



UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA

Acta de Evaluación de Trabajo de Grado

Tenga en cuenta:

1. Marque con una **X** la opción escogida.
2. diligencie el formato con una letra legible.

Título del Trabajo:	" Nivel conceptual de los estudiantes de Ingenierías y Ciencias (Programa de Física) .		
Se trata de:	Proyecto ☐	Informe Final ☒	
Director:	Álvaro Peraza		
1er Evaluador:	Nelson Porras Montenegro		
2do Evaluador:	DIEGO CARZÓN CASTRO.		
Fecha y Hora	Año: 2011	Mes: 10	Día: 21 Hora: 9:00 AM
Estudiantes			
Nombres y Apellidos completos		Código	Programa Académico
John Fernando Durán Perdomo		200429413	3488.
José Esteban Reyes Ch.		200437811	3488

Evaluación			
Aprobado	☒	Meritorio	☐
Aprobado con recomendaciones	☐	No Aprobado	☐
Laureado ☐			
Incompleto ☐			
En el caso de ser Aprobado con recomendaciones (diligenciar la página siguiente), éstas deben presentarse en un plazo de _____ (máximo un mes) ante:			
Director del Trabajo		1er Evaluador	2do Evaluador
En el caso que el Informe Final se considere Incompleto , se da un plazo de máximo de _____ semestre(s) para realizar una nueva reunión de evaluación el:			
Año:	Mes:	Día:	Hora:
En el caso que no se pueda emitir una evaluación por falta de conciliación de argumentos entre Director, Evaluadores y Estudiantes; expresar la razón del desacuerdo y las alternativas de solución que proponen (diligenciar la página siguiente).			

Firmas:		
		DIEGO CARZÓN C.
Director del Trabajo de Grado	1er Evaluador	2do Evaluador



UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA

Observaciones: ☐ Recomendaciones: ☐ Razón del Desacuerdo - Alternativas: ☐

(si se considera necesario, usar hojas adicionales)

Se destaca del trabajo su pertinencia y coherencia, igualmente el hecho de estar bien escrito. Se recomienda la elaboración de un artículo a partir de este trabajo para hacer efectiva la divulgación del mismo.

Director del Trabajo de Grado

1er Evaluador

DIEGO CARLONC

2do Evaluador

Gdo

NIVEL CONCEPTUAL DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
(PROGRAMA DE FÍSICA) DESPUÉS DE HABER VISTO EN SUS CURSOS DE
FÍSICA EL CONCEPTO DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA DE FARADAY

TRABAJO DE GRADO

JOHN FERNANDO DURÁN PERDOMO. Código: 200429413. Plan: 3488
JOSÉ ESTEBAN REYES CHAMORRO. Código: 200437811. Plan: 3488

UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA
SANTIAGO DE CALI
2011



Instituto de Educación y Pedagogía
Universidad del Valle
Área de Educación Matemática



NIVEL CONCEPTUAL DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
(PROGRAMA DE FÍSICA) DESPUÉS DE HABER VISTO EN SUS CURSOS DE
FÍSICA EL CONCEPTO DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA DE FARADAY

JOHN FERNANDO DURÁN PERDOMO. Código: 200429413. Plan: 3488
JOSÉ ESTEBAN REYES CHAMORRO. Código: 200437811. Plan: 3488

Trabajo de grado para optar al título de
Licenciado en Educación Matemática y Física.

Director

ÁLVARO PEREA

Doctor en Didáctica de las Ciencias
Experimentales y las Matemáticas

UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA
SANTIAGO DE CALI
2011

Nota de aceptación

Aprobado

Jurado

NELSON

PORRAS

MONTENEGRO

Jurado

DIEGO GARZÓN CASTRO

Santiago de Cali, Octubre del 2011

A nuestros padres,

Familia

Y amigos.

PREFACIO

Este trabajo describe el nivel conceptual que los estudiantes de los primeros cursos universitarios de física (curso Física II que ofrece la Universidad del Valle a los programas de Ingeniería) tienen sobre el fenómeno de inducción magnética de Faraday, además se realiza la comparación con el nivel conceptual (se entiende esto en la misma categoría de los modelos de Ronald Giere, y que son aceptados por la comunidad científica para explicar un fenómeno) que pueden tener los estudiantes del Programa de Física de la Universidad del Valle que han visto los cursos de Teoría Electromagnética I y II (cursos ofrecidos también por la Departamento de Física de la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2010), hay que tener en cuenta que los estudiantes de Física cursaron en semestres anteriores la asignatura de Física Fundamental III, donde se abordan los temas de electromagnetismo. Este análisis permite una reflexión sobre las dificultades conceptuales intrínsecas del fenómeno de inducción magnética, además abre las puertas a nuevas investigaciones que apunten a mejorar la enseñanza y aprendizaje de la física y en particular del concepto de inducción magnética de Faraday.

Con el fin de alcanzar los objetivos del trabajo, se diseña un instrumento (cuestionario), que cuenta con seis situaciones (algunas situaciones tiene más de una pregunta) y un total de doce preguntas abiertas, en éstas, se propone a los encuestados un problema que pueden solucionar adecuadamente, si ponen en juego la ley de inducción magnética de Faraday (junto con la ley de Lenz) y los prerrequisitos que ella precisa (conceptos de corriente, campo eléctrico y magnético, flujo magnético, entre otros), además de esta solución esperada, se presentan algunos modelos y argumentos (en el Capítulo IV, Análisis y Resultados, se exponen algunos de estos modelos alternativos) que no se establecen como aceptados por la comunidad científica, porque no representan satisfactoriamente el fenómeno de inducción magnética de Faraday, sin

embargo, es pertinente describirlos porque algunos de estos modelos y argumentos alternativos exponen las dificultades intrínsecas del fenómeno de inducción magnética de Faraday para su aprendizaje y que deben ser tenidos en cuenta en su enseñanza.

Ahora bien, después del diseño y la aplicación del instrumento (cuestionario) se precisa la organización y análisis de los datos, para esto, se plantea un análisis por tipificaciones, es decir, en cada una de las preguntas propuestas se toman las respuestas de los estudiantes que son similares (en argumentación o modelo) y se van discriminando en una tabla de tipificaciones (son doce tablas en cada grupo), esto se hace en los tres grupos de estudiantes establecidos (grupos de los estudiantes de Ingeniería y Física de los cursos de Teoría electromagnética I y II), para luego ser comparadas (se comparan las tipificaciones que los tres grupos de estudiantes entregan en las seis situaciones) en cada una de las situaciones de los tres grupos (las situaciones contienen las preguntas, hay seis situaciones que contienen doce preguntas, una situación puede tener más de una pregunta), con esto se puede rastrear los cuatro niveles conceptuales (a continuación se enuncian) y los modelos alternativos que los estudiantes utilizan para dar solución a las situaciones.

Así mismo, el análisis se interesa por saber si los estudiantes (tanto los que han visto el curso de Física II, como lo estudiantes de Física que han visto los cursos de Teoría Electromagnética I y II) entienden el fenómeno de inducción magnética en cuatro niveles conceptuales, el primero hace referencia al movimiento relativo entre una espira conductora y un imán como un elemento para la inducción de una corriente en una espira conductora, el segundo nivel conceptual se establece en términos de la variación del campo magnético que pasa a través de la espira conductora, para la inducción de corriente en la espira, el tercer elemento, lo otorga la variación del flujo magnético, a través de la espira conductora para explicar el fenómeno de inducción magnética de Faraday, y finalmente se rastrea la ley de Lenz dentro de las argumentaciones dadas por los estudiantes para dar una dirección a la corriente inducida.

Al realizar el análisis del nivel conceptual alcanzado por los estudiantes de Ingeniería y Física después de haber visto en sus cursos de física la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday, se tiene en cuenta tres elementos (los que también se utilizan para el diseño del cuestionario aplicado); el primer elemento lo conforma la evolución histórica y epistemológica del concepto de inducción magnética, el segundo elemento se basa en una revisión bibliográfica de los libros de Física donde se presenta la ley de inducción magnética de Faraday, y finalmente se tiene en cuenta el marco teórico sustentado en el Modelo Cognitivo de Ciencia de Ronald Giere y la Teoría de la Actividad.

Los autores de este trabajo quieren agradecer especialmente al Dr. Álvaro Perea, quien con sus valiosos aportes y acompañamiento, nos brindó elementos teóricos y metodológicos para llevar a cabo la investigación, igualmente a los Profesores Ph.D. Nelson Porras y Ph.D. Jesús Calero, quienes realizaron aportes valiosos a la hora del diseño del cuestionario. También debemos agradecer al Magister Hernando Tamayo, quien nos acompañó en la definición de la problemática de investigación. Así mismo, muchas gracias a todas las personas que estuvieron involucrados en nuestra formación académica que se ve plasmada en este trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
PREFACIO	1
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN	11
1. CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	17
1.1 Epistemología de las Ciencias.....	18
1.2 Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC).....	22
1.3 Teoría de la Actividad.....	30
2. CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	39
2.1 Desarrollo histórico del fenómeno de inducción magnética:	39
2.2. Revisión bibliográfica del concepto de inducción magnética desde la Física	46
2.2.1 Ley de Inducción de Faraday desde el libro P.S.S.C.	47
2.2.2 Ley de Inducción desde los libros de Sears y Resnick-Halliday	54
2.2.3 Ley de Inducción de Faraday desde la Teoría electromagnética	56
2.3. Revisión bibliográfica del concepto de inducción magnética desde la Didáctica .	60
3. CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA	69
3.1 Justificación y contextualización del problema	69
3.2. Objetivos del Trabajo.....	71
3.3 Metodología	71
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS	74
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y PROYECCIONES.	103
6. BIBLIOGRAFÍA	107
7. ANEXOS.	110

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Contrato didáctico.....	18
Figura 2. Bosquejo de las escuelas epistemológicas de las ciencias.....	19
Figura 3. Modelo Teórico Según Giere. Relación entre enunciados, modelos y sistemas reales ..	25
Figura 4. El Modelo Cognitivo de Ciencia. Citado por (Izquierdo, M. 2007)	29
Figura 5. Estructura de la Actividad	33
Figura 6. Estructura de la Acción.....	34
Figura 7. Aspectos estructurantes de la acción.	37
Figura 8 Movimiento de una barra conductora en un campo magnético	48
Figura 9 Movimiento de un circuito en un campo magnético.....	48
Figura 10. Movimiento relativo de un circuito en un campo magnético.	50
Figura 11. Variación del flujo magnético respecto al área de una espira pequeña.	50
Figura 12. Inducción de corriente en la espira cambiando el flujo magnético de un electroimán.	51
Figura 13. Variación del flujo magnético respecto al área de una espira grande.	52
Figura 14. Flujo magnético a través de un elemento infinitesimal de área	55
Figura 15. Voltaje producido por el movimiento de un alambre en un campo magnético.	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Niveles de análisis de la Actividad	35
Tabla 2. Análisis general de la Situación 1.....	78
Tabla 3. Análisis general de la Situación 2.....	81
Tabla 4. Análisis general de la Situación 3.....	86
Tabla 5. Análisis general de la Situación 4.....	91
Tabla 6. Análisis general de la Situación 5.....	94
Tabla 7. Análisis general de la Situación 6.....	98
Tabla 8. Anexo, Situación 1, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	114
Tabla 9. Anexo, Situación 2, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	115
Tabla 10. Anexo, Situación 2, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	116
Tabla 11. Anexo, Situación 2, pregunta C, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	117
Tabla 12. Anexo, Situación 2, pregunta D, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	118
Tabla 13. Anexo, Situación 3, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	119
Tabla 14. Anexo, Situación 3, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	120
Tabla 15. Anexo, Situación 4, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	121
Tabla 16. Anexo, Situación 5, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	122
Tabla 17. Anexo, Situación 5, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	123
Tabla 18. Anexo, Situación 6, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	124
Tabla 19. Anexo, Situación 6, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.....	125
Tabla 20. Anexo, Situación 1, Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	126
Tabla 21. Anexo, Situación 2, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	127
Tabla 22. Anexo, Situación 2, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	128
Tabla 23. Anexo, Situación 2, Pregunta C. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	129
Tabla 24. Anexo, Situación 2, Pregunta D. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	130
Tabla 25. Anexo, Situación 3, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	131
Tabla 26. Anexo, Situación 3, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	132
Tabla 27. Anexo, Situación 4. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	133
Tabla 28. Anexo, Situación 5, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	134

Tabla 29. Anexo, Situación 5, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	135
Tabla 30. Anexo, Situación 6, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	136
Tabla 31. Anexo, Situación 6, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.	137
Tabla 32. Anexo, Situación 1. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	138
Tabla 33. Anexo, Situación 2, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	139
Tabla 34. Anexo, Situación 2, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	140
Tabla 35. Anexo, Situación 2, Pregunta C. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	141
Tabla 36. Anexo, Situación 2, Pregunta D. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	142
Tabla 37. Anexo, Situación 3, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	143
Tabla 38. Anexo, Situación 3, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	144
Tabla 39. Anexo, Situación 4. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	145
Tabla 40. Anexo, Situación 5, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	146
Tabla 41. Anexo, Situación 5, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	147
Tabla 42. Anexo, Situación 6, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	148
Tabla 43. Anexo, Situación 6, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.	149

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Cuestionario aplicado a los estudiantes de Ingeniería y Física	110
Anexo 2 Tabla de Tipificaciones estudiantes de Ingeniería.....	114
Anexo 3 Tabla de Tipificaciones estudiantes de Física (T.E, I)	126
Anexo 4. Tabla de Tipificaciones estudiantes de Física (T.E, II).....	138

RESUMEN

Este trabajo de investigación caracteriza los modelos teóricos (los reconocidos por la comunidad científica como validos y los no aceptados como validos) que los estudiantes de Ingeniería y el Programa de Física de la Universidad del Valle utilizan para explicar el fenómeno de inducción magnética de Faraday en los cursos de Física II y Teoría electromagnética I y II. Se toman elementos del Modelo Cognitivo de Ciencia de Ronald Giere y la Teoría de la Actividad, así como referentes desde la Historia de las Ciencias y el campo disciplinar de la Física para analizar y caracterizar los modelos que los estudiantes emplean al solucionar una serie de problemas planteados en un cuestionario.

Palabras claves: Didáctica de la Física, Flujo Magnético, Inducción electromagnética, Ley de Lenz, Modelos, Modelo Cognitivo de Ciencia, Teoría de la Actividad.

INTRODUCCIÓN

En este apartado se recogen los aspectos generales del trabajo de investigación, que en su despliegue se divide en cinco capítulos, en el primer capítulo se realiza una exposición de los fundamentos teóricos, conformados por el Modelo Cognitivo de Ciencia y la Teoría de la Actividad, en el segundo capítulo se hace una revisión bibliográfica desde la historia y la epistemología de las ciencias, además se toman elementos desde el marco teórico de la disciplina (desde la física) y finalmente se muestran algunos antecedentes sobre el tema de investigación propuesto desde el marco de la didáctica de las ciencias. En el tercer capítulo se plantea el problema y la metodología utilizada, en el cuarto capítulo se hace el análisis de los resultados del cuestionario aplicado, y finalmente el quinto capítulo se refiere a las conclusiones y proyecciones del trabajo.

Este documento presenta elementos teóricos y metodológicos del proyecto de grado “Nivel conceptual de los estudiantes de Ingeniería y Ciencias (programa de Física) después de haber visto en sus cursos de física el concepto de inducción magnética de Faraday” cuyo título postula el análisis del nivel conceptual (se entiende esto en la misma categoría de los modelos de Ronald Giere, y que son aceptados por la comunidad científica para explicar un fenómeno) que tienen los estudiantes de Ingeniería y Física cuando han visto la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday, en los cursos, Física II y Teoría Electromagnética I y II, ofrecido por la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2010.

De esta manera, el análisis toma como insumo la información recogida a través de la aplicación de un instrumento, en este caso se utiliza como instrumento un cuestionario (Ver Anexo A) donde se proponen seis situaciones con doce preguntas en total, estas preguntas buscan rastrear cuatro niveles conceptuales a saber: comprender que el movimiento relativo entre un imán y una espira conductora induce una corriente eléctrica en la espira, el segundo nivel conceptual está relacionado con el reconocimiento de la variación del campo magnético que pasa a través de la espira conductora para la inducción de una corriente, como tercer elemento se tiene la variación del flujo magnético que atraviesa el área de la espira conductora, lo que permite explicar la inducción de una corriente en la espira y finalmente se analiza el

conocimiento que tienen los estudiantes de la ley de Lenz para indicar el sentido de la corriente en la espira.

La presentación de los elementos teóricos y metodológicos utilizados en este trabajo se realiza en cinco capítulos, a continuación se plantean los aspectos generales que se contemplan en cada uno de éstos. En el primero, se recogen los fundamentos teóricos que sustenta parte del marco teórico, en este caso, se tienen en cuenta el Modelo Cognitivo de Ciencia de Ronald Giere y la teoría de la Actividad. En el primero – Modelo Cognitivo de Ciencia–, al ser la ciencia una actividad humana, se aprecia ésta como un proceso cognitivo, en el cual, el conocimiento se genera mediante procesos sociales, se asume la existencia de la realidad, así como la posibilidad de conocerla, interpretándola mediante modelos que le dan sentido, trazando, de esta manera, una visión diferente de su objetivo, método, desarrollo y relación con el mundo. En la Teoría de la Actividad se expone que la actividad tiene un papel importante en la formación de conocimiento, en este caso la actividad se configura como una relación entre lo externo y los procesos internos mediante el mecanismo de apropiación que depende de cómo se estructure la Actividad. Además, en el desarrollo de este proyecto se expone el enfoque que tiene Nina Talízina sobre La Teoría de la Actividad, ya que está más centrado en la enseñanza.

En el segundo capítulo se tienen en cuenta la evolución histórica y epistemología de la ciencia y en particular del concepto de inducción magnética de Faraday, además, se hace una revisión bibliográfica de los libros de Física donde se presenta la ley de inducción magnética de Faraday, y se concluye el capítulo con una revisión bibliográfica de algunas de las investigaciones desde la didáctica sobre este concepto, cada uno de estos elementos hacen un valioso aporte a los objetivos de este trabajo, así por ejemplo, en la evolución histórica y epistemológica se plantea el desarrollo histórico y epistemológico que ha tenido el concepto de inducción magnética de Faraday, permitiendo observar las dificultades que se presentaron y como se debieron sortear para llegar a constituirse en lo que se acepta actualmente, con esta mirada se

pueden analizar algunas de las situaciones y diseños experimentales que se llevaron a cabo para construir lo que hoy se conoce como la ley de inducción de Faraday, estos diseños experimentales pueden servir para observar las dificultades intrínsecas del concepto de inducción magnética de Faraday y en este caso, su impacto en sus enseñanza y aprendizaje.

Asimismo, una revisión bibliográfica de la ley de inducción magnética de Faraday presentada en los libros de física, permite obtener una mirada teórica del concepto de inducción magnética de Faraday, en cuyo caso se tienen en cuenta tres miradas o formas de presentar los conceptos de inducción magnética de Faraday, la primera forma se basa en el libro PSSC (Physical Science Study Committee), se elige este libro porque está dirigido a la educación básica media (es uno de los libros que, en un nivel elemental, hace una presentación amplia desde la fenomenología de la ley de inducción magnética de Faraday), la segunda mirada teórica del concepto de inducción magnética de Faraday se toma de los libros: Física Universitaria, de Sears, F. et al. Y Física Volumen 2 de Halliday, D. Resnick, R. Estos libros son representativos de los libros que generalmente son utilizados en la enseñanza de la física en los cursos básicos de Ingeniería y Ciencias, es importante para este trabajo tener en cuenta la forma en la que son presentados estos elementos conceptuales, porque además de enriquecer el marco teórico, permite establecer el nivel conceptual en la que se debe encontrar un estudiante después de haber visto uno de los curso de Física II ofrecido en la Universidad del Valle para los estudiantes de Ingeniería. La última mirada desde la revisión bibliográfica que se toma en cuenta en esta parte del trabajo, está contenida en el libro Teoría Electromagnética de Reitz, J. et al. (1996), en este libro se realiza una presentación de la teoría electromagnética a un nivel conceptual más elevado que el presentado en los libro anteriores, en este caso, el libro se utiliza como uno de los libros guía en los cursos de Teoría Electromagnética I y II, ofrecidos en la Universidad del Valle para los estudiantes de Física.

Del mismo modo, en la revisión bibliográfica se tienen en cuenta dos artículos que realizan la condensación de dos investigaciones sobre la evolución de los conocimientos de los estudiantes sobre los temas de electromagnetismo y la ley de inducción magnética de Faraday, éstos tienen como título: *“Explicando los fenómenos de inducción electromagnética: relevancia de su enseñanza y dificultades de aprendizaje.”* de Almudí, M. et al. (2005) y *“Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la inducción electromagnética. Un estudio de caso”* de Lidia C. et al. (2010), estos artículos permiten tener una aproximación de algunas investigaciones sobre el fenómeno inducción magnética y que pueden brindar elementos metodológicos para llevar a cabo los objetivos de este trabajo.

En el capítulo tres se plantea el problema de investigación y la metodología utilizada, en esta última, se tienen en cuenta dos momentos, el primero hace referencia al diseño y la aplicación de un instrumento (cuestionario) que rastrea el nivel de conceptualización (además de los argumentos y modelos alternativos) que tienen los estudiantes de Ingeniería y Ciencias (programa de Física) de la Universidad del Valle después de haber visto en sus cursos de física la teoría referente al concepto de inducción magnética de Faraday, que se presentó en el curso de Física II y Teoría Electromagnética I y II ofrecido por el Departamento de Física de la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2010. En un segundo momento se realiza la sistematización y análisis de los datos recogidos al aplicar el instrumento (cuestionario) a los estudiantes de Ingeniería (estudiantes que han visto el curso de Física II para Ingeniería) y del programa de Física (estudiantes que han visto los cursos de Teoría Electromagnética I y II), esto corresponde con el capítulo cuatro, y finalmente se realizan las respectivas conclusiones y proyecciones de la investigación consignadas en el capítulo cinco.

Igualmente, se pretende que la culminación de este trabajo despierte el interés de todas aquellas personas que, de una u otra forma, tienen relación con la labor de la

enseñanza de las ciencias; y en especial de la Física, en el contexto de la educación básica, media y universitaria.

1. CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se presentan los elementos teóricos en los que se apoya esta investigación, así, el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) de Ronald Giere, brinda una postura filosófica y epistemológica de la ciencia, y la Teoría de la Actividad de Leontiev, permite advertir el importante rol que desempeña la actividad en la formación del conocimiento.

El papel que juega la didáctica en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y las matemáticas ha sido importante, ya que ha permitido identificar, analizar y explicar algunos de los fenómenos que se presentan en las relaciones entre el conocimiento, el estudiante y el profesor. Pero, surge la pregunta, ¿qué es la didáctica? Según (Johsua y Dupin, 2005) *“la didáctica de una disciplina es la ciencia que estudia para un campo particular (en este caso, las ciencias y las matemáticas), los fenómenos de enseñanza, las condiciones de transmisión de la ‘cultura’ propia de una institución (en particular, las instituciones científicas) y las condiciones de la adquisición de conocimientos por parte de un estudiante”*.

Hay que agregar que las relaciones que se establecen entre el profesor, el saber y el estudiante, están mediados por el contrato didáctico. El cual *“fija las actividades que se esperan tanto del profesor como de los alumnos, los lugares respectivos de cada uno respecto del saber tratado, e incluso, las condiciones generales en las que estas relaciones evolucionarán a lo largo de una enseñanza”* (Ibíd. P. 11).

En la Figura 1, se muestra la estructura didáctica, en la cual, el profesor, el estudiante y el saber están regulados por el contrato didáctico. En esta estructura didáctica, el alumno se encuentra ante un saber transpuesto. Pero, no basta tener en cuenta las relaciones del estudiante con el saber, ya que estas tienen características sociales. En este caso, puede pensarse que hay que analizar también las relaciones entre el maestro y el estudiante, sin embargo, la relación entre el profesor, el alumno y el saber son relaciones que no se pueden ser analizadas como una suma de relaciones binarias, porque los aspectos de las relaciones del profesor y estudiante con el saber tiene

matices muy diferentes, así, el profesor tiene unas concepciones diferentes frente al proceso de aprendizaje y a la naturaleza e importancia del saber, que la que puede tener el estudiante. Es importante tener en cuenta estos elementos de la didáctica, porque permiten entender aspectos relacionados con la adquisición y explicitación de los conocimientos de los estudiantes.



Figura 1. Contrato didáctico.

1.1 Epistemología de las Ciencias

A continuación se expone, grosso modo, las escuelas y corrientes epistemológicas; estas se dividen en dos grandes grupos, el grupo asociado al Empirismo-Positivismo junto con el Racionalismo y el grupo que se denomina Constructivismo. En el primer grupo se asocian los estudios de epistemología al análisis del contexto de la justificación. Mientras que en el segundo grupo (Constructivismo) se interesa por analizar el contexto del descubrimiento. Así, las dos grandes tendencias epistemológicas de las ciencias según Delgado (2010), se puede apreciar en la Figura 2.

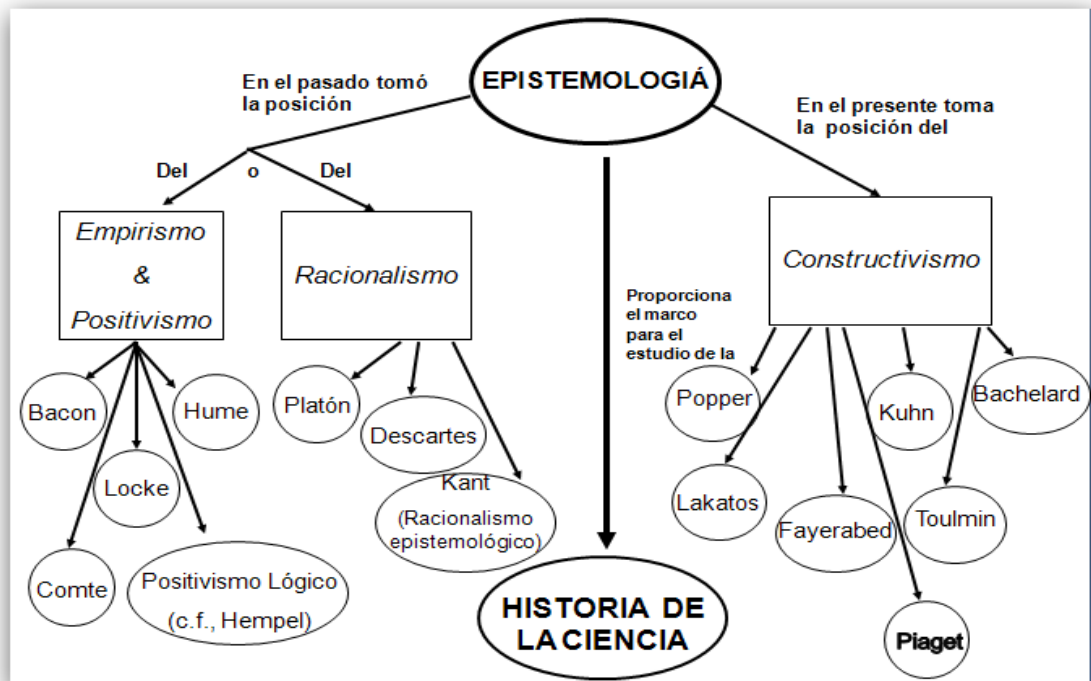


Figura 2. Bosquejo de las escuelas epistemológicas de las ciencias.

En las corrientes donde la epistemología se interesa por el contexto de la justificación (lado izquierdo de la Figura 2) está el Empirismo-Positivismo y el Racionalismo. En el primero, la ciencia es vista como una actividad en la cual el científico devela los principios fundamentales de la naturaleza por medio de la experimentación. Se pone de manifiesto que el conocimiento se extrae de la interacción con la naturaleza, es decir, *“el conocimiento científico es aquel que puede ser “confirmado”, por la evidencia de los sentidos”* (Izquierdo, M. 2000). Entre sus representantes están: los integrantes del *Círculo de Viena*¹, los de la *Tradición Heredada*², Comte Pere, Locke John, Bacon Francis, Hume David, Carnap Rudolf y Hempel Carl, entre otros. En la concepción Racionalista, el intelecto y la razón son las herramientas para llegar al conocimiento. En este caso, el Racionalismo postula ideas innatas y utiliza el método lógico-matemático. Entre sus representantes se encuentran: Platón, Descartes Rene y

¹ *Círculo De Viena Para La Concepción Científica Del Mundo*. La línea de trabajo del Circulo de Viena ha sido llamada “positivismo lógico”

² *Legado del Círculo De Viena Para La Concepción Científica Del Mundo*.

Kant Immanuel, entre otros. En estas dos corrientes epistemológicas, Empirismo-Positivismo y Racionalismo *“la ciencia se ocupa de desarrollar una concepción del mundo, teórica, que tenga una relación clara y lógica con nuestra experiencia y que sea, por tanto, susceptible de contrastación objetiva”* (Izquierdo, M. 2000). En estas concepciones epistemológicas se pone una hipótesis sobre la naturaleza, en este caso, esta hipótesis es la relacionada con la existencia de un principio de Verdad Manifiesta. *“Según el cual la verdad siempre está visible y es transparente, sólo hay que descubrirla, bien en la naturaleza—como creía el empirista Francis Bacon—, o en la intuición humana como pensaba el racionalista René Descartes”*.(Cedeño, M. et al. 2010)

Por otro lado, la corriente epistemológica constructivista se generó debido al poco interés que tenían los filósofos, sobre ¿cómo se hace ciencia?, ¿cuáles son los contextos en los que los científicos elaborar sus teorías? y el estudio del contexto del descubrimiento científico, mostrada por la epistemología Empirista-Positivista. En este caso, en el constructivismo aparecen dos tendencias, el constructivismo irracional y el racional. En el constructivismo irracional están presentes las teorías de Kuhn y de Feyerabend, en estas teorías, *“son escépticos respecto a la racionalidad de la empresa científica”* (Ibíd. 2010). Así, por ejemplo, Feyerabend en su libro *Contra el Método* *“concluye que no hay reglas útiles y sin excepciones metodológicas que gobiernan el progreso de la ciencia o el crecimiento del conocimiento. Dada la complejidad del desarrollo de la ciencia la única metodología que no inhibiría su progreso contendría una única ‘regla’: ‘todo vale’.”* (Ibíd. 2010). Por esto, Feyerabend es considerado *“un anarquista de la epistemología”*. Por otro lado, Kuhn habla sobre paradigmas³ y expone que en una época particular, un paradigma gobierna la actividad científica – ciencia normal– a medida que en la teoría que gobierna el paradigma se gesten

³ Ibíd. 2010. Citado de Kuhn. El cual define paradigma en dos sentidos: **1.** Sentido sicológico: *la completa constelación de creencias, valores, técnicas y así sucesivamente compartidos por los miembros de una comunidad dada.* **2.** Como ejemplares: *denota una especie de elemento en tal constelación de soluciones- enigmas concretos, las que empleadas como modelos o ejemplos, pueden reemplazar a reglas explícitas como base para la solución de los enigmas restantes de la ciencia normal.*

discrepancias, se generan anomalías que hacen que el paradigma colapse y así se genera una revolución o cambio de paradigma, para Kuhn los paradigmas son incommensurables.

