

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

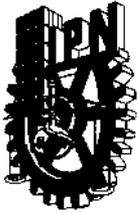
CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 29 del mes abril del año 2011, el (la) que suscribe Manuel Sandoval Martínez alumno (a) del Programa de Doctorado en Ciencias en Física Educativa con número de registro A080680, adscrito a CICATA Legaria, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. César Eduardo Mora Ley y cede los derechos del trabajo intitulado “Aprendizaje Activo del campo eléctrico en estudiantes de Ingeniería”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección manuelandoval804@gmail.com, cmoral@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Manuel Sandoval Martínez

Nombre y firma



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F. siendo las 11:00 horas del día 29 del mes de abril del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA Legaria para examinar la tesis titulada:

"Aprendizaje activo del Campo Eléctrico en estudiantes de Ingeniería"

Presentada por el alumno:

Sandoval
Apellido paterno

Martínez
Apellido materno

Manuel
Nombre(s)

Con registro:

A	0	8	0	6	8	0
---	---	---	---	---	---	---

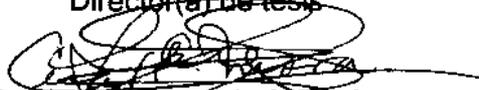
aspirante de:

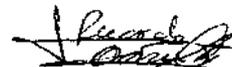
Doctorado en Ciencias en Física Educativa

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis


Dr. César Eduardo Mora Ley


Dr. Ricardo García Salcedo


Dr. Apolo Castañeda Alonso


Dr. Daniel Sánchez Guzmán


Dr. Mario Humberto Ramírez Díaz

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. José Antonio Irán Díaz Góngora



CICATA IPN

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y
Tecnología Avanzada**

**“APRENDIZAJE ACTIVO DEL CAMPO
ELÉCTRICO EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE DOCTOR EN CIENCIAS
EN FÍSICA EDUCATIVA

P R E S E N T A :
MANUEL SANDOVAL MARTÍNEZ

Director: Dr. César Eduardo Mora Ley

México, D. F., a Marzo de 2011



AGRADECIMIENTOS

A mi esposa: Claudia, por su valioso apoyo moral y espiritual para animarme a continuar con mi proyecto doctoral.

A mis hijos: Jorge y Cristina, por ser una de mis mayores inspiraciones para seguir superándome en esta fase de mi vida.

A mi madre y hermanos por su apoyo incondicional animarme a seguir estudiando.

Agradezco a CICATA Legaria del Instituto Politécnico Nacional por la oportunidad de realizar mi doctorado.

Al Dr. César Eduardo Mora Ley por comportarse como asesor y amigo durante el desarrollo de esta tesis y a sus invaluable consejos para mejorar mis reportes.

Gracias a todos los estudiantes de ingeniería que participaron en la aplicación de esta secuencia de aprendizaje activo de la Física.

Al Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco por las facilidades otorgadas para realizar satisfactoriamente este proyecto.

DEDICATORIA

A toda mi familia por su gran apoyo y amor

RESUMEN

Se presenta una propuesta metodológica basada en la Enseñanza Activa de la Física dentro de la estrategia denominada Física por Indagación, la cual está diseñada para promover el aprendizaje colaborativo en los estudiantes de ingenierías o ciencias. Se muestra una secuencia didáctica de 10 Actividades para el Aprendizaje del Campo Eléctrico (AECE), las cuales presentan diferentes niveles de abstracción para desarrollar mayores habilidades en sus razonamientos sobre fenómenos electrostáticos básicos. Con estas actividades se pretende inducir a la mejora de la comprensión del concepto de campo eléctrico y su relación con la fuerza eléctrica que puede provocar sobre una partícula cargada. Se incluyen también dos prácticas ilustrativas de laboratorio las cuales tienen como objetivo determinar de manera cualitativa la magnitud y dirección que puede tener un campo eléctrico dentro de un par de placas paralelas (capacitor). El análisis de las respuestas a las actividades mencionadas muestra que la madurez en el razonamiento de los estudiantes fue aumentando de manera progresiva, ya que durante las primeras actividades los conceptos los manejaban de una manera muy intuitiva, sin embargo al continuar con esta secuencia pedagógica las respuestas presentaban (en la mayoría de los casos) una mejor forma de utilizar los conceptos para responder las actividades. Se observó también que en estos estudiantes se incrementó la participación colectiva en los equipos de trabajo, lo cual permitió compartir y mejorar sus razonamientos. Dichas actividades fueron aplicadas a estudiantes de ingenierías que cursaban el tercer semestre de sus respectivas carreras, tomando un grupo experimental y cinco grupos conformaron el grupo de control.

El análisis de los datos se realizó empleando la herramienta llamada factor de concentración, la cual permite obtener un análisis más detallado de los tipos de modelos mentales que tienen los estudiantes al iniciar un curso y puede mostrar, también, los avances alcanzados en el razonamiento de los estudiantes al finalizar la instrucción. Esta herramienta permite obtener un gráfico que se divide en cuatro regiones efectivas, las cuales son catalogadas dependiendo del puntaje alcanzado tanto en el score de cada pregunta como el valor obtenido con el factor de concentración, permite distinguir claramente el cambio en los modelos mentales de los estudiantes por cada pregunta del test. Los resultados muestran un avance considerable en los estudiantes que participaron en el grupo experimental ya que al inicio del curso el 75% de tipos de respuestas aparecen en la zona aleatoria, 15% en la zona de dos modelos incorrectos y 10% en la zona de un modelo correcto; al finalizar la instrucción los tipos de respuestas en la zona aleatoria disminuye a 50%, la zona de dos modelos incorrectos aumenta 10%, la zona de un modelo correcto aumenta 20% y la zona de un modelo correcto aumenta 5%, lo cual representa avances significativos. Por otro lado, los estudiantes del grupo de control prácticamente no presentan ningún avance significativo ya que todas sus respuestas caen en la zona aleatoria antes y después de la instrucción. La ganancia obtenida en el grupo de control fue de 0.7% y la ganancia en el grupo experimental fue de 10.46%.

ABSTRACT

We show a methodological proposal based on Active Learning Physics supported by Physics by Inquiry methodology, which is designed to promote collaborative learning in engineering or science students. We exhibit a sequence didactic with 10 activities named Learning Activities for Electric Field, which have different abstraction level in order to improve skills in their reasoning about basic electrostatic phenomena. These activities pretend enhancement the comprehension about electric field concept and its relationship with electric force caused on a particle charge. We included two lab workshops whose objectives are determined length and direction of electric field qualitatively between two parallel plates (capacitor). Analysis response of activities mentioned show that maturities in students' reasoning was increasing progressively because during the first activities students used intuitively way concepts, however with these activities students' responses (most of them) exhibit a better way to use the concept mentioned. We observed too, on these students collective participation improve in their team, which allow share and improve their reasoning. The activities were applied to engineering students who's were enrolled in Electricity and Magnetism course; our experimental group had 30 students and our control group had 205 students.

For analysis data we used concentration factor tool, which allow obtain an analysis with more detail in mental models that students have starting the course and can show advances reach in their reasoning at the end of instruction. This tool allow obtain a plot with four regions, which labeled depending score and concentration factor reach in each questions, and allow view students mental models changes in each questions. Results show significant advances in experimental group because at beginning of the course 75% of pattern response appear on random zone, 15% on two model zone (incorrect) and 10% on two model zone (one correct and one incorrect); at the end of instruction pattern response on random zone decreases 25%, two model zone (incorrect) increases 10%, two model zone (one correct and one incorrect) increase 20% and we have 5% in high zone (one model correct); this is an significant advance. In other hand, control group students had not significant advance because their pattern responses appear on random zone before and after instruction. Control group gain was 0.7% and experimental group gain was 10.46%.

Tabla de contenido

Capítulo I. Introducción	6
Preguntas de Investigación.....	7
Hipótesis.....	8
Descripción de la Población	9
Capítulo II. Bases de Estrategias de Enseñanza	12
Teoría cognitiva de Piaget y Bruner.....	12
Primitivas y Facetas	13
Competencia conceptual	13
Aprendizaje Colaborativo	14
Las Investigaciones en E y M	16
Instrumentos de medición	18
Dificultades de aprendizaje en E y M.	20
Física por Indagación	23
Capítulo III. El Factor de Concentración	26
Modelo cognitivo	26
Memoria a corto plazo.....	27
Memoria a largo plazo.....	27
Recursos cognitivos.....	28
Medidas del modelo mental	28
Definición de modelos estudiantiles	28
Modelo Físico.....	29
Estado del Modelo Estudiantil	29
Ejemplos de Modelos Físicos.....	30
Clasificación de las preguntas del test.....	30
Grupo Ley de Coulomb.....	31
Grupo Fuerza Eléctrica y Campo Eléctrico.....	33
El Factor de Concentración	33
Fundamentos Matemáticos.....	34
Patrón de Respuestas	35
Gráfico de S vs C	37

Región permita dentro del gráfico.....	37
La utilidad del factor de concentración para la Instrucción y la Evaluación.....	39
Implicaciones para el diseño de los exámenes	39
Capítulo IV. Análisis de las Respuestas de los Estudiantes a AECE	40
Actividad 1	40
Actividad 2.....	41
Actividad 3	42
Actividad 4.....	43
Análisis de los resultados obtenidos de la práctica.	45
Actividad 5.....	48
Actividad 6.....	50
Actividad 7.....	50
Actividad 8.....	52
Actividad 9.....	54
Actividad 10.....	55
Capítulo V. Análisis de los resultados del test utilizando el factor de concentración.....	61
Análisis de las respuestas al test CSE.	62
Análisis de datos del grupo de control.	62
Análisis del grupo experimental.....	65
Análisis de los cambios en los modelos de los estudiantes entre ambos grupos de estudio.	68
Análisis por clasificación de las preguntas.....	70
Prueba de hipótesis.....	77
Respuestas a las preguntas de investigación	78
Capítulo VI. Conclusiones y Trabajos a Futuro	80
Conclusiones	80
Trabajos a futuro.	82
Bibliografía	84
Anexos.....	89
Anexo A1.	89
Encuesta Conceptual en Electricidad	89
Anexo A2.	95
Anexo A3 (Primera Versión AECE).....	96

Anexo A4	100
Definición de Modelos para cada pregunta del Test.	100
Anexo A5.	108
Anexo A6	109
Anexo A 7	110
Nueva Versión de AECE.....	110
Anexo A8.	120

Lista de Tablas y figuras.

Figura 1.1 Representación gráfica de las edades de los estudiantes participantes	9
Figura 2.1 Decaimiento exponencial de la memoria.	23
Figura 2.3 Materiales comunes para trabajar con Física por Indagación	24
Figura 3.1 Clasificación de las preguntas en tres grupos	31
Tabla 3. 1 Clasificación de los tipos de respuestas para el FC.....	34
Tabla 3. 2 Combinación del factor de concentración y el escore.....	36
Tabla 3.3 Código de tres niveles para el escore y el factor de concentración	36
Figura 3.2 Región permitida para el factor de concentración	38
Figura 4. 1 Respuesta individual a la actividad 1.....	40
Figura 4. 2 Respuesta grupal a la actividad 1.....	41
Figura 4.3 Respuesta individual a), grupal b) a la actividad 2	42
Figura 4.4 Respuesta a la actividad 3	43
Figura 4.5 Respuestas individuales a la actividad 4, a) y b) sin sentido, c) común	44
Figura 4.6 Respuesta grupal a la actividad 4.....	44
Figura 4.7 Trazos del campo eléctrico de la práctica 1	45
Figura 4.8 Medidas de las diferencias de potencial obtenidas por los estudiantes.....	47
Figura 4.9 Medidas de las diferencias de potencial realizadas en el laboratorio de electrónica	48
Figura 4.10 Respuestas a la actividad 5	49
Figura 4.11 Respuesta grupal para la actividad 6.....	50
Figura 4.12 Respuesta individual a la actividad 7.....	51
Figura 4.13 Respuesta grupal para la actividad 7.....	51
Figura 4.14 Respuesta individual a la actividad 7.....	52
Figura 4.15 Respuestas confusas a la actividad 8	53
Figura 4.16 Respuesta grupal a la actividad 8.....	53
Figura 4.17 Respuesta con mejor aproximación a la actividad 9.....	54
Figura 4.18 Respuesta individual a la actividad 1.....	55

Figura 4.19 Comparación de los enunciados 1, 5 y 6.....	56
Figura 4.20 Comparación entre Enunciados 4 y 9.	57
Figura 4.21 Comparación entre los enunciados 7 y 8.	58
Figura 4.22 Comparación entre los enunciados 7 y 8	59
Figura 4.23 Comparación entre los enunciados 20 y 21.	60
Figura 5.1 Distribución de respuestas en el pre test para el grupo de Control	63
Figura 5.2 Distribución de respuestas en el pos test para el grupo de Control.....	64
Figura 5.3 Distribución de respuestas del grupo Experimental (pre-test).....	66
Figura 5.4 Distribución de las respuestas del grupo experimental (pos-test).....	67
Tabla 5.1 Comparación de los cambios en los patrones de respuestas estudiantiles.....	69
Tabla 5.2. Tipos de modelos para ley de Coulomb	70
Tabla 5.3. Tipos de modelos para Campo Eléctrico.....	71
Tabla 5.4 Tipos de modelos para Fuerza y Campo Eléctrico.....	72
Tabla 5.5 Tipos de modelos para Ley de Coulomb	74
Tabla 5.6 Tipos de Modelos para Campo Eléctrico.	75
Tabla 5.7 Tipos de Modelos para Fuerza y Campo Eléctrico	76

Capítulo I. Introducción

Actualmente, el nivel académico de los alumnos en carreras de ingenierías inscritos en el sistema tecnológico es, lamentablemente, muy bajo. Las deficiencias conceptuales tanto en física como en matemáticas acumuladas de antaño son influyentes en el desempeño de los estudiantes en el salón de clases provocando apatía, desagrado y falta de interés por mejorarlo. Sólo un porcentaje muy pequeño toma conciencia de la importancia que tiene la física para tener una buena formación profesional.

Se ofrecen siete carreras en el ITSC de las cuales seis están relacionadas directamente con el estudio de la física, dependiendo de la carrera se analizan los temas de una manera más profunda que en otras; las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería en Electrónica, Ingeniería en Mecatrónica e Ingeniería Industrial estudian durante dos o tres semestres esa asignatura y en menor medida en las otras carreras. Todos los estudiantes de esas carreras están obligados a inscribirse a una asignatura que incluya temas de Electricidad y Magnetismo, como parte de su formación profesional ingenieril. Usualmente, la metodología de enseñanza de la física en este instituto está enfocada en la tradicional donde los docentes realizan el estudio de los fenómenos físicos basados principalmente en el libro de texto, el empleo de plumones, borrador y pintarrón (transmisión de información); hasta hace apenas un par de años se comenzó a trabajar de manera diferente en la introducción de nuevas metodologías de enseñanza con el inicio del desarrollo de esta tesis.

Se ha observado, durante las clases tradicionales de algunos años atrás, que la mayoría de los estudiantes presentan serias dificultades para comprender los fenómenos eléctricos y magnéticos tal y como ocurre en muchos otros países, algunos de los temas con más confusión para ellos son la aplicación de la ley de Coulomb para medir la fuerza eléctrica ejercida sobre una carga cualquiera debida a otras (Furió y Guisasola, 1999); Allain (2001) afirma que el concepto de campo eléctrico es más complicado de asimilar debido a que no lo conciben como un ente real de manera semejante el potencial eléctrico es otro tema difícil de relacionar con los temas anteriores.

Sin embargo con la aplicación de nuevas metodologías para la enseñanza de esta ciencia, la visión de los estudiantes ha cambiado poco a poco y la motivación que presentan durante el desarrollo de las clases (comparados con la tradicional) ha aumentado notablemente (Etkina, 2009, Van Heuvelen, 2001). El empleo de algunas técnicas de enseñanza más eficientes que involucran el estudio de dichos temas de manera grupal ha sido un punto importante para este cambio. Por ejemplo, Ahumada (2004), hacen mención de la gran importancia que tiene el aprendizaje colaborativo, así como las grandes ventajas que se tienen con esta manera de aprender pero que también se deben marcar claramente las responsabilidades de cada integrante para el buen funcionamiento del equipo de trabajo.

Diversos investigadores alrededor del mundo trabajan arduamente para presentar propuestas que mejoren el binomio enseñanza-aprendizaje en los diversos niveles educativos. Algunas de tales metodologías son *Peer Instruction* (Mazur, 1997), *Interactive Lecture Demonstrations* (Thorton y Sokoloff, 1990), *Investigative Science Learning Enviroment* (Etkina y Van Heuvelen, 2007), *Problem Based Learning* (Polya, 1988 y Carson, 2007; Gök y Silay, 2010), *Physics by Inquiry* (McDermont *et al.*, 2001), entre otras. Estas metodologías han mostrado ser de alta eficiencia si son bien aplicadas dentro de las aulas, siendo la mayor cantidad de estudios realizados en las áreas de mecánica clásica (Allain, 2001) y en menor cantidad en otras ramas como electricidad y magnetismo, óptica y ondas.

Por tal razón, es imperativo que la enseñanza de la física (en las instituciones de nivel superior, principalmente) tome nuevos caminos para mejorar el nivel educativo y profesional de los estudiantes universitarios no solo en la región sino en todo el país; el empleo de la simple enseñanza tradicional no es suficiente para mejorar la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje (Sandoval y Mora, 2009), ya que no sólo se requiere que sepan identificar las fórmulas adecuadas para solucionar un ejercicio del libro de texto sino que aprendan a razonar y comprender el significado de los mismos. En consecuencia, se ha elaborado una propuesta metodológica para la enseñanza del campo eléctrico y su relación con la fuerza eléctrica que actúa sobre una partícula cargada, basada en la metodología diseñada por Lilian McDermott (2001) llamada Física por Indagación; a partir de estos orígenes se han construido una serie de actividades ilustrativas que permiten al estudiante incentivar y desarrollar mejor sus habilidades para comprender de una manera más eficiente los temas antes mencionados. Dichas actividades están íntimamente relacionadas con el socio-constructivismo y por tal razón se plantea el estudio y análisis de las mismas en equipos de 3 o 4 estudiantes (Espinosa, 2002). Cada actividad está diseñada para que los estudiantes comprendan los efectos que produce el campo eléctrico sobre una partícula cagada utilizando principalmente argumentos geométricos-cualitativos, sin perder de vista la lógica física involucrada en cada caso.

Preguntas de Investigación

Para el desarrollo de este trabajo se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles son las causas por las cuales los estudiantes de ingeniería tienen dificultades para comprender el concepto de campo eléctrico?
2. ¿De qué manera influyen los modelos mentales, previos a la instrucción, que presentan los estudiantes para comprender la relación entre campo eléctrico y fuerza eléctrica?
3. ¿Puede la enseñanza tradicional ayudar a los estudiantes a superar estas dificultades?
4. Con una metodología alternativa, como la que representa Física por Indagación, ¿pueden los estudiantes comprender mejor el concepto de campo eléctrico?

Estas preguntas encontraran respuestas al final de esta tesis.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la ganancia en el aprendizaje del concepto de campo eléctrico en los alumnos de la carrera de ingeniería en Sistemas Computacionales ofrecida por el ITSC utilizando pruebas de evaluación con una alta eficiencia científicamente comprobadas y elaborar un modelo didáctico que permita estimular e incentivar el trabajo en equipo entre los estudiantes y mejorar el nivel de comprensión de ese tema.

Hipótesis

Formalizando el análisis estadístico-cuantitativo se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula:

El aprendizaje (ganancia) del concepto de campo eléctrico y su relación con la fuerza eléctrica ejercida sobre una partícula cargada, en el grupo experimental no tiene un cambio significativo empleando las actividades AECE.

$$H_0: \mu_E = \mu_C.$$

Hipótesis Alternativa:

El aprendizaje del concepto de campo eléctrico y su relación con la fuerza eléctrica ejercida sobre una partícula cargada aumenta significativamente empleando las actividades AECE.

$$H_1: \mu_E > \mu_C.$$

Donde μ_E y μ_C son, respectivamente el score promedio del grupo experimental y el score promedio del grupo de control. Se tomará una seguridad del 95% y un nivel de confianza del 5% para medir la hipótesis entre las dos medias.

Descripción de la Población

Los estudiantes que participaron en el experimento, se encontraban inscritos en la Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, en Comalcalco, Tabasco, y cursaban el tercer semestre de sus respectivas carreras y estaban inscritos por primera vez la asignatura de Electricidad y Magnetismo; solo un pequeño porcentaje (inferior al 1%) de los participantes llevaban la asignatura de repetición. El número total de estudiantes fue de 299, entre hombres y mujeres (no se hizo distinción genero), con edades entre 17-25 años de edad. Los estudiantes de 19 años conforman el mayor porcentaje de la población (Ver Figura 1.1), seguidos por los estudiantes de 18, 20 y 21 años con un porcentaje mucho menor. En ambos grupos se comentó de la importancia de responder el test, sin embargo no se otorgó ningún crédito extra para alguna de sus calificaciones o tareas asignadas para casa. Al momento de aplicar el test, todos los estudiantes tenían cursada y acreditada las asignaturas de Matemáticas I, Matemáticas II y Física I, sin embargo, en el transcurso del semestre se pudo notar que los estudiantes continuaban con muchas deficiencias en sus matemáticas básicas así como la interpretación de ciertos conceptos de física newtoniana. Todos los participantes respondieron el test vía web.

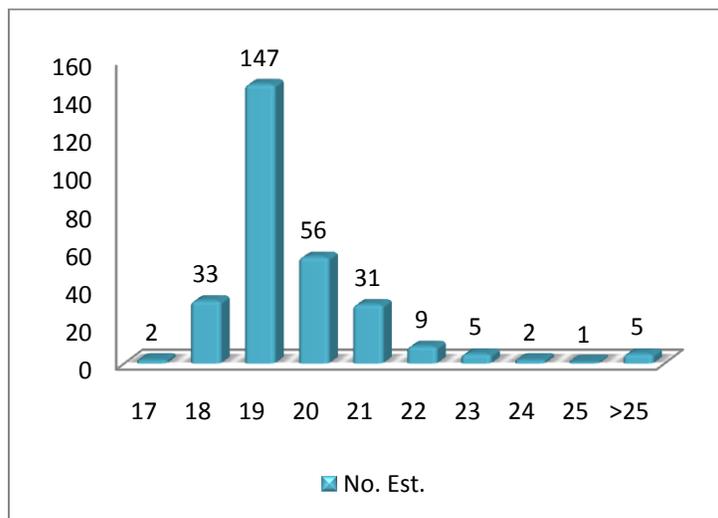


Figura 1.1 Representación gráfica de las edades de los estudiantes participantes.

Este trabajo está enfocado en el estudio del nivel de comprensión del concepto de campo eléctrico en los alumnos de las carreras de ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica. El grupo experimental se determinó por medio de un proceso aleatorio simple, resultando electo el tercero B de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales; el grupo de control quedó formado por los grupos restantes. Se trabajó con un total de 7 grupos, uno representa al grupo experimental y seis al grupo de control.

El enfoque de la investigación es de tipo experimental, donde las variables independientes están representadas por los alumnos a evaluar y las dependientes corresponden al nivel de comprensión del concepto de campo eléctrico y su relación con la fuerza eléctrica. Se considera como experimental debido a que se hace una prueba experimental (metodológica) con dos grupos de estudio, considerando uno como el grupo de control y otro como el grupo experimental, este segundo se le llama así porque es en él donde se realizarán las pruebas metodológicas sometidas a valoración para su posterior análisis. Así mismo se clasifica en una investigación de tipo descriptiva-explicativa ya que estará basada en la observación de la asimilación y entendimiento cognitivo de dichos temas.

La colección de datos se realizó de manera electrónica por medio del Servicio de Cómputo del ITSC a través de la página web <http://bit.ly/9cxYgG> en la cual se encuentra al test *CSE (Conceptual Survey in Electricity (Ver Anexo 1))*, tanto en la fase del pre test como el pos test. Las respuestas de los estudiantes emigran a una base de datos que se encuentra en el servidor del Servicio de Cómputo y posteriormente se le realizó un análisis estadístico para determinar la ganancia obtenida en cada grupo de estudio así como el factor de concentración.

El estudio se realizó en tres fases:

1. Primero se aplicó un pre-test que permitió obtener información clara y suficiente para determinar el grado de comprensión que tienen los alumnos acerca del campo eléctrico.
2. Segundo, se aplicó la metodología basada en Física por Indagación, haciendo uso de las actividades que denominamos Actividades para la Enseñanza del Campo Eléctrico (AECE): incluyendo dos prácticas-ilustrativas de laboratorio. La formación de los equipos se realizó de tal manera que se dejó al libre albedrío de los estudiantes escoger sus compañeros.
3. Como tercer paso, se aplicó un pos-test para determinar el nuevo nivel de comprensión del concepto del campo eléctrico, con el fin de determinar si la propuesta planteada rinde mayores frutos en los alumnos del grupo experimental para alcanzar un nivel de comprensión aceptable.

En los capítulos subsecuentes se describe con detalle el desarrollo y el procedimiento didáctico utilizado en este trabajo. En el capítulo 1, se realiza una breve descripción de algunas de las teorías de aprendizaje más empleadas dentro de la investigación educativa, de igual manera se exponen los resultados reportados por diversos investigadores respecto a las dificultades de los estudiantes para comprender diversos fenómenos eléctrico y magnéticos incluyendo las metodologías que emplearon para superar esas problemáticas. En el capítulo 2, se muestran las características y ventajas de utilizar la herramienta llamada *factor de concentración*, se describen las interpretaciones de los patrones de respuestas, se definen los modelos estudiantiles a considerar para cada pregunta empleada en el test *CSE*.

En el capítulo 3, se realiza el análisis de las respuestas que proporcionaron los estudiantes a AECE, en este capítulo se estudian las ventajas de trabajar de manera colaborativa entre los estudiantes para mejorar la comprensión de algún tema. Durante el capítulo 4, se detalla la aplicación del factor de concentración a las respuestas del test CSE tanto en la fase del pre test como en la fase del pos test. Se describen los cambios en los patrones de respuestas para ambos casos y en ambos grupos de estudio, así como los cambios en los modelos estudiantiles que provoca AECE. En el capítulo 5, se indican las conclusiones que surge de este trabajo y se responden a las preguntas de investigación que se plantearon, se incluye los posibles trabajos a futuro para dar continuidad a esta investigación. En el anexo A7 se presenta una nueva versión de las actividades utilizadas, las cuales serán puestas en práctica próximamente para determinar si con los nuevos cambios la utilidad de ellas mejora.

Capítulo II. Bases de Estrategias de Enseñanza

Teoría cognitiva de Piaget y Bruner

La teoría de Piaget es considerada una de las teorías más amplias del desarrollo cognitivo. Su influencia se ha extendido a diversas áreas incluyendo las ciencias físicas. De acuerdo a la visión de Piaget (1969), día a día nos encontramos con objetos (fenómenos) o personas específicas que nos conducen de manera general a la comprensión del mundo la cual cambia durante el desarrollo del progreso del pensamiento a través de varios estados desde que nacen hasta que alcanzan cierta madurez. Más aún, los niños autoconstruyen activamente su conocimiento. Para Vosniadou (1998), los niños comienzan el proceso de adquisición de su conocimiento, para la organización de sus experiencias sensoriales, bajo la influencia de la cultura diaria y el lenguaje cotidiano, que no son aceptados por la ciencia, es decir están alejados del método científico.

Piaget y sus seguidores (Elkind, 1962; Towler, 1971) afirman que el pensamiento de un niño y un adolescente tienen elementos similares, pero esos pensamientos se combinan de diferente manera para formar un pensamiento *organizado completo*. Cuando el individuo alcanza la penúltima etapa, conocida como *operaciones concretas*, ellos pueden clasificar objetos y comprender principios de conservación pero no son capaces de formular hipótesis o comprender conceptos abstractos. En el estado formal conocido como *operaciones formales* un individuo puede pensar abstractamente. Sólo en este punto el individuo es capaz de identificar variables o buscar relaciones entre proporciones. Piaget pensaba que este estado se alcanzaba entre los 11 y 15 años de edad. Sin embargo, muchas de las ideas de Piaget han sido modificadas como resultado de subsecuentes observaciones e interpretaciones. Por ejemplo, algunos investigadores en educación (Renner y Lawson, 1973) han mostrado que muchos estudiantes, tanto en nivel secundaria como en nivel preparatoria, no han alcanzado el estado de operaciones formales. Aron y Klapus (1976) indican que sólo un tercio de los estudiantes de preparatoria alcanzan el estado formal y que la mayoría de ellos se quedan confinados en un pensamiento concreto o que alcanzan ese nivel de manera parcial.

Por otro lado, Bruner (1988) asegura que el aprendizaje depende esencialmente de la categorización de la información, asume que es un proceso activo de asociación y construcción. La categorización está relacionada con procesos, simplificación, toma de decisiones, construcción y verificación de hipótesis. Para Bruner existen 3 modos básicos mediante los cuales el hombre representa sus modelos mentales y la realidad:

- Representación Enactiva.- consiste en representar las cosas mediante la reacción inmediata de la persona.
- Representación Icónica.- se representan las cosas mediante una imagen o un esquema especial independientemente de la acción.

- Representación Simbólica.- consiste en representar una cosa mediante un símbolo arbitrario que en su forma no guarda relación con la cosa representada.

Siguiendo estas ideas, para la enseñanza de las ciencias se deben tomar en cuenta las tres representaciones durante una instrucción ya que, la representación enactiva nos permitirá estimular a los estudiantes para el estudio de ciertos fenómenos (es decir, dependiendo del estímulo que provoquemos será la reacción del estudiante ante el estudio de la ciencia), y por supuesto que la icónica y la simbólica son las dos partes más utilizadas para la comprensión y modelación de los fenómenos naturales. La mayoría de las metodologías de enseñanza actuales las incluyen de manera explícita o implícita.

Primitivas y Facetas

Uno de los trabajos más extensos y detallados en el análisis del razonamiento de los estudiantes en física introductoria es el de diSessa (1993). Él encontró que muchos estudiantes, aún después de la enseñanza, a menudo se quedan con estados simples de cómo funcionan las cosas en el mundo real, consisten principalmente en una colección no estructurada de muchos elementos simples y se generan de las observaciones, experiencias y abstracciones del fenómeno que analiza el aprendiz. Los estudiantes consideran que esos estados son irreducibles, diSessa los llama *primitivas fenomenológicas* (p-prim). Algunas p-prim pueden activar otras con una alta prioridad, las p-prim suelen estar ligadas directamente a una situación física. Las primitivas no son ni correctas ni erradas en sí mismas, serán correctas en ciertas circunstancias y diSessa señala que los expertos usan muchas p-prim de manera rápida y fácil, pero ellos la utilizan de manera apropiada sólo bajo ciertas circunstancias.

En el proceso de aprendizaje las ideas previas de los estudiantes inician con una rica colección de fenómenos reconocibles en términos de los cuales ellos ven el mundo y tratan de explicarlo, pero la tienen por jerarquías. En otro sentido, una p-prim es un pequeño bloque del edificio lógico que les permite a las personas describir elementos básicos de eventos comunes en diferentes situaciones. Puesto que las p-prim están en un contexto general, están involucradas en operaciones a menudo implícitas, es decir las personas no son conscientes de usar ciertas p-prim (Redish, 2002).

Competencia conceptual

El cambio conceptual ha sido considerado en diversas áreas de educación en ciencias como química, ciencias de la Tierra, matemáticas, lectura y redacción, física, entre otras. Inicialmente la idea del cambio conceptual fue utilizada en educación como una manera de pensar sobre el aprendizaje del contenido disciplinario de una asignatura. El aprendizaje involucra una interacción entre los conceptos nuevos y los existentes cuyo resultado dependerá de la naturaleza de la interacción. Hewson (1992), menciona que el cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias no significa forzar a los estudiantes a entregar sus preconceptos a los conceptos científicos o del profesor, sino más bien significa ayudar a

los estudiantes a formar el hábito de cambiar una idea con otra y a desarrollar estrategias apropiadas para la obtención de conceptos alternativos que compitan uno con otro para ser aceptado.

Por otro lado, se ha propuesto un cuadro cognitivo que modela el aprendizaje de la física. Este cuadro sugiere que los estudiantes podrían entrar y salir de un curso con diversos razonamientos de diversos conceptos relevantes que podrían coexistir y competir, en vez de reemplazar, por diversos problemas previos. Ellos encontraron que el razonamiento que gane la competencia en un problema dado podrá usarse para representar ese problema.

Özdemir y Clark (2007) indican que si las ideas conceptuales de un estudiante pueden resolver problemas dentro de un esquema conceptual, entonces no necesitará cambiarlas, incluso cuando estas ideas no son exitosas solo hace un cambio moderado en sus ideas. Para provocar el cambio, el estudiante deberá estar insatisfecho con sus ideas conceptuales para abandonarlas y aceptar el modelo correcto. La meta principal es crear un conflicto cognitivo para dejar insatisfecho al estudiantes con sus ideas.

