

UNIVERSIDAD DE BURGOS

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS



DISEÑO, PUESTA EN PRÁCTICA Y EVALUACIÓN
DE UN MODELO DIDÁCTICO CON ENFOQUE
CONSTRUCTIVISTA PARA LA ENSEÑANZA DE
LA FÍSICA EN EL NIVEL UNIVERSITARIO



TESIS DOCTORAL

JESÚS ANGEL MENESES VILLAGRÁ

BURGOS, mayo de 1998

UNIVERSIDAD DE BURGOS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES



LA FÍSICA EN EL NIVEL UNIVERSITARIO
CONSTRUÍSTIVA PARA LA ENSEÑANZA DE
DE UN MODELO DIDÁCTICO CON ENFOQUE
DISEÑO, PUESTA EN PRÁCTICA Y EVALUACIÓN



TESIS DOCTORAL

TESIS DOCTORAL EN CIENCIAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

BURGOS, mayo de 1998

X730097462

Agradecimientos

Las dificultades para realizar una investigación de las características como las que aquí se presenta sobre didáctica de la Física en la enseñanza universitaria son muchas y requiere tiempo y paciencia para salvarlas. Sin la ayuda de Concesa Caballero no habría podido superarlas. Ella me animó desde el principio a perfilar el proyecto, colaboró activamente en ponerlo en práctica y dirigió el trabajo estrechamente y con rigor, proporcionándome los consejos y los ánimos constantes para poder finalizar con éxito la investigación. Muchas gracias, Concesa, por todo.

Quiero expresar mi gratitud a José del Río. Él nos proporcionó la idea sobre el proyecto, colaboró en la planificación y en otras fases fundamentales del mismo, como en el tratamiento de los datos y en la elaboración de las conclusiones.

Deseo también mostrar mi reconocimiento a Marco Antonio Moreira, profesor de la Universidad de Porto Alegre, por su colaboración tanto en la supervisión de esta Memoria como en las sugerencias aportadas durante el desarrollo de esta investigación.

A los estudiantes que han participado en la experimentación les agradezco la paciencia que mostraron en todo momento al contestar a los cuestionarios y tener que realizar más pruebas que las que habitualmente están acostumbrados.



UNIVERSIDAD DE BURGOS

Departamento de Física

Concesa Caballero Sahelices, Profesora Titular de Física Aplicada de la
Universidad de Burgos:

CERTIFICA que la Memoria titulada "Diseño, puesta en práctica y
aplicación de un modelo didáctico con enfoque constructivista para la enseñanza
de la Física en el nivel universitario" ha sido realizada bajo mi dirección por el
Ingeniero Jesús Ángel Meneses Villagrà y constituye su Tesis para optar al grado
de Doctor.

Y para que conste, firmo el presente en Burgos a cuatro de mayo de mil
novecientos noventa y ocho.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
--------------------	---

PRIMERA PARTE: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y REVISIÓN DE LA LITERATURA.

I.1 Justificación de la Investigación	11
I.2. Planteamiento del problema	13
I.3 Investigaciones sobre metodologías diseñadas para mejorar el proceso de la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias	19
I.4 Concepciones erróneas en electricidad e implicaciones para la enseñanza	43
I.4.1 Interpretación de fenómenos electrostáticos	45
I.4.2 Interpretación del funcionamiento de circuitos eléctricos ...	48
I.5 Formulación de los objetivos de la Investigación	63

CAPÍTULO II: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO.

II.1 Breve revisión histórica de innovaciones curriculares en la enseñanza de las ciencias	67
II.2 Una concepción constructivista del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias	70
II.3 Algunos modelos constructivistas	75
II.3.1 Modelos orientados al cambio conceptual	75
II.3.2 Modelos orientados a la resolución de problemas	80
II.4 Propuesta de un modelo didáctico para la enseñanza superior	91
II.4.1 Objetivos	91
II.4.2 Principios	95
II.4.3 Estructuración	104
II.4.4. Concreción del modelo didáctico	110

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

III.1 Formulación de las hipótesis de la investigación	115
III.2 Selección de las variables en el diseño experimental	117
III.2.1 Variables independientes	117
III.2.2 Variables dependientes	119
III.2.3 Variables intervinientes	119
III.3 Elección y características de las muestras	120
III.4 Instrumentos de medida y sistemas de control	121
III.4.1 Análisis de la homogeneidad inicial de los grupos	121
III.4.2 Instrumentos de medida de las variables dependientes	130
III.4.3 Control de las variables intervinientes	131

SEGUNDA PARTE: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LAS CONCEPCIONES ERRÓNEAS.

IV.1 Ideas de nuestros alumnos sobre el electromagnetismo	135
IV.1.1 Cuestionario para averiguar las ideas de los estudiantes sobre el magnetismo y su relación con la electricidad	136
IV.1.2 Cuestionario para averiguar las ideas de los estudiantes sobre el electromagnetismo	143
IV.1.3 Conclusiones	168
IV.2 Implicaciones didácticas	170

CAPÍTULO V: ELABORACIÓN DE LOS MATERIALES DIDÁCTICOS.

V.I Diseño de las unidades didácticas	175
V.1.1 Análisis científico	175
V.1.2 Análisis didáctico	176
V.1.3 Selección de objetivos	180
V.1.4 Proceso metodológico	181
V.2 Programas-guía de actividades sobre la interacción electromagnética	183
V.2.1 Unidad didáctica 1: La electrostática	185
V.2.2 Unidad didáctica 2: La electrocinética	257
V.2.3 Unidad didáctica 3: El electromagnetismo	311
V.2.4 Unidad didáctica 4: La inducción electromagnética y la corriente alterna	357

CAPÍTULO VI: EXPERIMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS Y APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS.

VI.1 Experimentación de las metodologías	391
VI.2 Aplicación de las pruebas	393
VI.2.1 Pruebas sobre hechos, conceptos y principios	394
VI.2.2 Pruebas sobre habilidades intelectuales en el ámbito de la investigación científica	406
VI.2.3 Pruebas sobre estrategias cognitivas en la resolución de problemas	416
VI.2.4 Pruebas sobre concepciones alternativas	423

TERCERA PARTE: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE DATOS Y ELABORACIÓN DE CONCLUSIONES.

VII.1 Estadística descriptiva	427
VII.2 Comparación de los rendimientos a la mitad y al final del período instructivo	433
VII.3 Interacciones entre las metodologías y las características de los alumnos	445
VII.4 Comparación del nivel de superación de las concepciones erróneas	453
VII.5 Conclusiones generales	460

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	465
--------------------------------------	-----

ANEXO I Resultados y respuestas obtenidas en las pruebas	487
--	-----

ANEXO II Tablas y gráficos correspondientes a las interacciones entre las metodologías y las características de los alumnos	529
---	-----

PRESENTACIÓN DEL TRABAJO

Esta investigación pretende contribuir a la mejora de la enseñanza y del aprendizaje de la Física en el primer curso universitario mediante el diseño y desarrollo de un currículum para el núcleo temático del Electromagnetismo. Este desarrollo se contextualiza en una orientación constructivista de la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias que tiene por objeto producir un aprendizaje significativo en los alumnos.

En el capítulo I se presenta el problema a investigar que consiste en averiguar qué incidencia sobre el aprendizaje de los alumnos produce el modelo didáctico con enfoque constructivista que proponemos para intentar mejorar los rendimientos de los estudiantes en los campos conceptual, procedimental y actitudinal.

Para fundamentar las hipótesis, en el apartado I.3 se revisan diferentes metodologías y estrategias didácticas ensayadas por distintos investigadores durante los últimos años. Se ha procurado extraer los resultados que han producido en distintos ámbitos del aprendizaje y sobre diferentes alumnos según sus características; pero, la mayoría de los trabajos sólo se centran en averiguar la mejora o evolución de las concepciones de los estudiantes.

En el apartado I.4 se revisan estudios sobre concepciones previas y esquemas conceptuales en el campo del electromagnetismo. La abundancia de estos estudios muestra la importancia de los errores conceptuales y la incapacidad de la enseñanza habitual para lograr que los alumnos lleguen a superarlos. Las conclusiones convergentes que se obtienen de estos trabajos nos han permitido elaborar un listado con las ideas, concepciones y estructuras conceptuales que poseen los alumnos que acceden a la Universidad.

Las investigaciones sobre errores conceptuales han puesto en cuestión las estrategias habituales de transmisión de conocimientos y han impulsado una mayor reflexión sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales en general y de la Física en particular. Ello se ha traducido en un paradigma emergente en torno a orientaciones constructivistas, que destaca el papel de las ideas de los alumnos en el aprendizaje. Por este motivo dedicamos el capítulo II a intentar aclarar lo que significa una concepción constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje y a exponer algunos de los principales modelos constructivistas, distinguiendo en los mismos dos orientaciones: los dirigidos hacia el cambio conceptual y los dirigidos hacia la resolución de problemas.

Una vez revisados y analizados diferentes modelos y estrategias con enfoques constructivistas proponemos el modelo didáctico que nosotros consideramos más adecuado para la enseñanza de la Física en la enseñanza superior. Explicitamos los objetivos que pretendemos conseguir con su utilización en el aula, los principios didácticos en los que se basa, las etapas que se siguen (aunque con mucha flexibilidad) para establecer secuencias adecuadas de enseñanza y cómo se concreta en el aula.

El diseño de la investigación para evaluar "el aprendizaje" que experimentan los estudiantes con el modelo didáctico propuesto se concreta en el capítulo III. En el mismo se formulan tres hipótesis para comparar los rendimientos que producen la metodología expositivo habitual y la propuesta en el punto II.4. Se seleccionan las variables dependientes, intervinientes y la independiente. Y por último se concretan las características de los alumnos que pueden interaccionar con las metodologías, los instrumentos de medida y los sistemas de control.

En la segunda parte del trabajo se presentan los materiales didácticos elaborados en consonancia con el modelo propuesto. En el capítulo IV se describen las ideas y concepciones que sobre el electromagnetismo tienen los alumnos sometidos a investigación. Las conclusiones se han obtenido tras el análisis de las respuestas de los estudiantes a un amplio cuestionario donde figuran la mayoría de los tópicos científicos relacionados con el tema de estudio.

En el capítulo V se muestran las cuatro unidades didácticas que conforman el bloque temático sobre el electromagnetismo. En su elaboración se ha tenido en cuenta el análisis didáctico presentado en el capítulo IV, el científico realizado con los contenidos seleccionados y la relación entre los mismos presentada a través de mapas conceptuales y, sobre todo, el modelo didáctico con enfoque constructivista presentado en el punto II.4. En este capítulo se transcriben los programas-guía de cada una de las unidades didácticas y una amplia información con comentarios para el profesor de lo que se persigue en cada una de las actividades y el contenido de las mismas.

En el capítulo VI se indica cómo se realizó la experimentación con los materiales didácticos. Primero se efectuó una prueba piloto donde se reformularon las unidades haciéndolas más motivadoras al alumno y en el Curso Académico siguiente se llevó a cabo la puesta en práctica definitiva de los programas-guía de actividades. Al comienzo del curso se estudió la homogeneidad de los grupos, a continuación y durante tres meses se ensayaron los materiales didácticos y por último se evaluaron los rendimientos de los alumnos en tres campos

del aprendizaje: a) el aprendizaje de hechos, conceptos y principios, b) el aprendizaje de habilidades intelectuales en el ámbito de la investigación científica y, c) el aprendizaje sobre estrategias cognitivas en la resolución de problemas. En este capítulo se reproducen los cuestionarios de todas las pruebas y los criterios de valoración de las mismas.

Por último, en la parte tercera del trabajo, se presentan los resultados de la investigación. Las pruebas realizadas a la mitad y al final del período instructivo dieron lugar a una serie de datos para cada una de las variables dependientes. El análisis de los mismos se realiza en el capítulo VII con el objeto de contrastar o no las hipótesis emitidas. Los resultados obtenidos confirman prácticamente la hipótesis uno que señala mejores rendimientos, en los ámbitos del aprendizaje especificados anteriormente, para los alumnos que siguen la metodología con enfoque constructivista propuesta. Sin embargo, la hipótesis dos sólo es parcialmente corroborada, ya que no se encuentran interacciones entre las dos metodologías y las variables (sexo, nivel de inteligencia general, estudio previo de la Física en COU y grado de razonamiento mecánico) tratadas. En cambio, la hipótesis tres sí es verificada, obteniéndose diferencias significativas a favor del grupo experimental en relación con el mayor nivel de evolución de las ideas o concepciones previas erróneas hacia las aceptadas científicamente.

Finaliza el trabajo de investigación recogiendo a modo de síntesis las conclusiones obtenidas en la investigación y sugiriendo nuevos interrogantes que se pueden abordar, después de este estudio, relativos a la validación del propio modelo de enseñanza y aprendizaje.

PRIMERA PARTE

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y REVISIÓN DE LA LITERATURA.

I.1 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La necesidad de una profunda renovación de la enseñanza de la Física se ha traducido en las últimas décadas en un notable incremento de la investigación en la didáctica de la Física y en la elaboración de numerosos proyectos curriculares, centrados prioritariamente en niveles de enseñanza primaria y secundaria.

La línea de investigación que más se ha desarrollado en la didáctica de las ciencias en los últimos veinte años ha sido y es, la que se centra en las concepciones alternativas de los estudiantes (Viennot, 1976; Duit, 1993; Wandersee et al., 1994; Furió, 1996) y en el cambio conceptual (Posner et al., 1982). Las aportaciones de esta línea de investigación han contribuido a una crítica fundamentada del paradigma de enseñanza-aprendizaje por transmisión verbal de los conocimientos científicos acabados en la que podemos situar, de manera general, a la enseñanza habitual de las Ciencias, que hoy de forma mayoritaria, se practica.

Los interrogantes que plantea hoy día la enseñanza de la Física en los primeros cursos universitarios nos ha llevado a iniciar un camino de renovación didáctica en estos niveles de enseñanza.

Desde nuestra experiencia nos parece que la docencia de la Física a este nivel se apoya fundamentalmente en una transmisión de conocimientos ya elaborados con los que se intenta dar a conocer hechos y fenómenos científicos. Mediante el desarrollo de ejercicios y prácticas de laboratorio se pretende iniciar en el diseño o simplemente verificación de experiencias científicas o bien conocer su utilidad en otros campos de la ciencia y la tecnología. El papel del alumno, en clase, se reduce prácticamente a ser un mero receptor de nuevos conocimientos y, en el laboratorio, sólo desarrolla destrezas manipulativas (Pujol y Fons, 1981). La ciencia, pues, se presenta como un cuerpo de conocimientos verificado y cierto. Se produce, por tanto, una ausencia casi total del carácter dinámico de la ciencia.

En general los análisis que se realizan sobre la situación de la enseñanza muestran la ineficacia de la orientación didáctica habitual de transmisión de conocimientos, para conseguir aprendizajes significativos y familiarización con la metodología científica (Ausubel, 1978; Host, 1982; Hodson, 1985). Así, son numerosas las investigaciones en las que se demuestra que las ideas que tienen los alumnos sobre determinados temas son diferentes de los conceptos que se les enseña.

Estos y otros resultados verificados en múltiples investigaciones que plantea la enseñanza de la Física a todos los niveles, así como la escasez de proyectos didácticos renovadores a nivel universitario, nos ha llevado a poner en marcha esta tesis sobre investigación educativa en didáctica de la Física.

En los últimos años se ha propiciado el desarrollo de propuestas que están basadas en la teoría del aprendizaje significativo (Ausubel, 1976; Novak y Gowin, 1988) de los conocimientos científicos; en contraposición con el aprendizaje memorístico los conocimientos se integran, de forma substancial y no arbitraria, en las estructuras conceptuales de los estudiantes. Esto ha supuesto la aparición de una nueva orientación constructivista del aprendizaje de la Física que ha impulsado el viejo objetivo de aproximar las actividades de aprendizaje a las de la construcción de conocimientos científicos, apoyándose en una mejor comprensión de la naturaleza de la Ciencia y en una sólida fundamentación teórica.

El trabajo que se pretende realizar se enmarca en una línea de investigación orientada hacia la elaboración de un cuerpo coherente de conocimientos sobre didáctica de las ciencias que tiene por objeto encontrar alternativas debidamente contrastadas al modelo prevalente de enseñanza-aprendizaje por transmisión-asimilación de conocimientos ya elaborados.

En concreto la presente investigación consiste en diseñar, poner en práctica y evaluar un conjunto de materiales, elaborados teniendo en cuenta el modelo didáctico con enfoque constructivista que proponemos para la enseñanza del electromagnetismo en el primer ciclo universitario.

I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Partiendo de la definición y características de lo que Bunge (1981) entiende por "problema de investigación" vamos a formular los correspondientes al presente estudio. Previamente hay que indicar que el trabajo podría resumirse fundamentalmente en que pretendemos estudiar los efectos de un modelo de enseñanza más coherente con la metodología científica y con el actual enfoque cognitivista/constructivista del proceso de aprendizaje y compararlo con la enseñanza tradicional.