En el otro extremo de la concepción epistemológica constructivista de las ciencias, se tiene el constructivismo racional. En este se aprecian dos corrientes, la fuerte y la moderada. En la primera aparecen como representantes: Popper Karl, Lakatos Imre, y Laudan Larry, entre otros. Así, por ejemplo, Popper describe y hace una clara oposición a la idea del Principio de la Verdad Manifiesta de las concepciones epistemológicas Empirista-Positivista y Racionalista. Popper expone que el método de inducción Empirista no es posible, entonces *“el conocimiento científico no avanza confirmando nuevas leyes, sino descartando leyes que contradicen la experiencia (falsación), este criterio sería la condición necesaria y suficiente para que una teoría sea considerada científica. Con esta tesis, Popper rechazó la posición inductivista de la ciencia tradicional respecto a que la aceptación de una teoría depende de la mayor acumulación de casos que la ‘confirman’. La ‘certidumbre absoluta es inalcanzable’, diría, y la clave para superar esta desilusión es la falsación y aceptar que las teorías científicas tienen el estatus de conjeturas, sin embargo bien confirmadas. Así, el papel de los científicos sería el de generar conjeturas osadas y luego hacer lo posible por mejorarlas, pero tratando de refutarlas y escribiendo sobre sus errores”*. (Ibíd. 2010). Aunque la epistemología de Popper se fundamenta en la falsación de las teorías, esta se establece en el contexto de la justificación. A diferencia del trabajo de Kuhn que toma un método historiográfico para analizar los contextos de descubrimiento y evolución de las ciencias.

La concepción constructivista racional moderada está representada por: Giere Ronald, Toulmin Stephen, Piaget Jean y Bachelard Gaston, entre otros. Así, por ejemplo, Toulmin expone que para explicar la evolución y racionalidad de la empresa científica, no sólo debe referirse al objeto de estudio de la disciplina en particular, además se deben tener en cuenta las actitudes profesionales de los participantes de la disciplina.

Así, “Objetos y actitudes profesionales definen entonces adecuadamente los problemas de que se ocupa una ‘disciplina’ en un momento dado. Lo que se destaca en esta perspectiva es que las respuestas a la pregunta de cómo surgen los problemas en la ciencia y cómo se resuelven, involucra la ‘praxis’, vale decir, la acción de sujetos producto de su cultura, prisioneros de actitudes, hábitos, creencias limitados por conocimientos e instrumentos técnicos de la época. Ellos buscan escapar de estas ‘prisiones’ mentales superando sus propios esquemas de conocimiento”. (Delgado, C. 2003).

Después de realizar la presentación grosso modo de las corrientes y escuelas de epistemología de las ciencias, se abordará el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) de Ronald Giere quien se puede inscribir en la escuela constructivista racional moderada presentada arriba.

1.2 Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC)

Como ya se estableció anteriormente, el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) hace parte de la escuela constructivista racional moderada, en este caso, esta teoría de la ciencia será de interés para los objetivos de este trabajo, ya que brinda elementos que permiten entender la ciencia como una actividad humana, en la que *“el fundamento de sus argumentos justificativos es tanto social como experimental y que siempre ha dependido de valores sociales”* (Izquierdo, M. 2007). Asimismo, el (MCC) *“destaca los aspectos psicológicos y sociales que son el origen del pensamiento científico experimental, a partir del cual es posible, después, el razonamiento y la justificación teórica”* (Izquierdo, M. 1999-1). Además, la ciencia se describe como un proceso cognitivo, con el que se desarrolla conocimiento, éste a su vez se construye mediante interacciones sociales, se acepta así, la existencia de la realidad y la posibilidad de conocerla, interpretándola por medio de modelos que le otorgan sentido. De esta manera se obtiene una perspectiva diferente de la ciencia en cuanto a su objetivo, método, desarrollo y relación con el mundo.

Del mismo modo, el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC), expone que los agentes cognoscitivos generan representaciones del mundo y plantean juicios, tanto de éste como de sus representaciones, por medio de una “**racionalidad hipotética**”⁴ (Giere, R. 1992), llama representaciones a los “**mapas internos**” del mundo externo, no se dice que sean verdaderos o falsos, sino si se ajustan al mundo en ciertos aspectos y grados, y para diversos propósitos. Giere enmarca esto en un “**realismo naturalista**”⁵, ya que las teorías hacen una representación del mundo y propone explicar las decisiones y juicios de los científicos partiendo de sus propios criterios, como seres de carne y hueso, y no encarnados en idealizaciones, ni buscando “la verdad manifiesta” o algún principio racional general. Con esto, la realidad es reconstruida en el entorno de las teorías científicas y pasan a formar parte de los hechos científicos, así, se hace necesario representaciones coherentes tanto del fenómeno que se estudia como del instrumento que se utiliza para tal fin. Cualquier cambio en las representaciones implica necesariamente que se generen nuevos significados y explicaciones. Con este tratamiento las teorías científicas “*no son fórmulas ni términos incomprensibles. Son conjuntos de modelos similares entre ellos y que, cada uno, se relaciona con grupos de fenómenos que también son similares, al ser «mirados» según un mismo enfoque. Así, el significado de las teorías (su «semántica») no puede captarse sin tener en cuenta el «mundo» al que se refieren y las intervenciones y los lenguajes con los cuales éste se transforma, como resultado de «conocerlo», que están íntimamente relacionados a los valores culturales y no únicamente (aunque también) a los epistémicos*” (Izquierdo, M. 2007)

Asimismo, Giere (1992) afirma que: “*las representaciones que construyen los científicos no pueden ser de naturaleza radicalmente diferente de las empleadas por*

⁴ Giere la denomina también como “racionalidad instrumental” y la describe: “acción eficaz dirigida a una meta”, es decir el uso de un medio conocido y eficaz para alcanzar el objetivo deseado. Éste tipo de racionalidad admite grados –diferente de la racionalidad categórica que no admite tales grados–

⁵ En esta categoría se puede ubicar las ciencia cognoscitivas, “*el realismo naturalista es parte de un naturalismo más general: la postura según la cual toda actividad humana ha de entenderse como un fenómeno enteramente natural, al igual que las actividades de los animales o las de las sustancias químicas. Pertenecen también a una larga tradición que supone el uso de la ciencia en el intento de comprender la ciencia misma...*” (Giere, R. 1992).

cualquier persona...Las actividades científicas⁶ tienen mucho en común con otras actividades humanas, especialmente con las que dependen en gran parte del uso del lenguaje...”de esta manera, Giere sugiere llamar "**modelos teóricos**" ó simplemente "**modelos**"—éstos no son entidades lingüísticas— a los sistemas idealizados que, como objetos socialmente contruidos, no tienen otra realidad sino la que les concede la comunidad científica, de este modo, “los modelos teóricos tienen la intención de ser modelo de algo,... los modelos son los medios con que los científicos representan el mundo tanto para sí mismos como para los demás” el carácter prototípico de los modelos facilita que sirvan de base para la construcción de otros modelos teóricos que son “conglomerado de modelos”⁷ o “familias de modelos”, realmente Giere al tratar de ampliar la descripción de la relación entre el modelo y aquello de lo que es modelo recurre a el concepto de la “**hipótesis teórica**”, la cual define como, “una entidad lingüística; a saber: un enunciado que afirma cierto tipo de relación entre el modelo y un sistema real dado (o una clase de sistemas reales), así pues, una hipótesis teórica es verdadera o falsa según se mantenga o no se mantenga la relación afirmada” (Giere, R. 1992). Es decir, una “**hipótesis teórica**” establece una relación de “**semejanza**” entre el modelo teórico y el sistema real dado (o una clase de sistemas reales), con lo cual, “las hipótesis suponen una semejanza entre los modelos y los sistemas reales” (Giere, 1992), con una especificación implícita de los aspectos y grados pertinentes, es decir, “tal y cual sistema real identificable es semejante al modelo designado en tales y cuales aspectos y grados”. Con esto, el criterio de verdad o falsedad para las hipótesis tiene sentido, sólo a favor de cierto tipo y grado de semejanza entre el modelo y el sistema real. De esta manera, la ciencia, al ser una actividad humana, es vista como un proceso cognitivo, con el cual, se construye conocimiento mediante procesos sociales. Los agentes cognoscitivos revelan

⁶ “Cuando se centra el conocimiento científico en sus propios agentes (personas e instituciones) nos damos cuenta que el conocimiento científico incluye muchos aspectos diferentes y que deberíamos hablar más bien de **actividad científica**: elaborar conocimiento justificado es uno de los aspectos de esta actividad, pero no es el único... para comprender como se produce la actividad científica se necesita además de la epistemología una axiología” (Izquierdo, M. 1999-1).

⁷ Lo que encontramos en los libros de texto normales puede describirse como un conglomerado (de conglomerados de conglomerados) de modelos o, tal vez aún mejor, como una población de modelos que consiste en familias relacionadas de modelos. (Giere, R. 1992)

representaciones del mundo y formulan juicios, tanto de éste como de sus representaciones, por medio de una “**racionalidad hipotética**”.

En la Figura 3, se representa El Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC), se observan tres elementos en el proceso de construcción de las ciencias, el sistema real, el conjunto de enunciados y los modelos, en este caso, no existe una relación directa entre el conjunto de enunciados científicos y el sistema real. Consecuentemente, estos se relacionan a través de un modelo teórico. Como se ha dicho, la relación de semejanza se establece por la hipótesis teórica. Así, *“la relación encargada de la dura tarea representacional no es de verdad entre la entidad lingüística y el objeto real, sino de la semejanza entre los dos objetos, uno abstracto y uno real”*. (Giere, R. 1992)

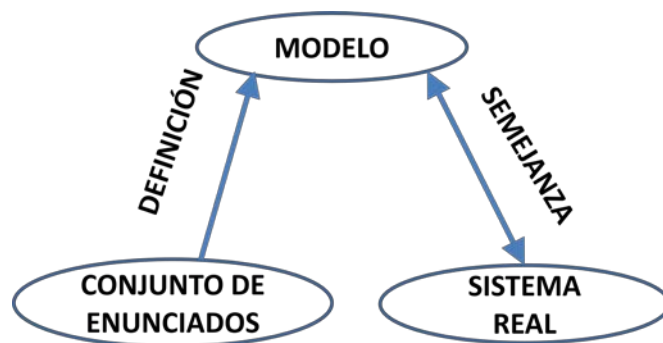


Figura 3. Modelo Teórico Según Giere. Relación entre enunciados, modelos y sistemas reales

En este caso la teoría se entiende como constituida por dos elementos: el primero es la población de modelos y en segundo lugar se tienen las diversas hipótesis que enlazan estos modelos con los sistemas de la realidad. Se enfatiza que la actividad experimental que es el eje de la actividad científica, se encuentra sumida en la concepción teórica. Al respecto se entiende las teorías científicas como una metáfora, cuyo atributo es comprender y experimentar una cosa en términos de otra, es decir, el concepto, la actividad, el lenguaje, se estructuran metafóricamente de manera sistemática y coherente, haciendo explícitas algunas cosas, pero, inevitablemente ocultado otras, con arraigado fundamento en la experiencia. De esta manera en el

Modelo Cognitivo de Ciencia la teoría científica se concibe como “semántica” porque se revalida la teoría si ésta tiene significado y es útil para interpretar los fenómenos.

Asimismo, el Modelo Cognitivo de Ciencia, como elemento epistemológico, ofrece fundamento a la Ciencia Escolar⁸, en este caso *“Las ciencias cognitivas⁹ destacan el hecho de que, como en toda actividad cognitiva, para hacer ciencia es necesario actuar con una meta propia (que en este caso es interpretar el mundo, darle significado para intervenir en él) utilizando la capacidad humana de representarse mentalmente lo que se está haciendo y de emitir juicios –evaluar–. También desde la teoría psicológica de la Actividad (Talízina, 1988) se postulan estos puntos como básicos en toda actividad de aprendizaje”*. (Izquierdo, M. 1999-1), de este modo, se tiene en cuenta el proceso de enseñanza y aprendizaje, el cual puede establecerse como de significativo, en el momento que el estudiante le encuentra sentido, lo aplica a situaciones que requieren, en sí mismas, de un proceso de internalización y de acciones externas, a esto último, en el siguiente apartado se hará referencia a la Teoría de la Actividad.

La Ciencia Escolar necesita también de la Transposición Didáctica, que es la transformación "de un objeto de saber en un objeto de enseñanza", es decir, la transformación del saber científico en algo apto para ser aprendido a las diferentes edades y en los diferentes contextos (Chevallard, 1991), esto implica que la Ciencia Escolar, siendo análoga a la ciencia de los científicos, respecto a la necesidad de pensamiento teórico (mediado por modelos), guarda con esta última sus semejanzas y diferencias, las que pueden permitir estructurar y diseñar una educación científica de

⁸ La ciencia escolar (CE) hace referencia a la ciencia que se hace en la escuela y que puede considerarse diferente a la ciencia de los científicos, pero que tienen elementos comunes (Izquierdo, M. 1999-2)

⁹ *“Las ciencias cognitivas, área de conocimiento en la que confluyen diversas disciplinas (como la inteligencia artificial, las neurociencias, la lingüística y la psicología cognitiva) para estudiar el origen y funcionamiento del conocimiento humano, han contribuido al desarrollo de este nuevo modelo de racionalidad científica dando lugar a un «modelo cognitivo de ciencia». Desde esta perspectiva, la ciencia es el resultado de una actividad cognitiva, como lo son también los aprendizajes. Por ello, los conceptos y métodos de las ciencias cognitivas pueden ser tan útiles para el diseño de la ciencia escolar como lo son para elaborar un modelo de conocimiento científico”* (Izquierdo. M. 1999-1)

calidad que involucre a los estudiantes en su propio aprendizaje, a través de objetivos que apropian y presentan fenómenos y conceptos que respondan a sus expectativas, conocimientos previos, estrategias didácticas pertinentes y generadoras de la motivación para que el proceso de enseñanza y aprendizaje sea exitoso, respecto a esto la Teoría de la Actividad se tendrá en cuenta. Asimismo, se *“necesita que el conocimiento científico sea para el estudiante teórico y práctico a la vez y pueda desarrollarse según una finalidad que lo hace racional, no sólo para los científicos, sino también para el estudiante. Para ello se requiere un concepto de teoría científica que sea suficientemente amplio para poder aplicarse a todo conocimiento humano, incluido el que emerge en la clase”* (Izquierdo, M. 2007).

Se aprecia que en la Ciencia Escolar, los agentes cognoscitivos son los propios estudiantes, estos tienen sus propias representaciones de los fenómenos y generar juicios sobre estos y sobre sí mismos, estos conocimientos los han adquirido en sus interacciones con el mundo, con la escuela (profesor y sus pares), dando respuesta a su cotidianidad, que posee su propia expresión lingüística, siendo ésta muy diferente a la científica, pero a partir de la cual se alcanza la segunda. Estos agentes cognoscitivos han de construir el conocimiento científico sobre el mundo a través de modelos teóricos y teorías que deben tener significado para el estudiante en los términos que se expusieron arriba (por medio de una concepción semántica de las teorías científicas) y que se depura a medida que la Ciencia Escolar planifica las estrategias didácticas que incluyen propuestas con actividades experimentales, los instrumentos a utilizar y las acciones a realizar para que el estudiante las apropie.

Izquierdo, et al (1999), aplicando el Modelo Cognitivo de Ciencia a la Ciencia Escolar, han propuesto acciones que permitan una relación entre los contenidos, el proceso de enseñanza y el de aprendizaje. En este caso, las acciones propuestas tienen en cuenta criterios de selección y secuenciación de los contenidos, atendiendo las finalidades del currículo, pensando en “el sentido que van tener para los alumnos y en lo que les van a permitir hacer”, en este caso, se pretende que el estudiante tenga la

necesidad de una meta, que persigue a lo largo del proceso. De este modo, apremia una gestión en el aula que incluya acciones metodológicas, muestra formas de evaluación, que incluyan la meta-cognición como, indispensables para que las acciones escolares contengan objetivos claros para los estudiantes, y que con esto se puedan diseñar experimentos y problemas, que estén dentro del contexto escolar, en una articulación e integración entre razonamiento y experimentación que permita que estos tengan sentido en el marco del Modelo Cognitivo de Ciencia. Al finalizar este proceso es de esperar que el estudiante demuestre comprensión de una formulación científica, de modo que responda a preguntas, en el contexto pertinente, de manera coherente, las enuncie correctamente de forma verbal y escrita, utilizando para ello un modelo teórico “lo más robusto posible”.

Al implementar el Modelo Cognitivo de Ciencia al diseño de una actividad científica escolar, ésta ha de consistir en la puesta de un escenario (que sea significativa para los estudiantes) en el que se debe tener presente los principales interrogantes que conforman el centro de las disciplinas, así como las «reglas del juego» para darles solución, de este modo se facilita una representación abstracta de la situación inicial en la que se coloca en juego numerosos sistemas de valores (una axiología) que pueden permitir evaluar la actividad. Adicionalmente ésta ha de brindar rutas para el proceso de modelización (consistente en pensar, hacer y comunicar, ver Figura 4), que tiene que terminar en el establecimiento de conceptos, términos y habilidades correspondientes a la matriz disciplinar¹⁰ que el escenario ha recreado para los estudiantes.

¹⁰ Kuhn para ampliar el término de **Paradigma** a los elementos de comunicación y la relativa unanimidad de los juicios profesionales, introduce el de **matriz disciplinaria**, “«disciplinaria» porque se refiere a la posesión común de quienes practican una disciplina particular; «matriz» porque está compuesta por elementos ordenados de varias índoles, cada uno de los cuales requiere una ulterior especificación. Todos o la mayor parte de los objetos de los compromisos de grupo que en mi texto original resultan paradigmas o partes de paradigmas, o paradigmáticos, son partes constituyentes de la matriz disciplinaria, y como tales forman un todo y funcionan en conjunto...” (Kuhn, T. 2004).

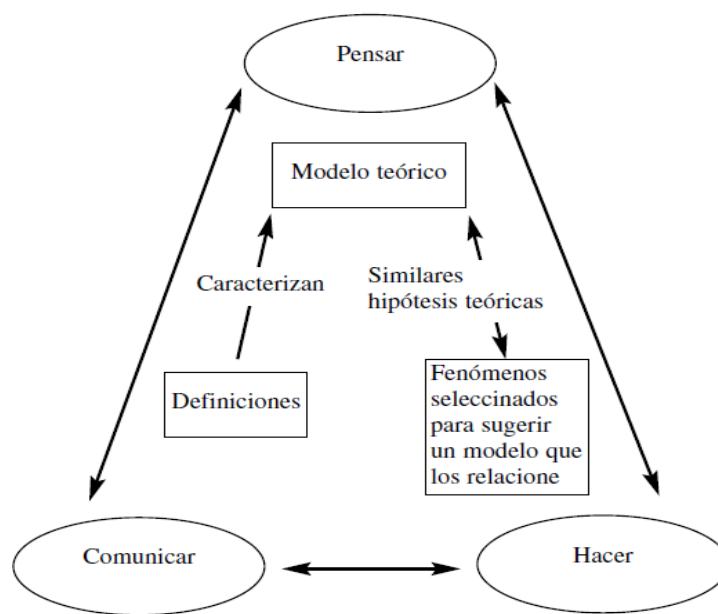


Figura 4. El Modelo Cognitivo de Ciencia. Citado por (Izquierdo, M. 2007)

En la Figura anterior se muestra el proceso de modelización en la Ciencia Escolar, en la que se van ajustando las conexiones entre lo que se piensa, lo que se dice y lo que se hace a través de una argumentación en el aula de clase que vaya implementando la perspectiva propia de los modelos teóricos y de los lenguajes disciplinares.

Para finalizar esta breve explicación del Modelo Cognitivo de Ciencia se puede mostrar algunas de las conclusiones que plantea Izquierdo, M. (1999-1) sobre la aplicación del (MCC) a la Ciencia Escolar, en este caso, se propone que *“para explicar problemas de aprendizaje del alumnado son útiles las aportaciones de Giere sobre el carácter cognitivo de la ciencia y la diferencia que establece entre una teoría y un modelo teórico. Según él, la teoría contiene necesariamente «hechos científicos», mientras que el modelo no es más que un artificio para pensar, por sí solo no tiene ningún valor. Por ello no puede haber conflicto entre teoría y práctica, ya que el pensamiento teórico debe ejercerse siempre «pensando sobre algo»...Esto puede explicar por qué muy a menudo los alumnos no saben aplicar sus conocimientos científicos: en clase se enseñan casi siempre modelos, pero no teorías. Y desde aquí se*

configuran diversas líneas de investigación futura: ¿Cuáles son los modelos y los hechos que deben estudiarse conjuntamente para formar prototeorías¹¹? ¿Cómo debe ser un currículo fundamentado en los modelos teóricos y sus hechos paradigmáticos? ¿Podemos utilizar como modelo una metáfora o una analogía?”

Para los fines de este trabajo se toman en cuenta los elementos del Modelo Cognitivo de Ciencia, para analizar los modelos que los estudiantes de Ingeniería y Ciencias (programa de Física) utilizan al dar solución a una serie de preguntas que se proponen en el cuestionario, estos modelos pueden ser de dos tipos, el primer tipo son los que hacen parte de los modelos aceptados por la comunidad científica (los cuatro niveles conceptuales propuestos en este trabajo) y que permiten explicar con ciertos grados de sofisticación (hay modelos que explican más elementos de un mismo fenómeno que otros) el fenómeno de inducción magnética de Faraday, así mismo, se tienen en cuenta los modelos alternativos que los estudiantes utilizan para explicar el fenómeno de inducción magnética, pero que no son aceptados como verdaderos por la comunidad científica, estos pueden brindar insumos a nuevas investigaciones que busquen mejorar el aprendizaje de los estudiantes a través de la intervención en el aula.

1.3 Teoría de la Actividad.

Como parte de la fundamentación teórica que sustenta la presente investigación, se toma La Teoría de la Actividad, esta teoría se basa en el modelo teórico sociocultural de Vygotsky, de este modo, la actividad tiene un papel importante en la formación del conocimiento, como una relación entre lo externo y los procesos internos, a través del mecanismo de la apropiación que depende de cómo se estructura la actividad. La Teoría de la Actividad fue planteada inicialmente por A. N. Leontiev, fundamentándola, a su vez, en la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales, de Galperín, alumno de Vygotsky, como el propio Leontiev. La transposición al campo de la enseñanza, es realizada en el trabajo expuesto por Nina

¹¹ El término hace referencia a una teoría en formación.

Talízina. Esta teoría entiende que los conocimientos se constituyen en la interacción social, mediados por el lenguaje como instrumento de esta interacción, es decir, los conocimientos no pueden ser adquiridos a partir de la simple transmisión de informaciones, estos conocimientos se elaboran mediante la actividad que les permiten establecer relaciones con el mundo a partir de las interacciones con otros sujetos, de este modo, *“La actividad del individuo humano aparece como un sistema incluido en el sistema de relaciones de la sociedad. La actividad humana no existe en absoluto fuera de estas relaciones”* (Leontiev 1979). En la teoría de la actividad se distinguen tres niveles de análisis diferentes, los cuales se relacionan entre sí, estos niveles son la actividad, la acción y la operación.

Actividad: Es la unidad de análisis más general, permite relacionar al hombre (sujeto) con el mundo (objeto), la actividad es un proceso que permite relacionar al sujeto con la realidad, además este proceso siempre responde a una necesidad; y va dirigida hacia el objeto que es capaz de satisfacer esa necesidad. Para Leontiev (1979), la actividad relaciona al sujeto con el mundo y la entiende como los procesos del sujeto hacia la realidad y *“donde tiene lugar el tránsito del objeto hacia su forma subjetiva, a la imagen; y al mismo tiempo en la actividad se realiza también el tránsito de la actividad hacia sus resultados objetivos, a sus productos. Tomada desde este punto de vista, la actividad aparece como el proceso en el cual tiene lugar las transformaciones mutuas entre los polos “sujeto-objeto”... la actividad es molar, no es una unidad aditiva de la vida del sujeto corporal, material... ésta es la unidad de vida... cuya función real consiste en que orienta al sujeto en el mundo de los objetos...es un sistema que tiene su estructura, sus transiciones y conversiones internas, su desarrollo”*.

La actividad tiene dos elementos estructurales, el objetivo y el motivo, comprendidos no como emociones internas, sino como objetos externos que dirigen la actividad del sujeto, en este caso el motivo es el encargado de llevar al sujeto a la acción (la acción no motivada no existe), de esta manera, el motivo de la actividad es interpretado por el

sujeto, no sólo como una necesidad de algo, sino como una necesidad objetivada, como el objeto que mueve al sujeto de la acción. Lo que caracteriza la actividad es que el objetivo y el motivo coinciden ya que la actividad se motiva por el objetivo que se quiere alcanzar a través de ella. En el plano educativo Jorba y Sanmartí, (1996), exponen que el aprendizaje de determinados conocimientos constituye una actividad cuando es motivada por una necesidad cognoscitiva. *“Los conocimientos que el alumno pretende adquirir aparecen como un motivo en el que se ha materializado, la necesidad cognoscitiva del que aprende. Pero, al mismo tiempo, intervienen constituyendo el objetivo de esta actividad. Si el alumno no tiene necesidad cognoscitiva, o bien no estudiará, o bien estudiará para satisfacer otra necesidad, como por ejemplo, obtener una buena calificación. En este último caso, el aprendizaje ya no representará una actividad, pues la adquisición de conocimientos, objetos de estudio, no le llevan a satisfacer su necesidad, sólo le sirve de objetivo intermedio”*.

Leontiev también hace referencia al sentido de la actividad para el sujeto. Este está en relación con los elementos que estructuran la acción, es decir el motivo y el objetivo. En la Figura 5, se presenta un análisis de las ideas presentadas y que componen la actividad. Igualmente, *“una actividad implica siempre una transformación de la realidad. Cuando esta actividad se realiza tiene lugar una doble transformación: el objeto es transformado en su imagen o forma subjetiva por la actividad humana con la ayuda de los instrumentos... además, la actividad es convertida en sus resultados o productos objetivos. La transformación ocurre pues, tanto en el polo del sujeto como en el del objeto”*. (Jorba y Sanmartí. 1994)

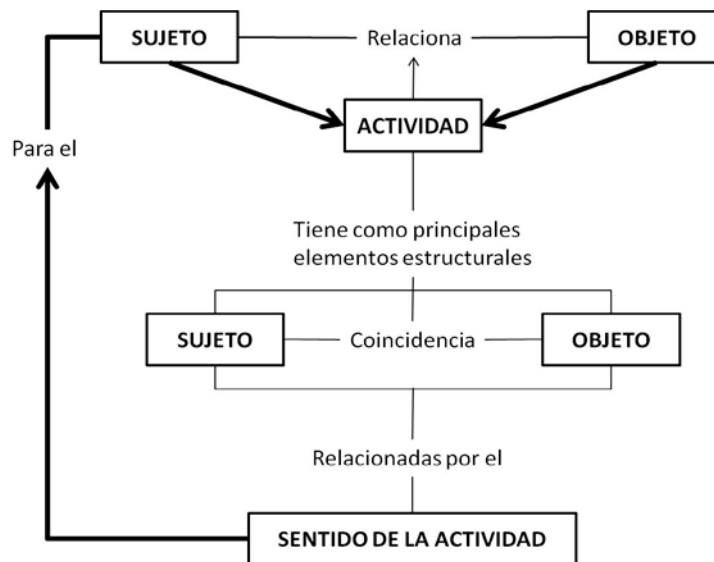


Figura 5. Estructura de la Actividad¹²

Uno de los aspectos más importantes de la teoría de la actividad, es la relación que existe entre el concepto de actividad con el uso de instrumentos mediadores de la actividad. Entre estos elementos se tiene:

Instrumentos materiales: son los que se dirigen hacia el exterior (relacionan al hombre con los objetos materiales) y generan cambios en estos objetos, (P, ej. materiales de laboratorio, libros, computadores, etc.)

Instrumentos signos (lingüísticos o no): son los que se dirigen hacia el interior y producen cambios en los objetos psíquicos. Estos signos inicialmente tienen una forma material externa y se interpretan como instrumentos para la comunicación y posteriormente se convierten en internos y se usan individualmente.

¹² Referenciado de Jorba y Sanmartí (1994). Enseñar, aprender y evaluar, un proceso de regulación continua; propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas. Ministerio de Educación y Cultura. España. Recuperado: http://books.google.com.co/books?id=a_rCXrBxikwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

La acción: La actividad humana tiene como componente principal las acciones que realizan la actividad misma, es por ello que las acciones son consideradas unidades elementales de la actividad que conservan su estructura y sus características. La acción se refiere al proceso vinculado a la representación del resultado que debe alcanzarse, es decir, al proceso subordinado a un objetivo consciente, al igual que el concepto de actividad se correlaciona con el motivo, el de acción se correlaciona con el objetivo (Leontiev, 1979), de este modo, las acciones que concreta la actividad son estimuladas por el motivo de ésta, sin embargo están direccionadas a por su propio objetivo. Una característica de la acción es la posible no coincidencia del motivo y el objetivo. En la Figura 6, se presentan los conceptos relacionados al proceso de la acción.