Algunas investigaciones indican que en el proceso de aprendizaje de los estudiantes existe una cierta estructura mental estable (o temporalmente estable) con diferentes especialidades funcionales. Esos elementos mentales pueden tener una importante influencia en el aprendizaje de los estudiantes. La meta es identificar esos elementos y estudiar la dinámica de la manera en que se involucran en diversos procesos mentales.

Para Vosniadou (1998), el cambio conceptual es un proceso que permite a los estudiantes sintetizar modelos en sus mentes, comenzando con sus marcos explicativos existentes. Para otros investigadores como Chi (2005) el cambio conceptual consiste en reparar sus conceptos erróneos e indican que están mal categorizados, así que el cambio conceptual se alcanza con la reasignación de los conceptos a categorías correctas.

Aprendizaje Colaborativo

El aprendizaje colaborativo busca modificar la estructura de metas del grupo de clases favoreciendo el establecimiento de cooperación como medio principal de aprendizaje. Diversos autores (Espinosa, 2003) consideran que el estudiante que enseña al compañero se ve beneficiado ya que, este modo de aprendizaje implica modelamiento y entrenamiento. De acuerdo a este tipo de enseñanza:

- Se debe dar la oportunidad de participar activamente dentro del aula y construir su propio conocimiento.
- No se consigue el objetivo poniendo a trabajar a los estudiantes en torno a una mesa.

- El profesor debe desplegar estrategias y crear condiciones para que estos procesos se desarrollen adecuadamente.

Por otro lado, la calificación grupal es una de las responsables de muchas resistencias hacia el aprendizaje colaborativo ya que disminuye la motivación y frecuentemente se puede recompensar a los estudiantes perezosos, por lo que se debe evaluar tanto el logro grupal como el individual. En otras palabras, dar la misma calificación a todos los integrantes de un equipo no solo es injusto, sino que además minimiza los logros positivos del aprendizaje colaborativo.

Jhonson y Jhonson (1989), indican que el aprendizaje colaborativo se caracteriza por trabajar con pequeños grupos de estudiantes trabajando juntos, lo que les permite adquirir una mayor motivación. Los estudiantes adquieren un nuevo rol que es el de colaborador y participante activo, por lo que la integración es total. En esta metodología se deben satisfacer al menos tres condiciones:

- a) los estudiantes deben sentirse positivamente interdependientes (responsabilidad dentro del grupo)
- b) compartir recursos, retroalimentarse, intercambiar ideas, promover seguridad
- c) enseñar a los alumnos las habilidades sociales para colaborar e involucrarse en las tareas del grupo

Tanel y Erol (2008), emplearon una estrategia de aprendizaje colaborativo llamada Jigsaw (Aronson y Patnoe, 1997) para la enseñanza de algunos temas enfocados al magnetismo, sus resultados indican que existe una clara diferencia significativa a favor del grupo experimental con esta metodología.

Es necesario, dentro del este esquema de colaboración, que la formación de equipos se realice de manera adecuada. En este sentido Espinosa (2003) señala que la elección de los equipos por parte de los estudiantes no es adecuada ya que puede conducir a formar equipos ineficaces, el agrupamiento al azar puede crear equipos perdedores, cuando los niveles de conocimiento difieren demasiado se percibe una disminución en el rendimiento; los equipos heterogéneos promueven la interacción e incrementa la tolerancia (con estudiantes de diferente rendimiento). Sin embargo, también es cierto que en la mayoría de los grupos estudiantiles que tienen más de un año conviviendo en el aula surgen problemas de carácter personal entre ellos de tal forma que si los equipos se forman de la manera mencionada anteriormente pueden formarse equipos con integrantes que rivalicen entre sí y por tanto puede llevar a fracasar el equipo. Desde este punto de vista la formación de equipos podría realizarse dándole la oportunidad a ellos de buscar los integrantes con los que sientan más afinidad para trabajar (Sandoval y Mora, 2010). Espinosa (2002) indica que con estos métodos se postula la necesidad de centrar el proceso enseñanza-aprendizaje en el propio alumno, de darle la oportunidad de participar activamente en el aula y brindarle

las condiciones necesarias para que sea él, a través de la interacción con sus compañeros y con sus profesores, quien finalmente construya su propio conocimiento.

Algunos investigadores (Teixidó, 2008; Ahumada, 2004) resaltan la importancia del líder del equipo de trabajo, ya que por medio de él se puede llegar al objetivo de cierta actividad o perderse en el desarrollo de la misma. Cuando un buen líder alinea al equipo se maximiza la competencia, se implementan mejores estrategias, hay acción coordinada. Ahumada (2004) menciona que para realizar un buen trabajo en equipo se requieren lo siguiente:

- Los integrantes deben relacionarse con los demás, tener lealtad al equipo, realizar críticas constructivas, tener responsabilidad grupal.
- Se debe dimensionar el trabajo, es decir identificar la tarea (qué harán), elegir un procedimiento (cómo lo harán) y resaltar el proceso socio-afectivo (beneficios).

Dentro de esos beneficios se encuentran el disminuir la carga de trabajo, mejorar los resultados, tener una mejor organización y una mejor calidad en el producto a entregar. Es en este sentido que se debe motivar a los estudiantes a trabajar en equipos de manera adecuada, es decir se les debe resaltar la importancia de integrarse a un equipo y los beneficios que obtendrán de trabajar con éxito dentro de los mismos.

Las Investigaciones en E y M

El análisis de las dificultades que tienen los estudiantes para comprender los diversos conceptos involucrados en el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos es de gran importancia en la actualidad debido a que la gran diversidad de aparatos y equipos electrónicos empleados por la mayoría de las personas alrededor del mundo tienen su fundamento en esos conceptos básicos. El crecimiento de la ciencia y la tecnología ha tenido un gran impacto en muchos campos laborales, sin embargo los trabajadores que la utilizan no la comprenden adecuadamente. Numerosos estudios (Redish, 2001) indican que los físicos bien entrenados son de gran valor en una amplia variedad de profesiones. Habilidades tales como solución de problemas complejos, modelación física, estimaciones y otras más pueden ser de mucho valor en áreas desde biología hasta modelos financieros. Sin embargo, en algunos países el número de físicos titulados se ha detenido y en otros ha comenzado a bajar. Además los estudiantes de ingeniería comúnmente toman entre dos y tres semestres algún curso de física, pero las presiones sobre los departamentos de ingeniería para incluir temas modernos a llevado a eliminar algunos cursos introductorios llevando esta situación a realizar modificaciones en las curriculas de las diversas carreras de ingeniería, dentro de las cuales se puede mencionar el colocar los temas tanto de mecánica como de electricidad y magnetismo en un solo semestre. En una investigación previa a este trabajo (Sandoval y Mora, 2010) se encontró que en las carreras de ingenierías del Sistema Tecnológico existen inconsistencias en la forma de ubicar las asignaturas de

física tal es el caso de la carrera ingeniería en mecatrónica dónde los estudiantes se enfrentan (tercer semestre) a la asignatura de Electricidad y Magnetismo durante la cual presentan serias dificultades para acreditarla, uno de los problemas detectados en estos casos fue que los estudiantes se inscriben a la asignatura de mecánica hasta el cuarto semestre; la mecánica aporta los conocimientos básicos para la comprensión de los diversos fenómenos eléctricos y magnéticos, por lo que este tipo de retícula no favorece la instrucción en los estudiantes.

Los resultados de Allain (2001), muestran que los estudiantes tienen problemas para comprender tanto el concepto de campo eléctrico como el concepto de potencial eléctrico e indica que para que los estudiantes puedan estudiarlos con eficiencia necesitan adquirir un nivel mayor de abstracción en sus razonamientos. De acuerdo a la teoría de Piaget, el progreso de un estudiante a través por diferentes estados a través de los cuales adquiere habilidades para realizar un razonamiento científico. Cuando el individuo alcanza el penúltimo estado (conocido como operaciones concretas) podrá clasificar objetos y comprender leyes de conservación pero aún no será capaz de formular hipótesis o comprender conceptos abstractos. En el estado final, conocido como operaciones formales, un individuo puede pensar abstractamente. Solo en este estado el individuo es capaz de controlar y aislar variable o encontrar relaciones como proporciones. Piaget pensaba que este estado se podría alcanzar a los 15 años.

Contrario a las nociones de Piaget en la cual se asume que la mayoría de los adolescentes alcanzan el estado de abstracción, investigadores en educación (Colleta y Phillips, 2005; Elkin, 2000; Towler, 1971) han mostrado que la mayoría de los estudiantes de escuelas secundarias, así como de preparatoria, no alcanzan ese estado operacional.

Existe un amplio campo literario que indica que los estudiantes en diversos niveles educativos tienen dificultades pronunciadas para comprender diversos conceptos y fenómenos físicos, de donde se pueden destacar el movimiento acelerado de los cuerpos, caída libre, las leyes de Newton, así como también en la comprensión de los fenómenos electrostáticos, ópticos, ondulatorios entre otros. Chabay y Sherwood (2006) mencionan que los estudiantes que tuvieron buen desempeño en sus cursos de mecánica presentan dificultades conceptuales en el curso de Electricidad y Magnetismo debido a que se enfrentan por primera vez a un nivel de abstracción matemática superior a sus experiencias en mecánica clásica, se introducen al mundo de lo invisible y, en la mayoría de los casos los temas se estudian de manera rápida y en corto tiempo. Mencionan también que el concepto de campo eléctrico es más abstracto que cualquier otro concepto visto en mecánica newtoniana, ante esta situación proponen una nueva secuencia metodológica que se muestra a continuación:

- Cargas estacionarias (4 semanas)
 - Campo eléctrico, efectos en la materia, campo debido a una distribución de cargas y potencial eléctrico.
- Cargas en movimiento (5 semanas)
 - Campo magnético, visión microscópica y macroscópica de circuitos eléctricos.
 - Fuerza Magnética, incluyendo fuerza electromotriz.
- Razonamiento sobre los patrones en un campo vectorial (1 semana)
 - Ley de Gauss y ley de Ampere
- Campos variables en el tiempo, cargas aceleradas (4 semanas)
 - Ley de Faraday, fuerza electromotriz inducida, rotacional del campo eléctrico.
 - Ley de Ampere-Maxwell, radiación electromagnética, radiación por cargas aceleradas.
 - Física óptica, dualidad onda partícula.

Para llevar a cabo esta nueva secuencia se tiene como apoyo a los libros escritos por ellos llamados *Matter and Interaction* (Chabay y Sherwood, 2002), en el cual se presentan una serie de actividades enfocadas a mejorar el razonamiento conceptual de los estudiantes, haciendo énfasis en los principios fundamentales de la física, modelos microscópicos de la materia y modelos computacionales.

Instrumentos de medición

Se cuenta con diversos instrumentos de medición para explorar las dificultades de los estudiantes en la comprensión de diversos fenómenos eléctricos y magnéticos, los más conocidos son Brief Electricity and Magnetism Assessment (BEMA), elaborado por Chabay *et al.* (2006) y Conceptual Survey in Electricity and Magnetism (CSEM) elaborado por Maloney *et al.* (2001); un test conceptual en electricidad (Electricity Concept Test: ECT) recientemente publicado (Esra y Tanel, 2009) muestra una opción interesante en la aplicación del mismo, ya que cada pregunta (de opciones múltiples) está diseñada en dos secciones, una en la cual escogen una opción y en la otra sección deben explicar brevemente porqué eligen dicha opción.

Los test BEMA y CSEM han sido aplicados a una gran cantidad de estudiantes en la Unión Americana, dependiendo los investigadores el test se puede aplicar con o sin estímulos para los estudiantes, por ejemplo Kolhmyer *et al.* (2009) para el cálculo de la ganancia solo utilizaron las respuestas de los estudiantes que participaron tanto en el pre test como en el pos test, utilizó BEMA como instrumento y las propuestas incluidas en el libro *Matter and*

Interaction, encontrando que los estudiantes que llevaron este curso obtuvieron una comprensión significativamente mayor que los estudiantes en cursos tradicionales. Por otro lado, indican que reclutaron cerca de 700 estudiantes a los cuales les pagaban \$15 dólares por participar en clases extras. Otras investigaciones, en las cuales se reporta el pago a estudiantes por apoyar al desarrollo de una investigación ha sido la de Allain (2001), en la cual se le pagó \$10 dólares por participar en entrevistas especiales las cuales tenían una duración de 45 minutos; en este caso solo se trabajó con 8 estudiantes.

El uso de estos dos instrumentos ha llevado a otras investigaciones de gran interés y consiste en realizar un análisis comparativo entre estos dos instrumentos para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la ganancia calculada. Pollok (2008) indica que el promedio obtenido por los estudiantes (en la Universidad de Colorado) fue entre 5 y 6% mayor en CSEM que en BEMA, sin embargo no se encontró una diferencia significativa entre ellos. Otra situación notable que encontraron es que existen seis preguntas cercanamente idénticas pero no generan el mismo score, en ocasiones pueden existir diferencias hasta de un 15% en el score, probablemente por el número de distractores incluidos en BEMA que suelen ser mayores que en CSEM. Aunque encontrar ciertas diferencias significativas por género (Hombre=63%, Mujeres= 52%, en BEMA; Hombres=65%, Mujeres=68%, en CSEM) no tienen hasta el momento una explicación adecuada para esas diferencias. En la Universidad de Ohio se ha aplicado CSEM en cursos introductorios de E y M durante los último 10 años abarcando una población de más de 2500 estudiantes, Din *et al.* (2008) señala que los resultados del pre test pueden ser afectados significativamente por una semana de clases o incluso por recibir una sola sesión de clases, la forma de motivar a los estudiantes para tomar con seriedad el pos test fue indicarles que si el score en el pos test era alto quedaría exentos de algún examen correspondiente a una unidad.

En México También se han aplicado los test BEMA y CSEM para realizar investigación de enseñanza en el área de Electricidad y Magnetismo, Zavala y Alarcón (2008) emplearon CSEM para evaluar el nivel de conceptualización de los estudiantes del Instituto Tecnológico de Monterrey encontrando que los grupos donde se utilizó la Enseñanza Activa obtuvieron una ganancia mayor que los estudiantes que no lo recibieron, también hacen mención de que el estudio de sus datos los realizaron empleando la herramienta factor de concentración propuesta por Ley Bao (2001), la cual se detallará en el capítulo 3.

Dificultades de aprendizaje en E y M

En una gran diversidad de investigaciones se ha encontrado que existen diversos problemas por los cuales los estudiantes tienen dificultades para comprender los conceptos de los cursos de E y M, Chabay y Sherwood (2006) menciona que algunos obstáculos que se le presenta a los estudiantes es el hecho de que deben trabajar con operadores matemáticos nuevos (para ellos) y más difíciles de aprender a utilizar y comprender su utilidad. Catalán (2010) ha encontrado que los estudiantes tienden a confundir magnitudes vectoriales con operadores vectoriales. Los estudios de Transtromer, Tornsvist y Petterson (1993), fueron los primeros en realizarse para indagar el estado conceptual de los estudiantes respecto a la comprensión de las líneas de campo eléctrico, encontraron que los estudiantes tienden a ver las líneas de campo como trayectorias por las cuales puede moverse una partícula. Otros resultados (Llancaqueo *et al.*, 2003) revelan que una buena cantidad de estudiantes pueden identificar las cantidades escalares y vectoriales, sin embargo tienen dificultades para representarlos matemáticamente. Furió y Guisasola (1999) señalan que para los estudiantes el campo eléctrico solo sirve para calcular la fuerza eléctrica. Otras dificultades encontradas (Alvarez, 2010) son la comprensión de entidades u objetos matemáticos que aparecen en la formalización de las leyes del electromagnetismo, tal es el caso de las integrales de línea, las integrales de superficies, el concepto de flujo, el concepto de circulación, entre otros; entonces el estudiantes se enfrenta simultáneamente a las dificultades asociadas al aprendizaje de la física con las propias de la formación de esos conceptos.

Los trabajos de Furió y Guissasola (2001), revelan que la mayoría de los estudios en Electricidad y Magnetismo están enfocadas hacia los circuitos corriente continua, además el tratamiento con el cual se estudian no se relacionan con electrostática. Estos investigadores han encontrado que los estudiantes resuelven los problemas aplicando una “receta” y para interpretar las interacciones eléctricas utilizan un perfil coulombiano; otros de sus resultados indican que a medida que el nivel de abstracción, de las preguntas empleadas en una encuesta, incrementaba el razonamiento de los estudiantes se tornaba confuso e intuitivo. Su propuesta consiste en considerar a los estudiantes como “investigadores novatos” que trabajan en equipos colaborativos debatiendo investigaciones ya realizadas, pero dirigidas por el profesor. En esta línea de investigación, han encontrado que el exponer las ideas científicamente correctas a los estudiantes no necesariamente provoca que abandonen sus ideas previas, las cuales pueden permanecer inalterados aún después de largos períodos de enseñanza (Bohigas y Periago, 2010)

Las primeras investigaciones que se tienen reportadas para unificar la electrostática con el estudio de los circuitos eléctricos provienen de Haertel (1985), en cuyo esquema básico se expresa que simple la interacción de Coulomb en términos de cargas y campo eléctrico es insuficiente para analizar (de manera unificada) los fenómenos electrostáticos y los circuitos eléctricos. Chabay y Sherwood (2006) proponen un nuevo tratamiento para el

estudio de los circuitos eléctrico en términos de esta unificación; asumen que en el tratamiento tradicional de los circuitos se realiza una pequeña (o ninguna) conexión con la electrostática, se trabaja solamente con los conceptos de voltaje o corriente, solo se ve desde el punto de vista macroscópico y con una pequeña relación con mecánica. Sin embargo, el nuevo tratamiento propuesto para los circuitos se basa en la unificación de la electrostática con los circuitos, se trabaja inicialmente en términos de carga y campo seguido posteriormente por un análisis en términos de potencial y corriente, la visión es tanto microscópica como macroscópica y una fuerte relación con la mecánica.

Khol y Filkenstein (2008) realizaron una investigación en la cual se analiza la forma en la que los novatos y los expertos resuelven los problemas a los que se enfrentan, sus estudios indican que la estudiante con la cual se realizó una prueba de este tipo comenzó leyendo el problema (sobre ley de Coulomb), después elaboró un esquema y un diagrama de cuerpo libre, posteriormente identificó la ley de Coulomb para resolver el ejercicio, una situación interesante en este ejemplo fue que el diagrama estaba incorrecto manifestándose principalmente en la dificultad de indicar la forma en que interaccionan dos cargas puntuales opuestas; observaron que la estudiante intentó resolver el problema pero manifestaba que estaba confusa, después de cierto tiempo se dio por vencida.

Otra problemática que se ha detectado es la dificultad que tienen los estudiantes para interpretar de manera adecuada las líneas de campo eléctrico. La forma más común de representar gráficamente al campo eléctrico y al campo magnético es por medio de las líneas de fuerza, también llamadas líneas de campo. Existen al menos dos partes que se deben comprender de las líneas de campo: qué son y cómo se usan. En la mayoría de las veces, tanto la enseñanza como los libros de textos se centran en qué son mientras que el instructor asume que ya se comprendió el concepto (Pocovi y Finley, 2002). La evolución histórica de las líneas de campo, tal y como las concibió Faraday, demuestra que la comprensión de esa idea no es una tarea fácil. Una de las ventajas de las líneas de fuerza es que resuelve el problema de abstracción de un campo vectorial proporcionando una visión geométrica y visual de un problema electrostático (Berkson, 1985; Bradley, 1991). Sin embargo, a pesar de esta gran ventaja, las líneas de campo no pueden ser comprendidas por los estudiantes novatos. Gallili (1995) encontró que entre el 70 y el 80% de sus estudiantes identificaron las líneas de fuerza, donde se colocó una carga de prueba, como la trayectoria real que podría seguir una carga cuando se libera dentro del campo.

Las líneas de fuerza, tal y como se presentan en los libros de textos, son líneas geométricas que se trazan siguiendo ciertas reglas impuestas por el campo que existe en un cierto espacio; el número de líneas por unidad de área es proporcional a la magnitud del campo eléctrico y la tangente a las líneas de campo en cualquier punto tiene la dirección del campo eléctrico en ese punto (Serway *et al.*, 2010) Faraday concibió las líneas de fuerza como un ente físico que se genera alrededor de una carga o un imán y son la entidad responsable de

realizar la interacción eléctrica o magnética, concebía también la idea de que las líneas de campo podrían repelerse o atraerse unas con otras.

En una investigación previa a este trabajo, se encontró que la mayoría de los estudiantes universitarios tienen dificultades para relacionar el campo eléctrico con el potencial eléctrico, incluso algunos estudiantes consideran que una partícula cargada colocada en un campo eléctrico no sentirá fuerza alguna sobre ella. De esta investigación se desprende también que un alto porcentaje de los estudiantes piensan la fuerza eléctrica sobre una carga que atraviesa una serie de líneas de potencial (en orden ascendente) podrá cambiar de dirección en este proceso. Otro resultado interesante (Sandoval y Mora, 2010) que se obtuvo es que un alto porcentaje de estudiantes en carreras de ingenierías piensan que la magnitud de la fuerza ejercida por un campo uniforme (dentro de una placas paralelas) depende del punto donde se coloque la carga, la descripción más común es que si el punto está cerca de la placa positiva y la carga es positiva, entonces la magnitud de la fuerza será mayor que cerca de la placa negativa; por otro lado, si la carga es negativa la magnitud de la fuerza será mayor cerca de la placa negativa que cerca de la placa positiva.

Un punto más a considerar en este apartado es la sensibilidad de la aplicación de los instrumentos de evaluación. Algunos investigadores han demostrado que el rendimiento de los estudiantes puede disminuir meses después de finalizada la instrucción, aunque esto depende del tipo de instrucción recibida (Sayre y Hecler, 2009). Para tener una mejor idea de esta situación, existe un modelo que permite analizar el decaimiento en la memoria en un estudiante. Por ejemplo, la Figura 1.1 representa uno de estos modelos, se puede observar que antes de la instrucción los estudiantes inician con un nivel determinado (pre score). Durante la instrucción de un tema dado, el score comienza a crecer rápidamente. Durante el periodo de instrucción, los parámetros principales son la duración de esa intervención y el tiempo empleado para la realización de alguna actividad; el cual caracteriza la rapidez de un estudiante para responder de manera correcta una pregunta. Después de finalizada la instrucción, el desempeño decrece exponencialmente (característica del decaimiento de la memoria) dirigiéndose hacia un nivel de relajamiento..



Figura 2.1 Decaimiento exponencial de la memoria.

Los estudios de Sayre y Hecler (2009) muestran que las respuestas correctas a preguntas relacionadas con el campo eléctrico entre dos cargas opuestas incrementa cuando se está estudiando en clases y el conocimiento permanece por cierto tiempo, sin embargo cuando se comienza a estudiar el potencial eléctrico aparece un decaimiento en el rendimiento de la comprensión del tema visto para el campo eléctrico.

Siguiendo estos resultados, el presente reporte de investigación se recalca que la aplicación del pre test se realizó el primer día de inicio del curso y el pos test se aplicó una semana después de terminar la instrucción empleada en cada grupo de trabajo.

Física por Indagación

Esta metodología tiene la firma hipótesis de que por medio de la exposición de los estudiantes al proceso científico se espera proporcionarle al estudiante una sólida formación científica. La mayoría de los trabajos experimentales se llevan a cabo en grupo de dos o tres estudiantes.

Física por Indagación es muy desafiante para los estudiantes (incluso para los estudiantes graduados) (Redish, 2003) ya que sus metas, la estructura del ambiente de aprendizaje y las actividades esperadas de los estudiantes son totalmente diferentes a las clases de ciencia impartidas por la enseñanza tradicional.

La enseñanza Física por Indagación tiene las siguientes características:

- Meta.- Proporcionar a los estudiantes una relación directa con la ciencia.
- Compromisos.- Escuchar, memorizar y resolver problemas enfocados al aprendizaje de la ciencia. El aprendizaje de la ciencia requiere motivar la activación mental.

Los estudiantes podrán:

- Hacer sus propias observaciones
- Desarrollar conceptos sencillos básicos
- Usar e interpretar las diferentes formas de representaciones científicas
- Construir modelos con capacidades predictivas

Con esta metodología no hay cabida a la enseñanza tradicional, los estudiantes trabajan a través de la construcción de ideas acerca de un tema en física utilizando guías de laboratorio cuidadosamente elaboradas y equipos sencillos. Esta metodología inicialmente se diseñó para estudiantes que deseaban ser profesores. En este caso, no hay clases en el aula tradicional, los estudiantes se reúnen en tres tipos de laboratorio de dos horas cada una por semana (McDermont y Shaffer, 2001). Durante ese período los estudiantes trabajan en parejas con equipos sencillos y son guiados a razonar a través de ejemplos físicos sencillos acompañados de hojas de trabajo (Ver Figura 2).

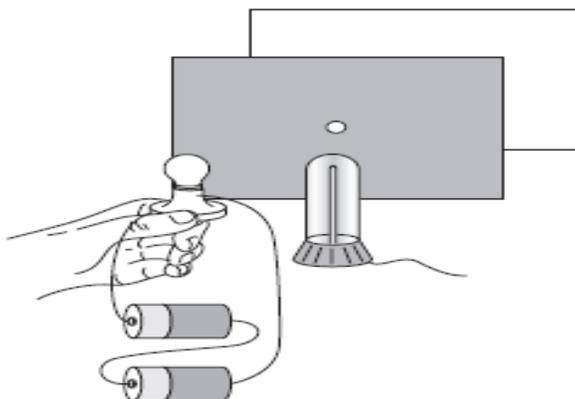


Figura 1.2

Figura 2.3 Materiales comunes para trabajar con Física por Indagación.

La premisa utilizada para construir los materiales didácticos es que es más importante que los estudiantes aprendan de manera profunda pocos temas y construir razonamientos de cómo el método científico conduce a “razonar” a cerca del mundo de la física que cubrir un número muy grande de temas de manera superficial. Los materiales hacen énfasis en conceptos y elementos específicos del razonamiento científico tales como control de variables y el uso de representaciones múltiples.

Las hojas de trabajo están elaboradas en investigaciones sobre la comprensión de los estudiantes en ciertos temas y a menudo utiliza el modelo de conflicto cognitivo en el

formato *obtener/confrontar/resolver*. Las hojas de trabajo guían a los estudiantes a través de la observación fenómenos físicos, construcción de hipótesis para explicar el fenómeno y probar sus hipótesis a través del experimento.

Siguiendo estas ideas, se desarrollo anteriormente (Sandoval y Mora, 2010) una práctica de laboratorio con los estudiantes del grupo experimental en el cual tratarían de determinar, de manera cualitativa, cómo debe ser el campo eléctrico dentro un par de placas paralelas (Ver Anexo A8). Se pudo observar la alta motivación que sienten los estudiantes al realizar este tipo de actividades (para mayor detalles ver Capítulo 3).

Capítulo III. El Factor de Concentración

En trabajos previos (Sandoval y Mora, 2009), realizados por el autor de este trabajo, se ha encontrado que ese estado del que habla Aron y Klapus persiste en los estudiantes de nivel superior de primeros semestres. Por ejemplo, para el caso de la comprensión del campo eléctrico los estudiantes tienen muchas dificultades para comprender este fenómeno y sobre todo descubrir las características que tiene éste. Tales resultados (Sandoval y Mora, 2009) indican que la mayoría de los estudiantes no han alcanzado el nivel de madurez en sus razonamientos requeridos para comprender los fenómenos electrostáticos ya que el nivel de dificultad (de las preguntas del test empleado: *CSE*) fue muy alto en casi todas las preguntas presentadas, una de las dificultades más notorias en este sentido es el hecho de que los estudiantes piensan que un campo eléctrico puede poner en movimiento una partícula cargada pero asumen que se deberá mover a velocidad constante. Otro resultado que se obtuvo de ese análisis es que los estudiantes permanecen (hasta el tercer semestre universitario) con muchos modelos erróneos derivados de ciertos fenómenos de mecánica clásica, entre ellas se encuentra la mala comprensión de las leyes de Newton. En este sentido, Furió y Guisasola (2008) han encontrado que los estudiantes no comprenden correctamente la ley de Coulomb, derivado de una mala interpretación de la tercera ley de Newton.

Modelo cognitivo

Para comprender el aprendizaje, es necesario comprender cómo funciona la memoria, es decir cómo se almacena la información en el cerebro. Para que las personas puedan hacer cualquier cosa se requiere de la memoria, pero ésta es altamente compleja y estructurada. Existen algunas ideas de relevancia; en primer lugar la memoria puede dividirse en dos componentes primarias: *memoria a corto plazo* y *memoria a largo plazo* (Redish, 2003), algunas de sus características se pueden enumerar como sigue:

1. La memoria a corto plazo trabaja rápido pero limitada. Puede manejar sólo un pequeño grupo de bloques de información y tiende a desaparecer a los pocos minutos.
2. La memoria a largo plazo puede trabajar con una gran cantidad de información- hechos, datos y reglas para usarlas y procesarlas- y puede permanecer por largos períodos de tiempo (por años o incluso décadas).
3. La información en la memoria a largo plazo no es inmediatamente accesible, para usarla se requiere activarla (a través de la memoria a corto plazo).
4. La activación de la memoria a largo plazo es productiva y asociativa (la activación de un elemento conduce a la activación de otro).

El apartado número 1 nos indica que debemos evitar el exceso de información otorgada a los estudiantes en una clase, ya que la memoria a corto plazo no puede procesar toda esa información de manera eficiente y como consecuencia la memoria a largo plazo también se verá afectada, por lo que nos sugiere que se debe dosificar de manera adecuada la información a transmitir.

Memoria a corto plazo

La memoria a corto plazo parece ser la parte de nuestra memoria que usamos para resolver problemas, procesar información y mantener información en nuestra conciencia. En este sentido, no funciona de manera independiente de la memoria a largo plazo. El número de secciones o piezas de información tomadas de la memoria a corto plazo depende del conocimiento individual y el estado mental de la persona. En otras palabras, cuando un pequeño conocimiento- hecho o proceso- puede emplearse fácilmente, decimos que el conocimiento está *compilado*. Algunas de las dificultades encontradas en los estudiantes, para comprender un concepto, surgen de esta situación: los instructores de física trabajan con muchos bloques de conocimiento compilados con lo cual la memoria a corto plazo no trabaja de manera adecuada.

Memoria a largo plazo

En la memoria a largo plazo están envueltas esencialmente todas nuestras experiencias cognitivas. Un resultado interesante es que es *productiva y contexto-dependiente*.

Productiva: Significa que la respuesta de la memoria es activa. La información se extrae de la memoria a largo plazo hasta la memoria de corto plazo y se procesa. Esta construcción en la mayoría de los casos es un proceso automático.

Contexto dependiente: significa que la respuesta cognitiva a un estímulo mental depende de dos cosas 1) la situación externa y la manera en la cual se presenta el estímulo y 2) el estado mental (modelo físico) cuando se presenta el estímulo.

Estructurada y asociativa: cuando se presenta un estímulo, una variedad de elementos del conocimiento pueden ser activados. Estos elementos pueden depender de la manera en que se presentan los estímulos y el estado del sistema mental del individuo. Cada activación puede activar otra formando una especie de reacción en cadena.

Estas características de la memoria a largo plazo nos hacen suponer que las estrategias metodológicas a emplear con un grupo de estudiantes deberá estar orientada en este sentido, es decir se debe procurar crear un ambiente que permita a los estudiantes activar

sus conocimientos y eso dependerá del tipo de estímulo que provoquemos con la metodología implicada; también es necesario tener un panorama general de los ideas previas que tiene al iniciar un curso, por ello la importancia de realizar un pre test o bien una evaluación diagnóstica.

La clave para comprender el razonamiento en los estudiantes es entender los patrones de asociación que activan los elementos del conocimiento, en general se hace referencia a ellos como *estructura del conocimiento*. Un patrón que tiende a activarse con una alta probabilidad en una variedad de contextos a menudo se les llama *esquema*. Cuando un esquema es robusto y razonablemente coherente se le llama *modelo mental*, por otro lado un modelo científico tiende a ser organizado alrededor de las existencias, propiedades e interacciones de los objetos; entonces cuando un modelo mental tiene estas características nos referimos a él como *modelo físico*.

Recursos cognitivos

Existen dos razones para comprender las ideas y razonamientos a cerca del mundo de la física que traen los estudiantes a nuestras aulas. En primer lugar, nos ayudan a visualizar los errores que ellos comenten comúnmente y de qué manera podrían mal interpretar lo que decimos durante las clases, así como lo que ellos leen, ya sea de un texto o un ejercicio del libro de texto. Este análisis nos puede ayudar a rediseñar y mejorar nuestra enseñanza. En segundo lugar, los estudiantes traen ciertos recursos que pueden utilizarse para construir sus futuros conocimientos. Puesto que los nuevos conocimientos se construyen por la extensión o modificación de los esquemas existentes, dichos conocimientos son el material con que debemos trabajar para ayudarlos a mejorar sus modelos y acercarlos más al científicamente correcto.