A partir de la publicación de trabajos como la tesis doctoral de Viennot (1976) sobre las ideas espontáneas de los alumnos en dinámica se notó un interés creciente sobre este tema, hasta tal punto que llegó a convertirse en una de las principales líneas de investigación en la didáctica de las ciencias. Durante una serie de años se ha estado averiguando cuáles son los errores conceptuales cometidos por los alumnos en casi todos los campos de la Física, así como investigando su procedencia, con objeto de realizar un estudio sistemático de los mismos. Así, según Osborne, Bell y Gilbert (1983), el origen de las ideas de los alumnos puede encontrarse en las experiencias y observaciones de la vida diaria, en el uso habitual del lenguaje (muchas "palabras" que se emplean en la lengua común tienen un significado científico diferente) y en el refuerzo de la cultura procedente de los subgrupos de pertenencia más cercanos (familia, amigos, etc.) Ahora bien, las concepciones alternativas no se identifican con todos y cada uno de los errores que se encuentran en los alumnos respecto de conceptos científicos. De los estudios realizados se desprende las siguientes características (Marco, 1987):

- a) Los marcos alternativos son *estructuras mentales* de los alumnos, es decir esquemas conceptuales con un determinado nivel de coherencia interna.
- b) Estas ideas de los alumnos son *construcciones personales*, es decir, han sido elaboradas por el sujeto al ir interiorizando las experiencias que vive de modo que le resulten coherentes a él. Estas construcciones (más o menos conscientemente mantenidas) van a influir en el modo en que se realicen e interioricen nuevas observaciones. Las experiencias personales incluyen la percepción, el lenguaje, el contexto cultural, etc.

c) Las representaciones de los alumnos, sobre todo las referidas a fenómenos observables, pueden tener *cierto grado de validez*, aunque aparentemente resulten contradictorias para el profesor.

d) Las concepciones de los alumnos son *difíciles de cambiar*. En algunos casos, las ideas de los alumnos permanecen intactas y no se ven afectadas por la instrucción, mientras que en otros conviven con ella. Estas concepciones no suelen ser desplazadas por las explicaciones externas del que enseña. Solamente en unos pocos casos las ideas de los alumnos son modificadas por la instrucción (Osborne y Gilbert, 1980; Driver, 1986; Pope y Gilbert, 1983). En otros coexisten los dos sistemas explicativos, el utilizado en clase y el aplicado en situaciones menos académicas.

e) Las representaciones de los alumnos *recuerdan*, algunas veces, las mantenidas por científicos en *etapas antiguas de la historia de la Ciencia*.

Evidentemente, del número tan elevado de alumnos que cometen importantes errores conceptuales en cualquier nivel educativo y de la estabilidad y universalidad de los mismos, se refleja la ineficacia de la enseñanza habitual de la Física a lo largo de todos los años de su enseñanza. Surge, por tanto, la necesidad de diseñar modelos de instrucción que permitan incidir significativamente sobre los mencionados esquemas conceptuales.

Se han elaborado bastantes modelos de instrucción que tienen en cuenta las ideas de los alumnos. Todos ellos podemos encajarlos perfectamente dentro de lo que se denomina **Teoría constructivista del aprendizaje** (Osborne y Wittrock, 1985; Driver, 1986a), caracterizada por el énfasis que se pone para que sea el alumno quien construya o genere activamente significados y en considerar como un factor clave en el aprendizaje lo que el estudiante ya sabe (Ausubel, 1978; Novak, 1988).

La mayoría de estos modelos se han ensayado en niveles elementales y medios de enseñanza con resultados mas o menos positivos. Aunque cada uno de ellos tiene sus peculiaridades, todos se basan en el principio de que "el aprendizaje de conceptos científicos implica la acomodación cognitiva en un marco alternativo inicial".

En la enseñanza de la Física estas propuestas se han centrado en diferentes modelos de intervención didáctica que tienen como denominador común el uso de estrategias de

aprendizaje basadas en el cambio conceptual (Posner et al, 1982; Giordan, 1982; Osborne y Wittrock, 1983; Driver y Oldham 1986).

Según el modelo de cambio conceptual cuando existe insatisfacción con la condición que uno tiene y cuando el individuo se encuentra con una nueva concepción, científicamente aceptada, que es inteligible y le parece plausible y fructífera, se dan las condiciones para que se produzca el cambio conceptual, es decir, se produzca el reemplazo de una concepción por otra en la estructura cognitiva del aprendiz.

Pero no toda situación de enseñanza promueve un cambio conceptual. Ni siquiera tener en cuenta las ideas de los estudiantes es suficiente para producir una sustitución de las ideas previas por otras más científicas. Ello nos hace comprender las dificultades que presenta el lograr aprendizajes significativos, así como las limitaciones de las propuestas que ponen exclusivamente el acento en las ideas de los alumnos.

Un síntoma importante de la enseñanza habitual que conviene recordar ahora aquí, es el fracaso generalizado de los estudiantes en la resolución de problemas de lápiz y papel en la clase de Física y Química (Gil y Martínez Torregrosa, 1984; Reyes, 1991). Los resultados de estas investigaciones muestran que en la enseñanza habitual los problemas son también "explicados", y que se oculta al alumno todo el proceso de incertidumbres, búsqueda, emisión de hipótesis, etc propio de la metodología científica.

Asimismo un problema grave al que está dando mucha importancia la investigación en la didáctica de las ciencias es el de la disminución del interés por las materias científicas, en particular la Física, de los estudiantes conforme se avanza en la escolarización (Escudero, 1985; Yager y Penick, 1986). En este sentido es preciso tener en cuenta que el constructivismo, como ya se ha dicho, concede gran importancia al aprendiz, considerando que él es el protagonista de su propio aprendizaje en la construcción de conocimientos. Así pues, será necesario considerar no sólo como se aprende, sino también los factores que influyen positivamente en ese aprendizaje.

Con todo ello surge una propuesta didáctica en la que resulta esencial, por una parte, asociar a la construcción de conocimientos la aplicación de la metodología científica y, por otra, proponer una estrategia de enseñanza-aprendizaje que mejore la actitud de los estudiantes hacia la ciencia y el propio aprendizaje. Desde esta perspectiva, denominada de cambio

conceptual, metodológico y actitudinal, se piensa que los cambios conceptuales de los alumnos exigen igualmente un profundo cambio metodológico y actitudinal (Gil y Carrascosa, 1985).

Dentro de esta visión sobre el aprendizaje y con el objeto de contribuir al afianzamiento de este tipo de modelos en la enseñanza superior de las ciencias hemos emprendido esta investigación. Pretendemos establecer estrategias de instrucción útiles para la planificación de unidades específicas que produzcan el *cambio conceptual y metodológico* en los alumnos universitarios.

El punto de partida del trabajo reside en diseñar una metodología didáctica con un enfoque constructivista para la enseñanza de la Física en los niveles superiores de enseñanza, para después compararla con la metodología que actualmente y de modo mayoritario se está empleando en nuestras universidades.

El problema que nos planteamos consiste en averiguar:

1.- ¿Cuál es la incidencia de la metodología que proponemos (con enfoque constructivista) y la tradicional (expositiva habitual) en el aprendizaje del alumno?

Dentro de este problema pretendemos aclarar:

1.1 Cuál de las dos metodologías (la que se propone y la tradicional) produce "mejores" aprendizajes al aplicarlas en el aula?, o bien, ¿qué diferencias existen en los rendimientos del aprendizaje en diferentes ámbitos de los alumnos que reciben la enseñanza por uno u otro procedimiento didáctico?.

1.2 ¿Las dos metodologías son igualmente "eficaces" al actuar sobre distintos tipos de estudiantes?

1.3 ¿Provoca la nueva metodología el cambio conceptual en los alumnos?.

Este problema es el origen de nuestra investigación y encontrar alguna respuesta es lo que pretendemos. Para ello comenzaremos revisando la literatura relacionada con los dominios

señalados en el enunciado del problema, como son: la eficacia de modelos didácticos diseñados para promover el aprendizaje de las ciencias, las estrategias utilizadas para superar las concepciones erróneas en electricidad, la interacción de diferentes metodologías didácticas con diversas características de los alumnos y las concepciones alternativas (erróneas desde el punto de vista científico) de los alumnos en electromagnetismo así como su superación con el uso de metodologías que promuevan la actividad en el alumno.

I.3 INVESTIGACIONES SOBRE METODOLOGÍAS DISEÑADAS PARA MEJORAR EL PROCESO DE LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS.

A continuación exponemos cronológicamente una muestra significativa de diferentes trabajos de investigación encaminados a producir una mejora en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Unos estudios sólo presentan estrategias didácticas fundamentadas en orientaciones constructivistas del proceso de enseñanza/aprendizaje (sin mencionar evaluaciones formales) que hemos considerado interesantes, y otros aportan los resultados obtenidos en distintos campos del aprendizaje.

Joseph Stephans, Steven Dyche y Ronald Beiswenger en una investigación realizada en 1986 comparan la efectividad de dos modelos de enseñanza para promover una comprensión válida de los conceptos científicos. Un mismo profesor impartió los conceptos científicos relacionados con el hundimiento y la flotación de los cuerpos durante 250 minutos a dos grupos diferentes de alumnos de 16 años. En un grupo formado por 26 alumnos, 25 mujeres y un varón, utilizó el modelo de enseñanza *expositivo* (método tradicional) consistente en dar clase de teoría, suministrar problemas escritos y realizar demostraciones prácticas. Los estudiantes tomaban notas de todas las fases de la exposición. En el otro grupo formado también por 26 alumnos, 22 mujeres y 4 hombres, utilizó el modelo de *ciclo de aprendizaje* (enseñanza cíclica) que consta de las siguientes etapas:

- La *fase de exploración*, consistente en que los alumnos predicen, prueban sus predicciones y experimentan sobre el tema de estudio.
- La *fase inventiva*, donde el profesor, utilizando las ideas de los alumnos y sus observaciones, formula definiciones de los conceptos implicados en el tema de estudio.
- La *fase de aplicación*, donde los alumnos intentan aplicar los términos definidos en la fase inventiva a nuevas situaciones de la vida real. El profesor y los alumnos discuten los resultados de todas las actividades.

Para averiguar la diferencia en los efectos que los dos modelos de enseñanza ocasionan en el cambio de comprensión de los conceptos concernientes al hundimiento y la flotación de los cuerpos, los investigadores realizaron entrevistas al comienzo y al final de la enseñanza.

Después del análisis exhaustivo de las entrevistas, se comprobó que ambos grupos mejoraron en el uso apropiado de los términos: densidad, presión hidrostática, empuje y tensión superficial. Así mismo, el grupo de aprendizaje cíclico mostró un incremento mayor (entre el 13 y 29%) en el uso correcto de los términos comparado con el éxito acumulado por el grupo expositivo.

Los investigadores concluyen señalando que los resultados sugieren que la comprensión de las relaciones entre los conceptos científicos de hundimiento o flotabilidad que los alumnos generan pueden mejorarse utilizando un estilo de enseñanza que combine demostraciones prácticas con clases teóricas y el módulo de aprendizaje cíclico. Sin embargo, ante situaciones experienciales novedosas para los alumnos comprobaron que mantienen sus conceptos originales. En consecuencia, finalizan el trabajo diciendo que es necesario diseñar y utilizar modelos alternativos de instrucción cuando los alumnos poseen profundos errores conceptuales sobre determinados conceptos científicos.

Palacios Gómez, C. y otros (1987) compararon dos metodologías activas (A y B) ensayadas con alumnos de 14-15 años. En el método A, llamado *Construcción de Conocimientos* (Gil Pérez, 1983), los alumnos utilizaron, en la medida de sus posibilidades, el método científico, bien de una forma individual (formulación de hipótesis, respuestas a preguntas, resolución de problemas,..), bien en pequeños grupos (realización de montajes experimentales, consulta bibliográfica, ..), bien en grandes grupos (puestas en común). El profesor en el método A posee un papel motivador, generador de situaciones que facilitan el aprendizaje, asesor de los alumnos en sus investigaciones y director-coordinador de las puestas en común, una de las partes más relevantes de esta metodología (Taller de Arquímedes 1984). El método B, llamado *Metodología Expositiva* (Blake 1978), está basado en la transmisión escrita de los conocimientos que se presentan como susceptibles de ser descubiertos con otro método (Taller de Arquímedes, 1985). En este método B, los alumnos realizaron todas las actividades no experimentales propuestas en la metodología A, además de tres experiencias de laboratorio planteadas como mera comprobación de los procesos estudiados. En esta metodología el papel del profesor es semejante al propuesto por el método A.

En la comparación de ambos métodos consideraron los autores las siguientes variables:

- a) La adquisición de los conocimientos y habilidades científicas.

- b) La influencia de los niveles iniciales de conocimientos y habilidades en las posteriores adquisiciones.
- c) La opinión que les merece a los alumnos, y
- d) La conservación en el tiempo de dichas adquisiciones.

Los resultados obtenidos indican que con ambos métodos se consiguieron aumentos en los conocimientos y en las habilidades. Al compararles sólo se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,001$) en los conocimientos finales, de forma que los alumnos que siguieron la metodología B obtuvieron mejores resultados, en cuanto a los conocimientos, que los que utilizaron el método A.

La influencia de las condiciones iniciales sobre la adquisición de habilidades y sobre el aprendizaje de conocimientos, también fue significativa. El aumento de conocimientos en los alumnos que siguieron el método A está correlacionado con sus habilidades iniciales, siendo los alumnos en los que éstas eran mayores los que más conocimientos adquieren. El aumento de habilidades científicas por parte de los alumnos en ambos métodos está condicionado por las habilidades iniciales, siendo mayor en los alumnos con menos habilidades iniciales, con independencia del nivel de conocimientos de partida.

Los autores concluyen señalando que, a corto plazo, la metodología B influye más en el incremento de los conocimientos, lo que puede ser debido a la propia estructura tan esquemática del método seguido. Piensan que el método A puede ser más apropiado en las aulas donde los alumnos poseen un nivel elevado en sus habilidades científicas iniciales, frente al B que parece más aconsejable para los alumnos en los que dichas destrezas están menos desarrolladas. Esta intuición habría que investigarla al igual que otros factores, como percepción, motivación, actitud hacia las ciencias, capacidad investigadora, nivel cognoscitivo de los alumnos, profesor, tiempo de duración de la experiencia, desarrollo de las metodologías en todas sus fases, etc.

Un grupo de profesores del Seminario Permanente de Física y Química "Vegas Altas del Guadiana" ensayaron un *método activo en química de COU* (1987), con 127 alumnos de centros públicos y privados de las Vegas Altas del Guadiana en la provincia de Badajoz. Con este método los autores pretenden un cambio en la metodología de la enseñanza, intentando conseguir la formación y participación del alumno más que la información como un mero

receptor. Tratan de dar al alumno la oportunidad de que haga suyos los fundamentos de la química, participe, ponga a prueba sus hipótesis y defienda sus observaciones. El profesor utiliza el "método científico" como herramienta de trabajo, reduciendo al mínimo las clases magistrales y fomentando la dinámica de la clase-laboratorio. El material de trabajo que utilizaron fue unos apuntes elaborados en grupos de trabajo por los miembros del Seminario y un cuaderno de prácticas de laboratorio (20), en cuya redacción intentaron evitar el recetario sobre manipulaciones detalladas que el alumno sigue mecánicamente. Por ello, en la medida de lo posible, a lo largo de cada práctica se proporciona al alumno una serie de cuestiones con el fin de plantear los interrogantes en sus observaciones y mediante el análisis de los resultados y consultas bibliográficas, llegue a la comprensión de los fenómenos estudiados. Asimismo utilizan textos de consulta para la realización de las actividades bibliográficas programadas en los apuntes así como para la resolución de los problemas propuestos.

En esta investigación los autores evalúan el método activo anterior y lo comparan, tomando un grupo de control, con la metodología tradicional. Los resultados que obtuvieron indican que los rendimientos de los alumnos en preguntas de teoría y problemas son semejantes con ambas metodologías. Sin embargo, el rendimiento sobre preguntas de laboratorio (habilidades científicas, destrezas manipulativas, ..) eran significativamente mayor en el grupo experimental. También los investigadores constataron que los alumnos necesitan un período de adaptación al método experimental. Los resultados fueron mejorando a medida que transcurría el Curso.

Andrés, M. en 1990 evaluó una propuesta instruccional que denominó "estrategia de conflicto" con 76 alumnos del último curso de secundaria (media de 17 años). El diseño instruccional que propuso enfatiza la comprensión conceptual y toma en cuenta las ideas de los alumnos. La estrategia de conflicto, fundamentada en los planteamientos de Posner (1983), presenta cuatro fases:

- a) *La fase de predicción*, en la que a los alumnos se les provee de una descripción del evento y se les pide que hagan sus predicciones acerca de lo que sucederá, así como la explicación que las sustenta.
- b) *La fase de observación*, en donde los estudiantes diseñan las experiencias necesarias para verificar sus predicciones y recogen las observaciones necesarias.

c) *La fase de discusión reflexiva*, en la que se discute acerca de la validez de sus explicaciones, a raíz de lo cual pueden surgir nuevas experiencias.

d) *La fase de generación* del conocimiento, en donde los alumnos modifican sus explicaciones iniciales parcial o totalmente, en función de los resultados obtenidos y de los modelos científicos.

El trabajo consiste en una investigación de tipo preexperimental: un grupo experimental con pre y postprueba (Campbell, 1973). Los estudiantes tuvieron un rol activo dentro de este plan, eran los protagonistas principales de las actividades de aprendizaje propuestas, las cuales variaban: discusiones de lecturas, simulaciones, actividades de laboratorio, elaboración y discusión de reportes de laboratorio y sesiones de solución de problemas. El diseño instruccional tuvo una duración de treinta clases de cuarenta minutos. Las sesiones estaban programadas para trabajar con todo el curso o con la mitad. Las sesiones de clase estaban dirigidas mediante hojas de trabajo en las cuáles se les indicaban los objetivos y las actividades a realizar. En las actividades de laboratorio se aplicó la estrategia de conflicto. Las hojas de trabajo contenían los objetivos y las descripciones de los eventos, acompañadas de preguntas que activasen los esquemas de los estudiantes y generasen nuevas preguntas.