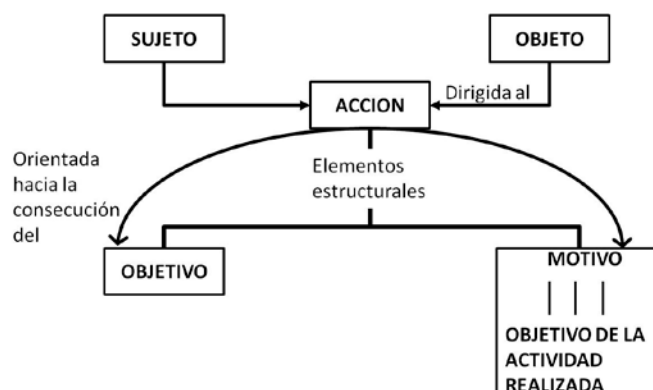


Figura 6. Estructura de la Acción

La acción, además de su aspecto intencional; el objetivo que se requiere alcanzar, tiene también un aspecto operacional, es decir, tiene una condiciones concretas que permiten la ejecución de la acción. De este modo, se puede afirmar que el objetivo se concreta en las tareas que se realizan y la acción interviene como solución de estas tareas. Esta característica operacional permite hablar del tercer nivel de análisis al que se refiere Leontiev, las operaciones.

Operación: toda acción está conformada por un conjunto de operaciones, las que se realizan en un determinado orden y cuya realización conforman el proceso de cumplir

con la acción. La relación directa con estas operaciones son las condiciones para ejecutar la acción y no el objetivo de la misma. Del mismo modo que la actividad puede apartarse de la acción, cuando el objetivo y el motivo no coinciden, igualmente un mismo objetivo de una acción se puede obtener por medio de distintos caminos operacionales. Del mismo modo, se determina las operaciones como métodos por medio de los cuales se realiza la acción, con lo cual, *“las operaciones corresponden no al motivo ni al objetivo de la acción, sino a las condiciones en las que está dado el objetivo...las operaciones se forman de las acciones... cuando el objetivo de la acción forma parte de otra acción como condición de su cumplimiento, la primera acción se transforma en método de realización de la segunda, en una operación consiente”* (Leontiev. 1979). De este modo, los tres niveles de análisis son mostrados en la Tabla 1.

Se puede decir que en la Teoría de la Actividad, el análisis comienza por separar algunas actividades de acuerdo a los motivos, coincidentes estos con los objetivos que los movilizan. Posteriormente, se analizan las acciones que componen las actividades, que son estimuladas por el motivo de la actividad de la que hacen parte, pero orientadas a la consecución de su propio objetivo. Para finalizar se diferencian las operaciones que dependen de forma directa, de las condiciones en las que se lleva a cabo la acción que materializan.

Tabla 1. Niveles de análisis de la Actividad

Nivel de análisis	Unidades
1°	Correlacionada con ACTIVIDAD-----> MOTIVO
2°	Correlacionada con ACCIÓN-----> OBJETIVO
3°	Correlacionada con OPERACIÓN-----> CONDICIONES

A continuación se estudiarán con mayor detalle los aspectos relacionados con el nivel de análisis de las acciones y las operaciones.

Partes estructurales y funcionales de la acción:

“El portador de las acciones examinadas es siempre el sujeto de la acción. Finalmente toda acción incluye un determinado conjunto de operaciones que se cumplen en un orden determinado y en correspondencia con determinadas reglas. El cumplimiento consecutivo de las operaciones forma el proceso de cumplimiento de la acción. En toda acción humana hay partes orientadoras, de ejecución y de control”. (Talízina, N. 1988), de este modo tenemos primeramente la parte orientadora de la acción:

Base orientadora: al realizar una determinada acción, el sujeto asume la existencia de una cierta representación de esta acción y de las condiciones en que se lleva a cabo. Estas representaciones forman un elemento de estructura que se denomina base de orientación de la acción; en este caso, es el conjunto de condiciones que tomará en cuenta el sujeto para efectuar la acción. Estas representaciones son el factor fundamental en la ejecución con éxito de la acción (Talízina, N. 1988). Asimismo, Jorba y Sanmartí (1994), afirman que *“la base orientadora está constituida por el conocimiento que el sujeto tiene en relación a cuestiones cómo: ¿Por qué se debe realizar la acción? ¿Qué se quiere conseguir? ¿Qué operaciones se tienen que hacer para conseguirlo? ¿En qué orden? ¿Qué se requiere saber para hacer estas operaciones? ¿Con qué medios y en qué condiciones se tiene que realizar? ¿Si se ejecuta una determinada operación, cuál es el resultado esperado?, etc. Es decir, todo aquello que permite alcanzar el objetivo de la acción”.*

Igualmente, el sujeto tiene que tener conocimiento sobre los elementos estructurales, especialmente sobre motivo, objetivo y condiciones de realización. Además del conjunto de operaciones necesarias para la concretización de la acción, de su orden de realización, de los posibles caminos que pueden seguirse, de los conocimientos necesarios para efectuar cada una de las operaciones. Finalmente el sujeto debe

conocer la relación entre los elementos estructurales y los procedimientos particulares proyectados.

Base ejecutora: *“es la parte de trabajo de la acción, es la que asegura las transformaciones dadas en el objeto de la acción (ideales o materiales)”*. (Talízina, N. 1988). De este modo, “El conocimiento producido en la parte orientadora permite llegar a la toma de decisión relativa a la forma de realizar la parte ejecutora. La parte ejecutora es la que tiene como resultado el trabajo proyectado, el producto final que se esperaba obtener como resultado de la acción” (Jorba y Sanmartí. 1994).

Base de control-regulación: *“la parte de control de la acción está dirigida a seguir la marcha de la acción a confrontar los resultados obtenidos con los modelos dados. Con su ayuda se hace la corrección necesaria tanto en la parte orientadora como en la ejecutora de la acción”*. (Talízina, N. 1988). Este control-regulación se lleva a cabo por medio de la observación de los procesos anteriores (base orientadora y ejecutora), la comparación de planificación realizada con lo que se ejecuta y el resultado obtenido, y si es el caso en el que se presenta mal funcionamiento, se procede a modificar o bien las operaciones proyectadas o su ejecución, de esta manera se regula el proceso. En la Figura 7, se presentan las relaciones de los aspectos estructurantes de la acción.



Figura 7. Aspectos estructurantes de la acción.

De este modo, la Teoría de la Actividad permite entender el proceso de enseñanza y aprendizaje, como una actividad mediada por los elementos que se desplegaron en la exposición anterior, para los fines de este trabajo, la Teoría de la Actividad puede brindar aspectos que permiten entender los procesos que llevan a cabo los estudiantes al resolver las situaciones propuestas en el cuestionario, aunque el análisis de estos procesos no se realiza porque desbordan los objetivos de este trabajo, no se deben perder de vista.

2. CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se presentan los elementos que constituyen la revisión bibliográfica, de este modo, se tienen en cuenta aspectos relacionados con el desarrollo histórico y epistemológico del fenómeno de inducción magnética. Igualmente, se revisan los elementos teóricos del fenómeno de inducción magnética, que se presentan en los libros de física generalmente usados en la enseñanza de este concepto, y finalmente, se muestran los resultados de algunas investigaciones en didáctica que se han realizado sobre el concepto de inducción magnética de Faraday.

2.1 Desarrollo histórico del fenómeno de inducción magnética:

En este apartado se realiza, grosso modo, el desarrollo histórico que ha tenido el concepto de inducción magnética de Faraday. Al concluir el siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, se habían realizado grandes descubrimientos experimentales y teóricos (en el campo de la electricidad y el magnetismo), algunos cuantitativos como la relación de Coulomb para las cargas eléctricas en reposo, otros cualitativos como la adopción del modelo de fluidos para explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos; se clasifican varios materiales como conductores y aislantes o dieléctricos, y se construyen dispositivos para producir, almacenar y conducir la electricidad. Ahora bien, ¿Cómo se entiende en este momento la electricidad y el magnetismo? “se pensaba, en primer lugar, que ambos fenómenos eran fluidos imponderables que se producían en los cuerpos o residían en ellos. Estos fluidos circulaban o se transferían de unos a otros cuerpos y podían crear a su alrededor una atmosfera, o ambiente, capaz de atraer o repeler a otros cuerpos. Había, sin embargo, una diferencia importante entre la electricidad y el magnetismo: la electricidad podía pasar de un cuerpo a otro, podía estar eventualmente, fuera de la materia, mientras que el magnetismo parecía residir en algunos cuerpos, y si pasaba de uno a otro era por contacto físico, por frotamiento, como cuando se imantaba un pedazo de hierro frotado largo rato con un imán permanente natural” (Zapata, A. 1999).

De este modo, se aprecia “una deliberada investigación para encontrar una relación entre electricidad y magnetismo que data por lo menos de principios del siglo XVIII.

Franklin, trató de magnetizar una aguja por medio de una descarga eléctrica. Sir Edmund Whittaker en su libro History of the Theories of Aether and Electricity reporta que en 1774 la Academia Electoral de Baviera formuló la cuestión ¿existe una analogía real y física entre las fuerzas eléctrica y magnética? Como la meta de un premio. En 1805 dos investigadores franceses trataron de determinar si la pila voltaica suspendida libremente se auto orientaba en alguna dirección fija con respecto a la tierra”, (Ibíd. 1999), lo cual resultó ser un fracaso.

Así, los fenómenos de electricidad y magnetismo eran vistos separados, aunque algunos sospechaban que podría existir alguna relación entre ambos fenómenos. Precisamente “en el Verano de 1820 Oersted comunicó, en latín, a los centros científicos europeos, su transcendental experimento: un hilo conductor, recorrido por una corriente eléctrica, desviaba una aguja magnética colocada en su cercanía. Con este sencillo experimento se inicia la unificación entre electricidad y magnetismo, y también al vertiginoso desarrollo de la electricidad en el siglo XIX” (Ibíd. 1999). Se establece con el experimento de Oersted una carrera para encontrar si el sentido inverso se podría presentar en tal experimento, es decir, un campo magnético podría generar una corriente eléctrica, “los primeros intentos de evidenciar tal fenómeno estaba ya condenado al fracaso antes de su realización, pues se fundaba en una idea inexacta de que la presencia de un imán bastaría para engendrar una corriente...” (Taton, R. 1967).

André Marie Ampère, quien presencia una de las demostraciones de Oersted, sobre la perturbación que sufría una brújula cerca de un conductor que conducía una corriente, comienza a realizar investigaciones sobre electromagnetismo, aunque inicialmente defendía la teoría de los fluidos, Ampère, después de realizar algunos experimentos puede concluir que, “la electricidad y el magnetismo eran la misma cosa, y el magnetismo era electricidad en movimiento. A esta conclusión llegó después de pensar en lo que Coulomb quiso decir. –No es posible interacción entre electricidad y magnetismo–. Si la electricidad sólo podía actuar sobre la electricidad, entonces el

imán debía ser en esencia, eléctrico, y por consiguiente, la electricidad debía tener el poder de producir ciertas fuerzas magnéticas” (Zapata, A. 1999).

Se empiezan a comprender algunas características del electromagnetismo, por ejemplo, Ampère, en septiembre de 1820 describió su descubrimiento de las fuerzas mutuas existentes entre dos alambres portadores de corriente, *“señalando el carácter enteramente diferente de tales fuerzas en comparación con los dos cuerpos cargados eléctricamente (...) así, definió el imán como **un conjunto de corrientes eléctricas producidas por las acciones de las partículas de acero, unas sobre otras, de manera análoga a las de los elementos de una pila voltaica, las cuales se producen en planos perpendiculares a la línea que une ambos polos del imán”***. (Ibíd. 1999).

De esta manera, Ampère, estableció que *“la corriente eléctrica no era tan sólo algo que afectaba a la brújula sino que era en realidad un imán en sí mismo, André Marie Ampère abandonó el hierro por completo. Hizo pasar corrientes por dos hilos paralelos, uno de los cuales estaba suspendido de forma que pudiera alejarse o acercarse al otro. Cuando la corriente pasaban en la misma dirección, los hilos se atraían, en caso contrario, se repelían y separaban”* (Hecht, E. 1987). Así como las corrientes ejercen fuerzas sobre los imanes, por la tercera ley de Newton, los imanes deben ejercer fuerzas sobre las corrientes, el caso más sencillo es cuando una carga se desplaza con cierta velocidad por un campo magnético en una dirección no paralela, de esta manera, la carga experimenta una fuerza que depende del ángulo que forma la velocidad de la carga y la dirección del campo y también de la magnitud de la carga y del campo. Esta es la conocida fuerza de Lorentz sobre cargas eléctricas en movimiento, que *“se encuentra explícita por vez primera, aunque en una forma un poco arbitraria, en una memoria de Ampère en la que éste calcula la acción de un circuito eléctrico cerrado sobre un elemento de corriente”* (Taton René. 1971).

Algunas de las primeras observaciones sobre el fenómeno de inducción magnética la realizaron Ampère y De la Rive, en Ginebra y luego en París, en este caso, *“el dispositivo: un cuadro circular (circuito cerrado) de cobre estaba suspendido por un*

hilo en el interior y en el plano de una bobina circular plana por la que se podía hacer pasar una corriente; el conjunto se encontraba en el campo de un imán en forma de herradura. En el momento en que se establecía o se cortaba la corriente en la bobina –el circuito cerrado era atraído o rechazado alternativamente por el imán–” (Ibíd. 1971).

Escribe once años más tarde el mismo Ampère en carta a De La Rive, citado por (Taton, R. 1967). *“Es un hecho que nosotros hemos sido los primeros en obtener, en 1822, la corriente eléctrica por influencia o inducción, como la denomina el señor Faraday... desgraciadamente ni usted ni yo pensamos en analizar este fenómeno y extraer todas las conclusiones. Habríamos comprobado, como luego ha descubierto el señor Faraday, que esta corriente sólo dura un instante y que tiene sentido contrario al de la corriente establecida en la espira que produce la inducción. El descubrimiento de todas las leyes de las corrientes producidas por influencia corresponden al señor Faraday; es él quien ha descubierto por primera vez que estas corrientes aparecen no sólo en el momento en que se produce o elimina la corriente de la espira, sino también cuando simplemente la espira se aproxima o se aleja del conductor, de modo que cuando se conecta la corriente o cuando se aproxima la espira, la corriente instantánea de inducción tienen sentido contrario a la inductora, mientras que cuando se elimina ésta o se aleja la espiral se invierte su sentido“*

De este modo, *“Esta especie de ceguera intelectual se puede explicar probablemente por el hecho de que Ampère esperaba la producción de corrientes permanentes por influencia –análogas a las cargas permanentes inducidas por la electricidad estática–”* (Taton René. 1971). Estas ideas preconcebidas son quizás la causa de los fracasos de todos los contemporáneos a Ampère para hallar corrientes inducidas.

De igual manera, en 1824 Arago François, hace una importante observación: *“las oscilaciones de una aguja imantada suspendida de un hilo, se amortiguan anormalmente cuando se coloca un disco de metal debajo de ella. Intentando*

comprender el fenómeno, se le ocurrió hacer girar el disco: la aguja giraba siguiéndolo, y, a la inversa, una rotación de la aguja acarrea la del disco. Estos sorprendentes efectos, a los que Arago dio el nombre de magnetismo de rotación, fueron estudiados en todos sus detalles incluso cuantitativamente, pero siguieron siendo misteriosos durante bastantes años” (Ibíd. 1971). Aunque se aprecia el fenómeno de inducción en esta experiencia, esto no fue visto, porque era probablemente contrario a ideas y modelos preconcebidos, o por la dificultades que entraña la experiencia misma, “en realidad, bajo una apariencia muy simple, se trataba de un hecho muy complejo, cuya clara comprensión suponía un conocimiento preciso de las leyes de la inducción y del reparto de las corrientes en el disco”. (Taton René. 1967).

En este caso, las corrientes inducidas aparecen en algunos experimentos, sin embargo no pudieron ser explicadas en buena medida. En la escena de todas estas discusiones e investigaciones aparece el genio de Michel Faraday, quien inicia sus estudios en diferentes campos, guiado por H. Davy. Así, Faraday en sus investigaciones sobre electricidad y magnetismo comienza a explicar estas corrientes, con lo cual, en agosto de 1831, comunicó sus hallazgos a la Royal Society, en su primera serie de ***Investigaciones Experimentales***.

“El primer experimento que concluyó en éxito, fue la observación de las corrientes inducidas en un circuito con un galvanómetro, al abrir y cerrar un circuito vecino. Eran dos enrollamientos de hilos conductores bobinados y aislados alrededor de un mismo anillo de hierro dulce. Faraday reconoció enseguida que se trataba de un fenómeno temporal relacionado con la variación de las condiciones magnéticas en que se encuentra el circuito inducido” (Taton, René. 1971). A partir de estos experimentos se iniciaron otros, por ejemplo: inducción por cierre y apertura de un circuito magnético en el cual se ha enrollado una bobina, otros relacionados con las corrientes inducidas sin hierro y por la aproximación de un imán. “En 28 de octubre de 1831, Faraday se enfrenta al fenómeno magnético de Arago, su dispositivo era una

rueda de cobre (no dentada) está situada entre los polos inversos de un fuerte imán en forma de herradura, dos hilos conductores llevan a los bornes de un galvanómetro, partiendo el uno del centro de la rueda y deslizándose el otro por la periferia. Desde que el aparato se pone en rotación, la aguja del galvanómetro se desvía” (Ibíd. 1971).

En este caso, Faraday reconoce una ley general: *“esos fenómenos dependen del modo en que el conductor corte las curvas magnéticas... Entiendo por curvas magnéticas las líneas de fuerza... que dibujaría la limadura de hierro, o que serían tangentes a una pequeñísima aguja imantada” (Ibíd. 1971).* Asimismo, Faraday expresa en sus investigaciones una primera aproximación a las dos ecuaciones fundamentales de Maxwell: *“todos estos resultados muestran que el poder de inducción de las corrientes eléctricas se ejerce de modo circular por una resultante magnética o eje de fuerza, exactamente igual que las acciones magnéticas circulares se producen por una corriente eléctrica” (Ibíd. 1971).*

Al finalizar sus segundas investigaciones, Faraday tiene una expresión más clara sobre el fenómeno de inducción: *“Cuando un hilo se mueve directa u oblicuamente a través de las líneas de fuerza... suma la cantidad de fuerza representada por las líneas que ha cortado... La cantidad de electricidad que pasa a la corriente es proporcional al número de líneas cortadas... más adelante precisa su idea de línea de fuerza: La cantidad relativa de fuerza... en un espacio dado, está indicada por la concentración o separación de las mismas” (Ibíd. 1971).* Hoy se entiende lo anterior relacionando la densidad de líneas de fuerza con la intensidad del campo magnético y el número de líneas que atraviesa una superficie dada con el flujo magnético.

En las últimas de las investigaciones experimentales Faraday se dedica a profundizar las propiedades de las “líneas de fuerza magnética” tomando a *Taton René. (1971).* Quien lo cita: *“toda línea de fuerza debe considerarse como un circuito cerrado que pasa una parte de su curso a través del imán y tiene la misma fuerza –el mismo flujo– en todo punto de su recorrido... asimismo, Faraday sabe también que esas líneas se*

enrollan alrededor de las líneas de la corriente eléctrica, formando circuitos que se enlazan recíprocamente como anillos”.

Con lo expuesto anteriormente, se tiene un panorama histórico que brinda elementos teóricos y experimentales para llevar a cabo los objetivos de este trabajo, en este caso, pueden ser muy útiles para el diseño del cuestionario que se aplica a los estudiantes de Ingeniería y Física después de haber visto, los elementos teóricos que explican el fenómeno de inducción magnética de Faraday en sus cursos de Física II y Teoría Electromagnética I y II respectivamente. Así mismo, estos elementos teóricos dados por el desarrollo histórico de los conceptos que explican el fenómeno de inducción magnética de Faraday, pueden aportar al análisis de los datos obtenidos de la aplicación del instrumento (cuestionario).

2.2. Revisión bibliográfica del concepto de inducción magnética desde la Física

Se toman elementos teóricos desde la física, para abordar el diseño del cuestionario, así como el análisis de los datos arrojados por la aplicación de este instrumentos en los cursos de Física II y Teoría Electromagnética I y II (cursos ofrecidos por el Departamento de Física de la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2010). En este caso se referencia el libro, Physical Sciences Study Committee (PSSC), (1963), se elije este libro porque está dirigido a la educación básica media (es uno de los libros que, en un nivel elemental, hace una presentación amplia desde la fenomenología del la ley de inducción magnética de Faraday). También se tiene en cuenta los libros, Física Universitaria, de Sears, F. et al. Y Física Volumen 2 de Halliday, D. Resnick, R. Estos libros son representativos de los libros que, por lo general se utilizan como libros guías para los primeros cursos universitarios de física. Finalmente, se tiene en cuenta los elementos teóricos presentados en el libro, Teoría Electromagnética de Reitz, J. et al. (1996), este libro hace una presentación teórica del fenómeno de inducción magnética de Faraday a un nivel conceptual más elevado que el presentado en los libros anteriores, en este caso, el libro se utiliza como uno de los libros guía en los cursos de Teoría Electromagnética I y II, ofrecidos en la Universidad del Valle para los estudiantes de Física. En los anteriores libros, se exponen los conceptos de Inducción magnética de Faraday en diferentes niveles de profundización teórica, lo que permite enriquecer el marco teórico, así mismo, sirve de insumo para el análisis del nivel conceptual en el que se encuentran los estudiantes después de haber visto en sus cursos respectivos la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday.

2.2.1 Ley de Inducción de Faraday desde el libro P.S.S.C.

En el primer tipo de texto¹³ se tiene el libro Physical Sciences Study Committee (PSSC) y en el encuentran los siguientes elementos teóricos que hacen referencia al fenómeno de inducción magnética de Faraday:

Corriente Inducida:

Después del descubrimiento de Oersted, quien halló que la corriente eléctrica viene acompañada de un campo magnético, varios investigadores quisieron averiguar si un campo magnético podría generar una corriente eléctrica, la respuesta a esta pregunta es afirmativa, en este caso, se mostrarán algunas situaciones en donde se evidencia este hecho. Se puede experimentar con un imán y un alambre conectado adicionalmente a un instrumento para determinar la presencia de una corriente y que además permite cerrar el circuito. Al colocarse el alambre quieto dentro del campo magnético constante generado por el imán, el instrumento no realiza ninguna medición, al cambiar el imán por otro más grande es decir al aumentar la intensidad del campo magnético el instrumento de igual manera no realizará ninguna medición. Si el alambre conductor se comienza a mover, entonces se iniciará un movimiento de las partículas cargadas, donde se observa que la fuerza ejercida sobre una carga es proporcional a su velocidad, es decir una carga quieta no está sometida a ninguna fuerza, independiente de que tan intenso sea el campo magnético, pero si hay movimiento del alambre en el campo magnético entonces las cargas libres (electrones de conducción) de la barra experimentarán una fuerza que es proporcional a la magnitud de la velocidad en la que mueva el alambre obteniendo así una corriente eléctrica registrada por el instrumento. En la Figura 8, se está moviendo un conductor rectilíneo de corta longitud hacia la izquierda a través de un campo magnético, la regla de la mano derecha (fuerza de Lorentz) nos dice la dirección y el sentido de la fuerza

¹³ Se cataloga en este nivel los libros destinados a la enseñanza en la educación media (secundaria).

ejercida sobre las cargas negativas en el interior del conductor. La fuerza está dirigida hacia Q.

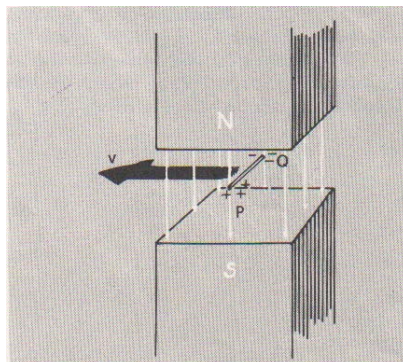


Figura 8 Movimiento de una barra conductora en un campo magnético¹⁴

Por tanto, puede afirmarse que para que se registre corriente (movimiento de las cargas eléctricas hacia los extremos del alambre) en el alambre, debe moverse el conductor. Al moverse el conductor con cierta velocidad se producirá una fuerza y las cargas dentro del alambre se acumularán en los extremos (P y Q). (Ver Figura 8). Naturalmente no debe esperarse una separación completa de las cargas, porque las fuerzas electrostáticas tienden a evitarlo. Las cargas positivas próximas a P atraen a las negativas que están cerca de Q y repelen a las otras cargas positivas adicionales que se acerquen a ellas.

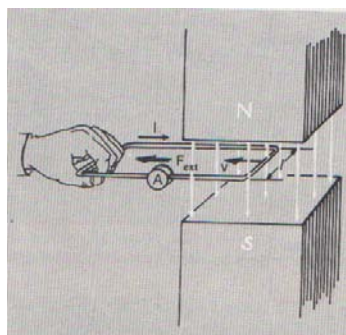


Figura 9 Movimiento de un circuito en un campo magnético¹⁵.

Al realizar el experimento que se muestra en la Figura 9 (ya no se tiene sólo un alambre, sino en este caso, un circuito con un instrumento para medir la corriente en la

¹⁴ Figura tomada del libro Physical Sciences Study Committee (PSSC). Capítulo 31. Tercera edición.

¹⁵ Figura tomada del libro Physical Sciences Study Committee (PSSC). Capítulo 31. Tercera edición.

espira conductora), se aprecia al mover el circuito fuera del campo magnético una corriente en el instrumento, por lo tanto puede suponerse que se ha inducido una corriente en el circuito como en el caso anterior, y además, si se realiza el mismo experimento, cambiando la intensidad del campo magnético o la velocidad con la que se mueve la espira conductora, asimismo cambiará (si se aumenta cualquiera de las dos, o las dos condiciones anteriores entonces la corriente en el circuito también aumentará) la medida de la corriente registrada por el instrumento. Probablemente no causará ninguna sorpresa comprobar que al duplica la velocidad de la espira se duplica la corriente, ni que se invierte la corriente, pero sin cambiar el valor absoluto cuando se mueve la espira con la misma velocidad hacia la derecha en vez de hacerlo hacia la izquierda; o que se invierta la corriente inducida cuando se haga todo igual pero con el imán invertido.

Movimiento relativo:

Los mismos resultados se obtienen, si se mueve el imán y se deja quieto el alambre (o en este caso el circuito eléctrico), esto debido al movimiento relativo entre la espira conductora y el imán, así, no importa qué sistema se tome como referencia, de igual manera se inducirá una corriente en la espira conductora, es decir, se induce la misma corriente en la espira cuando se mueve el imán hacia la derecha y se mantiene la espira en reposo que cuando se mueve la espira hacia izquierda, manteniendo inmóvil el imán. Lo anterior puede compararse con el hecho de que una persona se encuentra sentada en un choque detenido por una luz de tráfico y de repente piensa que se está deslizando suavemente hacia atrás, mientras que momentos más tarde se da cuenta de que había sido ofuscada por un camión que se movía lentamente hacia adelante junto a la persona en el carro. Si el coche no tuviese ventanas, ¿se podría realizar en su interior alguna experiencia que manifestara si el coche se mueve hacia delante, hacia atrás o permanecer en reposo? las leyes de la mecánica afirman que ningún experimento dinámico puede detectar el reposo absoluto o el movimiento uniforme. Ahora bien, parece que las leyes de la electricidad y del magnetismo muestran la

misma indiferencia hacia los absolutos, las leyes son las mismas en un sistema de referencia que en cualquier otro cuyo movimiento sea uniforme respecto al primero.

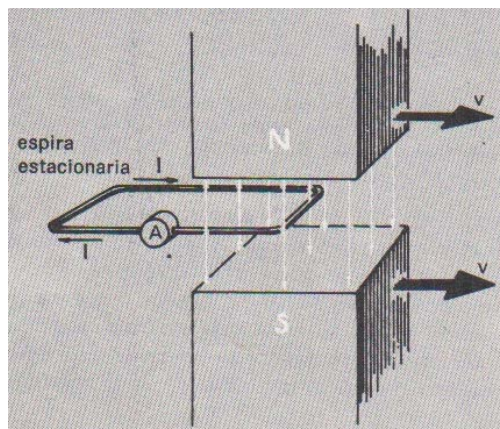


Figura 10. Movimiento relativo de un circuito en un campo magnético¹⁶.

Variación flujo magnético:

Supongamos una espira cuya área es menor en comparación con el tamaño del área donde el campo es uniforme, en este caso la espira queda encerrada por completo en el interior del campo magnético constante, como se muestra en la Figura 11. Al mover la espira en el interior del campo magnético uniforme, se aprecia que en ella no se genera una corriente eléctrica, pero en el caso en el que la espira se aproxima al borde del imán, en donde el campo magnético se hace más débil, se observa moverse la aguja, ¿Es ésta una pista? ¿Es que el campo magnético ha de estar variando en alguna parte del circuito?

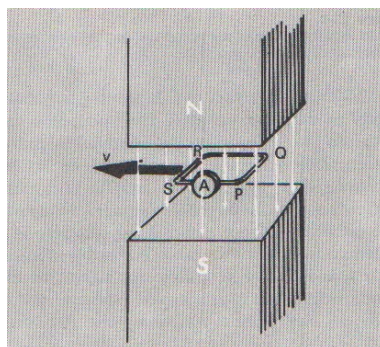


Figura 11. Variación del flujo magnético respecto al área de una espira pequeña¹⁷.

¹⁶ Figura tomada del libro Physical Sciences Study Committee (PSSC). Capítulo 31. Tercera edición.