Medidas del modelo mental

Los constructos mentales internos de los estudiantes no son directamente medibles, solo podemos hacer ciertas observaciones de su comportamiento e inferir sobre esos elementos mentales. No obstante los modelos de los estudiantes pueden estudiarse analizando las respuestas dadas en varios contextos físicos.

Definición de modelos estudiantiles

Los modelos son estructuras mentales productivas a una gran variedad de fenómenos físicos para generar ciertas explicaciones. El término “dominio conceptual” se utiliza a

menudo para referirse a ciertos temas específicos de física que involucran un cierto dominio de contextos y reglas explicativas. Por ejemplo, en el dominio conceptual un modelo correcto es aquel en el cual se indica que la fuerza entre dos objetos que interaccionan debe ser igual y opuesta.

De acuerdo a Lei Bao (1999) los modelos estudiantiles deben tener las siguientes características:

1. Un modelo es una estructura mental productiva. Puede aplicarse directamente ciertos contextos físicos específicos para obtener resultados.
2. Un modelo está siempre asociado con uno y solamente un dominio conceptual físico. Diferentes dominios conceptuales podrán tener diferentes conjuntos de modelos.
3. Cuando se aplica en diferentes casos contextuales asociados con el mismo dominio conceptual, un modelo es una estructura mental estable, es decir un modelo es invariante ante diferentes contextos relacionados con el mismo dominio conceptual físico.

Para que un modelo pueda ser medible, éste debe de tener una estructura estable dentro del contexto en el cual la medida es conducida. En suma, los datos observados (respuestas de los estudiantes) deberán tener una relación causal directa con el modelo de los estudiantes.

Modelo Físico

Para un dominio conceptual físico en particular identificamos un conjunto finito de modelos reconocidos comunes. Esos modelos consisten en un modelo correcto (experto) y algunos modelos estudiantiles incorrectos o parcialmente correctos. Tales modelos se definen como Modelo Físico ya que son comunes a un grupo de estudiantes con similares bases y la existencia de esos modelos puede ser verificada repetidamente a través de la investigación. Estudiantes con diferencias notables en sus bases pueden tener diferentes conjuntos de modelos relacionados con el mismo concepto físico. Es necesario introducir un modelo más llamado Modelo Nulo, para incluir cualquier otra idea irrelevante o físicamente insignificante que los estudiantes puedan traer consigo.

Estado del Modelo Estudiantil

Para un estudiante la solución de un conjunto de problemas están relacionados con un solo dominio conceptual físico, de acuerdo a las ideas de Maloney y Lei Bao, asumimos dos situaciones diferentes:

1. Los estudiantes pueden usar uno de los modelos físicos y ser consistente en el uso de éste para resolver todas las preguntas. El modelo puede ser el modelo físico o cualquier otro modelo (por ejemplo un modelo incorrecto).
2. Los estudiante pueden mantener diferentes modelos físicos al mismo tiempo y ser inconsistentes en el uso de ellos, pueden usar uno de los modelo en alguna pregunta y utilizar otros modelos en otras preguntas, aún cuando todas ellas estén relacionadas con el mismo dominio conceptual y las preguntas parecieran ser equivalentes para los expertos.

Las diferentes situaciones de los estudiantes utilizando sus modelos se describen como *estado del modelo estudiantil*. El primer caso corresponde al *estado de modelo consistente* y el segundo se considera como *estado de modelo mixto*.

Ejemplos de Modelos Físicos

Es común observar que las dificultades de los estudiantes para comprender la relación Fuerza – Movimiento, en la mayoría de los casos, a menudo piensan que siempre es necesaria una fuerza para mantener en movimiento un objeto (Crouch y Mazur, 2001). También es común que los estudiantes tengan la idea de que en cualquier circunstancia la fuerza debe estar en la dirección del movimiento del objeto (Sandoval y Mora, 2010). Así podemos definir tres modelos físicos como siguen:

1. Modelo 1.- Corresponderá al modelo correcto.
2. Modelo 2.- Se identificará como el modelo incorrecto.
3. Modelo 3.- Será el modelo nulo.

Se toman de esta forma para considerar al “Modelo 1” como el modelo de los expertos y el “Modelo 3” como el modelo nulo, es decir que la opción que elijen está muy alejada del modelo correcto. EL modelo 2 representa una comprensión inadecuada de algún concepto físico dado.

Clasificación de las preguntas del test

Para medir el nivel de la comprensión de algunos conceptos electrostáticos se tomaron veinte preguntas del test *Conceptual Survey in Electricity* las cuales están directamente relacionadas con el concepto de fuerza eléctrica y campo eléctrico y fueron clasificadas en tres grupos conceptuales, esto con la intención de analizar de manera más adecuada las respuestas de los estudiantes y hacer una comparación más sencilla entre el pre y pos test. Dichos grupos son Ley de Coulomb, Campo Eléctrico, Fuerza y Campo Eléctrico.

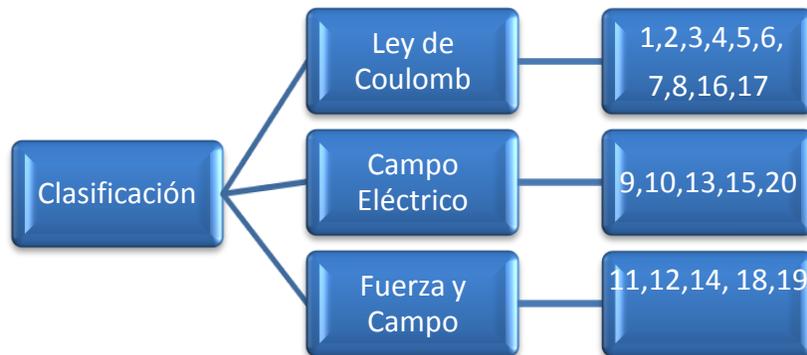


Figura 3.1 Clasificación de las preguntas en tres grupos.

En la Figura 2.1 se muestra la clasificación correspondiente de cada grupo y se hará un breve análisis (capítulo 4) a los cambios, favorables o no, que provoca AECE a los modelos estudiantiles que surgen de estas preguntas.

Definición de los modelos correspondientes a cada grupo

Grupo Ley de Coulomb

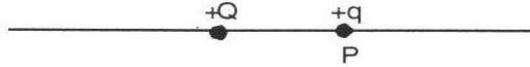
Los modelos a considerar para el grupo de preguntas catalogadas como Ley de Coulomb, se detallan a continuación.

- Modelo 1: La fuerza se puede equilibrar tanto con una carga positiva a la derecha como con una carga negativa a la izquierda.
- Modelo 2: La fuerza se equilibra sólo con una carga a la derecha (o la izquierda)
- Modelo 3: La fuerza se equilibra con una carga negativa a la derecha o con una positiva a la izquierda.

Para representar al grupo *Ley de Coulomb*, se toma la pregunta 1 del test *CSE* como ejemplo para la identificación de los modelos, que a continuación se detallan.

- Modelo 1: La fuerza se puede equilibrar tanto con una carga positiva a la derecha como con una carga negativa a la izquierda.
- Modelo 2: La fuerza se equilibra sólo con una carga a la derecha (o la izquierda)
- Modelo 3: La fuerza se equilibra con una carga negativa a la derecha o con una positiva a la izquierda.

1. La figura muestra una carga positiva $+Q$. Una segunda carga positiva colocada se coloca en el punto P no experimenta fuerza neta. Si tenemos la magnitud de cargas apropiadas, ¿cuál de los siguientes enunciados produce esta situación?



- Una carga positiva colocada a la derecha de P
- Una carga negativa colocada a la derecha de P
- Una carga positiva colocada a la izquierda de P
- Una carga negativa colocada a la izquierda de P
- El a) y d) producen esta situación

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El Modelo 1 corresponde a la opción e), para el Modelo 2 se considera a los incisos a y d por separados; en este caso si los estudiantes toman alguna de estas opciones consideraríamos el modelo (estrictamente hablando) como parcialmente incorrecto ya que si bien a) produce el equilibrio, el d) también lo hace. Se consideran como Modelo 3 (nulo) a los incisos b y c.

Grupo Campo Eléctrico

Los modelos a considerar para el grupo *Campo Eléctrico*, se detallan a continuación.

- Modelo 1: EL movimiento es uniformemente acelerado.
- Modelo 2: Se mueve a velocidad o rapidez constante
- Modelo 3: Se queda en reposo.

Para comprender los modelos de este grupo se toma en cuenta la pregunta 10 de *CSE*.

10. Cuando la carga positiva se libera desde el reposo en el campo eléctrico uniforme, ¿cuál sería su movimiento?
- Se movería con rapidez constante.
 - Se movería con velocidad constante.
 - Se movería con aceleración constante.
 - Se movería con un cambio lineal en la aceleración.
 - Se mantendría en reposo, en su posición inicial.

Las opciones representan los modelos de la siguiente forma: el c) corresponde al Modelo 1 (correcto), los incisos a, b y d corresponden al Modelo 2 (aquí se considera que los estudiantes escogen alguna de estas opciones, que aun que son incorrectas tienen la idea de que el campo eléctrico puede poner en movimiento a una carga) y el Modelo 3 se relaciona con el e), esta sería la opción más desfavorable.

Grupo Fuerza Eléctrica y Campo Eléctrico

Los modelos a considerar para el grupo de preguntas Fuerza Eléctrica y Campo Eléctrico (tomando en cuenta que los dos conceptos aparecen explícitamente en cada pregunta), se detallan a continuación.

- Modelo 1: Debe existir un campo y la partícula debe estar cargada.
- Modelo 2: Un campo debe estar presente.
- Modelo 3: La partícula debe estar en movimiento.

Como ejemplo, para el grupo que relaciona la fuerza eléctrica con el campo eléctrico, se emplea la pregunta 14.

14. Un experimento muestra que una fuerza eléctrica actúa sobre una partícula. ¿Cuál (les) del (os) siguientes requisitos son necesarios para que exista esta fuerza?
- a) La partícula debe estar en movimiento
 - b) Un campo eléctrico debe estar presente
 - c) La partícula debe estar cargada
 - d) Todos los requisitos anteriores
 - e) Solo b) y c)

El modelo correcto (Modelo 1) se encuentra en la opción e, el Modelo 2 estará identificado con las opciones b, c y d (tomando la misma idea que en el grupo Fuerza Eléctrica, es decir se considera como modelo parcialmente incorrecto); el escenario menos favorable corresponde a la opción a.

El Factor de Concentración

Las respuestas de los estudiantes ante un test pueden considerarse como las salidas de la aplicación de uno de sus modelos dentro de varios contextos físicos. Además si los estudiantes tienen algún modelo físico consistente las respuestas deberán estar más concentradas en una de las opciones del test y representará al modelo en cuestión. Por otro lado, si no tienen ningún modelo, o tienen una amplia variedad de modelos, sus respuestas estarán aleatoriamente distribuidas entre todas las opciones. Ley Bao (1999) asume el siguiente ejemplo, suponga que tenemos un test de opciones múltiples, con cinco opciones marcadas desde A hasta E, aplicado a 100 estudiantes. Para cada pregunta tendremos 100 respuestas. La Tabla 2.1 muestra una posible distribución de las respuestas para una pregunta.

Tabla 3. 1 Clasificación de los tipos de respuestas para el FC.

Tipo	A	B	C	D	E
I	20	20	20	20	20
II	50	10	30	5	5
III	100	0	0	0	0

El tipo I representa un caso extremo donde las respuestas se distribuyen de tal manera que tienden a parecer opciones tomadas al azar. El tipo II es un caso más común que puede ocurrir en nuestras clases. El caso III es el otro caso extremo donde todos seleccionan la misma opción (no necesariamente la correcta) dando un 100% de concentración. Se define al tipo III como el de mayor concentración y al tipo I como el más bajo.

Una medida que permite obtener información de la distribución de las respuestas es el **Factor de Concentración C**, cuyos valores se encuentran dentro del rango [0,1] donde el valor más grande representa una respuesta con mayor concentración.

Fundamentos Matemáticos

Suponga que se tiene un cuestionario de opciones múltiples (MCSR, por sus siglas en inglés) con m diferentes opciones y un total de N respuestas por parte de los estudiantes. La respuesta a una de las preguntas puede representarse mediante el vector m-dimensional $\vec{r}_k = (y_{k1}, y_{k2}, \dots, y_{km})$, donde $k=1, \dots, N$ representa a los N estudiantes, $y_k = 1$ si la opción escogida fue la correspondiente a la k-ésima opción y $y_k = 0$ en caso contrario. Entonces podemos sumar todas las respuestas de todos los estudiantes para una pregunta dada con este vector, así

$$\vec{r} = \sum_{k=1}^N \vec{r}_k = (n_1, n_2, \dots, n_m) \quad (2.1)$$

Donde n_i es el número total de estudiantes que escogieron la opción i. De aquí observamos que la magnitud de \vec{r} proporciona información sobre la concentración. Un valor de magnitud de \vec{r} igual a N corresponde al tipo III de respuestas y un valor igual a (N/\sqrt{m})

corresponde a un tipo I de respuestas. Los otros tipos caerán dentro de este rango. Se define r_0 como el valor normalizado de la longitud de \vec{r} . Por lo que

$$r_0 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N}. \quad (2.2)$$

Esto sugiere definir a el factor de concentración (C) como

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \left(r_0 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (2.3)$$

Donde se requiere que $N \gg m$. Un ejemplo para un test de 5 opciones se escribe como:

$$C = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}-1} \left(\frac{\sqrt{n_a^2+n_b^2+n_c^2+n_d^2+n_e^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right). \quad (2.4)$$

Donde n_a, n_b, n_c, n_d, n_e corresponden al número de veces que los estudiantes eligen una opción y N es el número de estudiantes que participan en el grupo de estudio.

Patrón de Respuestas

Cuando comparamos los resultados pre y pos test, la variación en los patrones que surgen de combinar el factor de concentración y el score pueden proporcionar más información que sólo la variación del score. Una manera fácil de hacerlo es empleando un código de dos niveles para caracterizar tanto el score como la concentración. El patrón de respuesta no solo proporciona una medida del desempeño de los estudiantes sino indica si los estudiantes tienen ideas previas dominantes. Además, la variación en el patrón indica cómo “evoluciona” el estado de los estudiantes con la instrucción. Por ejemplo, un respuesta con un bajo score y una alta concentración se puede denotar como un tipo LH (Low: bajo, High: alto) e indica una fuerte tendencia a un modelo incorrecto; el tipo LL podría indicar que la mayoría de los estudiantes no tienen un modelo dominante sobre un tema dado y sus respuestas podrán considerarse como tomadas al azar. En otras palabras, con score similares el tipo LH implica que los estudiantes probablemente tengan un fuerte modelo incorrecto con el concepto relacionado. Si los resultados son de un pre test, el instructor puede informarse de esos modelos iniciales incorrectos y prepararse para una instrucción adecuada. Si queremos comparar los resultados del pre y pos test, el análisis de la variación del patrón podrá ser de utilidad. Por ejemplo, si tenemos una variación LL a LH esto indica que en la instrucción se tienen ciertos problemas porque tiende a los estudiantes a una dirección incorrecta. Si se tiene una variación LH a HH entonces se tendrá una instrucción exitosa, se puede asumir también que una combinación MM significa que la instrucción aún

no es exitosa pero va encaminada a ella. Siguiendo con las ideas de Lei Bao, los diferentes tipos de respuestas se pueden describir usando las siguientes categorías:

- Un modelo.- La mayoría de las respuestas están concentradas en una sola opción
- Dos modelos.- La mayoría de las respuestas están concentradas en dos opciones; usualmente una correcta y otra incorrecta.
- Sin modelo.- Las respuestas están distribuidas en tres o más opciones

Tabla 3. 1 Combinación del factor de concentración y el escore.

Estilo	Nivel	Implicaciones
Un modelo	HH	Un modelo correcto
	LH	Un modelo incorrecto dominante
Dos modelos	LM	Dos posibles modelo incorrectos
	MM	Dos modelo populares: uno correcto
Sin modelo	LL	Situación aleatoria

La situación para considerar que los estudiantes tienen *un modelo* es que se tenga un tipo de respuesta LH (incorrecto dominante) o HH (correcto dominante). La situación para que se tengan *dos modelos* significa que la mayoría de las respuestas están centradas en dos opciones, si una de las dos es la respuesta correcta la consideraremos como tipo MM; si ambas respuestas son incorrectas se considerará como tipo LM. Estaremos en la situación *sin modelo* cuando la mayoría de las respuestas se distribuyan en tres o más opciones, el patrón de respuesta se considerará como LL, esto significa que la mayoría de los estudiantes no tienen preferencia por algún modelo del tema en cuestión, las respuestas estarán distribuidas de forma aleatoria. En la Tabla 2.2 Se muestran las posibles combinaciones de estos niveles y modelos, así como sus posibles implicaciones o interpretaciones.

Tabla 2.3 Código de tres niveles para el escore y el factor de concentración.

Escore	Nivel	C	Nivel
0-0.4	L	0-0.2	L
0.4-0.7	M	0.2-0.5	M
0.7-1	H	0.5-1	H

Para cuantificar cada uno de los modelos anteriores se requiere de un esquema de código de tres niveles para el escore y el factor de concentración, en la Tabla 2.3 se muestra el intervalo dentro del cual se encuentran cada uno de los niveles antes mencionados (L, M y H).

De acuerdo a la teoría de Ley Bao, el patrón de respuestas no solo permite medir el desempeño de los estudiantes sino indica si los estudiantes han dominado los errores conceptuales. Además, el cambio de los patrones también dice cómo evoluciona el estado de los estudiantes con la instrucción, la Tabla A.1 (Ver Anexo 2) describe esta situación.

Gráfico de S vs C

Con la información tanto del escore (S) como del factor de concentración (C), las respuestas y las variaciones en el patrón pueden representarse en una gráfica bidimensional. Entonces, la respuesta para cada pregunta podrá ser representada como un punto en el gráfico S-C. A continuación se describen las áreas permitidas dentro del gráfico así como la definición de cada una de las regiones correspondientes a cada uno de los tipos de modelos.

Región permitida dentro del gráfico

Las diferentes combinaciones del escore y la concentración pueden existir solamente dentro de una región limitada dentro del gráfico S -C .La frontera puede calcularse matemáticamente como sigue: considere el caso en el cual se tiene un total de 100 respuestas de una prueba de 5 opciones (N = 100, m=5). Si denotamos con S el escore, tendremos (N-S) respuestas libres de ser distribuidas entre las 4 opciones restantes. El valor más pequeño de C se obtiene cuando las (N-S) respuestas están eventualmente distribuidas entre las 4 respuestas. El valor más grandes se obtiene cuando (N-S) respuestas están concentradas en una de las 4 opciones. Entonces se puede escribir (Bao, 2001)

$$C_{min} = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}-1} \left(\frac{\sqrt{\frac{1}{4}(N-S)^2 + S^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right). \quad (2.5)$$

$$C_{max} = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}-1} \left(\frac{\sqrt{(N-S)^2 + S^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right). \quad (2.6)$$

Usando las ecuaciones (2.5) y (2.5) la frontera de la región permitida se muestra en la Figura 2.2. La línea azul representa el límite superior de la región y la línea roja el límite inferior; ninguno de los datos obtenidos por este medio pueden existir fuera de esta región. Se muestran también tres diferentes situaciones de concentración: LL (sin modelo), MM (dos modelos) y HH (Un modelo) están asociados con tres condiciones posibles:

- I. Región aleatoria: sin modelo dominante
- II. Región Dos modelos: con dos modelos populares (posiblemente uno correcto y el otro incorrecto)
- III. Región Un modelo: con un modelo dominante (no necesariamente el correcto)

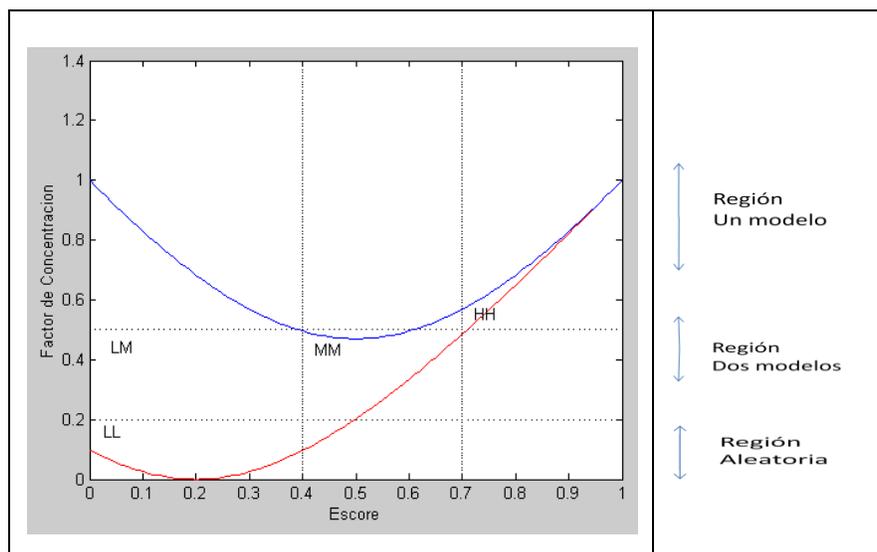


Figura 3.2 Región permitida para el factor de concentración.

La región I representará a los modelos con menor score y menor concentración (LL), la región II mostrará los modelos con score y concentración media (LM y MM), y la región III será a la cual se aspira llegar en el pos test (score y concentración altos) para asumir que la instrucción aplicada ha sido la adecuada y se ha aplicado de manera exitosa (HH). Todos estos elementos son de gran importancia para obtener un análisis más detallado de los tipos de modelos que pueden traer los estudiantes al entrar a un curso de física, pero también es de vital importancia para medir el nivel de confianza de la estrategia aplicada ya que en el pos test se pueden analizar las variaciones de las respuestas estudiantiles y el modelo que han adquirido durante y al finalizar la instrucción.

La utilidad del factor de concentración para la Instrucción y la Evaluación

En enseñanza, cuando hacemos investigación basada en test, podemos utilizar el factor de concentración para hacer más comprensible la evaluación del desempeño de los estudiantes y la efectividad de la instrucción. Tradicionalmente, el desempeño de los estudiantes es evaluado con el score de la evaluación. El problema es que cuando los estudiantes tienen un bajo score, la información sobre cómo los estudiantes responden mal una pregunta no se ve reflejada en el score. Esta información a menudo es la pista más importante para mejorar las estrategias de enseñanzas. Podemos utilizar el factor de concentración para evaluar:

- Los modelos estudiantiles sobre diferentes conceptos.
- Mejorar la enseñanza a través de diversos métodos.

Estos son dos puntos de gran importancia para mejorar el proceso enseñanza – aprendizaje, en cualquiera de los niveles educativos en los que nos encontremos trabajando. Esta herramienta permite realizar un análisis mucho más completo de la forma en la cual los estudiantes alcanzan o no cierto estado mental educativo.

Implicaciones para el diseño de los exámenes

Para utilizar efectivamente este método, es necesario diseñar las preguntas adecuadas. Puesto que se requiere estudiar los modelos de los estudiantes las preguntas deben ser cuidadosamente elaboradas para que los distractores puedan identificar los modelos incorrectos más comunes. Para lograr mejores resultados, es de gran utilidad tener una sola opción que represente un solo modelo.

El número de opciones en cada pregunta es un factor muy importante. Un número pequeño de opciones puede generar distorsiones en las respuestas de los estudiantes. En una prueba de opciones múltiples, las respuestas de los estudiantes están restringidas por las opciones existentes. Si el número de opciones es pequeño el ruido aleatorio creado por los estudiantes es grande. En suma, para aquellos estudiantes que tienen su propio razonamiento, si las opciones no le permiten tener la oportunidad de mostrar sus diferentes comprensiones, se verán forzados a adivinar.

Para minimizar la distorsión aleatoria, es de gran utilidad permitir un número sustancial de preguntas. Con número pequeño de opciones (<3) las preguntas de opciones múltiples tenderán a parecerse a las preguntas de tipo falso-verdadero. Lei Bao, sugiere que el número de opciones no debe ser menor a 5. Además se recomienda, para mantener consistencia en el cálculo, que todas las preguntas tengan el mismo número de opciones.

Capítulo IV. Análisis de las Respuestas de los Estudiantes a AECE

En este capítulo se realiza el análisis de las respuestas que proporcionaron los estudiantes, a las actividades (AECE) facilitadas en clases durante el período Agosto-Diciembre de 2010, de tercer semestre de la carrera ingeniería en sistemas computacionales grupo B del turno matutino. Las respuestas se clasificaron en diversos tipos de grupos dependiendo de los tipos de respuestas encontradas. Se hace un análisis de las diez actividades empleadas (Ver Anexo 3), por medio de lo cual se pudo encontrar que el razonamiento de los estudiantes tiene mejoras notables al trabajar en equipos. Para algunas actividades se hace diferencia entre las respuestas individuales y grupales. En la Actividad 10, se muestran algunos enunciados que pueden funcionar como un mecanismo para realizar retroalimentación entre los estudiantes al finalizar de estudiar estos conceptos básicos.

Actividad 1

Las respuestas se clasifican en tres grupos llamados: 1. *Grupo de respuestas sin sentido físico* 2. *Grupos de respuestas incompletas*; 3. *Grupo de respuestas correctas*.

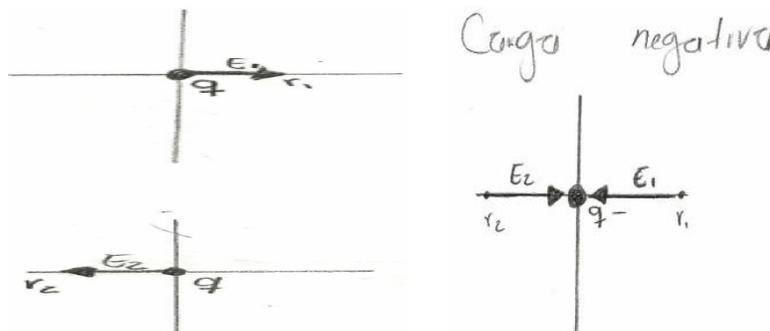
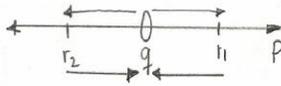


Figura 3.1

Figura 4. 1 Respuesta individual a la actividad 1.

En la Figura 3.1 se muestra un tipo de respuesta individual común en los estudiantes, con base a ello se ha encontrado que el 49% de los estudiantes responde la actividad a medias (*Grupo 2*), hacen una indicación correcta de la dirección del campo eléctrico para ambas situaciones sin embargo olvidaron mencionar lo referente a la magnitud del mismo. Por otro lado, el 46% de los estudiantes resuelven de manera completa y correcta dicha actividad (*Grupo 3*), es decir aciertan en la dirección del campo e indican que su magnitud debe ser la misma para ambos puntos y ambas situaciones. Solo el 5% de la población cae en el *Grupo 1*, es decir ofrece respuestas carentes de significado físico alguno.



- ①. La Magnitud tanto para r_1 y r_2 son iguales.
 • Los Vectores apuntaron hacia el punto q

Figura 4. 2 Respuesta grupal a la actividad 1.

Al resolver la actividad en sus respectivos equipos, se observa (Ver Figura 3.2) que los estudiantes tienen una mejora notoria en sus razonamientos para responderla, por ejemplo el 66% de los estudiantes que se encontraban en el *Grupo 2* pasan a formar parte del *Grupo 3*, sin embargo el 34% no cambia su modo de razonar para resolver esta actividad, esto nos indica que en ciertos equipos o bien todos los integrantes caían en el grupo de respuestas incorrectas y se quedaron con la idea que tenían de manera individual o bien prevaleció el razonamiento de ellos (razonamiento erróneo) sobre algún estudiantes que estaba en el grupo de respuesta correctas en el aspecto individual. Para este caso, después de trabajar en equipos desaparece el *Grupo 1*.

Actividad 2

En este caso se obtienen sólo dos grupos: 1. *Grupo de respuestas incorrectas* y 2. *Grupo de respuestas incompletas*.

En el desarrollo de esta actividad el 41% de la población muestra un razonamiento erróneo para resolverla ya que ellos indican que la magnitud del campo debería aumentar al doble o al triple, según el caso (*Grupo 1*). Si se comparan estas respuestas con las de la actividad anterior (Actividad 1), se puede observar que el porcentaje de estudiantes que no razonaron sobre la magnitud del campo es muy cercano al porcentaje que responde de manera errónea a esta actividad. Por otro lado, el 59% ha comprendido que la magnitud del campo debe disminuir con el incremento de la distancia (*Grupo 2*), sin embargo su análisis es cualitativo porque no indican de qué manera debe ser esa disminución esto a pesar de conocer la relación del inverso al cuadrado (Ver Figura 3.3a). Esto nos indica que los estudiantes tienen dificultades para comprender la forma en que funciona este operador algebraico. Sin embargo, se observa que la mayoría de los estudiantes comprenden que la magnitud del campo alrededor de una circunferencia de radio r debe ser constante.

Del grupo de estudiantes que respondieron de manera errónea esta actividad (*Grupo 1*), se ha encontrado que, al discutirla con los integrantes de sus respectivos equipos, el 70% de la población mejora notablemente su análisis e indican claramente que la magnitud del campo

debe disminuir pero no alcanzan a razonar en la manera en que debe hacerlo (pasan al *Grupo 2*) la mejor aproximación que ofrecen algunos estudiantes es que debe disminuir en $1/2$ o $1/3$ de su valor original, solo el 30% de ellos dejó su respuesta igual a la que ofrecieron de manera individual.

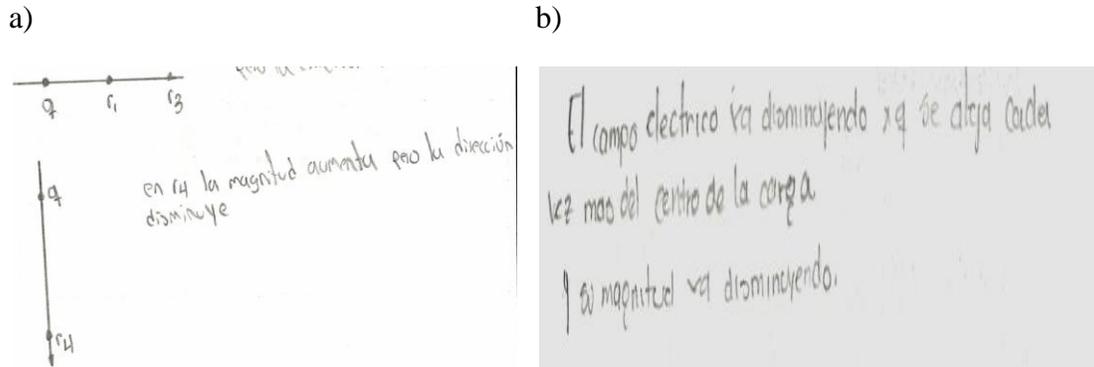


Figura 4.3 Respuesta individual a), grupal b) a la actividad 2.

Se puede notar que al realizar el análisis de una actividad de manera grupal el razonamiento mejora, sin embargo no ocurre así en el análisis cuantitativo es decir ningún estudiante o equipo hace mención de la expresión matemática que describe el campo eléctrico y de nueva cuenta la relación del inverso al cuadrado ha quedado sin comprender completamente aún al trabajar en equipos (Ver Figura 3.3b). Por otro lado, la mayoría de los estudiantes ha indicado que alrededor de una circunferencia la magnitud del campo deberá ser constante debido a que su distancia no cambia.

Actividad 3

Esta actividad se consideró como tarea para trabajar en casa con sus respectivos equipos, por lo que no se hace un análisis individual de la misma. Surgen cuatro grupos: .1 *Grupo de respuestas sin sentido físico*, 2. *Grupo de respuestas erróneas*, 3. *Grupo de respuestas incompletas*, 4. *Grupo de respuestas correctas*.

El 52% de los estudiantes indican que la magnitud del campo eléctrico aumentará de acuerdo al tamaño de la carga eléctrica, sin embargo siguen mostrando un análisis cualitativo ya que no indican de qué forma debe ser ese aumento (*Grupo 3*). Por otro lado, el 19% de la población considera que el aumento de la magnitud del campo depende del tamaño de la carga e indican que dicho aumento será el doble o el triple según el caso (*Grupo 4*). Este grupo ha dado una respuesta correcta y completa de la actividad. Sin

embargo, un 16% de la población piensa que la magnitud del campo debe disminuir con el aumento en el tamaño de la carga, teniendo por tanto un razonamiento erróneo y no han comprendido aún la relación matemática de este concepto (*Grupo 2*). Más aún, un 13% (*Grupo 1*) muestra respuestas que no están en concordancia con lo que se solicita en esta actividad.