En su estudio, Andrés M. pretendía determinar el efecto de los cursos previos de electricidad cursados en la enseñanza básica sobre las concepciones de los estudiantes antes y después de la instrucción que iban a recibir dos años después. Los resultados que obtuvo señalan que, antes de la instrucción, el haber cursado electricidad en la enseñanza básica no influyó en los resultados de la prueba de determinación de concepciones sobre electricidad. Sin embargo, después de la instrucción, los alumnos que cursaron electricidad en la enseñanza básica sí obtuvieron puntuaciones significativamente mayor que los que no cursaron electricidad.

Después de un año sin trabajar con el área de electricidad, las preguntas de la prueba sobre concepciones no mostraron ningún conocimiento escolar, los alumnos utilizaron sus esquemas particulares para responder a las preguntas de la prueba. Parece, por tanto, que el aprendizaje logrado en los cursos de enseñanza básica es temporal. La experiencia instruccional tuvo mayor éxito en los estudiantes que habían tenido la vivencia del curso de electricidad. Parece que el experimento les activó los esquemas adquiridos en dichos cursos, permitiéndoles mayor comprensión de los contenidos y de los fenómenos.

Otro objetivo perseguido por el autor fue relacionar el sexo con la puntuación en la prueba de concepciones acerca de la electricidad antes y después de la instrucción. Los resultados indican que antes de la instrucción los varones obtienen puntuaciones significativamente mayor que las mujeres, y después de la instrucción la diferencia se hace menos marcada. Este resultado pudiera tener explicación desde el punto de vista cultural y social. Existen diferencias entre el rol y las actividades de la mujer y del hombre. Aún cuando la incursión de la mujer en el mundo tecnológico y científico cada vez es más alta, continúa existiendo la creencia de que áreas como la electricidad son más propias del sexo masculino.

Un tercer objetivo perseguido por el autor fue determinar la correlación entre rendimiento en Física de los cursos de EGB, rendimiento en Física de la prueba tradicional del primer trimestre, y la prueba de Concepciones antes y después de la instrucción sobre electricidad. Los resultados señalan que la correlación entre el rendimiento en Física y la preprueba sobre Concepciones no es significativa; en cambio, con la postprueba sobre concepciones sí es significativa para un 0,025. La correlación entre el rendimiento en Física del primer trimestre y la pre y postprueba sobre concepciones sí es significativa, mayor con el posttest ($p=0,0005$) que con el pretest ($p=0,05$). Por último, entre la preprueba y la postprueba la correlación es baja y no significativa.

El autor concluye su trabajo diciendo que “la búsqueda de propuestas instruccionales, de actividades de aprendizaje dirigidas al logro de la comprensión y del cambio conceptual debe continuar. Es necesario lograr que los estudiantes sean capaces de elaborar las respuestas a las preguntas planteadas mediante la activación de los esquemas conceptuales adecuados. Hay que erradicar la conducta mecanizada, las respuestas estandarizadas por problemas tipo”.

Dreyfus, Jungwirth y Eliovitch (1990) estudiaron las consecuencias prácticas, los problemas y las dificultades de la aplicación en el aula del modelo didáctico del cambio conceptual mediante la utilización de estrategias de *conflicto cognitivo*.

Un problema básico en la utilización de este modelo es la capacidad de los alumnos para alcanzar un estado de conflicto significativo. A veces no pueden llegar por varias razones relevantes: dificultades en el razonamiento formal con conceptos abstractos (Lawson, 1985); pobre comprensión de los datos conceptuales así como su dominio (Stewart, 1985); decisiones

de los profesores que no se ocupan de algunos conceptos previos, bien por ignorarlos o bien por creer que no los tienen (Dreyfus y Jungwirth, 1989).

En este estudio, los autores demuestran escuetamente que incluso aunque el alumno alcance el conflicto significativo no siempre es exitoso, en el sentido de que no siempre se asegura la construcción del conocimiento científico.

Los conflictos sumamente significativos pueden ser fácilmente diseñados cuando el conocimiento que los estudiantes ponen en juego en el proceso está “enlazado con la experiencia”. En estos casos los estudiantes se implican bastante en los procesos e incluso van más allá de la intención del profesor, construyendo independientemente nuevos conceptos que pueden ser, y así ocurre a menudo, inaceptables científicamente. En estos casos el profesor tiene que darse cuenta de estas nuevas creaciones mentales de los alumnos, para ello debe plantearles alguna actividad en la que se expresen a sí mismos más o menos libremente.

Cuando la adquisición de conocimientos es “cultural” o puramente se basa en el “conocimiento escolar” -no hay ninguna relación con la experiencia del estudiante-, se pueden establecer conflictos significativos; sin embargo, pueden ser muy difíciles, sino imposible, de resolverlos al nivel científico de los estudiantes. Si se propone una solución a un nivel por encima de los estudiantes, permanecerá sin significado alguno para ellos y el efecto del conflicto se perderá. En consecuencia, los profesores están en confrontación directa con el difícil asunto de encontrar un contexto en que tanto el conflicto como la solución sean significativos para el estudiante. Deberían darse cuenta que no todo se puede explicar a los estudiantes en términos de destacadas teorías científicas, y que la información puede ser presentada significativamente sin estar totalmente basada en complejos principios científicos.

Por último, cuando el conocimiento es altamente formal (abstracto) y tiene consecuencias cotidianas que son conocidas por los estudiantes, éstos tienden a utilizar su sentido común de una manera que les conduce a cometer errores conceptuales. Como estos errores son de sentido común, no pueden ponerse fácilmente en conflicto con las ideas personales de los alumnos. Por tanto, para llegar al conflicto cognitivo, deben ponerse los errores conceptuales en contradicción con el conocimiento formal de los estudiantes. Pero este tipo de conflictos puede carecer de importancia en el alumno o causar poco impacto sobre él. Dependerá del tipo de estudiante de que se trate.

Los alumnos pueden clasificarse atendiendo a sus actitudes hacia el conocimiento escolar y hacia las tareas escolares. Hay alumnos que perciben el conocimiento escolar como “no auténticamente real” al compararlo con el conocimiento cotidiano. Estos alumnos no muestran indiferencia hacia el conocimiento escolar, no rechazan los nuevos conocimientos, pero prefieren utilizar sus conceptos previos obtenidos a partir del “mundo real”. Para este tipo de estudiantes, los conceptos previos pueden ser más bien “barreras que trampolines” (Harlen, 1983). En consecuencia, el aprendizaje no debe ser visto sólo como una actividad, sino también como una **actitud**.

Por último, los autores señalan que los estudiantes brillantes reaccionan de manera entusiasta a los conflictos cognitivos. Les gusta el método, la confrontación con nuevos problemas. Los estudiantes sin éxito en los estudios no presentan a priori una afición a tales conflictos. Por razones psicológicas (Frunkenstein, 1970) y sociológicas (Ginzburg, 1972) han encontrado en su desarrollo un autorretrato personal negativo y actitudes negativas hacia la escuela y las tareas escolares con alto nivel de ansiedad. Su comportamiento en la escuela es a menudo irrelevante hacia las tareas y apuntan solamente hacia la consecución de un reforzamiento positivo del profesor hacia ellos mismos. La aplicación exitosa de esta estrategia de conflicto cognitivo puede por lo tanto depender, no sólo del proceso cognitivo, sino también de los parámetros afectivos.

Palacios (1991) realizó una investigación cuyo objetivo principal era la comprobación de la eficacia de un método que llamó “indagatorio” aplicado a la didáctica de la Geografía en la Universidad. La variable dependiente era el aprendizaje de la Geografía Física, medida por la comprensión de conceptos, las capacidades intelectuales, la destreza instrumental, los valores estéticos del paisaje y las actitudes hacia la asignatura. La variable independiente era el método indagatorio, introducido a través del trabajo de campo realizado por los alumnos de 3º y 5º de la Licenciatura de Geografía en el Circo de Peñalara.

Los resultados señalan que el método indagatorio produce una mayor comprensión de conceptos, una mejora de las capacidades intelectuales (al aumentar el aprendizaje de las fases de las que consta el método científico), una mejora de las destrezas instrumentales (identificación de formas geográficas y orientación) y por último, se observa un cambio en la jerarquía de valores estéticos del paisaje y en las actitudes hacia la asignatura, éstos tanto en un sentido favorable como desfavorable.

José del Río (1991) construyó, ensayó y evaluó dos metodologías, una por descubrimiento abierto y otra por descubrimiento dirigido, y las confrontó con la metodología tradicional. Aplicó los tres métodos, respectivamente a tres grupos de alumnos de 3º de BUP, durante veinte sesiones, eligiendo las secciones cónicas como contenido de estudio. La estructura instructiva se desarrolló en tres fases: contextualización (identificación de las ideas previas de los alumnos), construcción (los alumnos concretan y comprueban sus conjeturas) y ampliación (realización de actividades algorítmicas con el fin de perfeccionar los conocimientos, habilidades y actitudes).

Los resultados muestran que en conceptos, el grupo que siguió la enseñanza por descubrimiento obtuvo mejores resultados que el que la recibió por descubrimiento dirigido, y éste, a su vez, mejores que el grupo sobre el que se impartió enseñanza tradicional. En algoritmos, el grupo "por descubrimiento" se mostró superior al grupo "tradicional". Sin embargo en resolución de problemas y en actitud no se encontraron diferencias significativas entre los grupos. Las mismas pruebas, dos meses después, dieron estos resultados: en conceptos no hubo cambios importantes respecto de la prueba anterior. En algoritmos los resultados del grupo tradicional fueron análogos a los del grupo por descubrimiento y ambos superiores al de descubrimiento dirigido, sucediendo lo mismo en la prueba de resolución de problemas. En actitud tampoco se encontraron diferencias significativas entre los grupos, posiblemente por el limitado período de la experimentación.

Por último también estudió las interacciones entre las metodologías y algunas características de los alumnos. La segunda metodología tiende a favorecer más a las mujeres en su aprendizaje a corto plazo, pero no en la retención. A los hombres, en general, les favorece más la primera metodología. En el rendimiento conceptual a largo plazo, la primera metodología favorece a los independiente de campo pero la tradicional les desfavorece. La metodología tradicional favorece más el aprendizaje a corto plazo de procedimientos algorítmicos en los alumnos con un nivel bajo de instrucción previa; pero en los niveles medio y alto influyen más las dos metodologías experimentales. La metodología tradicional desfavorece el aprendizaje de los alumnos con una actitud positiva de las matemáticas.

García Valcárcel (1991) en una investigación dirigida para analizar la práctica docente en la Universidad de Cantabria encontró relaciones entre los modelos de enseñanza empleados,

el "transmitivo" y el "comunicativo", y el rendimiento, motivación y satisfacción de los alumnos. En las asignaturas que se ajustan al modelo comunicativo, los alumnos consideran que su nivel de conocimientos y el de la clase es más elevado, muestran un mayor interés por la asignatura y se muestran más satisfechos de la misma, a la vez que los profesores que imparten dichas asignaturas han sido mejor valorados.

Pozo y otros (1991) han intentado analizar los procesos psicológicos que influyen en la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos de 12 a 16 años y han podido observar que esa comprensión depende tanto de ciertas estructuras y procesos cognitivos generales como de los conocimientos específicos que los alumnos han adquirido sobre un área determinada.

Los autores también realizan un análisis exhaustivo y organizado de los estudios realizados en el área de Química y proporcionan criterios explicativos e interpretativos con respecto a las dificultades de comprensión encontradas por los alumnos. El trabajo pretende integrar una gran cantidad de resultados aparentemente dispersos -características del enfoque fragmentado de las concepciones alternativas- en un marco teórico común que podrá servir de ayuda en la secuenciación de los contenidos de Química dentro de los futuros Proyectos Curriculares.

Los investigadores también describen trabajos que analizan la relación entre el rendimiento en Química y ciertas variables predictoras (psicológicas e instruccionales) que explican parte de la varianza en el rendimiento de una tarea Química.

Desde un enfoque psicométrico, los trabajos que se han llevado a cabo confirman que el razonamiento formal es una variable que influye en el rendimiento en Química. Chaldran y otros (1987), sobre una muestra de alumnos de 15,5 años, examinaron cuatro variables cognitivas: el pensamiento formal, el conocimiento previo, la dependencia/independencia de campo y la capacidad de memoria. Los resultados mostraron que las cuatro variables están interrelacionadas, es decir que los sujetos formales tienen un mayor conocimiento previo, son más analíticos y su capacidad de memoria es mayor.

Niaz (1988 y 1989) estudió la capacidad mental, el razonamiento formal, la dependencia/independencia de campo y el nivel de inteligencia general con contenidos de Química. Los resultados confirman que el rendimiento de los sujetos aumenta a medida que la

capacidad mental aumenta. El rendimiento disminuye cuando aumenta la demanda de la tarea. Los sujetos independientes de campo resuelven mejor los problemas que los dependientes. Las cuatro variables cognitivas correlacionan entre sí, es decir que los alumnos que aprovechan mejor su capacidad mental son mejores pensadores formales, más inteligentes y más independientes de campo. Sin embargo, Chandran y otros (1987) concluyen que la capacidad mental no influye en el rendimiento, ni tampoco encontraron una relación significativa entre dependientes /independientes de campo y rendimiento en problemas de Química.

En un estudio llevado a cabo por la I.E.A. (International Association for the Evaluation of Educational Achievement) entre 1983 y 1986 sobre alumnos de 10 a 17 años de 17 países de todo el mundo (incluido España) se encontró que los chicos superaban a las chicas acentuándose las diferencias a medida que aumentaba la edad. No se señala a qué se deben tales diferencias.

Mulopo y Fowler (1987) trataron de ver cuál era el efecto de la enseñanza tradicional y la enseñanza por descubrimiento en los resultados del aprendizaje en alumnos de diferente desarrollo intelectual. Llegaron a las siguientes conclusiones: a) el grupo de sujetos formales tenía una mejor comprensión de la ciencia cuando se enseñaba por descubrimiento que cuando se hacía de forma tradicional; b) el rendimiento de los sujetos formales era significativamente mejor que el de los concretos con independencia del tipo de enseñanza; c) en general, aquellos alumnos que eran enseñados por la estrategia de descubrimiento mostraban una actitud significativamente mejor hacia la Química; y d) el grupo que fue enseñado tradicionalmente superó al grupo por descubrimiento en el rendimiento.

Jiménez (1991) diseñó materiales y estrategias para promover el cambio conceptual en estudiantes de BUP y COU sobre la Selección Natural. Los resultados muestran que programando secuencias instruccionales que sigan el modelo constructivista de aprendizaje como cambio conceptual, puede lograrse un aprendizaje significativo de la selección natural.

David E. Brown (1992) en una investigación sobre la utilización de los ejemplos en la enseñanza de los conceptos cuestiona la efectividad de esa técnica tradicional de enseñanza, sobre todo cuando el alumno posee errores conceptuales. En su estudio, realizado con una muestra de 21 estudiantes, encontró que cuando uno de ellos mantiene un concepto erróneo,

el hecho de presentar un principio apoyándolo con ejemplos que indiquen el rango de aplicación del principio puede no ser efectivo. Sin embargo, los ejemplos son más eficaces cuando tratados a través de técnicas como el *encauzamiento* (secuencia conexas de ejemplos) ayudan a los estudiantes a concebir, ampliar y modificar mediante analogías sus propias intuiciones hacia la construcción de un nuevo modelo conceptual.

En su estudio, Brown señala que para que los ejemplos ayuden a los estudiantes a construir un nuevo marco conceptual:

- Deben *tener sentido* para los estudiantes. Es decir, ser comprensibles y creíbles para ellos, no sólo para el profesor o el autor del libro de texto. Los profesores necesitan ser conscientes de que los ejemplos que encuentran convincentes pueden no ser del todo clarificadores para los estudiantes.
- Deben *ser vistos por el estudiante como análogos* al problema planteado. Es decir, el profesor debe ser consciente que aunque el ejemplo sea convincente para el estudiante, puede que no lo vea semejante al concepto tratado, lo cual haría que se extendiera el error conceptual. Si ocurre esto, el establecimiento de conexiones mediante relaciones analógicas pueden necesitarse para desarrollar con claridad las ideas.
- Pueden necesitar un desarrollo de modelos fácilmente visualizables, cualitativos, que den *explicaciones mecánicas* de los fenómenos físicos.

Brown, a modo de resumen, concluye señalando que , cuando los ejemplos tienen sentido para los estudiantes, están relacionados con los nuevos problemas y ayudan al estudiante a formar un modelo mental cualitativo son más útiles que cuando muestran simplemente el rango de aplicación de un concepto abstracto o principio.

Smith, Blakeslee y Anderson (1993) estudiaron las actividades y las estrategias específicas que los profesores utilizan para atraer a los estudiantes hacia el cambio conceptual, y las relaciones de esas estrategias con el aprendizaje del estudiante. Los resultados de su investigación apoyan la idea de que la extensiva utilización de las estrategias de enseñanza hacia el cambio conceptual está asociada con el uso de materiales de enseñanza específicamente

diseñados para ello, pero no con la programación de sesiones de entrenamiento o talleres de trabajo enfocados para ilustrar al profesorado sobre estrategias generales de cambio conceptual.

La mayor parte de los textos típicos de ciencias y otros materiales disponibles comercialmente no incorporan apenas estrategias de enseñanza sobre el cambio conceptual, ni proporcionan la información necesaria ni el apoyo a los profesores que quieran utilizar este tipo de estrategias. Así pues, los profesores que utilizan materiales comerciales enseñarán para el cambio conceptual solamente si dedican mucho tiempo al difícil y complejo proceso de reconstrucción del currículo. Los resultados del estudio indican que esta tarea de reconstrucción del currículo es categóricamente difícil para la mayoría de los individuos que se dedican a la enseñanza.