Utilizando un electroimán Figura 12, se puede cambiar el campo magnético modificando la corriente en las bobinas. Cuando se conecta el interruptor para que empiece a circular la corriente en las bobinas, se induce una corriente brevemente en la espira y cuando se abre el interruptor para detener la corriente en las bobinas, se inducirá nuevamente una corriente en la espira, pero en sentido opuesto (este fue el experimento que realizaron Faraday y Henry independientemente para descubrir las corrientes inducidas), de este modo la corriente indicadas parecen depender de un campo magnético variable.

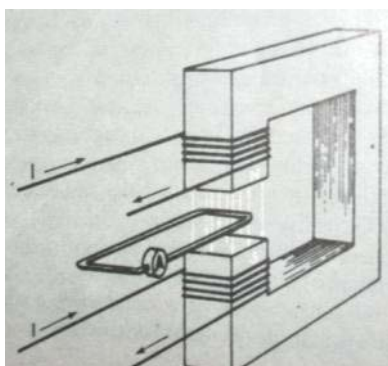


Figura 12. Inducción de corriente en la espira cambiando el flujo magnético de un electroimán¹⁷.

En la Figura 13, se indica una modificación de la situación anterior, para lo que se utiliza una espira cuya área sea más grande que el área donde está presente el campo magnético uniforme. Todo el alambre está en una región en la que el campo magnético es prácticamente nulo, pero cuando se conecta el interruptor, salta la aguja del instrumento medidor de corriente, así pues, la corriente inducida parece depender verdaderamente de un campo magnético variable. Lo que parece ser importante es que haya un cambio en la “cantidad” de campo magnético atravesando el circuito de la espira cerrada.

¹⁷ Figura tomada del libro Physical Sciences Study Committee (PSSC). Capítulo 31. Tercera edición.

¹⁸ Figura tomada del libro Physical Sciences Study Committee (PSSC). Capítulo 31. Tercera edición.

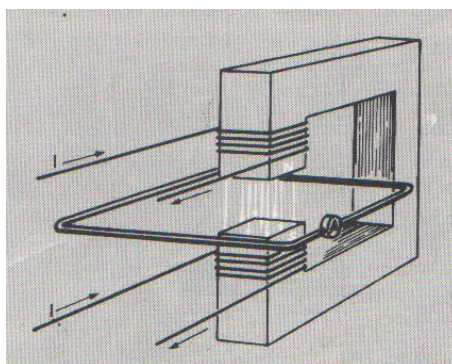


Figura 13. Variación del flujo magnético respecto al área de una espira grande¹⁹.

De todas las situaciones anteriores surge una pregunta, ¿cómo se puede describir la “cantidad” de campo magnético que atraviesa el circuito de la espira de modo que pueda aplicarse a todos los casos que se han discutido? Ciertamente, la intensidad del campo magnético B , es una medida importante de la “cantidad” de campo magnético, pero únicamente describe su valor en cada punto. El campo magnético está extendido en un área y se precisa tener en cuenta el campo magnético neto que atraviesa el área limitada por la espira conductora. Se define entonces el flujo magnético Φ_B para medir la cantidad de campo que pasa a través de un área dada. Para campos uniformes, el campo siempre es igual al producto de la intensidad del campo por el área, si los alambres que conforman el circuito forman un ángulo recto con las líneas de campo magnético. Si la espira (los alambres que la forman) está (o están) inclinada un cierto ángulo de manera que el campo no es perpendicular a la espira, menor cantidad de campo magnético pasa a través de ella, así por ejemplo si se considera una espira que es paralela (en donde los alambres que la forman son paralelos a las líneas de campo) a las líneas de campo magnético, nada de éste la cruza. Únicamente la componente del campo perpendicular (en donde los alambres que forman la espira en este caso son perpendiculares a las líneas de campo) a un área determinada es la que lleva a través de ella el campo magnético. Se define así el flujo magnético a través de un área como

$$\Phi_B = B \perp A$$

¹⁹ Figura tomada del libro Physical Sciences Study Committee (PSSC). Capítulo 31. Tercera edición.

Donde $B_{\perp}$ es la componente perpendicular del campo magnético a la espira conductora, o la componente paralela del vector campo magnético respecto al vector área de la espira (que siempre es perpendicular a la espira). La expresión anterior es incompleta cuando el campo magnético $\mathbf{B}$ no es uniforme en toda el área de la espira. En el caso de faltar uniformidad, sería lógico utilizar un valor promedio adecuado de $B_{\perp}$ (es la componente del campo magnético perpendicular a la espira) en toda el área encerrada por el circuito de la espira. Para encontrar esta medida, se puede cubrir el área con una red diminuta de espiras de área ΔA , las cuales se escogen tan pequeñas que $B_{\perp}$ puede considerarse uniforme en cada una de ellas. El flujo total es la suma de las contribuciones de flujo que hace cada pequeña espira, es decir

$$\Phi_B = \text{suma}(B_{\perp} \Delta A)$$

Extendida a todas las ΔA limitadas por el circuito de la espira. Puede demostrarse que esta suma de flujos es independiente del modo en que se dibuje la red, siempre que los ΔA se escojan suficientemente pequeños. Conocido este concepto, se puede enunciar un nuevo principio general: para obtener una corriente inducida en un circuito se debe estar variando el flujo magnético que le atraviesa. Es decir, la fem inducida en el circuito formado por la espira es igual a la variación del flujo magnético en la unidad de tiempo.

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

En donde el signo menos indica que el sentido de la corriente inducida es contrario a la de la variación del flujo magnético por unidad de tiempo.

2.2.2 Ley de Inducción desde los libros de Sears y Resnick-Halliday

En el segundo tipo de textos²⁰ se tiene los libros: Física Universitaria, de Sears, F. et al. Y Física Volumen 2 de Halliday, D. Resnick, R. Se presenta a continuación los elementos conceptuales en relación al fenómeno de inducción magnética de Faraday presentes en los libros mencionados anteriormente.

En estos dos textos se expone el concepto de inducción magnética a partir de una serie de actividades con imanes bobinas, galvanómetros y circuitos en donde se observa el fenómeno de inducción cuando hay cambio en alguno de los términos que componen el concepto de flujo magnético, de este modo se presenta corrientes inducidas por la variación del campo magnético, o por variación del área o por variación del ángulo que forma el área y el campo magnético, así por ejemplo en el libro Física Universitaria, de Sears, F. et al. Se realiza la siguiente exposición:

El elemento común a todos estos experimentos es el flujo magnético cambiante ϕ_B a través de la bobina conectada al galvanómetro, en cada caso el flujo magnético cambia ya sea porque el campo magnético cambia con el tiempo, o porque la bobina se mueve a través de un campo magnético no uniforme...

Después de realizar esta presentación sobre el fenómeno de inducción magnética, se realiza una conceptualización formal de este fenómeno, más adelante en este mismo libro se expone:

El elemento común en todos los efectos de inducción es el flujo magnético cambiante a través de un circuito. Antes de enunciar la sencilla ley física que sintetiza todas las clases de experimentos descritos en la sección anterior, repasemos primero el

²⁰ Se cataloga en este nivel los libros destinados a la enseñanza universitaria en los primeros semestres.

concepto de flujo magnético ϕ_B con respecto a un elemento infinitesimal de área $d\vec{A}$ en un campo magnético $\vec{B}$ (figura 14), el flujo magnético $d\phi_B$ a través del área es

$$d\phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_{\perp} dA = B dA \cos \varphi$$

Donde $B_{\perp}$ es la componente de $\vec{B}$ perpendicular a la superficie del elemento de área y φ es el ángulo entre $\vec{B}$ y $d\vec{A}$. El flujo magnético total ϕ_B a través de un área finita es la integral de esta expresión sobre el área:

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B dA \cos \varphi$$

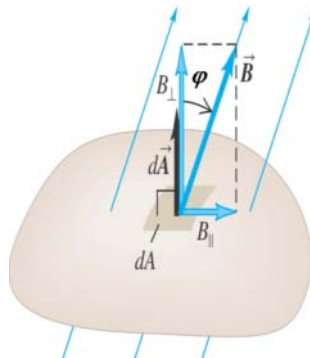


Figura 14. Flujo magnético a través de un elemento infinitesimal de área

La ley de Faraday de la inducción establece lo siguiente:

La fem inducida en una espira cerrada es igual al negativo de la relación de cambio con respecto al tiempo del flujo magnético a través de la espira.

En símbolos, la ley de Faraday es

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

Donde el menos está dado por la ley de Lenz:

En un circuito conductor cerrado, la corriente inducida aparece en una dirección tal que ésta se opone al cambio que la produce. (Halliday. 1999).

De esta manera se termina con esta conceptualización típica de los textos escolares dirigidos a los primeros cursos de física en las carreras universitarias de Física e Ingeniería.

2.2.3 Ley de Inducción de Faraday desde la Teoría electromagnética

Para finalizar, se presentan los elementos conceptuales que se exponen en el libro Teoría Electromagnética de Reitz, J. et al. (1996), que hace parte del tercer y último tipo de textos²¹ que sirven como referentes del marco teórico para este trabajo.

Este capítulo²² trata primordialmente de la formulación matemática de la ley de la inducción electromagnética, y su aprovechamiento en casos sencillos. La ecuación que caracterizó a la electrostática fue:

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

O, en forma de integral,

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

Estas ecuaciones se obtienen directamente de la ley de Coulomb y no son afectadas por la fuerza magnética debida a una corriente estacionaria. Sin embargo, no son válidas para los campos más generales que son dependientes del tiempo, y estos casos son los que vamos a considerar ahora.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Definimos la fuerza electromotriz o fem, alrededor de un circuito como

$$\oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \xi \quad \text{ecuación 1}$$

²¹ Se tiene en este caso los libros destinados a la enseñanza universitaria en los semestres de profesionalización, es decir los libros que utilizan los cursos de los últimos semestres universitarios.

²² Se hace referencia al capítulo 11, del libro: Teoría Electromagnética de Reitz, J. et al. (1996).

Con los campos $\mathbf{E}$ y $\mathbf{B}$ estáticos, esta fem siempre fue cero. Ahora veremos el caso donde no es nula. Como ahora el campo $\mathbf{E}$ no puede definirse a partir de la ley de Coulomb, es válido preguntarnos cómo se define. Se define de forma tal que la fuerza de Lorentz

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

Es siempre la fuerza electromagnética que actúa sobre una carga de prueba q .

Los resultados de un gran número de los experimentos realizados pueden resumirse asociando una fem inducida

$$\xi = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{ecuación 2}$$

Con un cambio en el flujo magnético que atraviesa por un circuito. Se encuentra que este resultado, conocido como *ley de Faraday de la inducción electromagnética*, es independiente de la forma en que cambia el flujo; el valor de $\mathbf{B}$ en distintos puntos interiores del circuito puede cambiar de muchas maneras.

Es muy importante darse cuenta de que la ecuación 2 representa una ley experimental independiente. No puede deducirse de otras leyes experimentales y, efectivamente, no es, como se dice a veces, una consecuencia de la conservación de la energía aplicada al equilibrio energético de corrientes en campos magnéticos. Ya que por definición

$$\xi = \oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

Y

$$\Phi_B = \int_s \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da \quad \text{ecuación 3}$$

La ecuación 2 puede escribirse como:

$$\oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_s \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da \quad \text{ecuación 4}$$

Si el circuito es rígido y estacionario, la derivada del tiempo puede tomarse dentro de la integral, donde se convierte en una derivada parcial del tiempo. Además se puede usar el teorema de Stokes para transformar la integral de línea de $\mathbf{E}$ en la integral de superficie $\nabla \times \mathbf{E}$. El resultado de estas transformaciones es

$$\int_s \nabla \times \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} da = - \int_s \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot \mathbf{n} da \quad \text{ecuación 5}$$

Si la Ley de Faraday en la forma de la ecuación 4 es válida para todas Las superficies fijas S, se deduce que

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{ecuación 6}$$

Este resultado es la forma diferencial de la Ley de Faraday.

El signo negativo en la ley de Faraday indica, como puede demostrarse fácilmente, que el sentido de la fem inducida es tal que tiende a oponerse al cambio que la produce. Así, si intentamos aumentar el flujo que atraviesa un circuito, la fem inducida tiende a crear corrientes de sentido tal que disminuya el flujo. Si intentamos introducir un polo de un imán en una bobina, las corrientes originadas por la fem inducida forman un campo magnético que tiende a repeler el polo. Todos estos fenómenos están comprendidos en la siguiente ley.

Ley de Lenz. En caso de que haya un cambio en un sistema magnético, sucede algo que tiende a oponerse al cambio.

La utilidad de la ley de Lenz no debe menospreciarse. En muchos casos representa la forma más rápida de obtener información sobre reacciones electromagnéticas. Aún si

se dispone de otros métodos, permite una valiosa comprobación. Para hacerse una idea de la ley de Faraday, puede ser útil tomar un ejemplo que, por lo general, se considera como un caso particular de la ley pero que puede analizarse completamente según la teoría electrostática. Supongamos que un alambre metálico recto de longitud l se mueve en una dirección perpendicular a su longitud con una velocidad $\mathbf{v}$. Supongamos también que existe un campo magnético $\mathbf{B}$ perpendicular al plano en el cual se mueve el alambre, como muestra la Figura 15. Las cargas libres del alambre experimentarán la fuerza de Lorentz

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad \text{ecuación 7}$$

Que lleva las cargas positivas y negativas a los extremos opuestos del alambre, debido al término $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$. En el estado estacionario, cuando las cargas libres no se mueven con respecto al alambre, la fuerza total sobre una carga es igual a cero; es decir, la fuerza magnética debe estar equilibrada en cada punto del alambre por una fuerza eléctrica opuesta de igual magnitud generada por la separación de las cargas,

$$\mathbf{E} = \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \text{ecuación 8}$$

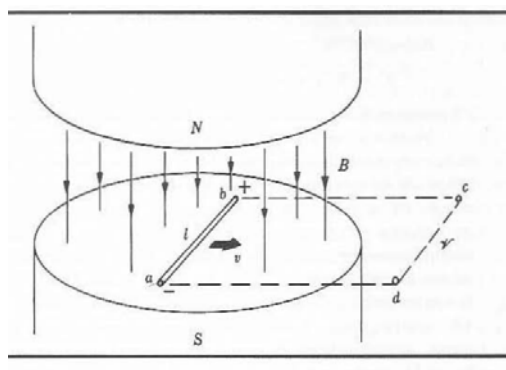


Figura 15. Voltaje producido por el movimiento de un alambre en un campo magnético²³.

Si el campo $\mathbf{B}$ es uniforme, entonces $\mathbf{E}$ es constante a lo largo del alambre y la diferencia de potencial entre los extremos es:

²³ Figura tomada del libro Teoría Electromagnética de Reitz, J. et al. (1996).

$$\Delta\varphi = - \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \mathbf{E}l \quad \text{ecuación 9}$$

Si llamamos V a esta diferencia de potencial, entonces, al combinar la ecuación 8 con la ecuación 9 se tiene que:

$$V = \mathbf{B}l\mathbf{v} \quad \text{ecuación 10}$$

En este ejemplo, el campo $\mathbf{B}$ es independiente del tiempo y, por tanto, $\nabla \times \mathbf{E} = 0$ y $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$, igual que en electrostática. La integral $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ es independiente de la trayectoria; en particular, si imaginamos un *circuito abcd*a que se extiende hacia afuera del campo magnético, V es también la diferencia de potencial a lo largo de la trayectoria *bcda*. De hecho, si *b* y *c*, y en forma semejante *d* y *a*, están unidos por alambres perfectamente conductores, V será el voltaje entre los terminales *c* y *d* exteriores al campo magnético.

El segundo término de la ecuación 10 puede expresarse de forma distinta si notamos que el flujo Φ a través del circuito *abcd*a cambia de acuerdo con $d\Phi/dt = BdA/dt = Bldx/dt = -Blv$. Así,

$$V = - \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{ecuación 11}$$

Esta ecuación tiene la forma de la ley de Faraday, ecuación 2, excepto que V no es una fem en el sentido que define la ecuación 1, puesto que $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$ alrededor de toda la trayectoria cerrada en este problema.

2.3. Revisión bibliográfica del concepto de inducción magnética desde la Didáctica

Al revisar la bibliografía relacionada con la enseñanza y aprendizaje del concepto de inducción magnética, se evidencia una escasa investigación al realizar un paralelo con las investigaciones en otros campos, como por ejemplo en mecánica (cinemática y

dinámica). Después de hacer una búsqueda de investigaciones de interés para este trabajo, en revistas de didáctica de las ciencias, se seleccionan dos artículos que realizan una indagación de la comprensión conceptual del fenómeno de inducción magnética de Faraday, el primero de los artículos tiene como título ***“Explicando los fenómenos de inducción electromagnética: relevancia de su enseñanza y dificultades de aprendizaje”*** de Almudí, M. et al. (2005). El segundo artículo tiene como título, ***“Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la inducción electromagnética. Un estudio de caso”*** de Lidia C. et al. (2010). A continuación se realiza una exposición sucinta de los elementos metodológicos y conceptuales que se despliegan en estas investigaciones, así como las conclusiones obtenidas.

Artículo 1: *“Explicando los fenómenos de inducción electromagnética: relevancia de su enseñanza y dificultades de aprendizaje.”* (Almudí, M. et al. 2005)

Este artículo plantea un estudio histórico epistemológico, que permita comprender las dificultades que existen en la enseñanza, y al mismo tiempo, clarificar conceptualmente el significado de los conceptos a enseñar, con esto, *“las aportaciones de la Historia y Epistemología de la ciencia sugiere importantes implicaciones para el aprendizaje de una nueva teoría científica. Si los estudiantes poseen una estructuración errónea o alternativa de los conceptos implicados será difícil que vean la necesidad de integrarlos en una nueva teoría y de establecer correctamente relaciones con los anteriores.”* (Ibíd. 2005). En el documento se explicitan dos series de prerrequisitos para tener una clara comprensión del fenómeno de inducción magnética. En el primer nivel de prerrequisitos será necesario tener un conocimiento significativo de campos y fuerzas eléctricas y magnéticas. Esto nos lleva a establecer, de un modo fundado, los primeros prerrequisitos para una adecuada comprensión de la teoría de inducción electromagnética:

- ✓ Se comprende la naturaleza del campo eléctrico, se sabe cómo medirlo a través de las líneas de campo y la forma de medir las fuerzas que ejerce sobre otras cargas.

- ✓ Se comprende la naturaleza del campo magnético, se sabe cómo medirlo a través de las líneas de campo y la forma de medir las fuerzas que ejerce sobre otras cargas en movimiento
- ✓ Se maneja y comprende la fuerza de Lorentz ejercida por campos magnéticos sobre cargas eléctricas en movimiento.

El segundo nivel de prerequisites se establece a nivel de conocimiento empírico de los fenómenos de inducción electromagnética, es decir, los estudiantes tienen que *estar familiarizados con algunos fenómenos experimentales de inducción electromagnética* (Ibíd. 2005), los prerequisites en este segundo nivel son:

- ✓ Se conocen experiencias de inducción magnética en espiras y solenoides atravesados por campos magnéticos variables.
- ✓ Se conocen experiencias de inducción magnética en circuitos que se mueven dentro de un campo magnético estacionario.
- ✓ Se conocen experiencias de inducción magnética producidas por una combinación de los efectos anteriores.

Así mismo, un aprendizaje comprensivo de una teoría explicativa de los fenómenos de inducción magnética exige comprender claramente la distinción entre los dos efectos responsables de la fem inducida. Esto implica que se debe conocer las relaciones entre los diferentes conceptos de la teoría de inducción magnética, estos se pueden resumir en los siguientes indicadores (Ibíd. 2005):

- Se sabe explicar que un campo magnético variable puede producir corriente eléctrica en un circuito situado en sus proximidades y, saber justificar que la fuerza que actúa sobre las cargas que se mueven es debida a un campo eléctrico inducido no conservativo.
- Saber que un circuito en movimiento dentro de un campo magnético estacionario sufre una fem inducida y que la fuerza que actúa sobre las cargas es debida al campo magnético.

- Conocer que la inducción electromagnética puede producirse por una combinación de los efectos anteriores y que la ley de Faraday es un enunciado que engloba ambos efectos para explicar los fenómenos de inducción.
- Saber justificar el sentido de la corriente inducida (ley de Lenz) para cualquiera de los casos anteriores.

Las anteriores son algunas ideas claves que los estudiantes deben comprender para asumir una correcta comprensión conceptual de este dominio. Además, el conocimiento científico tiene exigencias de tipo epistemológico y axiológico para que pueda darse un cambio conceptual, de este modo, otros indicadores son (Ibíd. 2005):

- Conocer que los conceptos no se introducen de manera arbitraria, sino que su introducción tiene el propósito de resolver situaciones problemáticas de interés.
- Utilizar reiteradamente las *estrategias del trabajo científico* (analizar situaciones problemáticas, concebir hipótesis de trabajo, diseñar y realizar experimentos, obtener modelos con las limitaciones adecuadas, interpretar físicamente datos numéricos, análisis crítico de proposiciones, comparar sus avances con los de su entorno más próximo priorizando por ejemplo el trabajo cooperativo...).

De este modo, la investigación realizada pretende responder a las dos interrogantes:

- a) ¿Cuáles son los indicadores de aprendizaje de una teoría básica de los fenómenos de inducción electromagnética? ¿Cuál es la relevancia de esta teoría dentro de un programa de física introductorio?
- b) ¿Qué dificultades presentan los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la teoría explicativa de los fenómenos electromagnéticos?

Ahora bien, para llevar a cabo la investigación se diseña un cuestionario con 10 preguntas, entre las preguntas surgen situaciones relacionadas con el movimiento de una barra conductora en el interior de un campo magnético constante, igualmente, se propone situaciones en las que un circuito (espira) se mueve en las proximidades de un imán (movimiento relativo entre el imán y la espira), y cierre interruptores de circuitos en las proximidades de espiras conductoras. La muestra que se escoge está conformada por estudiantes de primer curso de Ingeniería y tercero de Ciencias Físicas. El

cuestionario se aplica después de que los estudiantes han recibido enseñanza en los temas de electricidad.

Entre las conclusiones que arroja un estudio previo de la investigación se resaltan, *una parte importante de los estudiantes presenta confusión entre campo y flujo a la hora de analizar la causalidad de los fenómenos de inducción electromagnética. Así mismo, la gran mayoría de los estudiantes no sabe explicar la inducción electromagnética cuando se trata de un ‘circuito’ que se mueve en un campo magnético. En este caso la ley que explica la inducción es la fuerza de Lorentz que se ejerce sobre cargas móviles y los estudiantes no la utilizan en sus explicaciones* (Ibíd. 2005).

Artículo 2: “Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la inducción electromagnética. Un estudio de caso” (Catalán, L. et al. 2010).

Esta investigación se basa en un estudio de casos, sobre el nivel conceptual (entendida desde la Teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud) que tienen tres estudiantes del ciclo básico de Ingeniería (se toma esta población) durante el periodo instructivo, de conceptos vinculados al magnetismo y al electromagnetismo básico. Este análisis se realiza *con el fin de tratar de conocer los niveles de conceptualización que alcanzan los estudiantes con la finalidad de comprender mejor el proceso de construcción conceptual e iniciar un camino de búsqueda hacia estrategias de mediación pedagógica que tiendan a disminuir la distancia entre la conceptualización lograda y la esperada. La pregunta clave en este caso sería cuáles son los niveles de conceptualización alcanzados por los alumnos a lo largo de un proceso instructivo* (ibíd. 2010)

Entre la bibliografía consultada en este trabajo de investigación, se resaltan algunos trabajos en los que se indagan modelos alternativos de la teoría electromagnética y la ley de inducción magnética de Faraday, así por ejemplo se establece que los jóvenes *tienden a considerar el imán como una “especie de dipolo” en cada polo existirían en*

forma concentrada o en exceso, cargas positivas y negativas. El polo norte se conformaría con cargas positivas. Esta afirmación se reitera al explicar las consecuencias de acercar un imán a un péndulo. También detectan confusiones entre campo magnético y eléctrico...igualmente,... pocos estudiantes, reconocen como fuentes del campo magnético, la intensidad de corriente, menos aún a las cargas en movimiento y tienden a ignorar los efectos del campo magnético sobre una carga eléctrica en movimiento. Así, los autores encuentran que los estudiantes conocen vagamente experiencias sobre fenómenos electromagnéticos como el de Oersted, y experiencias sobre inducción electromagnética como la de mover un imán cerca de un circuito o un electroimán (Ibíd. 2010). Así mismo, en otras de las investigaciones citadas por Catalán, L. et al. (2010), se rescata que los estudiantes tienen confusiones entre el flujo magnético y el campo magnético.

Como se advirtió arriba, el trabajo de investigación expuesto en este artículo tiene como sustento la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, en este caso, la idea de campos conceptuales se vincula a la concepción que Vergnaud sostiene de un “concepto” en cuanto a que lo considera como conjunto formado por tres componentes: referente, significado y significante. El primero, responsable por el sentido que se le atribuye al concepto, corresponde al conjunto de situaciones que el aprendiz enfrenta y resuelve. Los significantes, se relacionan con el conjunto de modos de expresión de los significados. En el núcleo de los significados se encuentran lo que denomina Invariantes Operatorios; el conocimiento en acción que el sujeto pone en juego a la hora de enfrentar una situación. Gran parte de este conocimiento es implícito, y forma parte de las estructuras cognitivas que el sujeto va construyendo a partir de un proceso de adaptación frente al conjunto de experiencias con las que interactúa, a lo largo del tiempo (Catalán, L. et al. 2010).

Vergnaud retoma la idea de esquema de Piaget, en este caso se establece que una buena conceptualización, implicaría desde esta teoría la elaboración de modelos mentales, con la consecuente formación de esquemas específicos. Por otro lado una

débil conceptualización involucraría, como señala Vergnaud, un periodo reflexivo que apunta a la gradual reestructuración y/o formación de nuevos esquemas. Para indagar niveles de conceptualización, por lo tanto, se hace necesario analizar como punto de partida, las representaciones simbólicas y los invariantes operatorios: conceptos y teoremas en acción que los resolventes emplean al resolver un conjunto de actividades (Ibíd. 2010).

Así mismo, se proponen siete elementos que permiten establecer una escalar que mide el nivel conceptual de un individuo en un determinado campo conceptual (como el de inducción magnética), estos siete elementos son: (1). *Manifiesta una organización rica en cuanto a las relaciones, inferencias y argumentaciones o realiza una simple mención de elementos aislados* (2). *Describe el objeto/evento de estudio y explica los comportamientos y sus causas desde los procesos internos (micro)* (3). *Las afirmaciones de conocimiento son estables frente a una clase de situaciones y con ellas los significados contruidos* (4). *Utiliza en forma adecuada diferentes tipos de representaciones lingüísticas y simbólicas* (5). *Relaciona los diferentes modos de representar la información* (6). *Modifica las afirmaciones de conocimiento en forma pertinente (mayor aproximación al modelo aceptado por la comunidad científica)* (7). *Presenta posibles obstáculos ontológicos y epistemológicos* (ibíd. 2010). De este modo, un individuo en el nivel conceptual más alto, ha de manifestar los seis primeros ítems, mientras que un individuo para el que las afirmaciones de conocimiento expresadas no sean coherentes con las concepciones científicas o la expresión de sus representaciones presente algún tipo de dificultad se considerará un nivel de conceptualización parcial *en el campo conceptual*, y en el caso de haber un individuo que realiza algunas expresiones pertinentes y otras que presentan dificultades no solo en las significaciones expresadas sino también en los significantes o en los modos de operar con ellos, se considerará que el nivel de conceptualización es incipiente.

En la metodología propuesta, se tiene en cuenta un estudio de casos, tomando una población de tres estudiantes (de distinto rendimiento) a los que al inicio y al final del

proceso de enseñanza, fueron enfrentados a situaciones problemas y cuestiones como ejercicios de lápiz y papel, que ponían énfasis en fuerzas eléctricas y magnéticas a distancia, naturaleza del campo magnético, generación de corriente inducida (o fem inducida) por el movimiento relativo de un imán y una espira, situaciones de transformaciones de la energía como consecuencia de la inducción electromagnética, interacción entre imán y hierro, entre otras.

Entre las conclusiones dadas en este artículo se resalta que, respecto a los significados construidos se detecta en cada eje que la evolución de la conceptualización no es lineal, sino que presenta avances y estancamientos en el proceso de acomodación, sólo en el “nivel alto” se observa una tendencia a sostener en forma recurrente el modo de operar sobre las situaciones. En el nivel parcial, el desarrollo de esquemas le permite operar sobre las situaciones, pero se observan limitaciones en las representaciones simbólicas que emplea, y finalmente en el tercer estudiante, aunque inicialmente parece contar con una base de significados, estos parecen estar “anclados” en el esquema de asimilación ya que no presentan una evolución adaptativa que implique rupturas hacia la conformación de nuevos y/o más ricos esquemas con los que operar frente a la clase de situaciones presentadas. (Ibíd. 2010)

3. CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA

A continuación se realiza el planteamiento y la justificación de la problemática (determinar el nivel conceptual que tienen los estudiantes de Ingeniería y Física, cuando han visto en sus cursos de física, los elementos teóricos que representan el fenómeno de inducción magnética de Faraday, así como los modelos alternativos) que pretende acotar este trabajo de investigación, además se propone como metodología, el análisis por tipificaciones, lo que permite condensar y organizar los datos obtenidos de la aplicación del cuestionario a los estudiantes de Ingeniería y Ciencias (programa de Física) de la Universidad del Valle.

3.1 Justificación y contextualización del problema

Al mirar en la historia de las ciencias se aprecia que el fenómeno de inducción magnética tardó mucho en conceptualizarse²⁴, se puede pensar que esto se debe a las dificultades intrínsecas de su naturaleza, así como del escaso trabajo sistemático para entender los fenómenos de la electricidad y magnetismo hasta los siglos XVIII y XIX, aunque este fenómeno actualmente es muy cotidiano (como consecuencia de los avances de la tecnología por las necesidades sociales), no es apreciable con naturalidad (no se aprecia a simple vista como la caída de un cuerpo o la aplicación de una fuerza).