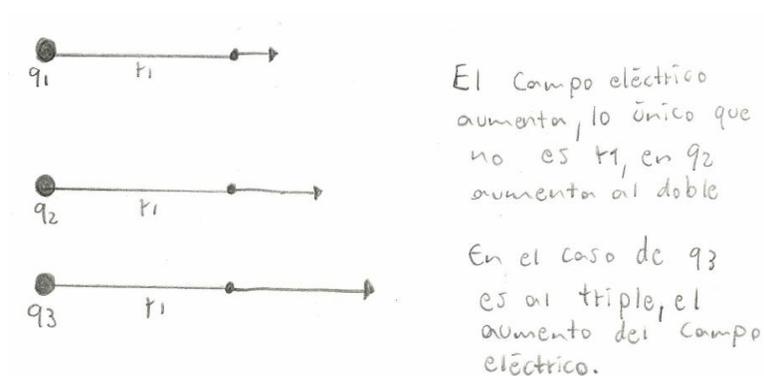


Figura 4.4 Respuesta a la actividad 3.

Estos datos nos revelan que la mayoría de los estudiantes (71%) han alcanzado a comprender que la magnitud del campo eléctrico depende directamente del tamaño de la carga eléctrica que se esté considerando. Si comparamos con los resultados del análisis grupal realizado en la actividad 1 y 2, el porcentaje de estudiantes que mejoraron su razonamiento es muy semejante al de esta actividad por lo que nos hace suponer que, hasta el momento, la secuencia que se ofrece en este trabajo refleja una buena coherencia en el razonamiento de los estudiantes.

Actividad 4

Para el análisis de esta actividad se clasificaron las respuestas en tres grupos llamados: 1. *Grupo sin sentido físico*, 2. *Grupo de respuestas erróneas*, 3. *Grupo de respuestas incompletas*.

El 20% de los estudiantes realizan trazos muy irregulares, los cuales no tienen ningún sentido físico (*Grupo 1*), Ver Figura 3.5a y 3.5b. Como se puede observar una cantidad considerable de estudiantes no pueden realizar un análisis cualitativo de la situación. Por otro lado, un 73% de la población han realizado trazos incorrectos (*Grupo 2*) pero no caen en el primer grupo, en el cual colocan flechas apuntando hacia arriba y hacia abajo indicando que las líneas de campo salen tanto de la placa positiva como de la negativa.

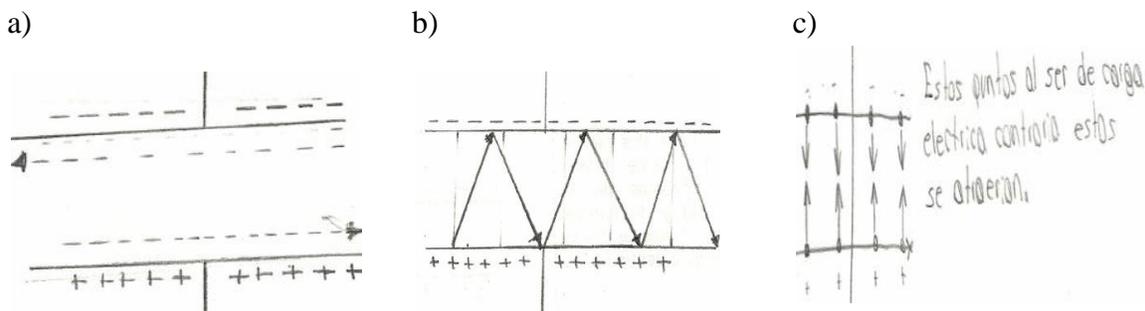


Figura 4.5 Respuestas individuales a la actividad 4, a) y b) sin sentido, c) común.

Hasta este momento ya se habían explicado en clases las reglas para trazar las líneas de campo de cierta carga eléctrica, por lo que la mayoría de los estudiantes realizó su análisis sin atenderlas. Por otra parte, solo un 7% de la población presenta un análisis cualitativo adecuado de la actividad (*Grupo 3*), es decir, indican claramente que las líneas de campo deben apuntar hacia arriba (de la placa positiva hacia la negativa). No obstante no presentan un análisis que indique que la magnitud del campo debe ser constante dentro de las placas, aunque se debe mencionar que este es un razonamiento en el que se requiere mayor madurez para su correcta interpretación.

Al revisar las respuestas grupales dadas por los estudiantes se ha encontrado que el 55% de los estudiantes que se encontraban en el *Grupo 1* cambian su razonamiento al *Grupo 2*; el resto de este grupo no cambió su manera de pensar y se quedó estancado en este grupo. Además, un 9% de los estudiantes que se encontraban en el *Grupo 2* pasaron al *Grupo 1*, lo cual es un claro indicio de un retroceso en el razonamiento de estos estudiantes. El 12% de los estudiantes del *Grupo 2* tienen una mejora considerable y pasan al *Grupo 3*, con ello este último sube su porcentaje al 19%. Se debe hacer notar que a pesar de no proporcionar una indicación de la magnitud del campo, han trazado de manera adecuada la dirección del mismo lo que representa un razonamiento con mayor madurez.

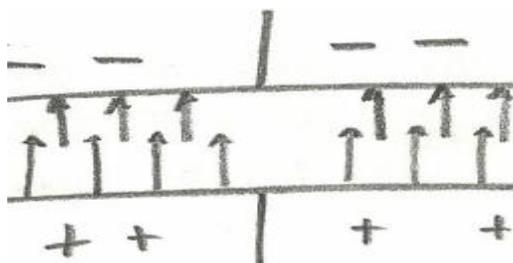


Figura 4.6 Respuesta grupal a la actividad 4.

Para tratar de comprender mejor esta actividad se realizó una práctica ilustrativa cuyo objetivo principal es que los estudiantes puedan visualizar de manera sencilla la dirección y magnitud del campo eléctrico dentro de las placas metálicas. En el Anexo A8 se detallan

los lineamientos para el desarrollo de la práctica y a continuación se realizará un análisis de la información obtenida del desarrollo de la misma.

Análisis de los resultados obtenidos de la práctica

Se comienza trabajando con el objetivo 1 de la práctica que se indica en el Anexo A8, la práctica consiste en colocar dos placas metálicas dentro de un recipiente (no completamente lleno) con agua, se aplica un voltaje cercano a 30v (utilizando 3 o 4 baterías de 9 voltios o una fuente de voltaje), se coloca un diodo emisor de luz (LED por sus siglas en inglés) y se observa en qué momentos enciende y se apaga. Con ello, los estudiantes podrán darse cuenta de la dirección que debe tener el campo eléctrico dentro del recipiente. Se les pidió que de nueva cuenta resolvieran la actividad anterior y las respuestas no fueron muy favorables, en la Figura 3.7 se muestran algunos trazos.

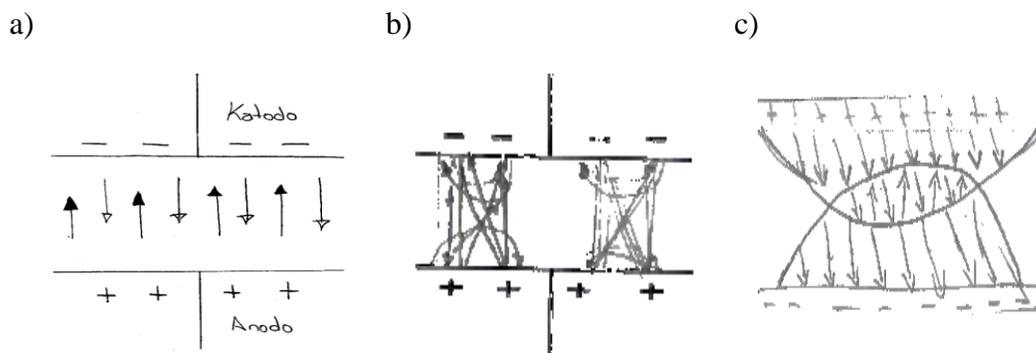


Figura 4.7 Trazos del campo eléctrico de la práctica 1.

Como se puede observar, los trazos de los estudiantes corresponden al *Grupo 1* y al *Grupo 2*, además no aparece ninguno en el *Grupo 3*. Esto parece indicar que la práctica con el LED les ha generado confusiones a los estudiantes para trazar las líneas de campo dentro de las placa, por tal razón debe ser revisada con detenimiento para que pueda alcanzarse el objetivo. Enseguida se muestran las respuestas de algunos equipos a esta actividad.

- *Equipo 1.*

Al introducir un led en el campo eléctrico, en este caso en la parte de arriba del agua, buscando una posición en la cual el led encendía dando aviso de que recibe energía o está tocando las corrientes del campo eléctrico se obtienen que en el centro del recipiente donde se combinan las energías positivas y negativas el led se ilumina y colocándolo en buena posición recibe la misma energía en cualquier punto del campo.

De las respuestas que otorga este grupo se puede notar que tienen una alta deficiencia en el empleo adecuado de ciertos conceptos físicos (ya vistos en clases) y también que salen a la luz diversos razonamientos erróneos como es el hablar de corrientes de campo eléctrico y combinación de energía positivas y negativas, al parecer los estudiantes tratan de comprender el funcionamiento del led en términos de corriente eléctrica (término con el cual están más familiarizados), así mismo piensan que surge una “energía negativa” de la placa negativa y una “energía positiva” de la placa positiva. Para ellos estos términos (o conceptos) son más llamativos para tratar de explicar el fenómeno presentado, es decir son conceptos distractores fuertemente arraigados en los estudiantes y los llevan a respuestas equívocas.

- *Equipo 3*

Cuando colocamos el led dentro del recipiente, el cual contiene agua, se enciende ya que el agua está electrificada. Cuando los colocamos en medio, el led disminuye su luminosidad ya que la carga es menor. No siempre enciende el led ya que cuando lo invertimos no enciende porque se conecta al revés.

Para este equipo, el término que mejor se le ha acomodado es el de electrificación de los materiales y asumen que el agua está electrificada, aquí se encuentra subyacente el término de corriente eléctrica. Aunque descubren lo que sucede con el led, no son capaces de identificar la existencia del campo eléctrico dentro del agua, de hecho ningún equipo hace mención de ello.

Una semana después de realizar la práctica con el led, se realizó la segunda parte de la práctica indicada en el Anexo A8, la cual consiste en medir la diferencia de potencial que existe entre dos puntos adyacentes tanto de manera horizontal como vertical y con ello deducir la magnitud (aproximada) del campo eléctrico.

Otra intención es examinar el nivel de madurez que pudieran tener los estudiantes para interpretar una serie de datos numéricos que ellos mismos calcularían con el desarrollo de la práctica. El análisis de las nuevas respuestas de los estudiantes indican que el modelo conceptual cambió de manera favorable en la mayoría de los equipos, solo un porcentaje muy bajo continúa con el modelo previo (erróneo).

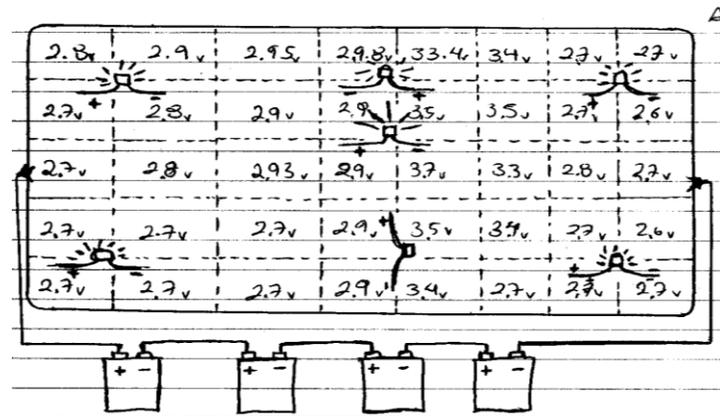


Figura 3.8

Figura 4.8 Medidas de las diferencias de potencial obtenidas por los estudiantes.

La Figura 3.8, muestra algunos de los datos obtenidos por los estudiantes durante el desarrollo de la práctica, las medidas corresponden a la diferencia de potencial que existe entre dos puntos dentro de las placas (ver figura 2) y se puede observar que esa diferencia es aproximadamente constante, lo cual es indicio de la existencia de un campo eléctrico uniforme. Tomando esta referencia algunos de los estudiantes pudieron llegar a esta conclusión, con base a los buenos datos numéricos recopilados. A continuación se transcriben algunas de las conclusiones ofrecidas por ellos.

- *Equipo 2.*

En cuanto a la medición de diferentes distancias del campo eléctrico pudimos notar que la magnitud era constante y no importando el punto donde se haya colocado.

- *Equipo 4.*

En cualquier punto donde se extienda el campo eléctrico la energía varía muy poco por tanto podríamos decir es constante, cuando el led toca cualquier punto de la corriente se ilumina y de acuerdo al multímetro la intensidad es casi la misma.



Figura 3.9

Figura 4.9 Medidas de las diferencias de potencial realizadas en el laboratorio de electrónica.

Actividad 5

(Esta actividad se consideró como tarea para trabajar en casa con sus respectivos equipos).

Esta es una actividad que se complementa con la actividad anterior y se refuerza con la práctica ilustrativa 2. Después de realizar la práctica, los estudiantes respondieron a esta actividad sólo de manera grupal ya que fue dejada como tarea. Después de analizar las respuestas estudiantiles se obtuvo una clasificación de sólo dos grupos: 1. *Grupo de respuestas incorrectas*, 2. *Grupo de respuestas correctas*.

Se encontró que el 59% de los estudiantes siguen respondiendo a las actividades sin realizar un razonamiento adecuado (*Grupo 1*), es decir son respuestas que reflejan una idea conceptual equívoca ya que consideran que la fuerza eléctrica que ejerce el campo sobre una carga en un punto dado depende de qué tan cercana se encuentre la carga a una determinada placa; si la carga es positiva y está cerca de la placa positiva entonces la fuerza será mayor que cerca de la placa negativa ocurrirá lo contrario si la carga es negativa, (Ver Figura 3.10a). Esto es una idea muy común entre los estudiantes que se manifiesta durante las clases.

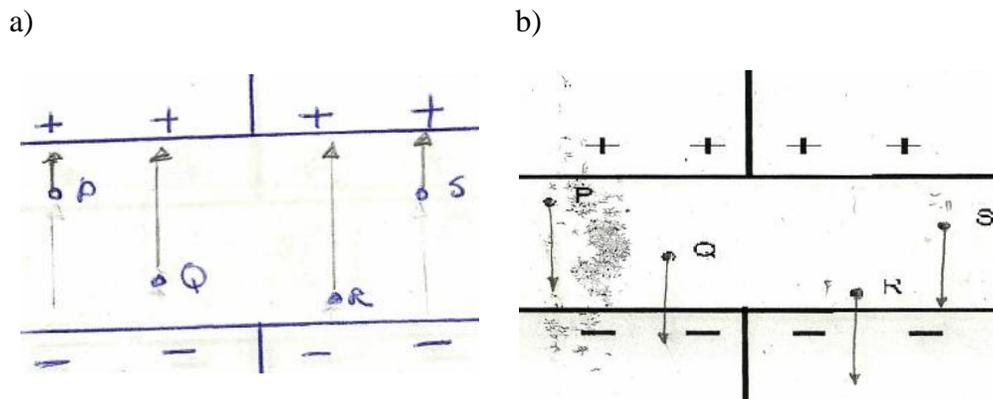


Figura 4.10 Respuestas a la actividad 5.

Por otro lado, el 41% de la población responde de manera adecuada (*Grupo 2*) a dicha actividad, el cual es un porcentaje superior al *Grupo 3* de la Actividad 4, que sólo alcanzó un 19%. Inclusive se observa que los vectores representativos de la fuerza eléctrica tienden a ser uniformes, es decir el tamaño de los vectores que trazan son casi del mismo tamaño. Aunque la mayoría de los estudiantes no lo declaran de manera explícita se puede observar que tienen la idea de que un campo uniforme puede producir una fuerza uniforme a una carga dada (Ver Figura 3.10b). A continuación se reproduce una explicación otorgada por un estudiante:

Todas las intensidades son iguales al fin y al cabo si se aleja de la placa positiva su magnitud de rechazo es menor pero la de atracción de la negativa será mayor. Y si se acerca a la positiva la intensidad de rechazo es mayor pero su fuerza de atracción sería menor. Por lo que daría lo mismo de intensidad en todos los puntos.

De este párrafo se observa que algunos estudiantes tienen clara la idea de uniformidad, aunque la explicación muestra el empleo de ideas más bien intuitivas su razonamiento tiene cierta explicación desde su punto de vista lógico, esto es a lo que se refiere al hablar de provocar un conflicto en el uso de los modelos que tienen los estudiantes para responder a ciertos cuestionamientos.

Actividad 6

(Esta actividad se consideró como tarea para trabajar en casa con sus respectivos equipos). Para esta actividad se obtienen solo dos grupos: 1. *Grupo de respuestas incompletas*, 2. *Grupo de respuestas correctas*.

En el *Grupo 1* se tienen que el 32% de los estudiantes solo indican la dirección de la fuerza eléctrica y se olvidan de la trayectoria que debería seguir la partícula, es decir, estos estudiantes no se esfuerzan por detallar o ampliar su análisis cualitativo. El grado de interés de estos estudiantes aún no es muy alto. No obstante, el 68% de los participantes han marcado claramente los dos parámetros solicitados (*Grupo 2*), indican tanto la dirección de la fuerza como la trayectoria a seguir. Dentro de este grupo un 46% de ellos argumentaban que debido a la dirección del campo y el signo de la carga entonces la fuerza estará en la dirección del campo y por tanto la carga seguirá la misma dirección. En este punto, estos estudiantes han mejorado sus razonamientos y han aprendido a aportar argumentos físicos para resolverla, por otro lado se puede notar que han comprendido en parte la relación $\vec{F} = q\vec{E}$.

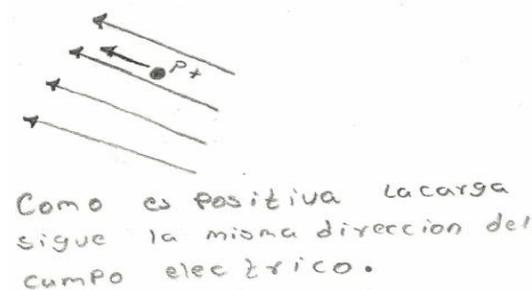


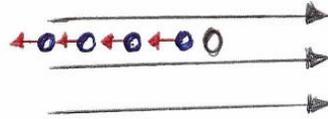
Figura 4.11 Respuesta grupal para la actividad 6.

Actividad 7

Para esta actividad surgen tres grupos: 1. *Grupo de respuestas incorrectas*, 2. *Grupo de respuestas incompletas*, 3. *Grupo de respuestas correctas*.

Las respuestas otorgadas por los estudiantes para esta actividad indican que el 40% de ellos piensan que la carga deberá moverse hacia la izquierda por ser negativa (contraria al campo), por lo que han olvidado la velocidad y dirección del lanzamiento de la carga. Al parecer estos estudiantes piensan que al interactuar la carga con el campo tendrá que ser rechazada inmediatamente, es decir muestran un pensamiento pre-newtoniano (*Grupo 1*). Pero el 60% de la población asume que la carga deberá entrar al campo y se moverá por cierta distancia dentro de él; sin embargo, dentro de este grupo un 20% asume que la carga

deberá detenerse y se quedará en reposo (*Grupo 2*), pero el 40% muestra un razonamiento con mayor madurez ya que asumen que la carga se moverá inicialmente hacia la derecha, se detendrá y después iniciará a moverse hacia la izquierda sufriendo una aceleración (*Grupo 1*).



En un campo eléctrico uniforme la carga negativa irá en sentido contrario del campo eléctrico.

Figura 4.12 Respuesta individual a la actividad 7.

Después de discutir en equipos se aprecian mejoras en la forma de responder a la actividad, por ejemplo solo un 20% (50% menos que la respuesta individual) sigue pensando que la carga se moverá inmediatamente hacia la izquierda al interactuar con el campo, quedando dentro del *Grupo 1*, y después de trabajar en equipo el 80% piensa que se deberá mover inicialmente hacia la derecha de los cuales el 21% piensa que se detendrá (*Grupo 2*) la carga pero, un 59% realiza el análisis completo de la actividad (*Grupo 3*), es decir explican que la carga se moverá hacia la derecha, se detendrá y posteriormente se moverá en dirección contraria al campo con cierta aceleración.

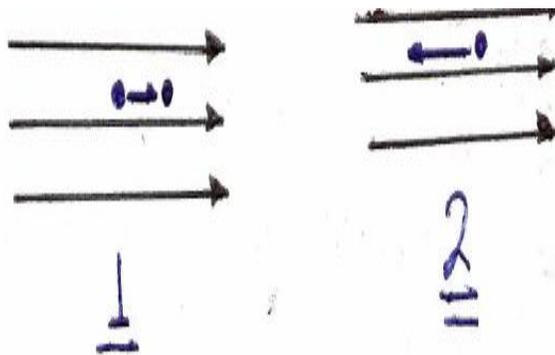


Figura 4.13 Respuesta grupal para la actividad 7.

En la figura 3.12, se muestra uno de los trazos más representativos de la respuesta correcta que ofrecen los estudiantes a esta actividad. A continuación se reproduce el razonamiento de uno de estos estudiantes.

Como la partícula es lanzada con cierta velocidad por eso se mueve hacia donde apunta el campo, pero como es negativa hace que la partícula se detenga y luego avance en dirección contraria.

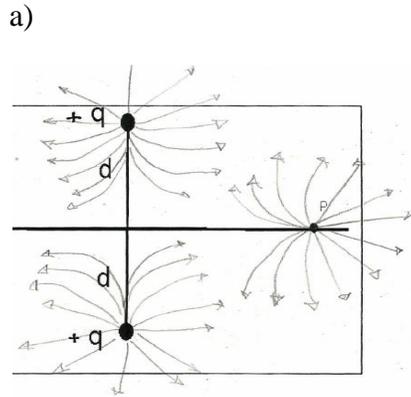
Como se puede observar hasta este momento, el análisis de las actividades mejora considerablemente al trabajar en equipos y, además, muestran una mayor madurez en sus razonamientos y aportan argumentos físicos aceptables para explicar el fenómeno presentado. Una de las explicaciones más completas las aporta un estudiante, cuyo razonamiento se muestra en la Figura 3.14.

- ① La partícula es lanzada con la misma dirección del campo pero la fuerza es en el sentido contrario al campo, por ser carga negativa.
- ② La partícula se desacelera y llega a un punto en el que se pueda decir es el reposo, pero la fuerza sigue siendo la misma.
- ③ Una vez que la partícula llega al reposo, la fuerza ejerce un movimiento a la partícula en la dirección de la fuerza, pero contraria al campo eléctrico.

Figura 4.14 Respuesta individual a la actividad 7.

Actividad 8

Esta es una de las actividades que exigen mayor madurez en el razonamiento de los estudiantes, después de revisar las respuestas de ellos se encontró que eran muy variadas y no se pudo clasificar dentro de los tres grupos que se obtuvieron con anterioridad, en este caso podrían surgir alrededor de cinco subgrupos, lo cual ya no es favorable para clasificarlos adecuadamente. El 22% de los estudiantes realizó trazos sin sentido físico para representar el campo eléctrico resultante (Ver Figura 3.15a). Seguimos teniendo un porcentaje considerable de estudiantes que no mejoran su análisis; de este grupo el 55% responde al b) de esta actividad con argumentos sin sentido físico y el 45% menciona que será atraída al origen pero no aportan más argumentos. El 17% de la población no colocan el campo eléctrico resultante en el punto P y colocan solamente el vector fuerza. De este grupo el 71% responde el b) con argumentos confusos y solo el 29% indican que será atraída hacia el centro. Por otro lado, el 14% de los participantes colocan las componentes del campo pero no colocan el vector resultante.



b) Al ser negativa la partícula ejerce una fuerza de atracción sobre las cargas.

Figura 4.15 Respuestas confusas a la actividad 8.

El 47% de los estudiantes colocan de manera correcta el vector resultante del campo eléctrico, este porcentaje es más elevado que los anteriores (de esta actividad). De este grupo solo el 69% indica que la carga se moverá hacia el centro y se detendrá (Ver Figura 3.16a y 3.16b). Hasta este punto, ningún estudiante pudo realizar un análisis más completo de esta actividad, es decir no pudieron deducir que la carga, efectivamente se moverá hacia el centro pero deberá continuar su movimiento hacia la izquierda y después de cierta distancia recorrida se detendrá y deberá comenzar a moverse hacia la derecha. En otras palabras se deberá tener un movimiento armónico simple. Las respuestas de manera grupal prácticamente no cambiaron mucho y no llegaron al análisis esperado, de tal manera que en esta actividad el análisis en equipos no se realizó de manera efectiva. Se debe mencionar que esta actividad es una de las más difíciles de analizar y que el esfuerzo realizado por los estudiantes ha sido considerable, por tal razón se debe revisar con mayor detenimiento la modificación de esta actividad para alcanzar los objetivos planeados. A continuación se transcribe una de las respuestas de los equipos de trabajo.

La partícula quedaría atrapada en un punto medio entre las dos cargas por sufrir fuerzas de atracción iguales en ambas direcciones.

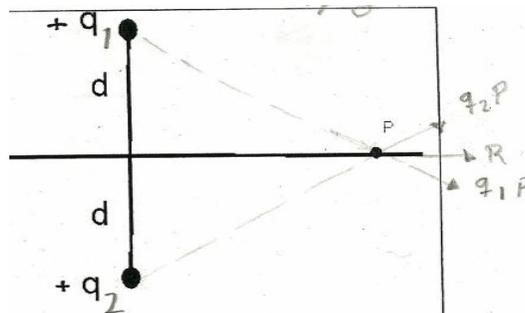


Figura 4.16 Respuesta grupal a la actividad 8.

Actividad 9

(Esta actividad se consideró como tarea para trabajar en casa con sus respectivos equipos).

En esta actividad se las respuestas se clasifican en tres grupos: 1. *Grupo de respuestas sin sentido físico*, 2. *Grupo de respuestas erróneas*, 3. *Grupo de respuestas correctas*.

Durante el análisis de esta actividad se encontró que el 42% de los estudiantes indican que la trayectoria que debe seguir la carga es una media parábola que se abre hacia arriba (*Grupo 3*), siendo esta la trayectoria correcta, sin embargo se debe mencionar que los estudiantes no aportan ningún argumento físico que les indique que esa debe ser la trayectoria, por ejemplo un integrante del equipo 5 señala:

Se me viene a la mente una ecuación cuadrática. Sin comprobar, la trayectoria de la carga puede ser curva. La carga entra con cierta fuerza hacia el campo eléctrico pero mientras va cruzando el campo, la fuerza que lo impulsa horizontalmente está siendo influenciada por la dirección del campo.

Se puede notar que aún existen confusiones en cuanto al manejo adecuado de los conceptos. La presentación gráfica se muestra en la Figura 3.17.

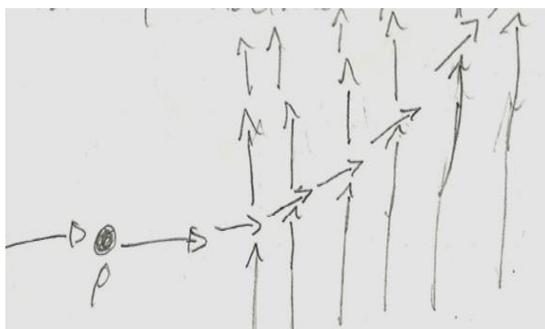


Figura 4.17 Respuesta con mejor aproximación a la actividad 9.

Otro grupo de estudiantes (13%) realiza trazos con dos líneas perpendiculares, una horizontal seguida de una vertical. Para estos estudiantes la carga debe entrar inicialmente en línea recta y después de recorrer cierta distancia en esta forma se moverá horizontalmente hacia arriba (*Grupo 2*).

El 13% de la población traza una parábola completa que se abre hacia abajo, es decir piensan que la carga se moverá inicialmente hacia arriba (como cuando se lanza un proyectil) y luego se moverá hacia abajo (*Grupo 2*). Estos estudiantes han interpretado de manera errónea la acción del campo eléctrico sobre una carga eléctrica lanzada perpendicularmente a él. Por otro lado, un 9% de los estudiantes realiza trazos sin sentido físico (Ver Figura 3.18b) y no se puede obtener información sobre su forma de razonar

(Grupo 1). Pero se debe notar que el porcentaje de estudiantes que han podido interpretar cualitativamente y de forma correcta esta actividad es mayor a los otros tipos de respuestas. Sin embargo, esta actividad al parecer no ha generado el razonamiento adecuado que se esperaba en los estudiantes, por lo que debe ser revisada para su adecuada modificación.

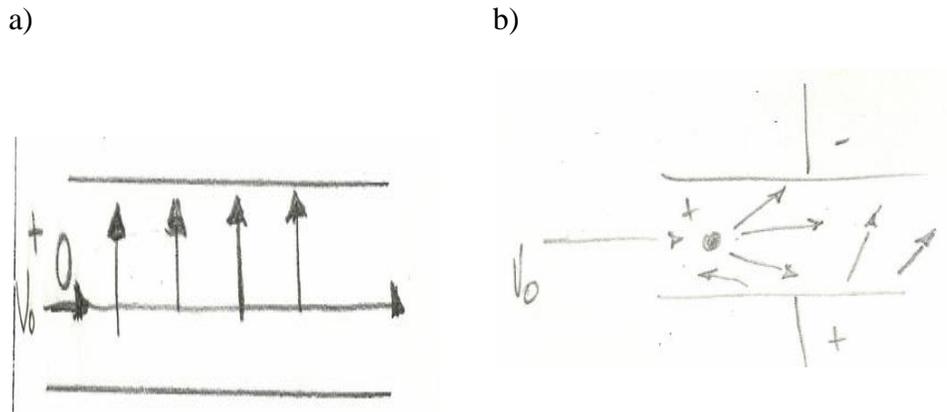


Figura 4.18 Respuesta individual a la actividad 1.

Actividad 10

Esta actividad se diseñó con la intención de provocar retroalimentación en clases para los temas analizados y para encontrar ciertas coherencias en el razonamiento de los estudiantes respecto a algunas de las propiedades del campo eléctrico. Por ejemplo, los enunciados 1, 5 y 6 están correlacionados de tal manera que las respuestas de estos tres enunciados relacionan fuerza, campo eléctrico, la carga eléctrica, la aceleración y la velocidad que podrían experimentar.

Enunciado 1.- Se encontró que tanto de manera individual como grupal un alto porcentaje ha respondido de manera correcta (más del 85%); esto indica que los estudiantes han comprendido cualitativamente el efecto de la relación $\vec{F} = q\vec{E}$.

Enunciado 5.- Se observa de nuevo un alto porcentaje en la respuesta correcta, (74% individual y 80% grupal), este enunciado hace referencia a la aceleración que le puede provocar el campo a una carga debido a la fuerza que le ejerce por lo que la expresión que se debe pensar en este caso es la segunda ley de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$.

Enunciado 6. Aquí se puede apreciar una pronunciada confusión entre los estudiantes para comprender la relación que existe entre aceleración y velocidad ya que las respuestas correctas de manera individual están alrededor del 50%; en este caso asumen que a pesar de

que el campo puede mover una carga hará que se mueva con velocidad constante, esto contradice un poco las respuestas dadas en los enunciados anteriores. Sin embargo, al discutir el enunciado de manera grupal el 70% de los estudiantes responde ahora de manera correcta. De estos datos se puede deducir que sí existe coherencia en el razonamiento de los estudiantes para comprender el efecto de la fuerza generada por el campo eléctrico sobre una partícula cargada, lo cual se vio reforzado por el análisis grupal.

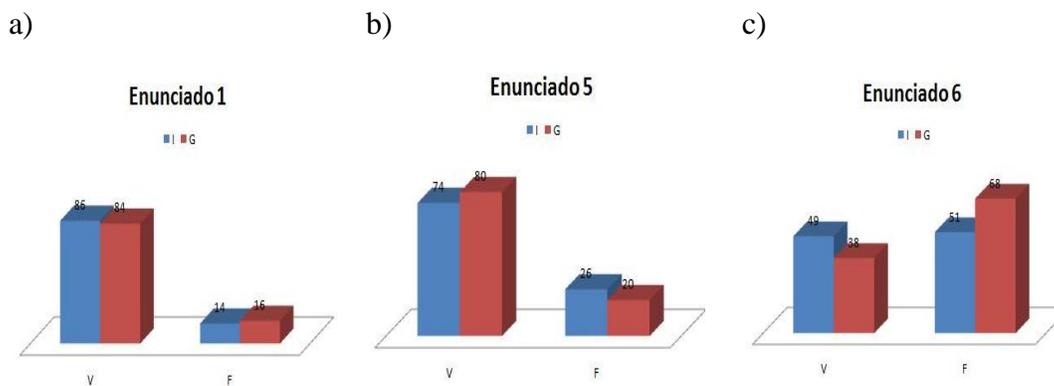


Figura 4.19 Comparación de los enunciados 1, 5 y 6.