Los autores también concluyen de su estudio que al facilitar a los profesores materiales de enseñanza diseñados apropiadamente se produjo un incremento tanto en el uso de las estrategias de enseñanza basadas en el cambio conceptual como en el éxito de los estudiantes en su aprendizaje.

En efecto, las estrategias del cambio conceptual, principalmente el planteamiento de interrogantes y la presentación de ideas, se utilizaron más a menudo en discusiones de clase por los grupos que utilizaron los materiales específicamente diseñados por los autores. Las tareas académicas que incorporaban esas estrategias fueron mucho más frecuentes en estos materiales que en los comerciales o en los preparados por los propios autores.

Ramos y otros (1993) realizaron un estudio para verificar la aplicabilidad de la teoría de Lakatos al campo del aprendizaje de conceptos científicos, intentando identificar y caracterizar posibles pautas acerca de cómo "protegen" los estudiantes sus esquemas conceptuales previos. También diseñaron un modelo de intervención didáctica que tenía en cuenta lo anterior, junto con las secuencias evolutivas de los patrones de aprendizaje de los alumnos y la consecuencia/inconsecuencia en la aplicación de los esquemas conceptuales. Para el proceso de intervención didáctica elaboraron unidades en las que los alumnos trabajan "con" y "contra" sus conceptos previos. Incluyen situaciones que permiten que los alumnos lleguen a ser conscientes de sus concepciones previas y de las de sus compañeros, sometiéndolas a debate y, siempre que sea posible, a verificación experimental. La intervención se completa con la introducción de la perspectiva científica por parte del profesor en situaciones que

provoquen la reestructuración de las ideas, con aplicación de las nuevas concepciones a problemáticas cada vez más amplias y en diversos contextos. La población sometida a tratamiento fueron alumnos de 7º de EGB, 1º y 3º de BUP y 1º y 3º de Medicina.

La medida del logro de los objetivos finales se realizó mediante el método pretest-postest, diseñado de forma tal que permita evaluar las concepciones previas, los esquemas conceptuales, el grado de consistencia/inconsistencia y el grado de protección de los conceptos previos, así como las secuencias evolutivas que atraviesan los patrones de aprendizaje de los alumnos.

Puey y otros (1993) estudió los efectos experimentales sobre el aprendizaje de tratamientos basados en la consideración de las ideas previas y/o la resolución de cuestiones cualitativas apropiadas, así como la utilización de unidades didácticas por alumnos de BUP y COU sobre óptica geométrica y física intentando lograr un aprendizaje lo más significativo posible en el sentido ausubeliano del término.

Los resultados que obtuvo indican que los tratamientos basados exclusivamente en la consideración de las ideas previas estimulan a todos los alumnos y, especialmente, a los que tienen un rendimiento previo bajo. Los tratamientos basados exclusivamente en la utilización de cuestiones sólo favorecen a los alumnos de rendimiento previo alto. Cada uno de estos aspectos (ideas previas, cuestiones cualitativas y unidades didácticas), por sí sólo, produce buenos resultados, pero más modestos; es la combinación de todos ellos lo que representa un refuerzo considerable en el aprendizaje frente a los tratamientos que se apoyan en uno sólo. Además, tanto más positivas son las actitudes de los alumnos cuanto más completo es el tratamiento recibido.

Forteza y otros (1993) exploraron las posibilidades y limitaciones de un enfoque constructivista del aprendizaje de aspectos básicos de la física en el ciclo 12-16 años. El modelo se basa en la sinergia entre las ideas previas de los alumnos y el marco conceptual de referencia determinado por la estructura y procesos de la ciencia. Este enfoque metodológico intenta evitar dos tendencias educacionales extremas: el aprendizaje por descubrimiento autónomo (muy criticado por sus resultados) y el aprendizaje que, aunque contempla el proceso

científico, ignora las concepciones previas de los alumnos, actuando frecuentemente contra ellas.

La secuencia del enfoque constructivista que se propone es la siguiente:

I. Orientación general, motivación de los alumnos.

II. Emergencia de ideas, mediante tests en gran grupo y en grupos reducidos, entrevistas individuales y pósters de equipo.

III. Reestructuración de ideas, con las fases de:

- clarificación, debate e intercambio de ideas entre los alumnos.
- situaciones de conflicto, poniendo a prueba la validez de las ideas existentes.
- construcción de nuevos conceptos, modificando, reemplazando o reasumiendo las ideas iniciales.

IV. Aplicación de ideas para mostrar el aprendizaje significativo, su operatividad, mediante la propuesta de resolución de problemas en situaciones familiares y en situaciones nuevas, debiendo emerger una actividad abierta.

V. Posteriormente a todo el proceso anterior, se realiza una revisión del proceso, contemplando el cambio conceptual producido y la persistencia en la retención de conceptos.

Los resultados apuntan a la idoneidad de la metodología propuesta en el marco de un aprendizaje significativo. Asimismo constatan la lentitud del proceso, que debería tenerse en cuenta en un posible y deseable desarrollo curricular basado en la metodología propuesta.

Salinas, Cudmani y Pesa (1993) hipotizaron sobre la existencia, en alumnos universitarios, de cuatro tipos de razonamiento espontáneo incompatible con el conocimiento científico; sobre sus características, y sobre su incidencia en la construcción del conocimiento relacionado con el funcionamiento de circuitos eléctricos sencillos. Les llamaron razonamientos:

- *Monoconceptual*. Los estudiantes simplifican acríticamente los problemas, suponiendo a priori y sin control que la respuesta depende de una sola variable.
- *No sistemático, irreversible*. Los estudiantes no consideran los efectos mutuos entre diversos elementos presentes en la situación y reducen su análisis a cambios locales o a deducciones directas.
- *Puramente algorítmico*. Los estudiantes emplean los formalismos matemáticos y otros símbolos representacionales despojándolos de significado físico.
- *Reduccionista*. Los estudiantes atienden más a las propiedades que a las funciones de los elementos en juego en la situación problemática, sean estos conceptuales o fácticos.

Los resultados que obtuvieron parece que validaron la hipótesis de que estos tipos de razonamientos espontáneos son inadecuados para un aprendizaje significativo de ciertos contenidos de física en niveles universitarios.

A la luz de los resultados que encontraron, y en el marco de un modelo constructivista del aprendizaje, los autores creen que el aprendizaje de la Física debe ser planteado a los estudiantes universitarios como la *adquisición de otra manera de conocer*: la manera de conocer de la Física clásica. Creen que es conveniente un cierto proceso de metacognición por parte de los estudiantes (Hewson y Thorley, 1989) que favorezca que ellos conozcan y valoricen las metas cognitivas de la empresa científica, sus modos de razonar, sus metodologías para la construcción y control del conocimiento, sus exigencias epistemológicas. Señalan que los profesores pueden favorecer este proceso diseñando e implementando actividades educativas que requieran: - una participación mental activa de los estudiantes, - una profundización en los significados, - tratamientos cualitativos que otorguen contenido a los algoritmos y validez a la precisión cuantitativa, - debates donde se confronten diversas alternativas y se tomen decisiones basándose en criterios compatibles con los científicos, - consideración de situaciones diferentes para controlar la consistencia del conocimiento, etc. En síntesis, actividades de construcción de conocimiento científico a través de modos científicos de enfrentar los problemas, que no centren las cuestiones sólo en el cambio conceptual. Según su criterio, es necesario atender debidamente la circunstancia de que este cambio no será significativo si no va acompañado de otros, tales como cambios en los modos de razonar al que se refieren en su trabajo.

Así, el proceso de enseñanza y aprendizaje institucional no sólo favorecerá la transición desde sistemas cognitivos espontáneos hacia sistemas más científicos, sino que facilitará el desarrollo en los estudiantes de modos de razonar, de habilidades y estrategias necesarias para producir los nuevos cambios que requerirán el aprendizaje de nuevas teorías y su futura labor profesional como ingenieros, como físicos, como profesores e investigadores (Cudmani, Salinas y Pesa, 1991).

Ramírez, Gil y Martínez (1994) en el trabajo que han realizado muestran la coherencia del modelo de resolución de problemas como investigación (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983) con las aportaciones de los avances en didáctica de las ciencias. Muestran la aplicabilidad del modelo a la mayor parte de los campos de la Física y de la Química que se estudian en la educación secundaria. Constatan que su práctica reiterada produce en los alumnos un verdadero cambio metodológico, acercando su actividad a las características del trabajo científico y modificando positivamente su actitud hacia la resolución de problemas.

El modelo de resolución que proponen es coherente con el paradigma emergente que concibe el aprendizaje como cambio conceptual (Posner y otros, 1982) dentro de una óptica constructivista (Driver, 1986; Novak, 1988) superador de la simple transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados. También el modelo provoca un auténtico cambio metodológico sin el cual no puede conseguirse el cambio conceptual (Gil y Carrascosa, 1985)

El conjunto de resultados que los autores han obtenido, al utilizar el modelo de forma reiterada y habitual en las clases de Física y Química, con los alumnos de BUP y COU, muestran grandes diferencias estadísticamente significativas respecto a otras metodologías que más bien parece que no enseñan a resolver problemas sino a memorizar resoluciones explicadas por el profesor. En este sentido, el modelo propuesto por los autores contribuye a una mejor resolución de los problemas de Física y Química en su conjunto. Así, los alumnos experimentales, en contra de lo que ocurre con los no experimentales, muestran:

- una clara superación del operativismo habitual, siendo capaces de reflexionar desde el principio de la resolución, analizando la situación de partida, etc., y no cayendo en la utilización inmediata de datos y fórmulas.
- Una notable familiarización con los aspectos esenciales del trabajo científico.

- Un mayor conocimiento de lo que supone enfrentarse a problemas siendo capaces de criticar la forma en la que se presenta su resolución.
- Una mayor capacidad para resolver y enfrentarse a problemas, obteniendo mejores resultados tanto en la "calidad" de la resolución como en el resultado final, y mostrando mayor perseverancia y tenacidad, en contra de la tendencia habitual a reconocer el problema o abandonar.
- Por último, evidencian claramente que son conscientes de las ventajas que les reporta el nuevo modelo, aunque algunos matizan su entusiasmo alegando la sobrecarga de esfuerzo que les supone frente a otros modelos que, aunque no enseñan a resolver problemas, tampoco exigen mucho.

Por último, en lo que se refiere a la formación del profesorado los investigadores han mostrado que una reflexión sobre la naturaleza de los problemas y lo que ésto supone, puede conducir a los profesores a reconstruir el modelo y generar un cambio actitudinal que les lleve a introducir cambios en la orientación de la resolución de problemas, que se ven muy favorecidos por un período de tutorización y trabajo colectivo de investigación-acción en el que los profesores se implican como sujetos activos.

Martínez y Varela (1996) trataron de averiguar hasta qué punto un proceso de enseñanza encaminado a familiarizar a los alumnos con una metodología investigativa de resolución de problemas favorece un cambio conceptual. Dentro de la Física, la enseñanza-aprendizaje de la resolución de problemas ha sido estudiada desde diferentes puntos de vista; por un lado, se ha tratado de averiguar cómo los sujetos resuelven los problemas *-orientación expertos/novatos-* (Larkin y Reif, 1979; Chi y col, 1981; Reif y Heller 1982; Chi y otros, 1988; Eylon y Linn, 1988; López Rupérez, 1991; Glaser, 1992) y, por otro, desarrollar propuestas metodológicas diseñadas explícitamente para enseñar a los estudiantes a resolver problemas (Caillot y Dumas, 1987; Kramers y Pilot, 1988; Selveratnam, 1990). En su investigación las autoras, Martínez y Varela, han puesto en práctica en el aula con alumnos de tercero de bachillerato el modelo de enseñanza para resolver problemas propuesto por Gil y Martínez Torregrosa (1983) y que está basado en seguir las etapas que habitualmente siguen los científicos en su trabajo diario investigativo. Se ha ensayado para la resolución de problemas de Mecánica y Electricidad.

La metodología de trabajo utilizada en el aula adopta un enfoque constructivista del aprendizaje. El método de trabajo en el marco de la clase se ha llevado a cabo siguiendo las fases propuestas por Osborne y Freyberg (1985), implícitas en todas las propuestas de enseñanza por investigación (García y Cañal 1995) y que las autoras adaptaron en las siguientes fases: preliminar, de enfoque, de confrontación y de aplicación. Fuera del aula la técnica utilizada consiste en realizar entrevistas individuales, a partir de un protocolo diseñado al efecto, con dos finalidades: 1) suministrar al profesor-investigador información sobre lo que está ocurriendo en el proceso para proceder a la realimentación del mismo (investigación-acción) y 2) favorecer en los alumnos estrategias de meta-aprendizaje.

Los resultados de la investigación confirman su hipótesis de que el trabajo continuado con una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto produce en los estudiantes del grupo experimental, al final del proceso, diferencias significativas (al 1%) con respecto a los esquemas inicialmente disponibles en el campo de la Mecánica y la Electricidad. Así mismo en lo relativo a la persistencia en el tiempo, el nivel alcanzado se mantiene, aunque experimenta un ligero retroceso. En concreto, en el campo de la Electricidad, se evaluó la evolución de cuatro esquemas conceptuales: conservación de la corriente eléctrica, razonamiento "secuencial", concepto de voltaje y conservación de la energía eléctrica; todos los esquemas aumentaron del orden del 49% en el número de respuestas correctas al final del proceso; así mismo, los datos obtenidos después de diez meses de enseñanza muestran que los esquemas persisten en el tiempo produciéndose un ligero descenso (del orden del 15%) en el porcentaje de respuestas correctas.

Las autoras también señalan que la evaluación realizada al final del proceso mostró que existen, en tres de los cuatro conceptos señalados anteriormente, diferencias significativas a favor del grupo experimental. Precisamente en los esquemas correspondientes al voltaje y al razonamiento secuencial, que se mostraron más resistentes al cambio conceptual, son los que precisamente mostraron mayores diferencias a favor del grupo experimental. Por lo cual, las investigadoras consideran que la metodología de resolución de problemas que proponen es más eficaz que la tradicional para producir en los alumnos el cambio conceptual deseado.

Pro y Saura (1996) consideran que una de las exigencias derivadas de la reforma del sistema educativo español es el *cambio metodológico* que debe afectar profundamente a la realidad de las aulas. Esta transformación no es fácil por muy variados motivos pero, sobre

todos, destaca el asentamiento que tienen las concepciones del profesorado y de los propios alumnos sobre la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias y, lógicamente, la resistencia que ofrecen al cambio. Los autores en este trabajo reflexionan sobre lo que debe hacer el profesor en el aula.

En otro trabajo posterior Sánchez, Pro y Valcarcel (1997) señalan que la investigación en didáctica de las ciencias experimentales durante los últimos años se ha desarrollado de una forma vertiginosa, pero quizás debido a que la producción ha sido muy diversificada ha existido una escasa transferencia de los "hallazgos" o avances al aula. En este contexto, a los autores mencionados y a nosotros mismos nos parece necesario realizar trabajos sobre planificación de unidades didácticas ya que su proceso de elaboración permite la integración de elementos como: la profundización en los conocimientos científicos, la incorporación de hallazgos didácticos, la experiencia práctica de los profesores, las formas como aprenden los alumnos, etc.

En los dos trabajos anteriores, los autores ejemplifican la aplicación del modelo de planificación diseñado y fundamentado por Sánchez y Valcarcel (1993). En el primer estudio Pro y Saura (1996) se centran en el desarrollo de los contenidos de Electricidad y Magnetismo que pueden abordarse en Educación Secundaria. En el segundo trabajo Sánchez, Pro y Valcarcel (1997) abordan el estudio de las disoluciones. Este grupo de profesores también ha estudiado otros temas para el mismo nivel de enseñanza (Valcarcel y otros 1990; García y otros 1995). Para la elaboración de las unidades didácticas estos profesores realizan un análisis de todos los contenidos científicos (conceptuales, procedimentales y actitudinales), reflexionan sobre la problemática didáctica que tienen para el aprendizaje de los alumnos (análisis didáctico), seleccionan los objetivos a perseguir, establecen las estrategias didácticas y planifican la evaluación.

Uno de los objetivos del análisis científico en el modelo anterior es la estructuración del contenido de las unidades didácticas, mediante la explicitación de los esquemas conceptuales que se pretende que adquieran los alumnos. Para establecer las relaciones más relevantes existentes entre los conceptos implicados en los contenidos seleccionados utilizan las técnicas de Novak y Gowin (1988).

En el análisis didáctico, la tarea fundamental es conocer las características cognitivas de los alumnos que deberán acceder a la información. Distinguen dos aspectos prioritarios: el

conocimiento de las concepciones de los alumnos y el análisis de las exigencias operatorias que demandan los contenidos que deben aprender. Utilizan las taxonomías de Shayer y Adey (1984) para secuenciar los contenidos en función del desarrollo evolutivo. Aunque sea discutible el paralelismo con la edad biológica, la ordenación resulta muy útil para el diseño del curriculum.

Desde una perspectiva metodológica los investigadores asumen una concepción constructivista del aprendizaje, la utilidad del trabajo cooperativo y del contraste entre iguales, la necesidad de considerar la enseñanza como un proceso de investigación en la acción y los principios básicos del aprendizaje significativo. Todo ello conlleva:

- plantear situaciones en las que los alumnos identifiquen y reconozcan sus ideas, a partir de una reflexión individual y del contraste con otros compañeros.
- que para que los estudiantes se impliquen en el proceso, deben notar que se está trabajando con sus ideas iniciales a lo largo de la construcción de conocimientos y que, con la nueva información, se van modificando, sustituyendo o ampliando.
- que para aprender algo, los alumnos necesitan ver su utilidad, lo que implica la utilización de hechos, fenómenos y situaciones próximas.
- que sea necesaria una enseñanza intencionada y dirigida de los conocimientos implicados; por sí sólo, el alumno no descubre y aprende los conocimientos.
- que las situaciones de aprendizaje deban favorecer el desarrollo personal, el debate, la cooperación, el rigor y la honestidad, la creatividad, la crítica razonada, los planteamientos no dogmáticos, la satisfacción por aprender, ...

