \cdot \text{sen}^2(wt) \cdot dy}{2 \cdot b} \quad (2.30)$$

Que corresponde a un valor medio:

$$dP_F = w^2 \cdot b \cdot y^2 \cdot B_m^2 \cdot \sigma \cdot dy \quad (2.31)$$

Y una potencia disipada total:

$$P_F = \int_0^{a/2} w^2 \cdot B_m^2 \cdot b \cdot \sigma \cdot y^2 \cdot dy = \frac{w^2}{24} \cdot B_m^2 \cdot a^3 \cdot b \cdot \sigma \quad (2.32)$$

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Lo que representa una potencia disipada por unidad de volumen:

$$P_F/vol = \pi^2 \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot a^2 \cdot \sigma / 6 = k_F \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot a^2 \cdot \sigma \quad (2.33)$$

Donde se ha llamado k_F a $\pi^2/6$ y se ha tenido en cuenta que el volumen es: $vol = abL = ab$, al haber considerado una profundidad unidad.

Las ecuaciones anteriores son validas solamente para valores de las frecuencias tales que la distribución del campo magnético no esté afectado por las propias corrientes parásitas. Cuando la frecuencia es elevada, el flujo que atraviesa las chapas no se distribuye uniformemente y se deben utilizar chapas más delgadas.

✦ Pérdidas por Histéresis

Dado que la histéresis es el resultado de la propiedad de los materiales de conservar su imanación o de oponerse a una variación del estado magnético, la pérdida por histéresis es la energía convertida en calor a causa de dicho fenómeno.

Las pérdidas por histéresis están relacionadas al fenómeno por el cual una región atravesada por un campo magnético absorbe energía. Si la región no es el vacío, tan sólo una parte de la energía tomada del circuito eléctrico se almacena y recupera totalmente de la región, al suprimir el campo magnético. El resto de la energía se convierte en calor a causa del trabajo realizado sobre el material en el medio cuando responde a la imanación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

La magnitud de la energía absorbida por unidad de volumen viene dada por la ecuación

$$w = \int_{B_1}^{B_2} H \cdot dB \quad (2.34)$$

Esta integral es proporcional al área delimitada por la curva B vs H. Cuando la región considerada está constituida por material ferromagnético, la curva de imanación entre dos valores cuales quiera B_1 y B_2 correspondiente a valores decrecientes de H es diferente de la curva correspondiente a valores crecientes. La diferencia entre las dos curvas que, para la condición cíclica, constituyen realmente las dos ramas de un lazo cerrado, indica que la energía absorbida por el material cuando crece la inducción magnética de B_1 a B_2 es mayor que la devuelta cuando la inducción magnética disminuye de B_2 a B_1 . La diferencia entre estas energías es la magnitud de la *pérdida por histéresis* [13].

La energía perdida por histéresis por ciclo y por unidad de volumen del material magnético viene dada por:

$$W_H = (vol) \oint H \cdot dB \quad (2.35)$$

Si el número de ciclos de imanación completa es f (donde f representa la frecuencia de la tensión de alimentación a la bobina), entonces la potencia perdida será:

$$P_H = f \cdot W_H = f \cdot (vol) \oint H \cdot dB = f \cdot (vol) \cdot (\text{área del ciclo}) \quad (2.36)$$

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

La ecuación anterior es independiente de la forma de onda de la fuente de alimentación, depende únicamente de la amplitud de la inducción, la frecuencia de la fuente (red) y la naturaleza del material magnético (área del ciclo).

Estas pérdidas también pueden calcularse empíricamente empleando la siguiente expresión formulada por C. P. Steinmetz en 1892.

$$P_H = k_H \cdot f \cdot (vol) \cdot B_m^n \quad (2.37)$$

Donde:

k_H : Coeficiente de Steinmetz.

vol : Volumen en metros cúbicos [m³].

f : Frecuencia medida en Hertz [Hz].

B_m : Inducción magnética máxima. Unidad: Tesla [T].

n : Exponente de Steinmetz.

P_H : Pérdidas por histéresis. Unidad: Vatios [W].

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.3 GLOSARIO

Autoinductancia: En bobinas acopladas, existen dos tipos de inductancia: la debida al flujo de una bobina sobre otra, denominada inductancia mutua, y la debida al propio flujo, denominada autoinductancia.

Carga eléctrica: es una propiedad intrínseca de algunas partículas sub-atómicas que se manifiesta mediante atracciones y repulsiones y que determina las interacciones electromagnéticas entre ellas.

Conductibilidad: es la capacidad que tiene un material para permitir el paso de corriente eléctrica, es el inverso de la resistividad.

Devanado (bobina): componente de un circuito eléctrico formado por un alambre aislado que se arrolla en forma de hélice con un paso igual al diámetro del alambre.

Desmagnetización: proceso de reducción del magnetismo en un material mediante la aplicación de un campo magnético opuesto.

Dipolo: es un elemento puntual que produce un campo magnético dipolar.

Dominio: son regiones microscópicas que se encuentran en el seno de un material ferromagnético donde los momentos magnéticos de los átomos están fuertemente acoplados en una determinada orientación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Efecto Joule: fenómeno que se produce cuando por un conductor circula una corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

Ferromagnetismo: propiedad de los materiales que, como el hierro, tienen muy alta permeabilidad magnética, se imantan y pueden llegar a la saturación.

Fuerza contraelectromotriz: Es el valor absoluto de la fuerza electromotriz cuando esta es negativa. Si la intensidad es negativa absorbe una potencia de igual polaridad. Entonces el generador es un receptor y se llama fuerza contraelectromotriz. La unidad de fuerza contraelectromotriz es el voltio, de símbolo V, la misma unidad que la de la fuerza electromotriz.

Fuerza Electromotriz: Es la energía proveniente de cualquier fuente, medio o dispositivo que suministre corriente eléctrica. Para ello se necesita la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos o polos (uno negativo y el otro positivo) de dicha fuente, que sea capaz de bombear o impulsar las cargas eléctricas a través de un circuito cerrado.

Fuerza Magnetomotriz: Son las líneas de fuerza que es capaz de generar una bobina, lo cual, quiere decir, que está directamente afectada por la intensidad que pasa por dicha bobina. Al aumentar la intensidad aumentará también la fuerza magnetomotriz.

Galvanómetro: Instrumento que se emplea para indicar el paso de pequeñas corrientes eléctricas por un circuito y para la medida precisa de su intensidad. Como veremos su funcionamiento se basa en fenómenos magnéticos. El galvanómetro consta de una aguja indicadora, unida mediante

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

un resorte espiral, al eje de rotación de una bobina rectangular plana, que está suspendida entre los polos opuestos de un imán permanente.

Inductancia: Una bobina o inductor tiene la propiedad de oponerse a cualquier cambio en la corriente (corriente variante en el tiempo) que lo atraviesa. Esta propiedad se llama inductancia.

Magnetización (imanación): es una característica de algunos materiales que describe en qué medida se afectan cerca de un campo magnético, y también determina el campo magnético que le material por sí mismo crea. La magnetización se define como la cantidad de momento magnético por unidad de volumen.

Líneas de fuerza: Son líneas cerradas que parten del polo norte del imán y penetran por el polo sur, las cuales indican la dirección y el sentido que produciría el campo magnético del imán sobre una unidad de polo colocada en cualquier punto que rodea al imán.

Resistividad: es una característica propia de cada material e indica que tanto se opone el material al paso de corriente. Tiene unidades de ohmios-metros.

Sistema Internacional: es el nombre que recibe el sistema de unidades que se usa en la mayoría de los países y es la forma actual del sistema métrico decimal.

Solenoides: se define como una bobina de alambre, normalmente con la forma de un cilindro largo, que al transformar una corriente se asemeja a un imán.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Temperatura de Curie: es la temperatura por encima de la cual un cuerpo ferromagnético pierde su magnetismo, comportándose como un material puramente paramagnético.

Unidad de polo: Intensidad o poder magnético de tal magnitud que dos de dichas unidades concentradas y ubicadas en el aire a una distancia de 1cm, reaccionan con la fuerza de una dina.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo realizado es una investigación explicativa ya que concuerda con lo mencionado por el autor Hernández Sampieri, Roberto que define la investigación explicativa como aquella que “va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, está dirigida a responder por las causas de los eventos físicos o sociales”. Ese mismo autor acota que la investigación es de tipo experimental dado que “requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados”.

Según opinión de Zorrilla la investigación aplicada es la que:

Depende de los descubrimientos y avances de la investigación pura y se enriquece de ellos. A diferencia de la pura, ésta persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar. Su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, con un margen de generalización limitado.

Cabe señalar que también es un proyecto de tipo factible de acuerdo con lo expuesto en el manual de trabajo de grado de especialización, maestrías y tesis doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) que lo define como “la investigación, elaboración, y desarrollo de un modelo operativo viable, cuyo propósito es la búsqueda de solución de problemas y satisfacción de necesidades”.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.2 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon las técnicas de revisión y análisis bibliográfico y también la observación, tanto directa como indirecta.

La revisión bibliográfica abarca el estudio, análisis y comprensión de los tópicos que serán utilizados como base para el diseño e implementación de experimentos. La técnica de observación directa se pone en práctica cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el fenómeno en estudio, a su vez la observación indirecta se realiza cuando se examinan los trabajos relacionados con lo que se está investigando que fueron realizados por otras personas que afrontaron la misma problemática. La observación indirecta se realiza a través de revistas, libros, informes, grabaciones, fotografías, entre otros.

3.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo todo proyecto de grado es recomendable dividir el trabajo en etapas para hacerlo de forma organizada y poder optimizar el tiempo. Las actividades realizadas se identifican por fases y cada una refleja los pasos seguidos para lograr cada objetivo específico.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Esquema de la investigación

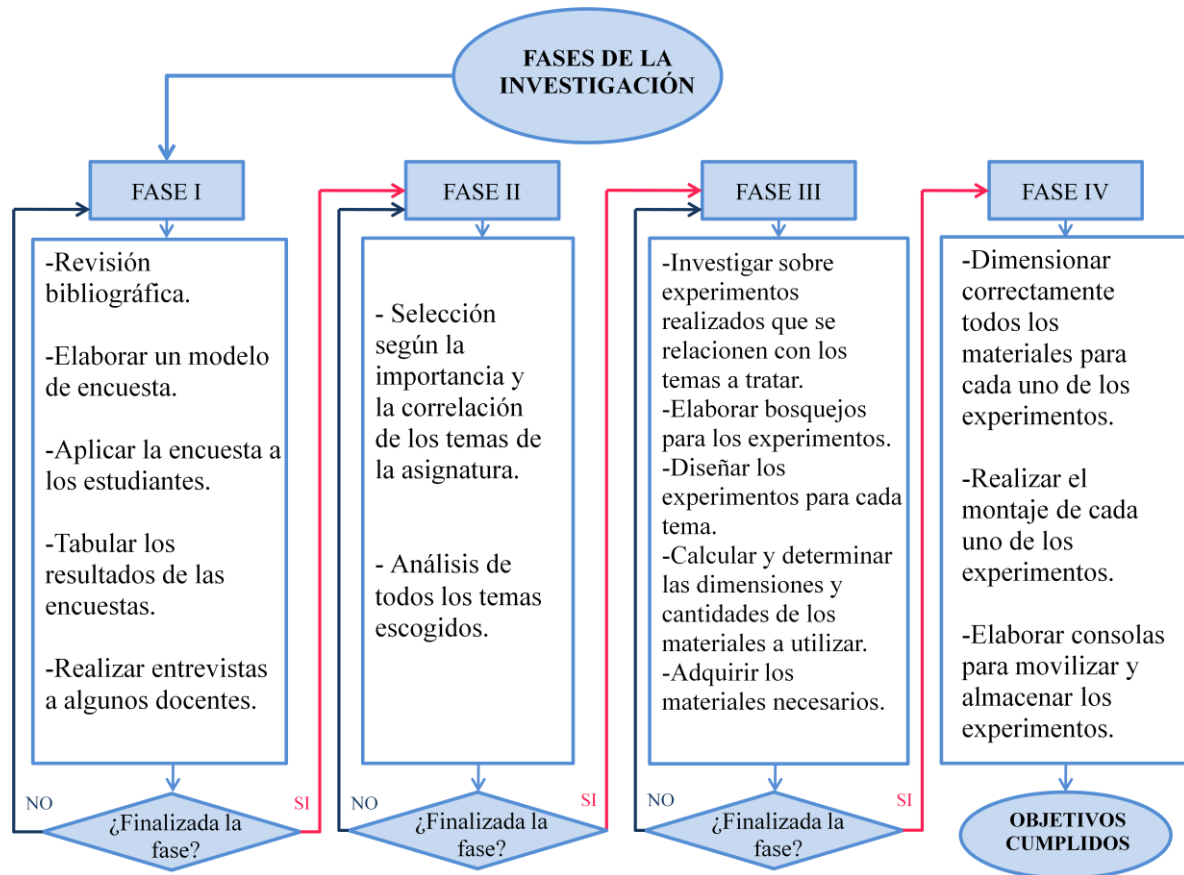


Figura 3.1. Flujograma de actividades

FASE I:

Analizar los temas dictados en la cátedra de Máquinas Eléctricas I para determinar cuáles son los tópicos fundamentales.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

- Revisión bibliográfica de algunos textos de Máquinas Eléctricas que comprendan los tópicos de interés.

Se realizó el análisis de los temas de la asignatura en estudio para determinar cuáles eran los tópicos primordiales, utilizando como guía el programa sinóptico de la materia (ver Anexo B), luego se hizo una revisión bibliográfica en algunos textos de la misma.

Entre los textos de mayor interés y recomendados por los docentes cuando se cursa la asignatura destacaron LAYA, Nelson, MORA, Jesús F y SERWAY, Raymond. Aunque el último texto no corresponde a los que aconsejaron en el momento de estudiar la materia el mismo es fundamental, ya que en él se encuentran los principios básicos del magnetismo, tópico que está contenido en la materia Máquinas Eléctricas I.

- Elaborar un modelo de encuesta para obtener información acerca de las dificultades de los estudiantes con respecto a la materia Máquinas Eléctricas I.

Se elaboró una encuesta revisada y validada en el Centro de Investigaciones y Altos Estudios en Ciencias Sociales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo por la profesora (Doctora) Yajaira Rodríguez, el profesor Alberto Ortiz y la profesora Ledy Laura Guerra perteneciente al Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, Jefe de las cátedras de Maquinas Eléctricas I y II y especialista en la parte técnica de la encuesta.

Dicho instrumento de diagnóstico se realizó con el propósito de adquirir información

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

relacionada con los temas donde los estudiantes pueden presentar dificultades en la asignatura Máquinas Eléctricas I (ver Anexo F).

- Aplicar la encuesta a los estudiantes de las asignaturas Máquinas Eléctricas I.

El instrumento de diagnóstico fue aplicado a las tres (3) secciones que posee la cátedra de Máquinas Eléctricas I finalizando el período lectivo 2-2010, donde se inscribieron un total de 106 alumnos.

Este instrumento se aplicó a una muestra de 51 (48,11%) estudiantes presentes en las aulas de clases a las respectivas horas en que cursaban la materia. Este porcentaje se determina con un 3% de error y una varianza de la muestra de 0,09.

- Analizar los resultados arrojados por las encuestas para determinar cuáles son los temas donde los estudiantes presentan mayor inquietud.

Una vez aplicada la encuesta se tabularon los resultados y se obtuvo la información contemplada en las figuras 3.2. hasta la 3.10.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

1.- Ha cursado la materia una vez, dos veces o más de dos veces.

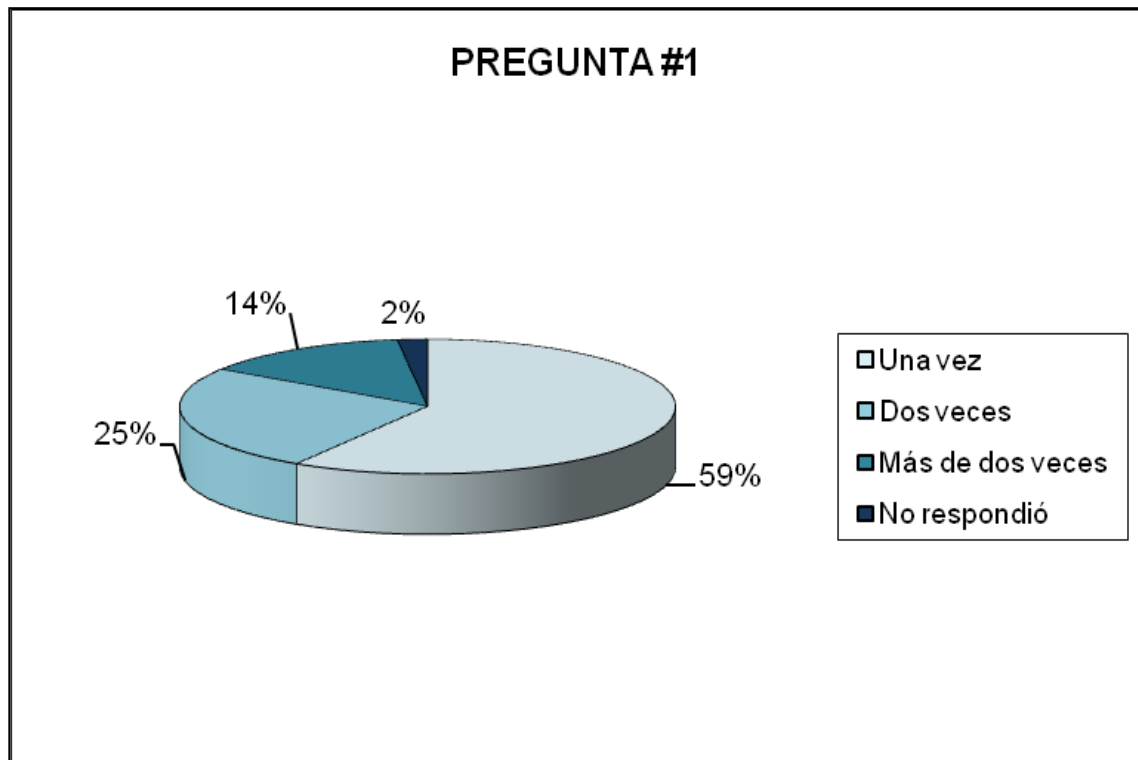


Figura 3.2. Diagrama correspondiente a la pregunta #1

Fuente: Los Autores

En el periodo de clases 2-2010, el 59% de la figura 3.1, que representa más de la mitad de los alumnos en la asignatura Máquinas Eléctricas I estaban cursándola por primera vez mientras que el 39% (valor obtenido con las opciones dos veces – más de dos veces de la misma figura) reconoció haberla visto mínimo dos veces y una pequeña minoría (2%) se abstuvo de responder la pregunta.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

2.- ¿Considera usted que el desarrollo de las clases de teoría de la asignatura ME-I es dinámico?

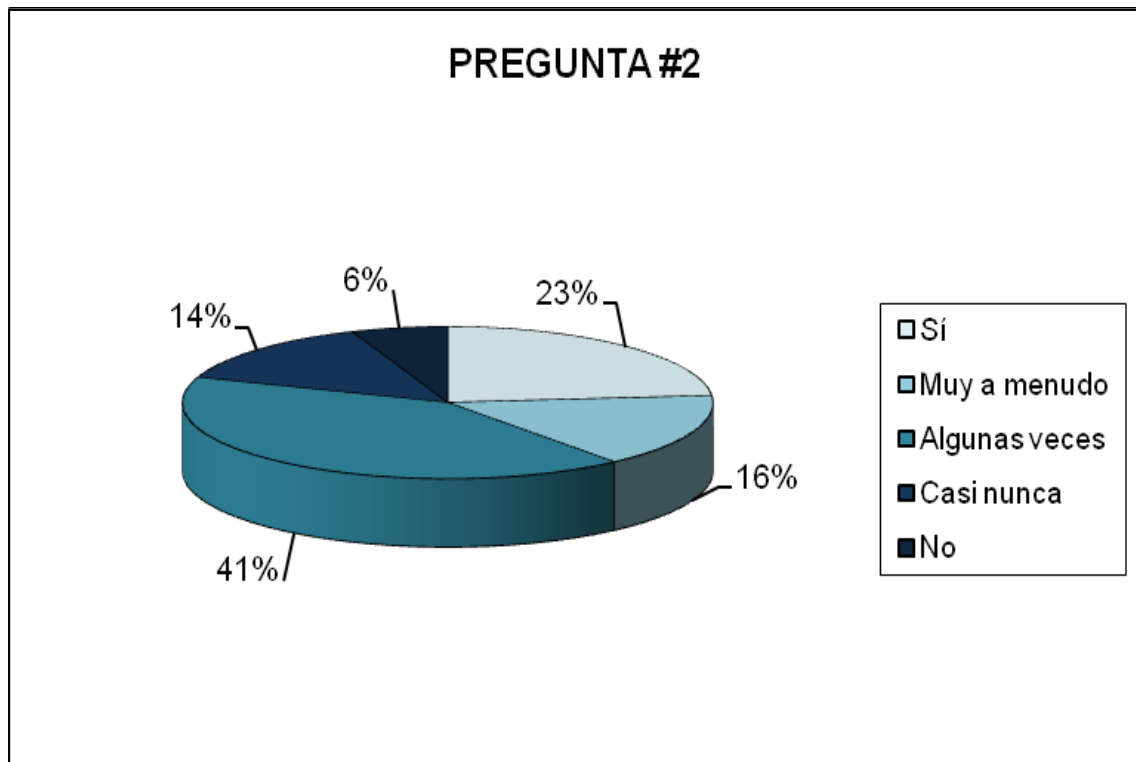


Figura 3.3. Diagrama correspondiente a la pregunta #2

Fuente: Los Autores

La apreciación de los estudiantes acerca de las clases de la asignatura Máquinas Eléctricas I es que, en la mayoría de las ocasiones (representado en la figura 3.2 como el 80% de las respuestas, obtenido con las opciones sí – muy a menudo – algunas veces) los profesores logran convertir el proceso de enseñanza - aprendizaje en algo dinámico que despierta su interés en la materia, el 14% expresó que casi nunca las clases de la asignatura en estudio son dinámicas y el 6% restante opinó que el desarrollo de la materia no es dinámico.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

.-De ser afirmativa su respuesta especifique a cuál tipo de desarrollo dinámico se refiere:

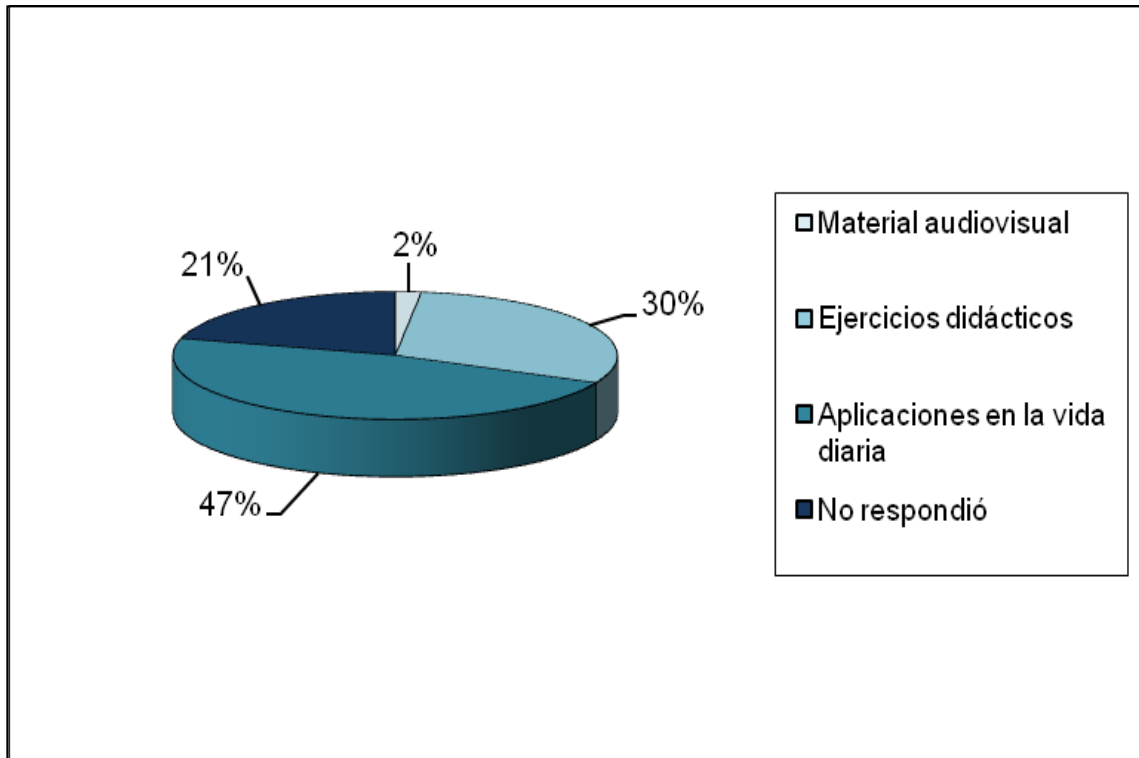


Figura 3.3.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #2

Fuente: Los Autores

Los profesores emplean mayormente aplicaciones en la vida diaria de los temas de la asignatura (representado por un 47% en la figura 3.2.1) como elemento dinámico en las clases para aclarar algunos conceptos, también suelen resolver ejercicios explicativos para lograr el mismo fin (30% de las respuestas expuestas en la figura 3.2.1), mientras que el uso de materiales audiovisuales se encuentra relegado (2% de la figura 3.2.1) y el 21% restante se abstuvo de responder.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.- ¿Le gustaría que los docentes utilizaran material de apoyo dinámico durante las clases de ME-I?