De este modo, se tomará la hipótesis: el concepto de inducción magnética, presenta dificultades en el proceso de enseñanza y aprendizaje, es decir, como muchos de los conceptos de la física y en general los conceptos de las ciencias, el concepto de inducción magnética de Faraday tiene dificultades en su enseñanza y su aprendizaje, de este modo en la bibliografía consultada se encuentra el artículo de Almundí, M. et al. (2005). En el cual, se pone de manifiesto la necesidad de dos tipos de prerrequisitos para una adecuada comprensión de la teoría de inducción electromagnética, los primeros prerrequisitos hacen referencia a la comprensión de la naturaleza de los campos eléctricos y magnéticos, la interacción que presenta una carga eléctrica que se mueve en el interior de un campo magnético y el concepto de flujo magnético, es decir, son prerrequisitos conceptuales. Los segundos prerrequisitos están relacionados

²⁴ Esta evolución histórica se presentó anteriormente (en el apartado referido a la historia del concepto de inducción magnética de Faraday).

con el conocimiento empírico de los fenómenos de inducción magnética, más precisamente la familiarización de algunos fenómenos experimentales de inducción electromagnética, algunas experiencias pueden relacionarse con espiras conductoras y solenoides atravesados por campos magnéticos variantes o el movimiento de circuitos formados por solenoides o bobinas en campos magnéticos constantes y experiencias que combinen las dos situaciones anteriores.

Teniendo en cuenta la validez de la hipótesis anterior, se analiza el nivel conceptual (se entiende esto en la misma categoría de los modelos de Ronald Giere, y que son aceptados por la comunidad científica para explicar un fenómeno) que tienen los estudiantes de Ingeniería y Física después de haber visto la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday, en el curso de Física II y Teoría Electromagnética I y II ofrecidos por el Departamento de Física de la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2010. Esto busca establecer el nivel conceptual real (la utilización de los modelos aceptados por la comunidad científica) con el que los estudiantes salen de sus cursos de física en donde se presenta el concepto de inducción magnética de Faraday, así mismo, se busca indagar los modelos alternativos que los estudiantes utilizan (y que no son aceptados como válidos por la comunidad científica), estos pueden brindar información de las dificultades intrínsecas del concepto de inducción magnética asociadas a su aprendizaje.

El análisis que se realiza en este trabajo puede permitir una reflexión en torno a las dificultades conceptuales que tiene intrínsecamente el fenómeno de inducción magnética de Faraday, así como puede mostrar algunos elementos relacionados con los aprendizajes que tienen los estudiantes de Ingeniería y Física después de haber visto (en sus cursos de Física II y Teoría Electromagnética I y II respectivamente) la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday. De igual modo, se pueden utilizar algunos de los resultados de esta investigación para realizar propuestas didácticas alternativas que posibiliten nuevas y mejores formas de enseñanza, es decir, se quiere con este trabajo investigativo mostrar una problemática la cual requiere que se siga profundizando e investigando.

3.2. Objetivos del Trabajo

Objetivo General

Establecer el nivel conceptual de estudiantes de Ingeniería y Física después de haber visto la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday en los cursos de Física II y Teoría Electromagnética I y II respectivamente.

Objetivos Específicos

- Elaborar y aplicar un instrumento (cuestionario), para rastrear el nivel conceptual que han adquirido los estudiantes de Ingeniería y Física después de haber visto en sus cursos de Física II y Teoría Electromagnética I y II respectivamente, los elementos teóricos que explican el fenómeno de inducción magnética de Faraday.
- Realizar el análisis de los datos obtenidos de la aplicación del cuestionario a los estudiantes de Ingeniería y Física tomando como base los elementos teóricos (que se encuentran en la revisión bibliográfica y en los fundamentos teóricos) consignados en este trabajo.

3.3 Metodología

Este trabajo de grado propone el análisis del nivel conceptual que alcanzan los estudiantes de Ingeniería y Física que han visto en su formación los cursos de Física II y Teoría Electromagnética (I y II) respectivamente, referente a la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday. Para recaudar la información concerniente al nivel conceptual de los estudiantes de Ingeniería y Física se diseña y aplica un instrumento (cuestionario), en este caso, el cuestionario trata de rastrear cuatro niveles conceptuales a saber: comprender que el movimiento relativo entre un imán y una espira conductora induce una corriente eléctrica en la espira, el segundo

nivel conceptual está relacionado con el reconocimiento de la variación del campo magnético que pasa a través de la espira conductora, como tercer elemento se tiene la variación del flujo magnético que atraviesa el área de la espira conductora, lo que permite explicar la inducción de una corriente en la espira conductora, y finalmente se rastrea el conocimiento que tienen los estudiantes de la ley de Lenz, para indicar el sentido de la corriente en la espira conductora. En el diseño del cuestionario se toman en cuenta algunos de los elementos contenidos en la evolución histórica y epistemológica del fenómeno de inducción magnética, así como, aportes valiosos que se encuentran de la revisión bibliográfica del concepto de inducción magnética de Faraday, para finalizar el diseño del cuestionario se llevó a cabo una serie de etapas de depuración, realizadas con la triangulación del cuestionario con dos profesores (revisión de expertos) del Departamento de Física de la Universidad del Valle, así como de las contribuciones del Director de este trabajo de investigación, el Dr. Álvaro Perea.

En el diseño y análisis de los resultados obtenidos del instrumento (cuestionario), se tiene en cuenta tres elementos; el primer elemento lo conforma la evolución histórica y epistemológica del concepto de inducción magnética, el segundo elemento se basa en una revisión bibliográfica de los libros de Física donde se presenta la ley de inducción magnética de Faraday, además de una revisión bibliográfica de las investigaciones desde la didáctica sobre este concepto, y finalmente se tiene en cuenta un marco teórico sustentado en el Modelo Cognitivo de Ciencia de Ronald Giere y la Teoría de la Actividad.

Asimismo, en el análisis de los datos se realiza una clasificación de las respuestas de cada una de las preguntas planteadas en el cuestionario, éstas se ubican en tablas de tipificación, que agrupan respuestas similares dadas por los estudiantes. Primeramente se realiza la clasificación de las respuestas de los estudiantes de Ingeniería que han visto el curso de Física II, esto se hace teniendo en cuenta los cuatro niveles conceptuales (arriba expuestos) y los modelos alternativos emergentes, luego se

realiza la clasificación de las respuestas dadas por los estudiantes de Física en los cursos de Teoría Electromagnética I y II. Posterior a esto, se realiza un análisis general comparativo de cada una de las situaciones (son seis situaciones con doce preguntas en total), este análisis general busca exponer algunos porcentajes referidos a los niveles conceptuales reales (modelos que son aceptados por la comunidad científica, en términos del Modelo Cognitivo de Ciencia) de los tres grupos de estudiantes, así como de los modelos alternativos que los estudiantes utilizan para justificar las respuestas que entregan en las respectivas situaciones propuestas en el cuestionario aplicado, y finalmente se entregan las respectivas conclusiones y proyecciones de este trabajo.

A continuación se realiza la presentación de las tablas de tipificación generales de los estudiantes de Ingeniería y Física que han visto los cursos de Física II y los cursos de Teoría Electromagnética I y II respectivamente (cursos ofrecidos por el Departamento de Física de la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2010)

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS

El análisis de los resultados de los datos recogidos en el cuestionario se lleva a cabo por medio de una clasificación por tipificaciones, es decir, se compilan las respuestas de los estudiantes de acuerdo a la similitud de las respuestas, dadas por los modelos o argumentaciones que utilizan para solucionar las preguntas planteadas. En este caso, se examinan las respuestas que los estudiantes entregan a las seis situaciones (que en total suman doce preguntas) en términos de porcentajes y discriminando los modelos aceptados por la comunidad científica y los modelos alternativos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del cuestionario de inducción magnética de Faraday a estudiantes de Ingeniería y Física de la Universidad del Valle, se escogió como población los estudiantes que acababan de cursar las asignaturas de Física II y Teoría Electromagnética I y II (en el segundo semestre del año 2010), en las cuales se abordan los conceptos concerniente al electromagnetismo y, en particular, el fenómeno de inducción magnética. El cuestionario se aplicó posteriormente a la realización de los cursos de Física II y Teoría Electromagnética I y II, lo que permite analizar los niveles de conceptualización (modelos utilizados para explicar este fenómeno) que tienen los estudiantes después de una exposición teórica.

Para su análisis se agrupan los resultados en tablas de datos (tablas de tipificaciones), tomando cada una de las situaciones presentadas en el cuestionario –seis situaciones, conteniendo doce preguntas– y se establece una tipificación de acuerdo a las distintas respuestas dadas por los estudiantes (se agrupan las respuestas de acuerdo a los modelos o argumentaciones similares), de este modo, si se hace referencia por ejemplo a la situación 2 pregunta B se escribe la siguiente abreviatura S2-PB (donde S2 es la situación dos y PB significa pregunta B). Además las tipificaciones que se hacen de cada una de las preguntas se abrevian con la letra T, con lo cual se dice, por ejemplo, que T1 corresponde a la tipificación uno. Hay que aclarar que algunas situaciones no tienen más que una pregunta, –preguntas uno y cuatro–. Habiendo establecido la forma de organizar la información concerniente a las respuestas dadas por los estudiantes en diferentes tablas, se debe precisar que para el diseño de las situaciones y preguntas del

cuestionario se tiene en cuenta los siguientes elementos conceptuales (son los modelos conceptuales a determinar en las respuestas de los estudiantes):

- Como primer nivel conceptual se espera que los estudiantes comprendan la generación de una fem inducida por el movimiento relativo que se presenta entre una espira conductora y un imán. Para esto, se establecieron las situaciones uno a tres (se hace énfasis en la inducción de una corriente cuando se presenta movimiento relativo entre una espira conductora y un imán), se busca identificar si en estas situaciones los estudiantes establecen relaciones entre el movimiento relativo, la variación del campo magnético que pasa a través del área encerrada por la espira conductora y en última instancia, la variación del flujo magnético que atraviesa el área de la espira conductora como elemento participante de la inducción magnética de Faraday.
- En un segundo nivel conceptual se comprende que la variación de un campo magnético que atraviesa una espira conductora (o circuito) genera una corriente eléctrica en la espira, del mismo modo, la variación del área de la espira en presencia de un campo magnético produce una corriente en la espira conductora. De esta manera, se espera que los estudiantes identifiquen estos elementos con la variación de flujo magnético, relacionando éste con la cantidad de líneas de campo magnético que atraviesan una superficie (proporcionada por el flujo magnético). En este caso, las situaciones y preguntas que están relacionadas con el concepto de flujo magnético y su variación, son las situaciones cuatro a seis (hay que aclarar que en todas las situaciones se puede analizar el uso de la variación de flujo magnético, pero en las situaciones mencionadas es más evidente o necesario su utilización para argumentar una respuesta aceptada de acuerdo a la ley de Faraday).
- Igualmente, se considera como tercer nivel conceptual la comprensión de la variación del flujo magnético a través del tiempo, como elemento indispensable para la generación de una corriente inducida. Para esto se toman en consideración,

principalmente, las situaciones cuatro a seis (se debe precisar que, en todas las situaciones y preguntas contempladas en este cuestionario, se hace necesario tener en cuenta la variación del flujo magnético para poder dar argumentos y plantear modelos coherentes con la ley de Faraday, pero en estas tres últimas situaciones – cuatro a seis–, se puede observar si se comprende este concepto). De este modo, la variación del flujo magnético se produce por la variación del campo magnético que pasa a través de una espira conductora –situaciones uno a tres–, también se puede generar por la variación del área encerrada por la espira conductora en presencia de un campo magnético, –situación cinco y seis– o puede darse por la variación de ambos (no se propuso una situación en la cual ocurriera esto, pero, puede plantearse un análisis en términos de la combinación de situaciones).

- Además de los niveles conceptuales anteriores, se busca en las preguntas que los estudiantes identifiquen la dirección de la corriente en la espira conductora, se espera que los estudiantes puedan dar la dirección de la corriente utilizando la ley de Lenz, de este modo, la ley de Lenz se establece como uno de los elementos conceptuales que se quiere analizar (cuarto nivel conceptual) con la aplicación del cuestionario, en todas las situaciones y preguntas se puede observar si los estudiantes entienden la dirección de la corriente en la espira conductora (si ésta existe) en términos de la ley de Lenz, pero en la situación dos es más evidente la utilización de ésta para definir una dirección de corriente apropiada para la solución de la situación.

Se precisa que el nivel conceptual más básico es el uno, luego le sigue el nivel dos, pero los niveles tres y cuatro pueden considerarse en igual estrato conceptual, es decir, los dos últimos niveles reflejan una buena comprensión del fenómeno de inducción magnética de Faraday y cuando estos niveles se presentan, o alguno de ellos, se puede establecer que los estudiantes entienden el fenómeno de inducción magnética de Faraday, de este modo pueden hablar de los modelos que lo representan (los aceptados por la comunidad científica).

Ahora bien, la realización de la tabla de tipificaciones tiene como objetivo, presentar de manera grupal los distintos niveles de argumentación que realizan los estudiantes (en la solución de cada una de las preguntas adjuntas a las situaciones), por medio de una descripción grupal, que se realiza tomando cada una de las respuestas entregadas por los estudiantes a las respectivas preguntas, las cuales son seleccionadas a través de la semejanza del modelo, o de la argumentación presente entre las respuestas a la preguntas.

En este sentido, la tabla de tipificaciones se estructura por medio de cuatro columnas, en la primera columna, se presenta el código de las distintas tipificaciones (T), en la segunda columna se exponen las respuestas a cada pregunta con niveles de argumentación similares. La tercera columna muestra la cantidad total de las respuestas similares a cada una de las preguntas planteadas en el cuestionario, y finalmente en la última columna se esboza el porcentaje total de los estudiantes que presentaron niveles de argumentación similares (ver Anexos 2 a 4).

A continuación se realiza el análisis general de las situaciones propuestas en el instrumento aplicado (cuestionario) a los estudiantes de Ingeniería y del Programa de Física (después de haber cursado Física II, y Teoría Electromagnética I y II respectivamente, en el segundo semestre del año 2010), en este caso, la información se distribuye en tablas para comparar los cuatro niveles conceptuales (porcentajes), así como los modelos que los estudiantes utilizan para dar respuesta a cada una de las situaciones y sus respectivas preguntas. De este modo, la tabla de análisis tiene los porcentajes, número de estudiantes (que pertenecen a un mismo nivel conceptual o que elaboran modelos semejantes) de Ingeniería y Física (tres columnas principales) así como las tipificaciones en las que son clasificados según las preguntas (en el caso que la situación presente una pregunta solamente, para la situación S2, por tratarse de cuatro preguntas esto se omite).

Tabla 2. Análisis general de la Situación 1.

Nivel conceptual y modelos	Ingeniería			Física (T.E, I)			Física (T.E, II)		
Situación S1	%	estudiantes	tipificación	%	estudiantes	tipificación	%	estudiantes	tipificación
movimiento relativo entre imán y espira	26,2	11	T4	50,0	4	T2	0,0	0	-
la variación del campo magnético produce una corriente	14,3	6	T6	25,0	2	T3	14,3	1	T3
la variación del flujo magnético induce una corriente	2,4	1	T1	12,5	1	T4	42,9	3	T4
la dirección de la corriente está dada por la ley de Lenz	0,0	0	-	0,0	0	-	0,0	0	-
Para que exista corriente en la espira el campo y la espira pueden estar en reposo relativo.	35,7	15	T1-T2	12,5	1	T1	28,6	2	T1
al estar la espira conductora muy lejos del imán, no se produce corriente así estén en reposo relativo.	9,5	4	T5	0,0	0	-	14,3	1	T2
respuesta correcta a la situación pero sin argumentos.	11,9	5	T3	0,0	0	-	0,0	0	-
suma de las columnas	100	42		100	8		100	7	

Al revisar algunos de los elementos de la historia que se exponen en este trabajo, se encuentra que, en los primeros intentos por establecer alguna relación entre la electricidad y el magnetismo y más precisamente la posibilidad de generar corrientes con campos magnéticos, se realizaron experiencias al ubicar cerca circuitos eléctricos y campos magnéticos, estos experimentos estaban condenados al fracaso, porque no se realizaba una variación del flujo magnético que atravesaba los circuitos, solamente cuando se abría o cerraba el circuito del electroimán (trabajo realizado por Ampère y De la Rive) se inducía una corriente en la espira (esto no fue visto por Ampère y De la Rive), se esperaba en este caso que la sola presencia de un campo magnético proporcionara la corriente en la espira conductora, estas ideas son tenidas en cuenta a la hora del diseño del cuestionario que se aplica a los estudiantes de Ingeniería y Física, así, en la situación uno del cuestionario aplicado (S1), se propone una actividad

en la que los estudiantes deben establecer si la sola presencia de un campo magnético cerca de la espira es suficiente para que se produzca una corriente en la espira, en este caso, al comparar los datos arrojados por el cuestionario en los estudiantes de Ingeniería y Física (condensados en la tabla 2) se aprecia que, el 35,71% (T1 y T2, quince estudiantes) de los estudiantes de Ingeniería (42 estudiantes que pertenecen a la población que estuvieron matriculados en el segundo semestre del año 2010 en el curso de Física II) expresan que al tener un imán y una espira en reposo se produce una corriente en la espira, porque la sola presencia del campo magnético puede inducir la corriente. En el caso de los estudiantes de Física (cursos de Teoría Electromagnética I y II), se encuentra que un porcentaje 12,50% (T1, un estudiante de una población de ocho estudiantes) y 28,57% (T1, dos estudiantes de una población de siete estudiantes) respectivamente, hacen una argumentación similar a los estudiantes de Ingeniería (el campo magnético por si sólo induce una corriente en la espira, al estar el imán y la espira en reposo), es preocupante que estos estudiantes después de ver en sus cursos de Física II (estudiantes de Ingeniería) y Teoría electromagnética I y II (estudiantes de Física), no comprendan que para que se produzca una corriente en términos de la situación S1 debe haber movimiento relativo (primer nivel conceptual) entre la espira conductora y el imán. Además, hay un grupo de estudiantes de Ingeniería (9,52% cuatro estudiantes T5) y de Física del curso de T.E, II (14,29%, un estudiante T2) que afirman que la aguja del amperímetro no se mueve porque el imán y la espira están muy alejados, se puede pensar que estos estudiantes están relacionando la ausencia de corriente en la espira con la distancia de separación, y no con el movimiento relativo, es decir, según la argumentación de los estudiantes puede haber corriente en la espira si en lugar de dejar la espira tan alejada del imán estos se ubican más cerca, pero sin que exista movimiento relativo entre ellos. Igualmente, hay un porcentaje del 11,90% de los estudiantes de Ingeniería que en sus respuestas establecen que no hay corriente en la situación S1, pero sin dar ningún argumento, en este caso, no se puede establecer si estos estudiantes comprenden realmente el fenómeno de inducción magnética de Faraday.

Del mismo modo, al analizar las respuestas dadas a la situación S1, se observan algunos de los niveles conceptuales propuestos en este trabajo, así por ejemplo, el primer nivel conceptual, relacionado con el movimiento relativo entre el imán y la espira conductora se aprecia en los estudiantes de Ingeniería (26,19% que corresponde a once estudiantes T4), como en los de Física del curso de Teoría electromagnética I (50,0% correspondiente a cuatro estudiantes, T2). El segundo nivel conceptual (la variación del campo magnético produce la corriente en la espira) también es argumentado en las respuestas de los estudiantes de Ingeniería (14,29% dado por seis estudiantes, T6) y los estudiantes de Física (en el curso de T.E, I, el 25,0% que corresponde a 2 estudiantes tipificación T3 y en el curso de T.E, II, el 14,29% dado por un estudiante, tipificación T3). igualmente, el tercer nivel conceptual, que establece la variación de flujo magnético que pasa a través de la espira conductora como el responsable de la inducción de la corriente (ley de inducción de Faraday), se argumenta en los estudiantes de Ingeniería por sólo un estudiante (2,38%, T7), en los estudiantes de Física el porcentaje de argumentación de este nivel conceptual es del 12,7% (un estudiante, T4) en el curso de T.E, I y del 42,86% (tres estudiantes, T4) en el curso de T.E,II.

Ahora se establece un análisis comparativo similar al anterior para la segunda situación (S2), en este caso, al haber cuatro preguntas contenidas en esta situación, se toma los porcentajes más extremos en cada una de la tipificaciones, es decir, si se establece un porcentaje del 10%-35% en alguna de las tipificaciones (teniendo en cuenta las cuatro preguntas) contenidas en la tabla 3, quiere decir que para esta tipificación el porcentaje mínimo en alguna de las cuatro preguntas es del 10% y el máximo es de 35%, se hace de este modo, porque resulta más conveniente analizar los extremos y no los promedios. En esta situación (S2), al igual que la anterior (S1), se hace énfasis en el primer nivel conceptual (movimiento relativo entre el imán y la espira para que se genere una corriente en la espira), pero se pueden presentar los otros niveles conceptuales en las respuestas a las preguntas de la situación S2. Igualmente, se explicitan los modelos que los estudiantes utilizan para dar respuesta a las preguntas

de la situación, pero que no son aceptados (o modelos alternativos) por la comunidad científica, porque no modelan adecuadamente el fenómeno de inducción magnética.

Tabla 3. Análisis general de la Situación 2.

Nivel conceptual y modelos	Ingeniería			Física (T.E, I)			Física (T.E, II)		
Situación S2	%	estudiantes	preguntas	%	estudiantes	Preguntas	%	estudiantes	preguntas
movimiento relativo entre imán y espira	31,0 - 47,6	13-20	PB-PD	37,5 -75,0	3-6	PB-PA	0,0	0	-
la variación del campo magnético produce una corriente	4,8- 14,3	2-6	PB-PA	0,0	0	-	28,6	2	todas
la variación del flujo magnético induce una corriente	4,8 - 7,1	2-3	PA-PC	25,0	2	todas	28,6	2	todas
la dirección de la corriente está dada por la ley de Lenz	0,0	0	-	0,0	0	-	14,3	1*	PA
la aguja del amperímetro se mueve por la presencia del campo magnético si se acerca el imán la corriente es más intensa que cuando se deja quieto o se aleja	11,9 - 42,9	5-18	PD-PB	37,5	3*	PB-PD	42,9	3	todas
la aguja del amperímetro no se mueve entregando diferentes argumentaciones	14,3 - 28,6	6-12	PA-PC	0,0	0	-	0,0	0	-
la aguja del amperímetro se mueve a favor o en contra de las manecillas del reloj pero sin aportar ninguna justificación	31,0- 47,6	13-20	PA-PC	0,0	0	-	0,0	0	-
no sabe no responde	2,4 - 4,8	1-2	PB-PD	0,0	0	-	0,0	0	-

Al analizar los datos consignados en la tabla 3, hay que tener en cuenta que las preguntas de la situación S2 se proponen con base en el trabajo de Faraday, en su primera serie de *Investigaciones Experimentales* (se mencionó esto en la historia del concepto de inducción magnética de Faraday), en la que se propone, pasar de los trabajos con electroimanes a trabajar con imanes y espiras conductoras, también se utiliza parte del marco teórico concerniente a los elementos tomados desde la física, en este caso, la mayoría de los libros tenidos en cuenta en este trabajo, realizan una

presentación del fenómeno de inducción magnética de Faraday utilizando imanes y espiras conductoras y describiendo el movimiento relativo entre ellos para producir corriente, como una primera forma de entender el fenómeno de inducción magnética. De este modo, se observa el primer nivel conceptual presente en los estudiantes de Ingeniería y Física (T.E, I), en ambos grupos este nivel conceptual tiene un buen porcentaje en las respuestas que los estudiantes entregan a las cuatro preguntas que configuran la situación S2, el valor de los porcentajes mínimo y máximo para los estudiantes de Ingeniería y T.E, I (para este último grupo hay que agregar que la mitad de los estudiantes que expresan el movimiento relativo como modelo, aseguran que cuando el imán se aleja de la espira conductora, por cualquiera de los polos la intensidad de la corriente es menor que cuando se acerca por cualquiera de los dos polos, se identifica este grupo con un tres y un asterisco (3*) en la tabla 3) es considerable teniendo en cuenta los otros niveles conceptuales, es decir, se puede pensar que este primer nivel conceptual prima sobre los otros en los estudiantes de Ingeniería y Física (T.E, I), mientras que en los estudiantes de Física (T.E, II), este primer nivel conceptual no se presenta, este último grupo se ubica entre los niveles conceptuales segundo y tercero, en el primero de estos dos, hay dos estudiantes que contestan todas las preguntas teniendo en cuenta este nivel conceptual (variación del campo magnético para generar una corriente en la espira), mientras que en los estudiantes de T.E, I este nivel conceptual no se presenta y para los estudiantes de Ingeniería, este segundo nivel conceptual se encuentra entre el 4,8% y el 14,3%, que es bajo para este grupo.

En el tercer nivel conceptual (variación del flujo magnético para inducir una corriente), se aprecia en los estudiantes de Ingeniería un porcentaje bajo (máximo el 7,1% que corresponde a tres estudiantes), mientras que los estudiantes de Física de T.E, I y T.E, II obtienen en este tercer nivel conceptual alrededor del 25% y 29% respectivamente, lo que de alguna manera es preocupante para estos grupos de estudiantes, debido que, este nivel conceptual es el que se presenta en los cursos de Física II (para los estudiantes de Ingeniería) y Teoría Electromagnética I y II (para los

estudiantes de Física). Igualmente, es preocupante que el cuarto nivel conceptual (la ley de Lenz para indicar el sentido de la corriente inducida), no se presenta en ninguna de las respuestas de las cuatro preguntas para los grupos de Ingeniería y T.E, I, en este último grupo uno de los estudiantes trata de hacer referencia a la ley de Lenz, pero no utiliza la variación del flujo magnético, en lugar de esto, trata de definir la dirección de la corriente sólo en términos del flujo magnético, es decir que el flujo magnético es positivo cuando se acerca el polo norte, o el polo sur, y negativo cuando se aleja cualquiera de los dos polos, al tratar de interpretar esto en términos de la ley de Lenz el estudiante da las direcciones contrarias a las que corresponden a la situación y preguntas porque no tiene en cuenta la variación del flujo sino el flujo solamente, igualmente, un estudiantes de T.E, II utiliza adecuadamente la ley de Lenz (en las Preguntas PA y PB) para establecer el sentido de la corriente, en las preguntas PC y PD, el estudiante hace referencia al valor del flujo aumentando cuando se acerca cualquiera de los polos, por lo tanto cuando se acerca cualquiera de los polos la dirección de la corriente es la misma, porque la variación del flujo está aumentando, sin tener en cuenta que el flujo tiene un valor positivo cuando el campo y el vector área son paralelos y negativo cuando el campo y el vector área son antiparalelos, esto hay que tenerlo en cuenta al dar la dirección de la corriente porque la variación del flujo puede ser positivo cuando el flujo es negativo, es decir, se puede tener un flujo negativo cuando el polo norte se aleja de la espira, pero la variación del flujo magnético es positiva, con lo cual, acercar el polo norte produce una corriente de igual sentido que alejar el polo sur, y alejar el polo norte produce una corriente de igual sentido que acerca el polo sur, en los demás grupos se entrega en las respuestas, sentidos que corresponden con la situación y pregunta, pero sin dar ninguna justificación y en otras respuestas en las que simplemente la dirección de la corriente no corresponde con la situación y preguntas, con lo cual, no se puede establecer si los modelos utilizados corresponden, o no a la ley de Lenz, o a cualquier modelo alternativo.

Igualmente, entre las argumentaciones que los estudiantes hacen sobre las situaciones S1 y S2 se puede apreciar algunos modelos que no pertenecen a los modelos aceptados (que corresponden con el fenómeno de inducción magnética de Faraday) por la comunidad científica como validos, así por ejemplo, en los tres grupos de estudiantes sobresale el modelo relacionado con la presencia del campo magnético para la inducción de corriente (ubicado en la quinta fila de la tabla 3), es decir, sólo la presencia del campo magnético cerca de la espira (así exista o no movimiento relativo entre ellos) induce una corriente, si el imán con su campo magnético (dado por los polos del imán) está cerca, o se acerca a la espira, se produce una corriente más intensa que cuando el imán se aleja (por cualquiera de los polos), o se deja lejos el imán (manteniéndose en reposo relativo con la espira) de la espira conductora, este modelo que los estudiantes establecen para explicar lo que sucede en la situación S2, puede compararse con la dificultad epistemológica que presentaba en un comienzo el fenómeno de inducción magnética, cuando se buscaba la producción de corriente con campos magnéticos, en este caso, se pretendía la producción de corriente con la sola presencia de un campo magnético y no como lo explica la teoría, con la variación del flujo magnético que pasa a través de la espira conductora.

Otros de los modelos que los estudiantes utilizan para explicar lo que sucede en la situación S2, son por ejemplo; en la situación S2 (y todas sus preguntas) no hay corriente (para un estudiante de Ingeniería) porque que las fuerzas del imán son opuestas, es decir, el imán al tener dos polos, estos se ejercen fuerzas y la suma resulta ser cero y por lo tanto no ejercen fuerzas sobre la espira. Otro modelo es, la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay contacto con el polo sur (un estudiante de Ingeniería), es decir, al acerca o alejar el polo norte (PA-PB) no hay corriente porque para que exista corriente debe haber contacto con el polo sur. Del mismo modo, se tiene un modelo relacionado con la ausencia de corriente en la espira (dos estudiantes de Ingeniería), porque la corriente va en la misma dirección del campo, de este modo, se debe establecer que la argumentación de los estudiantes apunta a decir que ya existe una corriente en la espira y lo que hace el campo magnético es bloquearla o detenerla.