Por último, los autores plantean una estrategia de evaluación que tenga en cuenta tanto la evolución de los conocimientos de los alumnos como el desarrollo de la unidad didáctica en el aula. El seguimiento y la valoración de ambos aspectos les proporciona una información útil para la retroalimentación adecuada de los estudiantes y para la mejora del propio proceso de enseñanza.

Jiménez y Marín (1996) establecen algunos criterios mínimos, fundamentados en aspectos cognoscitivos del alumno, que permiten una aproximación al estudio y ponderación del grado de significación que un determinado contenido objeto de enseñanza posee para un alumno:

Los autores sintetizan su trabajo en cinco puntos:

1. El contenido objeto de enseñanza puede clasificarse por su nivel de significación para un determinado alumno, según que haya generado o no esquemas a través de sus interacciones con el medio natural y social.
2. Sólo se puede saber si un contenido tiene o no significado para un alumno cuando se analizan las respuestas de éste a preguntas realizadas sobre situaciones físicas donde se involucra dicho contenido. Toman como criterio observable de significación el siguiente: si en una respuesta del alumno encontramos nociones, relaciones novedosas y, en general, transformaciones no dadas en los datos presentados en la tarea, se podrá decir que la pregunta y la situación física presentada es significativa y, por lo tanto, el contenido implicado también lo será.
3. No se debe identificar y, menos aún, describir concepciones para aquellos contenidos que no tienen significado para los alumnos. Cuando éstos dan respuestas basadas en aspectos perceptivos de la situación física presentada o bien son de compromiso, consideramos que éstas no son reflejo de un determinado esquema cognitivo y, por tanto, no pueden catalogarse como si fuesen auténticas concepciones.
4. Los diseños de enseñanza que se realicen para el aprendizaje de conceptos requieren de estrategias diferentes, según sea o no significativo para el alumno.
5. La técnica de enseñanza basada en el cambio conceptual sólo debería ser aplicada a aquellos contenidos de un alto nivel de significación, puesto que los alumnos han generado esquemas sobre ellos (diferentes a los del profesor) y son dichos esquemas precisamente los que se pretenden modificar.

Macías, Maturano y Castro (1997) evaluaron una experiencia de aula con un diseño basado en la teoría de la elaboración de una unidad didáctica de Física de nivel básico universitario. Su propuesta está enmarcada dentro del modelo constructivista del aprendizaje escolar y se ha realizado desde un enfoque de investigación-acción.

Estos investigadores parten de la propuesta de Cesar Coll (1987), que aconseja que, del conjunto de estrategias instruccionales que prescribe la teoría de la elaboración, es conveniente interesarse por las que se refieren a la organización y secuenciación de los contenidos de la enseñanza y la concreción con estrategias adecuadas para que el alumno logre un aprendizaje significativo.

La teoría de la elaboración tiene en cuenta los siguientes aspectos: organización y secuenciación de la enseñanza, forma de guiar el aprendizaje, motivación de los alumnos, forma de ayudar a los alumnos a autoevaluarse, evaluación de los aprendizajes y corrección de las estrategias utilizadas según los resultados observados. Deben secuenciarse los contenidos apuntando al logro de diferentes niveles de procesamiento cognitivo, tanto de hechos como de conceptos, principios y procedimientos. Se comienza dando una visión general del tema a tratar aunque en este primer momento no puedan apreciarse detalles. Luego, para obtener una información más minuciosa, se centra la atención en un aspecto o parte de la organización general anteriormente presentada, volviendo periódicamente al plano general para su ampliación. Este proceso se repite las veces que sea necesario.

Los autores concluyen su trabajo señalando que el diseño curricular ha significado para ellos una labor intelectual creadora, con una profundización de los conocimientos derivados de la investigación educativa y ha posibilitado realizar una acción de transferencia de todo este bagaje enriquecedor al aula. El diseño que han realizado tiene una coherencia en su estructura tal que permite que el alumno asimile gradualmente a través de conceptos, procedimientos y principios. Sin embargo, parece subsistir, como duda, si realmente todos los aprendizajes han sido significativos. La estructura de la unidad les ha dado resultados positivos al evaluar el aprendizaje con la forma tradicional, aunque en menor grado cuando se evalúa con nuevas técnicas.

A pesar de que Pérez Gómez (1989) indica que este diseño curricular basado en la teoría de la elaboración condiciona los métodos de enseñanza siendo para él la más apropiada la exposición verbal, los profesores de esta experiencia han aplicado sin problemas otras

metodologías con participación activa de los alumnos en estrategias motivadoras y contributivas. Buscaron y encontraron que no predominaran los contenidos sobre los procesos.

I.4 CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN ELECTROMAGNETISMO E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA.

La escasa efectividad de una enseñanza de las ciencias incapaz de lograr la comprensión de los conceptos reiteradamente enseñados no es sólo explicable por una falta de información del alumno como consecuencia de un estudio insuficiente, ya que esos errores se presentan incluso en alumnos que podemos considerar brillantes desde un punto de vista académico (Peters, 1982).

Tampoco las respuestas erróneas de los alumnos se producen por una falta de atención a la cuestión que se les propone, ni porque contestan a la misma sin información suficiente (McClelland, 1984; Preece, 1984) ya que en muchos casos existe coincidencia en las respuestas dadas por los estudiantes de muy diferentes lugares, así como la persistencia de las mismas a pesar de los años de escolaridad.

Los hechos anteriores y los resultados de numerosas investigaciones realizadas en las décadas pasadas acerca de cómo los estudiantes adquieren conocimientos ponen de manifiesto que, antes de iniciar un aprendizaje formal de la Ciencia, ya poseen unas ideas sobre las leyes que rigen el mundo que les rodea que van a condicionar su aprendizaje.

Por ello existe una necesidad, antes de planificar la enseñanza, por conocer cuáles son las ideas previas de los alumnos sobre el tema que se pretende desarrollar, cómo utilizan las mismas para interpretar fenómenos diferentes, de dónde proceden, cuáles son sus características, cómo evolucionan, etc.

La abundancia y dispersión de los trabajos de esta línea de investigación hace muy difícil realizar un análisis riguroso y sintetizar sus aportaciones. La dificultad para efectuar un estudio "bibliográfico" de este nuevo enfoque comienza incluso con su propia denominación. Giordan y Verchi (1987) afirman haber encontrado hasta veintiocho denominaciones distintas para referirse a las ideas de los alumnos sobre los hechos científicos. Así aparecen en la literatura términos como "preconcepto" (Ausubel, 1978), "teorías ingenuas" (Caramazza y otros, 1981), "concepciones erróneas" (Helm y Novak, 1983), "ciencia de los niños" (Osborne y Freyberg, 1985), "concepciones espontáneas" (Pozo y Carretero, 1987), "teorías-in acción" o "esquemas conceptuales" (Driver y Erickson, 1983), "concepciones alternativas" (Gilbert y Swift, 1985), etc. Aunque estos conceptos pueden ser intercambiables, introducen matices

diferentes reflejados en las distintas formas de entender la naturaleza y función de las ideas de los alumnos sobre la ciencia.

Quizás el aspecto más preocupante, señalado por la mayoría de las investigaciones, es la gran *resistencia al cambio* que presentan las estructuras mentales construidas por los estudiantes como consecuencia de sus numerosas interacciones con su medio ambiental (experiencial, lingüístico,..). La dificultad para cambiar estas ideas no es la misma en todos los temas científicos, siendo mayor la persistencia en aquellos que están relacionados con hechos y fenómenos que los alumnos observan con frecuencia, es decir que son más cotidianos, como la caída de los cuerpos, las fuerzas que hay que hacer para que estos se muevan, etc. También ofrecen resistencia al cambio las ideas que están influidas por el uso diferente que del lenguaje se hace en la vida cotidiana y en la Ciencia, por ejemplo el significado de palabras como trabajo y energía, o de frases como "esta bombilla gasta mucha electricidad", etc.

Los años de escolarización, en lugar de ayudar a modificar las ideas equivocadas, en muchos casos contribuyen a su afianzamiento. Una buena parte de los profesores desconocen las concepciones de sus alumnos, e incluso a veces -aunque no son conscientes- mantienen ideas análogas a las de ellos. Por tanto no pueden plantear actividades y estrategias adecuadas para superarlas. De la misma manera, los métodos de evaluación no analizan la existencia de "preconceptos" ni "esquemas conceptuales" ni el grado en que éstos se han modificado, como lo demuestra que los estudiantes que aprueban con buenas notas mantienen las mismas ideas que sus compañeros.

En consecuencia, los alumnos cuando llegan a la Universidad tienen una estructura cognitiva que han formado: a) al margen de la enseñanza formal al enfrentarse con una serie de experiencias físicas (necesidad humana de encontrar una solución a las preguntas de su entorno), de relaciones sociales y afectivas (lenguaje cotidiano, influencia de la cultura popular, ..), y b) en la enseñanza formal recibida en las Escuelas e Institutos a lo largo de su vida académica.

Dada la importancia que para la planificación del currículum tiene el conocimiento de las ideas previas, a continuación repasamos los principales estudios realizados sobre concepciones erróneas en electromagnetismo, las dificultades que para un aprendizaje

significativo presentan algunos conceptos implicados en este tema y las consecuencias que para la enseñanza tienen los resultados obtenidos en las investigaciones más relevantes.

I.4.1. INTERPRETACIÓN DE FENÓMENOS ELECTROSTÁTICOS

1) Ideas sobre el concepto de carga eléctrica e interpretación de fenómenos triboeléctricos

Pese a que la instrucción formal recibida por los estudiantes antes de llegar a la Universidad parte de los conceptos de carga eléctrica y del culombio como unidad fundamental más importante, aquéllos utilizan muy poco estas nociones cuando se les pregunta que expliquen fenómenos eléctricos en donde están implicados. Mayoritariamente utilizan los conceptos de energía y corriente (Colombo y Gudmani, 1990).

La mayoría de los alumnos asumen la naturaleza eléctrica de la materia aunque existe un porcentaje minoritario y constante a lo largo de la instrucción que aboga por la "creación de cargas" en los fenómenos triboeléctricos. Pero a pesar de que saben que las cargas son las causantes de los fenómenos eléctricos a la hora de interpretarlos no lo hacen correctamente. Parece que no tienen asimilado en su esquema conceptual que toda la materia es de naturaleza eléctrica (también los materiales dieléctricos) e interpretan algunos fenómenos eléctricos dando explicaciones pseudo-mágicas, donde el cuerpo cargado influye sobre todo lo que está a su alrededor. Esta influencia se ejerce mediante un fenómeno de conducción de carga o de transmisión del "fluido eléctrico" (Guisasola y Furio, 1994). Este carácter sustancialista asignado a las cargas se manifiesta al interpretar la repulsión y atracción eléctricas.

Mayoritariamente se considera a la carga eléctrica como una sustancia ("fluido") cuya masa se conserva y que fluye con facilidad desde donde hay más cantidad a donde hay menos. Esta concepción de carga no necesita un análisis energético del movimiento de cargas, con lo cual el concepto de potencial eléctrico no es preciso y por consiguiente apenas se utiliza.

Mediante esta concepción sobre la naturaleza eléctrica de la materia basada en un modelo hidrostático de carga se explican muchos fenómenos de frotamiento, contacto, etc. Sin embargo este modelo tiene muchos problemas para interpretar fenómenos de electricidad por inducción y, en particular aquellas situaciones donde la explicación requiera considerar el papel desempeñado por el medio.

Las concepciones de los alumnos sobre la carga y la interpretación de los fenómenos eléctricos son parecidos a los modelos mecanicistas que proponían los científicos de la primera mitad del siglo XVIII, como la de B. Franklin (1706-1790) y William Watson (1715-1787).

B. Franklin consideraba que todos los cuerpos contienen una cantidad de fluido en su estado neutro. Definía este fluido o "sustancia eléctrica" como un conjunto de partículas que se repelían mutuamente y que podían entrar en la materia orgánica. Watson por su parte consideraba al fluido eléctrico una cierta penetrabilidad:

"El éter eléctrico, atmósfera que rodea a los cuerpos electrizados y se extienden hasta una distancia considerable. El éter eléctrico mucho más sutil que el aire ordinario.... atraviesa rápidamente los metales..... y no penetra en las resinas sino hasta una cierta profundidad ... pone los cuerpos ligeros en movimiento la corriente de éter eléctrico arrastra consigo todos los cuerpos ligeros que encuentra a su paso".

2) Noción intuitiva de potencial eléctrico.

Los estudiantes no tienen una significación clara del concepto de potencial eléctrico; no diferencian o no discriminan este concepto y los de fuerza, cantidad de cargas o de corriente eléctrica. El contexto influye en este tipo de respuestas, apareciendo una mayor diversidad cuando se solicitan interpretaciones de fenómenos electrocinéticos frente a los electrostáticos (Guisasola, 1996).

Así, los pocos alumnos que tienen una vaga concepción del concepto de potencial en un contexto electrostático, lo relacionan con el concepto de fuerza o de potencia productora del movimiento de cargas. A veces señalan que el potencial representa "la capacidad de transmitir energía" (Furió y Guisasola, 1993).

La causa del movimiento de las cargas en un contexto electrostático es atribuida mayoritariamente a la nivelación o neutralización de las cargas en los cuerpos cargados que se ponen en contacto. Sin embargo en el electrocinético explican que el movimiento es "natural" y sólo depende de la "cantidad de cargas" o de "corriente" existente en el generador, concebido como un contenedor de las mismas.

Furió y Guisasola (1993, 1994) han estudiado las dificultades del aprendizaje de los conceptos de carga y potencial eléctrico recurriendo a la Historia de la Ciencia (Gagliari, 1988). Concluyen señalando que las ideas de los alumnos que encuestaron y entrevistaron sobre los conceptos anteriores, sobre fenómenos de atracción y repulsión eléctrica, y sobre movimiento de cargas no pueden ser clasificadas como pertenecientes a los modelos tomados como referentes históricos (Gilbert, Franklin, Coulomb y Faraday). Sus respuestas son construcciones tentativas puntuales a las cuestiones planteadas y muestran una inestabilidad conceptual y una falta de coherencia global. No obstante, sí existen algunas similitudes puntuales sobre el concepto sustancialista de carga y la causa de su movimiento entre las ideas expresadas por los estudiantes y los modelos de Gilbert y Franklin. Estas ideas pueden actuar como barreras epistemológicas en la introducción del concepto de potencial eléctrico en una teoría elemental del campo eléctrico.

En consecuencia, hay que eliminar cualquier intento de "encorsetamiento" de los pensamientos de los estudiantes en los modelos históricos dado que éstos fueron producidos en contextos culturales y situaciones completamente diferentes (Saltiel y Viennot, 1985) y sería un grave error hacer un paralelismo de forma mecánica.

3) Concepciones sobre Campo Eléctrico.

Existe una confusión generalizada entre los conceptos de intensidad de campo eléctrico y fuerza eléctrica, incluso en situaciones familiares dentro de un contexto escolar. Aunque las interacciones entre partículas se pueden explicar mediante fuerzas, campos, energías, potenciales o intercambio de partículas virtuales, el alumno hace uso prioritario del concepto más familiar de fuerza.

La mayoría de los estudiantes (incluidos los universitarios) no utilizan de forma significativa el concepto de campo eléctrico para analizar situaciones escolares de electrostática y menos aún de electrocinética. Por ello, cuando se les presenta situaciones de conflicto cognitivo de fácil solución aplicando el concepto de campo, pero que no pueden ser resueltas o se resuelven con dificultad mediante el modelo culombiano de carga el fracaso es enorme.

Los alumnos explicitan una concepción de campo de fuerza que influye sobre los cuerpos que hay en la zona. Pero no tienen un concepto de campo coherente con el marco teórico. Se puede decir que no hay una concepción de campo eléctrico anterior a la instrucción

y que después prevalece una concepción memorística de dicho concepto (Guisasola y Furió, 1991). Ello es debido a que muchos de los libros de texto, y por tanto de profesores (Yager y Penich, 1986) se conforman con dar una definición operativa del concepto de campo, sin realizar discusiones sobre el significado físico de los conceptos implicados en este tema (campo, energía potencial, potencial,...). Así mismo no muestran la ruptura que el modelo de campo supone con la idea newtoniana de acción a distancia ni las ventajas que supuso su introducción (Solves y Martín, 1991), ya que permitió integrar diferentes campos de la física y ampliar las perspectivas de desarrollo científico (radiaciones electromagnéticas, desarrollo de la teoría de la relatividad, cuantificación de los campos para poder explicar los efectos fotoeléctricos y Compton, dualidad onda-corpúsculo, etc. En definitiva su contribución al surgimiento de la Física Moderna del siglo XX).

Las implicaciones técnicas y sociales de la teoría electromagnética no son conocidas por los alumnos, a pesar de que la sociedad en la que viven se fundamenta en gran medida en ella, lo que proporciona una imagen de la Física alejada de la realidad y por tanto, se produce una actitud desfavorable hacia su aprendizaje. La desconexión entre la ciencia y sus aplicaciones prácticas es evidente, los aspectos técnicos y sociales de la ciencia no se suelen tratar (Solves y Vilches, 1989).