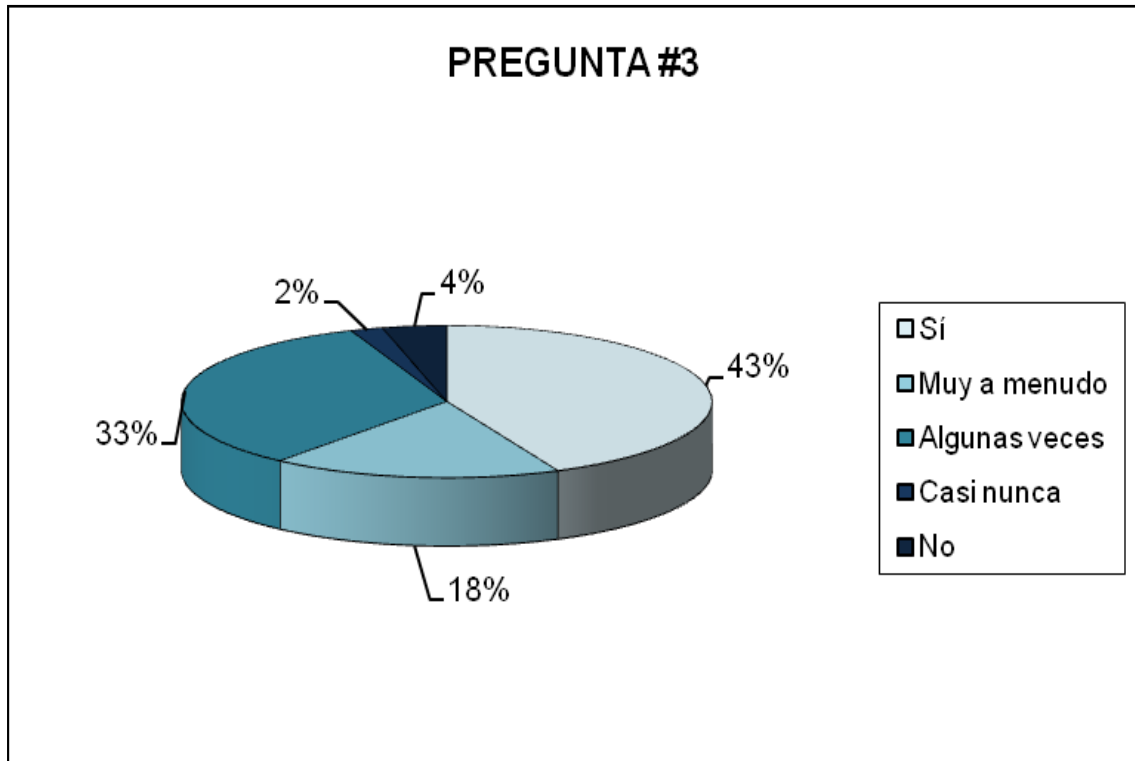


Figura 3.4. Diagrama correspondiente a la pregunta #3

Fuente: Los Autores

Los estudiantes mostraron interés en la idea de proporcionarles clases de teoría más dinámicas y también su disposición a probar otro tipo de proceso de enseñanza-aprendizaje al dar un 94% de respuestas positivas (representadas en la figura 3.3 por las opciones sí – muy a menudo – algunas veces), mientras que un 2% opinó que les gustaría que las clases de Maquinas Eléctricas I casi nunca fuesen dinámicas y el 4% restante expresó que no desean que los docentes utilicen material de apoyo dinámico.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

4.- ¿Conoce usted de la existencia de una serie de multimedia didácticos relacionados con la asignatura ME-I?

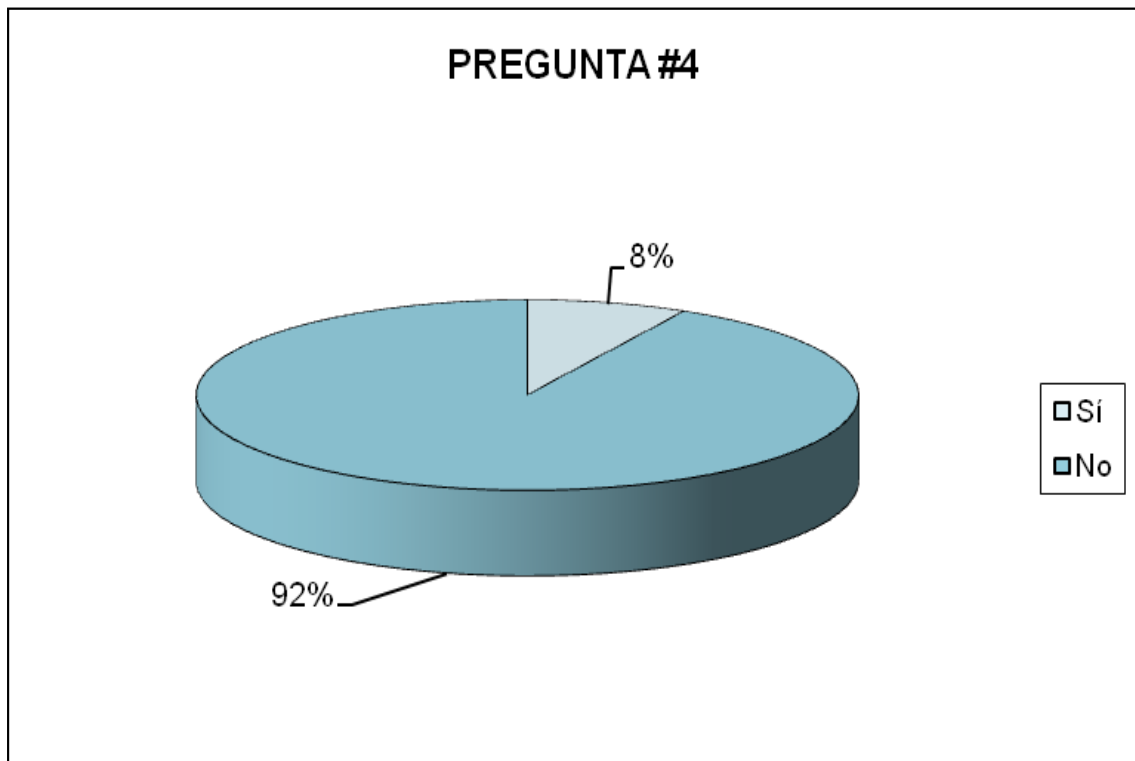


Figura 3.5. Diagrama correspondiente a la pregunta #4

Fuente: Los Autores

Casi la totalidad de los estudiantes de la asignatura Máquinas Eléctricas I, representados en la figura 3.4 por un 92% de las respuestas, no conoce acerca de la existencia de una variedad de multimedias didácticos relacionados con la misma, donde se explican con animaciones computarizadas ejemplos de algunos conceptos y ejercicios, el 8% restante si está al tanto de la existencia de multimedias didácticos.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

.- Marque con una X cuál de estas series didácticas conoce:

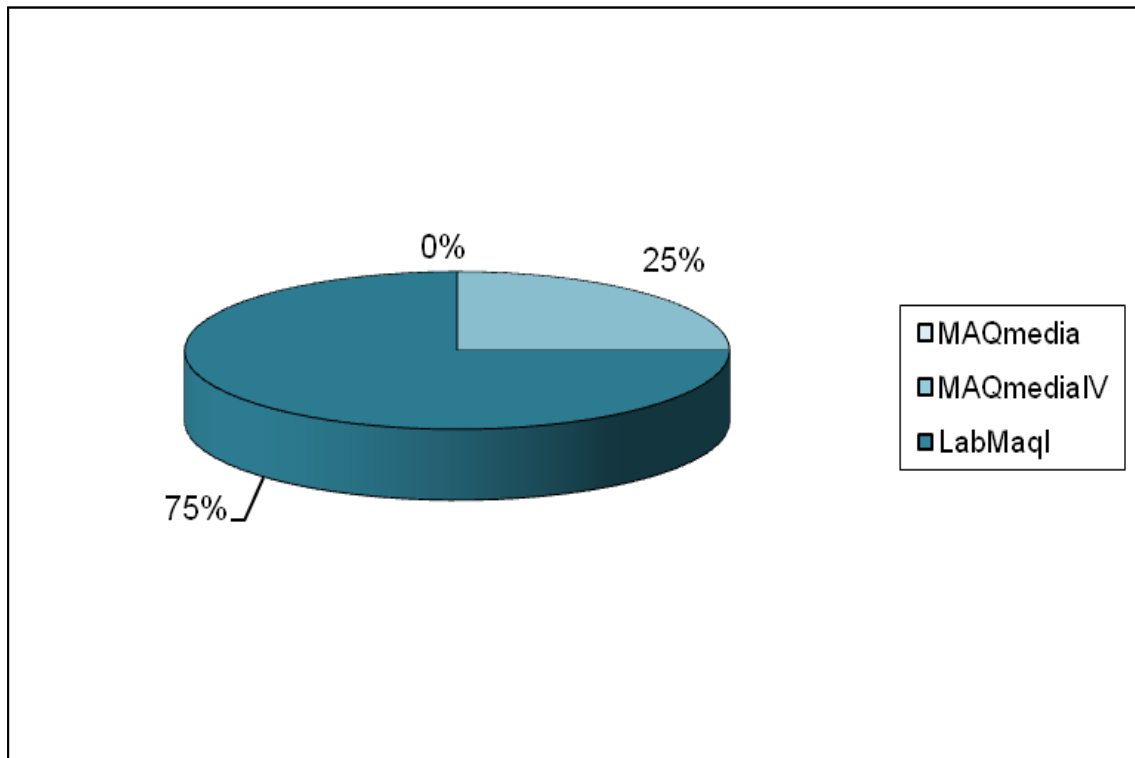


Figura 3.5.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #4

Fuente: Los Autores

De los alumnos que señalaron estar al tanto de algunos de los programas multimedia, la mayoría, representados por el 75% de las respuestas en la figura 3.4.1, conoce acerca del LabMaqI que es un programa diseñado para el Laboratorio de la asignatura Máquinas Eléctricas I. El porcentaje de respuestas restante (25%) estuvo enfocado en el software MAQmediaIV, el cual se dedica a la explicación de los conceptos acerca del motor de inducción y motores monofásicos de corriente alterna.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

5.- ¿En alguna materia que ha cursado los docentes han utilizado experimentos para aclarar conceptos de la misma?

NOTA: Un experimento es un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. FUENTE: Metodología de la investigación. Autores: Hernández Sampieri, Roberto. Fernández-Collado, Carlos. Baptista Lucio, Pilar.

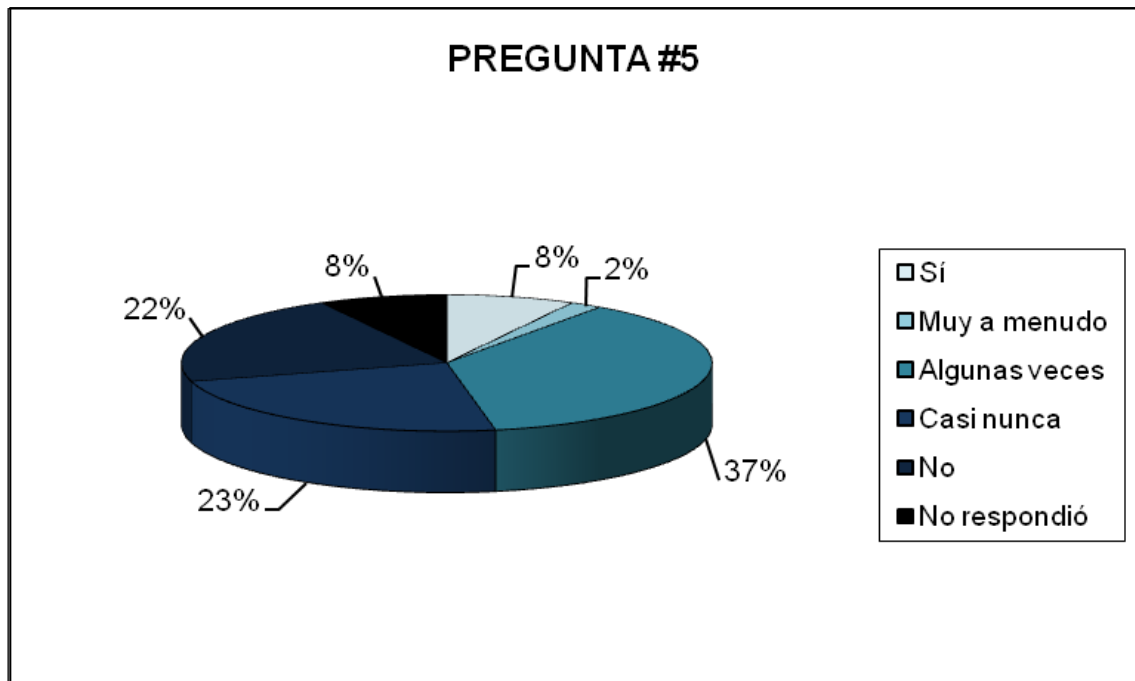


Figura 3.6. Diagrama correspondiente a la pregunta #5

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Las respuestas de los estudiantes expresaron que en pocas oportunidades (representando un 47% en la figura 3.5 con las opciones sí – muy a menudo – algunas veces) han disfrutado de clases donde se emplearon experimentos para la demostración de fenómenos o conceptos. En contraste con el 45% de los estudiantes (que abarcan las opciones casi nunca – no en la figura mencionada) los cuales alegaron no haber contado con ese tipo de experiencias en clase y un 8% se abstuvo de responder.

6.- ¿Le gustaría que los profesores emplearan experimentos en las clases teóricas de la asignatura ME-I con la finalidad de aclarar algunos conceptos de la misma?

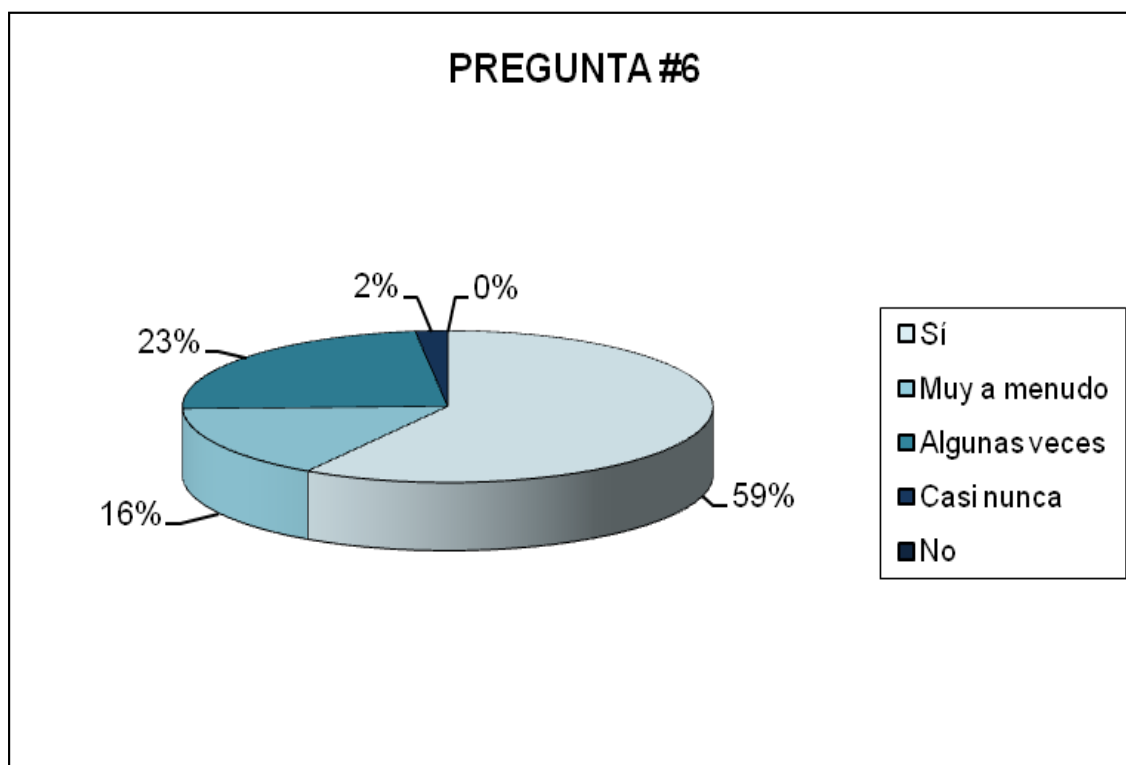


Figura 3.7. Diagrama correspondiente a la pregunta #6

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Las opciones sí – muy a menudo – algunas veces obtuvieron un 98% de las respuestas en la figura 3.6 mostrando la aceptación de los estudiantes con respecto a la implementación de experimentos didácticos en las horas de clase que permitan la observación de los fenómenos explicados en éstas, el 2% restante opinó que casi nunca desean que los profesores utilicen experimentos para aclarar conceptos en las clases de teoría.

7.- ¿Se le ha presentado dificultad para estudiar alguno de los contenidos de la asignatura ME-I?

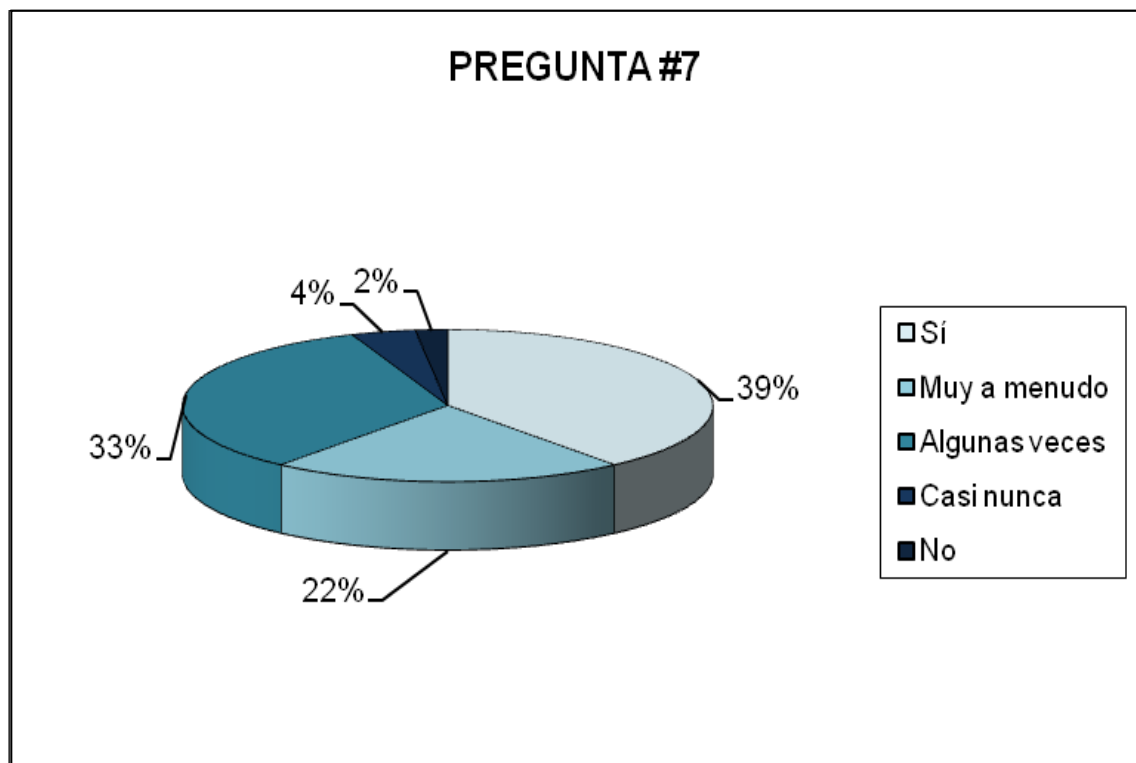


Figura 3.8. Diagrama correspondiente a la pregunta #7

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

A la mayoría de los estudiantes cursantes de la asignatura Máquinas Eléctricas se le han presentado ciertas dificultades a la hora de estudiar alguno de los temas dados en ella (representado por las opciones sí – muy a menudo – algunas veces) englobando un 94% de la figura 3.7, mientras que un 4% casi nunca tiene impedimentos al estudiar la asignatura en estudio y el 2% restante no tiene problemas para asimilar los temas de la materia Máquinas Eléctricas I.