Enunciado 4 y 9.- En el Enunciado 4 se ha observado un alto porcentaje en la respuesta correcta tanto de manera individual como grupal, una vez más el porcentaje en respuesta correcta grupal (93%) es mayor al individual (85%). Esto nos indica que los estudiantes tienen una clara idea de que el campo puede poner en movimiento una partícula en reposo. Esta afirmación se puede verificar con los resultados del Enunciado 9 en donde el 95% de los estudiantes responde correctamente de manera grupal contra el 85% de respuestas correctas que se obtuvieron de manera individual, con lo que se puede apreciar un incremento del 10% en las respuestas correctas al trabajar en equipos. Se observa una vez más que sí existe coherencia en el razonamiento que tuvieron los estudiantes en este rubro.

a)



b)



Figura 4.20 Comparación entre Enunciados 4 y 9.

Enunciado 2 y 15. Las respuestas a los Enunciados 2 y 15 muestra que los estudiantes no han comprendido la expresión matemática que define al campo eléctrico, esto a pesar de los diversos problemas resueltos en clases y las actividades realizadas durante las semanas anteriores. Por ejemplo, al Enunciado 2 lo responden correctamente solo el 24% de los participantes, la mayoría (76%) asumen que el campo no varía con el inverso al cuadrado. Esta tendencia en su interpretación se vuelve a notar en el Enunciado 15 en donde el 54% de ellos piensan que la fuerza eléctrica sí varía con el inverso al cuadrado y el resto (46%) indican lo contrario. Lo anterior nos indica que los estudiantes o bien tienden a olvidar lo visto en clases (primera semana: Actividad 1 y 3) o no comprendieron la expresión matemática que lo describe.

Enunciados 3 y 10. El Enunciado 3 hace referencia a la magnitud del campo respecto del tamaño de la carga, la mayoría de los estudiantes (78%; individual, y 96%; grupal) responden correctamente. Sin embargo, el 39% responde de manera equívoca al Enunciado 10, con lo cual piensan que la dirección del campo no depende del signo de la carga. Esta situación no favorece la comprensión de la relación del campo con el tipo y tamaño de la carga, tal parece que la mayoría de los estudiantes comúnmente piensan en un solo tipo de carga, la positiva.

Enunciados 7 y 8. Los Enunciados 7 y 8 revelan la dificultad de los estudiantes para interpretar las propiedades del campo empleando un lenguaje más directo, es decir no tan coloquial (Ver Enunciados 1, 5 y 6). Sólo el 59% de la población (individual) relaciona de manera adecuada a un campo uniforme con una fuerza uniforme (Ver Figura 3.21a), la situación mejora al trabajar de manera grupal (71% de respuestas correctas). Sin embargo, los participantes tienen confusiones notorias para relacionar al campo con la aceleración

que puede provocar en una carga ya que las respuestas correctas grupales obtuvieron un 64%, 9 puntos porcentuales menos que las respuestas individuales (Ver Figuras 3.21b).

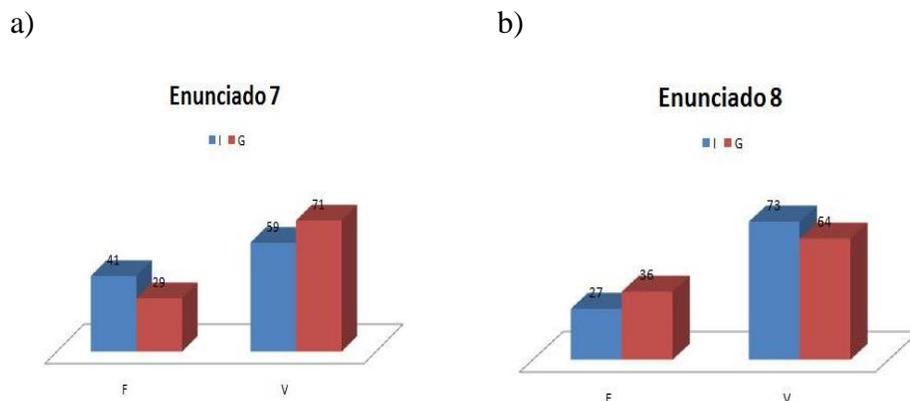
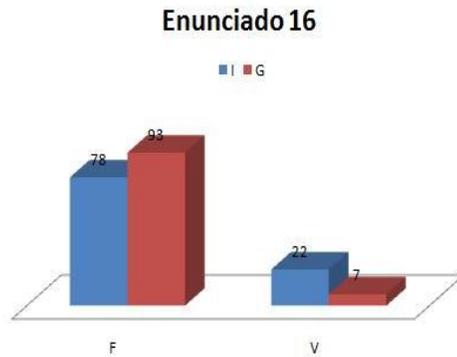


Figura 4.21 Comparación entre los enunciados 7 y 8.

Enunciado 11 y 12. Surge cierta confusión entre los estudiantes para reconocer que se requiere de dos cargas eléctricas para que se manifiesta una fuerza entre ellas ya que, las respuestas correctas para el Enunciado 10 están alrededor del 68% y 61% de manera individual y grupal respectivamente, considerando esto un porcentaje muy bajo respecto al esperado a estas alturas de la instrucción.

Enunciados 16 y 17. Estos enunciados relacionan la dirección de la fuerza respecto del campo eléctrico según el tipo de carga que se tenga. En ambos enunciados responden de manera correcta en un alto porcentaje (93% para el Enunciado 16 y 99% para el Enunciado 17) por lo que se puede asumir que los estudiantes han comprendido la importancia del signo de la carga para determinar la dirección de la fuerza debido al campo.

a)



b)



Figura 4.22 Comparación entre los enunciados 7 y 8.

Enunciados 18 y 19. En ambos casos, los enunciados están relacionados con la trayectoria que podría seguir una carga eléctrica dentro de un campo eléctrico. El Enunciado 18 lo responden erróneamente el 29% de la población de manera individual y, al trabajar en equipos este porcentaje disminuye a 19% notándose una vez más las ventajas de trabajar en equipos (81% correctas). Además, las respuestas al Enunciado 19 alcanzan un 91% (grupal) de aciertos, en este enunciado se le pregunta al estudiante si una partícula cargada siempre seguirá las líneas de campo eléctrico, a lo que han respondido que no necesariamente ha de ser así.

Enunciado 20 y 21. El Enunciado 20 sirve para obtener información sobre la arraigada confusión conceptual que presentan los estudiantes durante sus cursos de E&M respecto de las diferencias entre el campo eléctrico y el campo magnético, los datos indican que el 80% de los estudiantes piensan que el campo eléctrico puede ser generado por un arreglo de imanes (en reposo). Sin embargo, el Enunciado 21 revela que más del 60% de los estudiantes piensan que el campo eléctrico debe ser generado por un arreglo adecuado de cargas eléctricas. En este caso se puede observar que no existe coherencia en el razonamiento de los estudiantes para comprender la generación del campo eléctrico, esto a pesar de que durante las clases no se había estudiado (hasta ese momento) ningún tema relacionado con el magnetismo, por lo que esta idea conceptual sigue prevaleciendo en sus mentes.

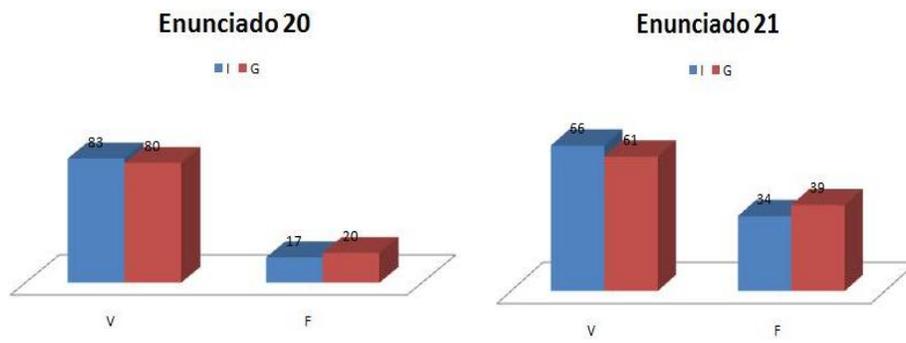


Figura 3.23

Figura 4.23 Comparación entre los enunciados 20 y 21.

Capítulo V. Análisis de los resultados del test utilizando el factor de concentración

En este capítulo se detallan los cambios en los modelos de la población estudiantil con la cual se trabajó durante el período Agosto-Noviembre de 2010 en el Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, en Comalcalco, Tabasco. También se realiza un análisis de las distribuciones de las respuestas al test *CSE* y sus respectivos significados así como las variaciones de los tipos de patrones previos y los modelos adquiridos durante la instrucción. Se detalla la metodología por medio de la cual se aplicaron la serie de actividades desarrolladas para esta investigación.

Descripción de la población.- Los estudiantes que participaron en este trabajo, durante el período antes mencionado se encontraban en el tercer semestre de dos carreras de ingenierías diferentes, obteniéndose seis grupos estudiantiles; cuatro de la carrera ingeniería en sistemas computacionales (3A, 3B, 3C y 3C) y dos pertenecientes a la carrera ingeniería mecatrónica (3A y 3B). El *grupo experimental* se escogió de manera aleatoria, resultando elegido el 3B de la carrera ingeniería en sistemas computacionales, a este grupo no se les informó que serían parte del experimento ni que se trabajaría con una metodología diferente a la utilizada en los otros grupos; el *grupo de control* estuvo formado por los grupos restantes. El número total de estudiantes dentro del grupo experimental (al iniciar el semestre) fue de 40 y el grupo de control estaba formado por 253 estudiantes cuyas edades (en ambos grupos) oscilaban entre los 19 y 25 años de edad.

Procedimiento para aplicar AECE.- Al trabajar con AECE se les debe indicar a los estudiantes que se formaran equipos de tres personas (máximo 4), ya sea que el profesor elija a los estudiantes de cada equipo o bien permitiendo que ellos los formen por sí mismo, esto se debe hacer preferentemente en la clase previa a utilizar las actividades para no perder tiempo en la formación de los equipos el día que se aplique la misma. Se procede a indicarles el tiempo necesario para resolverlas; en la mayoría de los casos se otorgaban cinco minutos para trabajar individualmente y diez minutos para trabajar de manera grupal, es decir en sus respectivos equipos discutirán y compartirán sus razonamientos sobre la actividad en cuestión; tanto sus respuestas individuales como grupales son importantes por tal razón es imperativo indicar que no pueden cambiar sus comentarios individuales después de trabajar en los equipos. Terminado este tiempo se procede a recolectar las respuestas, ordenadas preferentemente por equipos. El siguiente paso es dar una explicación detallada de la forma correcta de responder a dicha actividad apoyados con material visual elaborado en Power Point y con el apoyo de un video-proyector. Se estima que pueden trabajarse con 3 actividades durante un tiempo de 2 horas, ya que se debe tomar en cuenta el tiempo requerido para la explicación de la actividad (de cinco a diez minutos). Dentro de las actividades de AECE se ha incluido dos prácticas ilustrativas para trabajar en el laboratorio; una para determinar la dirección del campo eléctrico generado por un par de placas paralelas y la otra para determinar la magnitud del campo dentro de esa región. Se

han marcado algunas actividades para resolver en equipos en casa, en este caso solo se toma en cuenta la respuesta grupal ya que la respuesta individual tiende a no ser confiable, pero que de todas maneras incita a seguir trabajando colaborativamente.

Análisis de las respuestas al test CSE.

En esta sección se muestran el análisis realizado a las respuestas otorgadas por los estudiantes al test *CSE* tomando en cuenta las dos fases de aplicación, pre test y pos test. Se detallan los posibles avances en cada grupo de preguntas clasificadas de acuerdo a lo relatado en el capítulo 2.

El análisis de los datos se realiza empleando el factor de concentración propuesto por Ley Bao (para mayor detalle ver Capítulo 2), el cual nos permite identificar los avances o retrocesos que se pudieran obtener en las respuestas dadas al test *CSE* así como evaluar de manera clara la orientación de la metodología aplicada en el desarrollo de las clases. En la enseñanza tradicional la manera de medir el desempeño conceptual de los estudiantes es mediante el número de aciertos (score) de cada evaluación, sin embargo cuando se obtienen score bajos esta simple forma de evaluar no indica cuáles son las razones por la cual escogieron esas respuestas y ésta es una parte que proporciona pistas muy importante a los docentes para mejorar sus estrategias de enseñanza.

Análisis de datos del grupo de control

Pre-test

El grupo de control estuvo formado por un total de 253 estudiantes al inicio del curso, este grupo estaba constituido por tres grupos de ingeniería en Sistemas Computacionales y dos grupos de Ingeniería Mecatrónica. El test se aplicó vía web en el Laboratorio de Aplicaciones que se encuentra dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, en Comalcalco, Tabasco y se puede acceder al test empleando la siguiente dirección: <http://bit.ly/9cxYgG>.

El análisis de los datos correspondientes al pre test del grupo de control se exhiben en dos formas, mediante la Tabla A4.1 (Ver Anexo 5) y con la Figura 4.1, como se puede observar la mayoría de las respuestas obtienen un score y un factor de concentración muy bajo, en la tabla antes mencionada aparecen los diferentes tipos de patrones de respuestas de los estudiantes obteniéndose 19 patrones tipo LL y un patrón tipo ML (correspondiente a la pregunta 16); de esto se deduce que los estudiantes de este grupo no tienen un modelo mental concreto. Estos datos pueden estudiar mediante un gráfico colocando en el eje horizontal el score (S) que alcanza cada pregunta vs el factor de concentración (C)

obtenido, en esta representación se observan con claridad las regiones permitas por esta herramienta: región de un modelo, región de dos modelos y región sin modelo (Ver Figura 4.1).

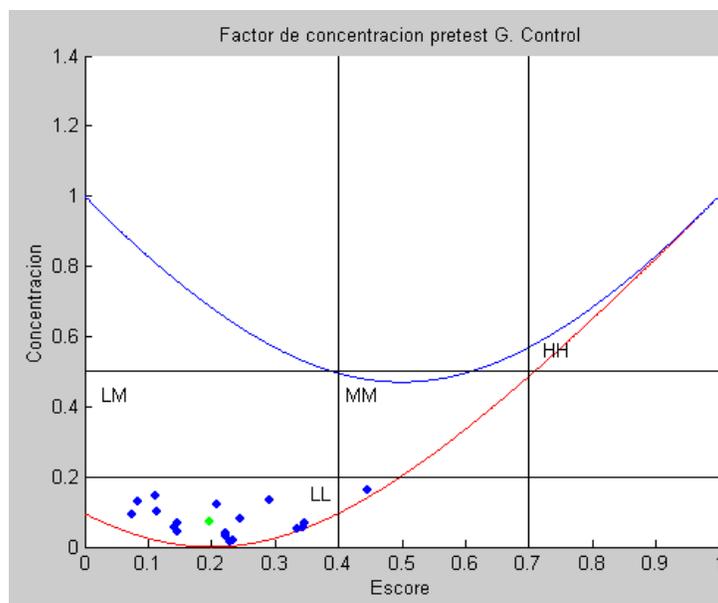


Figura 5.1 Distribución de respuestas en el pre test para el grupo de Control.

Se puede notar que el 100% de las respuestas caen en la región donde no existe modelo mental alguno, del cual el 95% corresponde a un patrón tipo LL y un 5% pertenece al patrón tipo ML, en ambos casos la localización de la agrupación de las respuestas en esta zona indica que la mayoría de los estudiantes respondió al test de manera aleatoria, podemos interpretar esto de dos maneras: 1) los estudiantes no le dieron mucha importancia al test o 2) los estudiantes respondieron de esta manera debido a que los cuestionamientos del test son totalmente nuevos y abstractos para ellos por lo que no encontraron una manera adecuada de responderlo. El escore en esta fase de aplicación del test fue del 21.65%.

Pos-test

En el grupo de control se utilizó como estrategia de instrucción la enseñanza tradicional en la cual el profesor explica los conceptos de cada tema y posteriormente se realizan ejercicios del libro de texto, en esta ocasión se utilizó un libro clásico para estudiantes de ingenierías y ciencias (Serway *et al.*, 2010), en este grupo se comenzó trabajando con la ley de Coulomb y posteriormente con la definición del campo eléctrico; de manera muy semejante a como se establece en el libro antes mencionado. El pos-test se aplicó una semana después de terminar de estudiar ambos temas en el Laboratorio de Aplicaciones vía web, en este caso participaron 204 estudiantes. La Tabla A4.1 (Ver Anexo 5) muestra los resultados obtenidos del escore y el factor de concentración de cada pregunta, la tabla indica que el aprovechamiento de los estudiantes en estos temas sigue siendo muy bajo ya

que los patrones de respuestas que tenían al inicio del curso prácticamente no sufrieron ningún cambio, todas las preguntas volvieron a caer en la zona de respuestas aleatorias (Ver Figura 4.2). Esto nos hace suponer que la instrucción por medio de la enseñanza tradicional no es adecuada ni suficiente para tratar estos temas electrostáticos ya que estos siguen siendo complejos e incomprensibles para los estudiantes, estos concuerdan con los resultados encontrados en un trabajo previo (Sandoval y Mora, 2009). El porcentaje de aciertos en esta fase del 22.25%.

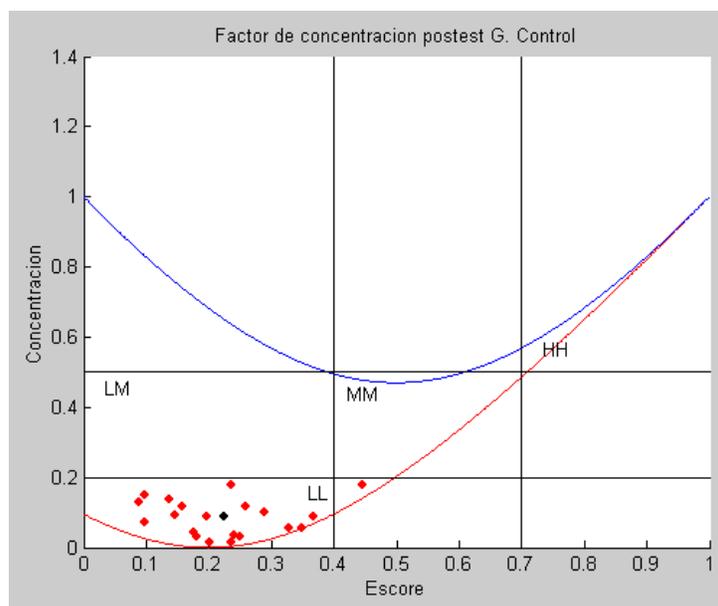


Figura 5.2 Distribución de respuestas en el pos test para el grupo de Control.

Obsérvese que la pregunta 16, después de la instrucción obtiene un escore y un factor de concentración ligeramente mayor que en el pre test, sin embargo el patrón de las respuestas sigue cayendo en la región aleatoria.

La ganancia normalizada se obtiene mediante la expresión de Hake (1998)

$$\langle g \rangle = \frac{\% \langle S_f \rangle - \% \langle S_i \rangle}{100 - \% \langle S_i \rangle}.$$

Dónde $\langle S_f \rangle$, $\langle S_i \rangle$ representan, respectivamente, el porcentaje de las respuestas correctas del test tanto en el pos como en el pre test. Aplicando la expresión anterior a los datos obtenidos se encuentra que la ganancia del grupo de control fue de 0.7%, lo cual representa un valor extremadamente bajo indicando que ésta metodología no favorece al proceso enseñanza-aprendizaje para los conceptos electrostáticos estudiados.

Análisis del grupo experimental

Pre-test

El grupo experimental estaba formado por 45 estudiantes del tercer semestre de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales grupo B, al inicio del semestre. Con este grupo se aplicó la estrategia metodológica propuesta en este trabajo de investigación, Física por Indagación. La forma de implementar las Actividades para la Enseñanza de Campo Eléctrico fue la siguiente: (se debe incluir en la sección de metodología).

1. Se realiza una introducción a las propiedades de la carga eléctrica.
2. El curso da inicio con la explicación de la existencia del campo eléctrico que genera una partícula cargada y las reglas para trazar las líneas de campo.
3. Se explica la expresión matemática que cuantifica al campo eléctrico generado por una partícula cargada y se procede a aplicar la primer actividad.
4. Las actividades se analizan en primera instancia de manera individual durante 5min y responden en su hoja de trabajo, posteriormente se discute de manera grupal y se coloca la respuesta grupal en la parte inferior o al reverso de la hoja. No está permitido que después de la discusión grupal los estudiantes cambien sus respuestas individuales escritas en la hoja de trabajo.
5. Finalizada la actividad se procede a explicar mediante la proyección de diapositivas (dinámicas) la solución de la misma.
6. Se otorga una segunda actividad a los estudiantes y se repite el proceso.
7. Se considera que las actividades se pueden aplicar dos veces a la semana (o tres horas a la semana, dependiendo de la distribución horaria de la asignatura) durante tres semanas, dentro de este período se debe incluir la elaboración de las prácticas ilustrativas. Algunas actividades fueron clasificadas como Tareas en Equipos, para responderlas en casa.

El pre-test se aplicó al grupo experimental el primer día que inició el semestre (durante la misma semana que se aplicó al grupo de control) es decir no recibieron instrucción alguna con anterioridad, esto para estar en concordancia con lo expuesto en algunas bibliografías que indican que el recibir una breve instrucción antes de aplicar el test puede afectar los resultados.

Los datos de este grupo se muestran en la Tabla A4.2 (Ver Anexo 6) la cual muestra el score y el factor de concentración para cada pregunta del test así como los patrones de respuesta de los estudiantes. Aparecen 15 patrones tipo LL, 3 patrones tipo LM (Preguntas 1, 6 y 17) y 2 patrones tipo MM (Preguntas 11 y 16). En primera instancia, parece que el grupo experimental tomó con más seriedad e interés el pre-test que el grupo de control ya que cinco preguntas salen del modelo aleatorio, aunque el número de preguntas en este

último es muy elevado. En la Figura 4.3 se muestra el gráfico que representa la distribución de las respuestas de los estudiantes en el grupo experimental al test *CSE*.

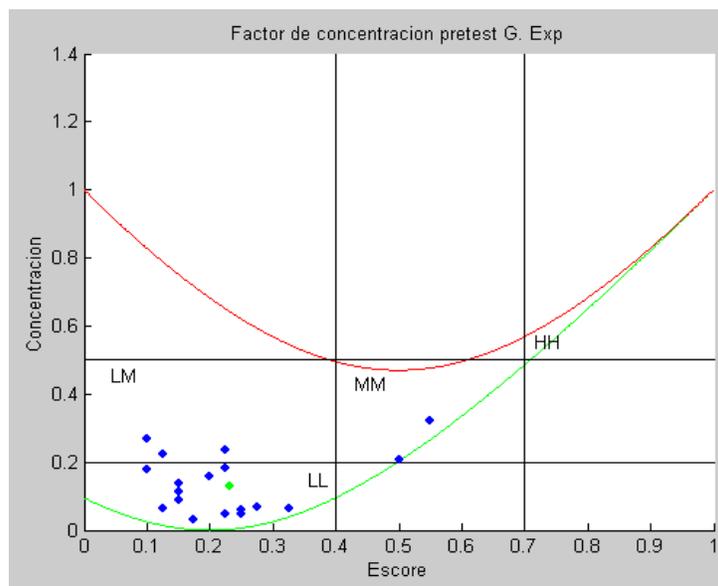


Figura 5.3 Distribución de respuestas del grupo Experimental (pre-test).

De esta gráfica se puede observar que el 75% de la población cae en la región *sin modelo* (patrón tipo LL), un 15% se encuentra en la región LM (dos modelos populares incorrectos) y un 10% en la región MM dentro de la cual se obtiene un modelo correcto y uno incorrecto. En esta fase, los estudiantes de este grupo traen consigo 5 patrones de respuestas diferentes que caen en la región *dos modelos*, a diferencia del grupo de control donde no se puede observar algún modelo específico. Promedio en esta fase: 23.5%.

Pos-test

El pos-test se aplicó al grupo experimental una semana después de finalizar los temas electrostáticos del programa de estudio, correspondiendo a los temas Ley de Coulomb y Campo Eléctrico. En esta ocasión el número de estudiantes que conformaron la muestra de estudio fue de 30, la Tabla A4.2 (Ver Anexo 6) muestra el escore y el factor de concentración obtenido en esta fase, se puede notar que en este grupo sí existe una movilidad de los modelos estudiantiles hacia zonas que indican avances positivos en la comprensión de estos modelos, para obtener una visión más clara y directa de esta situación se realiza el gráfico S-C (Ver Figura 4.4), la cual permite visualizar la distribución de los patrones de respuesta.

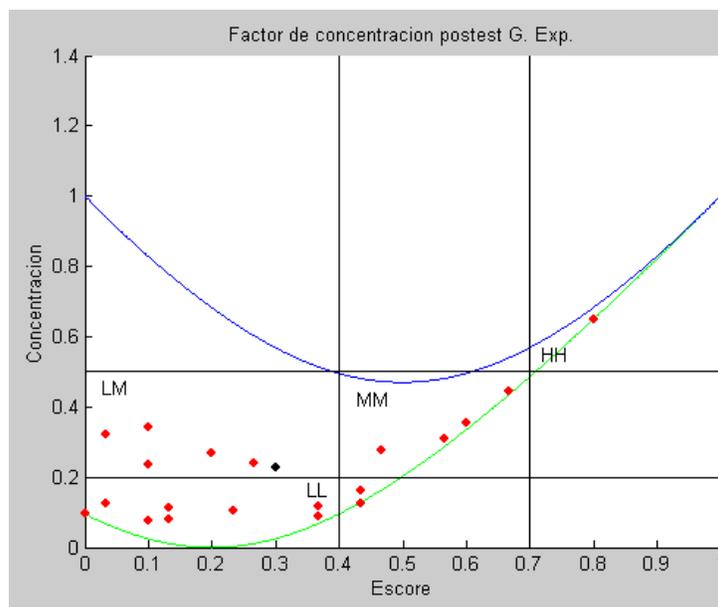


Figura 5.4 Distribución de las respuestas del grupo experimental (pos-test).

Obsérvese que la distribución de respuestas del grupo experimental muestra mejoras considerables ya que la región aleatoria LL se reduce al 50% (veinticinco por ciento menos que en el pre-test). Por otro lado la región LM (dos modelos incorrectos) alcanza un 25% de las respuestas (diez por ciento más que en el pre-test); aunque esta zona no se considera buena es de resaltar el hecho de que los estudiantes ya no responden de manera azarosa el test, es decir a pesar de que sus modelos son incorrectos se puede obtener información útil sobre su forma de pensar lo cual no puede hacerse con las respuestas en la zona LL. Por otro lado, la zona que representa *dos modelos* (MM: uno correcto y otro incorrecto) tuvo un incremento del 20% (cincuenta por ciento más que en el pre-test) lo cual indica que el razonamiento de los estudiantes ha ido mejorando de manera considerable porque la zona de dos modelos incrementó un 45% (incluyendo las zonas LM y MM).

Por otro lado, la Figura 4.4 nos muestra claramente la existencia de una pregunta que ha alcanzado la región *un modelo* (HH), este dato es de gran relevancia para el desarrollo de este trabajo ya que la instrucción aplicada hasta el momento ha logrado dirigir el razonamiento estudiantil a alcanzar un modelo correcto, siendo además que en el pre-test no aparecía ninguna pregunta en esta zona. Para mostrar de una manera directa las diferencias obtenidas entre los dos grupos de estudio, se ha elaborado la Tabla 4.1 en la cual se presentan los promedios obtenidos en cada fase de evaluación. Promedio en esta fase 31.5%.

De esta tabla se tiene que la ganancia en el grupo de control es extremadamente pequeña, es decir la instrucción tradicional no aporta mejoras a la comprensión del concepto de campo eléctrico y su relación con la fuerza eléctrica. En contra parte, el grupo experimental ha alcanzado una ganancia igual a 10.46% la cual es superior a la obtenida en el grupo de

control. Si bien éste valor es pequeño se puede apreciar que sí hay un avance considerable en la comprensión de los conceptos mencionados, tal situación se apreciará con más claridad en el análisis de las respuestas clasificadas en grupos.

Aunado a esto, durante la aplicación de la propuesta metodológica se observó un alto interés entre los estudiantes para resolver las actividades programadas de manera activa y entusiasta en el salón de clases, dentro de un ambiente de respeto mutuo y solidaridad con sus compañeros para compartir y discutir sus respectivas respuestas; el análisis de las respuestas en AECE ha permitido tener una visión más amplia de la evolución del razonamiento conceptual de los estudiantes ya que ha permitido observar que la mayoría de los estudiantes al responder de manera individual comúnmente lo hacían erróneamente, sin embargo al analizarlas en equipo mejoraba la comprensión del fenómeno analizado (Ver Capítulo 3). También se observó una gran motivación para realizar las dos prácticas de laboratorio diseñadas en este trabajo, estos datos nos hacen suponer que AECE provoca que los estudiantes aprendan a trabajar de manera más participativa en los equipos, fortaleciendo de esta manera el aprendizaje colaborativo entre ellos.

Análisis de los cambios en los modelos de los estudiantes entre ambos grupos de estudio

La Tabla 4.1 muestra los cambios que tuvieron los modelos de los estudiantes durante el desarrollo de la instrucción, la tradicional en el grupo de control y la enseñanza activa en el grupo experimental. Se observa que no hubo ningún cambio en los modelos previos de los estudiantes del grupo de control, sin embargo en el grupo experimental se obtienen algunos cambios en modelos previos. Para detallar más este análisis, podemos ponderar esos cambios de la siguiente manera: si hay un cambio **LL** a **LM** (o **LM** a **MM**) se tomará como *moderado*, si el cambio es de **LL** a **MM** se tomará como *considerable (o adecuado)*, si el cambio es de **MM** a **HH** se tomará como *muy bueno*, si el cambio es de **LL** a **HH** se tomará como *excelente*. Considerando esos argumentos se puede notar que hay cinco modelos con cambio *moderado* (P10, P13, P17, P18 y P19), dos modelos con cambio *considerable* (P8 y P14) y aparece un modelo con cambio *muy bueno* (P16), todo en el grupo experimental.

En concordancia con la Tabla 2.2 del capítulo 2, se deduce que la instrucción tradicional no provoca ningún cambio en los patrones de respuestas 19 de las 20 preguntas se quedan en el patrón LL indicando que los estudiantes no comprendieron el tema, lo cual hace suponer que la enseñanza tradicional no es la adecuada para la enseñanza de estos temas.

Tabla 5.1 Comparación de los cambios en los patrones de respuestas estudiantiles.

Pregunta	Grupo de Control		Grupo Experimental	
	Pre	Pos	Pre	Pos
1	LL	LL	LM	LL
2	LL	LL	LL	LL
3	LL	LL	LL	LL
4	LL	LL	LL	LL
5	LL	LL	LL	LL
6	LL	LL	LM	LM
7	LL	LL	LL	LL
8	LL	LL	LL	LM
9	LL	LL	LL	LL
10	LL	LL	LL	LM
11	LL	LL	MM	MM
12	LL	LL	LL	LL
13	LL	LL	LL	LM
14	LL	LL	LL	MM
15	LL	LL	LL	LL
16	ML	ML	MM	HH
17	LL	LL	LM	MM
18	LL	LL	LL	ML
19	LL	LL	LL	LM
20	LL	LL	LL	LM

En contra parte, al metodología Física por Indagación ha provocado diversos cambios, en cinco preguntas conduce a dos modelos (LL a LM) incorrectos (en este caso provenía de la zona aleatoria) aunque este cambio no es favorable, sí induce a que los estudiantes tomen con seriedad el test; hay dos cambios en los cuales la instrucción conduce a un modelo correcto (LL a MM); y existe un cambio MM a HH, indicando que los estudiantes comprendieron bien ese tópico y la instrucción está en la dirección correcta.

El análisis del factor de concentración calculado en este trabajo nos indica que la metodología aplicada se encuentra en el camino correcto aunque deben realizarse mejoras en la estructura de las actividades aplicadas para mejorar los resultados obtenidos.

Análisis por clasificación de las preguntas

Grupo de Control

Ley de Coulomb

En esta sección se hace un análisis de las preguntas de acuerdo a la clasificación descrita en el capítulo 2 y acorde a las definiciones de los tipos de modelos dadas en el Anexo 4. Se detallan los cambios ocurridos en los modelos descritos para ambos grupos de estudio.

Tabla 5.2. Tipos de modelos para ley de Coulomb.