I.4.2. INTERPRETACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

1) La pila como suministradora de cargas

En relación con el funcionamiento de un circuito formado por una pila y una bombilla, la idea de muchos alumnos que acceden a la Universidad consiste en considerar a la pila como una fuente suministradora de cargas y a la bombilla como el elemento consumidor de aquello que proporciona la pila (Tiberghien y Delacôte, 1976; Rhöneck, 1981). Normalmente esta se considera como el agente activo, o *donante*, del proceso, mientras que el otro elemento del circuito es el *receptor*, aunque a veces también se considera a este último como el agente activo, como el *tomador*, que saca lo que *necesita* de la pila.

El concepto que más se conoce es la intensidad de corriente eléctrica, quizás por ser el más utilizado en la enseñanza elemental y secundaria. Es a este concepto al que le asignan las propiedades de almacenabilidad y fungibilidad. Un cuarenta por ciento de alumnos

universitarios que se preparaban para ser profesores de Física estaba de acuerdo con las siguientes proposiciones (Maichle, 1981):

En toda pila nueva se almacena una cierta cantidad de corriente eléctrica..... (y) la corriente contenida en una pila será consumida por los equipos eléctricos en el transcurso del tiempo.

2) Efecto de los cables sobre la corriente

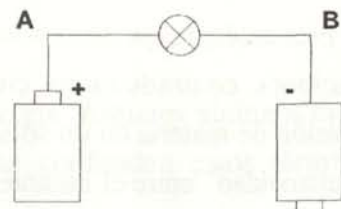
Existen dos creencias diferentes sobre el efecto de los cables sobre la corriente; una consiste en considerar que los cables simplemente conducen la corriente a las bombillas y la otra que los cables consumen la corriente.

Las personas que creen que los cables consumen la corriente tienden a generar la idea equivocada que cuánto más lejos esté la bombilla del terminal de la pila, menos lucirá esta. Para circuitos en paralelo, la aplicación de esta regla conlleva a predicciones diferentes para el brillo de dos bombillas en paralelo. Esto es, si los cables consumen corriente, entonces la bombilla más alejada de la pila lucirá menos que la bombilla más cercana. Por otro lado, si los cables simplemente conducen corriente hacia las bombillas, entonces todas las que estén en paralelo tendrán el mismo brillo (Heller y Finley, 1995).

3) Necesidad de un circuito cerrado para que circule corriente

Para que exista corriente eléctrica es necesario una fuente de alimentación que proporcione diferencia de potencial al circuito y que este esté cerrado. Aunque aparentemente los alumnos adquieren con facilidad esta idea de la necesidad de que el circuito esté cerrado para que exista corriente eléctrica, no es así.

Benseghir, A. y Closset, J.L. (1996) al preguntar a los alumnos si se enciende la bombilla en montajes como el de la figura comprobó que una buena parte de los alumnos respondía afirmativamente. Sus contestaciones eran del tipo:



"Sí, porque los polos tienen cargas opuestas".

"Sí, aunque el circuito está abierto la corriente no puede circular; pero como la bombilla está conectada a los polos negativo y positivo (dos bornes distintos) estos polos se encuentran en diferente estado".

"Sí, en el polo A existen cargas positivas y en el B negativas; esto crea una corriente (los electrones son atraídos por las cargas positivas) y por lo tanto crea una diferencia de potencial".

En su estudio Benseghir, A. y Closset, J.L muestran que a veces el conocimiento de la electrostática, previamente adquirido, es el responsable de que los alumnos consideren como irrelevante para que exista corriente eléctrica que el circuito esté abierto o cerrado. El pensamiento intuitivo, poco reflexivo, hace que se centren en los polos de las baterías, considerándolos cada uno por sí solo. Consideran a las cargas como los elementos esenciales para el análisis del circuito, las aplican asociadas a los polos y creen que circulan, proporcionando la corriente eléctrica, cuando existen polos con distinto signo o con potencial diferente.

4) *La metáfora del fluido en movimiento*

Desde los primeros contactos con la electrocinética el alumno sitúa una representación de base que Dupin y Johsua (1986) llaman *la metáfora del fluido en movimiento*.

La corriente eléctrica se considera como una especie de fluido encerrado en "tubos". Pero la naturaleza de este fluido es ambigua, mixta. Descrito desde un punto de vista del físico este fluido llena un aspecto *material* (corriente) y un aspecto *energético* íntimamente mezclados en el pensamiento del alumno. Normalmente los alumnos consideran que los conductores ("tubos") en el circuito están vacíos inicialmente de la *sustancia que fluye a través de ellos* (Tiberghien, 1983).

Esta analogía que se usa incluso para explicar algunos fenómenos eléctricos lleva a explicaciones contradictorias cuando se trata de explicar, por ejemplo, que no hay acumulación de materia en un sólido que conduce corriente y sí la hay en un electrolito. O la "simultaneidad" entre el instante en que se enciende un foco luminoso y el instante en que

se conecta la fuente, que puede estar muy alejada. Se llega a aceptar que el "fluido" viaja a la velocidad de la luz (Colombo y Fontdevilla, 1990).

El alumno, antes de poseer el modelo canónico, tenderá a resolver problemas de electrocinética haciendo funcionar esta metáfora y con frecuencia lo logrará. Ello constituye el cuadro más general que utiliza la casi totalidad de los alumnos (de todos los niveles), y sostiene diversas representaciones, desde las más simples a las más elaboradas.

Los aspectos *energéticos* y *materiales* de la metáfora del fluido se diferencian, pero difícilmente. En particular, la unicidad de la corriente en el circuito exterior a la pila, puede ser fuertemente combinada con una representación de "consumo de corriente" en el interior de la pila.

5) Ideas sobre la intensidad de corriente

Los alumnos utilizan en numerosas ocasiones otros términos para referirse a la intensidad de corriente; por ejemplo: electricidad, cargas, corriente, energía. Este término es a menudo confuso para los estudiantes. La mayoría admite su aspecto dinámico, utilizando palabras como *entrar*, *salir*, *circular*, etc. No comprenden que los que circulan son los electrones que se encuentran en los conductores, ya que señalan que existe una fuente de corriente, la pila, que suministra las cargas o en palabras de los alumnos, la corriente. Coherente con esta manera de entender el papel de la pila, una de las ideas más frecuentes entre los estudiantes es la siguiente: *la corriente eléctrica que suministra la pila se gasta a lo largo del circuito*, es decir, consideran que la intensidad va disminuyendo a medida que atraviesa los distintos elementos del circuito.

Esta idea intuitiva de que la corriente se gasta se explica porque los alumnos:

- a) No tienen claro que la corriente eléctrica es un flujo de cargas eléctricas y que éstas se conservan. No han asimilado el principio de conservación de la carga (Osborne, 1980; Tiberghien, 1988).
- b) Identifican la corriente eléctrica como un flujo de energía. Algunos alumnos creen que la corriente es energía, a veces debido a que confunden estos términos (Rhoneck, 1983; Tiberghien y Delacote, 1976).

c) Están influenciados por el lenguaje cotidiano. Desde la infancia, frecuentemente han oído que los aparatos eléctricos gastan mucha corriente y posiblemente trasladan esta idea del lenguaje popular al análisis de los circuitos (Hierrezuelo y Montero, 1992).

Resumiendo, la idea de que la corriente *almacenada* en la pila se *gasta* está fuertemente arraigada en los estudiantes antes de recibir la enseñanza y, lo que es más preocupante, persiste después de la misma. Casi la mitad de los alumnos universitarios están de acuerdo con la frase *en una pila nueva hay almacenada una cierta cantidad de corriente eléctrica que se consumirá en los aparatos eléctricos que se conecten al circuito con el paso del tiempo* (Shipstone, 1985).

6) *Los modelos conceptuales sobre la corriente eléctrica que circula por un circuito*

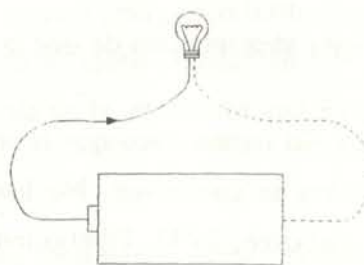
Analizando y sistematizando las explicaciones de los alumnos cuando interpretan un circuito sencillo, Shipstone, D. (1985) ha propuesto cinco modelos básicos. Los alumnos utilizan uno u otro según las circunstancias o el tipo de actividad que se les plantee.

Estos modelos, constatados por nosotros (Meneses y García, 1990), son los siguientes:

a) *El modelo unipolar.*

Este modelo considera que no hay corriente en el cable de retorno. Esencialmente sólo se considera activo un terminal de la pila.

Algunos alumnos piensan que sólo sería suficiente un cable, mientras que otros consideran necesario el cable de retorno, aunque se trataría de un enlace pasivo ("cable de seguridad", "actúa a modo de catalizador para que se encienda la bombilla").



El uso del modelo unipolar es muy persistente en los alumnos de niveles elementales.

Así, cuando pedimos a estos alumnos que enciendan una bombilla utilizando como material una pila cilíndrica y unos cables, se observa que muchos conectan la bombilla a un solo borne (fig. 1), y otros utilizan el cable para unir los dos bornes entre sí y luego conectan la bombilla a uno de los bornes (fig. 2). Cuando la pila es de las llamadas de "petaca", el porcentaje de alumnos que es capaz de hacer brillar la bombilla es más alto, aunque algunos se obstinan en situar la bombilla sobre uno de los polos y esperar a que se encienda (Shipstone, D. 1988).



Fig 1

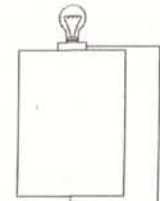
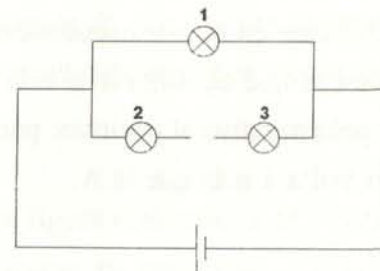


Fig 2

Al final de la enseñanza secundaria, cuando se plantean cuestiones más complejas, la idea de que es necesaria una sola conexión entre la pila y la bombilla subsiste en un alto porcentaje.

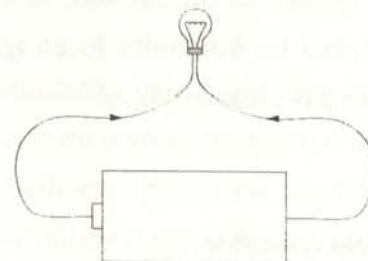
Closset, J.L. (1983) preguntó a sus alumnos sobre las bombillas que se encenderían en el circuito de la figura. Encontró que sólo el 37% respondía correctamente. El resto afirmaba que las bombillas 2 y 3 se encienden y apagan sucesivamente, o que la 2 se enciende y la 3 no.



b) El modelo de corrientes antagónicas o de choque (Osborne, 1983) de corrientes.

La corriente fluye hasta la bombilla por sus dos bornes, procedente de ambos terminales de la pila.

La pila es vista como un almacén de corriente y no se tiene en cuenta la conservación de la carga. Arnold y Millar (1987) identificaron dos versiones diferentes del modelo. En la primera, es el choque de las dos corrientes lo que hace encender la luz. En la otra, cada una de las corrientes por separado puede producir el brillo de la bombilla. En un circuito con dos bombillas en serie, éstas tienen el mismo brillo porque cada una recibe la misma cantidad de corriente.

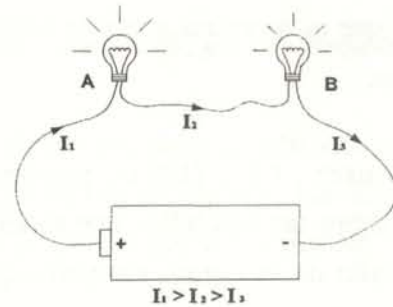


c) *El modelo de atenuación.*

La corriente fluye por el circuito en una sola dirección. Sale de la pila por un extremo y parte de la corriente es *consumida* en la lámpara, de manera que llega menos a la pila.

Cuando la corriente pasa a través de varios componentes iguales en serie, cada elemento sucesivo recibe menos. En consecuencia las bombillas más lejanas brillarán menos. Este modelo incumple también el principio básico de la conservación de la carga.

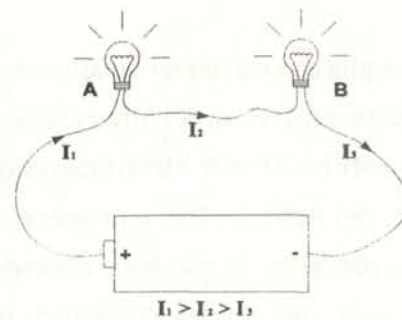
En cuanto al sentido de la corriente, la mayoría de los alumnos considera que circula del polo positivo al negativo, y predicen, en el circuito de la figura, que la bombilla A brilla más que la B. Aunque en menor proporción también existen alumnos que consideran que la corriente circula del polo negativo al positivo; para ellos la bombilla B brillará más que la A.



d) *El modelo de participación o reparto.*

En este modelo se considera que la corriente se gasta sin embargo se piensa que los efectos de un elemento cualquiera en un circuito (por ej., una bombilla) no depende del lugar que ocupa en el circuito, sino de sus características.

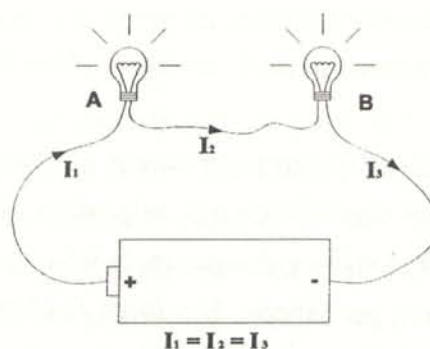
Así, los alumnos piensan que si hay dos bombillas iguales en un circuito, la corriente se consume, pero las bombillas lucen igual porque son de análogas características.



e) *El modelo científico.*

Además de los modelos anteriores basados en el punto de vista del tipo fuente-consumidor, también se encuentran alumnos que aceptan el modelo científico.

A medida que los estudiantes van recibiendo la instrucción cada vez más consideran que la corriente va en un solo sentido y se conserva. Pero sólo la mitad de los alumnos que ingresan en la universidad interpretan correctamente los circuitos elementales.

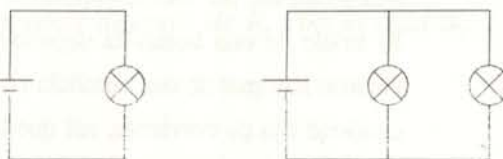


7) La pila como generador de corriente constante.

Al lado de la representación de *consumo de corriente* la representación de la pila como *generador de corriente constante* parece ser la otra representación que hace pensar que los alumnos razonan principalmente *en corriente* (Dupin y Johsua, 1986).

Esta idea que tienen los alumnos sobre la constancia de la corriente entregada por la pila a un circuito tiene consecuencias nefastas en el estudio de circuitos eléctricos, y en especial en los circuitos derivados.

Así, por ejemplo, al comparar los circuitos de la figura (Sebastiá, J.M. 1993), una amplia mayoría de sujetos en todos los niveles consideran que las bombillas del circuito en derivación brillarán menos que la bombilla del circuito simple. Incluso, piensan lo mismo, conociendo la ley de Ohm y admitiendo la misma diferencia de potencial entre los bornes de las bombilla. Para algunos alumnos no les parece contradictorio admitir que la pila suministra la misma tensión e intensidad cualquiera que sea el circuito.



La metáfora inicial de *flujo en movimiento* evoluciona bajo la influencia de la enseñanza. El aspecto *material* de la corriente se convierte en dominante sobre el aspecto energético. La noción de conservación de la corriente, difícilmente adquirida, se generaliza indebidamente y se percibe al generador entregando o suministrando una corriente constante cualquiera que sea el circuito. Para los alumnos, la intensidad se convierte en la característica principal de la pila, definida por la corriente que ella *suministra*, la cual es considerada como una magnitud invariante y fundamental.

8) Flujo secuencial de la corriente eléctrica

Linn (1986) ha sugerido que el conocimiento previo de los estudiantes en cualquier materia del dominio de una asignatura no incluye solamente conceptos intuitivos, sino también ideas sobre qué aspectos de los conceptos intuitivos son centrales a su pensamiento y cuáles son periféricos. Las *ideas fundamentales* son aquellas ideas que persisten en las creencias de los principiantes, incluso cuando está disponible la evidencia que contradice estas ideas. Las *ideas periféricas* son las ideas que los principiantes cambian de buena gana en apoyo de las ideas fundamentales.

Heller y Finley (1992), analizando las respuestas de profesores de enseñanza media y elemental a trece problemas sobre circuitos formados por una pila, cables y bombillas asociadas en serie y/o paralelo, encontraron que la mayor parte de los profesores de los niveles mencionados comparten un conjunto común de proposiciones fuertemente consolidadas que forman un coherente, pero incorrecto y contradictorio modelo secuencial del flujo de corriente. Las ideas fundamentales o el núcleo central de las creencias de los sujetos se basa en lo siguiente:

La pila es la fuente de la corriente. Esta libera una cantidad fija de corriente (energía) que circula alrededor del circuito. Esta cantidad fija de corriente no se modifica hasta que alcanza un componente del circuito que consume la corriente. La corriente entonces se consume sucesivamente por cada componente del circuito. Las bombillas agotan o consumen la corriente. El brillo de una bombilla depende de la cantidad de corriente que fluye hacia la bombilla. Cuando hay más de una bombilla en una ramificación del circuito, cada bombilla consume una cantidad fija de corriente, así que la bombilla recibe menos corriente.