.- Seleccione con una X en cuál unidad presenta usted mayor dificultad:

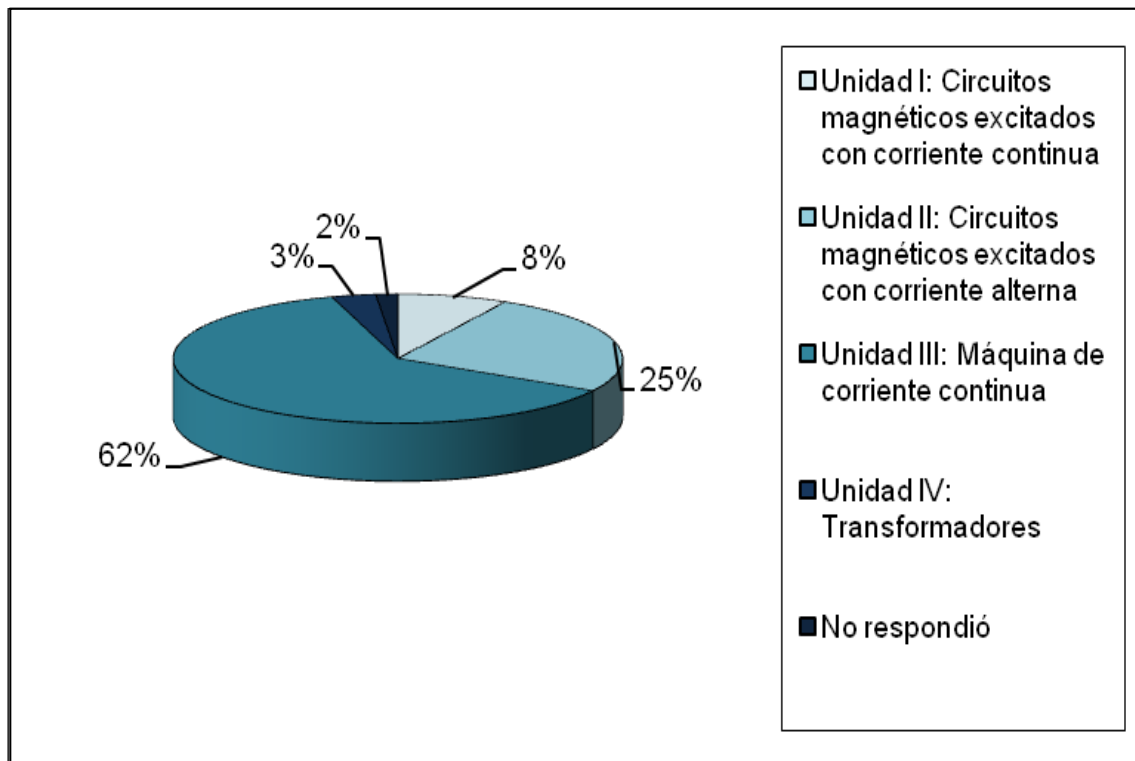


Figura 3.8.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #7

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

La unidad de la materia Máquinas Eléctricas I que presenta más complejidad en su contenido para los estudiantes es la de Máquina de corriente continua, la cual obtuvo 62% de las respuestas de la figura 3.7.1. En segundo lugar se ubicó la unidad III correspondiente a Circuitos magnéticos excitados con corriente alterna con 25% en la figura mencionada, la temática de Circuitos magnéticos excitados con corriente continua recibió un 8% de las respuestas y la parte de transformadores un 3%.

8.- Indique, según la escala de valores dada a continuación, el nivel de complejidad que considere correspondiente a cada tema de las unidades de la asignatura ME-I.

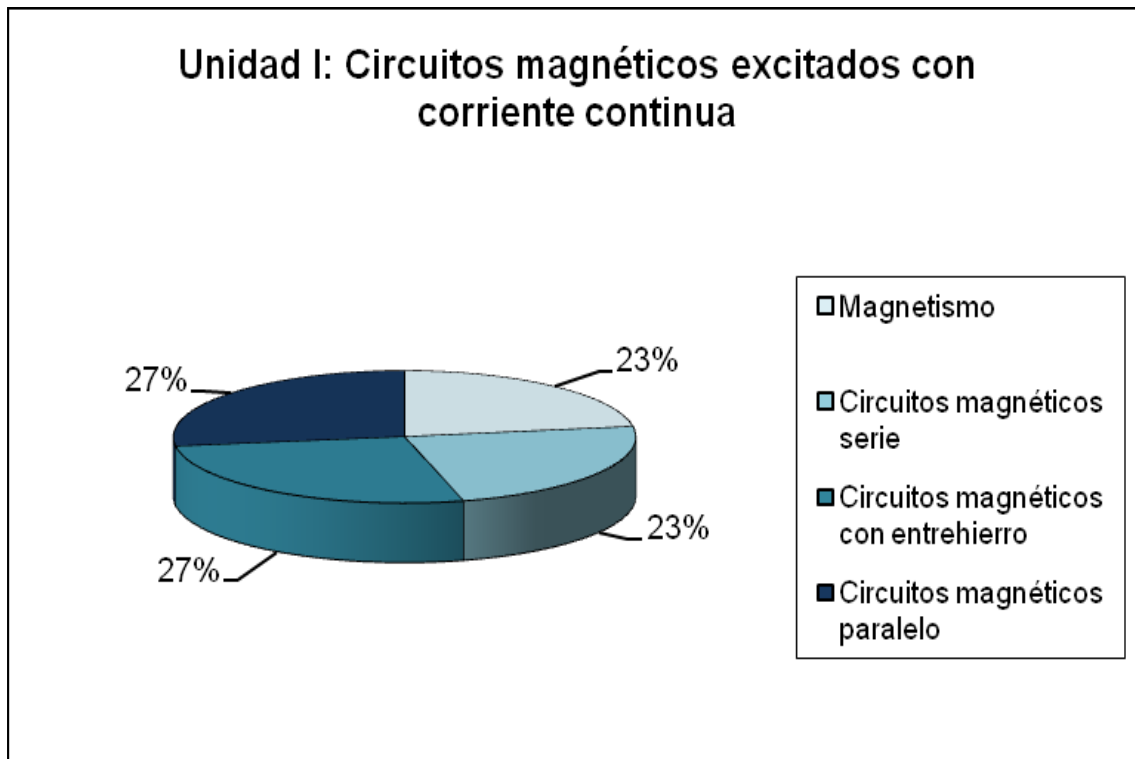


Figura 3.9.1. Diagrama correspondiente a la pregunta #8

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Según la figura 3.8.1, en la unidad I los estudiantes consideraron que los tópicos de circuitos magnéticos con entrehierro y circuitos magnéticos paralelos presentan un nivel de complejidad mayor (27% cada uno) con respecto a los temas de magnetismo y circuitos magnéticos serie (23% cada uno).

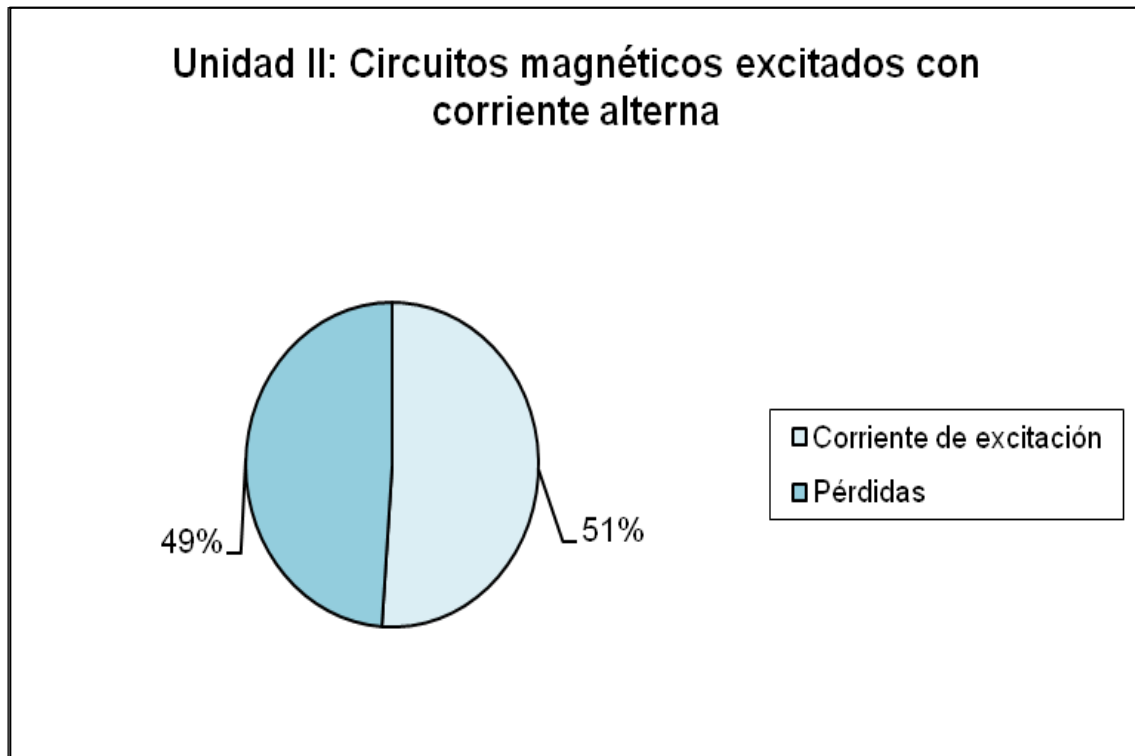


Figura 3.9.2. Diagrama correspondiente a la pregunta #8

Fuente: Los Autores

La figura 3.8.2 muestra la apreciación de los estudiantes acerca de los temas de la unidad de circuitos magnéticos excitados con corriente alterna, donde las respuestas presentan una leve diferencia en la complejidad de los objetivos de corriente de excitación (51%) y pérdidas (49%).

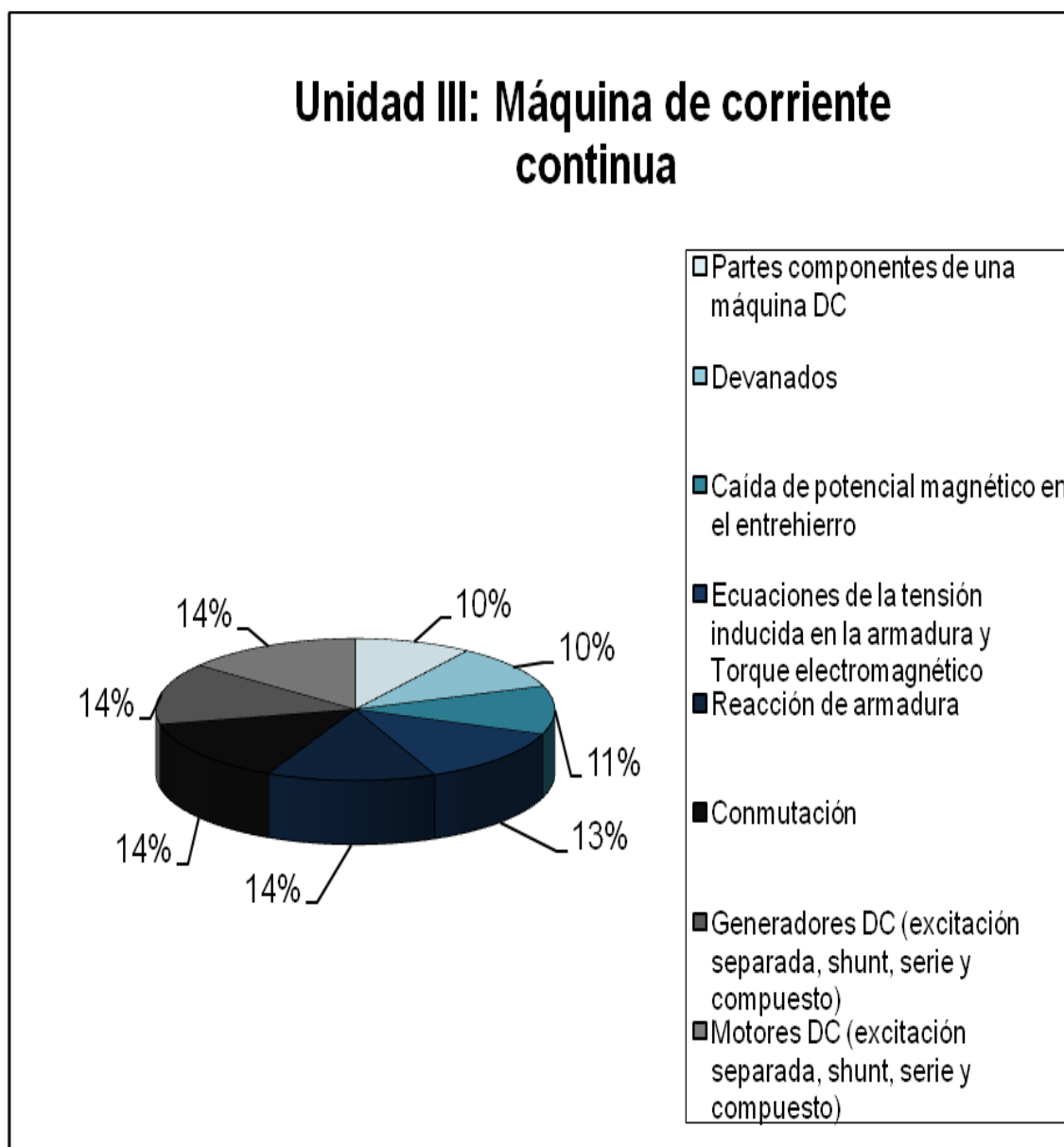


Figura 3.9.3. Diagrama correspondiente a la pregunta #8

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Los temas correspondientes a la unidad de Máquinas de corriente continua no muestran variaciones significativas en el nivel de dificultad sugerido por los estudiantes, según los porcentajes expuestos en la figura 3.8.3 donde los primeros tres recibieron los valores más bajos y los restantes fueron escogidos como más complicados.

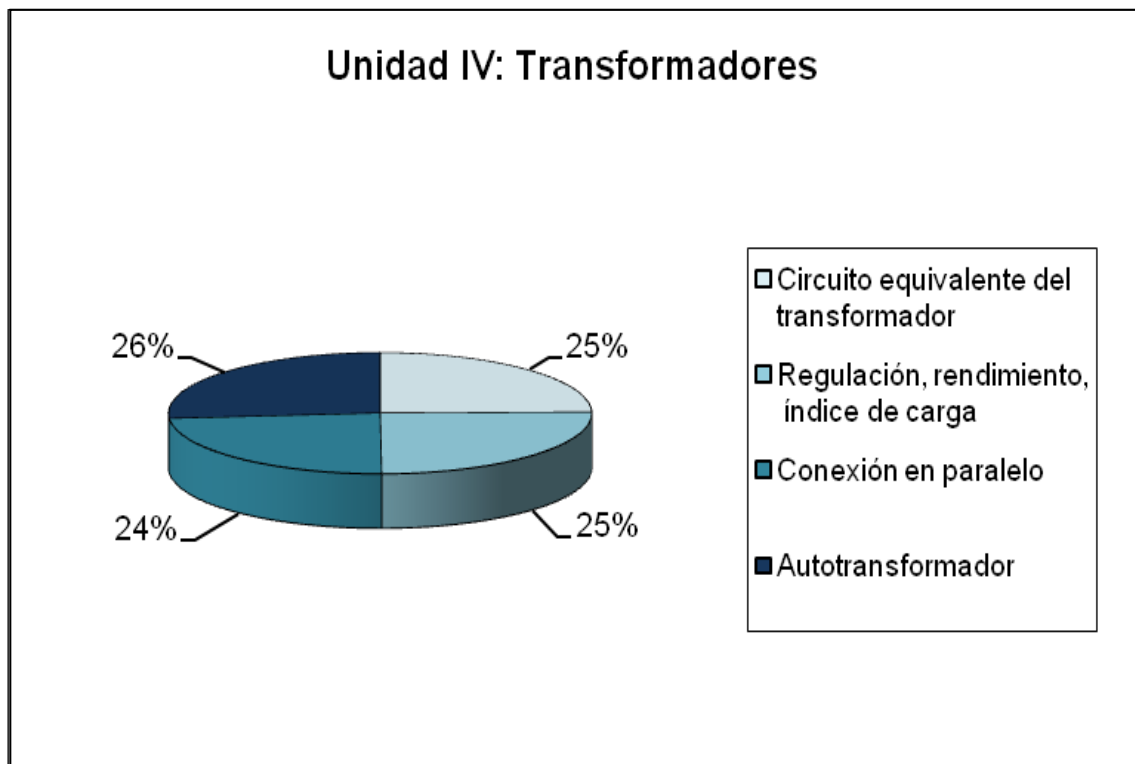


Figura 3.9.4. Diagrama correspondiente a la pregunta #8

Fuente: Los Autores

Los temas de la parte de transformadores no presentaron muchas diferencias en cuanto al nivel de complejidad asignado por los estudiantes de la materia, los cuales colocaron al tópico de autotransformador como el de mayor dificultad con 26% de las respuestas en la figura 3.8.4

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

seguido por los temas de regulación, rendimiento, índice de carga y circuito equivalente, todos con 25%, y por último ubicaron la conexión en paralelo dándole 24% de las respuestas.

9.- Considera usted, después de haber cursado la asignatura ME-I, que su conocimiento sobre la misma es:

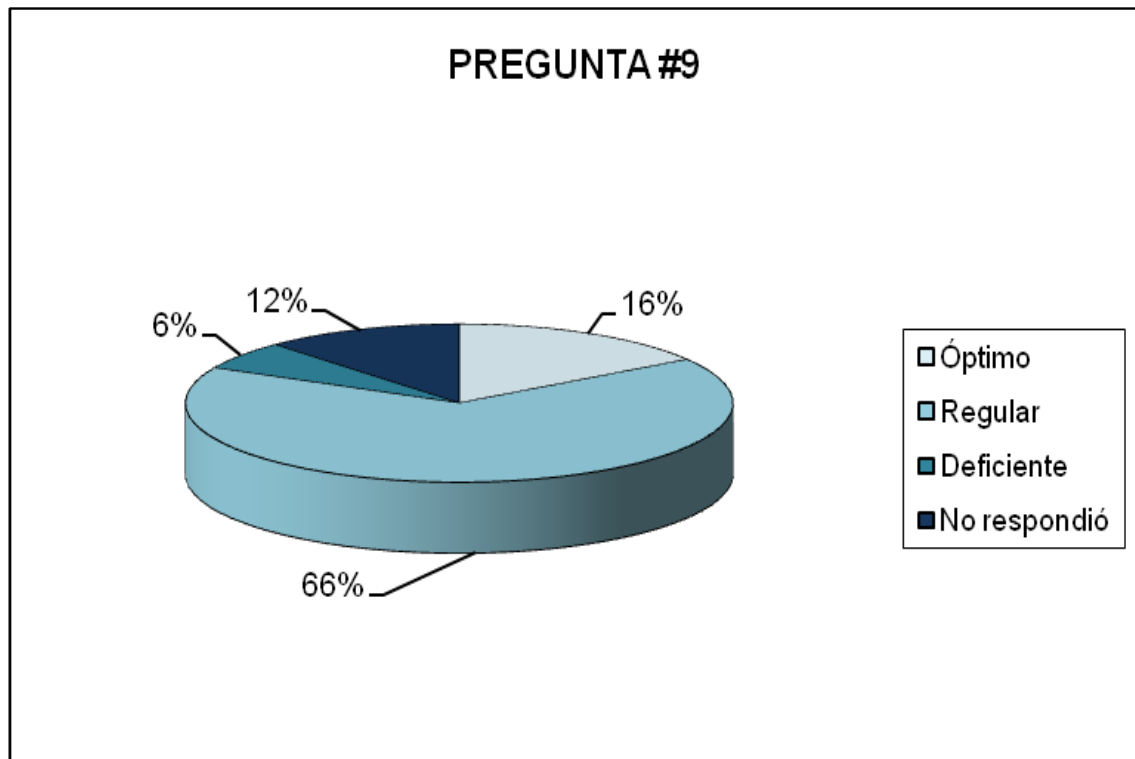


Figura 3.10. Diagrama correspondiente a la pregunta #9

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

El 66% de las respuestas mostradas en la figura 3.9 refleja que la mayoría de los estudiantes de la asignatura Máquinas Eléctricas I considera que posee un conocimiento regular acerca de la misma, este porcentaje representa a la mayoría de los encuestados. Sólo 6% de los estudiantes reconoce tener deficiencias y 12% se abstuvieron de contestar. La cantidad restante que representa un 16% corresponde a los estudiantes que cuentan con una comprensión óptima de la asignatura.

- Realizar entrevistas a algunos docentes del Departamento de Potencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo con amplio conocimiento de la asignatura Máquinas Eléctricas I para conocer, en su opinión, cuales son los temas más importantes de dicha materia.

Uno de los componentes de gran importancia fue la realización de entrevistas de tipo informal a varios Profesores del Departamento de Potencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo con experiencia y amplios conocimientos en la asignatura Máquinas Eléctricas ya que ellos con sus habilidades pedagógicas, contacto alumno-profesor y viceversa tienen la posibilidad de saber donde los estudiantes presentan mayor dificultad.

La opinión de los profesores estuvo enfatizada en el tópico de circuitos magnéticos, una parte de máquinas de continua y transformadores, esto concuerda con lo arrojado por las encuesta.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

FASE II:

Seleccionar los temas a desarrollar en la herramienta didáctica según los objetivos de la asignatura.

- Selección según la importancia y la correlación de los temas de la asignatura.

Una vez realizados todos los análisis, se escogieron los primeros temas correspondientes a la Unidad I denominada Circuitos Magnéticos Excitados con Corriente Continua del programa sinóptico de la asignatura (ver Anexo B), esta unidad contempla definiciones, conceptos básicos y principios físicos, así como también los circuitos magnéticos que conforman las máquinas rotativas y transformadores, que serán necesarios para el adecuado desarrollo de los capítulos restantes ya que están estrechamente relacionados entre sí.

Cabe destacar que en el Pensum de Ingeniería Eléctrica (ver Anexo A) se observa que los estudiantes a partir del sexto semestre cursan materias vinculadas con Máquinas eléctricas I, esto hace que la misma sea vital para el desarrollo de los alumnos en el lapso restante al término de su carrera, por este motivo es trascendental que el mismo tenga dominio de la asignatura en estudio.

- Análisis detallado de todos los temas escogidos para obtener el principio fundamental de los mismos.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Se realizó el estudio minucioso de los tópicos seleccionados para adquirir el mayor conocimiento de los temas a tratar y poder plasmarlos en la práctica con las herramientas didácticas que se elaboraron, estos análisis se pueden observar en el Marco Teórico (Capítulo II) del presente trabajo.

FASE III:

Diseñar los experimentos que se adecuen más a cada tema seleccionado, en virtud de que sea de fácil entendimiento para el estudiante.

- Investigar sobre experimentos realizados que se relacionen con los temas a tratar.

Se efectuaron búsquedas que comprendieron universidades nacionales, internacionales y la bibliografía utilizada con el propósito de encontrar algunos ensayos relacionados con las herramientas realizadas, para tomar la iniciativa de cómo se confeccionan y cuál es la manera más pedagógica de enfocar los experimentos elaborados.

La más destacada fue el Massachusetts Institute of Technology (MIT) donde el Profesor Walter Lewin publicó en el año 2002 unas clases por internet de la asignatura Electricidad y Magnetismo que él mismo imparte, estas clases se visualizaron y estuvieron acordes al objetivo principal del presente trabajo especial de grado. También se encontró en la bibliografía utilizada para el análisis de los temas, imágenes de ensayos elaborados relacionados con la orientación de las líneas de campo magnético utilizando limaduras de hierro concernientes con las herramientas a desarrollar.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

- Elaborar una serie de bosquejos para los experimentos que puedan ser empleados en la realización de la herramienta.

Se procedió a la realización de posibles bosquejos aplicando los conocimientos adquiridos en las asignaturas cursadas, ideas propias, las clases del MIT (Massachusetts Institute of Technology) y la información recopilada de la bibliografía utilizada. Los mismos se elaboraron en borrador ya que estos se crearon para iniciar una lluvia de ideas plasmando cualquier posibilidad de herramienta a elaborar y con cualquier material con el que se pudiese llevar a cabo cada ensayo.