Ley de Coulomb					
Pre			Pos		
Opción	Porcentaje	Modelo	Opción	Porcentaje	Modelo
1c	33	3	1c	40	3
2c	42	3	2c	42	3
3c	36	2	3c	39	2
4a	37	2	4a	30	2
5d	34	3	5d	33	3
6d	39	2	6d	33	2
7a	27	2	7a	30	2
8b	34	1	8b	35	1
16b	45	1	16b	44	1
17d	39	2	17d	45	1

La Tabla 4.2 muestra las variaciones en los tipos de modelos (1, 2 o 3) del grupo de control, para las preguntas relacionadas con la Ley de Coulomb, que tienen los estudiantes después de la instrucción (en este caso tradicional). Las preguntas 1, 2 y 5 revelan un Modelo tipo 3 tanto en el pre como en el pos test (no hubo cambios), es decir en estas preguntas permanecen los estudiantes en el Modelo Nulo (lo cual indica que los estudiantes respondieron de manera aleatoria). Las preguntas 3, 4 y 7 muestran un Modelo tipo 2 (uno correcto y el otro incorrecto) en el pre test y lo mismo ocurre después de la instrucción, no hubo cambio en sus modelos. En estas seis preguntas, la comprensión de la suma vectorial con el empleo de la ley de Coulomb no fue buena y como consecuencia la instrucción no fue adecuada. En las preguntas 8 y 16 alcanzan un modelo tipo 1 (correcto) y lo mantienen así en el pos test con el promedio prácticamente igual, esto nos indica que la instrucción les mantuvo con el modelo correcto pero con un score relativamente bajo (es decir pocos estudiantes alcanzan este modelo); para este par de preguntas la comprensión de la variación de la intensidad de la fuerza debida a la carga fue buena. En este grupo de preguntas la única que muestra un cambio favorable es la 17 ya que presentan un modelo tipo 2 (pre test) y en el pos test alcanzan el modelo tipo 1 (correcto) con un ligero incremento en el score, este resultado nos indica que la comprensión de la relación del

inverso al cuadrado quedó clara solo para algunos estudiantes, ya que de acuerdo al patrón de respuestas el grupo en general cae en la zona LL.

Campo Eléctrico

La situación del grupo de control para las preguntas del campo eléctrico no presenta ningún avance favorable, por el contrario presenta algunos retrocesos respecto al pre test. Por ejemplo, la pregunta 9 que en el pre test alcanzó un modelo tipo 1 con un 34% en el score (los estudiantes asumen que el campo debería aumentar), para el pos test su porcentaje disminuye a 24% y el modelo cambia a uno tipo 3 (Nulo), el cual representa una indecisión en los estudiantes de no saber qué ocurre en el sistema de cargas. En la pregunta 10 (modelo tipo 2) los estudiantes piensan que la carga deberá moverse con velocidad constante dentro del campo uniforme, el mismo modelo permanece en el pos test; en la pregunta 13 (modelo tipo 3), los estudiantes indican (en el pre test) que la carga se deberá quedar en reposo dentro del campo eléctrico no uniforme; el modelo permanece sin cambios; y las repuestas a la pregunta 20 (modelo tipo 2) indican que los estudiantes piensan que las líneas de campo eléctrico pueden atravesar el cascaron esférico, el modelo permanece sin cambios durante la instrucción pero se muestra un ligero incremento en el score.

Tabla 5.3. Tipos de modelos para Campo Eléctrico.

Campo Eléctrico					
Pre			Pos		
Opción	Porcentaje	Modelo	Opción	Porcentaje	Modelo
9b	34	1	9ayc	24	3
10b	26	2	10b	27	2
13e	31	3	13e	39	3
15d	29	3	15c	34	2
20ayb	30	2	20b	37	2

Un cambio moderado se presenta en la pregunta 15 en la cual de obtener un modelo tipo 3 pasaron a un modelo tipo 2, en este caso de pensar que un campo eléctrico puede generarse por medio de imanes cambian a pensar que se puede generar por medio de barras de plástico con cargas opuestas, lo cual representa un ligero avance en el cambio de este modelo.

Fuerza y Campo Eléctrico

Para esta sección de preguntas los modelos tienden a mejorar en algunos estudiantes; la pregunta 11 se mantiene con un modelo tipo 1 en el pre y pos test (aunque con un bajo score en general: patrón LL), aquí estos estudiantes tienen clara la idea de que un campo uniforme ejerce una fuerza uniforme sobre una carga; para la pregunta 12 el modelo alcanzado es el tipo en el pre test indicando que la fuerza sobre la carga estaría dirigida hacia la derecha (lo cual correspondería a una carga positiva), no obstante en el pos test el modelo cambia a uno tipo 3 y los estudiantes piensan que la fuerza estará dirigida hacia el tercer cuadrante; la pregunta 19 no cambian su modelo tipo 2, sin embargo en el pos test su score tiene una ligera disminución; las pregunta que tienen un cambio favorable son la 14 y la 18 que pasan de un modelo tipo 2 a un modelo tipo 1.

Tabla 5.4 Tipos de modelos para Fuerza y Campo Eléctrico.

Fuerza y Campo Eléctrico					
Pre			Pos		
Opción	Porcentaje	Modelo	Opción	Porcentaje	Modelo
11d	35	1	11d	36	1
12c	26	2	12b	26	3
14c	24	2	14e	33	1
18c	27	2	18b	25	1
19b	29	2	19b	25	2

En el caso de la pregunta 14 de considerar que es necesario que se cumplan los tres requisitos indicados en el test pasan a considerar que basta con que exista una carga y un campo para que se produzca la fuerza, además presenta un aumento significativo en su score (9%). El análisis de la pregunta 18 indica que el cambio a modelo tipo 1 ocurrió en pocos estudiantes debido a que el score es menor en el pos test, estos estudiantes comprendieron que una carga colocada en una esfera conductora se debe distribuir sobre la superficie de la misma. Se debe recordar que la región alcanzada en este grupo, en el gráfico S-C corresponde a la zona aleatoria.

Grupo Experimental

En esta sección se muestran los resultados de los cambios ocurridos en los tipos de modelos que presentaron los estudiantes del grupo experimental. La Tabla 4.5 muestra los modelos, detectados al inicio del curso y al final de la instrucción, para las preguntas clasificadas como Ley de Coulomb. Obsérvese que la pregunta 1 muestra un modelo tipo 3 en el pre test y permanece aún después de la instrucción empleada (AECE), en este punto los estudiantes piensan que la fuerza se puede equilibrar con una carga colocada en cualquiera de los dos lados, incluso se puede observar que estos alumnos escogieron la misma opción en ambas ocasiones (situación similar al grupo de control) aunque en el pos test el porcentaje disminuyó un 11% (en el grupo de control aumentó un 7%). En la pregunta 2, el modelo tampoco cambia ya que permanece el modelo tipo 3 en el pre y el pos test pero, el score en este rubro disminuye un 11% en el pos test; con estos datos se puede decir que los estudiantes no han comprendido la esencia ley de Coulomb, es decir piensan que la partícula con más carga ejercerá una fuerza mayor sobre la partícula con menos carga. Esta situación tiene su analogía con la segunda ley de Newton, en la cual los estudiantes piensan que la masa más grande ejerce más fuerza sobre la masa más pequeña.

Para la pregunta 3, la opción que eligió (pre test) la mayoría de los estudiantes fue el c) con lo cual indican que la fuerza sobre el punto C será más pequeña, es decir no tienen clara la adición de los vectores sin embargo, la dirección de la fuerza es correcta, ver Tabla 4.5. Con la ayuda de AECE los estudiantes cambian su modelo a uno tipo 1 (la fuerza debe ser mayor) en el pos test, alcanzando con ello el modelo adecuado además, el score aumentó a 43% (13% más que el previo). La pregunta 4, muestra un cambio no adecuado en sus modelos ya que pasa del modelo tipo 1 al modelo tipo 2. Originalmente piensan que la fuerza neta sobre la carga C debe ser grande (en la dirección correcta) y después de la instrucción su razonamiento cambia, aunque piensan que la fuerza seguirá siendo grande pero la dirección elegida es la inversa a la original. La pregunta 5 muestra un cambio del tipo 2 al tipo 3 (con el mismo porcentaje en el score); inicialmente piensan que la fuerza estará en el primer cuadrante (como si las cargas fueran todas positivas) y posteriormente cambia su razonamiento indicando que la fuerza estará sobre el eje x hacia la izquierda, fallando de nuevo la adición vectorial.

La pregunta 6 presenta un cambio favorable, de un modelo tipo 2 cambia a un modelo tipo 1; al inicio del curso los estudiantes creían que la fuerza sobre la carga en C apuntaría en el cuarto cuadrante y por medio de la instrucción programada se alcanza el modelo 1, el cual está representado por el vector que se encuentra en el tercer cuadrante. La pregunta 7 pasa de un modelo tipo 2 a uno tipo 3, es decir inicialmente tienen la idea de que el tamaño de la fuerza debe ser diferente, sin embargo, en el pos test los estudiantes piensan que las fuerzas deben estar en la misma dirección y con diferente tamaño, indicando una vez más que la ley de Coulomb sigue sin comprenderse en su totalidad. En la pregunta 8, el cambio es significativamente favorable al cambiar de tipo 2 a tipo 1 con un porcentaje alto (30% más

que en el pre test); inicialmente creían que la fuerza podría cambiar de tamaño y dirección y posteriormente asumen que la fuerza podría cambiar de tamaño pero no de dirección, obteniéndose con ello el modelo correcto. En este caso AECE mejora su modelo, el efecto sobre esta pregunta es de los mayores en esta investigación.

La pregunta 16 es la que presenta el mayor grado de comprensión entre los estudiantes, ya que esta es la que ha alcanzado una región HH en el pos test. Aún cuando el modelo obtenido en el pre test fue el modelo 1 (y permanece en el pos test) la región obtenida en ese caso fue MM con un 55% del score. Después de la instrucción y con las actividades utilizadas el score obtenido posteriormente es del 80%, es decir los estudiantes han comprendido que la magnitud de la fuerza eléctrica aumenta directamente con el tamaño de la carga; para esta situación el score y el factor de concentración fueron altos.

Tabla 5.5 Tipos de modelos para Ley de Coulomb.

Ley de Coulomb					
Pre			Pos		
Opción	Porcentaje	Modelo	Opción	Porcentaje	Modelo
1c	48	3	1c	37	3
2c	48	3	2c	37	3
3c	30	2	3d	43	1
4b	28	1	4d	33	2
5b	33	2	5c	33	3
6d	50	2	6c	50	1
7c	30	2	7e	34	3
8bc	27	2	8b	57	1
16b	55	1	16b	80	1
17d	50	2	17c	48	1

La pregunta 17 presenta, también, un cambio favorable en los modelos estudiantiles ya que pasando de un modelo 2 a un modelo 1. Inicialmente los estudiantes piensan que la magnitud de la fuerza disminuye con el inverso de la distancia pero no asumen que debe ser el inverso al cuadrado, modelo que cambia con la instrucción y se observa que ahora han comprendido la relación del inverso al cuadrado. De igual forma el score ha mejorado significativamente, comparado con el pre test.

Campo Eléctrico

En esta clasificación, sólo se aprecia un cambio positivo en la pregunta 9, la cual inicialmente tenía un modelo tipo 2 y pasa a un modelo tipo 1 en el pos test. Al comienzo del semestre consideraban que el campo eléctrico en el punto P podría incrementar pero su dirección debería cambiar; posterior a la instrucción con AECE el modelo cambia al correcto y comienzan a considerar que la intensidad del campo debe aumentar sin cambiar su dirección; el score incrementa significativamente, ver Tabla 4.6.

En la pregunta 10, los estudiantes no pudieron cambiar su modelo inicial, a pesar de las actividades utilizadas siguen pensando que una partícula cargada se moverá con velocidad constante dentro de un campo eléctrico uniforme, sin embargo el score de respuestas correctas incrementa ligeramente en el pos test. Por otro lado, el modelo estudiantil que se presenta en la pregunta 13 sigue siendo el Nulo ya que la mayoría de los estudiantes (60% de score) sigue pensando que una partícula cargada deberá moverse a lo largo de las líneas de campo eléctrico, a pesar de que la Actividad 8 induce a los estudiantes a pensar en ese hecho en el pos test mantienen ese pensamiento erróneo. La pregunta 15, al igual que la pregunta 13, presenta un modelo erróneo muy arraigado. Al iniciar el semestre ellos consideran que un campo eléctrico uniforme se puede generar por medio de un arreglo de imanes en reposo con sus polos opuesto apuntando uno sobre otro; sin embargo la situación no mejora con la instrucción ya que posterior a ella los estudiantes asumen que un campo eléctrico no se puede producir por ninguna de las opciones presentadas en el test, lo cual no es lo deseado en la instrucción.

Tabla 5.6 Tipos de Modelos para Campo Eléctrico.

Campo Eléctrico					
Pre			Pos		
Opción	Porcentaje	Modelo	Opción	Porcentaje	Modelo
9d	33	2	9b	37	1
10b	45	2	10b	50	2
13e	45	3	13e	60	3
15d	40	3	15e	33	3
20b	35	2	20b	53	2

Para el caso de la pregunta 20, el modelo tampoco cambia, permanece en el modelo tipo 2 considerando que el campo eléctrico que se puede generar dentro de una esfera metálica estaría dirigido hacia la derecha, el mismo razonamiento persisten en el pos test, sin embargo el score en respuestas correctas incrementa notablemente a pesar de que no se presenta en AECE una actividad que afecte directamente a esta pregunta. En la tabla 4.6 se muestran los resultados antes indicados.

Fuerza y Campo Eléctrico

Esta agrupación es la que presenta el mayor número de cambios favorables en el grupo experimental. Obsérvese que la pregunta 11 (Ver Tabla 4.7) mantiene un modelo tipo 1 antes y después de la instrucción, es decir asumen que la fuerza ejercida por un campo eléctrico uniforme sobre una partícula cargada debe ser la misma en cualquier punto dentro de dicha región; además el porcentaje de respuestas correctas incrementó significativamente en el pos test con AECE (ver Actividad 4 o 5). La pregunta 12 muestra un cambio en los modelos, pasa de uno tipo 2 a un modelo tipo 1 con un ligero incremento en el score del pos test. Inicialmente pensaban que la fuerza (sobre una carga) estaría dirigida en el tercer cuadrante para el campo presentado, este razonamiento cambia al modelo correcto (fuerza horizontal hacia la izquierda para una carga negativa) después de la instrucción.

La Tabla 4.7 revela que la pregunta 14 mantuvo un modelo tipo 1, es decir la mayoría de los estudiantes ha intuido que para que exista una fuerza sobre una carga solo bastan el campo y la carga; después de la instrucción mantienen el modelo correcto y además el porcentaje de respuestas correctas incrementa casi el doble. Otro cambio favorable se obtiene en la pregunta 18, donde se inicia con un modelo tipo 2, aquí los estudiantes creían que una pequeña cantidad de carga eléctrica colocada sobre una esfera metálica la mayor parte de ella permanecería alrededor del punto P y parte se distribuiría; sin embargo en el pos test se alcanza el modelo 1 con un número de aciertos mucho mayor que en el pre test, esto indica que los estudiantes comprenden que en una esfera metálica la carga se debe distribuir sobre toda la superficie exterior.

Tabla 5.7 Tipos de Modelos para Fuerza y Campo Eléctrico.

Fuerza y Campo Eléctrico					
Pre			Pos		
Opción	Porcentaje	Modelo	Opción	Porcentaje	Modelo
11d	50	1	11d	67	1
12b	33	2	12a	37	1
14e	33	1	14e	60	1
18d	28	2	18b	43	1
19e	28	3	19e	50	3

Los modelos para la pregunta 19 permanecieron sin cambios durante el proceso de enseñanza, la mayoría de los estudiantes piensan que al colocar una pequeña cantidad de carga sobre una esfera no conductora, en ésta no habrá exceso de carga de hecho después de la instrucción el porcentaje de estudiantes que escogió esta opción incrementa significativamente. Sin embargo, se debe señalar que en AECE no hay una actividad que se relacione directamente con esta pregunta.

El análisis detallado con anterioridad nos permite deducir que la estrategia presentada en este trabajo sí provoca cambios positivos en los estudiantiles, ya que las actividades empleadas han impactado significativamente al conjunto de preguntas del test con las cuales se relacionan de manera directa. De acuerdo a la clasificación de las preguntas del test dadas en el capítulo 2 y a los resultados obtenidos se tiene que el empleo AECE ha provocado efectos positivos en el 33% de las preguntas dentro de la clasificación ley de Coulomb, 60% a la clasificación Campo Eléctrico y 40% a la clasificación Fuerza y Campo.

Prueba de hipótesis

Como se mencionó en la introducción, se realizará a continuación la prueba de hipótesis para las dos poblaciones estudiadas. Levin *et al.* (2004), define la desviación estándar de la diferencia entre dos medias se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}. \quad (5.1)$$

Y la estandarización de la media de la muestra se calcula por medio de:

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)_{H_0}}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}. \quad (5.2)$$

Donde \bar{x}_1 , \bar{x}_2 , son los promedios del pos test para el grupo experimental y de control respectivamente y $(\mu_1 - \mu_2)_{H_0}$ representa la diferencia hipotética de las medias poblacionales. Con los datos obtenidos se encontró que $\bar{x}_1 = 6.3$, $\bar{x}_2 = 4.45$, $\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = 0.8570$ se tiene que

$$Z=2.1577.$$

Como se tomó una seguridad del 95% y un nivel de confianza del 5%, se tiene que $Z=1.96$. Entonces, para que la hipótesis nula se acepte la media estandarizada debe caer en el intervalo (-1.96, 1.96) dentro de la curva gaussiana. Como el valor calculado cae fuera de este intervalo, se concluye que se debe rechazar la hipótesis nula la cual suponía que las medias poblacionales serían iguales; por tal razón se acepta la hipótesis alternativa. Con este dato, podemos decir que el empleo de AECE basado en la estrategia Física por Indagación sí provoca un cambio estadísticamente significativo en la comprensión del concepto de campo eléctrico, comparado con la enseñanza tradicional.

Respuestas a las preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son las causas por las cuales los estudiantes de ingeniería tienen dificultades para comprender el concepto de campo eléctrico?

R.- El test CSE ha mostrado que los estudiantes tienen arraigadas ideas conceptuales erróneas respecto a los fenómenos electrostáticos. Por una parte, algunos fenómenos estudiados tratan de analizarlos con base a sus ideas o modelos mentales que adquieren de su experiencia cotidiana (relacionados con la mecánica). Por otro lado, se ha encontrado que los estudiantes permanecen con diversos modelos mentales equívocos respecto a los conceptos de mecánica clásica, por ejemplo las leyes de Newton no la tienen bien comprendida así como tampoco el comportamiento de una partícula que se encuentre acelerada.

2. ¿De qué manera influyen los modelos mentales, previos a la instrucción, que presentan los estudiantes para comprender la relación entre campo eléctrico y fuerza eléctrica?

R.- Con el análisis realizado, se encontró que ciertos modelos mentales son difíciles de eliminar en los estudiantes, como la comprensión de la simetría de la ley de Coulomb (prevalece una idea semejante a la segunda ley de Newton, a mayor masa mayor fuerza en la interacción), en este caso los estudiantes piensan que a mayor carga mayor fuerza eléctrica. De igual forma, la mayoría tienen dificultades para comprender que una partícula acelerada deberá cambiar su velocidad, es decir no se moverá a velocidad constante.

3. ¿Puede la enseñanza tradicional ayudar a los estudiantes a superar estas dificultades?

R.- Tanto resultados anteriores obtenidos por diversos investigadores así como lo encontrado en el desarrollo de este trabajo, se puede deducir que la enseñanza tradicional no aporta las herramientas necesarias para que los estudiantes cambien sus modelos mentales. Se encontró que en la mayoría de los casos, los estudiantes no sintieron motivación para mejorar su estado académico inicial. Esto se puede observar de la microscópica ganancia en el grupo de control.

4. Con una metodología alternativa, como la que representa Física por Indagación, ¿pueden los estudiantes comprender mejor el concepto de campo eléctrico?

R.- El análisis realizado a las respuestas que otorgaron los estudiantes a las Actividades para la Enseñanza del Campo Eléctrico ha mostrado que la evolución en el razonamiento de los estudiantes fue mejorando poco a poco, a medida que las actividades demandaban un mejor razonamiento los estudiantes respondían de manera aceptable. Por otro lado, el análisis de los datos del test con el factor de concentración ha permitido visualizar de manera muy sencilla los cambios en los patrones de respuestas del grupo experimental, dichos cambios tienden hacia la zona favorable. Además, se encontró que en este proceso de aplicación y comparación entre los dos grupos de estudio, sí existe una diferencia estadísticamente significativa entre la aplicación de la enseñanza tradicional y la propuesta de este trabajo.

Capítulo VI. Conclusiones y Trabajos a Futuro

Conclusiones

1. El análisis realizado en el capítulo 3 a las Actividades para la Enseñanza del Campo Eléctrico (AECE) proporciona una clara indicación de la utilidad del empleo de dichas actividades para provocar mayor motivación entre los estudiantes para tratar de comprender un tema tan complejo como lo es el campo eléctrico. Se ha encontrado que la responder cada una de las actividades el nivel de madurez en el razonamiento de los estudiantes fue incrementándose poco a poco ya que, conforme se resolvían las actividades las explicaciones con fundamentos físicos a ciertos fenómenos eran cada vez mejores; AECE está diseñado de tal manera que el aumento en la complejidad de las actividades es progresivo, lo que provoca una mayor exigencia en el razonamiento de los estudiantes.
2. Aunque las primeras actividades son muy sencillas de resolver, los estudiantes las respondían de manera muy intuitiva, es decir con poca madurez. Sin embargo, las actividades 7, 8 y 9 que son las más complejas de explicar los estudiantes las responden con un buen nivel de razonamiento, si bien sus respuestas no son del todo correctas se observa una mayor madurez en sus respuestas. La actividad 10 permite realizar retroalimentación en el aula y se pudo observar un gran interés en los estudiantes para trabajar con ella, si bien esta actividad está diseñada para responder eligiendo falso o verdadero, ya que el nivel de participación de todos los integrantes del equipo era alto, es decir prácticamente todos los integrantes realizaban un comentario para responder al enunciado en cuestión.
3. El empleo de las prácticas de laboratorio son una gran fuente de motivación en los estudiantes ya que todos los integrantes de cada equipo se ve involucrado directamente en la realización de alguna medida física. Se encontró que a pesar de la disposición de los estudiantes por realizar la primera parte de la práctica y observar el funcionamiento del led, las observaciones de los estudiantes no fueron suficientes para comprender cuál debe ser la dirección del campo eléctrico dentro de un par de placas paralelas. No obstante, esta parte de la práctica permitió sacar a luz algunas de las ideas conceptuales erróneas de los estudiantes para tratar de explicar un fenómeno eléctrico, siendo los más utilizados corriente positiva o negativa, energía positiva o negativa, entre otras. Sin embargo, la segunda parte de la práctica les permitió a los deducir que la magnitud del campo eléctrico en el interior de las placas debe ser uniforme debido a que la diferencia de potencial medida entre dos puntos consecutivos era casi cero. De aquí se deduce que la primera parte de la práctica (utilizando el led) se le deben realizar ciertas modificaciones para que se alcance el objetivo planteado, por otro lado la segunda parte de la práctica ha rendido buenos frutos y se puede continuar trabajando de esta manera.

4. El empleo de la herramienta llamada factor de concentración nos ha permitido realizar un análisis más detallado de las fortalezas y debilidades de la instrucción propuesta en este trabajo; se encontró que la enseñanza tradicional no provoca cambios adecuados a los modelos mentales de los estudiantes, es decir no genera conflictos conceptuales en ellos para motivarlos a adoptar nuevos modelos conceptuales. Esta afirmación se deduce del hecho de que la ganancia normalizada es extremadamente pequeña (inferior al 1%) y tanto en el pre test como en el pos test los patrones de repuestas del grupo de control caen en la zona aleatoria, indicando que los estudiantes no adquirieron un modelo mental apropiado para interpretar de manera correcta los fenómenos electrostáticos estudiados.
5. Los datos analizados nos permiten aseverar que la estrategia planteada en este trabajo se encuentra en el camino correcto, si bien la ganancia normalizada que genera es pequeña (mayor a 10%) se puede apreciar que sí existen cambios significativos en algunos de los modelos mentales que tenían los estudiantes al iniciar el curso. El factor de concentración nos permite observar que los estudiantes pudieron cambiar sus modelo equívocos por los correctos (solo en ciertos casos), se pudo elevar el porcentaje de patrones respuestas en la zona MM (20%) y se alcanzó la zona HH (la más favorable) con un 5%. Además, los patrones de respuestas en la zona aleatoria disminuyó a un 50%; la zona LM aumentó a un 25% aunque esta zona no es favorable nos permite deducir que la mayoría de los estudiantes en el grupo experimental tomó con mayor seriedad el test que los estudiantes del grupo de control.
6. La clasificación de las preguntas del test acorde a lo previsto en el capítulo 2, nos permite visualizar con mayor facilidad los cambios provocados en los modelos de los estudiantes. Se ha encontrado que AECE provoca cambios favorables en el 78% de las preguntas del test; de acuerdo a la clasificación dada se tiene que en el 33% de las preguntas del grupo Ley de Coulomb tienen cambios favorables, el 60% de las preguntas del grupo Campo Eléctrico cambia de igual manera y, al grupo de Fuerza y Campo Eléctrico la favorece en un 40%.
7. La prueba de hipótesis nos permite asegurar que AECE genera cambios estadísticamente significantes comparados con la enseñanza tradicional, sin embargo es prioritario realizar una mayor cantidad aplicaciones de ellas para mejorar la forma de implementarla así como mejorar las condiciones con las cuales se intenta provocar el estímulo contextual en los estudiantes. Las actividades presentadas en el Anexo A3, se ha empleado en dos ocasiones con diferentes grupos de estudiantes en el Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco y hasta el momento se le han practicado tres modificaciones. En el Anexo A7, se presenta una nueva versión de AECE con un par nuevas de actividades, se espera poner en práctica esta nueva edición en los meses próximos.

Trabajos a futuro

Implementación en el Modelo Basado en Competencias

El modelo educativo que se ha implementado desde hace algunos años en nuestro país es el modelo de enseñanza basado en competencias (EBC) que surgen en el marco del “*Programa para la formación de recursos humanos por competencias*”, impulsado por el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo.

Es un modelo centrado en el aprendizaje donde:

- Se aplican diversas estrategias de aprendizaje como: Aprendizaje Basado en Problemas, Estudio de Casos, Aprendizaje Visual, acorde a EBC
- Se desarrolla en distintos contextos y ambientes de aprendizaje: aula, laboratorio, aprendizaje situado, entre otros.
- La evaluación es un proceso integrador de verificación de los niveles de dominio de las capacidades alcanzadas (que contienen conocimiento, desempeño y actitud)
- Aplicación de una diversidad de técnicas e instrumentos de evaluación acorde a EBC, a lo largo del proceso formativo

En este modelo educativo son necesarias las *evidencias* que demuestren que los estudiantes han desarrollado cierto nivel de habilidad en una determinada asignatura para ser acreditada.

Existen cuatro tipos de evidencias:

- Conocimiento
- producto
- Desempeño
- Actitud.

Las cuatro evidencias se complementan unas con otras para determinar si un estudiante acredita o no una asignatura, es decir es una evaluación integral.

La estrategia descrita en este trabajo tiene el potencial adecuado para que pueda ser implementado dentro del modelo Enseñanza Basada en Competencias debido a que por medio de ella se pueden evaluar las cuatro evidencias antes mencionadas, para la unidad correspondiente a la ley de Coulomb y Campo eléctrico. Como ejemplo de esta implementación, se podría tomar como Evidencia de Producto la colección de todas las actividades involucradas en AECE que se entreguen de manera limpia, ordenada y

contestadas con responsabilidad (Matriz de Valoración: Rúbrica para colección de actividades); también podría tomarse como Evidencia de Desempeño la elaboración de las prácticas ilustrativas con el led, ya que comúnmente se requieren de prácticas de laboratorio en los programas educativos diseñados en este modelo (Instrumento de evaluación: Guía de Observación para práctica de laboratorio). La Evidencia de Actitud puede evaluarse según el nivel e interés de los estudiantes en participar en la elaboración de todas las actividades aquí propuestas, ya que AECE permite e incita a trabajar tanto de manera individual como grupal pudiéndose entonces evaluar la actitud individual de los estudiantes y su disposición para trabajar en equipos de manera eficiente y respetuosamente. Por último la Evidencia de Conocimiento puede ser llevada a cabo mediante la aplicación del pos test (*CSE*) al finalizar la unidad de estudio, pudiendo con ello a motivar más a los estudiantes a tomar con mayor seriedad el pos test.

Esta estrategia permitiría desarrollar las siguientes capacidades genéricas:

Capacidades de:

- Abstracción
- Análisis y síntesis.
- Aplicar los conocimientos en la práctica.
- Capacidad de organizar y planificar el tiempo.
- Capacidad de investigación.
- Creativa.
- Identificar, plantear y resolver problemas.
- Trabajo en equipo.
- Habilidades interpersonales.
- Habilidad trabajar en forma autónoma.

Por tal razón se tiene el plan de llevar a cabo estas sugerencias de implementación en la Universidad Politécnica del Golfo de México, ubicada en Paraíso, Tabasco. En ella se trabaja con los estudiantes con el Modelo de Enseñanza Basada en Competencias y se tienen todas las condiciones necesarias para ejecutar esta nueva propuesta.

Bibliografía

Ahumada, L (2004). Liderazgo y Equipo de Trabajo: una nueva forma de entender la dinámica organizacional. *Ciencias Sociales Online*, **1**, 53-63.

Allain, R (2001). Investigating the relationship between student difficulties with the concept of electric potential and the concept of rate of change. Tesis doctoral. Graduate faculty of North Carolina State University.

Alvarez, T (2010). La visualización de conceptos matemáticos y el aprendizaje del electromagnetismo. *Lat. Am. Phys. Edu.* **4**, 143-148.

Arons, A. Karplus, R (1976). Implication of accumulating data on levels of intellectual development. *Am. J. Phys.* **46**, 396-401.

Aronson, E., Patnoe, S. (1997). *The jigsaw classroom: Building cooperation in the classroom*. New York: Addison Wesley Longman (2nd ed).

Bao, L. Redish, E (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student.

Bao, L (1999). Using the context of Physics Problems Solving to Evaluate the Coherence of Student Knowledge. Tesis Doctoral.

Berkson, W (1985). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Alianza Editorial.

Bohigas, X. Periago, M. Modelos mentales alternativos de los alumnos de segundo curso de ingeniería sobre la ley de Coulomb y el campo eléctrico. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, **12**, 1-19.

Bradley, J (1991). Repeating the electromagnetic experiments of Michael Faraday. *Physics Education*, **26**, 284-288.

Bruner, J (1988). *Desarrollo Cognitivo y Educación*. Madrid: Morata.

Carson, J (2007). A Problem with Problem Solving: Teaching Thinking without Teaching Knowledge. *The mathematics Educator*, **17**, 7-14.

Catalán, L. Caballero, C. Moreira, M (2010). Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la inducción electromagnética. Un estudio de caso. *Lat. Am. J. Phys. Edu.* **4**, 126-142.

Chabay, R. Sherwood, B. Beichner, R (2006). Evaluating and electricity and magnetism assessment tool: Brief Electricity and Magnetism Assessment. *Physical Review Special Topics- Physics Education Research*, **2**, 1-6.

Chabay, R. Sherwood, B (2002). *Matter & Interaction II: Electric and Magnetic Interaction*. New York, John Wiley and Sons.

Chabay, R. Sherwood, B. Din, L (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief Electricity and Magnetism Assessment. *Physics Education Research*, **2**, 1-7.

Chi, M (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Science*, **14**, 161-199.

Colleta, V. Phillips, J (2005). Interpreting FCI score: Normalizing gain, pre instruction score and scientific reasoning ability. *Am. J. Phys.* **73**, 1172-1182.

Crouch, C. Mazur, E (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *Am. J. Phys.* **69**, 970-977.

Din, L. Reay, N. Lee, A. Bao, L (2008) Effect of testing condition of conceptual survey results. *Phys. Edu. Research*, **4**, 1-6.

Di Sessa, A (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, **10**, 105-125.

Elkind, D (1962), Quality conceptions in college students, *J. Soc. Psychol.* **57**, 459-465.

Epinosa, G (2003). Trabajo en equipos dentro del aula. *Boletín Unidad de Medición de la Calidad Educativa, Ministerio de la Educación.* **23**, 1-11.

Esra, B. Erol, T (2009) Investigating Students' Conceptions of Some Electricity Concept. *Lat. Am. J. Phys. Edu.* **3**, 1-17.

Etkina, E. Van Heuvelen, A (2007). *Investigative Science Learning Environment: A Science Process Approach to Learning Physics*. Fecha de consulta: 20/05/2010. On line: <http://paer.rutgers.edu/ScientificAbilities/Papers+Talks+and+Presentations/default.aspx>

Furió, C. Guisasola, J (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las ciencias*, **17**, 441-452.

Furió, C. Guisasola, J (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, **17**, 441-452.

Furió, C. Guisasola, J (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. Enseñanza de las ciencias, **19**, 319-334.

Furió, C, Guisasola, J, Zubimendi, J (2008). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales.