Asimismo, se hace referencia sobre la inmovilidad de la aguja del amperímetro porque el campo magnético lo da el polo norte del imán (tres estudiantes de Ingeniería), de esta afirmación se puede analizar que los estudiantes establecen que el campo magnético está dado sólo por el polo norte (no se distingue el imán como un integridad –dipolo–), con lo cual, puede producirse sólo corriente en la espira conductora cuando se acerca el polo norte, y en este caso de acercar el polo sur, no se produce corriente. Finalmente hay un modelo que afirma que la corriente fluye del polo negativo al positivo (teniendo en cuenta los polos del imán), en este caso, se puede pensar que se hace una analogía entre los polos de un imán y los polos (o bornes) de una batería eléctrica (la corriente fluye del polo negativo de la batería al polo positivo), así, el estudiante de Ingeniería asume que en el imán pasa algo parecido, la corriente fluye del polo negativo (sur) hacia el polo positivo (norte), de esta forma, el estudiante puede explicar que en las dos primeras preguntas de la situación (S2-PA y S2-PB) hay corriente, porque en este caso, el imán le proporciona la corriente cuando se acerca o se aleja con el polo norte (“positivo”) “porque la corriente va de menos a más” (el imán es para el estudiante una batería eléctrica), en el caso de acercar, o alejar el polo sur (“negativo”), la corriente va en el otro sentido en el imán y así, no puede suministrarle corriente a la espira. De este modo, los estudiantes de Ingeniería que afirman que en la situación dos (S2) no hay corriente (aunque exista movimiento relativo entre la espira y el imán) es mínimo 14,29% y máximo 21,43% (seis y nueve estudiantes).

A continuación se realiza un análisis comparativo similar al anterior para la tercera situación (S3), en este caso, al haber dos preguntas contenidas en esta situación, se toma los porcentajes que aparezcan (si hay dos porcentajes distintos en las dos preguntas, para una misma tipificación, se toma los dos porcentajes), es decir, si se establece un porcentaje del 10% - 35% en alguna de las tipificaciones contenidas en la tabla 4, quiere decir que para esta tipificación el porcentaje mínimo en una de las dos preguntas es del 10% y el máximo es de 35% en la otra de las dos preguntas. En esta situación (S3), al igual que en las anteriores (S1 y S2), se hace énfasis en el primer

nivel conceptual (movimiento relativo entre el imán y la espira para que se induzca una corriente en la espira), pero se pueden presentar los otros niveles conceptuales para realizar las preguntas de la situación S3. Igualmente, se presentan los modelos que los estudiantes utilizan para dar respuesta a las preguntas de la situación pero que se pueden considerar como no aceptados por la comunidad científica ya que no modelan el fenómeno de inducción magnética.

Tabla 4. Análisis general de la Situación 3.

Nivel conceptual y modelos	Ingeniería			Física (T.E, I)			Física (T.E, II)		
Situación S3	%	estudiantes	preguntas	%	estudiantes	Preguntas	%	estudiantes	preguntas
movimiento relativo entre imán y espira	26,2 - 33,3	11-14	PA-PB	37,5	3	PA-PB	0,0	0	-
la variación del campo magnético produce una corriente	14,3 - 19,0	6-8	PA-PB	0,0	0	-	28,6	2	PA-PB
la variación del flujo magnético induce una corriente	2,4	1	PA-PB	25,0	2	PA-PB	28,6	2	PA-PB
la dirección de la corriente está dada por la ley de Lenz	0,0	0	-	0,0	0	-	14,3	1*	PA-PB
la aguja del amperímetro se mueve por la presencia del campo magnético, si se acerca el imán la corriente es más intensa que cuando se deja quieto o se aleja	0,0	0	-	37,5	3	PB-PD	42,9	3	PA-PB
la aguja del amperímetro no se mueve entregando diferentes argumentaciones	14,3	6	PA-PB	0,0	0	-	0,0	0	-
la aguja del amperímetro se mueve a favor o en contra de las manecillas del reloj pero sin ninguna justificación	28,6	12	PA-PB	0,0	0	-	0,0	0	-
hay diferencia al acercar el imán a la espira y acercar la espira al imán.	9,5	4	PB	0,0	0	-	0,0	0	-
no sabe no responde	7,1 - 4,8	3-2	PB-PA	0,0	0	-	0,0	0	-

Al analizar los datos consignados en la tabla 4, hay que tener en cuenta que las preguntas de esta situación (S3), se proponen con base en la situación anterior (S2), en la cual se acerca el polo (tanto el polo norte, como el sur) de un imán a una espira

conductora y se requiere establecer la dirección de la corriente, si ésta existe en la espira, registrada en este caso por el movimiento de la aguja de un amperímetro conectado en serie a la espira. Se pretende así, determinar si los estudiantes comprenden el movimiento relativo del imán acercándose a la espira por uno de los polos como elemento para producir corriente en la espira, además de los otros tres niveles conceptuales y los modelos que los estudiantes utilizan para explicar la situación S2 (esto es lo que se trató de establecer en la situación S2). En la situación S3, se quiere además de establecer si los estudiantes comprenden el movimiento relativo entre el imán y la espira conductora (moviendo la espira hacia el imán), los otros tres niveles conceptuales. De esta manera, se observa el primer nivel conceptual presente en los estudiantes de Ingeniería y Física (T.E, I), en ambos grupos, este nivel conceptual tiene un buen porcentaje en las respuestas que los estudiantes entregan a las dos preguntas que configuran la situación S3, los porcentajes para los estudiantes de Ingeniería y T.E, I son del 26,2% - 33,3% y del 37,5% respectivamente, lo que más o menos corresponde a una cuarta y tercera parte de la población encuestada (en cada uno de los grupos respectivos), se aprecia que este primer nivel conceptual no se presenta entre los estudiantes de Física (T.E, II), este último grupo se ubica entre los niveles conceptuales segundo y tercero, en el primero de estos dos niveles conceptuales, hay dos estudiantes que contestan las dos preguntas, teniendo en cuenta la variación del campo magnético para generar una corriente en la espira, mientras que en los estudiantes de T.E, I este nivel conceptual no se presenta, y para los estudiantes de Ingeniería, este segundo nivel conceptual se encuentra entre el 14,3% y 19,0%.

En el tercer nivel conceptual (variación del flujo magnético para inducir una corriente), se aprecia en los estudiantes de Ingeniería un porcentaje muy bajo (un estudiante, que corresponde al 2,4%), mientras que los estudiantes de Física de T.E, I y T.E, II obtienen en este tercer nivel conceptual alrededor del 25% y 29% respectivamente, estos porcentajes tan bajos para este tercer nivel conceptual preocupan, porque este nivel conceptual es el que se presenta en los cursos de Física II (para los estudiantes de Ingeniería) y Teoría Electromagnética I y II (para los

estudiantes de Física). Del mismo modo, es preocupante que el cuarto nivel conceptual (la ley de Lenz para indicar el sentido de la corriente inducida), no se presenta en ninguna de las respuestas de las dos preguntas para los grupos de Ingeniería y T.E, I (al comparar las respuesta con la situación S2 , se aprecia que uno de los estudiantes trata de hacer referencia a la ley de Lenz, pero no utiliza la variación del flujo magnético, sino el flujo magnético para definir la dirección de la corriente, entregando de esta manera una dirección que no corresponde con la situación y preguntas planteadas) y solo un estudiantes de T.E, II la utiliza para establecer el sentido de la corriente (aunque la argumentación que presenta es similar a la que entrega en la situación S2), el estudiante hace referencia a el valor del flujo aumentando cuando se acerca la espira al imán y disminuye cuando se aleja, por lo tanto, cuando se acerca cualquiera de los polos a la espira (o la espira a cualquiera de los polos), la dirección de la corriente es la misma, porque la variación del flujo está aumentando, sin tener en cuenta que el flujo tiene un valor positivo cuando el campo y el vector área son paralelos y negativo cuando el campo y el vector área son antiparalelos, esto hay que tenerlo en cuenta al dar la dirección de la corriente, porque la variación del flujo puede ser negativo cuando el flujo es positivo, es decir, se puede tener un flujo positivo cuando la espira se aleja del polo norte, pero la variación del flujo magnético es negativa. En los demás grupos se entrega en las respuesta sentidos que corresponden con la situación y pregunta, pero sin dar ninguna justificación y en otras respuestas en las que simplemente la dirección de la corriente no corresponde con la situación y preguntas, por lo tanto, no se puede establecer si estos estudiantes comprenden la ley de Lenz, o que modelos (alternativos) utilizan para definir una dirección para la corriente en las preguntas de la situación.

Igualmente, entre las argumentaciones que los estudiantes hacen sobre la situación S3 se puede apreciar algunos modelos que no pertenecen a los modelos aceptados (que no corresponden con el fenómeno de inducción magnética de Faraday) por la comunidad científica como validos, así, algunos de los estudiantes de Física (T.E,I y T.E, II) persisten en el modelo relacionado con la presencia del campo magnético para la

inducción de corriente, es decir, sólo la presencia del campo magnético cerca de la espira (así exista o no movimiento entre ellos) induce una corriente, si el imán con su campo magnético (dado por los polos del imán) está cerca, o se acerca a la espira (o ésta se acerca al imán), se produce una corriente más intensa que cuando el imán se aleja (por cualquiera de los polos, o se aleja la espira), o se deja lejos el imán (manteniéndose en reposo relativo con la espira) de la espira conductora, en el caso de los estudiantes de T.E, I y T.E,II son cerca del 38% y 43% respectivamente (tres estudiantes en cada grupo), es preocupante que este modelo se presente en estos dos grupos (y en tales porcentajes), los cuales teóricamente han visto el modelo de inducción magnética de Faraday dado por la variación del flujo magnético que pasa a través de la espira conductora.

Otros de los modelos que los estudiantes utilizan para explicar lo que sucede en la situación S3, son por ejemplo; en la situación S3 no hay corriente (para un estudiante de Ingeniería), porque no hay conexión en serie, es decir, el circuito formado por la espira y el amperímetro ahora no se encuentra formando un circuito en serie, cabe agregar, que en ningún momento el circuito cambio su configuración, es decir, el circuito continua conectado en serie, por lo tanto, el estudiante no está entendiendo la situación presentada. Del mismo modo, un estudiante de Ingeniería expresa que la aguja del amperímetro no se mueve, porque el campo magnético se concentra al moverse el imán, es decir, este estudiante relaciona la inducción de corriente sólo al movimiento del imán, de este modo, el movimiento relativo como primer nivel conceptual para la inducción de la corriente en la espira, no es tenido en cuenta en el modelo que el estudiante propone. De la misma manera, se propone que la corriente en ninguna de las situaciones anteriores se presenta, ni cuando se mueve el imán, ni cuando lo hace la espira. El porcentaje de los estudiantes que afirma que no se presenta corriente en la espira cuando ésta se acerca al imán es del 14,3% para los estudiantes de Ingeniería, mientras que el 28,6% de los estudiantes de este grupo expresa que hay corriente, es decir no hay diferencia entre acerca el imán a la espira, o acercar la espira al imán, pero no entregan ninguna justificación que pueda dar

información sobre la comprensión de esta corriente como producto del movimiento relativo entre el imán y la espira, o de algún otro modelo.

A continuación se realiza un análisis comparativo similar al anterior para la cuarta situación (S4), se hace énfasis en el concepto de flujo magnético, y el de su variación, para establecer si en una espira que se mueve (verticalmente) hacia arriba y hacia abajo en un campo magnético constante (en magnitud como en dirección), dirigido hacia abajo, (el campo es paralelo o antiparalelo al vector área de la espira) se induce corriente, en este caso, se espera que los estudiantes tengan en cuenta que existe un flujo magnético que atraviesa la espira a medida que ésta se mueve en el interior del campo magnético, pero este flujo no cambia, porque ni el campo se hace más intenso, o el área cambia, como tampoco cambia la dirección del vector área respecto al campo, es decir, no hay variación del flujo magnético, y por lo tanto, no debe presentarse corriente en la espira conductora. Igualmente se quiere determinar los modelos que los estudiantes utilizan para dar solución a la situación, algunos de estos modelos no corresponden con los aceptados por la comunidad científica (o la ciencia escolar), porque sus predicciones no corresponden con los fenómenos observados. En la tabla 5, están consignados los datos que se recogen de los tres grupos que hacen parte de la población encuestada (los grupos de Ingeniería y los dos grupos de Física).

Tabla 5. Análisis general de la Situación 4.

Nivel conceptual y modelos	Ingeniería			Física (T.E, I)			Física (T.E, II)		
Situación S4	%	estudiantes	Tipificación	%	estudiantes	Tipificación	%	estudiantes	Tipificación
como el campo magnético no cambia entonces no hay corriente en la espira	33,3	14	T6	12,5	1	T2	14,3	1	T3
la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay variación del flujo magnético en la espira conductora	0,0	0	-	0,0	0	-	14,3	1	T4
la aguja del amperímetro se mueve porque el campo magnético siempre induce una corriente.	9,5	4	T1	62,5	5	T1	28,6	2	T1
la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay flujo magnético en la espira conductora	0,0	0	-	25,0	2	T3	0,0	0	-
la aguja del amperímetro se mueve porque hay variación del campo o del flujo magnético.	0,0	0	-	0,0	0	-	42,9	3	T2
la aguja del amperímetro se mueve entregando diversas argumentaciones	38,1	16	T2 a T5	0,0	0	-	0,0	0	-
la aguja del amperímetro no se mueve entregando diversas argumentaciones	11,9	5	T8-T9	0,0	0	-	0,0	0	-
no sabe no responde	7,1	3	T10	0,0	0	-	0,0	0	-

Al revisar los datos que son recogidos de la situación S4 y consignados en la tabla 5, se aprecian algunos de los niveles conceptuales que este trabajo de investigación ha tratado de establecer, en este caso, en los tres grupos de estudiantes se establece que en la situación S4 no hay corriente porque no hay variación del campo magnético, es decir, para que se presente corriente en la espira debe haber un campo magnético variable (segundo nivel conceptual), los porcentajes para Ingeniería suman el 33,3% (un tercio de los cuarenta y dos estudiantes), y para los estudiantes de Física los porcentajes son del 12,5% y 14,3% (para los grupos de T.E, I y T.E, II respectivamente, que corresponde a un estudiante en cada uno de los grupos), igualmente, se hace notar que el tercer nivel conceptual (variación del flujo magnético) sólo se establece en uno de los estudiantes del grupo de Física (T.E, II), es preocupante

que la gran mayoría de los estudiantes en los tres grupos afirman que la aguja del amperímetro se mueve a medida que se mueve verticalmente la espira conductora en el interior del campo, con lo cual, no tiene en cuenta la variación del flujo magnético, para establecer la corriente en la espira (se puede pensar que estos estudiantes no comprenden este concepto), así, el porcentaje de los estudiantes de Ingeniería que dicen que la aguja del amperímetro se mueve suman el 47,6% (veinte estudiantes), mientras que los porcentajes para los grupos de T.E,I y T.E,II son 62,5% y 71,4% respectivamente (cinco estudiantes en cada grupo), entre los argumentos que los estudiantes refieren a la situación están, la aguja del amperímetro se mueve porque la sola presencia del campo magnético produce una corriente en la espira, esta argumentación ya ha sido referenciada en todas las anteriores situaciones y como se advirtió, buscar la fuente de corrientes inducidas en la sola presencia de un campo magnético, fue una de las dificultades que se presentaron en los primeros intentos de establecer la relación entre electricidad y magnetismo (ver los elementos históricos que se exhibieron anteriormente, relacionados con los trabajos de Ampère y De la Rive), porque en los casos en los que no haya variación del flujo magnético, no habrá corriente circulando en la espira.

De igual modo, en otras de las argumentaciones que los estudiantes utilizan para explicar que en la espira conductora hay corriente, se hace referencia a la variación del flujo magnético como causa de la corriente en la espira, es decir en esta situación según los estudiantes (tres estudiantes de T.E, II el 42,9%), hay corriente porque hay variación del flujo magnético, cuando en esta situación no hay variación del flujo, porque el flujo es constante en el tiempo a medida que se mueve la espira. En otro grupo (T.E, I) se hace una argumentación algo similar, pero en este caso se establece que en la espira no hay corriente porque no hay flujo magnético (25% de los estudiantes aseguran esto), hay que agregar que si se presenta flujo magnético en la situación, lo que no hay, es variación del flujo a través de la espira. Igualmente hay estudiantes que dicen que en la espira no hay corriente pero sin entregar ninguna

argumentación que permita analizar su nivel conceptual referido al fenómeno de inducción magnética de Faraday, o los modelos alternativos que utilizan.

Ahora se realiza un análisis comparativo, similar al anterior para la quinta situación (S5), en ésta, se propone el movimiento de una barra conductora sobre un riel conductor, en el que no se tiene en cuenta el rozamiento, el riel conductor tiene conectado un amperímetro que puede registrar la corriente que se induce cuando la barra cerrando el circuito empieza a moverse sobre el riel, en el interior de un campo magnético constante, que a su vez, es perpendicular al plano que forma el circuito (formado por la barra conductora, el riel conductor y el amperímetro). En esta situación se quiere determinar si los estudiantes comprenden, además del concepto de flujo, el de la variación del flujo (tercer nivel conceptual), dado por el cambio del área del circuito (en la situación hay un cambio del área positivo y uno negativo, PA y PB respectivamente). Se espera que los estudiantes puedan diferenciar la dirección de la corriente en el circuito utilizando la ley de Lenz (cuarto nivel conceptual).

Tabla 6. Análisis general de la Situación 5.

Nivel conceptual y modelos	Ingeniería			Física (T.E, I)			Física (T.E, II)		
Situación S5	%	Estudi antes	pregun tas	%	estudia ntes	Pregun tas	%	estudia ntes	pregu ntas
la aguja del amperímetro se mueve porque se varía el área y eso permite una variación del flujo magnético.	2,4	1	PA	25,0	2	PA-PB	42,9	3	PA-PB
la aguja del amperímetro se mueve a favor o en contra de las manecillas del reloj porque hay corriente en la espira.	35,7	15	PA	37,5	3	PA	14,3	1	PA
la aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección o contraria a la situación S5-PA, por el campo magnético.	9,5	4	PA	37,5	3	PB	0	-	-
la aguja del amperímetro se mueve entregando diferentes argumentos	19,0	8	PA	12,5 - 25,0	1-2	PA-PB	28,6 - 14,3	2-1	PA-PB
la aguja del amperímetro no se mueve entregando diferentes argumentos.	23,8	10	PA	12,5	1	PA	14,3	1	PA
no hay diferencia la aguja del amperímetro se mueve en el mismo sentido que en S5-PA.	28,6	12	PB	0	-	-	0	-	-
hay diferencia, existe una corriente circulando por la espira, pero en sentido contrario a la S5-PA.	38,1	16	PA-PB	0	-	-	0	-	-
no sabe no responde	9,5	4	PA-PB	12,5	1	PA-PB	0	-	-

Al analizar los datos consignados en la tabla 6 (que condensa las respuestas que en las dos preguntas de la situación S5 entregan los estudiantes), se aprecia el tercer nivel conceptual (variación del flujo magnético para la inducción de corriente en el circuito) en los tres grupos de estudiantes (los estudiantes de Ingeniería y los del programa de Física de los cursos de T.E, I y T.E, II), en este caso, los porcentajes respectivos son 2,4% (un estudiante de Ingeniería), 25,0% (dos estudiantes de T.E, I) y 42,9% (tres estudiantes de T.E, II), estos estudiantes al establecer la dirección para la corriente, aseguran que la corriente, en el caso de aumentar el área del circuito tiene un sentido (por el aumento del flujo), y cuando el área del circuito disminuye tiene la dirección contraria (por la disminución del flujo), en este caso, no se establece la ley de Lenz

como elemento conceptual para dar la dirección de la corriente y como se analizó en la situación S2, ninguno de los estudiantes encuestados hace una argumentación coherente con la ley de Lenz, para establecer el sentido de la corriente, en el caso en el que se presente el fenómeno de inducción magnética de Faraday.

Del mismo modo, hay un porcentaje importante de los estudiantes en los tres grupos (35,7%, 37,5% y 14,3% respectivamente con los estudiantes de los grupos de Ingeniería, y del programa de Física de los cursos de T.E, I y T.E, II) que afirman que, existe una corriente en el circuito cuando la barra conductora se mueve aumentando el área, o cuando disminuye el área del circuito, sin embargo, en estas respuestas no se presentan ninguna justificación para explicar porque aparece la corriente en el circuito, y si esto de alguna manera tiene relación con la disposición de los elementos (barra conductora, campo magnético y amperímetro) en el circuito. Por lo tanto, no se puede afirmar que estos estudiantes comprendan, o no el fenómeno de inducción magnética de Faraday, en términos de la variación del flujo magnético (tercer nivel conceptual), porque no hay elementos para determinar cuáles son los modelos utilizados por los estudiantes al dar sus respuestas.

Como en el caso de las situaciones anteriores, existe un grupo de estudiantes que en sus argumentos a las preguntas de la situación S5, exponen que la sola presencia del campo magnético produce una corriente en el circuito, es decir si existe el campo magnético y un circuito (también se puede dar con una espira conductora), se genera una corriente en el circuito. Los porcentajes respectivo son 9,5% y 37,5% para los estudiantes de Ingeniería y T.E, I, los estudiantes de T.E, II, en este caso, no hacen referencia a esta situación, pero al observar las situaciones anteriores, se puede hablar de tres estudiantes (42,9% de la población encuestada en este grupo).

Algunos de los estudiantes (19,0%, 25,0% y 28,6% respectivamente con los estudiantes de Ingeniería, T.E, I y T.E, II), aseguran que la aguja del amperímetro se mueve, entregando distintas argumentaciones, estas no se pueden clasificar en los cuatro niveles conceptuales, porque hacen parte de modelos alternativos,

independientes de los que pertenecen a la teoría que explica el fenómeno de inducción magnética de Faraday, entre estos modelos y explicaciones alternativas se tienen: la aguja del amperímetro se mueve en el mismo sentido en el que se mueve la barra conductora (dos estudiantes de Ingeniería afirman esto), es decir, la aguja del amperímetro no se va a mover hacia la derecha o izquierda de su nivel cero, sino que se desviará en la misma dirección del movimiento de la barra, se puede observar que esto es físicamente imposible por la forma en la que está conectado el circuito (la ubicación del amperímetro respecto a la barra, no influye en la aparición o no de la corriente en el circuito), se puede pensar en este caso que el estudiante no entendió la situación planeada, o que en su argumentación no es claro para afirmar que existe una corriente en la espira (esto no es posible establecerlo por la poca argumentación que el estudiante ofrece a la situación). En otra de las respuestas a la situación, un estudiante (de Física T.E,I) afirma que al moverse la barra conductora aumenta (cuando aumenta el área), o disminuye (cuando disminuye el área) la resistencia del circuito, y por lo tanto, disminuye, o aumenta la corriente que circula por circuito, se puede pensar que el estudiante dice esto porque al aumentar la longitud del cable conductor aumenta la resistencia del cable, y por lo tanto, es menor la corriente que puede circular, en este caso, se asume el cable conductor y la barra como conductores perfectos, con lo cual, no tienen resistencia, así, la resistencia no aumenta, o disminuye al hacerse más largo, o más corto el camino por el que circulan las cargas, y en el caso en el que existiera una resistencia en el circuito, la corriente siempre aumentaría al variar el flujo magnético que pasa a través del circuito, pero si la resistencia es considerable (pero se supone que no lo es), es mayor el aumento en el caso que el área disminuya.

Del mismo modo, otros estudiantes aseguran que la aguja del amperímetro no se mueve, en este caso, entregan entre otras justificaciones las siguientes: la barra genera una corriente constante y la aguja del amperímetro no se moverá, porque el campo magnético se encarga de cancelar la corriente de alguna manera, no se establece por qué surge la corriente en la espira, ni cómo el campo magnético la cancela, (esta justificación corresponde a un estudiante de Física del curso T.E, I), igualmente, otra

argumentación gira en torno a decir que en el circuito no se presenta corriente, porque no existe rozamiento que permita que las partículas interactúen para cerrar el circuito (esta argumento lo esgrime un estudiante del T.E, II), es decir, la barra al moverse y al no tener en cuenta el rozamiento entre la barra y el riel conductor no fluye la corriente, en este caso, el contacto y no el rozamiento entre los conductores, es lo que permite el movimiento (o transporte) de las cargas a lo largo del circuito. De la misma manera, otros estudiantes (dos estudiantes de Ingeniería) afirman que en la situación S5 no hay corriente, porque el campo magnético al ser perpendicular al movimiento de la barra no permite que fluya corriente en el circuito (en la situación al ser el campo perpendicular a la barra conductora y ésta al realizar un cambio en el área, es cuando más se induce corriente). Hay argumentos (tres estudiantes de Ingeniería) relacionados con el no movimiento de la aguja del amperímetro, porque el campo magnético es constante, aunque exista el circuito, es decir, la corriente se da solamente por la variación del campo magnético, cuando no hay variación del campo magnético, no hay corriente (no se tiene en cuenta la variación del flujo como elemento indispensable para la inducción de corriente en el circuito). Otra argumentación (un estudiantes de Ingeniería) hace referencia al flujo cero de corriente, porque para que exista corriente en esta situación, la barra conductora debe caer y abrir el circuito (en este caso cuando el circuito se abre, ya no hay posibilidad para que la corriente fluya), de este manera, se percibe una contradicción con el concepto de circuito eléctrico y como fluye la corriente por él. También se argumenta (un estudiante de Ingeniería) que la barra conductora al moverse se convierte en un dipolo eléctrico, en este caso, al producirse una polarización eléctrica de la barra conductora, se genera un campo eléctrico, que produce una corriente en la espira, si la barra se deslizara sin formar un circuito, por la fuerza de Lorentz la carga se acumula en los extremos de la barra (“dipolo eléctrico”), y no se produce corriente, pero en este caso, no se está analizando la fuerza de Lorentz que experimentan las cargas cuando se mueven en el interior de un campo magnético, sino la inducción de corriente dada por la variación del flujo magnético a través del circuito formado por la barra conductora, el carril conductor y el amperímetro.

A continuación se realiza un análisis comparativo similar al anterior, para la sexta situación (S6), así, se hace énfasis en el concepto de flujo y el de su variación para establecer si el movimiento de una barra conductora sobre un riel conductor, en el que no se tiene en cuenta el rozamiento, produce una corriente, en este caso, el riel conductor tiene conectado un amperímetro, que puede registrar la corriente, si ésta se produce cuando la barra cerrando el circuito empieza a moverse sobre el riel, en el interior de un campo magnético constante, que a su vez es perpendicular (o es paralelo al plano formado por el movimiento de la barra conductora) al vector área del circuito (formado por la barra conductora, el riel conductor y el amperímetro). En esta situación se quiere determinar si los estudiantes comprenden a demás del concepto de flujo, el de la variación del flujo, que es cero para ambos casos (preguntas PA y PB).

Tabla 7. Análisis general de la Situación 6.

Nivel conceptual y modelos	Ingeniería			Física (T.E, I)			Física (T.E, II)		
Situación S6	%	estudiantes	preguntas	%	estudiantes	Preguntas	%	estudiantes	preguntas
No hay corriente en la espira porque no hay variación del campo magnético.	2,4	1	PB	0	0	-	0	0	-
No existe corriente en el circuito porque el campo es paralelo al movimiento de la barra.	31,0 - 21,4	13-9	PA-PB	25,0	2	PA-PB	57,1 - 43,0	4-3	PA-PB
No hay corriente en la espira porque no hay variación del flujo magnético.	0	0	-	0	0	-	28,6	2	PA-PB
No existe corriente en el circuito porque no hay flujo magnético.	0	0	-	25,0	2	PA-PB	0	0	-
no se produce corriente en la espira conductora, pero sin argumentar la respuesta	19,0	8	PB	25,0	2	PA-PB	0	0	-
la aguja del amperímetro se mueve sin entregar argumentos	35,7 - 7,1	15-3	PA-PB	0	0	-	0	0	-
la aguja del amperímetro se mueve entregando diversos argumentos	4,8 - 19,0	2-8	PA-PB	0	0	-	14,3	1	PB
no sabe, no responde	14,3 - 19,0	6-8	PA-PB	12,5	1	PA-PB	0	0	-

Al analizar los datos consignados en la tabla 7 (que condensa las respuestas que en las dos preguntas de la situación S6 entregan los estudiantes), se aprecia el segundo nivel conceptual (la variación del campo magnético genera una corriente en un circuito) sólo en la argumentación dada por un estudiante de Ingeniería, igualmente el tercer nivel conceptual (variación del flujo magnético para la inducción de corriente en el circuito), se establece en dos estudiantes de Física (T.E, II), mientras que dos estudiantes de Física (T.E,I) hace explícito que no existe flujo magnético a través del circuito eléctrico, siendo esto consecuente con la situación y preguntas, el campo magnético al ser paralelo al plano que forma la barra al moverse, no produce ningún flujo a través del circuito formado por la barra, el carril conductor y el amperímetro, en este último argumento coinciden estudiantes de los tres grupos, es decir, al ser el campo magnético paralelo al plano que forma el movimiento de la barra conductora, no se produce una corriente, los porcentajes para los grupos son; 21,4% a 31,0% para los estudiantes de Ingeniería, 25,0% para los estudiantes de Física del curso T.E, I y 43,0% a 57,1% para estudiantes de Física del curso T.E,II en este caso, no se puede ubicar estos estudiantes en alguno de los niveles conceptuales dados a priori en este trabajo, aunque se puede pensar que estos estudiantes están relacionando sus respuestas al concepto de flujo magnético. Del mismo modo, entre las respuestas que los estudiantes entregan a la situación y preguntas, se establece que no hay corriente en el circuito, pero no entregan argumentos para sustentar sus respuestas, igualmente, se arguye que hay corriente pasando en el circuito, pero no se entregan argumentos para poder establecer cuáles son los modelos que estos estudiantes utilizan para poder afirmar esto.

También se aprecian en las explicaciones de los estudiantes algunos modelos alternativos, que no son aceptados como válidos por la comunidad científica (porque no modelan el fenómeno de inducción magnética, o tienen algunas contradicciones con la teoría electromagnética), de este modo, un estudiante de Física (T.E, II) afirma que en el circuito no se presenta corriente porque no existe rozamiento que permita que las partículas interactúen para cerrar el circuito, es decir, la barra al moverse y al

no tener en cuenta el rozamiento entre la barra y el riel conductor no fluye la corriente, en este caso, el contacto y no el rozamiento entre los conductores, es lo que permite el movimiento (o transporte) de las cargas a lo largo del circuito. Igualmente un estudiante de Física (T.E, II) afirma que al moverse se la barra conductora en el sentido contrario (cuando el área del circuito se hace menor S_6-PB), se creará un campo eléctrico E a medida que una de las componentes de v (la velocidad) se acerque perpendicularmente al campo magnético B , y aumente su magnitud respecto a la componente paralela a B , de este modo, el estudiante hace referencia a una componente de la velocidad de la barra perpendicular al campo magnético, pero, en la situación, esta componente es cero (todo el movimiento de la barra conductora se produce en dirección paralela al campo magnético), y por lo tanto no se inducirá corriente en el circuito.