- Selección del bosquejo considerado conveniente para cada tópico.

La selección se realizó basándose en la factibilidad del bosquejo, tomando en cuenta cual sería el más favorable para cada tema a desarrollar, debido a que los experimentos deben ser didácticos, prácticos y pedagógicos principalmente. Además se debe considerar que se cuenta con dos equipos esenciales, una fuente de poder de valores nominales de corriente 15 A y de voltaje 13,8 V y un equipo retroproyector para la visualización de seis (6) de los diez (10) experimentos realizados, debido a que estas herramientas se emplearán en el salón de clases y los estudiantes necesitan percibir claramente cada fenómeno a demostrar.

- Diseñar y calcular las dimensiones y cantidades de cada uno de los materiales a utilizar en cada experimento, partiendo del bosquejo antes seleccionado.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Cada ensayo se elaboró inicialmente tomando en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente, donde el área de trabajo está limitada al tamaño de una hoja tipo carta por las dimensiones del equipo retroproyector, seguidamente la fuente de poder utilizada ya que los experimentos realizados no pueden exceder los valores nominales del equipo.

Se realizaron diez (10) experimentos de los cuales en cinco (5) de ellos se observa el comportamiento de las líneas de campo magnético tanto para imanes permanentes como para electroimanes arrollados en configuraciones típicas que se estudian en la materia. En dos (2) de los experimentos restantes se evidencia la relación que existe entre el campo magnético y la electricidad y en los últimos tres (3) se ilustran las propiedades que presentan varios materiales, ferromagnéticos o no, en presencia de un campo magnético.

✦ **Experimento # 1: Visualización de las líneas de campo magnético de los imanes.**

En este ensayo se pretende observar la trayectoria cerrada de las líneas de campo magnético de un imán. El movimiento que realizan estas líneas se observará a través de un medio viscoso, como lo es el aceite, el cual permite disminuir la fuerza de roce existente entre la superficie y las partículas que deben orientarse debido al campo magnético existente, facilitando la visualización de este fenómeno.

Con la finalidad de observar el comportamiento del campo magnético que se produce por lo imanes se diseñó un experimento empleando una caja de acrílico de 22 cm x 14,2 cm, con soportes de 3,4cm de altura, la misma contiene un aceite de baja viscosidad (aceite 3 en 1) y limaduras de hierro esparcidas. Debajo de la caja se ubica una lámina de acrílico de igual

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

dimensión, en la cual se fijaron dos imanes de 8,3 x 2,8 x 1,9 cm a una distancia de 1,5cm (distancia en la cual el campo es óptimo para que se alineen las limaduras).



Figura 3.11 Experimento # 1. Caja de acrílico con imanes permanentes utilizados para la Visualización de las líneas de campo magnético.

Fuente: Los autores.

Experimento # 2: Experimento de Oersted.

Esta herramienta consiste en recrear el ensayo que realizó el científico Hans Oersted en 1820, donde empleaba una brújula y un conductor para estudiar el comportamiento del campo magnético. Según resultados del experimento del Oersted, debe formarse un ángulo de 90 grados entre la aguja de la brújula y el conductor al momento de hacer circular una corriente por este. La experiencia se centró en ubicar un hilo conductor en paralelo con la aguja de una brújula al cual se le hace circular una corriente continua.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Se realizó el experimento con un conductor de cobre esmaltado calibre #17 con una longitud de 1 m, la brújula es de 5 cm de diámetro y se ubica en el centro de la parte inferior de una lámina de acrílico de 22 x 28 cm apoyada en soportes de forma rectangular. En la parte superior de la lámina se encuentra adosada una pieza circular giratoria de 16 cm de diámetro que tiene un par de sujetadores donde se posiciona el conductor para fijarlo en paralelo con la aguja de la brújula.

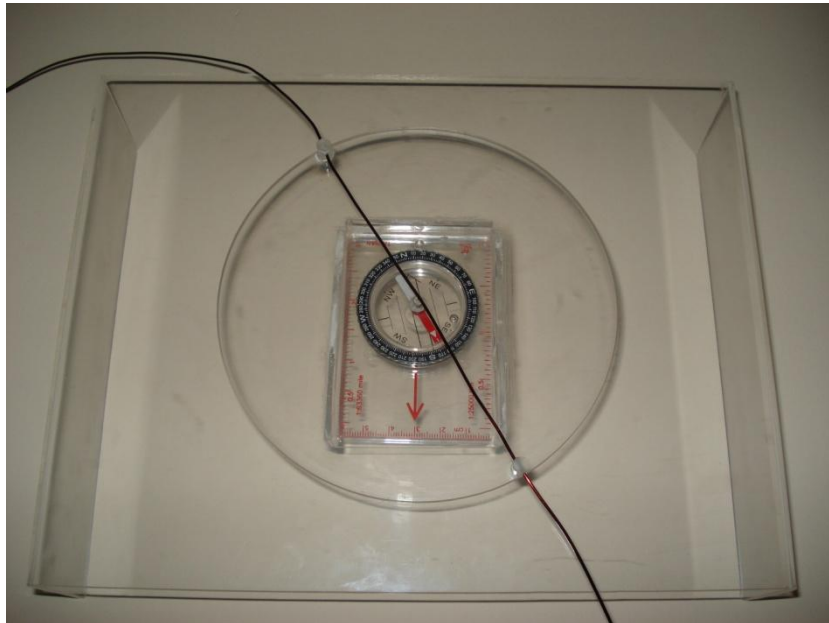


Figura 3.12 Experimento # 2. Lámina de acrílico con un hilo conductor y una brújula para observar ángulo entre la corriente y el campo magnético que se genera.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Distribución de líneas de campo magnético para configuraciones típicas de las Máquinas Eléctricas.

✦ Experimento # 3: Dos conductores con corrientes en sentidos opuestos.

Un alambre que conduce corriente produce un campo magnético que debe formar líneas de fuerza, circulares y concéntricas, alrededor del mismo. El sentido del campo puede determinarse usando la regla de la mano derecha (consiste en dirigir el dedo pulgar de la mano derecha en el sentido en que fluye la corriente con los cuatro dedos restantes extendidos, al cerrar la mano los cuatro dedos indicarán la dirección y sentido del campo magnético).

Para apreciar el comportamiento del campo magnético en este experimento se utilizó un alambre de cobre esmaltado calibre #17 arrollado a una lámina de acrílico de 22cm x 28cm, con 2 perforaciones espaciadas uniformemente, formando una espira rectangular de 16 vueltas.

El perímetro de una vuelta de la espira se calculó con los valores su largo y alto, estos son:

$$P = 2 \times l + 2 \times a \quad (3.1)$$

Donde:

P : Perímetro de un rectángulo, se mide en metros [m].

l : Largo de un rectángulo, se mide en metros [m].

a : Ancho de un rectángulo, se mide en metros [m].

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Por lo tanto:

$$P = 2 \times 7,5 \text{ cm} + 2 \times 6,5 \text{ cm} = 28 \text{ cm} \rightarrow P = 0,28 \text{ m} \quad (3.2)$$

Como la espira cuenta con 16 vueltas el perímetro total será:

$$P_{total} = P_{Espira} \times 16 \text{ vueltas} \rightarrow P_{total} = 4,48 \text{ m} \quad (3.3)$$

La totalidad de conductor empleado fue de 4,48m. En la lámina se ubican dos terminales, uno en cada extremo para conectarlo a la fuente de poder a utilizar.

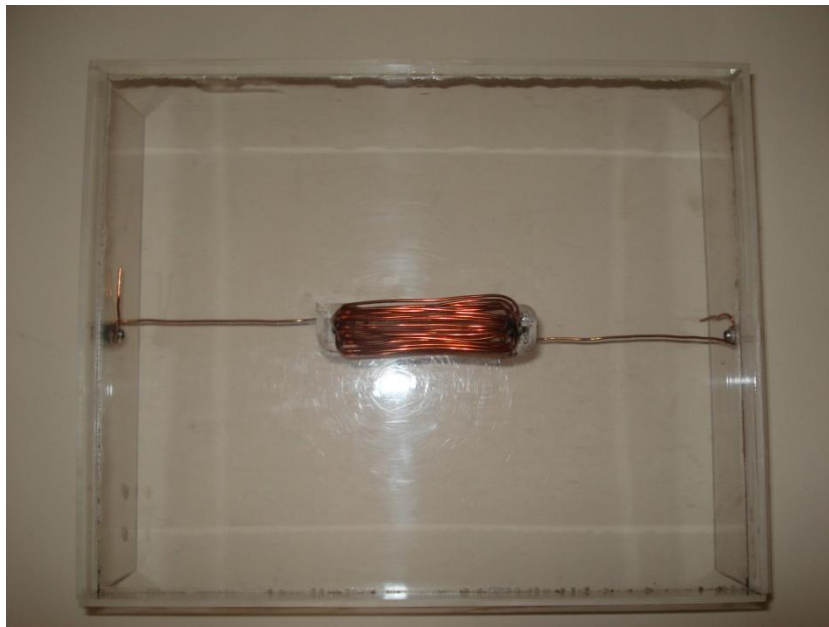


Figura 3.13. Experimento #3. Lámina de acrílico con espira rectangular para visualizar la distribución de líneas de campo magnético.

Fuente: Los autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

✦ Experimento # 4: Tres conductores con corrientes en sentidos iguales.

Cuando se presenta esta configuración las líneas de campo magnético resultantes deben variar con respecto a las apreciadas anteriormente. Se desea observar un cambio importante relacionado al recorrido de las limaduras de hierro ya que estas no realizan trayectorias concéntricas en cada espira dado que los campos magnéticos producidos entre los conductores de cada una de ellas se eliminan entre sí, por lo que las líneas de fuerza resultantes deben describir un camino cerrado irregular alrededor los conductores.

En este experimento se empleó alambre de cobre esmaltado calibre #17, una lámina de acrílico de 22cm x 28cm con 3 perforaciones separadas uniformemente, en la cual se arrollan paralelamente tres (3) espiras rectangulares de 65 vueltas cada una.

El perímetro de una vuelta de cada espira depende de su largo y ancho, los cuales son:

$$P = 2 \times l + 2 \times a \quad (3.4)$$

Donde:

P : Perímetro de un rectángulo, se mide en metros [m].

l : Largo de un rectángulo, se mide en metros [m].

a : Ancho de un rectángulo, se mide en metros [m].

$$P = 2 \times 9cm + 2 \times 8cm = 34cm \rightarrow P = 0,34m \quad (3.5)$$

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Cada espira tiene 65 vueltas por lo que el perímetro total será:

$$P_{total} = 0,34 \times 65 \rightarrow P_{total} = 22,1 \text{ m} \quad (3.6)$$

La cantidad de conductor utilizado fue de 22,1 m por cada espira y el total de alambre esmaltado empleado por las tres (3) espiras fue 66,3 m. En cada extremo de la lámina se ubica un terminal para conectarlos a la fuente de poder.



Figura 3.14. Experimento #4. Lámina de acrílico con tres espiras rectangulares en paralelo.

Fuente: Los autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

✦ Experimento #5: Solenoide de longitud finita

Las líneas de campo magnético que produce un solenoide están orientadas a lo largo de su eje, excepto en las proximidades de sus extremos. En este experimento se desea observar las líneas de fuerza que se generan por medio de este arrollado, así como también conocer el valor del campo magnético que se produce en el mismo.

El experimento consiste en un alambre de cobre esmaltado calibre #17 arrollado a una lámina de acrílico de 22cm x 28cm, con 11 perforaciones de cada lado espaciadas uniformemente y 4 vueltas por ranura.

El diámetro de una vuelta es de 7,5cm y su perímetro se calcula a continuación como:

$$P = 2 \times \pi \times r \quad (3.7)$$

Donde:

P : Perímetro de una circunferencia, se mide en metros [m].

π : Pi, Constante de valor 3,14.

r : Radio de una circunferencia, se mide en metros [m].

Entonces:

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

$$P = 2 \times \pi \times 3,75\text{cm} = 23,55\text{ cm} \rightarrow P = 0,2355\text{ m} \quad (3.8)$$

El solenoide tiene 44 vueltas por lo que perímetro total será:

$$P_{total} = P_{Vuelta} \times 44\text{ vueltas} \rightarrow P_{total} = 10,36\text{ m} \quad (3.9)$$

Por lo que el total de conductor utilizado fueron 10,36 m. En la lámina se ubican dos terminales, uno en cada extremo, para conectarlo a la fuente de energía. La magnitud del campo magnético en un solenoide se obtiene haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$H = \frac{NI}{\sqrt{4R^2 + L^2}} \quad (3.10)$$

Donde:

N : Número de vueltas del solenoide.

I : Corriente que circula por el conductor, se mide en amperios [A].

R : Radio del solenoide se mide en metros [m].

l : Longitud del solenoide [m].

Sustituyendo los datos del solenoide y la corriente que circula por él se obtiene:

$$H = \frac{44 \cdot 5\text{ A}}{\sqrt{4(0,04\text{ m})^2 + (0,125\text{ m})^2}} \quad (3.11)$$

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

El campo magnético en el solenoide de longitud finita es igual a:

$$H = 1482,48 \text{ L} \quad (3.12)$$

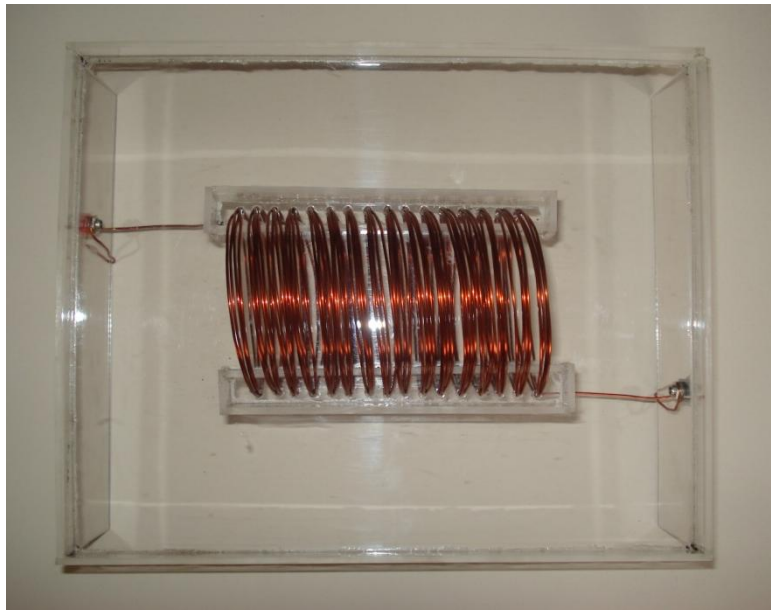


Figura 3.15. Experimento #5. Lámina de acrílico que contiene un solenoide de longitud finita.

Fuente: Los Autores.

✦ Experimento #6: Toroide

En esta experiencia se desea observar la distribución del campo magnético en un toroide y su magnitud, el cual debe ser uniforme en todos los puntos a lo largo de su eje cuando se encuentra energizado, permitiendo la formación de líneas de fuerza concéntricas en su interior.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

El experimento está conformado por una lámina de acrílico de 22cm x 28cm, con 24 ranuras espaciadas uniformemente a 15 grados cada una, formando circunferencias concéntricas de 9 y 3 cm de diámetro. En uno de sus extremos están ubicados 2 terminales para conectarlo al equipo que lo va a energizar.

Para obtener el perímetro de una vuelta se utilizó el valor del diámetro de la toroide, el cual es de 6cm, y la siguiente ecuación:

$$P = 2 \times \pi \times r \quad (3.13)$$

Donde:

P : Perímetro de una circunferencia, se mide en metros [m].

π : Pi, Constante de valor 3,14.

r : Radio de una circunferencia, se mide en metros [m].

$$P = 2 \times \pi \times 3cm = 18,84 \text{ cm} \rightarrow P = 0,1884 \text{ m} \quad (3.14)$$

En cada ranura se arrollaron 5 vueltas por lo que se tienen 120 vueltas en el toroide

$$P_{total} = P_{Vuelta} \times 120 \text{ vueltas} \rightarrow P_{total} = 22,61 \text{ m} \quad (3.15)$$

En consecuencia, en la lámina se arrollaron 22,61 metros de alambre de cobre esmaltado.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Para calcular la magnitud del campo magnético en un toroide se emplea la siguiente ecuación:

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{NI}{2\pi R} \quad (3.16)$$

Donde:

N : Número de vueltas del toroide.

I : Corriente que circula por la bobina, se mide en Amperios [A].

R : Radio de la circunferencia que describe el campo magnético (H) que genera la corriente.

Unidad: metros [m].

Sustituyendo los valores del toroide y la corriente que circula por él se obtiene:

$$H = \frac{120 \cdot 5 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,06 \text{ m}} \quad (3.17)$$

La magnitud del campo magnético en el toroide es:

$$H = 1592,36 \text{ L} \quad (3.18)$$

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

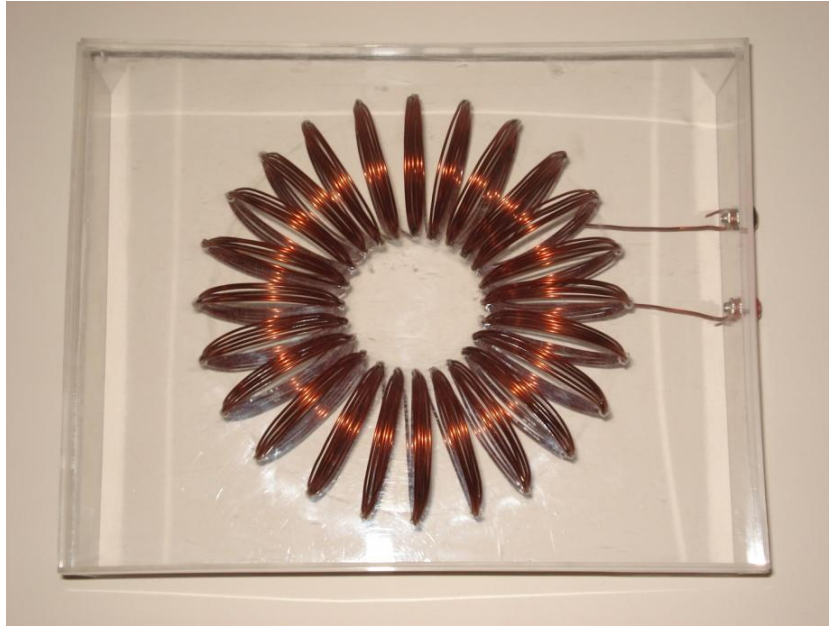


Figura 3.16. Experimento #6. Toroide con núcleo de aire.

Fuente: Los autores.

♦ Experimento # 7: Comportamiento del campo magnético con diferentes materiales

Con el propósito de visualizar el comportamiento de diversos materiales en presencia de un campo magnético se realizó este experimento. Se desea apreciar las variaciones de velocidad que presenta un carro de juguete al transitar por un carril que posee 5 materiales, los cuales son: vidrio, madera, acero silicio, aluminio y plástico.

Se elaboró una mesa de madera de 97 x 17,7 cm, con soportes de 7,5 cm de altura, que posee un carril en su centro de 89 x 9,5cm donde se colocaron 5 láminas de 18,1 x 10cm cada una y de diferentes materiales (vidrio, madera, plástico, aluminio y acero silicio).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

En la mesa se ubicó un carro de juguete con un imán en su parte inferior. Para lograr su movimiento por medio del campo magnético se elaboró una paleta de madera con un mango de 3,5 x 15,3 cm y con un extremo de forma rectangular de 7 x 26 cm donde se situó otro imán, dicha paleta se mueve manualmente por debajo de la mesa.



Figura 3.17. Experimento #7. Observación del campo magnético de distintos materiales.

Fuente: Los autores.

✦ Experimento # 8: Ley de Faraday

Cuando se aplica un flujo variable en el tiempo, en una bobina, se induce una tensión proporcional al número de espiras de la bobina y a la velocidad con que cambia el flujo, el objetivo de este experimento es observar a través de la corriente si existe un campo magnético.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Para la demostración de este experimento se utilizó un carrete de cable de 4,8 cm de diámetro y 9,4 cm de largo, en el cual se arrollaron 45,23 metros de alambre de cobre esmaltado calibre #17 uniformemente en 300 vueltas. En el centro del carrete se desliza un imán de 8,3 x 2,8 x 3 cm y en los extremos de la bobina se conecta un galvanómetro que indique la presencia de una corriente eléctrica generada por el campo magnético del imán.



Figura 3.18. Experimento #8. Equipos para la demostración de la Ley de Faraday.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

✦ Experimento #9: Circuitos Magnéticos

Se tiene un núcleo de material ferromagnético (acero silicio) con 270 mm de largo, 120mm de profundidad, 145mm de ancho y 40 mm de espesor. En este ensayo se utilizaron dos conductores recubiertos de 12 metros cada uno, tipo AWG, calibre #18, para arrollarlos sobre el núcleo. El primero se devanó con 36 vueltas uniformemente a lo largo de toda su longitud. El segundo conductor se arrolló en su totalidad con el mismo número de vueltas en una zona específica del núcleo (concentrado). Estas configuraciones se diferencian ya que cada conductor posee un color distinto, estos son negro correspondiente al devanado distribuido (primera configuración) y rojo para el devanado concentrado.

Con los experimentos de circuitos magnéticos se espera comprobar que, para las diferentes configuraciones, el flujo a través del material es el mismo a pesar de que las líneas de campo magnético relacionadas a cada una presentan distintas trayectorias, en el devanado distribuido las líneas de fuerza se orientan alrededor del núcleo, mientras que en el devanado concentrado existe una pequeña dispersión del campo magnético debido a que algunas líneas de campo magnético se cierran a través del aire.

En ambas configuraciones el flujo a lo largo del núcleo se mide haciendo uso de una bobina móvil de color azul de 36 vueltas y con un voltímetro conectado en sus extremos (ilustrando una pinza voltimétrica), la cual se desplaza libremente a lo largo del mismo. Esta presenta una relación de transformación 1:1 con cualquiera de los devanados arrollados en el núcleo.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO



Figura 3.19. Experimento #9. Núcleo de acero silicio con devanados concentrado y distribuido

Fuente: Los autores.

Dependiendo del tipo del material con el cual están elaborados los circuitos magnéticos varían sus curvas de imanación, el núcleo utilizado fue acero silicio, al cual se le hicieron ensayos de magnetización y desmagnetización. Esto se hizo recolectando valores de tensión y corriente, primero aumentando la corriente en un rango de 0,01 hasta llegar a la saturación del material, después se aplicó el mismo procedimiento disminuyendo la intensidad hasta alcanzar el valor inicial.

Para la elaboración de la curva se necesitan los valores de B y H . Los datos de corriente obtenidos se utilizaron para calcular la intensidad de campo magnético H de acuerdo a la siguiente ecuación:

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

$$H = \frac{NI}{l} \quad (3.19)$$

Donde:

N : Número de vueltas arrolladas al circuito.

I : Corriente que circula por el conductor, se mide en amperios [A].

l : Longitud media del circuito, se mide en metros [m].

Los valores de tensión se utilizaron para determinar el flujo máximo con la siguiente ecuación:

$$E = 4,44 Nf\phi_{max} \quad (3.20)$$

Donde:

E : Tensión inducida, se mide en voltios [V].