On line: [http:// www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol3/n3/v3_n3_a2.tm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol3/n3/v3_n3_a2.tm). Fecha de consulta 11/03/08.

Galili, I (1995). Mechanics Background Influences students' conceptions in electromagnetism. International Journal of Science Education, **17**, 371-387.

Gölk, T. Silay, I (2010). The effects of Problem Solving Strategy on Students' achievement, Attitud and Motivation. Lat. Am. J. Phys. Ed, **4**, 7-21.

Haertel, H (1985). The electric voltaje, in aspect to understanding electricity. Proceeding of an International Conference, edited by R. Duit, Jung, W & von Rhöneck, 353-362.

Hake, R (1998). Interactive engagement vs traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics course. Am. J. Phys. **66**, 64-74.

Hewson, P (2008). Conceptual change in science teaching and teacher education. Paper presented on Research and Curriculum Development in Science Teaching, Madrid, Spain.

Jhonson, D. Jhonson, R (1989) Learning Together and Alone. Cooperative, Competitive and Individualistic Learning. Holt, Reinhardt and Wiston, New York.

Khol, P. Filkeinetein, N (2008). Pattern of multiple representation use by expert s and novices during physics problem solving. Physical Review Special Topics. Physics Education Research, **4**, 1-13.

Kohlmyer, M. Caballero, D. *et al.* (2009). Tale of two curricula: the performance of 2000 students in introductory electromagnetism. Physical Review Special Topics- Phys. Edu. Research, **5**, 1-10.

Levin, R. Rubin, D (2004). Estadística para Administración y Economía. Pearson Eduacation (Sétima Edición).

Llancaqueo, A. Caballero, C. Moreira, M (2003). El aprendizaje del concepto de campo de física: una investigación exploratoria a la luz de la teoría de Vergnaud. Revista Brasileira de Ensino de Fisica, **25**, 399-417.

Maloney, D. O'Kuma T. Hieggelke, C, Van Heuvelen, A (2001). Conceptual Survey in Electricity. Am. J. Phys. Education Research, **69**, 12-23.

Mazur, E (1997). Peer Instruction, a user manual. Prentice Hall.

McDermont, L. Shaffer, P (2001). Tutoriales para Física Introductoria. (1ra Ed) Pearson Education, INC. Buenos Aires.

Özdemir, G. Clark, D (2007). An overview of conceptual change theories. Eurasia Journal of mathematics, science & technology education, **3**, 351-361.

Piaget, J. Inhelder, B (1969). The psicology of the child. New York: Basics Books.

Pocovi, M. Finley, F (2002). Line of Force: Faraday's and students views. Science and Education, **11**, 459-474.

Pollok, S (2008). Comparing students learning with multiple research – based conceptual survey: CSEM and BEMA. Paper present in Physics Education Research Conference 2008 Part of the PER Conference series Edmonton, Canada, 2008 Volume 1064, Pages 171-174.

Polya, G (1988). How to solve it: A new aspect of mathematical method (Second Ed). Princenton, NJ: Princenton University Press.

Redish, E (2003). Teaching Physics with Physics Suite. John Wiley & Sons.

Redish, E (2001). Who needs to learn physics in the 21th century and why? Talk presented in Barcelona. Fecha de consulta: 10/08/2010.

On line: <http://www2.physics.umd.edu/~redish/Papers/EFRBarcelona.pdf>.

Renner, J. Lawson, E (1973). Piagetian theory and instruction in physics, Phys. Teach. **11**, 165–169.

Rosengrant, D. Etkina, E. Van Heuvelen, A. (2006). An Overview of recent research on multiple representation. Seminary in Rutgers, The University of New Jersey. Fecha de consulta: 01/10/2009.

<http://paer.rutgers.edu/ScientificAbilities/Downloads/Papers/DavidRosperc2006.pdf>

Sandoval, M. Mora, C (2009). Problemas de la enseñanza- aprendizaje en una clase tradicional: Dificultades en estudiantes de nivel superior para relacionar el campo eléctrico con el potencial eléctrico. Presentado en el VXII Taller Internacional: Nuevas Tendencias en la Enseñanza de la Física, Puebla, Pue.

Sandoval, M. Mora, C. (2009) Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico, Lat. Am. J. Phys. Edu, **3**, Vol. 3, 647-655.

en estudiantes universitarios, Sandoval, M. Mora, C (2010). Estudio sobre la estructura reticular de física en carreras de ingeniería del sistema tecnológico. *Lat. Am. J. Phys. Edu*, **4**, supl. 1, 994-1001.

Sandoval, M. Mora, C (2010). Análisis de la comprensión de las líneas de campo eléctrico en estudiantes de nivel superior. Presentado en el XVIII Taller Internacional: Nuevas Tendencias en la Enseñanza de la Física, Puebla, Pue.

Sandoval, M. Mora, C (2010). Deducción de las líneas de campo eléctrico por medio de un experimento ilustrativo. Presentado en la III Reunión Anual de la AAPT-Mx, Guanajuato, Gto.

Sandoval, M. Mora, C (2010). La construcción del concepto de trabajo mecánico en estudiantes de primer curso. Presentado en el XVIII Taller Internacional: Nuevas Tendencias en la Enseñanza de la Física, Puebla, Pue.

Sayre, E. Hecler, A (2009). Peaks and Decays of student knowledge in an Introductory E & M course. *Physical Review Special Topics. Physics Education Research*, **5**, 1-5.

Serway, R, Jewtt, J., Soutas – Little, R., Inman, D., Balint, D (2010). *Física e Ingeniería Mecánica*. Cengage Learning, Querétaro.

Tanel, Z, Erol, M. (2008) Effects of cooperative learning on instructing magnetism: Analysis of an experimental teaching sequence. *Lat. Am. J. Phy. Edu.* **2**, 2.

Teixidó, J (2008). Equipo Directivo y liderazgos de procesos de mejora escolar: entre la identificación y el desconcierto. Trabajo presentado en el IV Congreso sobre Fracaso Escolar: Centros Educativos de Éxito, Palma de Mallorca.

Thorton, R. Sokoloff, D (1990). Learning Motion Concept using Real -Time Microcomputer – Based Laboratory Tools, *Am. J. Phy.* **58**, 858-867.

Törvist, S. Pettersson, S. Tranströmer, G (1993). Confusion by representation: On students comprehension of electric field concept. *Am. J. Phys.* **61**, 335-338.

Towler, J. Wheatley, G (1971). Conservation concepts in college students. *J. Gen. Psychol*, **118**, 265-270.

Van Heuvelen, A. Zou, X. (2001). Multiple representation of work – energy processes. *Am. J. Phys.* **69**, 184-194.

Vosniadou, S. Ioannides, C. (1998) From conceptual development to science education: A psychological point of view. *Internation Journal of Science Education*, **20**, 1213-1230.

Zavala, G. Alarcón, H (2008) Evaluation of Instruction Using the Conceptual Survey in Electricity and Magnetism in Mexico. Physics Education Research Conference, Edited by C. Henderson, M. Sabella and L. Hsu, pags 231-234.

Anexos

Anexo A1

Encuesta Conceptual en Electricidad

Por favor, intenta responder las siguientes preguntas de manera honesta. No dejes alguna sin responder. Tienes como máximo 40 min para finalizarlo.

2. La figura muestra una carga positiva $+Q$. Una segunda carga positiva se coloca en el punto P no experimenta fuerza neta. Si tenemos la magnitud de cargas apropiadas, ¿cuál de los siguientes enunciados produce esta situación?

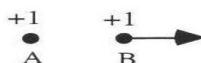


- Una carga positiva colocada a la derecha de P
 - Una carga negativa colocada a la derecha de P
 - Una carga positiva colocada a la izquierda de P
 - Una carga negativa colocada a la izquierda de P
 - El a) y d) producen esta situación
3. La figura de abajo muestra 3 situaciones donde dos cargas eléctricas están separadas por la misma distancia. Todas las cargas ejercen una fuerza una sobre la otra. ¿En cuál de las figuras la carga A ejerce una fuerza sobre la carga B mayor que la fuerza que B ejerce sobre A?

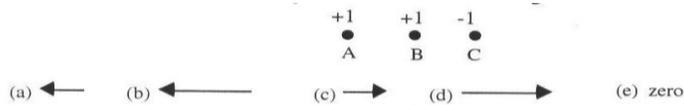


- A y B ejercen igual magnitud en fuerza una sobre otra en todos los casos
- La fuerza que A ejerce sobre B es mayor en a) y c) pero menor en la situación b)

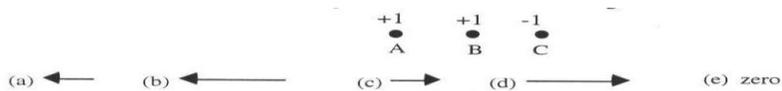
Para las preguntas 3, 4 y 5. El cuadro de abajo muestra una partícula etiquetada con B con una carga total de $+1C$. Un centímetro a la izquierda se coloca una partícula A con una carga neta $+1C$. La flecha representa la magnitud y la dirección de la fuerza eléctrica experimentada por B (causada por la presencia de A).



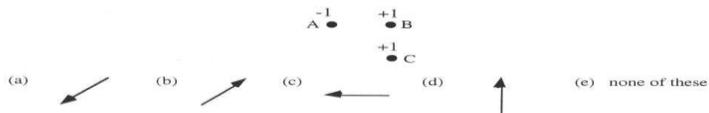
4. ¿Cuáles de las siguientes flechas representa mejor la fuerza neta sobre la carga B?



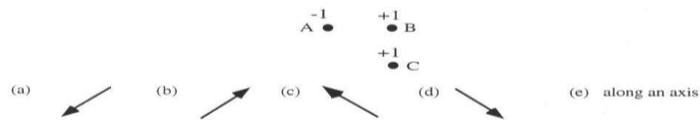
5. ¿Cuáles de las siguientes flechas representa mejor la fuerza neta sobre la carga C?



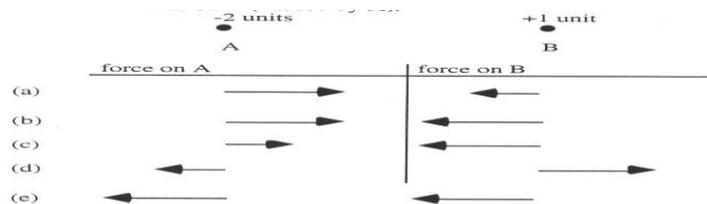
6. ¿Cuál de las siguientes flechas representa mejor la fuerza neta sobre la carga B?



7. ¿Cuáles de las siguientes flechas representa mejor la dirección de la fuerza neta sobre la carga C?



8. El cuadro de abajo muestra una partícula B con una carga neta +1C. Varios centímetros a la izquierda de ella existe otra partícula A con una carga neta de -2C. Escoja el par de vectores (flechas) que comparan correctamente la fuerza sobre A (causada por B) con la fuerza eléctrica sobre B (causada por A).



9. En la figura de abajo, las cargas positivas q_2 y q_3 ejercen una fuerza neta sobre q_1 que apuntan en la dirección del eje x. Si una carga positiva Q se coloca en $(b, 0)$, ¿qué pasará con la fuerza sobre q_1 ?



- No cambia su tamaño ya que Q está sobre el eje x
- El tamaño de la fuerza podría cambiar pero no su dirección

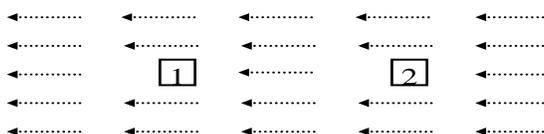
- c. La fuerza neta podría decrecer y la dirección podría cambiar por la interacción entre Q y las otras cargas
 - d. La fuerza neta podría crecer y la dirección podría cambiar por la interacción entre Q y las otras cargas
 - e. No podría determinarse sin conocer las magnitudes de las cargas
10. En la figura de abajo, el campo eléctrico en el punto P está dirigido a lo largo del eje y . Si una carga negativa ($-Q$) se coloca del eje y positivo, ¿Qué ocurre con el campo en el punto P ? Todas las cargas quedan fijas en su posición.



- a) Nada debido a que la carga $-Q$ está sobre el eje y .
- b) La magnitud podría incrementar debido a que $-Q$ es negativa
- c) La magnitud podría decrecer y la dirección podría cambiar debido a las interacciones entre $-Q$ y las dos cargas negativas.
- d) La magnitud podría incrementar y la dirección podría cambiar debido a las interacciones entre $-Q$ y las dos cargas negativas.
- e) No se puede determinar sin conocer la fuerza externa $-Q$ sobre las dos cargas negativas.

Una carga positiva se coloca en reposo en el centro de una región del espacio en el cual existe un campo eléctrico tridimensional uniforme. (Uniforme significa que la magnitud y a dirección tienen el mismo valor en todos los puntos dentro de la región.)

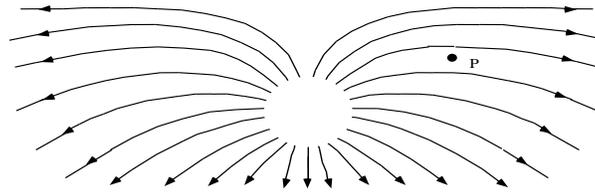
11. Cuando la carga positiva se libera desde el reposo en el campo eléctrico uniforme, ¿cuál sería su movimiento?
- a. Se movería con rapidez constante.
 - b. Se movería con velocidad constante.
 - c. Se movería con aceleración constante.
 - d. Se movería con un cambio lineal en la aceleración.
 - e. Se mantendría en reposo, en su posición inicial.
12. Una carga positiva puede colocarse en una de dos posiciones diferentes en una región donde existe un campo eléctrico uniforme, como se muestra abajo.



¿Cómo es la fuerza eléctrica sobre la carga en la posición 1 comparada con la posición 2?

- a) La fuerza sobre la carga es mayor en 1.
- b) La fuerza sobre la carga es mayor en 2.
- c) La fuerza en ambas posiciones es cero.
- d) La fuerza en ambas posiciones es la misma pero no cero.
- e) La fuerza en ambas posiciones tienen la misma magnitud pero direcciones opuestas.

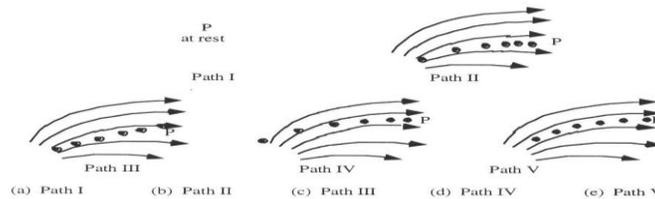
Use el siguiente diagrama de campo eléctrico para la pregunta 15.



13. ¿Cuál es la dirección de la fuerza eléctrica sobre una carga negativa en el punto P del diagrama anterior?

- (a) ←
- (b) ↙
- (c) →
- (d) ↗
- (e) La fuerza es cero.

14. ¿Qué campo de los mostrados abajo es el que mejor representa una trayectoria apropiada para la carga negativa cuando se libera del reposo desde el punto P?



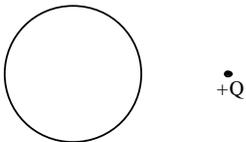
- a) Campo I
- b) Campo II
- c) Campo III
- d) Campo IV
- e) Campo V

15. Un experimento muestra que una fuerza eléctrica actúa sobre una partícula. ¿Cuál (les) del (os) siguientes requisitos son necesarios para que exista esta fuerza?

- f) La partícula debe estar en movimiento
- g) Un campo eléctrico debe estar presente
- h) La partícula debe estar cargada
- i) Todos los requisitos anteriores
- j) Solo b) y c)

16. Un campo eléctrico uniforme puede producirse por:
- Dos barras de plástico paralelas con una distribución continua y uniforme de cargas opuestas (positiva en una barra y negativa en la otra)
 - Dos hojas plásticas muy largas paralelas con una distribución continua y uniforme de cargas opuestas (positiva en una hoja y negativa en la otra)
 - Dos o tres cargas positivas localizadas en un lado de la región y el mismo número de cargas opuestas del otro lado de la misma
 - Dos polos magnéticos muy largos con sus lados opuestos sobre la región
 - Ninguno de los anteriores
17. Dos objetos pequeños cada uno con una carga neta $+Q$ ejercen una fuerza F uno sobre otro. Reemplazamos uno de los objetos con otro cuya carga es de $+4Q$. La magnitud original de la fuerza sobre la carga $+Q$ fue F , ¿cuál es la fuerza sobre $+Q$ ahora?
- $16F$
 - $4F$
 - F
 - $F/4$
 - Otra
18. Ahora movemos las cargas $+Q$ y $+4Q$ tres veces la distancia original. ¿Cuál es la nueva magnitud de la fuerza ahora?
- $F/9$
 - $F/3$
 - $4F/9$
 - $4F/3$
 - Otra
19. Una esfera metálica hueca se encuentra eléctricamente neutra (sin exceso de carga). Una pequeña cantidad de carga negativa se coloca repentinamente en un punto P sobre dicha esfera. Si observamos el exceso de carga negativa unos segundos después podríamos encontrar una de las siguientes posibilidades:
- Todo el exceso de carga permanece alrededor del punto P
 - El exceso de carga se distribuye eventualmente en el exterior de la superficie de la esfera
 - El exceso de carga se distribuye eventualmente en el interior y el exterior de la de la esfera
 - La mayor parte de la carga permanece en el punto P , pero parte de ella se distribuye sobre la esfera
 - No habrá exceso de carga
20. Una esfera hueca hecha de material aislante está eléctricamente neutra (sin exceso de carga). Una pequeña cantidad de carga negativa se coloca repentinamente en un punto P en el exterior de la esfera. Si observamos el exceso de carga negativa unos segundos después podríamos encontrar una de las siguientes posibilidades:

- a. Todo el exceso de carga permanece alrededor del punto P
 - b. El exceso de carga se distribuye eventualmente en el exterior de la superficie de la esfera
 - c. El exceso de carga se distribuye eventualmente en el interior y el exterior de la de la esfera
 - d. La mayor parte de la carga permanece en el punto P, pero parte de ella se distribuye sobre la esfera
 - e. No habrá exceso de carga
21. La figura de abajo muestra una esfera de metal hueca a la cual se le dio inicialmente una distribución de carga positiva (+) sobre la superficie. Entonces, una carga positiva $+Q$ se coloca cerca de la esfera, como se indica. ¿Cuál es la dirección del campo eléctrico en el centro de la esfera después de colocar la carga positiva cerca de la esfera?



- a) Izquierda
- b) Derecha
- c) Arriba
- d) Abajo
- e) El campo es cero

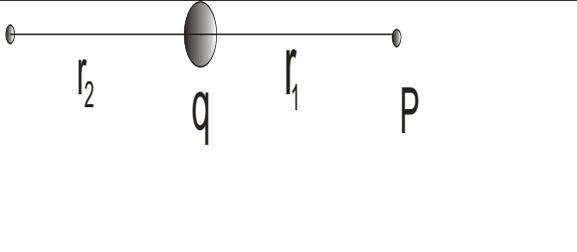
Anexo A2

Tabla A.1.1 Patrón de respuestas para un código de dos niveles.

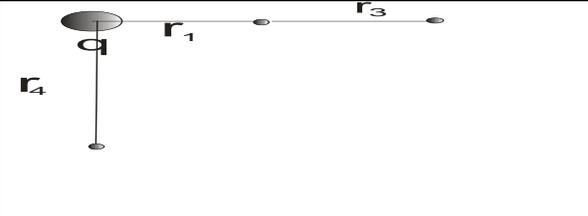
Pre	Pos	Cambio del patrón
LL	LL	Los estudiantes no comprendieron el tema
	LH	La instrucción conduce a un modelo incorrecto
	LM	La instrucción conduce a dos modelos incorrectos
	MM	La instrucción conduce a un modelo correcto
	HH	La instrucción es altamente eficiente
LH	LL	Los estudiantes tienen ideas previas incorrectas
	LH	La instrucción conduce a un modelo incorrecto
	HH	La instrucción conduce a la comprensión correcta
	LM	No se produce motivación en los estudiantes
	MM	La instrucción conduce a un modelo correcto
HH	LL	La instrucción causa retroceso en el aprendizaje
	LH	La instrucción conduce a un modelo incorrecto
	HH	Los estudiantes son buenos en el tema, buen aprendizaje
	LM	La instrucción es incorrecta
	MM	La instrucción no es motivante para los estudiantes
LM	LL	Permanecen las ideas previas incorrectas
	LH	La instrucción conduce a un modelo incorrecto
	HH	El aprendizaje es significativo
	LM	La instrucción no es la adecuada, no genera ganancia
	MM	La instrucción corrige uno de los modelos erróneos
MM	LL	La instrucción causa confusión
	LH	Dirigido en la dirección incorrecta
	HH	Los estudiantes comprendieron bien el tema
	LM	La instrucción no es la adecuada
	MM	La instrucción no es motivante para los estudiantes

Anexo A3 (Primera Versión AECE)

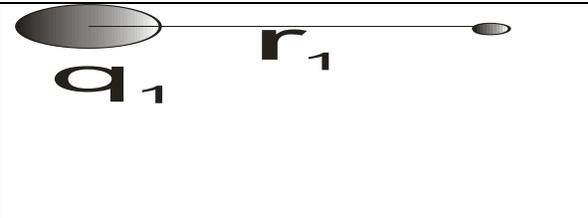
Objetivo de la Actividad 1.- Comprender como se comporta el campo eléctrico generado por una partícula puntual positiva en puntos que se encuentran a la misma distancia pero en distintas posiciones.

<p>1. Suponga que una carga positiva q produce un campo eléctrico de magnitud E_1 a una distancia r_1 de la misma. ¿Cuál será la magnitud del campo para r_2? Suponga que $r_1=r_2$. ¿Qué pasaría si la carga fuera negativa?</p>	
--	--

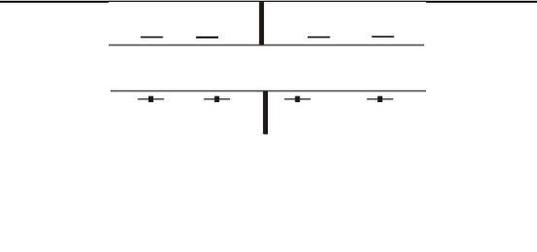
Objetivo de la Actividad 2.- Comprender como afecta la relación $1/r^2$ a la magnitud del campo eléctrico.

<p>2. Tomando como referencia la actividad anterior, ¿cómo cambia el campo en $r_3 = 2r_1$? ¿Y para $r_4=3r_1$? ¿Cómo sería el campo eléctrico, en magnitud y dirección, sobre una circunferencia de radio r?</p>	
--	---

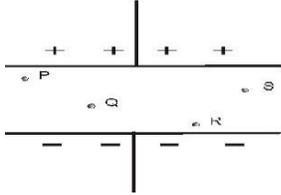
Objetivo de la Actividad 3.- Comprender como afecta al campo eléctrico el tamaño de la carga que lo genera.

<p>3. Suponga que una carga positiva q_1 genera un campo eléctrico de magnitud E_1 en r_1. ¿Qué ocurre con el campo si la carga se reemplaza por $q_2= 2q_1$? ¿Y si $q_3=3q_1$? Suponga que r_1 no cambia.</p>	
--	--

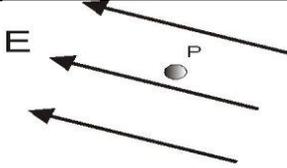
Objetivo de la actividad 4: Aprender a trazar las líneas de campo eléctrico que se generan en el interior de un capacitor de placas paralelas.

<p>4. Suponga que tiene dos placas paralelas infinitamente largas con cargas opuestas de la misma magnitud y distribuidas uniformemente. Trace las líneas de campo eléctrico dentro de las placas.</p>	
--	--

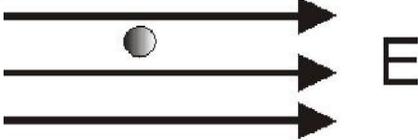
Objetivo de la actividad 5: Comprender que la fuerza que ejerce un campo eléctrico uniforme sobre una partícula cargada, será constante en cualquier punto de la región de influencia del campo. La dirección de la fuerza cambia si el signo de la carga cambia.

<p>5. Suponga que tiene un par de placas paralelas cargadas y se coloca una partícula cargada q positiva en el punto P. a) Trace el vector fuerza sobre q. b) si ahora se coloca la carga en Q y luego en S y R, ¿cómo será la fuerza sobre q? c) si la carga fuera negativa, ¿de qué manera cambiarían sus resultados?</p>	
--	--

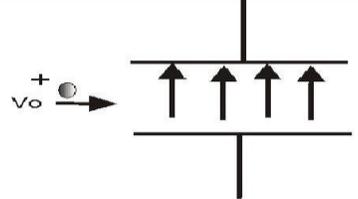
Objetivo de la actividad 6: Comprender el efecto que un campo eléctrico uniforme ejerce sobre una partícula positiva.

<p>6. En cierta región del espacio existe un campo eléctrico uniforme. Suponga que coloca una carga positiva en P en reposo. Dibuje la dirección de la fuerza ejercido sobre tal carga debida al campo eléctrico. Trace su posible trayectoria.</p>	
---	---

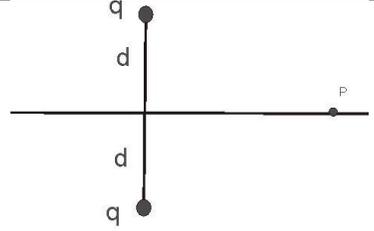
Objetivo de la actividad 7: Comprender la acción que el campo eléctrico ejerce sobre una partícula negativa lanzada en la dirección del campo.

<p>7. En cierta región del espacio existe un campo eléctrico uniforme. Una carga negativa es lanzada con cierta velocidad inicial, diferente de cero, en la dirección del campo eléctrico. Trace el vector fuerza y prediga el futuro de la partícula.</p>	
--	--

Objetivo de la actividad 8: Comprender el efecto que el campo eléctrico (en cierta región) ejerce sobre una partícula cargada que lanza horizontalmente a éste y que la trayectoria seguida por la carga será parabólica.

<p>8. En el interior de un capacitor existe un campo eléctrico uniforme. Una carga positiva es lanzada horizontalmente, como se muestra en la figura. Trace la posible trayectoria de la partícula siendo lo más explícito posible.</p> <p>Bajo ciertas circunstancias, ¿piensas que la particular podría no atravesar dicha región? Explique.</p>	
--	--

Objetivo de la actividad 9: Descubrir que una partícula “atrapada” por un dipolo, ésta seguirá un movimiento armónico simple debido a que la fuerza cambiará de dirección dependiendo del lado en que se encuentre la carga.

<p>9. A) Suponga que tiene un dipolo (cargas positivas) como el que se muestra en la figura. Dibuje el campo eléctrico debido a la carga superior, después el campo debido a la carga inferior y por último el campo resultante en el punto P.</p> <p>B) Ahora, suponga que se coloca una partícula negativa en P, ¿hacia dónde estará la fuerza? Describa qué le ocurrirá la partícula.</p>	
--	---

Objetivo de la Actividad 10.- Descubrir las propiedades de la ley de Coulomb para un par de cargas puntuales a partir de las propiedades de campo eléctrico.

Actividad 11.- Explore y deduzca con sus compañeros cuales son las propiedades que debe tener la fuerza eléctrica que surge entre un sistema de cargas puntuales.

¿Cuáles de las siguientes consideras que son propiedades que representarían a un campo eléctrico? Realice una tabla falso - verdadero.

Puede ejercer una fuerza sobre una carga	Varía con el inverso del cuadro de la distancia	Su magnitud depende del tamaño de la carga	Puede poner en movimiento a una partícula en reposo	Puede acelerar a una partícula
Puede poner en movimiento a una partícula pero seguirá con velocidad constante	Un campo uniforme ejerce una fuerza uniforme	Un campo uniforme ejerce una aceleración constante	Si la partícula está en reposo el campo no la podrá mover	La dirección del campo depende del signo de la carga
Para que exista una fuerza eléctrica se requiere mínimo de dos cargas	Para que exista un campo son necesarias dos cargas	El campo de una carga se puede extender hasta el infinito	El campo de una carga es finito	La fuerza eléctrica varía con el inverso de la distancia
La dirección de la fuerza en una carga estará siempre en la dirección del campo	Para una carga negativa la dirección de la fuerza estará siempre en dirección opuesta al campo	La trayectoria de una partícula cargada dentro de un campo seguirá a las líneas del campo eléctrico	Una partícula no necesariamente se moverá a lo largo de las líneas de campo	Un campo eléctrico se puede ser generado por un arreglo de imanes
Un campo eléctrico puede ser generado por una arreglo adecuado de cargas acumuladas	La fuerza eléctrica y el campo eléctrico siempre son paralelos	El campo y la fuerza eléctrica son independientes		

Anexo A4

Definición de Modelos para cada pregunta del Test.

Grupo Ley de Coulomb

Los modelos a considerar para el grupo de preguntas catalogadas como *Ley de Coulomb*, se detallan a continuación.

Pregunta 1.

- Modelo 1: La fuerza se puede equilibrar tanto con una carga positiva a la derecha como con una carga negativa a la izquierda.
- Modelo 2: La fuerza se equilibra sólo con una carga a la derecha (o la izquierda)
- Modelo 3: La fuerza se equilibra con una carga negativa a la derecha o con una positiva a la izquierda.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **e)**, para el **Modelo 2** se considera a los incisos a y d por separados; en este caso si los estudiantes toman alguna de estas opciones consideraríamos el modelo (estrictamente hablando) como parcialmente incorrecto ya que si bien a) produce el equilibrio, el d) también lo hace. Se consideran como **Modelo 3** (nulo) a los incisos b y c.

Pregunta 2.

- Modelo 1: La fuerza que se ejercen ambas cargas es la misma, por tercera ley de Newton.
- Modelo 2: La fuerza que A ejerce sobre B es mayor en b) o c)
- Modelo 3: La fuerza que A ejerce sobre B es mayor en a) y en el c) pero es menor en b).

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **d)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb apoyado con la tercera ley de Newton, para el **Modelo 2** se considera a los incisos b o c, aquí los estudiantes tienen la idea de que entre más carga más fuerza. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso c.

Pregunta 3.

- Modelo 1: La flecha con longitud mayor (hacia la derecha) representa mejor la fuerza neta sobre B.
- Modelo 2: La flecha con longitud menor (hacia la derecha) representa mejor la fuerza neta sobre B.
- Modelo 3: La fuerza neta sobre B es cero o las flechas hacia la derecha representan mejor la fuerza sobre B.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **d)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb apoyado con la superposición de vectores, para el **Modelo 2** se considera al inciso c, aquí los estudiantes tienen la idea de que la fuerza es hacia la derecha pero no comprenden la superposición ya que asumen una resta en las fuerzas. Se considera como **Modelo 3** (nulo) a los incisos a, b y e.

Pregunta 4.

- Modelo 1: La flecha con longitud mayor (hacia la izquierda) representa mejor la fuerza neta sobre C.
- Modelo 2: La flecha con longitud menor (hacia la izquierda) representa mejor la fuerza neta sobre B.
- Modelo 3: La fuerza neta sobre B es cero o las flechas hacia la derecha representan mejor la fuerza sobre B.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **b)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb apoyado con la superposición de vectores, para el **Modelo 2** se considera al inciso a, aquí los estudiantes tienen la idea de que la fuerza es hacia la izquierda pero no comprenden la superposición ya que asumen una resta en las fuerzas. Se considera como **Modelo 3** (nulo) a los incisos c, d y e.

Pregunta 5.

- Modelo 1: La fuerza sobre la carga B es un vector que estaría en el segundo cuadrante a 45° .
- Modelo 2: La fuerza sobre la carga B es un vector que estaría en el segundo o tercer cuadrante.
- Modelo 3: fuerza sobre la carga B es un vector que estaría apuntando hacia la izquierda sobre el eje horizontal.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **e)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb apoyado con la superposición de vectores, para el **Modelo 2** se considera al inciso a o b, aquí los estudiantes tienen la idea de que la fuerza está a 45° pero en el cuadrante erróneo. Se considera como **Modelo 3** (nulo) a los incisos c y d.

Pregunta 6.

- Modelo 1: La fuerza sobre la carga C es un vector que estaría en el segundo cuadrante.
- Modelo 2: La fuerza sobre la carga C es un vector que estaría en el cuarto cuadrante.
- Modelo 3: fuerza sobre la carga C es un vector que estaría apuntando en el tercer o cuarto cuadrante o a lo largo de algún eje.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción c) en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb apoyado con la superposición de vectores, para el **Modelo 2** se considera al inciso d, aquí los estudiantes tienen la idea de que la fuerza está a lo largo del eje de acción pero en el cuadrante erróneo. Se considera como **Modelo 3** (nulo) a los incisos a, b y e.

Pregunta 7.