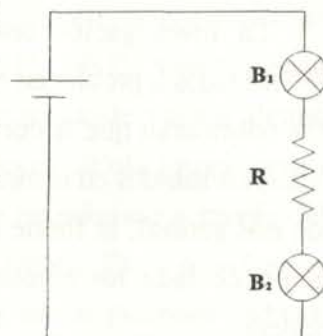
A pesar de que los sujetos poseen un núcleo común de ideas fundamentales, la variabilidad en las predicciones sobre los circuitos es sumamente amplia. Esta variabilidad es debida a las diferencias y contradicciones internas entre las proposiciones periféricas y adicionales que poseen y sobre la carencia de conocimiento condicional. Los profesores tienen individualmente conceptos diferentes sobre el sentido del flujo de la corriente, sobre el efecto de los cables sobre la corriente y sobre lo que sucede a la corriente en un empalme.

9) Un modelo para interpretar circuitos más complejos: el razonamiento secuencial

Los alumnos utilizan el denominado *razonamiento secuencial* para la corriente cuando se modifica alguno de los elementos existentes en el circuito (Riley y otros, 1981; Closset, 1983). Los estudiantes manifiestan una fuerte tendencia a adoptar un razonamiento muy localizado, ignorando el efecto que una variación en cualquier parte de un circuito tiene sobre el conjunto del mismo. Consideran que una variación producida en un punto del circuito sólo afecta a los elementos que se encuentran "detrás" de la perturbación.

Shipstone, D.M. (1984, 1985) preguntó a los alumnos sobre cómo influía un aumento de la resistencia en el brillo de las bombillas de la figura.

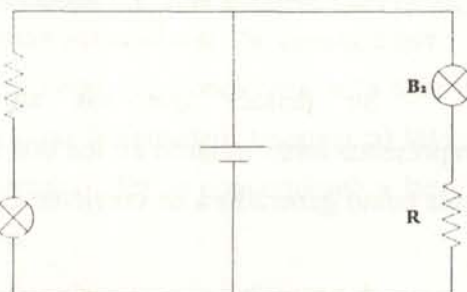
Los estudiantes de los últimos curso de secundaria y universitarios señalaron que la pila suministra una corriente cuya intensidad no es alterada por las modificaciones posteriores del circuito. Dicho de otra forma: una resistencia actúa sobre la corriente eléctrica, pero ésta solamente se modifica al salir de la resistencia.



El razonamiento se hace siguiendo la corriente, sin considerar jamás el circuito en su conjunto ni el efecto de un cambio en la situación del final sobre la situación del principio. Respuesta típica a la cuestión planteada es: *al aumentar R, disminuye la corriente después de R, con lo cual B₁ luce igual y B₂ menos.*

Existe una cierta asociación entre el uso del modelo secuencial y la idea de no conservación de la corriente. Cohen, R. y otros (1983) comprobaron que aquellos alumnos que usaban un modelo secuencial en sus respuestas tampoco conservaban la corriente en las explicaciones correspondientes.

Sebastiá (1993) preguntó a alumnos universitarios sobre el brillo de las dos bombillas iguales del circuito de la figura. Sólo el 29,8% contestaron correctamente que ambas bombillas lucían igual. Los otros dos tercios (68,1%) respondieron que "B₂ brilla



más que B_1 " entendiendo que al estar colocada la bombilla B_1 después de la resistencia la llegaría menos intensidad de corriente ya que en la resistencia se consume parte de la misma.

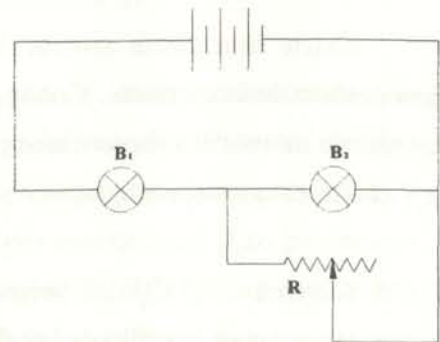
Es muy preocupante el hecho de que el modelo secuencial para la corriente se desarrolle con la edad, es decir con el estudio de circuitos cada vez más complejos. Además, existen evidencias (Shipstone, 1984 y 1985) de que son los alumnos más capaces los que desarrollan el modelo secuencial más rápidamente. Este hecho quizás esté relacionado con nuestra incapacidad para enseñar el principio de conservación de la corriente.

10) La corriente en circuitos ramificados

La investigación realizada sobre las respuestas proporcionadas por estudiantes experimentados a problemas relativos a circuitos eléctricos pone de manifiesto casos en los que se consideran que la corriente que parte de la pila es constante, sin verse afectada por los cambios habidos en el circuito externo (Riley y otros, 1981; Cohen y otros, 1982) y, de modo más general, la fuerte tendencia a adoptar razonamientos locales sobre los circuitos, dejando de lado los efectos de la variación registrada en un punto sobre el circuito completo.

Por ejemplo, si en el circuito de la figura se les pide a los alumnos una predicción sobre lo que ocurre con el brillo de las lámparas al aumentar la resistencia del reostato, muy pocos lo hacen correctamente. La respuesta mayoritaria es del tipo:

La corriente viene por B_1 y al llegar al nudo se bifurca por las dos ramas; al aumentar R circulará menos corriente por su rama y por tanto más por la rama de B_2 , con lo cual brillará más. La bombilla B_1 brillará igual.



Se deduce que los alumnos utilizan las representaciones tratadas en los dos puntos anteriores: la pila como generadora de corriente constante y el razonamiento secuencial.

A veces dan respuestas correctas utilizando sin embargo un razonamiento local:

Si R aumenta entonces pasará más corriente por B_2 ya que la corriente irá por el camino más fácil. Consecuentemente, B_2 brillará más. Sin embargo, al aumentar R aumentará la resistencia total del circuito y como la intensidad de corriente será ahora menor, la bombilla B_1 lucirá menos.

Además de las erróneas concepciones que poseen los alumnos, para algunos investigadores, los pobres resultados que se obtienen cuando se plantean a los alumnos actividades como la anterior se deben a la dificultad general que tienen los estudiantes cuando deben tratar con funciones de más de una variable, lo que se hace especialmente complicado cuando tiene lugar un cambio simultáneo en más de una variable.

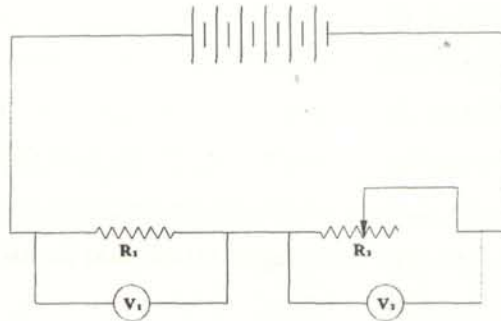
11) Ideas sobre diferencia de potencial

Muchos estudiantes son incapaces de distinguir claramente entre la intensidad de corriente y la diferencia de potencial (Maichle, U. 1981; Rhöneck, C. 1981). Von Rhöneck (1981), por ejemplo, encontró que muchos alumnos pronostican que no existe voltaje alguno a través de un sencillo circuito constituido por un elemento eléctrico (célula fotoeléctrica) y una bombilla cuando el circuito está abierto, y que el voltaje es máximo a través del elemento eléctrico (célula fotoeléctrica) cuando el interruptor se cierra. Estos pronósticos están en contradicción con lo que realmente se observa. Las investigaciones indican claramente que los alumnos usan más la intensidad de corriente que la diferencia de potencial en el análisis de circuitos eléctricos. Incluso si los alumnos son capaces de notar su existencia, la tensión se pone difícilmente en relación con las otras magnitudes físicas.

La tensión (o diferencia de potencial) aparece con connotaciones misteriosas (Duppín, J.J. y Johsua, S., 1996). No parece estar sólidamente asumida en la representaciones de los alumnos; queda como una noción aislada, no operacional, incluso cuando los sujetos emiten declaraciones concretas. Es el razonamiento con la corriente el que domina ampliamente, incluso cuando conduce a dar respuestas erróneas, como en cuestiones sobre circuitos en derivación o cuando se asocian generadores. Se constata que a nivel declarativo los sujetos dan respuestas correctas a temas que conciernen sólo a la tensión. Pero cuando esta noción se pone en relación con otras (intensidad, resistencia) las contestaciones son menos buenas, incluso a nivel declarativo. En lo concerniente a las cuestiones operacionales, se manifiesta el mismo bloqueo.

El uso preferente de la intensidad sobre la diferencia de potencial se pone de manifiesto, por ejemplo, si preguntamos a los alumnos sobre lo que ocurrirá en los voltímetros V_1 y V_2 de la figura al aumentar el valor de la resistencia R_2 .

Aunque puede responderse fácilmente argumentando que si R_2 aumenta, el voltaje entre sus extremos aumentará y por tanto la lectura de V_2 aumentará mientras que la de V_1 disminuirá. Shipstone, D.M. (1984) encontró que más del 75% de los alumnos no hacían referencia al voltaje o d.d.p. a



pesar de que todos habían estudiado en clase estos conceptos. Estos alumnos explicaban sus razonamientos en relación con la corriente, la electricidad, la energía o la fuerza, a pesar de que esta actividad se concernía exclusivamente a la distribución de voltajes en el circuito.

11.1 La diferencia de potencial en circuitos sencillos en serie

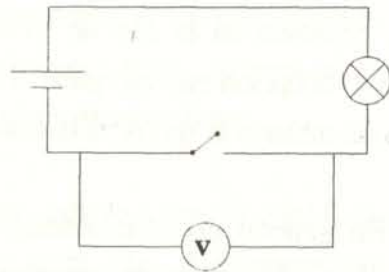
Shipstone y col. (1988) encontraron en una amplia encuesta realizada a través de varios países europeos que un gran porcentaje de alumnos con edades comprendidas entre 15 y 17 años no parecían comprender que el voltaje se comparte equitativamente entre elementos eléctricos idénticos en circuitos en serie.

Millar y King (1993) realizaron una prueba de diagnóstico con alumnos de quince años para que predijeran las medidas que iba a efectuar un voltímetro sobre circuitos eléctricos constituidos por dos resistencias en serie. Los resultados muestran que los estudiantes tenían dificultades particulares con las preguntas de tipo cualitativo. Pocos estudiantes perciben el circuito con dos resistencias en serie como un divisor de tensión y muchos de ellos manifiestan una forma de razonar "local" como contraposición al razonamiento "global", en la predicción del comportamiento del circuito. En el trabajo también se identifican metas de enseñanza que necesitan ser claramente definidas y fuertemente recalculadas antes de comenzar la instrucción.

11.2 La diferencia de potencial como consecuencia de la corriente eléctrica

Como se ha dicho anteriormente, los alumnos otorgan la máxima importancia a la corriente eléctrica; para ellos es el concepto primario, el principal, y quizás debido a ello consideran que la diferencia de potencial es consecuencia de la corriente y no su causa (Cohen y otros, 1982).

La resistencia que esta creencia opone a la enseñanza queda patente cuando se pide a los alumnos que se pronuncien sobre la medida que daría un voltímetro conectado entre los bornes del interruptor de la figura, primero cuando está abierto y después cuando está cerrado.

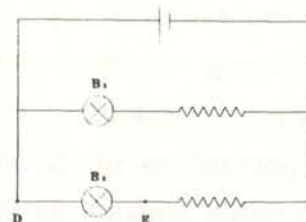


Von Rhöneck (1981) encontró que catorce de los dieciséis, antes de recibir enseñanza sobre la diferencia de potencial, dijeron que las lecturas serían 0V y 4,5V, respectivamente, cuando en realidad es al revés. Cuando se volvió a hacer la prueba, cuatro meses después de haber recibido enseñanza acerca de la diferencia de potencial, veintidós de veintiséis dieron las mismas respuestas.

12) Utilización errónea de la ley de Ohm

Muchos estudiantes de niveles superiores y universitarios utilizan la noción de diferencia de potencial en el marco de la relación $\Delta V = R \times I$, en el que la corriente es la magnitud independiente y la diferencia de potencial la magnitud dependiente de la intensidad. Así, por ejemplo, razonan del siguiente modo: cuando el interruptor está abierto en un circuito no circula corriente por él mismo y por tanto la d.d.p. que marca el voltímetro es ($\Delta V = 0 \times R = 0$) cero. Esta forma de utilizar la ley de Ohm genera la idea errónea de que existe diferencia de potencial cuando hay intensidad y no existe cuando el circuito está abierto.

Cohen (1982) y Tiberghien, A. (1988) encontraron esta mala interpretación de la ley de Ohm en estudiantes muy avanzados e incluso entre profesores cuando se les plantean que analicen circuitos algo más complejos. Así, cuando se pregunta



qué ocurrirá, al retirar la lámpara B_2 de su soporte, con la diferencia de potencial entre los puntos E y D en cada uno de los circuitos de la figura, la mayoría de los alumnos, el 45% para el circuito de la figura 1 y el 35% para el de la 2, indican que $V_D - V_E = 0$ ya que "...al quitar la lámpara... la intensidad es nula y por tanto la tensión es nula también...". Hay una aplicación mecánica de la ley de Ohm

en una situación en la que no es aplicable. Entre profesores de Física de enseñanza secundaria, la opción más escogida, el 47%, fue la que indicaba que la tensión en los bornes de B_2 no cambiaría al quitar la lámpara, que es incorrecta en ambos casos.

En general no se establecen relaciones correctas entre intensidad de corriente, resistencia y diferencia de potencial. Se suele identificar el voltaje de la pila con la intensidad de corriente ignorando que ésta no es independiente del circuito, ya que se relaciona al mismo tiempo con el voltaje y la resistencia de acuerdo con la ley de Ohm. Esta interpretación se caracteriza, en una taxonomía fundamentada en el modelo piagetiano, por Shayer y Adey (1973) como propia del pensamiento concreto avanzado.

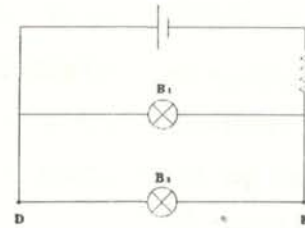


Fig. 2

I.5 FORMULACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

En los dos apartados anteriores se han revisado investigaciones realizadas durante los últimos diez años en relación con el problema que nos hemos planteado en esta investigación. En el apartado I.3 se han propuesto metodologías o estrategias didácticas tendentes a mejorar determinados aprendizajes en los alumnos, así como la influencia de diversas características de los mismos en la mayor o menor eficacia de metodologías más o menos activas. En el apartado I.4 se han establecido los resultados de muchos estudios que convergen en señalar las concepciones, ideas, modelos y errores conceptuales más frecuentes en relación con el tema objeto de estudio: el electromagnetismo.

A pesar de que en el apartado I.3 se han analizado más de veinte investigaciones, es difícil establecer conclusiones o puntos de encuentro entre ellas. La imprecisión del soporte teórico, la dificultad de diferenciar distintos campos del aprendizaje en los que se mide el rendimiento y la diversidad de las características de los alumnos que interaccionan con las metodologías planteadas hace que sea imposible encontrar dos estudios que podamos decir que analizan lo mismo.

No obstante, sí se puede decir que en casi todos los modelos didácticos con enfoque constructivista expuestos anteriormente se señala una mejora en el aprendizaje significativo de los conceptos tratados, al compararlos con la metodología tradicional. Entendida esta mejoría como evolución o modificación de las concepciones erróneas de los tópicos tratados hacia las aceptadas científicamente.

Con respecto a campos concretos del aprendizaje no hay unanimidad. Cuando se comparan metodologías didácticas con enfoque constructivista con metodologías tradicionales, parece que el rendimiento en el campo de la información (Gagné, 1985) que podríamos llamar "*Hechos/Conceptos/Principios*" es análogo. En la comprensión de los conceptos (en sentido amplio) produce mejores rendimientos las metodologías orientadas al cambio conceptual, mediante estrategias de conflicto cognitivo o no, que las de transmisión-recepción de conocimientos. Sobre el aprendizaje de "*habilidades científicas*" parece que producen mejores rendimientos las metodologías más activas, enfocadas al cambio conceptual y metodológico, que la tradicional. Y sobre el aprendizaje de "*estrategias cognitivas en la resolución de problemas*" no hay unanimidad en los estudios, quizás por las diferencias de los períodos instructivos.

Sobre la interacción de las metodologías didácticas constructivistas con las características de los alumnos sólo podemos señalar que promueve en mayor medida el aprendizaje significativo en aquellos alumnos que han cursado con anterioridad los temas de estudio. Asimismo parece que hay resultados contradictorios sobre la eficacia de estas metodologías constructivistas con el nivel de inteligencia y el estilo cognitivo.

En cuanto a los estudios que aparecen en el apartado I.4, muy pocos hacen referencia a cómo superar las ideas previas que señalan con tratamientos instructivos específicos. Sin embargo, conocer las concepciones más comunes del tema objeto de estudio es fundamental si se desea plantear una metodología con enfoque constructivista. En algunas investigaciones sí se presentan recomendaciones didácticas que tendremos en cuenta para la elaboración de las unidades didácticas de los temas que desarrollamos en este trabajo.

Por tanto, del análisis de los estudios presentados en los puntos anteriores podemos concluir que:

- Apenas se han ensayado metodologías didácticas con enfoque constructivista en la enseñanza universitaria.
- No se concreta con precisión los aprendizajes evaluados.
- Existen resultados contradictorios, debidos tal vez a la imprecisión del soporte teórico, al corto período de la instrucción, etc. que obligan a seguir investigando en este terreno tratando de superar algunos de estos inconvenientes.
- No está apenas estudiada las interacciones de las metodologías con las características de los estudiantes.
- No se dispone de tratamientos instruccionales específicos sobre cómo superar las abundantes concepciones o errores conceptuales existentes en el campo del electromagnetismo.