N : Número de vueltas arrolladas al circuito.

f : Frecuencia de la red, se mide en Hertz [Hz].

ϕ_{max} : Flujo máximo que presenta el núcleo debido al campo magnético, se mide en Webber [Wb].

Despejando el flujo la ecuación anterior queda:

$$\phi_{max} = \frac{E}{4,44 Nf} \quad (3.21)$$

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Con éste valor de flujo máximo se calcula la densidad de campo magnético B por medio de la ecuación:

$$\phi = B \cdot A \quad (3.22)$$

Donde:

ϕ : Flujo magnético, se mide en Webber [Wb].

B : Densidad de campo magnético, se mide en Tesla [T].

A : Área transversal de material, se mide en metros [m].

Una vez conseguidos todos los datos se obtuvieron dos gráficas y al sacar el promedio de ellas reflejó la curva de imanación a utilizar, (ver Anexo G).

✦ Experimento #10: Corrientes Parásitas

El fenómeno que se produce por las corrientes parásitas o corrientes de Foucault no es visible en los núcleos, solo se puede percibir debido al calentamiento que estas producen, por lo que se hizo una representación de los núcleos macizo y laminado utilizando chapas de aluminio. Se desea demostrar el efecto de las corrientes parásitas haciendo oscilar inicialmente la hoja de aluminio dentada que representa el núcleo laminado, esta debe realizar movimientos continuos que van disminuyendo constantemente debido al campo magnético presente, seguidamente se ubica en la base la lámina con extremo rectangular macizo y se realiza el mismo procedimiento, esta debe detenerse casi al inicio de su oscilación.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Para la realización de este experimento se utilizó una base de madera de 53,5 x 15cm, en su parte izquierda tiene un tubo de aluminio en posición vertical de 32 cm de altura y en su extremo otro tubo de aluminio en posición horizontal de 33 cm, en el medio de la base se encuentran dos piezas de madera a una distancia de 14,5 cm adosado a cada una de ellas un imán de forma circular de 6cm de diámetro con un orificio en su centro de 3,5 cm de diámetro que es cubierto por un círculo de hierro y este a su vez en su centro posee una barra roscada de 3/8, 25 hilos y de 16 cm de largo.

Se elaboraron 2 láminas de aluminio para ser colocadas por separado en el tubo horizontal, el cual cuenta con dos discos ajustables de aluminio que servirán para posicionar las láminas permitiendo que realicen movimientos oscilatorios sin que se deslicen a lo largo del mismo. La primera lámina de aluminio tiene un mango de 22,3 x 2,1 cm y en su extremo presenta una forma rectangular de 9 x 6cm. La segunda presenta un mango de igual dimensión teniendo en su extremo una forma de tenedor con 9 dientes de 4,8cm x 4mm y los dientes de los extremos son de 4,8cm x 7 mm. Se escogió el aluminio por ser un material no ferromagnético y buen conductor de electricidad.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

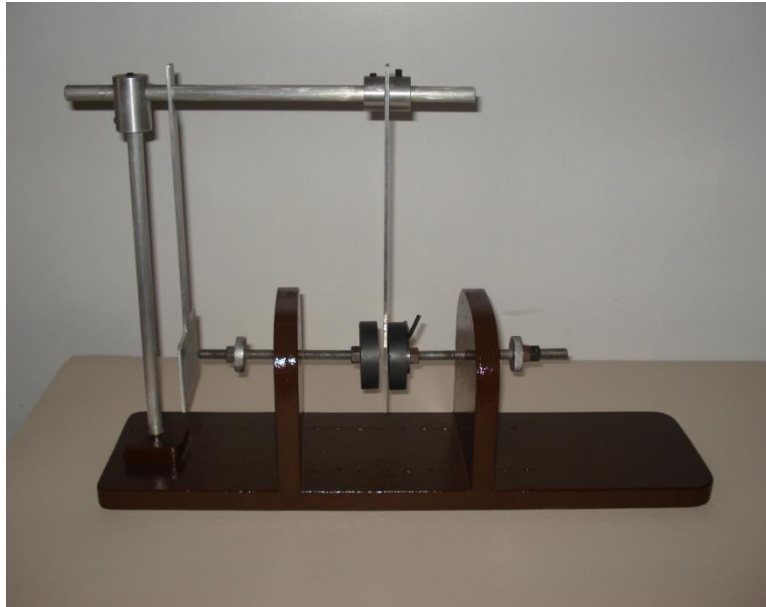


Figura. 3.20. Experimento #10. Módulo para visualizar el efecto de las corrientes parásitas en los núcleos laminado y macizo.

Fuente: Los autores.

- Adquirir los materiales necesarios para la elaboración de los experimentos, preferiblemente donados por empresas relacionadas con la Ingeniería Eléctrica, para que el producto final sea lo más cercano a la realidad.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Tabla 3.1. Materiales empleados en los experimentos

MATERIAL	CANTIDAD	PROVEEDOR	ADQUISICIÓN
Llave de Allen de 1/8	1	Ferre Tornillos Barajas C.A.	Compra
Cable automotriz calibre #18 tipo AWG	36 m	FERREVAL C.A.	Compra
Aceite 3 en 1	1	FERRETERIA EPA C.A	Compra
Jack banana pequeño	10	Taiwan Electronics C.A.	Compra
Plus banana	6	Taiwan Electronics C.A. Grupo Arcano C.A.	Compra
Terminal circulares	6	Taiwan Electronics C.A.	Compra
Papel lija # 360	1	Auto Accesorios Da Silva C.A.	Compra
Papel lija # 500	1	Eléctricos Frimen C.A.	Compra
Mecha 1/8	1	MIGO Palonegro C.A.	Compra
Láminas de acrílico 3mm de espesor	7	Tecniacrylicos 3000 C.A	Compra
Imán de 8,3 x 2,8 x 3 cm	1	DITA C.A.	Donación
Imán de 8,3 x 2,8 x 1,9 cm	2	DITA C.A.	Donación
Brújula	1	Adrenalina Deportes de Montaña C.A.	Compra
Limaduras de hierro (viruta)	-	DITA C.A, Tornos Marín C.A.	Donación
Láminas de aluminio	2	DITA C.A.	Compra
Alambre de cobre esmaltado calibre #17	1,05 kg	MultiEléctrico C.A.	Compra

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

MATERIAL	CANTIDAD	PROVEEDOR	ADQUISICIÓN
Cajas de madera	7	DITA C.A.	Compra
Mesa de madera	1	DITA C.A.	Compra
Mesa de madera y paleta para experimento #7	1	DITA C.A.	Compra
Base de madera para experimento #10	1	DITA C.A.	Compra
Imán circular de corneta	4	DITA C.A.	Donación
*Fuente de poder de 13,8 V y 15 A	1	UC (ayuda menor)	Donación
*Retroproyector	1	UC (ayuda menor)	Donación
*Galvanómetro	1	UC (ayuda menor)	Donación
Sellador de madera	1/2 gal	FERRETERIA EPA C.A	Compra
Barniz teñido	1/4gal	FERRETERIA EPA C.A	Compra
Brocha 1’’	1	FERRETERIA EPA C.A	Compra
Thinner	2 Lt	FERREPCA C.A FERRETERIA QUINCAFERRE C.A	Compra
Núcleo de acero silicio	1	INSETECA	Compra
Pintura de caucho color marrón	1/4 gal	Centro Color C.A.	Compra

*Estos equipos se solicitaron a la universidad por medio de una ayuda menor, mientras tanto se pedirán en calidad de préstamo al departamento que tenga los equipos disponibles.

Fuente: Los autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

FASE IV:

Construir y desarrollar los experimentos diseñados para optimizar la enseñanza y el aprendizaje de la cátedra Máquinas Eléctricas.

- Realizar el montaje de cada uno de los experimentos y verificar si los resultados son acordes con los esperados.

Para el desarrollo de las experiencias se contó con el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, donde se encuentran disponibles algunos equipos necesarios para los montajes.

Se utilizó una fuente de poder de corriente directa y alterna con valores nominales de 16 A y tensión de 110 - 220 V, instrumentos de medición de intensidad de corriente y voltaje cuyos rangos contemplan los de la fuente y un reóstato con valores nominales de 1,2 Ω , 16 A.

En el Capítulo IV del presente trabajo se describirá cada experimento, los cuales fueron probados y analizados detalladamente para verificar si cumplían lo esperado, o en caso contrario optimizar el funcionamiento de los mismos.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

- Elaborar consolas para movilizar y almacenar los experimentos.

Para trasladar al aula de clases los experimentos y los equipos a utilizar, se elaboró una mesa de 1 m de altura con cuatro (4) ruedas de poliuretano y cuatro (4) entrepaños de 60 x 50 cm, espaciados uniformemente a 34,5cm cada uno.



Figura 3.21. Mesa para movilizar los experimentos

Fuente: Los autores

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Las herramientas se encuentran almacenadas en cajas de madera para resguardarlas y evitar su deterioro con el transcurso del tiempo, a excepción de los experimentos número siete (7), nueve (9) y diez (10), que debido a sus dimensiones se acomodarán en estantes de una de las oficinas pertenecientes al Departamento de Potencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.



Figura 3.22. Caja para almacenar los experimentos

Fuente: Los autores

RESULTADOS

La herramienta desarrollada en este proyecto de grado consta de 10 experimentos relacionados con la temática del magnetismo que se imparte en las clases teóricas de la asignatura Máquinas Eléctricas I, cada uno posee un procedimiento para su adecuado uso (ver Anexo H). En el presente capítulo se hablará de los resultados arrojados al realizar los montajes.

4.1 Experimento # 1: Visualización de las líneas de campo magnético de los imanes.

Una vez realizado el montaje, se pudo observar la fuerza magnética que ejerce un imán sobre el otro. Cuando se enfrentaron polos opuestos las líneas de fuerza en el espacio existente entre ellos es aditiva ya que los campos de ambos imanes se refuerzan, figura 4.1 (a). Por el contrario, cuando se enfrentaron polos iguales el comportamiento de las líneas manifestó una fuerza repulsiva entre estos, dado que presentaron trayectorias en sentidos opuestos, figura 4.1 (b).

(a)



(b)



Figura 4.1 Resultados del experimento #1. Orientación de las líneas de fuerza en presencia de un imán permanente.

(a) Polos opuestos enfrentándose. (b) Polos iguales enfrentándose.

Fuente: Los autores.

4.2 Experimento #2: Experimento de Oersted

Al realizar este montaje, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.1, se puede observar en la figura 4.2 que el campo magnético generado por la corriente no fue suficiente para desplazar la aguja de la brújula los grados esperados. Para cumplir con el objetivo deseado se debe aplicar una corriente mayor de 15 A esto se comprobó en el Laboratorio de Máquinas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Tabla 4.1. Resultados del experimento #2 para diferentes valores de corriente.

Corriente (A)	Voltaje (V)	Grados de desplazamiento
5	0,5	60^0
6	1	60^0
11	9	70^0
15	12	76^0

Fuente: Los Autores.

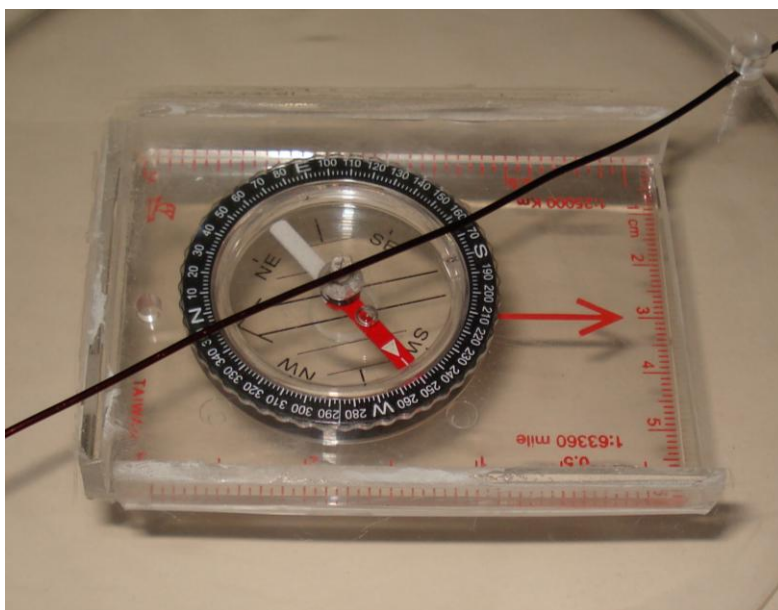


Figura 4.2. Resultado del experimento # 2. Deflexión de la aguja de la brújula.

Fuente: Los autores.

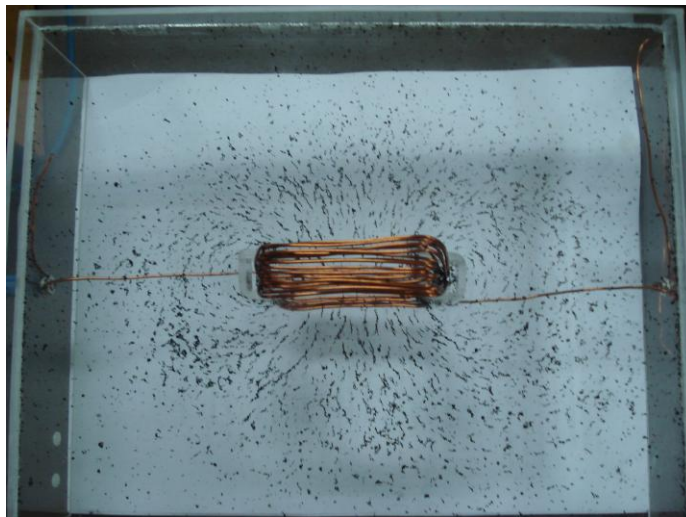
En el momento de realizar el ensayo se contó con una fuente de poder de valores nominales de 16 A y 110 - 220 V, tensión alterna y continua, mientras que para la implementación de esta experiencia en el aula de clases (lugar donde se desarrollaran las herramientas didácticas) se utilizará una fuente de valores nominales 13,8 y 15A, esto quiere decir que el ángulo esperado (90^0) no se alcanzará.

4.3 Distribución de líneas de campo magnético para configuraciones típicas de las Máquinas Eléctricas.

4.3.1 Experimento # 3: Dos conductores con corrientes en sentidos opuestos.

La prueba de esta experiencia se realizó generando una corriente de 5 A y una tensión de 0,5 V. Al energizar la espira se pudo comprobar que las líneas de fuerza se orientan formando círculos alrededor de los conductores debido a la inducción que genera el campo magnético sobre las limaduras de hierro, ver figura 4.3 (a).

(a)



(b)



Figura 4.3. Resultado del Experimento #3. Orientacion de las líneas de campo magnético en una espira rectangular. (a) Vista de planta del experimento.
(b) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.

Fuente: Los autores.

Para visualizar el motivo por el cual las líneas de fuerza describieron esas trayectorias, figura 4.3 (b), se consideró la lámina como un plano, de este modo se pudo denotar que por la espira circuló una corriente entrando al plano y otra saliendo del mismo. Cuando el campo magnético generado tiene la misma dirección pero sentidos distintos se presenta entre los conductores un campo resultante aditivo, por lo que las líneas de campo se compensan unas con las otras logrando así el objetivo de este ensayo.

4.3.2 Experimento # 4: Tres conductores con corrientes en sentidos iguales.

En esta configuración se pudo observar la forma asimétrica que presentan las líneas de fuerzas debido al campo magnético presente en cada espira, figura 4.4 (b). El sentido de su orientación se determina por medio de la regla de la mano derecha (consiste en ubicar el dedo pulgar de la mano derecha que indica el sentido en la que circula la corriente, este puede ser hacia arriba saliendo de la lámina o hacia abajo entrando a la lámina, los cuatro dedos restantes muestran la dirección del campo magnético y ésta se obtiene girando los dedos hasta cerrar la mano).

En el espacio existente entre los conductores se observa, figura 4.4 (a), que las líneas de fuerza no se cierran debido a que los campos magnéticos se anulan entre sí porque sus sentidos de circulación son opuestos.

El experimento se comprobó aplicando una corriente de 12 A y una tensión de 10 V, como la conexión de las espiras es en paralelo la corriente que circula por cada espira es aproximadamente 4 A, es decir, el campo resultante en cada una de ellas es el mismo.

(a)



(b)



Figura 4.4. Resultado del Experimento #4. Líneas de campo magnético en espiras rectangulares conectada en paralelo. (a) Vista de planta del experimento. (b) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.

Fuente: Los autores.

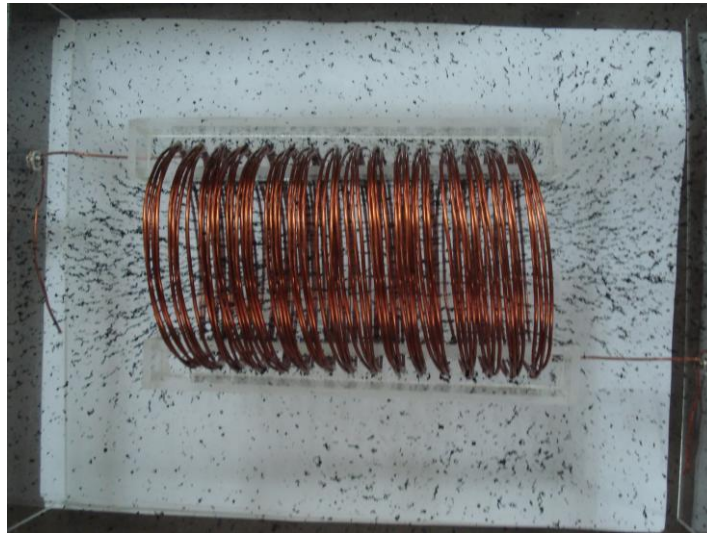
4.4 Experimento #5: Solenoide de longitud finita

Se observó que las líneas de campo magnético en el eje del solenoide son paralelas y estaban distribuidas de modo uniforme, figura 4.5 (a), en sus extremos presentaron un efecto terminal (figura 4.5 (b)) debido a que el campo magnético va disminuyendo su intensidad desde la zona central del solenoide hacia las afueras del mismo, por lo que las líneas tienden a abrirse buscando un campo que las oriente y les permita completar la trayectoria cerrada que las caracteriza. Esta orientación de las líneas de fuerza puede percibirse claramente si el elemento que posee campo magnético es una barra imantada donde las líneas describen una gran cantidad de trayectorias cerradas.

La prueba se realizó aplicando una corriente de 5 A y una tensión de 2 V, la cual arrojó los resultados esperados. El campo magnético del solenoide se calcula por medio de la ecuación 3.10 y su valor obtenido fue:

$$H = 1482,48 \text{ L}$$

(a)



(b)

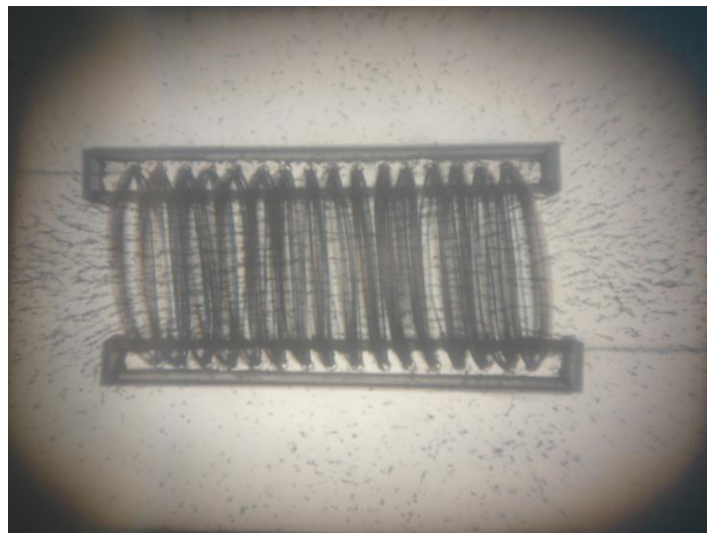


Figura 4.5. Resultado del experimento #5. Líneas de campo magnético en un solenoide. (a) Vista de planta del arrollado. (b) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.

Fuente: Los autores.

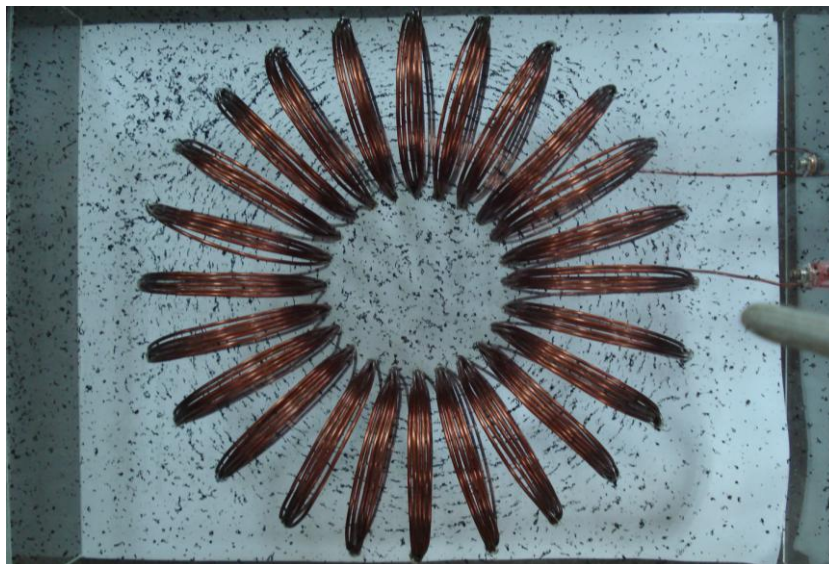
4.5 Experimento #6: Toroide

Se probó el experimento alimentando el circuito con corriente directa de valor 5 A y tensión de 3 V. Al realizar el ensayo se pudo observar la alineación de las limaduras de hierro según el campo magnético generado por la corriente, éstas formaron círculos concéntricos en el eje del toroide, logrando el resultado deseado, figura 4.6 (a). En las zonas externas al toroide no se formaron líneas de fuerza ya que éstas son trayectorias que encierran la corriente que circula por cada espira, como puede observarse de forma más detallada en la figura 4.6 (b) en estos espacios no hay ningún elemento de corriente en consecuencia el campo magnético es igual a cero.

El campo magnético en el toroide se calcula con la ecuación 3.18 y su valor obtenido fue:

$$H = 1592,36 \text{ L}$$

(a)



(b)

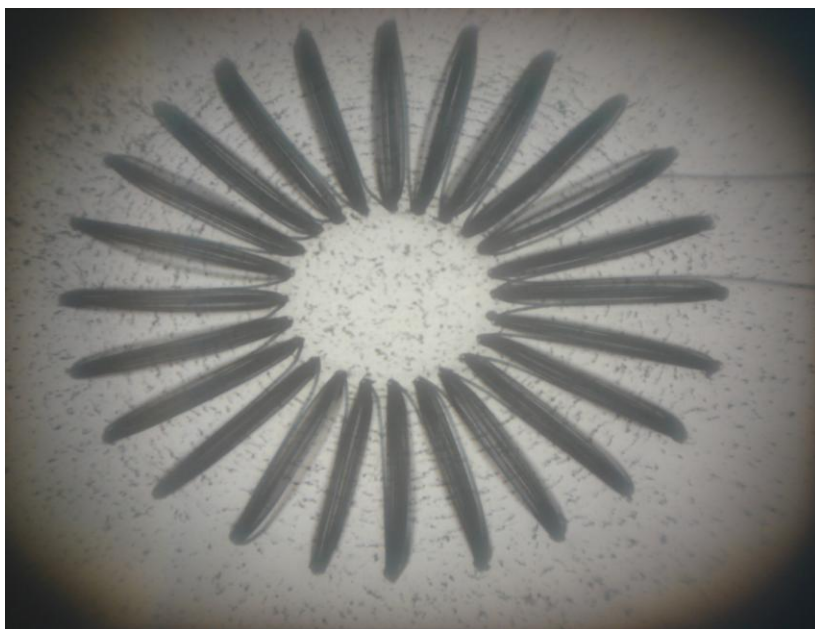


Figura 4.6. Resultado del Experimento #6. Líneas de campo magnético en un Toroide. (a) Vista de planta del arrollado. (b) Proyección del experimento por medio de un retroproyector.