- Modelo 1: La fuerza sobre ambas cargas deben ser iguales, por lo que el tamaño de las flechas debe ser igual pero opuestas.
- Modelo 2: La fuerza sobre ambas cargas son diferentes, el tamaño de las flechas debe ser diferente y opuestas.
- Modelo 3: La fuerza sobre ambas cargas son diferentes, por lo que el tamaño de las flechas son diferentes y apuntan en la misma dirección.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción b) en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb apoyado con la superposición de vectores, para el **Modelo 2** se considera al inciso a, c y d, aquí los estudiantes tienen la idea de que la fuerza está a lo largo del eje de acción pero con el tamaño erróneo de la flecha. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso e.

Pregunta 8.

- Modelo 1: La fuerza sobre q_1 debe aumentar sin cambiar de dirección.
- Modelo 2: La fuerza sobre q_1 debe aumentar o decrecer cambiando su dirección.
- Modelo 3: La fuerza no cambia de tamaño o no se puede determinar qué pasaría.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción b) en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb apoyado con la superposición de vectores, para el **Modelo 2** se considera al inciso c y d, aquí los estudiantes tienen la idea de que debe

existir un cambio en la fuerza pero indican la dirección equivocada. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso a y e.

Pregunta 16.

- Modelo 1: La fuerza sobre +Q es cuatro veces mayor a la original.
- Modelo 2: La fuerza sobre + Q es cuatro veces menor o dieciséis veces mayor a la original.
- Modelo 3: La fuerza no cambia de tamaño.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **b)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la ley de Coulomb, para el **Modelo 2** se considera al inciso a y d, aquí los estudiantes tienen la idea de que debe existir un cambio en la fuerza pero no lo indican de manera adecuada. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso c y e.

Pregunta 17.

- Modelo 1: La fuerza sobre +Q es $(4/9)$ el tamaño de la original.
- Modelo 2: La fuerza sobre + Q es $(4/3)$ el tamaño de la original.
- Modelo 3: La fuerza cambia $1/3$, $1/9$ el tamaño de la original o el cambio es de otra forma.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **c)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la relación inverso al cuadrado, para el **Modelo 2** se considera al inciso d, aquí los estudiantes tienen la idea de que debe existir un cambio en la fuerza pero no lo indican de manera adecuada. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso a, b y e.

Grupo Campo Eléctrico

Los modelos a considerar para el grupo de preguntas catalogadas como *Campo Eléctrico*, se detallan a continuación.

Definición de los Modelos para la pregunta 9.

- Modelo 1: El campo eléctrico debe incrementar en el punto P.
- Modelo 2: El campo podría incrementar o decrecer cambiando su dirección.
- Modelo 3: No ocurre nada o no puede determinarse la dirección por falta de datos.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **b)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que tienen una clara comprensión de la adición de vectores y la dirección del campo debido a una

carga puntual, para el **Modelo 2** se considera al inciso c y d, aquí los estudiantes tienen la idea de que debe existir un cambio en la fuerza pero no lo indican de manera adecuada. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso a y e.

Pregunta 10.

- Modelo 1: La partícula se moverá con aceleración constante.
- Modelo 2: La partícula se moverá con rapidez constante o sufrirá un cambio en la aceleración.
- Modelo 3: Se queda en reposo.

Una carga positiva se coloca en reposo en el centro de una región del espacio en el cual existe un campo eléctrico tridimensional uniforme. (Uniforme significa que la magnitud y a dirección tienen el mismo valor en todos los puntos dentro de la región.)

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **c**) en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que un campo uniforme puede poner en movimiento a una carga en reposo y acelerarla uniformemente, para el **Modelo 2** se considera al inciso a, b y d, aquí los estudiantes tienen la idea de que debe existir un cambio en el movimiento de la partícula pero no lo indican de manera adecuada. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso e.

Pregunta 13.

- Modelo 1: La partícula se moverá de acuerdo a la región IV.
- Modelo 2: La partícula se moverá de acuerdo a las regiones II, III y V.
- Modelo 3: Se queda en reposo, región I.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **d**) en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que una partícula no necesariamente seguirá las líneas de campo eléctrico, para el **Modelo 2** se considera al inciso b, c y e, aquí los estudiantes tienen la idea de que la carga se debe mover dentro del campo pero no lo indican de manera adecuada. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso a.

Pregunta 15.

- Modelo 1: Un campo uniforme se puede generar con dos hojas plásticas cargadas paralelas.
- Modelo 2: Un campo se puede generar por medio de dos barras de plástico cargadas o algunas cargas opuestas.
- Modelo 3: Un campo se puede generar con dos polos magnéticos muy largos o ninguna de las propuestas anteriores.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **b)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que un campo uniforme se puede formar con un par de placas paralelas cargadas, para el **Modelo 2** se considera al inciso a y c, aquí los estudiantes tienen la idea de que se puede generar un campo por medio de un arreglo de cargas pero no lo indican de manera adecuada. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso e y d.

Pregunta 20.

- Modelo 1: El campo dentro de la esfera es cero.
- Modelo 2: El campo puede estar dirigido a la izquierda o a la derecha.
- Modelo 3: EL campo puede estar hacia arriba o hacia abajo.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **e)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que el campo eléctrico en el interior de un cascarón esférico es cero; para el **Modelo 2** se considera al inciso a y b, aquí los estudiantes tienen la idea de que el campo podría estar hacia la derecha o hacia la izquierda, siguiendo las reglas para trazar el campo debido a una carga puntual. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso c y d.

Grupo Fuerza y Campo Eléctrico

Los modelos a considerar para el grupo de preguntas catalogadas como *Fuerza y Campo Eléctrico*, se detallan a continuación.

Definición de los Modelos para la pregunta 11.

- Modelo 1: La fuerza debido al campo debe ser igual en ambos puntos.
- Modelo 2: LA fuerza podría ser mayor en alguno de los dos puntos.
- Modelo 3: LA fuerza tiene la misma magnitud pero cambia de dirección o definitivamente es cero.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **d)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que un campo eléctrico uniforme produce una fuerza constante en la región de influencia; para el **Modelo 2** se considera al inciso a y b, aquí los estudiantes tienen la idea de que el campo podría producir una fuerza mayor en alguno de los puntos debido a la distancia entre ellos. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso c y e.

Pregunta 12.

- Modelo 1: La fuerza debido al campo en el punto P debe apuntar hacia la izquierda horizontalmente.
- Modelo 2: La fuerza podría apuntar hacia la derecha

- Modelo 3: La fuerza es cero o podría apuntar en el primer cuadrante o en el tercer cuadrante.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **a)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que un campo eléctrico uniforme produce una fuerza sobre una carga negativa en dirección opuesta al campo ; para el **Modelo 2** se considera al inciso c aquí los estudiantes tienen la idea de que el campo podría producir una fuerza en cierta dirección, pero eligen la errónea. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso b, d y e.

Pregunta 14.

- Modelo 1: Un campo eléctrico debe estar presente y la partícula debe estar cargada.
- Modelo 2: La partícula debe estar en movimiento o debe estar cargada o debe existir un campo.
- Modelo 3: La partícula debe estar en movimiento, cargada y debe existir un campo.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **e)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que un campo eléctrico uniforme produce una fuerza sobre una carga sin necesidad de estar en movimiento; para el **Modelo 2** se considera al inciso a, b y c aquí los estudiantes tienen la idea de que el campo podría producir una fuerza sobre una carga pero piensan que tiene que estar en movimiento para que se produzca la misma. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso d.

Pregunta 18.

- Modelo 1: La carga debe distribuirse en el exterior de la superficie.
- Modelo 2: La carga se distribuye en el interior y exterior de la superficie o parte de ella permanece alrededor del punto P y parte se distribuye.
- Modelo 3: La carga permanecerá alrededor del punto P o no habrá exceso de carga.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **b)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que una carga colocada sobre una superficie conductora se debe distribuir por todo su exterior; para el **Modelo 2** se considera al inciso c y d aquí los estudiantes tienen la idea de que la carga se puede distribuir tanto en el exterior como en el interior de la superficie. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso a y e.

Pregunta 19.

- Modelo 1: La carga debe quedar alrededor del punto P porque la esfera es no conductora.
- Modelo 2: La carga se distribuye en el interior y exterior de la superficie o parte de ella permanece alrededor del punto P y parte se distribuye.
- Modelo 3: La carga permanecerá solo en la parte exterior de la superficie o no habrá exceso de carga.

En esta pregunta los modelos se clasifican de la siguiente manera. El **Modelo 1** corresponde a la opción **a)** en este caso los estudiantes estarían manifestando que han comprendido que una carga colocada sobre una superficie no conductora se debe quedar acumulada cerca del punto; para el **Modelo 2** se considera al inciso b, c y d aquí los estudiantes tienen la idea de que la carga se puede distribuir tanto en el exterior como en el interior de la superficie. Se considera como **Modelo 3** (nulo) al inciso e.

Anexo A5

Tabla A4.1 Escore y factor de concentración del pre y pos test en el grupo de control.

Pregunta	Pre test			Pos test		
	Escore	Concentración	Patrón	Escore	Concentración	Patrón
1	0.1146	0.1009	LL	0.0980	0.1485	LL
2	0.0830	0.1283	LL	0.0882	0.1294	LL
3	0.2451	0.0794	LL	0.2598	0.1177	LL
4	0.2451	0.0794	LL	0.2892	0.0997	LL
5	0.0751	0.0935	LL	0.0980	0.0705	LL
6	0.1107	0.1456	LL	0.1569	0.1167	LL
7	0.2213	0.0389	LL	0.1765	0.0424	LL
8	0.3439	0.0546	LL	0.3480	0.0572	LL
9	0.3360	0.0524	LL	0.2010	0.0143	LL
10	0.2332	0.0188	LL	0.2402	0.0344	LL
11	0.3478	0.677	LL	0.3676	0.0898	LL
12	0.1423	0.0535	LL	0.1814	0.0324	LL
13	0.1462	0.0682	LL	0.1373	0.1359	LL
14	0.2292	0.0157	LL	0.3284	0.0571	LL
15	0.1462	0.0419	LL	0.1471	0.0935	LL
16	0.4466	0.1604	ML	0.4461	0.1794	ML
17	0.2925	0.1327	LL	0.2353	0.1782	LL
18	0.2213	0.0310	LL	0.2500	0.0293	LL
19	0.2174	0.0273	LL	0.2059	0.0161	LL
20	0.1779	0.0683	LL	0.1961	0.0893	LL

Anexo A6

Tabla A4.2 Escore y factor de concentración del pre y pos test en el grupo experimental.

Pregunta	Pre test			Pos test		
	Escore	Concentración	Patrón	Escore	Concentración	Patrón
1	0.1250	0.2223	LM	0.2333	0.1035	LL
2	0.0750	0.1795	LL	0.0333	0.1232	LL
3	0.2500	0.0491	LL	0.4333	0.1614	ML
4	0.2750	0.0656	LL	0.1333	0.1114	LL
5	0.1250	0.0633	LL	0.1333	0.0793	LL
6	0.1000	0.2633	LM	0.0333	0.3207	LM
7	0.2250	0.0467	LL	0.1000	0.0752	LL
8	0.2750	0.0656	LL	0.5667	0.3078	MM
9	0.2500	0.0686	LL	0.3667	0.0874	LL
10	0.2250	0.1839	LL	0.2667	0.2406	LM
11	0.5000	0.02063	MM	0.6667	0.4458	MM
12	0.1500	0.1375	LL	0.3667	0.1154	LL
13	0.2000	0.1588	LL	0.1000	0.3399	LM
14	0.3250	0.0636	LL	0.6000	0.3525	MM
15	0.1500	0.1375	LL	0	0.0955	LL
16	0.5500	0.3207	MM	0.8000	0.6470	HH
17	0.2250	0.2361	LM	0.4667	0.1232	MM
18	0.2500	0.0491	LL	0.4333	0.1232	ML
19	0.2500	0.0298	LL	0.1333	0.2337	LM
20	0.1500	0.0687	LL	0.2000	0.2680	LM

Anexo A 7

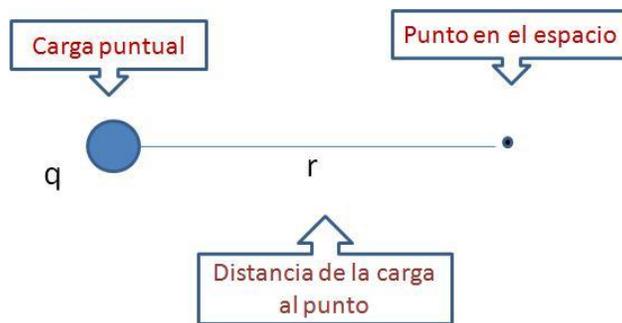
Nueva Versión de AECE

Objetivo de la Actividad 1.- Comprender como afecta al campo eléctrico el tamaño de la carga que lo genera.

● Carga Positiva

● Carga Negativa

Suponga que una carga positiva q genera un campo eléctrico de magnitud E_1 en r . ¿Qué ocurre con el campo si la carga se reemplaza por $q_2=2q$? ¿Y si $q_3=3q$? Suponga que r_1 no cambia.

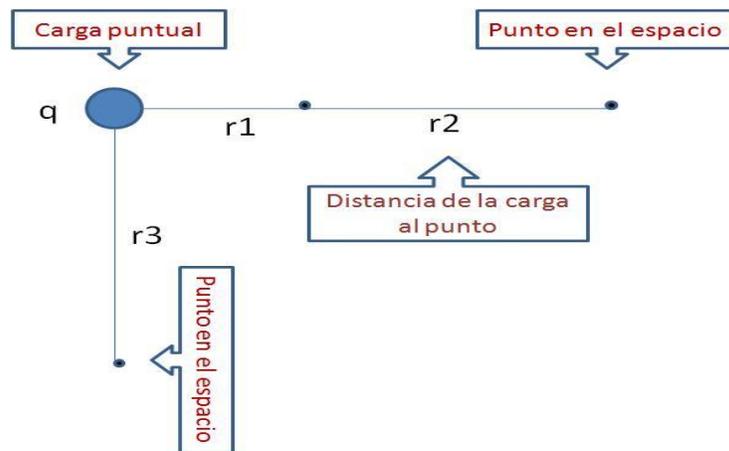


Objetivo de la Actividad 2.- Comprender como afecta la relación $1/r^2$ a la magnitud del campo eléctrico.

● Carga Positiva

● Carga Negativa

Suponga que una carga positiva q genera un campo eléctrico de magnitud E_1 en r_1 , ¿cómo cambia el campo en $r_2 = 2r_1$? ¿Y para $r_3 = 3r_1$? ¿Cómo sería el campo eléctrico, en magnitud y dirección, sobre una circunferencia de radio r ?

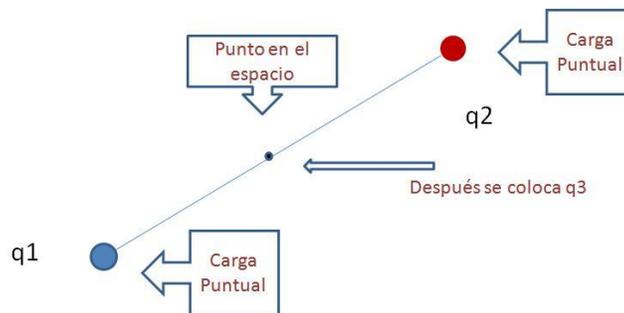


Objetivo de la actividad 3. Comprender la superposición vectorial del campo eléctrico generado por un par de cargas, así como la dirección de la fuerza resultante que se produce en una carga de prueba.

● Carga Positiva

● Carga Negativa

Suponga que se tienen dos cargas puntuales de signo opuesto, como se muestra en la figura. a) Determine el campo eléctrico resultante en el punto indicado, b) Si después se coloca una carga puntual positiva en ese punto, ¿cuál es la dirección de la fuerza sobre ella?

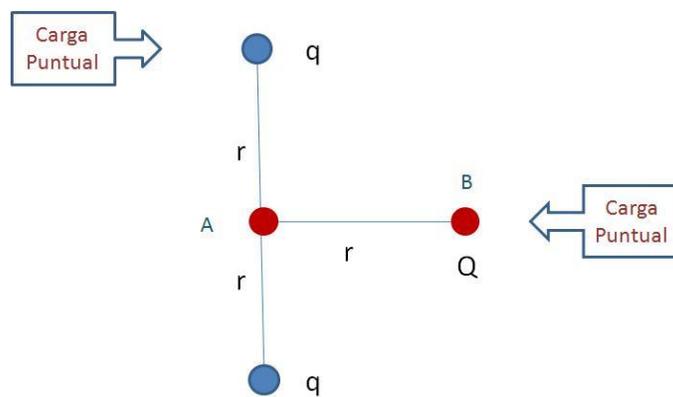


Objetivo de la Actividad 4. Determinar, por medio de la superposición vectorial, el punto donde la fuerza eléctrica puede ser cero sobre una carga positiva.

● Carga Positiva

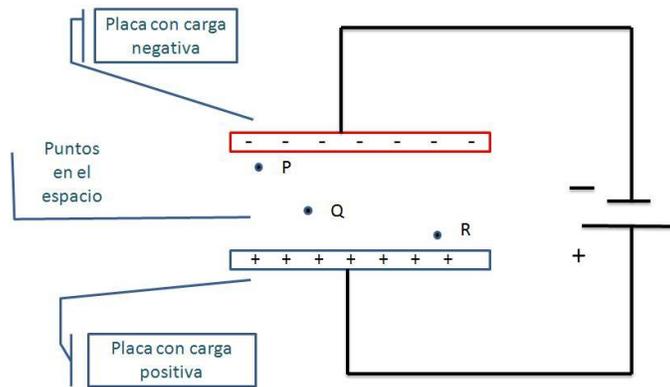
● Carga Negativa

Suponga que tiene dos cargas puntuales colocadas en el eje y a la misma distancia del origen, como se muestra en la figura. ¿En cuál de los puntos indicados (A o B) la fuerza sobre Q debe ser cero? Explique trazando vectores en cada caso.



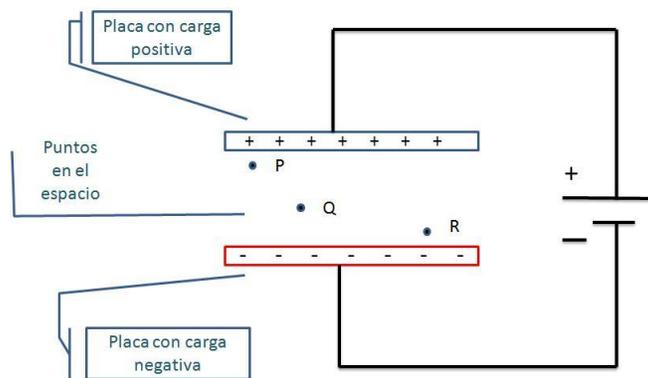
Objetivo de la actividad 5: Aprender a trazar las líneas de campo eléctrico que se generan en el interior de un par de placas paralelas.

Suponga que tiene dos placas paralelas infinitamente largas con cargas opuestas de la misma magnitud y distribuidas uniformemente. Trace las líneas de campo eléctrico dentro de las placas.



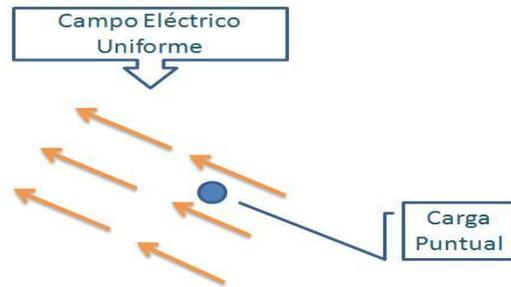
Objetivo de la actividad 6: Comprender cómo debe ser magnitud de la fuerza, que ejerce un campo eléctrico uniforme, sobre una partícula cargada en cualquier punto de la región de influencia del campo.

Suponga que tiene un par de placas paralelas cargadas y se coloca una partícula cargada q positiva en el punto P. a) Trace el vector fuerza sobre q . b) si ahora se coloca la carga en Q y luego en S y R, ¿cómo será la fuerza sobre q ? c) si la carga fuera negativa, ¿de qué manera cambiarían sus resultados?



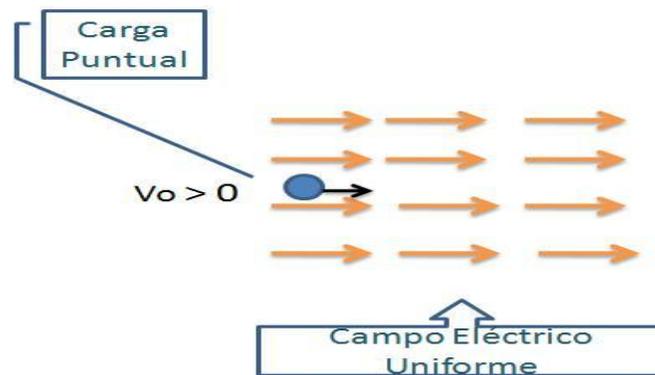
Objetivo de la actividad 7: Comprender el efecto que un campo eléctrico uniforme ejerce sobre una partícula positiva.

En cierta región del espacio existe un campo eléctrico uniforme. Suponga que coloca una carga positiva en P en reposo. Dibuje la dirección de la fuerza ejercido sobre tal carga debida al campo eléctrico e indique qué le pasará a la carga.



Objetivo de la actividad 8: Comprender la acción que el campo eléctrico ejerce sobre una partícula negativa lanzada en la dirección del campo.

En cierta región del espacio existe un campo eléctrico uniforme. Una carga negativa es lanzada con cierta velocidad inicial, diferente de cero, en la dirección del campo eléctrico. Trace el vector fuerza y prediga el futuro de la partícula.

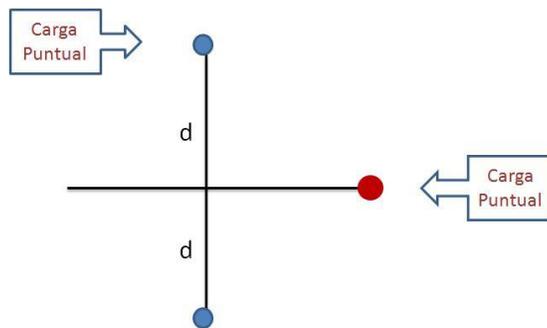


Objetivo de la actividad 9: Descubrir que una partícula “atrapada” por un dipolo, ésta seguirá un movimiento armónico simple debido a que la fuerza cambiará de dirección dependiendo del lado en que se encuentre la carga.

● Carga Positiva

● Carga Negativa

Suponga que tiene dos cargas positivas colocadas de manera diametralmente opuestas sobre el eje y , como el que se muestra en la figura. La carga negativa se moverá hacia la izquierda, a) ¿por qué ocurre esta situación? b) ¿cuál será la fuerza que tendrá la partícula negativa al pasar por el origen del sistema de coordenadas?



Objetivo de la Actividad 10.- Descubrir las propiedades de la ley de Coulomb para un par de cargas puntuales a partir de las propiedades de campo eléctrico.

Actividad 10.- ¿Cuáles de las siguientes consideras que son propiedades que representarían a un campo eléctrico? Realice una tabla falso - verdadero. Utilice las columnas de la izquierda para la respuesta individual y las de la derecha para la respuesta grupal.

<p>Puede ejercer una fuerza sobre una carga</p> <p>F F V V</p>	<p>Varía con el inverso del cuadrado de la distancia</p> <p>F F V V</p>	<p>Su magnitud depende del tamaño de la carga</p> <p>F F V V</p>	<p>Puede poner en movimiento a una partícula en reposo</p> <p>F F V V</p>	<p>Puede acelerar a una partícula</p> <p>F F V V</p>
<p>Puede poner en movimiento a una partícula pero seguirá con velocidad constante</p> <p>F F V V</p>	<p>Un campo uniforme ejerce una fuerza uniforme</p> <p>F F V V</p>	<p>Un campo uniforme ejerce una aceleración constante</p> <p>F F V V</p>	<p>Si la partícula está en reposo el campo no la podrá mover</p> <p>F F V V</p>	<p>La dirección del campo depende del signo de la carga</p> <p>F F V V</p>
<p>Para que exista una fuerza eléctrica se requiere mínimo de dos cargas</p> <p>F F V V</p>	<p>Para que exista un campo son necesarias dos cargas</p> <p>F F V V</p>	<p>El campo de una carga se puede extender hasta el infinito</p> <p>F F V V</p>	<p>El campo de una carga es finito</p> <p>F F V V</p>	<p>La fuerza eléctrica varía con el inverso de la distancia</p> <p>F F V V</p>
<p>La dirección de la fuerza en una carga estará siempre en la dirección del campo</p> <p>F F V V</p>	<p>Para una carga negativa la dirección de la fuerza estará siempre en dirección opuesta al campo</p> <p>F F V V</p>	<p>La trayectoria de una partícula cargada dentro de un campo seguirá a las líneas del campo eléctrico</p> <p>F F V V</p>	<p>Una partícula no necesariamente se moverá a lo largo de las líneas de campo</p> <p>F F V V</p>	<p>Un campo eléctrico se puede ser generado por un arreglo de imanes</p> <p>F F V V</p>
<p>Un campo eléctrico puede ser generado por un arreglo adecuado de cargas acumuladas</p> <p>F F V V</p>	<p>La fuerza eléctrica y el campo eléctrico siempre son paralelos</p> <p>F F V V</p>	<p>El campo y la fuerza eléctrica son independientes</p> <p>F F V V</p>		

Anexo A8.

Deducción de las líneas de campo eléctrico.

La comprensión del campo eléctrico generado por una distribución de cargas, por parte de los estudiantes (en los distintos niveles educativos) tiende a ser muy complicado para ellos debido a su intangibilidad así como por las carencias que presentan en el empleo de algunas herramientas matemáticas para su cuantificación. El tener que emplear un análisis vectorial para resolver los problemas del libro de texto, causa preocupación entre los estudiantes porque la mayoría de ellos tienen problemas para sumar de manera adecuada los vectores. Por otro lado el tratar de asimilar la existencia del campo eléctrico es todavía más preocupante porque al ser algo que no se puede ver directamente les es difícil aceptar su existencia. Sin embargo, en la actualidad existen diversas metodologías como Enseñanza Activa, Clases con Demostraciones ilustrativas, Física por Indagación, entre otras que permiten facilitar la comprensión de este concepto.

En esta práctica se pretende que, por medio del empleo de un led y un voltímetro, los estudiantes puedan visualizar de manera indirecta la dirección que debe tener el campo eléctrico entre un par de placas paralelas que tengan cierta polaridad. Se pretende con esto que los estudiantes puedan asimilar el campo eléctrico como un ente físico real debido a sus efectos en algunos dispositivos electrónicos.

Actividad previa a la realización de la práctica.

Antes de realizar la práctica los estudiantes deberán investigar cómo funciona un led (diodo emisor de luz) en términos del potencial que se le aplica así como su simbología. El profesor deberá explicar que un led polarizado de manera directa conduce y se ilumina; si se polariza de manera inversa no conduce. En la figura 1 (izquierda) se muestra el símbolo de un diodo emisor de luz con sus respectivas terminales y en la parte derecha se muestra el encapsulado de un led amarillo.

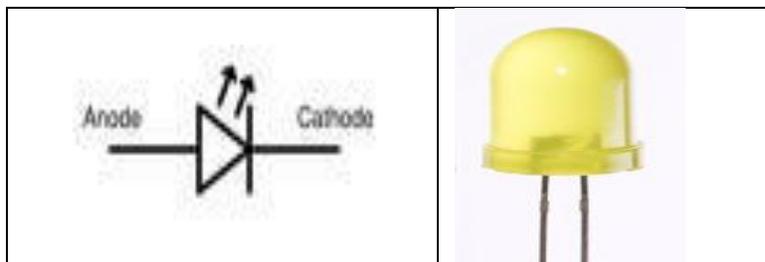


Figura 1. Símbolo y encapsulado de un led amarillo.

Al finalizar la primera parte de la práctica, el docente deberá hacer notar que el led se ilumina cuando el campo eléctrico apunta en la dirección de la flecha del símbolo del led.

Por tanto, considerando la polaridad de las placas metálicas el campo eléctrico apunta de la placa positiva a la negativa.

Objetivos.

1. Determinar cualitativamente la dirección y forma de las líneas de campo eléctrico dentro de un par de placas paralelas cargadas utilizando un diodo emisor de luz.
2. Identificar cualitativamente la magnitud del campo eléctrico dentro de las placas cargadas utilizando un voltímetro.

Materiales.

Los materiales a utilizar para cubrir los dos objetivos previos se muestran a continuación y en la figura 2 se presenta el diagrama de conexión entre los distintos materiales a utilizar para determinar la dirección y magnitud del campo eléctrico entre las placas cargadas.

- Dos placas metálicas de 10x10cm
- Agua (2l)
- 5 o 6 caimanes (conectores)
- 2 Led del mismo color
- 4 o 5 pilas cuadradas de 9V
- Hoja milimétrica
- Multímetro

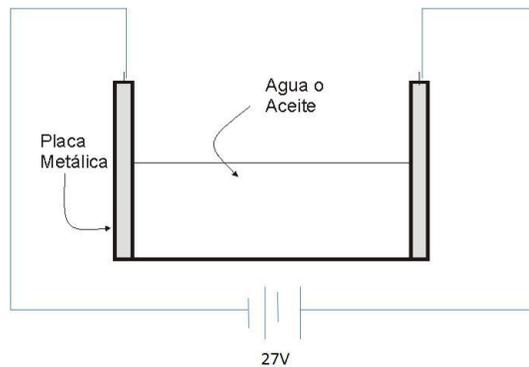


Figura 2. Diagrama de conexión de los materiales.

Procedimiento Parte 1. Encontrar la dirección del campo eléctrico.

1. Coloque las placas metálicas en las orillas del recipiente de plástico como se muestra en la figura, asegúrese de que éstas queden fijas. Coloque un caimán (de diferente color) en cada placa.
2. Vierta los 2l de agua dentro del recipiente, procurando que alcance la mitad del volumen del mismo. No debe cubrir completamente las placas.
3. Coloque las tres (cuatro) baterías de 9v en serie de tal forma que generen 27v (36v) y coloque un caimán en la terminal positiva y el otro caimán en la terminal negativa. De esta forma las pilas se encuentran en serie. Como consecuencia estará provocando un campo eléctrico dentro del recipiente con agua.
4. Proceda a colocar uno de los led (con sus terminales extendidas) sobre la superficie del agua, hágalo girar poco a poco sobre un eje, observe y anote qué ocurre con el led (observar, si enciende, su brillo).
5. Ahora, desplace lentamente el led (iluminado) sobre la superficie de agua desde una placa hasta la otra, observe y anote qué ocurre con el brillo.
6. Deduzca cual debe ser la dirección del campo eléctrico dentro de las placas (agua).

Procedimiento Parte 2. Deducir la magnitud del campo eléctrico.

1. Coloque las placas metálicas en las orillas del recipiente de plástico como se muestra en la figura, asegúrese de que éstas queden fijas. Coloque un caimán (de diferente color) en cada placa.
2. Vierta los 2l de agua dentro del recipiente, procurando que alcance la mitad del volumen del mismo. No debe cubrir completamente las placas.
3. Coloque las tres (cuatro) baterías de 9v en serie de tal forma que generen 27v (36v) y coloque un caimán en la terminal positiva y el otro caimán en la terminal negativa. De esta forma estará provocando un campo eléctrico dentro del recipiente.
4. Coloque la hoja de papel milimétrico debajo del recipiente con agua, procure que el agua sea lo más transparente posible.
5. Utilice el voltímetro para medir el voltaje en diversos puntos a lo largo de la superficie de agua. Pruebe tomando puntos de manera aleatoria e indique sus resultados.
6. Después mida el potencial sobre puntos que se encuentren en una línea perpendicular al campo y anote sus mediciones. Por ejemplo, puede tomar los puntos 1 y 2 de la línea 1 que se muestra en la figura 2; prosiga midiendo entre los puntos 2 y 3 hasta llegar a los puntos 4 y 5. Realice la misma operación con los puntos de la línea 2 y 3.
7. Discuta con sus compañeros sus observaciones y diga cómo debe ser la magnitud del campo eléctrico.

El profesor deberá hacer notar entre los estudiantes que al medir la diferencia de potencial entre dos puntos dentro de las placas (agua) se deben obtener (aproximadamente) valores muy cercanos entre sí, es decir que la diferencia de potencial entre los puntos medidos será constante. Como consecuencia, la magnitud del campo eléctrico será constante, es decir uniforme.

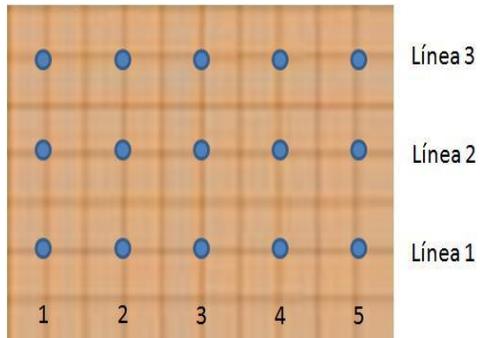


Figura 2. Representación en papel milimétrico en los puntos a medir el voltaje.