En otra argumentación (un estudiantes de Ingeniería) hace referencia al flujo cero de corriente, porque para que exista corriente en esta situación la barra conductora debe caer y abrir el circuito (en este caso cuando el circuito se abre, ya no hay posibilidad de que fluya corriente), de esta manera, se percibe una contradicción con el concepto de circuito eléctrico y como fluye la corriente por él.

Con el anterior análisis se concluye este capítulo, donde se han mostrado los modelos que los estudiantes de Ingeniería y Física utilizan para resolver situaciones relacionadas con el fenómeno de inducción magnética de Faraday, los modelos utilizados por los estudiantes, no son preconceptos o ideas previas, porque los estudiantes han recibido en sus cursos de Física II (para Ingeniería) y Teoría Electromagnética I y II (para los estudiantes de Física), los elementos conceptuales que componen la teoría electromagnética, es preocupante que en algunos casos, siendo estos, un grueso importante de la población encuestada, los modelos utilizados para resolver las situaciones propuestas en el cuestionario, no corresponden con los modelos aceptados por la comunidad científica, o son los modelos básicos, como por ejemplo el movimiento relativo entre una espira y un imán, cuando en sus cursos de

formación en física, sobresalen modelos relacionados con la variación del flujo magnético y la ley de Lenz.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y PROYECCIONES.

En este capítulo se presentan las conclusiones y las proyecciones del trabajo realizado, en este caso, se establece que en general los estudiantes al finalizar los cursos de física no alcanzan una comprensión clara de la teoría electromagnética y en particular no adquieren los elementos conceptuales para modelar el fenómeno de inducción magnética de Faraday.

Entre las conclusiones que se obtienen del trabajo se destacan:

1. Se evidencia que el grueso de la población encuestada, no logra explicitar modelos relacionados con la variación del flujo magnético, se aprecia esto en mayor grado en los estudiantes de Ingeniería, aunque, el porcentaje de los estudiantes de Física de los cursos Teoría Electromagnética I y II no supera el 30% y 50% respectivamente en el promedio de las situaciones propuestas, siendo esto preocupante, porque en estos cursos se hace un buen despliegue de estos elementos conceptuales en términos de la variación del flujo magnético. Al consultar otra investigación se evidencia una problemática similar, *“los jóvenes no logran los niveles de conceptualización esperados al finalizar el cursado de los temas vinculados al magnetismo y electromagnetismo en una de las asignaturas de Física del ciclo básico de carreras de nivel superior...”* (Catalán, L. et al. 2010)
2. Respecto a los otros niveles conceptuales (modelos que se utilizan para explicar el fenómeno de inducción magnética, y que son aceptados por la comunidad científica), se evidencia una mayor utilización de los dos primeros modelos (el movimiento relativo entre un imán y una espira conductora, y el modelo relacionado con la variación del campo magnético para la inducción de corriente), que del tercer nivel conceptual (la variación del flujo magnético induce una corriente en un circuito), los porcentajes en promedio para los dos primeros niveles conceptuales en relación con el tercero, son mayores, teniendo en cuenta los estudiantes de Ingeniería y Física (T.E, I), mientras que el primer nivel conceptual no se presenta en los estudiantes de Física (T.E, II), en este último grupo se

presenta en mayor medida, el segundo nivel conceptual y un modelo relacionado con la sola presencia de un campo magnético para inducir una corriente.

3. Se presentan algunos modelos alternativos (que no son aceptados como válidos para explicar el fenómeno de inducción magnética), principalmente utilizados por los estudiantes de Ingeniería, en el análisis de los datos se describen algunos de ellos.
4. Es preocupante que ninguno de los estudiantes encuestados (cincuenta y siete estudiantes en los tres grupos), determine la dirección de la corriente en una espira, o un circuito, utilizando la ley de Lenz, son pocos los que intentan establecer una dirección con base en la ley de Lenz, pero en sus intentos, utilizan el flujo magnético (flujo positivo para una dirección de la corriente y negativo para la otra), o el aumento del valor del flujo (si el flujo aumenta al hacer más fuerte el campo, tiene una dirección la corriente, y si el flujo disminuye la otra dirección), en lugar de hacer uso de la variación del flujo magnético, como lo manda la ley de Lenz. En este caso, se puede pensar que aquí, se tiene uno de los elementos que hacen que el fenómeno de inducción magnética presente dificultades en su aprendizaje, es decir, entender una cantidad como el flujo magnético, que está relacionada con la cantidad de líneas de campo magnético que pasan a través de una superficie cerrada, y a su vez, ésta cantidad cambia a través del tiempo, para inducir una corriente en una espira, o un circuito, puede ser difícil, y más difícil, entender que la corriente inducida en la espira, o el circuito (el camino cerrado), produce un campo magnético inducido, que se opone a esta variación del flujo, produciendo una variación del flujo opuesta. Con los resultados de este trabajo, se quiere poner en evidencia este tipo de dificultades en el aprendizaje de los conceptos relacionados con el fenómeno de inducción magnética, y por lo tanto, en la planeación de su enseñanza, se hace necesario una reflexión en torno a estas dificultades, proponiendo estrategias que permitan superarlas.

5. Así mismo, llama la atención que entre los modelos utilizados por los estudiantes, para explicar la aparición, o no, de corriente en la espira conductora, o circuito, surge un modelo (los tres grupos de estudiantes lo utilizan), que relaciona la sola presencia de un campo magnético, con la generación de corriente en la espira (o circuito), como se advirtió en los elementos del marco teórico, donde se hace una sucinta evolución histórica del concepto de inducción magnética de Faraday, este tipo de intentos por establecer una relación entre la electricidad y el magnetismo fue uno de los primeros en hacerse. El estudio de estos modelos, puede permitir la realización de nuevas investigaciones que explique la aparición de los mismos, y la forma de modificarlos, o adaptarlos a los aprendizajes significativos de los estudiantes (puede jugar un papel importante el Modelo Cognitivo de Ciencia, aplicado a la Ciencia Escolar, así como, la Teoría de la Actividad, en la planeación, diseño y ejecución de estrategias que apunten a estos aprendizajes), y hacerlos coincidir con los aceptados por la comunidad científica.

Se espera que los resultados obtenidos en este trabajo, permitan visualizar una problemática que necesita ser tratada por la didáctica, en este sentido, se requieren propuestas didácticas, que permitan mejorar los aprendizajes de los estudiantes (que la gran mayoría de los estudiantes comprendan y utilicen los modelos aceptados por la comunidad científica, para explicar los fenómenos que representan), en las proyecciones de este trabajo, se encuentra la continuación de investigaciones que busquen en la historia y la epistemología de las ciencias, así como en la didáctica de las ciencias, elementos para el diseño de propuestas de aula, que integren el trabajo experimental de laboratorios, en relación con el fenómeno de inducción magnética, con esto se pueden brindar algunos de los prerrequisitos experimentales de los que habla (Almundí, M. et al. 2005) para la comprensión del fenómeno de inducción magnética de Faraday.

Continuando con esta última idea, los autores de este trabajo, quieren seguir sus estudios de posgrado, tomando este trabajo de base teórica y metodológica, para el

diseño de situaciones de aula que permitan mejorar la enseñanza y aprendizaje de la Física, y en particular del concepto de inducción magnética de Faraday.

6. BIBLIOGRAFÍA

Almudí, Manuel; Zuza, Kristina & Bonet, Elvira. (2005). *Explicando Los Fenómenos De Inducción Electromagnética: Relevancia De Su Enseñanza Y Dificultades De Aprendizaje*. Enseñanza de las ciencias. Número extra. vii congreso. Recuperado el 26 de julio del 2010, de http://ensciencias.uab.es/congres2005/htm/index_simposios/s7.htm

A. N. Leontiev (1979). *La actividad en la psicología* Editorial de libros para la educación Cuba.

Cedeño, M. Castron N. Guerrero, J. & Delgado, C. (2010). *El Concepto De Función Y La Teoría De Situaciones. Bases Epistemológicas Y Didácticas En La Enseñanza Del Concepto De Función Con La Ayuda De Calculadoras Graficadoras*.

Chevallard (1991) *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*, Aique, Buenos Aires.

Delgado, César. (2003). *El Modelo De Toulmin Y La Evolución Del Concepto Del Continuo En Los Clásicos Griegos*. Universidad del Valle.

Delgado, César. (2010). *Notas del Seminario de Didáctica de la Física*. Universidad Del Valle Colombia 2010.

Giere, Ronald. (1992) *La Explicación de la Ciencia. Un Acercamiento Cognoscitivo*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México

Halliday, D. Resnick, R. & Krane, K. (1999). *Física Volumen II, versión ampliada*. Tercera edición en español. Compañía Editorial Continental. México.

Hecht E. (1987). *Física En Perspectiva*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.

Izquierdo, M. (2007). *Enseñar ciencias, una nueva ciencia*. Enseñanza de las Ciencias, Volumen 6. Pág. 125-138.

Izquierdo, Mercé. (2000). *Didáctica De Las Ciencias Experimentales. Teoría Y Práctica De La Enseñanza De Las Ciencias*. Capítulo 2: Fundamentos Epistemológicos. Editorial Martín.

Izquierdo, Mercé., Sanmartí, Neus y Epinet Mariona. (1999-1). *Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. Enseñanza de las Ciencias*, Volumen 17, Pág.45-59.

Izquierdo, M., Espinet, M., García, M.P., Pujol, R.M. Y Sanmartí, N. (1999-2). *Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. Enseñanza de las Ciencias*, número extra, Pág. 79-92.

Johsua, Samuel. Dupin Jean-Jacques. (2005). *Introducción a la Didáctica de las Ciencias y la Matemática. Ediciones Colihue.*

Jorba y Sanmartí (1996). *Enseñar, aprender y evaluar, un proceso de regulación continua: Ministerio de Educación y Cultura. España. Recuperado el 22 de mayo del 2011, de:*
http://books.google.com.co/books?id=a_rCXrBxikwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Kuhn Thomas. (2004) *La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica. México.*

Lidia Catalán, Concesa Caballero Sahelices, Marco Antonio Moreira. (2010). *Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la Inducción electromagnética. Un estudio de caso. Revista electrónica, Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 1, Jan. 2010. Recuperado el 26 de julio del 2010, de:*
http://journal.lapen.org.mx/jan10/LAJPE_335_Lidia_Ferraro_preprint_corr_f.pdf

Physical Sciences Study Committee (PSSC) (1963). Volumen II. Editorial Reverte.

Reitz, J.R. Milford, F.J. & Christy, R.W. (1996). *Fundamentos de la teoría electromagnética, cuarta edición Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington.*

Sears, F. Zemansky, M. Young, H. & Freedman, R. (2004). *Física Universitaria. Volumen II. Décimo primera edición. Editorial Pearson.*

Talízina, N. F. (1988). *Psicología de la enseñanza. Editorial Progreso Moscú. Unión Soviética (URSS).*

Taton, René. *Historia general de las ciencias. España: Ediciones destino1971.*

Taton, René. *Causalidad y accidentalidad de los descubrimientos científicos. España: Editorial Labor, s.a. 1967.*

Zapata A. (1999). Una Breve Historia De La Electricidad. Historia General de las Ciencias, Unidad Quinta. Bogotá: Guadalupe Ltda.

7. ANEXOS.

Anexo 1: Cuestionario aplicado a los estudiantes de Ingeniería y Física

CUESTIONARIO DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA		
Fecha: _____		Cuidad: _____
Ocupación: ☐ Docente ☐ Estudiante		Institución educativa: _____
Género: ☐ F ☐ M	Edad : _____	Grado de escolaridad: _____ _____

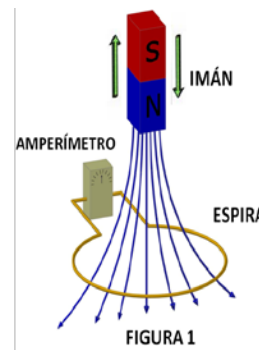
Este cuestionario ha sido elaborado por estudiantes del programa de Licenciatura en Matemática y Física de la Universidad del Valle como parte del trabajo de grado y tiene como objetivo indagar las concepciones y conocimientos sobre inducción magnética que tienen los estudiantes de educación media, primeros cursos universitarios de física y profesores de física de instituciones educativas, cuyos resultados brindarán elementos de análisis para un trabajo de investigación en didáctica de la Física. Para ello te agradeceríamos que respondas lo más completa y sinceramente posible, es decir, **SE REQUIERE QUE TUS RESPUESTAS SEAN EXPLICACIONES MUY BIEN DETALLADAS**. El siguiente cuestionario no implica ningún tipo de evaluación, por tanto no es necesario firmarlo, sus respuestas son anónimas y los resultados son solamente fuente de investigación didáctica, por lo que están destinados a generar conocimiento para mejorar la enseñanza de los conceptos físicos.

Considere que tiene las siguientes situaciones:

La figura 1 se refiere a las situaciones 1,2 y 3.

Situación 1. La espira conductora de la figura 1 está conectada en serie a un amperímetro¹, Suponga que ni la espira ni el imán se mueven ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde?) ¿Por qué?



1. Un amperímetro es un instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica en un circuito. Cuando la corriente fluye por el amperímetro la aguja del amperímetro se mueve, dependiendo del sentido de la corriente la aguja se moverá hacia la izquierda o la derecha y además, dependiendo de la intensidad de la corriente la aguja se moverá en un sentido en mayor o menor grado.

Situación 2.

A. Suponga ahora que el polo norte del imán se acerca verticalmente a la espira conductora como muestra la figura 1. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

B. Suponga ahora que en lugar de acercar el polo norte del imán, este se aleja ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

C. ¿Qué ocurre si invertimos la polaridad del imán, es decir, si acercamos el polo sur del imán?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

D. y ¿si lo alejamos por el polo sur? Existe alguna diferencia con respecto al caso A y B?

Situación 3.

- A. Suponga ahora que se deja quieto el imán de la figura 1 y que la espira conductora de la figura 1 se mueve hacia el imán verticalmente. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?
- No se mueve, ¿Por qué?
 - Se mueve (¿hacia dónde se mueve cuando se acerca y se aleja?) ¿Por qué? si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)
- B. ¿existe alguna diferencia en la situación de acercar y alejar la espira y la situación de acercar y alejar el imán?

La figura 2 se refiere a la situación 4.

Situación 4. Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 2, asuma que el campo magnético B es constante. La espira conductora puede moverse hacia arriba y hacia abajo, de tal manera que la espira en ningún momento sale de la región en donde está presente el campo magnético B . ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

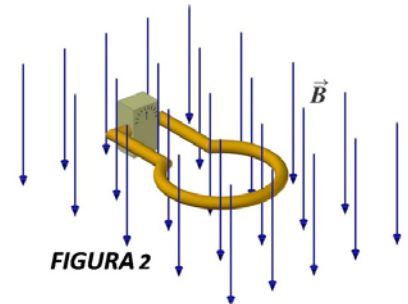


FIGURA 2

Situación 5.

A. Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 3. Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento, además se coloca un amperímetro conectado en serie con el riel conductor, permitiendo que se cierre el circuito formado por el riel conductor y la barra que se desliza sin rozamiento sobre él. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

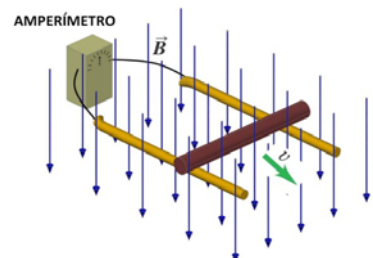


FIGURA 3

B. ¿Existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

Situación 6.

A. Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 4. Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento en la misma dirección del campo magnético externo. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:

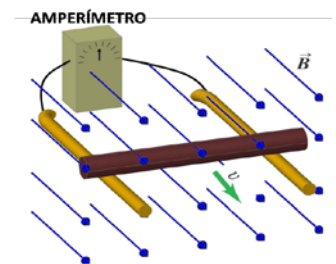


FIGURA 4

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

B. ¿Existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

Anexo 2 Tabla de Tipificaciones estudiantes de Ingeniería

Situación 1. (S1)

Situación 1. La espira conductora de la figura 1 está conectada en serie a un amperímetro (1), Suponga que ni la espira ni el imán se mueven ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde?) ¿Por qué?

1. Un amperímetro es un instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica en un circuito. Cuando la corriente fluye por el amperímetro la aguja del amperímetro se mueve, dependiendo del sentido de la corriente la aguja se moverá hacia la izquierda o la derecha y además, dependiendo de la intensidad de la corriente la aguja se moverá en un sentido en mayor o menor grado.

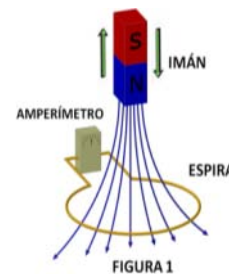


Tabla 8. Anexo, Situación 1, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 1			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve por la presencia del campo magnético del imán	4	9,52
T2	La aguja del amperímetro se mueve por la presencia de una corriente	11	26,19
T3	La aguja del amperímetro no se mueve porque no se produce corriente	5	11,90
T4	La aguja no se mueve porque el imán no se mueve, o porque ninguno de los dos (imán y espira) se mueve.	11	26,19
T5	Al encontrarse el imán y la espira muy alejados, el imán no afectará la espira y por tanto no hay corriente	4	9,52
T6	La aguja no se mueve ya que no hay cambio en el campo magnético	6	14,29
T7	La aguja no se mueve, porque para exista una fem debe existir una variación del flujo magnético y en este caso no lo hay	1	2,38

Situación 2 Pregunta A (S2-PA)

Situación 2-Pregunta A: Suponga ahora que el polo norte del imán se acerca verticalmente a la espira conductora como muestra la figura 1. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

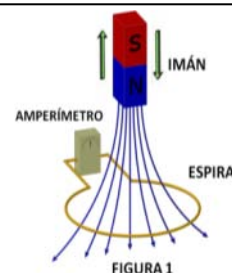


Tabla 9. Anexo, Situación 2, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA A (S2-PA)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	la aguja del amperímetro no se mueve porque el ΦB (flujo magnético) no cambia	1	2,38
T2	la aguja del amperímetro no se mueve porque la corriente va en la misma dirección del campo	2	4,76
T3	la aguja del amperímetro no se mueve porque las fuerzas del imán están en sentido opuesto	1	2,38
T4	la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay contacto con el polo sur	1	2,38
T5	la aguja del amperímetro no se mueve porque no pasa corriente por la espira	1	2,38
T6	la aguja del amperímetro se mueve hacia donde la corriente aumenta	2	4,76
T7	la aguja del amperímetro se mueve porque el imán se mueve	11	26,19
T8	la aguja del amperímetro se mueve porque hay una variación del campo magnético	6	14,29
T9	la aguja del amperímetro se mueve a favor o en contra de las manecillas del reloj	11	26,19
T10	la aguja del amperímetro se mueve porque se genera una corriente inducida	4	9,52
T11	la aguja del amperímetro se mueve porque el movimiento del imán permitirá un ΦB (flujo magnético) variable	2	4,76

Situación S2-PB

Situación 2-Pregunta B: Suponga ahora que en lugar de acercar el polo norte del imán, éste se aleja. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

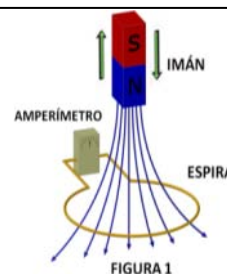


Tabla 10. Anexo, Situación 2, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA B (S2-PB)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro no se mueve porque se aleja el campo magnético	3	7,14
T2	La aguja del amperímetro vuelve al punto cero a medida que se aleja el imán	5	11,90
T3	La aguja del amperímetro no se mueve porque no hay corriente	2	4,76
T4	La aguja del amperímetro no se mueve debido a que no hay contacto con el polo sur	1	2,38
T5	La aguja del amperímetro no se mueve porque el imán ejerce fuerzas en sentido contrario	1	2,38
T6	La aguja del amperímetro se mueve pero con menor intensidad	13	30,95
T7	La aguja del amperímetro se mueve pero en sentido contrario a la situación cuando el imán se acerca	13	30,95
T8	La aguja del amperímetro se mueve por la orientación de las líneas de campo	1	2,38
T9	La aguja del amperímetro se mueve ya que varía la magnitud del campo magnético	2	4,76
T10	No sabe, no responde	1	2,38

Situación S2-PC

Situación 2-Pregunta C: ¿Qué ocurre si invertimos la polaridad del imán, es decir, si acercamos el polo sur del imán?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

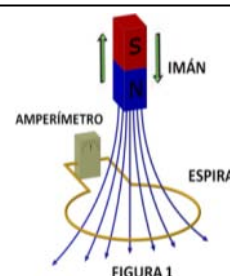


Tabla 11. Anexo, Situación 2, pregunta C, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA C (S2-PC)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay excitación en la espira	1	2,38
T2	si se invierte la polaridad del imán no hay movimiento en las manecillas porque el campo eléctrico va hacia afuera de la espira	3	7,14
T3	la aguja del amperímetro no se mueve porque las líneas de campo magnético salen del norte hacia el sur	3	7,14
T4	la aguja del amperímetro no se mueve porque no fluye corriente	5	11,90
T5	la aguja del amperímetro se mueve porque aunque cambie la dirección del campo aún proporciona corriente	1	2,38
T6	la aguja del amperímetro se mueve porque el campo magnético aumentan	5	11,90
T7	la aguja del amperímetro se mueve pero en sentido contrario a la situación (S2-PA) sin dar argumentos para esta corriente	13	30,95
T8	la aguja del amperímetro se mueve en el mismo sentido a la situación (S2-PA) sin dar argumentos para esta corriente	7	16,67
T9	la aguja del amperímetro se mueve en el mismo sentido a la situación (S2-PA) porque el flujo magnético varía.	3	7,14
T10	no sabe, no responde	1	2,38

Situación S2-PD

Situación 2-Pregunta D: de la pregunta anterior ¿Qué ocurre si alejamos el imán por el polo sur? ¿Existe alguna diferencia con respecto al caso A y B?

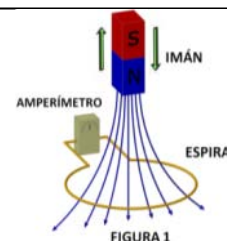


Tabla 12. Anexo, Situación 2, pregunta D, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA D (S2-PD)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	no existe diferencia con las situaciones (2S-PA) y (2S-PB), la aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección que (2S-PA) y opuesta a (2S-PB)	11	26,19
T2	no existe diferencia, con la pregunta (2S-PA) y (2S-PB) la aguja del amperímetro se mueve en la dirección opuesta a (2S-PA)	8	19,05
T3	La aguja del amperímetro no se mueve, porque el polo sur no induce un campo magnético.	1	2,38
T4	la aguja del amperímetro no se mueve porque el campo y la corriente están en la misma dirección	1	2,38
T5	No existe diferencia con la situación S2-PA, porque hay movimiento relativo entre el imán y la espira.	1	2,38
T6	en (S2-PA) y (S2-PB) hay corriente y en (S2-PC) y (S2-PD) no hay corriente	1	2,38
T7	no hay diferencia, porque el campo magnético y el flujo magnético varían	5	11,90
T8	hay diferencia con (S2-PA), porque al alejar el imán la intensidad de corriente disminuye, pero no hay diferencia con (S2-PB)	5	11,90
T9	no se mueve la aguja del amperímetro	7	16,67
T10	no sabe, no responde	2	4,76

Situación S3-PA

Situación 3-Pregunta A: Suponga ahora que se deja quieto el imán de la figura 1 y que la espira conductora de la figura 1 se mueve hacia el imán verticalmente ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve cuando se acerca y se aleja?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

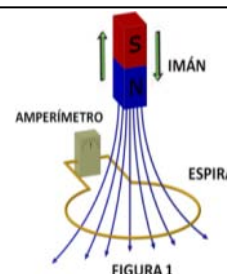


Tabla 13. Anexo, Situación 3, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 3 PREGUNTA A (S3-PA)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	la aguja del amperímetro no se mueve	4	9,52
T2	la aguja del amperímetro no se mueve porque no está conectado en serie	1	2,38
T3	la aguja del amperímetro no se mueve ya que el campo magnético se concentra al moverse el imán	1	2,38
T4	la aguja del amperímetro se mueve hacia o en contra de las manecillas del reloj	11	26,19
T5	la aguja del amperímetro se moverá al igual que en la situación en la que se acerca el imán	11	26,19
T6	la aguja del amperímetro se moverá porque se modifica el campo magnético y en mayor grado cuando se acerca	8	19,05
T7	la aguja del amperímetro se mueve porque se acerca a un campo magnético del imán que se mueve.	2	4,76
T8	la aguja del amperímetro se mueve porque debe haber una corriente inducida, debida al movimiento de la espira.	1	2,38
T9	no sabe, no responde	3	7,14

Situación S3-PB

Situación 3-Pregunta B: ¿existe alguna diferencia en la situación de acercar y alejar la espira y la situación de acercar y alejar el imán?

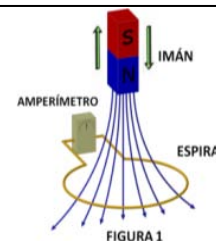


Tabla 14. Anexo, Situación 3, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 3 PREGUNTA B (S3-PB)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	Si hay diferencia, influye en la intensidad de la corriente, antes no había corriente.	1	2,38
T2	Si hay diferencia, porque ya no está conectado en serie	1	2,38
T3	Cuando se acerca o se aleja el imán hay corriente, y cuando se acerca o se aleja la espira no hay corriente	1	2,38
T4	Si hay diferencia, sin entregar argumentos a su respuesta.	3	7,14
T5	No existe diferencia porque la carga permanece constante	1	2,38
T6	No hay diferencia, no se produce ninguna inducción magnética, o no se produce una corriente	3	7,14
T7	No hay diferencia, porque hay movimiento relativo entre ellos	11	26,19
T8	No hay diferencia, se produce una corriente, pero sin dar argumentos	12	28,57
T9	No hay diferencia porque en ambas situaciones cambia la intensidad del campo magnético, o del flujo magnético	7	16,67
T10	No sabe, no responde	2	4,76

Situación S4

Situación 4: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 2, asuma que el campo magnético B es constante. La espira conductora puede moverse hacia arriba y hacia abajo, de tal manera que la espira en ningún momento sale de la región en donde está presente el campo magnético B . ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

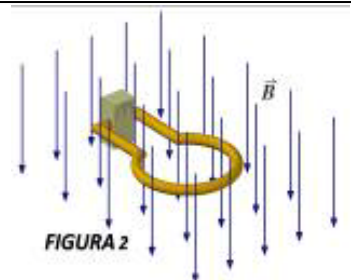
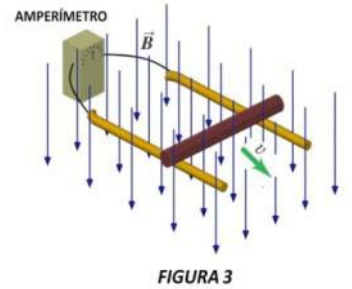


Tabla 15. Anexo, Situación 4, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACIÓN 4			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	la aguja del amperímetro se mueve porque el campo magnético le hace adquirir una corriente	4	9,52
T2	la aguja del amperímetro se mueve porque al mover la espira se genera un fluido de corriente	3	7,14
T3	la aguja del amperímetro se mueve en contra o a favor de las manecillas del reloj	8	19,05
T4	la aguja del amperímetro se mueve en la dirección en la que se mueva la espira	3	7,14
T5	la aguja del amperímetro se mueve en el mismo grado en cualquier punto del espacio	2	4,76
T6	La aguja del amperímetro no se mueve porque el campo es constante.	14	33,33
T7	La aguja del amperímetro no se mueve porque no hay ningún tipo de corriente.	1	2,38
T8	La aguja del amperímetro no se mueve porque la corriente es la misma.	2	4,76
T09	La aguja del amperímetro no se mueve porque al ir sólo en el plano j no atraviesa ningún campo eléctrico.	2	4,76
T10	No sabe, no contesta.	3	7,14

Situación S5 PA

Situación 5 pregunta A: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 3, Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento, además se coloca un amperímetro conectado en serie con el riel conductor, permitiendo que se cierre el circuito formado por el riel conductor y la barra que se desliza sin rozamiento sobre él. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:



- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

Tabla 16. Anexo, Situación 5, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACION 5 PREGUNTA A (S5-PA)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	la aguja del amperímetro no se mueve porque el campo es perpendicular a la barra	2	4,76
T2	la aguja del amperímetro no se mueve	3	7,14
T3	la aguja del amperímetro no se mueve porque la barra cierra el circuito y el campo magnético es constante	3	7,14
T4	la aguja del amperímetro no se mueve hasta que la barra caiga y se abra el circuito	1	2,38
T5	la aguja del amperímetro no se mueve, la barra se convierte en un dipolo eléctrico.	1	2,38
T6	la aguja del amperímetro se mueve porque disminuye la intensidad de la corriente	4	9,52
T7	La aguja del amperímetro se mueve porque se forma un circuito cerrado y el campo magnético le proporciona una corriente.	4	9,52
T8	la aguja del amperímetro se mueve ya que la velocidad de la barra indica un movimiento de cargas y por tanto una corriente debido al campo eléctrico	2	4,76
T9	la aguja del amperímetro se mueve se mueve a favor o en contra de las manecillas del reloj	15	35,71
T10	la aguja del amperímetro se mueve en el sentido que se mueva la barra	2	4,76
T11	La aguja del amperímetro se mueve porque se varía el área y eso permite una variación del flujo magnético.	1	2,38
T12	no sabe, no contesta	4	9,52

Situación S5 PB

Situación 5 pregunta B: ¿existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

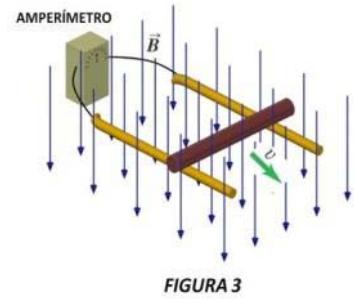


Tabla 17. Anexo, Situación 5, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACION 5 PREGUNTA B (S5-PB)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	no existe diferencia, la corriente va en el mismos sentido que la situación S5-PA.	12	28,57
T2	como no hay campo variable no hay corriente	1	2,38
T3	no hay diferencia, porque el circuito forma un ángulo de 90° con respecto al campo magnético	1	2,38
T4	no hay diferencia, igual cambia el área y el ángulo, obteniendo un flujo variable en el tiempo	1	2,38
T5	se moverá en sentido contrario	16	38,10
T6	si existe diferencia, ya que al haber rozamiento, crea una fuerza que afecta al campo magnético y por ende a la aguja del amperímetro	1	2,38
T7	la aguja se moverá con menos intensidad	2	4,76
T8	aumenta la intensidad de la corriente	2	4,76
T9	si hay diferencia	2	4,76
T10	no sabe no responde	4	9,52

Situación S6 PA

Situación 6 pregunta A: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 4. Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento en la misma dirección del campo magnético externo. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

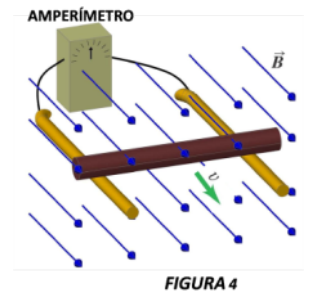


Tabla 18. Anexo, Situación 6, pregunta A, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACION 6 PREGUNTA A (S6 PA)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se moverá hacia o en contra de las manecillas del reloj	7	16,67
T2	La aguja del amperímetro se moverá por la presencia del campo eléctrico y una corriente.	1	2,38
T3	La aguja del amperímetro se mueve en el sentido de las manecillas del reloj porque está actuando un campo magnético.	1	2,38
T4	La aguja del amperímetro no se mueve porque la velocidad tiene la misma dirección del campo magnético.	13	30,95
T5	La aguja del amperímetro no se mueve porque el campo sigue siendo perpendicular a la barra.	1	2,38
T6	La aguja del amperímetro no se moverá hasta que la barra caiga y se abra el circuito.	1	2,38
T7	La aguja del amperímetro no se mueve porque el campo magnético es paralelo a la dirección de la corriente.	2	4,76
T8	La aguja del amperímetro no se mueve.	8	19,05
T9	La aguja del amperímetro no se mueve porque el campo magnético es constante.	2	4,76
T10	No sabe no responde	6	14,29

Situación S6 PB

Situación 6 pregunta B: ¿Existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

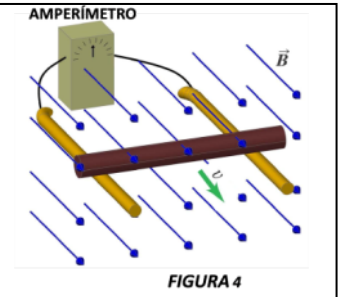


Tabla 19. Anexo, Situación 6, pregunta B, Estudiantes de Ingeniería, curso: Física II.