Fuente: Los autores.

4.6 Experimento # 7: Comportamiento del campo magnético con diferentes materiales

En la realización del experimento el único material que disminuyó la velocidad del carro fue la lamina de acero silicio, ya que tiene propiedades ferromagnéticas que impiden que se desplace fácilmente, los materiales restantes no variaron la velocidad del carro ya que no poseen esa característica. Para que el carro siguiera en movimiento en el tramo donde se ubica la lámina de acero silicio fue necesario aumentar la intensidad de campo magnético acercando la paleta, una distancia tal, que el campo se hizo lo suficientemente fuerte para hacerlo desplazar nuevamente.

4.7 Experimento # 8: Ley de Faraday

En este experimento los resultados arrojados fueron los esperados ya que se observó el movimiento de la aguja del galvanómetro al aplicar un campo magnético variable deslizando el imán hacia afuera y hacia adentro de la bobina. Dependiendo del polo del imán que se introduzca la aguja del galvanómetro deflecta hacia la derecha o la izquierda y al extraerlo ésta se desplaza en sentido contrario al inicial. El rango de oscilación del instrumento de medición es de $0,9 \mu\text{A}$ por división y la aguja imantada alcanzó aproximadamente las cinco (5) primeras divisiones, ver figura 4.7, y puede llegar a deflecar la aguja del galvanómetro un máximo de diez (10) divisiones aproximadamente (la lectura del instrumento depende de la velocidad con que se deslice el imán).

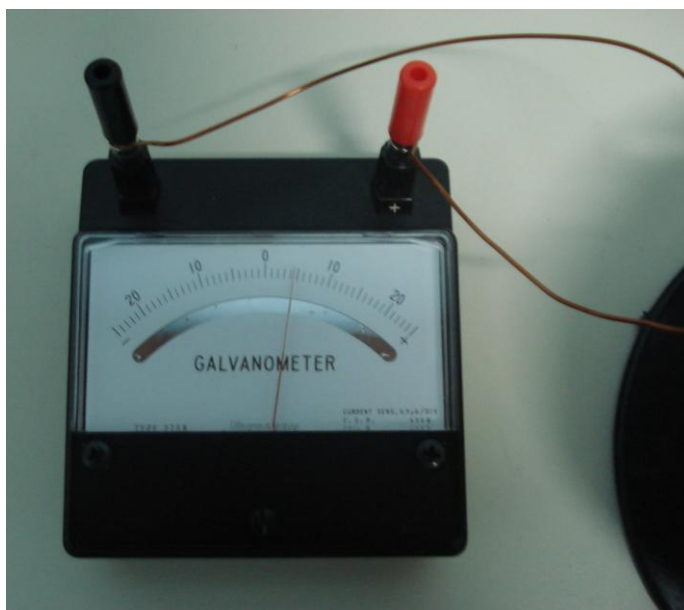


Figura 4.7. Resultado del Experimento #8. Lectura del galvanómetro al aplicar un movimiento variable con un imán permanente.

Fuente: Los autores

4.8 Experimento # 9: Circuitos Magnéticos

Los experimentos se llevaron a cabo utilizando una fuente de tensión alterna de valores nominales 0 - 220 V y 16 A, arrojando los siguientes resultados:

- Devanado concentrado

Se realizó el montaje del circuito energizándolo con un valor de corriente de 0,5 A y tensión de 60 V, en la pinza se observó una tensión igual a 61,7 V en los extremos del núcleo más alejados al arrollado y en el centro de la bobina el valor de tensión alcanzado fue de 61,9 V y su flujo magnético resultante fue de 6,45 mWb, mientras que para el primer valor de tensión el flujo obtenido fue de 6,43 mWb. Esta pequeña variación se debe a que algunas líneas de flujo tienen una trayectoria que se cierra a través del aire por lo que parte del flujo se dispersa, esto origina que exista un flujo ligeramente mayor en la zona donde se ubica el arrollado.

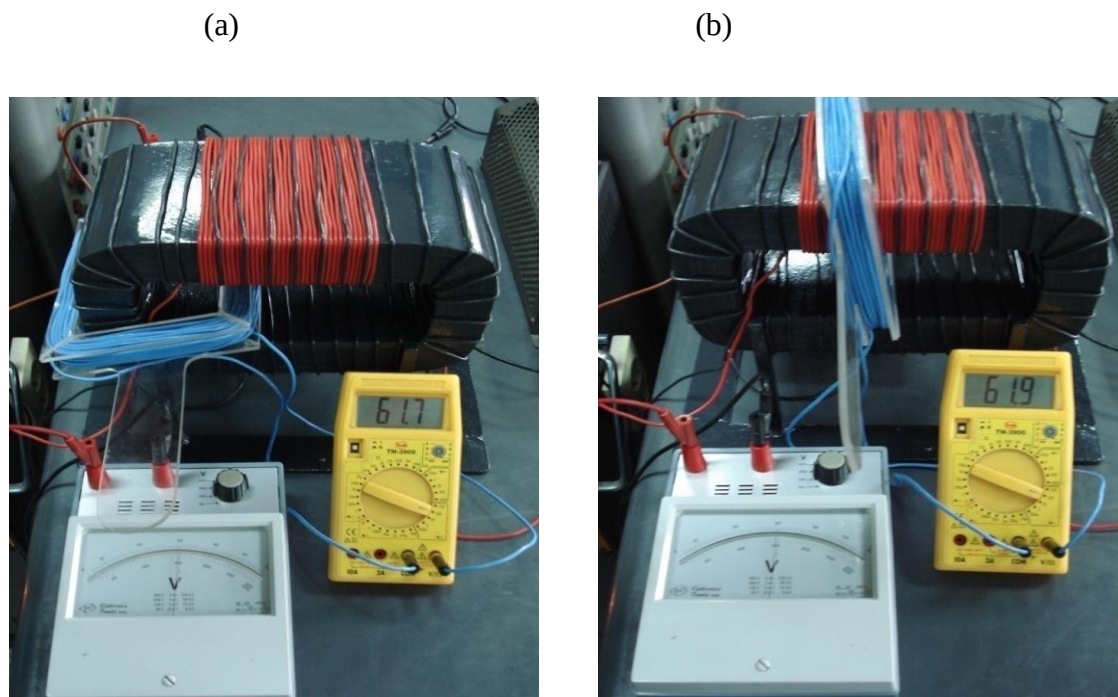


Figura 4.8. Resultado del Experimento # 9. Devanado concentrado. (a) Lectura del voltímetro conectado a la pinza móvil posicionada en un extremo del núcleo. (b) Lectura del voltímetro una vez ubicada la pinza móvil alrededor del devanado conectado.

- Devanado distribuido

Seguidamente se conectó el circuito con el devanado de color negro (devanado distribuido) y se energizó empleando los mismos valores de corriente y tensión de la conexión anterior, la lectura arrojada en la pinza fue de 62,0 V, el cual se mantuvo constante en todo el núcleo, obteniéndose un flujo magnético de 6,46 mWb. Al comparan los resultados de los flujos magnéticos obtenidos en cada configuración se observó que son aproximados, alcanzando el objetivo planteado.

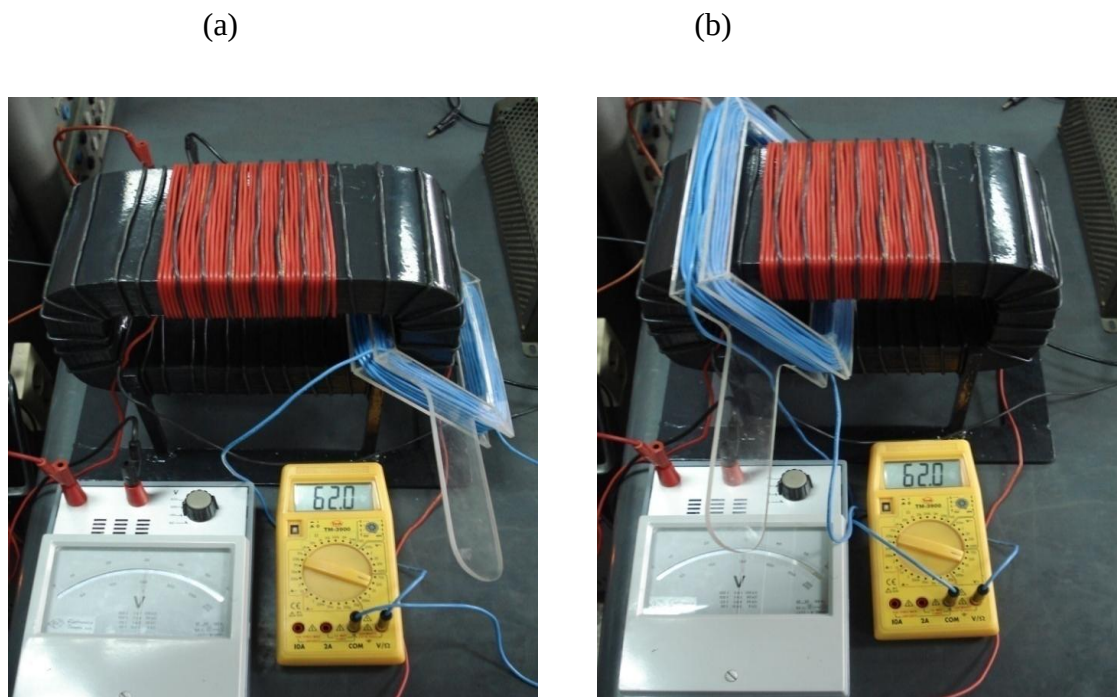


Figura 4.9. Resultado del Experimento # 9. Devanado Distribuido. (a) Lectura del voltímetro conectado a la pinza móvil posicionada en un extremo del núcleo. (b) Lectura del voltímetro desplazando la pinza móvil alrededor del núcleo con el devanado distribuido conectado.

4.9 Experimento #10: Corrientes Parásitas

Los resultados de esta experiencia son netamente visuales dado que no se cuenta con los instrumentos de medición adecuados para cuantizar la velocidad de oscilación de las láminas de aluminio. Inicialmente se ubicó la lámina dentada entre los sujetadores de la barra horizontal, se le dio movimiento y se obtuvieron 16 oscilaciones, luego se utilizó la lámina con extremo macizo y aplicando el mismo procedimiento ésta realizó 1 oscilación y media. En ambos casos los imanes se encontraban a 1,2cm de separación.

El movimiento obtenido con ambas láminas de aluminio fue el esperado y permitió manifestar que en los núcleos macizos las corrientes parásitas son tan elevadas que generan en ellos calentamiento por efecto joule ocasionando grandes pérdidas de potencia en el material y bajo rendimiento. Cuando el núcleo es laminado las corrientes parásitas quedan confinadas a trayectorias de sección transversal pequeñas y las pérdidas disminuyen considerablemente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se realizó un análisis para determinar cuáles son los tópicos fundamentales de la asignatura Máquinas Eléctricas I y de estos seleccionar los temas específicos con los que se desarrollaron las herramientas, por lo que se efectuó la revisión de textos especializados en la materia, encuestas aplicadas a los estudiantes cursantes de la misma y entrevistas a los profesores que la imparten. La mayoría de los resultados estuvieron enfocados en la primera parte de la asignatura denominada Circuitos Magnéticos Excitados con Corriente Continua (Unidad I).

La Unidad I del programa sinóptico de Máquinas Eléctricas I abarca los fenómenos y conceptos básicos del magnetismo y es de vital importancia debido a que los tópicos restantes están estrechamente relacionados con ella, esta última condición influyó al seleccionar la temática del magnetismo como base para el desarrollo del presente proyecto.

Con el diseño de las herramientas didácticas se desea fomentar el aprendizaje visual que permite identificar patrones, ideas erróneas e interrelacionar los conceptos adquiridos en el tópico de Magnetismo de la asignatura Máquinas Eléctricas I. Se desarrollaron un conjunto de diez (10) experimentos partiendo del principio básico de cada fenómeno, aplicando conocimientos adquiridos en las materias cursadas y tomando ideas de experimentos existentes relacionados con los temas escogidos, también se tuvo en consideración la disponibilidad de los materiales a utilizar con la finalidad de lograr bosquejos de fácil elaboración.

Una vez contruidos todos los experimentos se realizaron pruebas a cada uno para observar el correcto funcionamiento de los mismos tomando una importante considerando acerca de los datos de placa de la fuente de poder que se va a utilizar en el aula de clases ya que en el momento de hacer los montaje el equipo no estaba disponible, las herramientas didácticas arrojaron los resultados esperados cumpliendo todos los propósitos planteados.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✦ Comparar los índices de los estudiantes con las estadísticas que brindó la Dirección de Asuntos Estudiantiles una vez aplicadas las herramientas didácticas diseñadas en este trabajo especial de grado para la cátedra Máquinas Eléctricas I.
- ✦ Continuar el presente trabajo especial realizando experimentos de los tópicos restantes de la asignatura Máquinas Eléctricas I.
- ✦ Participar a las cátedras donde sea posible aplicar estas herramientas didácticas para brindarle al estudiante versatilidad en su aprendizaje.
- ✦ Buscar apoyo económico por parte de las empresas para la realización de proyectos experimentales.
- ✦ Adquirir un instrumento con el que se puedan medir oscilaciones para emplearlo en el experimento # 10.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].- LAYA, Nelson; (2007). Máquinas Eléctricas I. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela, Abril de 1986.
- [2].- MELENDEZ, Lastenia; (1995). Evaluación formativa de la asignatura Máquinas Eléctricas I de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Trabajo de ascenso. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería.
- [3].- RAMOS, Elieser; (2000). Aplicaciones interactivas asistidas por computador para la enseñanza de Máquinas Eléctricas II parte: Flujo Magnético y Campo Magnético giratorio. Proyecto de grado. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería.
- [4].- MELENDEZ, Lastenia; (2000). Animación computarizada aplicada a la enseñanza del funcionamiento de la Máquina de Corriente Continua. Trabajo de ascenso. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería.
- [5].- AQUINO, Francisco. VALERA, Jesús; (2002). Aplicaciones interactivas asistidas por computador para la enseñanza de Transformadores monofásicos. Proyecto de grado. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería.
- [6].- CAMPOS, Lino. PANTOJA, Salomón; (2002). Sistema multimedia interactivo y didáctico para el aprendizaje de Circuitos Magnéticos en corriente continua y alterna. Proyecto de grado. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería.
- [7].- OROPEZA, Rubén. RICARDI, Iván; (2002). Aplicaciones interactivas asistidas por computador para la enseñanza de Máquinas Eléctricas IV parte: Motor de Inducción y Motores Monofásicos de Corriente Alterna. Proyecto de grado. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería.
- [8].- LEWIN, Walter; (2002). Open course ware: Electricity and Magnetism. Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- [9].- RODRÍGUEZ, Rosmina; (2003). Diseño de un Sistema de ayuda Multimedia para el Laboratorio de la asignatura Máquinas Eléctricas I. Proyecto de Grado. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería.
- [10].- ASIMOV, Isaac; (1973). Introducción a la ciencia, (Primera parte: Ciencias Físicas). España, Editorial Hyspamerica. Traducción: Jorge de Orus y Manuel Vázquez.

BIBLIOGRAFÍA

[11].- SERWAY, Raymond. BEICHNER, Robert; (2002). Física para ciencias e ingeniería (Tomo II). México, Editorial Mc Graw Hill, Quinta edición. Traducción: Víctor Campos Olguín y Ana Elizabeth García Hernández.

[12].- MORA, Jesús F; (2003). Máquinas Eléctricas. España (Madrid), Editorial Mc Graw Hill, Quinta edición.

[13].- E.E. Staff del M.I.T.; (1980). Circuitos Magnéticos y Transformadores. Argentina, Editorial Reverté.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. FERNÁNDEZ-COLLADO, Carlos. BAPTISTA LUCIO, Pilar; (2006). Metodología de la Investigación. México (Distrito Federal), Editorial Mc Graw Hill, Cuarta edición.

ANEXO A

PENSUM DE ESTUDIOS

CÓDIGO	PRIMER SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
MA1B01	ANÁLISIS MATEMÁTICO I	NINGUNO	4	2	0	5
MA1B02	GEOMETRÍA ANALÍTICA	NINGUNO	4	2	0	5
DH1B01	PROCESOS BÁSICOS DEL PENSAMIENTO	NINGUNO	0	4	0	2
HU1B01	INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS HUMANAS	NINGUNO	3	0	0	3
	HORAS / SEMANA: 19					
	TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:		11	8	0	15
CÓDIGO	SEGUNDO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
MA2B03	ANÁLISIS MATEMÁTICO II	MA1B01-MA1B02	3	2	0	4
FI2B01	FÍSICA I	MA1B01-MA1B02	3	2	0	4
MA2B04	ÁLGEBRA LINEAL	MA1B01-MA1B02	3	1	0	3.5
QU2B01	QUÍMICA GENERAL I	NINGUNO	3	1	0	3.5
DH2B02	RAZONAMIENTO VERBAL Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS	DH1B01	0	3	0	1.5
DE2B01	DEPORTE*	NINGUNO	-	2	-	-
	HORAS / SEMANA: 23					
	TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:		12	11	0	16.5
CÓDIGO	TERCER SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
FI3B02	FÍSICA II	MA2B03-FI2B01	2	2	0	3
ID3B01	INGLÉS I	DH2B02	2	2	0	3
DI3B01	DIBUJO I	DH2B02	1	3	0	2.5
MA3B05	FUNCIONES VECTORIALES	MA2B03-MA2B04	3	1	0	3.5
FI3B03	LABORATORIO I DE FÍSICA	FI2B01	1	2	0	3
DH3B03	CREATIVIDAD E INVENTIVA	DH2B02	0	3	0	1.5
MA3B06	ECUACIONES DIFERENCIALES	MA2B03-MA2B04	3	1	0	3.5
HU3B02	CULTURA*	NINGUNO	2	-	-	-
	HORAS / SEMANA: 20					
	TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:		14	14	0	20
CÓDIGO	CUARTO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
MA4B07	MATEMÁTICAS APLICADAS	MA3B05-MA3B06	2	2	0	3
CA4B01	COMPUTACIÓN I	MA2B04-DH3B03	2	0	2	3
FI4B04	LABORATORIO II DE FÍSICA	FI3B02-FI3B03	0	0	3	1.5
FI4B08	FÍSICA MODERNA Y ONDAS	FI3B02	2	2	0	3
CM4E01	CIRCUITOS ELÉCTRICOS I	FI3B02/MA4B07	4	1	0	4.5
PW4E01	TERMODINÁMICA Y FLUIDOS	FI3B02-MA3B06	2	1	0	2.5
ID4B02	INGLÉS II	ID3B01	2	0	0	2
	HORAS / SEMANA: 25					
	TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:		14	6	5	19.5
CÓDIGO	QUINTO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
CM5E02	CIRCUITOS ELÉCTRICOS II	MA4B07-CM4E01	4	1	0	4.5
EC5E01	ELECTRÓNICA I	QU2B01-FI4B08-CI1-E01	3	1	0	3.5
CM5E03	MEDICIONES ELÉCTRICAS I	// CM5E02	2	1	0	2.5
EC5E02	TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA I	FI4B04-FI4B08-OCM5E02	3	1	0	3.5
CA5B02	COMPUTACIÓN II	CA4B01	2	0	2	3
CM5E04	LABORATORIO DE CIRCUIT. Y MED.	//CM5E03	1	0	3	2.5
	HORAS / SEMANA: 24					
	TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:		15	4	5	19.5

Cantidad de Asignatura:

Unidades de Crédito:

Horas de la carrera:

Cantidad de Actividades:

Número de Semestres:

CÓDIGO	SEXTO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
EC5E01 PW5E02 SA5E01 SA5E02	ELECTRÓNICA II MÁQUINAS ELÉCTRICAS I LÓGICA DIGITAL TEORÍA DE CONTROL I HORAS / SEMANA: 29 TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:	CM5E02 - EC5E01 CM5E03 - CM5E02 - EC5E02 EC5E01 CM5E02	3 4 3 3	1 1 1 1	2 2 2 0	4.5 5.5 4.5 3.5
CÓDIGO	SÉPTIMO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
PW7E03 EC7E04 SA7E03 SA7E04 EC7E05 EC7E06	MÁQUINAS ELÉCTRICAS II ELECTRÓNICA II TEORÍA DE CONTROL II MICROPROCESADORES PRINC. DE ING. DE COMUNICACIONES (1) INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA (2) (3) HORAS / SEMANA: 31 TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:	PW6E02 EC6E03 SA5E02 - PW5E02 SA5E01 EC5E02 - EC7E04 CM5E03 - EC5E02 - EC6E03 - SA5E01	4 4 3 3 3 2	1 0 1 1 0 0	2 2 0 2 0 2	5.5 5 3.5 4.5 3 3
CÓDIGO	OCTAVO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
PW8E04 GE8E01 EC8E07 EC8E09 EC8E10	PROY. DE ILUMINACIÓN Y CANALIZACIONES (4) INGENIERÍA ECONÓMICA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA II (3) TEORÍA DE LAS COMUNICACIONES I (3) SISTEMA DE ONDAS GUIADAS (3) HORAS / SEMANA: 20 TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:	0 PW7E03 110 UC EC7E04 EC7E06 EC7E04 - EC7E06 EC7E06	3 3 3 3 2	1 1 1 2 2	0 0 0 12 0	3.5 3.5 3.5 4 4
CÓDIGO	NOVENO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
PG9E01 GE9E02 EC9E14 EC9E15	PROYECTO DE GRADO I PRINCIPIOS DE GERENCIA INGENIERÍA DE LAS COMUNICACIONES I (3) ANTENAS (3) (8) HORAS / SEMANA: 12 TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:	100 UC GE8E01 EC8E09 - EC8E10 EC8E07 - EC8E10	1 3 3 3	0 0 1 1	0 0 0 0	1 3 3.5 4
CÓDIGO	DECIMO SEMESTRE	REQUISITOS	T	P	L	UC
HU0E03 PG0E02 EC0E18	SEM. DE LEGISLACIÓN Y DEONTOLOGÍA PROYECTO DE GRADO II INGENIERÍA DE LAS COMUNICACIONES II (3) HORAS / SEMANA: 8 MÍNIMO TOTAL DE HORAS Y UNIDADES:	110 UC PG9E01 EC9E14 - EC9E15	2 1 3	0 0 1	0 0 0	2 5 3.5
			7	1	0	10.5

Notas

- (1) Materia solamente obligatoria para las opciones: Potencia, Sistemas y Automática.
- (2) Materia solamente obligatoria para la opción: Electrónica y Comunicaciones.
- (3) Materia solamente obligatoria para la opción: Telecomunicaciones.
- (4) A la mención telecomunicaciones se les permite cursar la asignatura PROYECTO DE ILUMINACIÓN Y CANALIZACIONES (PW8E04) con asignaturas del décimo semestre.
- (5) Esta materia no será ofrecida este semestre.
- (6) Cualquier alumno cuyo plan de estudios contemple el tomar menos de ocho (8) electivas de una misma opción, deberá someter el plan de estudios a la aprobación del departamento al cual pertenece el mayor número de electivas incluidas en el plan.
- (7) Esta materia puede ser tomada por estudiantes de las otras menciones.
- (8) A partir del periodo electivo 2-2004 las prelaaciones de la asignatura Antenas serán EC8E07-EC8E10.



MENCIÓN TELECOMUNICACIONES (4)

COD.	ASIGNATURAS OBLIGATORIAS DE MENCIÓN	REQUISITOS	T	P	L	UC
EC9E11	DISEÑO DE CIRCUITO DE COMUNICACIONES (1)	EC8E09-EC8E10	2	2	2	4
EC9E13	TEORÍA DE LAS COMUNICACIONES II	EC8E09-EC8E10	3	1	0	3.5
EC9E16	MICROONDAS	EC8E07-EC8E10	2	2	2	4
EC9E17	INSTRUMENTACIÓN DE LAS COMUNICACIONES	EC8E09-EC8E10	2	1	3	3.5
EC0E19	REDES DE TELECOMUNICACIONES (5)	//EC0E18	3	1	0	3.5
EC0E20	TRANSMISIÓN DE DATOS	EC8E07-EC8E09-EC8E10	3	1	0	3.5
EC0E21	TELEFONIA	//EC0E18	3	1	0	3.5
EC0E22	PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES	EC8E09//PG0E02	2	2	2	4
EC0E25	RADIO Y TELEDIFUSIÓN (5)	//EC0E18	2	2	2	4

NOTAS

- (1) Materia solamente obligatoria para las opciones: Potencia y Sistemas y Automática
 (2) Materia solamente obligatoria para la opción Electrónica y Comunicaciones
 (3) Materia solamente obligatoria para la opción Telecomunicaciones
 (4) A la mención Telecomunicaciones se les permitirá cursar la asignatura PROYECTOS DE ILUMINACIÓN Y CANALIZACIONES (PW8E04) con asignaturas del último semestre.
 (5) Esta materia no será ofrecida este semestre.
 (6) Cualquier alumno cuyo plan de estudios contemple el tomar menos de ocho (8) electivas de una misma opción, deberá someter el plan de estudios a la aprobación del Departamento al cual pertenece el mayor número de electivas incluidas en el plan.
 (7) Esta materia puede ser tomada por estudiantes de las otras menciones.
 (8) A partir del período electivo 2-2004 las prelações de las asignaturas Antenas serán EC8E07-EC8E10



MENCION SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

COD.	ASIGNATURA	REQUISITOS	T	P	L	UC
SAE05	DISEÑO DIGITAL	SAE04-EC7E04	3	0	0	3
SAE06	ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS I	CAE03 - SAE04-EC7E04	2	1	2	3.5
SAE07	TEORÍA DE CONTROL II	SAE03	3	1	0	3.5
SAE08	INSTRUMENTACIÓN DIGITAL (5)	SAE04-SAE03-EC0E03	2	1	2	3.5
SAE09	INSTRUMENTACIÓN DE PROCESOS I	PAE01-EC6E03-SAE03	4	2	0	4
SAE11	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL I (7)	SAE01-SAE03	2	0	3	3
SAE10	ROBÓTICA Y VISION INDUSTRIAL	SAE06-SAE11	2	1	2	3.5
SAE12	LABORATORIO DE DISEÑO DIGITAL	SAE04 - SAE05	1	0	4	3
SAE13	ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS II	SAE05 - SAE06	2	1	2	3.5
SAE14	CONTROL DE PROCESOS	SAE07- SAE08	3	1	0	3.5
SAE15	INSTRUMENTACIÓN DE PROCESOS II	SAE07- SAE09	1	0	2	2
SAE16	SIMULACIÓN	CAE02-SAE07	3	0	0	3
SAE17	METODOLOGÍA DE LA PROGRAMACIÓN	SAE08	2	1	2	3.5
SAE18	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL II (5)	SAE11	2	0	3	3
SAE19	INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL (3)	SAE07- SAE06 - SAE09	2	1	2	3.5
SAE20	CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADOR(S)	SAE07 - SAE17	2	1	2	3.5
SAE21	CONTROL INDUSTRIAL	SAE14	3	1	0	3
SAE22	TÓPICOS ESPECIALES DE SISTEMAS DE CONTROL	SAE16	2	0	2	3.5
SAE23	TÓPICOS ESPECIALES DE SISTEMAS DIGITALES	SAE17	3	1	0	3.5



ASIGNATURAS ELECTIVAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

MENCIÓN POTENCIA

CODIGO	ASIGNATURAS	REQUISITOS	T	P	L	UC
PW8E05	TRANSMISIÓN DE ENERGÍA I	PW7E09	3	1	0	3.5
PW8E06	SISTEMAS DE POTENCIA I	PW7E05	3	1	0	3.5
PW8E07	MÁQUINAS ELÉCTRICAS II	PW7E09	3	1	0	3.5
PW8E08	ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS (7)	PW7E09 - SA7E03	3	1	0	3.5
PW8E09	SISTEMAS DE POTENCIA II	PW8E06	3	1	0	3.5
PW8E10	PROTECCIONES ELÉCTRICAS	PW8E07 - Y PW8E09	3	0	2	3.5
PW8E11	SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	PW8E06 - PW8E09	3	1	0	3.5
PW8E12	SISTEMAS INDUSTRIALES I	PW7E05-PW8E24	3	1	0	3.5
PW8E13	TECNICAS DE ALTA TENSION	Y PW8E09	3	1	0	3.5
PW8E14	SUBSTACIONES	PW8E07 - O PW8E09	3	1	0	3.5
PW8E15	TRANSMISIÓN DE ENERGÍA II	PW8E05 - PW8E06	3	1	0	3.5
PW8E16	PLANE Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA(S)	PW8E09	3	1	0	3.5
PW8E17	SISTEMAS INDUSTRIALES II	PW8E12	3	1	0	3.5
PW8E18	TÓPICOS ESPECIALES DE POTENCIA (5)	NINGUNO	3	0	0	3

MENCIÓN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

COD.	ASIGNATURAS OBLIGATORIAS DE MENCIÓN	REQUISITOS	T	P	L	UC
EC7E08	ELECTRÓNICA DE POTENCIA (5)	PW7E03 - EC7E04	2	2	2	4
EC8E06	TEORÍA DE LAS COMUNICACIONES I	EC7E04 - EC7E08	2	2	2	4
EC8E10	SISTEMAS DE ONDAS GUIDADAS	EC7E08	2	2	2	4
EC8E11	DISEÑO DE CIRCUITOS DE COMUNICACIONES (5)	EC8E09 - EC8E10	2	2	2	4
EC8E12	ELECTRÓNICA IV	EC8E08	2	2	2	4
EC8E13	TEORÍAS DE LAS COMUNICACIONES II	EC8E08-EC8E10	3	1	0	3.5
EC8E14	INGENIERÍA DE COMUNICACIONES I	EC8E08-EC8E10	3	1	0	3.5
EC8E15	ANTENAS (3) (8)	EC8E10	3	1	3	4
EC8E16	MICROONDAS	EC8E07-EC8E10	2	2	2	4
EC8E17	INSTRUMENTACIÓN DE LAS COMUNICACIONES	EC8E08-EC8E10	2	1	3	3.5
EC8E22	PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES	EC8E09/PG0E02	2	2	2	4
EC8E23	ELECTRÓNICA V	EC7E04-ANTENAS/EC8E12	2	2	2	4
EC8E24	LAB. DISEÑO CIRCUITOS ELECTRÓNICOS (5)	EC8E12-EC8E15/EC8E16-EC8E22	2	0	4	3.5

ANEXO B**PROGRAMA SINÓPTICO DE LA ASIGNATURA MÁQUINAS ELÉCTRICAS I****PROGRAMA SINÓPTICO**

DEPARTAMENTO Y/ O CÁTEDRA: POTENCIA REQUISITOS: CM5E02+
CM5E03+ EC5E02 FECHA: 01/2003.

ÁREA DE FORMACIÓN: PROFESIONAL ESPECÍFICA
CARÁCTER: OBLIGATORIO.

CÓDIGO	ASIGNATURA	T	P
L HT UC			
PW6E02	MÁQUINAS ELÉCTRICAS I	4	1
<u>2 7 5.50</u>			

JUSTIFICACIÓN:

La asignatura Máquinas Eléctricas I es básica para el estudiante de Ingeniería Eléctrica, se dicta a nivel de sexto semestre con la finalidad de iniciar al alumno en el estudio de las máquinas eléctricas. Es importante que el docente al desarrollar el curso logre que el estudiante ejercite un razonamiento continuo y motivarlo a profundizar en sus conocimientos con el objeto de facilitar el aprendizaje del resto de las asignaturas, donde son necesarios unos conocimientos sólidos en el área de las máquinas eléctricas.

OBJETIVOS GENERALES:

Al finalizar el curso el alumno podrá: Describir paso a paso el funcionamiento del transformador monofásico, autotransformador, transformador trifásico cuando se le conecte carga. Analizar y explicar el funcionamiento de la máquina de corriente continua como generador y como motor.

CONTENIDOS:

UNIDAD I. Circuitos magnéticos en corriente continua. Magnetismo, imán, polos de un imán, unidad de polo, ley de coulomb, intensidad de campo, inducción magnética, flujo magnético, unidades, ley de ampere, fuerza magneto-motriz, teoría de los dominios, ciclo de histéresis, curvas B-H, materiales ferromagnéticos, permeabilidad magnética, reluctancia, circuito magnético toroidal con bobina uniformemente distribuida y con bobina concentrada, circuitos magnéticos serie, paralelo, serie-paralelo, circuitos magnéticos entre hierro, dispersión de flujo, corrección del área del entrehierro, leyes de Kirchhoff aplicadas a los circuitos magnéticos, método de aproximaciones sucesivas.

UNIDAD II. Circuitos magnéticos en corriente alterna. Pérdidas en los núcleos de materiales ferromagnéticos, pérdidas por histéresis, pérdidas por corrientes parásitas, pérdidas en los núcleos magnéticos, determinar por separado las pérdidas por histéresis y de Foucault, corriente de excitación en bobinas con núcleo de hierro, análisis de la corriente de excitación, con las series de fourier, curvas experimentales para predecir la corriente de excitación, introducción de un entre hierro, circuito equivalente de una bobina con núcleo de material ferromagnético y de un transformador en vacío.

UNIDAD III. Transformadores. Principios básicos de funcionamiento, transformador ideal, diagramas fasoriales, relaciones fundamentales, polaridad en transformadores, transformador real, imperfecciones, diagramas fasoriales del transformador real, en vacío y con carga, características nominales del transformador, circuito equivalente, ensayos de vacío y cortocircuito, regulación de tensión, rendimiento, pérdidas fijas y pérdidas variables, índice de carga, curvas de rendimiento, rendimiento máximo, conexión en paralelo de transformadores monofásicos, autotransformadores, principios de funcionamiento, aplicaciones, conexiones trifásicas, conexiones delta y estrella, comportamiento de las conexiones trifásicas desde el punto de vista de los armónicos de la corriente de excitación, defasajes entre las tensiones y corrientes primarias y secundarias, índice horario, conexiones trifásicas con carga equilibrada.

UNIDAD IV. Máquina de corriente continua. Circuito magnético de una máquina D.C, ley de Lenz, ley de Faraday, principios básicos para la generación de tensión y producción de fuerza en un conductor sometido a la acción de un campo magnético, partes componentes de una máquina D.C, generación de una F.e.a. alterna en una sola espira colocada en el rotor, rectificación de una onda de tensión alterna, devanados de rotor características de los devanados, devanado de Gramme, devanados de dos capas, bobina de paso, devanados imbricado y ondulado, diagrama circular y frontal, deducción de las ecuaciones para cálculo F.e.a. y torque electromagnético desarrollado, aplicación, distribución de la FMM en el entrehierro, densidad de flujo en el entrehierro debido al devanado inductor y al

ANEXOS

devanado del inducido, reacción de armadura y medios para evitarla, conmutación, devanados de compensación y polos conmutación, principios de conversión de energía, concepto de energía eléctrica, energía mecánica, energía de pérdidas, energía almacenada en el campo de acoplamiento, energía en sistemas magnéticos con excitación simple y excitación múltiple, fuerza mecánica, ecuaciones dinámicas, generador D.C, generador de excitación separada, circuito equivalente, sentidos positivos para generadores, curva de vacío, trazados y precauciones para obtenerla, trazado de una nueva gráfica a otra velocidad, característica externa de un generador de excitación separada, tipos de generadores, generadores Shunt, serie compuesto, auto excitación del generador Shunt, influencia de la velocidad, recta de inductores, característica externa de un generador Shunt, serie y compuesto, aplicaciones, FMM del devanado, serie expresada como su equivalente en el devanado Shunt, reacción de armadura, efectos sobre la tensión generada, análisis de la máquina D.C como motor $V_t = \text{cte}$ y $S = \text{Variable}$, precauciones para el arranque, consideraciones dinámicas, frenado dinámico, inversión de giro, control de velocidad variando, control de velocidad variado V_t , valores estables de la ω según la variación, escogencia de un motor según el torque, selección de potencia. Características externas de los diferentes tipos de motores D.C. Relación de interés en los cálculos con motores. Demostración de KO puede ser evaluado a partir de una gráfica trazada a una velocidad diferente a aquella a la cual funciona la máquina. Pérdida y rendimiento, pérdidas magnética y mecánicas. Ecuaciones para el cálculo de pérdidas y rendimiento.

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA:

Teórico-Práctico con amplia participación individual, resolución de problemas y experiencias en el laboratorio bajo la guía del docente.

ANEXO C

PROGRAMA SINÓPTICO DE LA ASIGNATURA MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

PROGRAMA SINÓPTICO				
DEPARTAMENTO Y/ O CÁTEDRA: <u>POTENCIA</u> REQUISITO:				
<u>PW6E02</u> FECHA: <u>01/2003</u> .				
ÁREA DE FORMACIÓN: <u>PROFESIONAL ESPECÍFICA</u> CARÁCTER: <u>OBLIGATORIO</u>				
CÓDIGO	ASIGNATURA			T P
L HT UC				
<u>PW7E03</u>	<u>MÁQUINAS ELÉCTRICAS II</u>			<u>4</u>
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>7</u>	<u>5.50</u> .	
JUSTIFICACIÓN: En esta asignatura se estudian las maquinas rotativas de corriente alterna, fundamentalmente las que trabajan con sistemas trifásicos, especialmente las máquinas sincrónicas funcionando como motor y como alternador., así como el motor de inducción. Estos tópicos son de gran importancia para todo ingeniero que se relacione con la industrias en general y las compañías de suministro eléctrico en particular, ya que el motor de inducción es el mas utilizado en aplicaciones industriales y el alternador es el corazón de todo de sistema de generación eléctrica se trate de una empresa de servicio publico cuyo fin es vender la energía o bien para generación interna en cualquier empresa. La asignatura también es un soporte importante para seguir en el estudio de otras asignaturas, ya que las maquinas sincrónicas siempre aparece involucrada dentro del sistema de potencia y por tanto todo análisis del mismo requiere de los conocimientos básicos impartidos en esta materia.				

OBJETIVOS GENERALES:

El estudiante estará en capacidad de analizar: a) El comportamiento de la maquina sincrónica funcionando aisladamente y acoplada a un sistema de potencia activa y reactiva, estabilidad, sincronización, regulación de frecuencia, regulación de tensión, limites de operación, ensayos y pruebas de aceptación. b) El motor de inducción en todas sus formas de operación comunes en la industria, tales como conexiones, arranque y aceleración, ensayos, pruebas de recepción, cálculos de potencia, par, velocidad, etc..

CONTENIDOS:

UNIDAD I. Principios básicos y devanados: Principios del alternador. Maquinas de rotor liso y polos salientes. Maquinas primaria. Grupo. Factor de distribución. Tipos de devanados. Polos alternados y polos consecuentes. Devanados monofásicos y trifásicos. Devanado imbricado. Devanado en espiral. Numeración estándar. Numero de capas. Armónicos en conexiones trifásicas. **UNIDAD II. Campos magnéticos giratorios.** FMM por fase bobinas diametrales. FMM por fase, bobinas acortadas. Coeficientes de serie de Fourier onda cuadrada. FMM fundamental. FMM giratoria en función de ángulo y del tiempo. Demostración grafica de campo giratorio. **UNIDAD III. Alternador trabajando aisladamente.** Conexión de una carga. flujo de reacción ángulo entre los flujos tensión máxima y corriente máxima en una fase. Circuito equivalente. Ensayos de vacío y cortocircuito. Reactancia sincrónica de saturación y lineal. Perdidas rendimiento. Curvas características para distintos factores de potencia. Regulación de frecuencia. Características astática y estática. Maquinas de polos salientes. Método de blondel para regulación. **UNIDAD IV. Alternador conectado a una red potencia infinita.** Sincronización. Ecuaciones de par y potencias activa y reactiva. Variación de excitación. Curvas en V. Factor de potencia para motor y para alternador. Diagramas fasoriales. Arranque de motores sincrónicos perdida de paso. Ensayos de vacío y rotor bloqueado. Variación de la resistencia de las barras y tensión estatórica. Variación de la velocidad por variación de los polos. Control de velocidad por variación de frecuencia. **UNIDAD V. Motor de inducción.** Principios de operación del motor de inducción. Circuito secundario por fases o barra. Ecuaciones de interés. Curva de par vs. velocidad y vs. deslizamiento. Circuito equivalente. Ecuaciones de par, potencia y deslizamiento.

ANEXO D**PROGRAMA SINÓPTICO DE LA ASIGNATURA MÁQUINAS ELÉCTRICAS III****PROGRAMA SINÓPTICO**

DEPARTAMENTO Y/ O CÁTEDRA: POTENCIA REQUISITO:
PW7E03 FECHA: 01/2003.

ÁREA DE FORMACIÓN: PROFESIONAL ESPECÍFICA
 CARÁCTER: ELECTIVO.

CÓDIGO	ASIGNATURA	T	P
L HT UC			
<u>PW8E07</u>	<u>MÁQUINAS ELÉCTRICAS III</u>	<u>3</u>	<u>1</u>
<u>0 4 3.50</u>			

JUSTIFICACIÓN:

La asignatura Máquinas Eléctricas III es de carácter obligatorio para el estudiante del área de potencia. Su contenido es orientado a profundizar y complementar los conocimientos adquiridos en Máquinas Eléctricas I y II., cuyos contenidos son insuficientes para un Ingeniero Electricista del área de potencia.

OBJETIVOS GENERALES:

Una vez finalizado el curso el alumno ha desarrollado capacidades y destrezas para:
 Especificar, seleccionar y evaluar transformadores de poder, de medidas, alternadores y grandes motores, de acuerdo a los requerimientos del consumo y del sistema. Evaluar los principios básicos de un plan de mantenimiento preventivo en equipos eléctricos. Evaluar

los efectos que sobre la aislación y la vida útil del equipo tienen los esfuerzos dieléctricos, térmicos y mecánicos. Seleccionar y evaluar los sistemas de protección de transformador, alternador y grandes motores. Evaluar los principios básicos de un plan de mantenimiento preventivo en equipos eléctricos.

CONTENIDOS:

UNIDAD I. Cálculo por unidad. Circuito equivalente monofásicos de conexiones trifásicas de transformadores. Circuito equivalente de transformadores con “n” enrollados. **UNIDAD II.** Componentes simétricos. Interconexión de mallas de secuencia con una asimetría. Armónicas en circuitos trifásicos equilibrados. *Mallas de secuencia y de excitación de barras de transformadores y transformadores trifásicos: 3-5 columnas y acorazados en conexión:* Δ / Δ ; Δ / Δ ; Δ / Δ ; Δ / Δ . Transformadores de puesta a tierra conexión Zig-Zag, Δ / z , Δ / z . Mallas de secuencia y de excitación de autotransformadores. Electros de la puesta a tierra en las mallas de secuencia. Métodos de compensación para resolver circuitos con transformadores con más de una asimetría. **UNIDAD III.** Tipos de constructivos y materiales empleados en la construcción del núcleo. Tipos constructivos y materiales empleados en la construcción de bobinas. Relación entre potencia, pérdidas, reactancia en función de las dimensiones básicas del núcleo (diámetro, ancho y altura de la ventana). **UNIDAD IV.** Conexión paralelo - paralelo de transformadores. Condiciones para conexión óptimo. Cambiador de derivaciones en vacío y en baja carga. El transformador como elemento de control del flujo de potencia reactiva (regulación longitudinal). El transformador como elemento de control del flujo de potencia reactiva (regulación transversal). **UNIDAD V.** Transformadores de potencial con núcleo magnético. Transformadores de potencial capacitivo. Transformadores de corrientes para medidas. Transformadores de corriente para protección. **UNIDAD VI.** Campos magnéticos rotatorios de secuencia positiva y negativa producidos por cargas desequilibradas. Campos magnéticos rotatorios producidos por la distribución espacial del enrollado. Campos magnéticos rotatorios de armónicos del tiempo de la tensión aplicada. **UNIDAD VII.** Devanados enteros, diseño y características de diseño, armónica su efecto sobre las máquinas. Factor de paso y de distribución. Armónicas de ranuras. Frecuencia, efectos y soluciones. *Devanado fraccionario:* Características de diseño, requisitos armónicos. Factor de paso, de distribución. **UNIDAD VIII.** Modelo de impedancia de la máquina del rotor liso y de polos salientes. Modelos de Potier, determinación de la reactancia y reacción de Potier. Reactancia saturada y no saturada. *Impedancias del alternador:* X_d , X_q , X_2 , X_0 . Modelo de la F.M.M., diferencias con el modelo de reactancia. Diagrama y límites de operación

armaduras, excitación turbina, estabilidad. **UNIDAD IX.** Circuito equivalente de un motor de inducción para secuencia positiva, negativa y cada una de las armónicas del tiempo y del espacio. *Características de operación de un M. de I:* Torque, potencia, corriente, pérdidas en función del deslizamiento. Efecto de la armónica del tiempo, especiales en las características de operación. Operación del M de I con tensiones desequilibradas. Operación del M de I con una fase del estator abierta. Operación del M de I con impedancias desequilibradas en el rotor. Operación del M de I con una fase abierta del rotor. **UNIDAD X.** *Sistemas de excitación:* Independiente, propio autoexcitación, excitación sin escobillas. Fuentes de excitación, principal, excitación piloto, respuesta de excitación. *Operación de los sistemas de excitación:* Automático, manual. Limitaciones de operación. **UNIDAD XI.** Oscilograma de la corriente de cortocircuito (c.c), componente unidireccional, alterna, componente subtransitoria, transitoria y permanente. Determinación de las reactancias y constantes de tiempo transitoria y subtransitoria, el eje directo y cuadratura. Concepto físico de los procesos de cortocircuito, modelo de reacción, origen de transitorios y constantes de tiempo. Cálculo de la corriente de C.C. **UNIDAD XII.** *Sobretensiones a que este sometido la aislamiento:* Frecuencia industrial, impulso y maniobra. Pruebas dieléctricas en transformadores. *Clases de aislamiento:* Plena y reducida. *Pruebas dieléctricas en alternadores:* Clases de aislamiento. Definición de capacidad nominal e influencia de las pérdidas, condiciones ambientales. Transferencias de calor y sistemas de refrigeración del núcleo, bobinas y aceite del transformador. Refrigeración forzada y natural. Transferencia de calor y sistemas de refrigeración del alternador. Refrigeración natural y forzada. Esfuerzos mecánicos en transformadores. Esfuerzos mecánicos en transformadores. Esfuerzos mecánicos en alternadores. Deterioro de la aislamiento producido por los esfuerzos térmicos, dieléctricos y mecánicos. **UNIDAD XIII.** Protección de transformadores contra fallas internas. Protección de transformadores contra sobrecargas. Protección de transformadores contra fallas externas. Protección de transformadores contra sobretensiones. *Protección de alternadores y grandes motores contra:* Fallas en estator, fallas en el rotor, sobre cargas, corrientes desbalanceador, fase abierta, pérdidas de excitación, motoreo. **UNIDAD XIV.** Pruebas de recepción en fábrica y en el campo y transformadores y alternadoras. Mantenimiento del aceite, núcleo, bobinas y accesorios de transformadores. Mantenimiento del estator, rotor y accesorios de alternadores. Programas de mantenimiento preventivo de transformadores y alternadores.