SITUACION 6 PREGUNTA B (S6-PB)			
POBLACIÓN 42 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	Si hay diferencia, se puede cambiar el comportamiento del amperímetro.	3	7,14
T2	Si hay diferencia, la aguja se movería en sentido contrario.	4	9,52
T3	Si hay diferencia, el campo magnético no es el mismo en todos los puntos de la barra.	1	2,38
T4	No hay diferencia. No se mueve la aguja del amperímetro.	8	19,05
T5	No hay diferencia la aguja del amperímetro se mueve por la presencia de una fem y de una corriente.	1	2,38
T6	No hay diferencia. La aguja del amperímetro se mueve.	2	4,76
T7	No existe diferencia ya que depende de la dirección del campo magnético.	4	9,52
T8	No existe diferencia porque la barra se mueve de manera paralela al campo magnético y por tanto, no hay corriente.	9	21,43
T9	No hay diferencia porque no atraviesa ningún campo eléctrico.	1	2,38
T10	No hay diferencia porque no hay un campo magnético variable.	1	2,38
T11	No sabe, no responde.	8	19,05

Anexo 3 Tabla de Tipificaciones estudiantes de Física (T.E, I)

Situación 1. (S1)

Situación 1. La espira conductora de la figura 1 está conectada en serie a un amperímetro (1), Suponga que ni la espira ni el imán se mueven ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde?) ¿Por qué?

1. Un amperímetro es un instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica en un circuito. Cuando la corriente fluye por el amperímetro la aguja del amperímetro se mueve, dependiendo del sentido de la corriente la aguja se moverá hacia la izquierda o la derecha y además, dependiendo de la intensidad de la corriente la aguja se moverá en un sentido en mayor o menor grado.

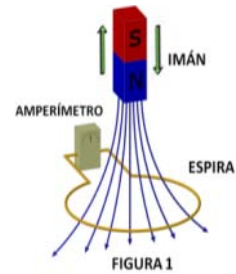


Tabla 20. Anexo, Situación 1, Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 1			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve, se tiene una corriente que está siendo afectada por un campo magnético.	1	12,50%
T2	La aguja del amperímetro no se mueve porque no hay movimiento del imán ni de la espira.	4	50,00%
T3	La aguja del amperímetro no se mueve, porque las líneas de campo que atraviesan la espira no cambian no hay flujo de campo B en la superficie encerrada por la espira.	2	25,00%
T4	La aguja del amperímetro no se mueve, porque la corriente inducida es debida a campos magnéticos variables, y como ni el imán ni la espira se mueven el campo magnético es constante.	1	12,50%

Situación 2 Pregunta A (S2-PA)

Situación 2-Pregunta A: Suponga ahora que el polo norte del imán se acerca verticalmente a la espira conductora como muestra la figura 1. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

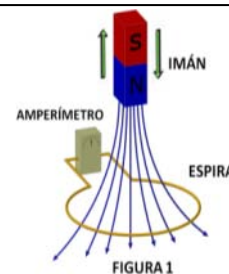


Tabla 21. Anexo, Situación 2, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA A (S2-PA)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve, a favor o en contra de las manecillas del reloj, porque el campo magnético induce una corriente.	5	62,50%
T2	La aguja del amperímetro se mueve y dependiendo de qué polo se acerque el amperímetro señalará hacia donde la velocidad ha sido cambiada de dirección.	1	12,50%
T3	La aguja del amperímetro se mueve en favor o en contra de las manecillas del reloj porque hay un cambio en el flujo magnético, que pasa por la espira	2	25,00%

Situación S2-PB

Situación 2-Pregunta B: Suponga ahora que en lugar de acercar el polo norte del imán, éste se aleja. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

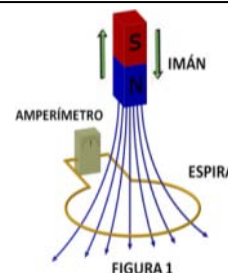


Tabla 22. Anexo, Situación 2, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA B (S2-PB)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve en dirección contraria a la situación S2-PA, por la presencia del campo magnético cuando el imán se mueve.	3	37,50%
T2	Al alejarse el imán de la espira conductora se induce una corriente menos intensa que al acercar el imán, con igual dirección o dirección contraria a la situación S2-PA	3	37,50%
T3	La aguja del amperímetro se mueve en dirección contraria a la situación S2-PA, debido a la variación de flujo magnético.	2	25,00%

Situación S2-PC

Situación 2-Pregunta C: ¿Qué ocurre si invertimos la polaridad del imán, es decir, si acercamos el polo sur del imán?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

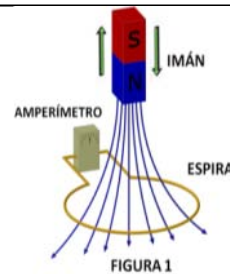


Tabla 23. Anexo, Situación 2, Pregunta C. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA C (S2-PC)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se moverá igual que la situación 2B, por la presencia de un campo magnético del imán que se mueve.	4	50,00%
T2	La aguja del amperímetro se mueve por el movimiento del imán, pero la dirección de la corriente es contraria a la situación 2B	1	12,50%
T3	La aguja del amperímetro se mueve contraria a la situación 2A y 2B, teniendo en cuenta la regla de la mano derecha.	1	12,50%
T4	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección que en la situación 2A, por la variación del flujo magnético.	2	25,00%

Situación S2-PD

Situación 2-Pregunta D: de la pregunta anterior ¿Qué ocurre si alejamos el imán por el polo sur? ¿Existe alguna diferencia con respecto al caso A y B?

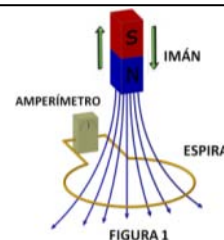


Tabla 24. Anexo, Situación 2, Pregunta D. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA D (S2-PD)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección que en la situación S2-PA, por la presencia de un campo magnético del imán que se mueve.	3	37,50%
T2	La aguja del amperímetro se mueve, pero la dirección de la corriente es opuesta a la situación S2 preguntas PA y PB, por la regla de la mano derecha	1	12,50%
T3	Ocurrirá lo mismo que la situación S2-PB, debido a la variación de flujo magnético.	2	25,00%
T4	La aguja del amperímetro se mueve, la única diferencia es el sentido del campo magnético y su inducción es débil	2	25,00%

Situación S3-PA

Situación 3-Pregunta A: Suponga ahora que se deja quieto el imán de la figura 1 y que la espira conductora de la figura 1 se mueve hacia el imán verticalmente ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve cuando se acerca y se aleja?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

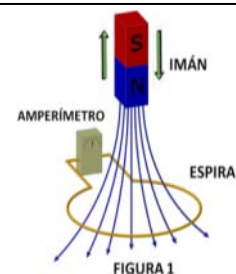


Tabla 25. Anexo, Situación 3, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 3 PREGUNTA A (S3-PA)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección de la situación S2-PA, o contrario, debido a la presencia de un campo magnético.	3	37,50%
T2	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección de la situación S2-PA y contraria a S2-PB, debido a la presencia de un campo magnético del imán que se mueve.	3	37,50%
T3	Sucede lo mismo que en la situación S2-PA, debido a la variación de flujo magnético.	2	25,00%

Situación S3-PB

Situación 3-Pregunta B: ¿existe alguna diferencia en la situación de acercar y alejar la espira y la situación de acercar y alejar el imán?

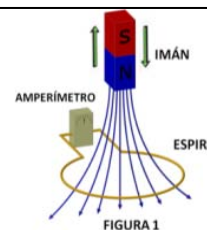


Tabla 26. Anexo, Situación 3, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 3 PREGUNTA B (S3-PB)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	No existe diferencia, porque la aguja del amperímetro se mueve en la dirección opuesta a la de la situación S3-PA, debido a la presencia de un campo magnético.	3	37,50%
T2	No hay diferencia, la aguja del amperímetro se mueve en la dirección contraria a la situación S3-PA, debido a la presencia de un campo magnético del imán que se mueve.	3	37,50%
T3	No existe diferencia, sucede lo mismo que en la situación S3-PA, debido a la variación de flujo magnético, pero la dirección es contraria	2	25,00%

Situación S4

Situación 4: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 2, asuma que el campo magnético B es constante. La espira conductora puede moverse hacia arriba y hacia abajo, de tal manera que la espira en ningún momento sale de la región en donde está presente el campo magnético B . ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

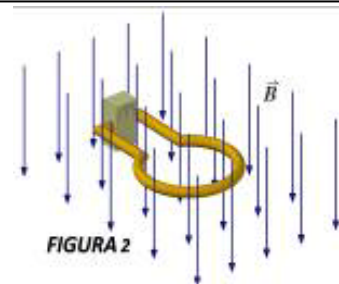
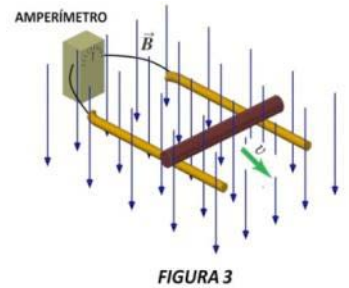


Tabla 27. Anexo, Situación 4. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACIÓN 4			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve ya que el campo magnético siempre inducirá una corriente.	5	62,50%
T2	Debido a que el campo magnético es constante el sistema estará en equilibrio, por tanto la aguja del amperímetro no se mueve.	1	12,50%
T3	La aguja del amperímetro no se mueve, porque no hay flujo neto de campo magnético.	2	25,00%

Situación S5 PA

Situación 5 pregunta A: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 3, Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento, además se coloca un amperímetro conectado en serie con el riel conductor, permitiendo que se cierre el circuito formado por el riel conductor y la barra que se desliza sin rozamiento sobre él. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:



- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

Tabla 28. Anexo, Situación 5, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACION 5 PREGUNTA A (S5-PA)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La barra estará generando una corriente constante en el sistema, y como el campo también es constante, la aguja del amperímetro no se mueve.	1	12,50%
T2	La aguja del amperímetro se mueve porque hay corriente en la espira.	3	37,50%
T3	La aguja del amperímetro se mueve pero en este caso aumenta su resistencia por tanto es poca la conducción de corriente.	1	12,50%
T4	Se induce una corriente a favor o en contra de las manecillas del reloj, porque hay una variación del flujo magnético.	2	25,00%
T5	no sabe no responde	1	12,50%

Situación S5 PB

Situación 5 pregunta B: ¿existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

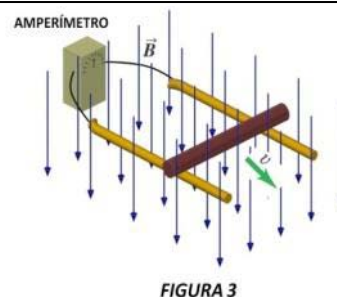


FIGURA 3

Tabla 29. Anexo, Situación 5, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACION 5 PREGUNTA B (S5-PB)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve ya que la distancia en el sistema varia y esta varía el campo.	1	12,50%
T2	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección o contraria a la situación S5-PA, por la presencia del campo magnético.	3	37,50%
T3	La aguja del amperímetro se mueve, porque disminuye su resistencia teniendo más inducción producido por el campo magnético constante.	1	12,50%
T4	Si hay diferencia en la dirección de la corriente inducida debido a la variación de flujo magnético, porque la barra viaja en el otro sentido	2	25,00%
T5	No sabe no responde	1	12,50%

Situación S6 PA

Situación 6 pregunta A: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 4. Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento en la misma dirección del campo magnético externo. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

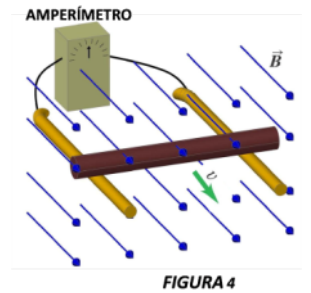


Tabla 30. Anexo, Situación 6, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACION 6 PREGUNTA A (S6 PA)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro no se mueve porque no hay inducción de corriente en el sistema	2	25,00%
T2	La aguja del amperímetro no se mueve porque el campo magnético esta en dirección paralela a la barra	2	25,00%
T3	La aguja del amperímetro no se mueve porque el campo magnético es paralelo al eléctrico.	1	12,50%
T4	No se mueve porque el campo magnético, es paralelo a la velocidad de la barra, es decir, no existe flujo de campo magnético en la espira	2	25,00%
T5	No sabe no responde	1	12,50%

Situación S6 PB

Situación 6 pregunta B: ¿Existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

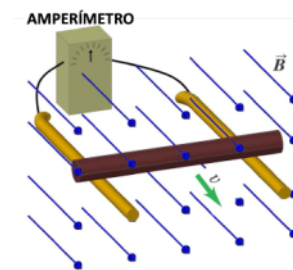


FIGURA 4

Tabla 31. Anexo, Situación 6, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, I.

SITUACION 6 PREGUNTA B (S6-PB)			
POBLACIÓN 8 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	No existe diferencia, la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay inducción de corriente en el sistema.	2	25,00%
T2	Existe diferencia porque el campo magnético es paralelo a la barra, entonces no se induce corriente.	2	25,00%
T3	No hay diferencia porque el campo no está afectando su dirección (el campo magnético es paralelo al eléctrico)	1	12,50%
T4	No existe diferencia no se induce corriente en la espira porque el flujo de campo magnético es cero.	2	25,00%
T5	No sabe no responde	1	12,50%

Anexo 4. Tabla de Tipificaciones estudiantes de Física (T.E, II)

Situación 1. (S1)

Situación 1. La espira conductora de la figura 1 está conectada en serie a un amperímetro (1), Suponga que ni la espira ni el imán se mueven
¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde?) ¿Por qué?

1. Un amperímetro es un instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica en un circuito. Cuando la corriente fluye por el amperímetro la aguja del amperímetro se mueve, dependiendo del sentido de la corriente la aguja se moverá hacia la izquierda o la derecha y además, dependiendo de la intensidad de la corriente la aguja se moverá en un sentido en mayor o menor grado.

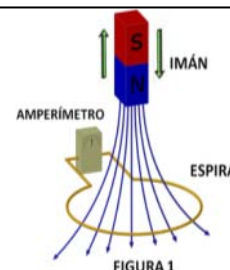


Tabla 32. Anexo, Situación 1. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 1			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve por la presencia del campo magnético que hace circular una corriente en la espira	2	28,57%
T2	La aguja del amperímetro no se mueve porque la aguja no está cerca del imán además no hay un sistema que proporcione una corriente a la espira.	1	14,29%
T3	La aguja del amperímetro no se mueve porque el campo magnético no induce una corriente	1	14,29%
T4	la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay variación del flujo magnético a través del área de la espira, de acuerdo a la ley de inducción de Faraday	3	42,86%

Situación 2 Pregunta A (S2-PA)

Situación 2-Pregunta A: Suponga ahora que el polo norte del imán se acerca verticalmente a la espira conductora como muestra la figura 1. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

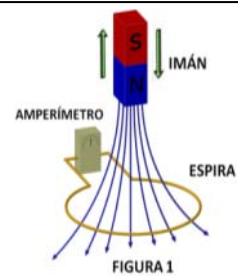


Tabla 33. Anexo, Situación 2, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA A (S2-PA)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	la aguja del amperímetro se mueve porque hay un aumento en la corriente inducida en la espira, la dirección será hacia o en contra de las manecillas del reloj.	3	42,86%
T2	la aguja del amperímetro se mueve hacia o en contra de las manecillas del reloj porque el campo magnético del imán varía cuando se mueve	2	28,57%
T3	la aguja del amperímetro se mueve a favor o en contra de las manecillas del reloj porque existe una variación del flujo magnético a través de la espira, dada por la ley de inducción de Faraday	2	28,57%

Situación S2-PB

Situación 2-Pregunta B: Suponga ahora que en lugar de acercar el polo norte del imán, éste se aleja. ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

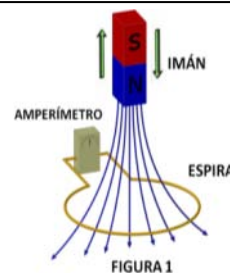


Tabla 34. Anexo, Situación 2, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA B (S2-PB)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro mostrará un descenso en la intensidad de la corriente, moviéndose en la misma dirección o contraria a la situación S2-PA.	3	42,85%
T2	La aguja del amperímetro se mueve en el mismo sentido o contrario a la situación S2-PA, porque el campo magnético cambia mientras este se mueve hacia arriba	2	28,57%
T3	La aguja del amperímetro se mueve en sentido contrario a la situación S2-PA, porque el flujo magnético que pasa a través de la espira está cambiando	2	28,57%

Situación S2-PC

Situación 2-Pregunta C: ¿Qué ocurre si invertimos la polaridad del imán, es decir, si acercamos el polo sur del imán?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

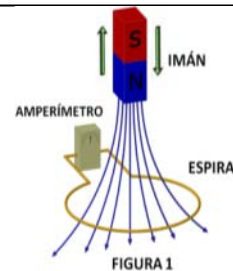


Tabla 35. Anexo, Situación 2, Pregunta C. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA C (S2-PC)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve en el mismo sentido que S2-PA por la presencia de un campo magnético.	3	42,85%
T2	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección, o contraria que en la situación S2-PA, teniendo en cuenta la variación de campo magnético.	2	28,57%
T3	La aguja del amperímetro se mueve en dirección contraria a la situación S2-PA, o en la misma dirección, teniendo en cuenta el cambio de flujo magnético.	2	28,57%

Situación S2-PD

Situación 2-Pregunta D: de la pregunta anterior ¿Qué ocurre si alejamos el imán por el polo sur? ¿Existe alguna diferencia con respecto al caso A y B?

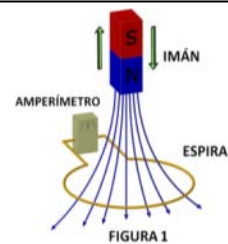


Tabla 36. Anexo, Situación 2, Pregunta D. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 2 PREGUNTA D (S2-PD)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	No hay diferencia, ya que al acercar el polo sur o el polo norte a la espira da los mismos resultados, pero es diferente al alejar el polo sur o norte.	3	42,85%
T2	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección, o contraría a la situación S2-PB, teniendo en cuenta la variación de campo magnético.	2	28,57%
T3	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección que en la situación S2-PB, o en su dirección opuesta teniendo en cuenta la variación de flujo magnético.	2	28,57%

Situación S3-PA

Situación 3-Pregunta A: Suponga ahora que se deja quieto el imán de la figura 1 y que la espira conductora de la figura 1 se mueve hacia el imán verticalmente ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve cuando se acerca y se aleja?) ¿Por qué? Si se mueve indicar cuál sería el sentido de la corriente (en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario a las manecillas del reloj)

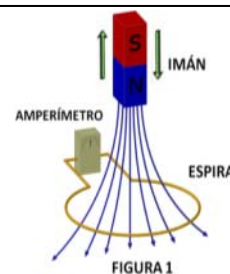


Tabla 37. Anexo, Situación 3, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 3 PREGUNTA A (S3-PA)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
Código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se mueve en la misma dirección que en la situación S2-PA, teniendo en cuenta la presencia de un campo magnético.	3	42,86%
T2	Si se acerca o aleja el imán es equivalente a acercar o alejar la espira, teniendo en cuenta la presencia de un campo magnético variable.	2	28,57%
T3	Si se acerca o aleja el imán es equivalente a acercar o alejar la espira, teniendo en cuenta una variación del flujo magnético.	2	28,57%

Situación S3-PB

Situación 3-Pregunta B: ¿existe alguna diferencia en la situación de acercar y alejar la espira y la situación de acercar y alejar el imán?

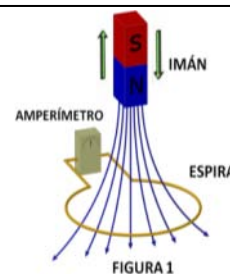


Tabla 38. Anexo, Situación 3, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 3 PREGUNTA B (S3-PB)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	No existe diferencia entre acercar o alejar el imán o acercar o alejar la espira, por la presencia del campo magnético.	3	42,86%
T2	No existe diferencia entre acercar o alejar el imán o acercar o alejar la espira porque el campo magnético varía.	2	28,57%
T3	Si existe diferencia ya que la variación de flujo magnético cambia de polaridad	1	14,29%
T4	No existe diferencia ya que la variación de flujo magnético es la misma.	1	14,29%

Situación S4

Situación 4: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 2, asuma que el campo magnético B es constante. La espira conductora puede moverse hacia arriba y hacia abajo, de tal manera que la espira en ningún momento sale de la región en donde está presente el campo magnético B . ¿Qué sucede con la aguja del amperímetro?

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

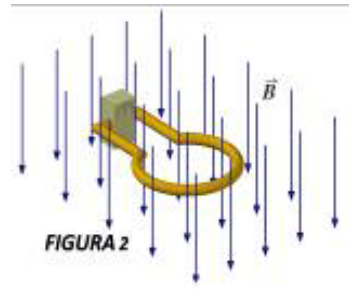


Tabla 39. Anexo, Situación 4. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACIÓN 4			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro se moverá dependiendo de la magnitud o dirección del campo magnético que atraviesa la espira.	2	28,57%
T2	Si la espira se mueve en la dirección del campo magnético, la corriente inducida se moverá a favor o en contra de las manecillas del reloj por la variación del campo, o del flujo magnético.	3	42,86%
T3	La aguja del amperímetro sólo se mueve si el campo magnético varía, por tanto no existe corriente en esta situación.	1	14,29%
T4	La aguja del amperímetro no se mueve, porque la espira se mueve en la dirección vertical, y por tanto no cambia el flujo magnético.	1	14,29%

Situación S5 PA

Situación 5 pregunta A: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 3, Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento, además se coloca un amperímetro conectado en serie con el riel conductor, permitiendo que se cierre el circuito formado por el riel conductor y la barra que se desliza sin rozamiento sobre él. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:

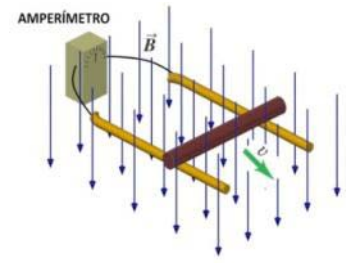


FIGURA 3

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

Tabla 40. Anexo, Situación 5, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACION 5 PREGUNTA A (S5-PA)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro no se mueve porque, sin rozamiento las partículas no interactúan para cerrar el circuito.	1	14,29%
T2	La aguja del amperímetro se moverá ya que la barra permite la conducción de corriente	1	14,29%
T3	La aguja del amperímetro se mueve a favor o en contra de las manecillas del reloj porque hay un aumento del flujo magnético al aumentar el área de la espira	3	42,86%
T4	La aguja del amperímetro se mueve porque al moverse la barra con una velocidad perpendicular al campo magnético, produce un campo eléctrico perpendicular al campo magnético y a la velocidad.	2	28,57%

Situación S5 PB

Situación 5 pregunta B: ¿existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

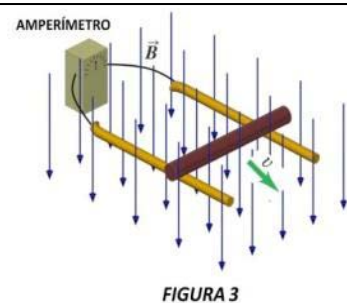


Tabla 41. Anexo, Situación 5, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACION 5 PREGUNTA B (S5-PB)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	No hay diferencia, porque sin rozamiento las partículas no interactúan para cerrar el circuito.	1	14,29%
T2	Si existe diferencia porque esta barra es la que permite la conducción, si se mueve hacia el otro sentido, disminuye el paso de corriente.	2	28,57%
T3	Si hay diferencia, el sentido cambia, pero la corriente aparece porque al moverse la barra con una velocidad perpendicular al campo magnético, produce un campo eléctrico perpendicular al campo magnético y a la velocidad.	1	14,29%
T4	Si hay diferencia, la corriente va en dirección contraria a la situación S5-PA, porque el área va disminuyendo y por tanto el flujo magnético.	3	42,86%

Situación S6 PA

Situación 6 pregunta A: Suponga ahora un montaje experimental como se aprecia en la figura 4. Tenga en cuenta que la barra conductora se desliza con velocidad constante sobre un riel conductor sin rozamiento en la misma dirección del campo magnético externo. ¿Qué sucedería con la aguja del amperímetro?:

- No se mueve, ¿Por qué?
- Se mueve (¿hacia dónde se mueve?) ¿Por qué?

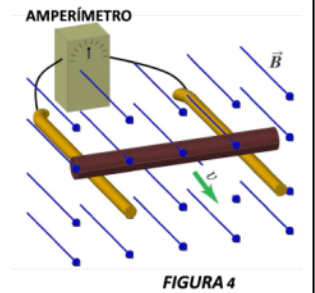


Tabla 42. Anexo, Situación 6, Pregunta A. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACION 6 PREGUNTA A (S6 PA)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	La aguja del amperímetro no se mueve porque no hay rozamiento para que cree un flujo de corriente	1	14,29%
T2	La aguja del amperímetro no se mueve porque para producir corriente se necesita que el campo magnético y la espira sean perpendiculares para producir corriente	2	28,57%
T3	No se produce corriente porque la velocidad y el campo magnético son paralelos	2	28,57%
T4	No hay corriente en la espira porque no hay variación del flujo magnético.	2	28,57%

Situación S6 PB

Situación 6 pregunta B: ¿Existe alguna diferencia si la barra conductora que se puede mover sin rozamiento lo hace en la otra dirección?

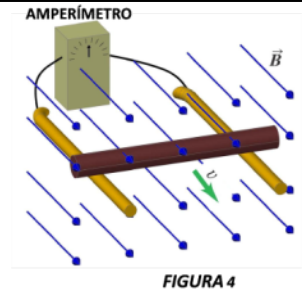


Tabla 43. Anexo, Situación 6, Pregunta B. Estudiantes de Física, curso: T.E, II.

SITUACION 6 PREGUNTA B (S6-PB)			
POBLACIÓN 7 ESTUDIANTES			
código	TIPOS DE RESPUESTA	NÚMERO DE RESPUESTAS	Porcentaje (%)
T1	No existe diferencia, la aguja del amperímetro no se mueve porque no hay rozamiento para que cree un flujo de corriente.	1	14,29%
T2	No hay diferencia porque el campo magnético no es perpendicular a la espira y por tanto no se produce corriente.	2	28,57%
T3	No hay diferencia, no se produce corriente porque la velocidad y el campo magnético son paralelos.	1	14,29%
T4	No hay diferencia, no hay corriente en la espira porque no hay variación del flujo magnético.	2	28,57%
T5	Si hay diferencia, porque si la barra se mueve en la otra dirección se creara un campo eléctrico E a medida que una de las componentes de v se acerque perpendicularmente a B y aumente su magnitud respecto a la componente paralela a B.	1	14,29%