ANEXO E

ESTADÍSTICAS DE LA DIRECCIÓN DE ASUNTOS ESTUDIANTILES DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Periodo Lectivo	Codigo	Inscritos	Retirados	Aprobados	Aplazados
2005-1	PW6E02	108	13	55	40
2005-2	PW6E02	134	9	62	63
2006-1	PW6E02	141	13	74	54
2006-2	PW6E02	114	14	46	54
2007-1	PW6E02	114	13	47	54
2007-2	PW6E02	149	39	43	67
2008-1	PW6E02	155	33	44	78
2008-2	PW6E02	162	29	54	79
2009-1	PW6E02	165	38	47	80



Matricula

Semestre	Condición	Inscritos
20001		12
20002		23
20002	A	1
20011		111
20011	A	18
20012		128
20021		121
20022		108
20031		127
20032		116
20041		109
20042		108
20051		95
20052		125
20061		128
20062		100
20071		101
20072		112
20081		125
20082		132
20091		118
20091	V	41
20092		120
20101		120
20101	V	42
20102		93

V = Verano A = Arrastre

Reprobados

Semestre	Condición	Reprobados
20001		1
20002		3
20002	A	0
20011		68
20011	A	5
20012		68
20021		53
20022		57
20031		50
20032		52
20041		44
20042		42
20051		40
20052		62
20061		54
20062		54
20071		54
20072		68
20081		81
20082		78
20091		71
20091	V	26
20092		85
20101		73
20101	V	11
20102		46

V = Verano A = Arrastre

Aprobados

Semestre	Condición	Aprobados
20001		11
20002		20
20002	A	1
20011		43
20011	A	13
20012		60
20021		68
20022		51
20031		77
20032		64
20041		65
20042		66
20051		55
20052		63
20061		74
20062		46
20071		47
20072		44
20081		44
20082		54
20091		47
20091	V	15
20092		35
20101		47
20101	V	31
20102		47

V = Verano A = Arrastre

ANEXO F

ENCUESTA Y VALIDACIÓN POR LOS EXPERTOS



Universidad de Carabobo
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Potencia
ENCUESTA



Con el fin de diagnosticar algunas dificultades de los estudiantes de la asignatura (PW6E02) Máquinas Eléctricas I (ME-I) con respecto a la misma, se desarrolla esta encuesta; la cual es una herramienta que forma parte de un trabajo especial de grado.

Para responder las preguntas por favor seleccione la opción de su preferencia con una X y siga las instrucciones dadas en cada una cuando sea necesario.

1.- Ha cursado la materia:

a.- Una vez _____ b.- Dos veces _____ c.- Más de dos veces _____

2.- ¿Considera usted que el desarrollo de las clases de teoría de la asignatura ME-I es dinámico?

Sí _____ Muy a menudo _____ Algunas veces _____ Casi nunca _____ No _____

.- De ser afirmativa su respuesta especifique a cuál tipo de desarrollo dinámico se refiere:

a.- Material audiovisual _____ b.- Ejercicios didácticos _____ c.- Aplicaciones en la vida diaria _____

3.- ¿Le gustaría que los docentes utilizaran material de apoyo dinámico durante las clases de ME-I?

Sí _____ Muy a menudo _____ Algunas veces _____ Casi nunca _____ No _____

4.- ¿Conoce usted de la existencia de una serie de multimedia didácticos relacionados con la asignatura ME-I?

Sí _____ No _____

.- Marque con una X cuál de estas series didácticas conoce:

a.- MAQmedia _____ b.- MAQmedia IV _____ c.- LabMaq I _____

5.- ¿En alguna materia que haya cursado los docentes han utilizado experimentos para aclarar conceptos de la misma?

NOTA: Un experimento es un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. FUENTE: Metodología de la investigación. Autores: Hernández Sampieri, Roberto, Fernández-Collado, Carlos, Baptista Lucio, Pilar.

Sí _____ Muy a menudo _____ Algunas veces _____ Casi nunca _____ No _____

6.- ¿Le gustaría que los profesores emplearan experimentos en las clases teóricas de la asignatura ME-I con la finalidad de aclarar algunos conceptos de la misma?

Sí _____ Muy a menudo _____ Algunas veces _____ Casi nunca _____ No _____



7.- ¿Se le ha presentado dificultad para estudiar alguno de los contenidos de la asignatura ME-I?

Sí _____ Muy a menudo _____ Algunas veces _____ Casi nunca _____ No _____

.- Seleccione con una X en cuál unidad presenta usted mayor dificultad:

- a.- Unidad I: Circuitos magnéticos excitados con corriente continua _____
- b.- Unidad II: Circuitos magnéticos excitados con corriente alterna _____
- c.- Unidad III: Máquina de corriente continua _____
- d.- Unidad IV: Transformadores _____

8.- Indique, según la escala de valores dada a continuación, el nivel de complejidad que considere correspondiente a cada tema de las unidades de la asignatura ME-I.

Donde: 1 = Bajo / 2 = Medio Bajo / 3 = Medio / 4 = Medio Alto / 5 = Alto

.-Unidad I: Circuitos magnéticos excitados con corriente continua

- a.- Magnetismo _____
- b.- Circuitos magnéticos serie _____
- c.- Circuitos magnéticos con entrehierro _____
- d.- Circuitos magnéticos paralelo _____

.-Unidad II: Circuitos magnéticos excitados con corriente alterna

- a.- Corriente de excitación _____
- b.- Pérdidas _____

.-Unidad III: Máquina de corriente continua

- a.- Partes componentes de una máquina DC _____
- b.- Devanados _____
- c.- Caída de potencial magnético en el entrehierro _____
- d.- Ecs. de la tensión inducida en la armadura y Torque electromagnético _____
- e.- Reacción de armadura _____
- f.- Conmutación _____
- g.- Generadores DC (excitación separada, shunt, serie y compuesto) _____
- h.- Motores DC (excitación separada, shunt, serie y compuesto) _____

.-Unidad IV: Transformadores

- a.- Circuito equivalente del Transformador _____
- b.- Regulación, rendimiento, índice de carga _____
- c.- Conexión en paralelo _____
- d.- Autotransformador _____

9.- Considera usted, después de haber cursado la asignatura ME-I, que su conocimiento sobre la misma es:

- a.- Óptimo _____
- b.- Regular _____
- c.- Deficiente _____

¡Gracias por su colaboración!

MATRIZ DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	DEJAR			MODIFICAR			ELIMINAR			INCLUIR OTRO ÍTEM		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
1	✓	✓	✓									
2	✓	✓	✓									
3	✓	✓	✓									
4	✓	✓	✓									
5	✓	✓	✓									
6	✓	✓	✓									
7	✓	✓	✓									
8	✓	✓	✓									
9	✓	✓	✓									
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												



Ledyaura Guerra
J3442803

Prof. Dr. Jairo Rodríguez
C.E.-V-4858.403
Alfredo Ortiz
C.E. 1733 Solo

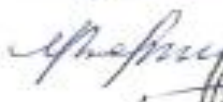
TABLA PARA LA VALIDEZ DEL EXPERTO

ITEM	PERTINENCIAS			COHERENCIA			CLARIDAD		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	✓			✓			✓		
2	✓			✓			✓		
3	✓			✓			✓		
4	✓			✓			✓		
5	✓			✓			✓		
6	✓			✓			✓		
7	✓			✓			✓		
8	✓			✓			✓		
9	✓			✓			✓		
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Criterio: Escala múltiple

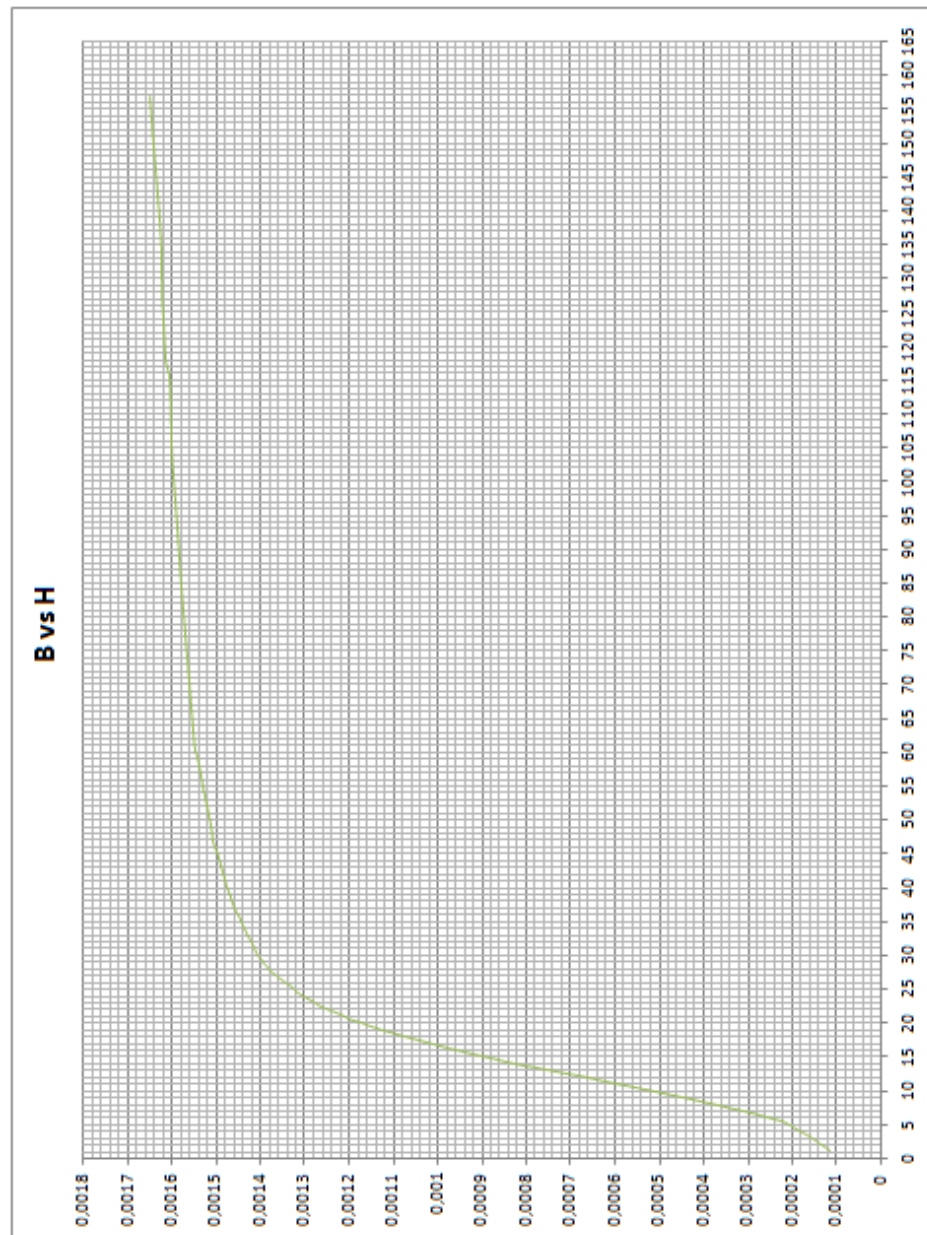
Nombre del Experto: Prof. Dr. Yajaira J. Rodríguez N.

Firma




ANEXO G

Grafica de B vs H característica de un núcleo de acero silicio



ANEXO H

MANUAL DE LOS EXPERIMENTOS

En el presente capítulo se encuentran los procedimientos a seguir para el montaje y manipulación de cada herramienta, con el fin de facilitar la implementación de éstas en las horas de clases. Adicionalmente servirá para informar a cada docente el propósito de cada experimento para que ellos lo utilicen de acuerdo a la planificación que tienen de la materia.

Experimento # 1: Visualización de las líneas de campo magnético de los imanes.

Materiales:

- ✦ Caja de acrílico.
- ✦ Dos Imanes permanentes.
- ✦ Aceite 3 en 1.
- ✦ Removedor.
- ✦ Limaduras de hierro.

Procedimiento:

- 1.- Tomar de la mesa de almacenamiento la caja #1 y sacar la pieza de acrílico.
- 2.- Verter en ella aceite 3 en 1 hasta cubrir completamente la superficie con una capa delgada.
- 3.- Posicionar los imanes de manera que se enfrenten los polos opuestos.

ANEXOS

- 4.- Deslizar la lámina donde se ubican los imanes en la parte inferior de la caja de acrílico dejándola descansar en los soportes que allí se encuentran.
 - 5.- Ubique la caja de acrílico encima del retroproyector y esparza cuidadosamente pequeñas cantidades de las limaduras de hierro presentes en el salero.
 - 6.- Observar el comportamiento de las virutas en el aceite, estas dibujarán la trayectoria de las líneas de campo magnético.
 - 7.- Retirar la lámina que contiene los imanes e invertir la posición de uno de ellos logrando que se enfrenten ahora los polos iguales y devolverla a su posición anterior (debajo de la caja).
 - 8.- Desalinear las virutas moviendo suavemente con el removedor teniendo cuidado de no presionarlo contra la superficie para evitar rayarla.
 - 9.- Observar el patrón que forman las partículas de hierro en esta condición.
 - 10.- Una vez terminada la experiencia retire la lámina con los imanes y proceda a vaciar el aceite en un recipiente, dado que el mismo se puede reutilizar mientras mantenga un color aceptable para la visualización. Deseche las virutas y limpie la superficie con papel para retirar el exceso de aceite.
 - 11.- Coloque la lámina con los imanes en la parte superior de la caja y devuelva todo a su respectivo recipiente de almacenamiento.
-

Experimento #2: Experimento de Oersted

Materiales:

- ◆ Lámina de acrílico que contiene una brújula.
- ◆ Conductor de cobre.
- ◆ Fuente de poder.
- ◆ Reóstato.

Procedimiento:

- 1.- Retire de la caja número #2 la lámina de acrílico que contiene la brújula y ubíquela sobre el retroproyector.
 - 2.- Cuando la aguja de la brújula se estabilice fije el conductor en paralelo con ésta haciendo uso de la ranura circular que posee la lámina.
 - 3.- Realizar el montaje del circuito empleando un reóstato en serie con la fuente.
 - 4.- Energice el circuito teniendo cuidado de no sobrepasar los valores nominales de la fuente.
 - 5.- Observe el ángulo que se forma entre la aguja magnética y el alambre de cobre esmaltado que representa la dirección en la cual circula la corriente.
 - 6.- Si es posible aumentar los valores de tensión y corriente, proceda y determine el valor del ángulo para este incremento.
-

Distribución de líneas de campo magnético para configuraciones típicas de las Máquinas Eléctricas.

Experimento # 3: Dos conductores con corrientes en sentidos opuestos.

Materiales:

- ✦ Lámina de acrílico con espira rectangular.
- ✦ Limaduras de hierro.
- ✦ Fuente de poder.
- ✦ Reóstato.

Procedimiento:

- 1.- Extraer de la caja #3 la lámina de acrílico y colocarla en la parte superior del retroproyector.
 - 2.- Realizar el montaje del circuito conectando los elementos en serie (fuente, lámina y reóstato).
 - 3.- Energizar el circuito para que circule la corriente y la espira se comporte como un electroimán.
 - 4.- Esparcir equitativamente viruta en la superficie de la lámina con el salero.
 - 5.- Dar movimiento a las partículas de hierro golpeando levemente el borde de la lámina de acrílico para vencer la fuerza de roce existente.
-

ANEXOS

6.- Observar la orientación de las líneas de campo magnético.

7.- Devuelva la viruta al recipiente de almacenamiento identificado con el fin de reutilizarla.

Experimento # 4: Tres conductores con corrientes en sentidos iguales.

Materiales:

- ✦ Lámina de acrílico con tres (3) espiras rectangulares en paralelo.
- ✦ Limaduras de hierro.
- ✦ Fuente de poder.
- ✦ Reóstato.

Procedimiento:

- 1.- De la caja # 4 extraer la lámina de acrílico y ubicarla en la parte superior del retroproyector.
 - 2.- Armar un circuito conectando los elementos en serie la fuente, la lámina y el reóstato.
 - 3.- Aplicar tensión al circuito de manera que circule una corriente por la espira y la magnetice.
 - 4.- Esparcir sobre la superficie de la lámina de acrílico limaduras de hierro uniformemente.
 - 5.- Golpear levemente la lámina en uno de sus extremos para que las partículas de hierro puedan vencer la fuerza de roce que hay entre la superficie y ellas.
-

ANEXOS

6.- Ver el recorrido que realizan las limaduras de hierro debido al campo magnético presente.

7.- Devuelva la viruta al recipiente de almacenamiento identificado con el fin de reutilizarla.

Experimento #5: Solenoide de longitud finita

Materiales:

- ✦ Lámina de acrílico con solenoide.
- ✦ Limaduras de hierro.
- ✦ Fuente de poder.
- ✦ Reóstato.

Procedimiento:

- 1.- Sacar de la caja # 5 la lámina de acrílico y posicionarla en la parte superior del retroproyector.
 - 2.- Montar el circuito conectando la fuente, la lámina y el reóstato en serie.
 - 3.- Encender la fuente que hará circular la corriente por el solenoide.
 - 4.- Esparcir la viruta uniformemente sobre la superficie de la lámina.
 - 5.- Producir movimientos vibratorios en la lámina para que las limaduras de hierro puedan vencer la fuerza de roce existente entre ellas y la superficie.
-

ANEXOS

6.- Appreciar la orientación de las líneas de fuerza debido al campo magnético presente.

7.- Devuelva la viruta al recipiente de almacenamiento identificado con el fin de reutilizarla.

Experimento #6: Toroide

Materiales:

- ✦ Lámina de acrílico con toroide.
- ✦ Limaduras de hierro.
- ✦ Fuente de poder.
- ✦ Reóstato.

Procedimiento:

1.- Extraer de la caja # 6 la lámina de acrílico y ubicarla en la parte superior del retroproyector.

2.- Conectar el circuito con la fuente, la lámina y el reóstato en serie.

3.- Energizar la fuente que hará circular la corriente por el toroide para que se genere un campo magnético.

4.- Esparcir la viruta uniformemente sobre la superficie de la lámina.

ANEXOS

- 5.- Producir movimientos vibratorios en la lámina para que las limaduras de hierro puedan vencer la fuerza de roce existente entre ellas y la superficie.
- 6.- Percatarse de la orientación de las líneas de fuerza debido al campo magnético presente.
- 7.- Devuelva la viruta al recipiente de almacenamiento identificado con el fin de reutilizarla.

Experimento # 7: Comportamiento del campo magnético con diferentes materiales

Materiales:

- ✦ Mesa de madera con láminas de diferentes materiales en el centro.
- ✦ Carro de juguete con imán en su parte inferior.
- ✦ Paleta de madera con un imán adherido en su extremo.

Procedimiento:

- 1.- Ubicar la mesa que posee el carril con los materiales sobre una superficie visible para que los estudiantes puedan observar con claridad el experimento.
 - 2.- Poner el carro en uno de los extremos de la mesa.
 - 3.- Ubicar la paleta por debajo de la mesa una distancia acorde para que el campo magnético entre los dos imanes sea suficiente para mover el carro y deslizarla manualmente de un extremo al otro.
-

ANEXOS

4.- Observar los cambios de velocidad que presenta el carro.

Experimento # 8: Ley de Faraday

Materiales:

- ◆ Bobina.
- ◆ Imán.
- ◆ Galvanómetro.

Procedimiento:

- 1.- Extraer de la caja #1 el imán y la bobina de alambre de cobre, ubicándolos sobre una superficie accesible al campo visual de los estudiantes.
- 2.- Conectar la bobina al galvanómetro.
- 3.- Tomar el imán, deslizarlo por la ranura de la bobina y ver hacia donde defleca el galvanómetro, retírelo y note hacia donde se mueve la aguja en este caso.
- 4.- Realizar movimientos aleatorios con el imán para observar que la aguja del instrumento adquiere la misma velocidad que se le proporciona al polo magnético.

Experimento # 9: Circuitos Magnéticos

Materiales:

- ✦ Núcleo de acero silicio.
- ✦ Reóstato.
- ✦ Fuente de poder de corriente alterna.
- ✦ Amperímetro.
- ✦ Dos voltímetros.

Procedimiento:

- 1.- Trasladar el núcleo hacia los mesones de trabajo.
- 2.- Armar un circuito en serie con los terminales del devanado distribuido, la fuente, el reóstato, amperímetro y dos voltímetros, el primer voltímetro conectado en paralelo con la fuente de poder y el otro conectado al arrollado de color negro que va a servir para medir el flujo presente en todo el núcleo.
- 3.- Energizar el circuito.
- 4.- Mover la bobina móvil de color azul alrededor de todo el material para determinar si el valor del flujo es uniforme.
- 5.- Desenergizar y cambiar del devanado distribuido al devanado concentrado (cable color rojo).

6.- Repetir los pasos 3 y 4.

Experimento #10: Corrientes Parásitas

Materiales:

- ✦ Base de madera con imanes.
- ✦ Dos láminas de aluminio (Dentada y maciza).
- ✦ Llave de Allen.

Procedimiento:

- 1.- Posicionar la base de madera en un área apropiada para que todos los estudiantes puedan observar el experimento.
- 2.- Desplazar los imanes ubicándolos a una distancia pequeña entre ellos para que el campo magnético sea significativo.
- 3.- Ubicar la lámina de aluminio con el extremo dentado entre los dos (2) sujetadores (discos) que se encuentran en el tubo horizontal de la base, comprobar que la lámina quede en el medio de los imanes.
- 4.- Si es necesario mover los discos con la llave de Allen, que posee la base, hasta que la lámina oscile solo hacia adelante y hacia atrás, no hacia los lados ya que puede chocar con los imanes sin ajustarse en exceso dado que se produce un roce que disminuye las oscilaciones de la lámina.

ANEXOS

- 5.- Tomar de un extremo la lámina y trasladarla casi 90^0 para luego soltarla.
- 6.- Observar el movimiento oscilatorio de la lámina.
- 7.- Repita los pasos a seguir a partir del tres (3) pero ahora con la lámina de base rectangular maciza.