En consecuencia, los *objetivos* de nuestra investigación son los siguientes:

1. Diseñar un modelo didáctico constructivista para la enseñanza de la Física a nivel universitario que promueva el cambio conceptual y metodológico.
2. Comparar los rendimientos producidos por la metodología con enfoque constructivista que proponemos con los que produce la tradicional (expositivo habitual) en distintos campos de aprendizaje (conceptos, habilidades científicas, estrategias cognitivas en la resolución de problemas).
3. Averiguar si existen interacciones entre las dos metodologías y diferentes características de los alumnos universitarios: sexo, estudios previos, nivel de inteligencia, capacidad de razonamiento.
4. Comparar el nivel de cambio conceptual producido por las dos metodologías (superación de las concepciones erróneas previas, producción de aprendizajes significativos).

CAPÍTULO II: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO.

II.1 BREVE REVISIÓN HISTÓRICA DE INNOVACIONES CURRICULARES EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.

Hasta el inicio de la década de los sesenta la enseñanza de la Ciencia estaba centrada fundamentalmente en la transmisión verbal de contenidos ya elaborados, con una ausencia prácticamente total de trabajos experimentales. La insatisfacción con dicho modelo de enseñanza hizo que surgiese en Estados Unidos un movimiento de renovación pedagógica, en el que destacan hombres como Dewey (1938, 1945) y Bruner (1960), que pretendió promocionar los métodos de la Ciencia, frente a una enseñanza exclusivamente centrada en los contenidos. Surgió de esta forma lo que se ha denominado **modelo de aprendizaje por descubrimiento**.

Durante más de veinte años (década de los sesenta, setenta y mitad de los ochenta) el "método científico" y la "enseñanza/aprendizaje por descubrimiento" se convirtió en referencia obligada para cualquier intento de renovación de la enseñanza de las ciencias. Así nacieron muchos proyectos curriculares, principalmente en los países anglosajones, tales como los de Nuffield (Gran Bretaña) y PSSC (EE.UU.) sobre Física, el C.B.A. y el C.H.E.M. sobre Química, el B.S.C.S. sobre Biología, etc.

Tras la puesta en práctica y evaluación de estos proyectos, que conceden un papel primordial a la familiarización con "los procesos de la ciencia", se llegó a la conclusión que el aprendizaje de los alumnos era deficiente y que se transmitía una pobre imagen de la ciencia. Autores como Hodson (1985), Ausubel (1978) y otros coinciden en que la metodología científica que propugnaban estos proyectos estaba marcada por un inductivismo extremo, una falta de atención a los contenidos, una insistencia en la actividad autónoma de los alumnos, infravalorando la creatividad del trabajo científico e ignorando las aportaciones de la moderna epistemología.

Ausubel (1978, pp. 536), quizás de forma exagerada, llegó a afirmar lo siguiente:

"... como los términos 'laboratorio' y 'método científico' se volvieron sacrosantos en las preparatorias y en las universidades norteamericanas, los estudiantes obligados a remedar los

aspectos exteriormente más conspicuos, pero inherentemente triviales del método científico..... Siguiendo los manuales de laboratorio como si fueran libros de recetas, sin conocimientos adecuados de los principios metodológicos sustanciales necesarios, se aprende tanto el genuino método científico como poniéndose una bata de laboratorio y presentando en la televisión el anuncio de un producto farmacéutico.... En realidad, con este procedimiento aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico".

Por su parte Yager y Penick (1983), después de realizar una detenida evaluación de los cursos de ciencias impartidos en las escuelas de EE.UU. desde 1955 hasta 1980, llegan a afirmar que en la mayoría de los cursos no se incluye un sólo experimento en que los estudiantes puedan identificar y definir un problema, proponer diseños, interpretar resultados o tomar una decisión.

Sin embargo, a pesar de esta certera crítica, la orientación de aprendizaje por descubrimiento rompió con la estabilidad de la enseñanza mantenida durante muchas décadas e inició un proceso de transformación en el que aún estamos inmersos. Los objetivos perseguidos por esta orientación, aunque no alcanzados, de aproximar la actividad de los alumnos a las características del trabajo científico y, sobre todo, de generar actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje, aún están vigentes. Además, este fracaso, tuvo efectos positivos sobre la enseñanza de las ciencias dado que obligó a los detractores del aprendizaje por descubrimiento a reflexionar seriamente sobre la naturaleza de la Ciencia y de la actividad científica (Gil, 1993).

Esta crítica hacia el modelo de aprendizaje por descubrimiento hizo que autores como los ya citados reivindicaran propuestas más o menos explícitas de retornar al modelo de aprendizaje por recepción de conocimientos ya elaborados (enseñanza por transmisión). Así, señaló Hodson (1985), el principal objetivo de la enseñanza de las ciencias es que los alumnos aprendan las teorías vigentes y sepan aplicarlas a los fenómenos adecuados en las situaciones apropiadas. Se trata en definitiva de aprender ciencia, no de (re)hacerla.

Sin embargo, ello no supuso un simple retorno al modelo "tradicional" y consiguiente retroceso en la renovación de la enseñanza. Así David Ausubel (1963, 1968), en su teoría sobre el aprendizaje, formula el concepto de *aprendizaje significativo*: proceso a través del cuál una nueva información (un nuevo conocimiento) se relaciona de manera no arbitraria y sustantiva (no al pie de la letra) con la estructura cognitiva de la persona que aprende. Y Novak (1979), en su teoría humanística de educación, amplió el ámbito de

aplicación de este concepto diciendo que el aprendizaje significativo subyace a la *construcción* del conocimiento humano y lo hace integrando pensamientos, sentimientos y acciones, lo que conduce al engrandecimiento personal. Para él cualquier evento educativo es una acción para *cambiar significados* (pensar) y sentimientos entre el aprendiz y el profesor (Moreira, 1997).

Pero tampoco estas propuestas, incluso con las indudables mejoras introducidas por Ausubel y Novak en el modelo de aprendizaje por recepción significativa, han dado solución a los principales problemas del aprendizaje de las ciencias, como así lo han mostrado las investigaciones que muestran los graves errores conceptuales de los alumnos, y que derivaron en la importancia que tienen sus ideas y esquemas conceptuales previos, y su dificultad para modificarlos, en el aprendizaje de los conocimientos científicos (Driver, 1986). Según Gil (1993) esta ineffectividad se debe a que el modelo por recepción no tiene en cuenta las concepciones actuales acerca de cómo se construye los conocimientos científicos.

Ante esta situación, se impone de nuevo un replanteamiento en profundidad del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Este nuevo planteamiento pasa por hacer converger los hallazgos de la psicología del aprendizaje y las aportaciones de la filosofía e historia de las ciencias contemporáneas. Una nueva orientación, llamada *constructivista*, surge como resultado de las conclusiones procedentes de los campo psicológico, epistemológico y pedagógico. Pasamos a analizar esta nueva concepción del proceso de enseñanza/aprendizaje.

II.2 UNA CONCEPCIÓN CONSTRUCTIVISTA DEL PROCESO DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS.

El principal interés de las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos no reside, como expresa Gil (1986), en conocer todas las preconcepciones de los alumnos en los diferentes campos, aún cuando dicho conocimiento aparezca hoy como imprescindible para la planificación de la enseñanza. La fecundidad de esta línea de investigación está asociada, sobre todo, de un nuevo modelo de aprendizaje de las ciencias, surgido de trabajos y líneas inicialmente independientes pero convergentes en sus conclusiones, que podemos denominar modelo de orientación *constructivista*.

El constructivismo no es una nueva teoría sobre el aprendizaje o la enseñanza, que constituya una alternativa formal a teorías anteriores. El constructivismo es, desde nuestra perspectiva un movimiento educativo, una forma de concebir el proceso de enseñanza/aprendizaje que comparte unas premisas generales y que luego se diversifica en multitud de tendencias. Cada una de estas tendencias añade a los presupuestos básicos, su forma peculiar de incorporar elementos que provienen de teorías de aprendizaje diversas.

Este enfoque del aprendizaje tiene sus raíces en la epistemología de la tradición interpretativa (Weber, 1949), que se centra en la importancia del significado construido por las personas en sus intentos de dar sentido al mundo.

El constructivismo se basa en una serie de perspectivas filosóficas totalmente diferentes: la epistemología genética de Piaget (1971), ciertas teorías sobre el progreso científico (p.e. la de Kuhn (1971), Feyerabend (1987), Lakatos (1975), etc); también puede considerarse las teorías del constructivismo social y constructos personales de Kelly (1963), de los modelos mentales de Johnson-Laird (1983) y la teoría de adquisición del lenguaje de Vygotsky (1973).

Piaget, por ejemplo, considera que todo conocimiento es construido por el individuo cuando interacciona con el medio y trata de comprenderlo, y se adquiere no por internalización de un significado exterior ya dado, sino por la construcción desde dentro de representaciones o interpretaciones adecuadas. Reconoce la importancia de los procesos de "autorregulación" en la enseñanza individual.

Se puede resumir la epistemología constructivista diciendo que constituye una postura que entiende al conocimiento humano como un proceso de construcción cognitiva llevado a cabo por los individuos, colectiva e individualmente, que tratan de comprender el mundo que les rodea.

Desde el punto de vista de la educación, la principal conclusión que deriva de la epistemología constructivista es que el que aprende no es visto como un receptor pasivo de conocimientos, sino **como un constructor activo de los mismos**,

Estamos de acuerdo con Serrano (1990) cuando afirma que el presupuesto fundamental del movimiento constructivista se puede expresar, en términos generales, del siguiente modo:

Las personas aprenden de modo significativo cuando construyen de forma activa sus propios conocimientos.

De este presupuesto básico común se desprende una primera consecuencia para la instrucción, también aceptada por todo el movimiento constructivista: *tener en cuenta el estado de los conocimientos previos (la estructura conceptual) de una persona es clave para la instrucción, porque determina y/o condiciona los aprendizajes posteriores.*

La perspectiva cognitiva, desarrollada en los últimos veinticinco años, viene a decir que las personas construyen "modelos" o "esquemas" que utilizan para interpretar sus experiencias. Hacia este mismo punto de vista también convergen investigaciones diferentes, como la línea de resolución de problemas y el procesamiento de la información en campos complejos de conocimiento (Newel y Simon, 1972; Larkin y Rainard, 1984) y la investigación sobre concepciones alternativas en ciencias (Driver, 1983; Carrascosa, 1985; Giordan y Vecchi, 1988, Duit 1993).

Estos "modelos" o "esquemas" son vistos como entidades estructuradas (red de conceptos, nombres, sucesos relacionados entre sí de un modo específico). El conocimiento personal constituye una serie de estructuras, de forma que el aprendizaje implica el desarrollo y el cambio de estas estructuras. El problema principal de todos los investigadores está en dilucidar los procesos de cambio de las estructuras de conocimiento, es decir en averiguar cómo se construyen los conocimientos. Las diferencias entre los

componentes del movimiento constructivista se deben, en gran parte, a lo que cada grupo entiende por "estructura mental" del sujeto y como consecuencia, a los distintos modos de explicar cómo se construyen los conocimientos.

La teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1968) fue pionera en este campo. Sugirió que es más fácil que sea aceptada una nueva información, o un concepto, si puede ser integrada o subsumida en una estructura cognitiva existente. En el caso de que no existan subsumidores -conceptos o proposiciones claros, estables, diferenciados, específicamente relevantes- argumenta que deberán proporcionarse organizadores previos (materiales introductorios presentados antes del material de aprendizaje en sí, en un nivel más alto de abstracción, generalidad e inclusividad). Si por el contrario, pueden establecerse pocas uniones con el conocimiento previo y si la calidad de estas uniones no es alta, habrá menos posibilidades de que la nueva idea sea transferida a la memoria a largo plazo (término utilizado en la psicología del procesamiento de la información), y por lo tanto, de que sea útil y retenida.

Siguiendo a Driver (1986), las principales características de la visión constructivista se resume en las siguientes:

a) *Lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.*

Los resultados del aprendizaje dependen del contexto y de los conocimientos previos y motivaciones del alumno. A su vez las concepciones no sólo influyen en las interpretaciones que den los alumnos de los fenómenos, sino que determinan la dirección de su observación, focalizan su atención y orientan los experimentos que realizan.

b) *Encontrar sentido (significado, comprensión) supone establecer relaciones.*

Los conocimientos que pueden conservarse largo tiempo en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos muy estructurados e interrelacionados de múltiples formas. En lenguaje Kellyano, una forma posible de aprendizaje significativo se corresponde con la capacidad de dar sentido a eventos u objetos con constructos personales adecuados, de relacionarlos con ellos. Los fragmentos de información aislados son olvidados o resultan inaccesibles a la memoria.

c) *Quién aprende construye activamente significados.*

La construcción de significados implica un proceso activo de formulación de hipótesis o realización de ensayos, que son contrastados mediante experiencias sensoriales. Si hay acuerdo decimos que comprendemos; en caso contrario intentamos nuevas construcciones o abandonamos la situación como "carente de sentido".

En algunas situaciones las construcciones ya existentes son utilizadas para encontrar el sentido de las experiencias, sin que sean necesarios grandes cambios en la estructura conceptual del sujeto. En otras el acto de dar sentido implica un proceso analógico durante el cual las ideas existentes son utilizadas de una nueva forma, conduciendo posiblemente a una nueva construcción. Este proceso de cambio o de reestructuración (Rumelhart y Norman, 1981) sería interesante que se produjera en los alumnos.

d) *Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.*

Desde la perspectiva constructivista, esta afirmación obvia, constituye el reconocimiento de una condición necesaria para el aprendizaje. Es el propio alumno quien debe hacer uso de sus propios conocimientos para construir por sí mismo "significados" en situaciones de aprendizaje. Será papel del profesor proporcionar al alumno adecuadas situaciones de aprendizaje. Desgraciadamente muchas situaciones no estimulan a los estudiantes a encontrar el sentido de lo que están experimentando. Es muy fácil permanecer pasivo a la espera de que el profesor dé la solución. Los alumnos prefieren la autoridad externa (del profesor) y el aprendizaje repetitivo en lugar de la autoridad interna y la comprensión (Driver y Bell, 1986).

Esta nueva orientación, donde el estudiante toma parte activa en el aprendizaje construyendo los conocimientos científicos, ha originado diferentes modelos de intervención didáctica que pasaremos a relatar.

II.3 ALGUNOS MODELOS CONSTRUCTIVISTAS.

Frente a la orientación de instrucción directa que tiende a concebir el conocimiento físico como axiomático y no problemático ha surgido un planteamiento alternativo que contempla el conocimiento físico como más problemático y experimental. En el primer planteamiento tradicional se considera al aprendiz como estando inicialmente bajo control externo y tiende a resaltar los procesos analíticos en la resolución de problemas. Sin embargo, en la orientación alternativa constructivista el aprendizaje se regula internamente y la resolución de problemas implica más un razonamiento holístico, analógico, que analítico.

Durante los últimos veinte años se han propuestos varios marcos o modelos para la programación de temas de ciencias destinados a facilitar un aprendizaje significativo. Distinguimos dos grandes grupos, uno más general orientado al cambio conceptual y otro más específico de las ciencias, orientado a la resolución de problemas. Todos contienen secuencias de instrucción más o menos explícitas y se han aplicado en la enseñanza de las ciencias en el nivel medio. En las líneas siguientes detallamos brevemente las fases que proponen algunos de estos modelos con objeto de recoger en nuestra propuesta aquellos aspectos que consideramos más apropiados para la enseñanza en el nivel superior.

II.3.1 MODELOS ORIENTADOS AL CAMBIO CONCEPTUAL.

El modelo de Barnes (1976) consta de cuatro etapas: una de *enfoque* para la presentación del tema y motivar a los alumnos, otra *exploratoria* para intercambiar opiniones sobre la experimentación que se realice, una tercera de *reorganización* para la elaboración de informes atendiendo a la información suministrada por el profesor, y una última *etapa pública* que consiste en la presentación de los hallazgos. Barnes alega que los alumnos necesitan desempeñar un papel importante en la formación de su propio conocimiento.

Un año después Karplus (1977), influido por la teoría de Piaget, argumenta que el aprendizaje de las ciencias debería ser un proceso de **autorregulación** en el cual el que aprende va formando nuevos modelos de razonamiento resultantes de la reflexión al interactuar con los fenómenos y las ideas de los demás. Propuso un ciclo de aprendizaje

basado en tres fases: una *exploratoria* en donde los alumnos responden lo que conocen sobre las cuestiones que se les plantean, reflexionan y aprenden mediante acciones y reacciones ayudados mínimamente por el profesor; una segunda fase para *explicar* los conceptos nuevos que resuelven los problemas planteados y una última para *aplicar* el concepto a nuevas situaciones. El aprendizaje se consigue mediante la repetición y la práctica, de manera que las nuevas ideas y modos de pensar tengan tiempo de estabilizarse.

Por su parte, Nussbaum y Novick (1981, 1982), al igual que en todos estos modelos, concibe la tarea de enseñar en determinar las concepciones individuales de los alumnos y en tratar de modificarlas hacia la actual visión científica. El punto de partida de su estrategia consiste en hacer *explicitar* las ideas de los alumnos para que sean conscientes de ellas, después plantear una situación que cree insatisfacción en el estudiante, con lo cual se producirá un *conflicto conceptual*, y por último *estimular la acomodación* cognitiva al tratar de buscar una solución al conflicto de ideas.

Erikson (1979) establece un conjunto de proposiciones paralelo al modelo anterior. Primero, para familiarizar a los alumnos con la temática a tratar y puedan hacer explícitas sus creencias intuitivas, se les provee de un conjunto de *maniobras experienciales*, después se presentan situaciones (*maniobras discrepantes*) que lleven a resultados inesperados para crear en los alumnos una incertidumbre o insatisfacción, y por último se procura acomodar los resultados inesperados en la red conceptual mediante un conjunto de *maniobras de reestructuración*.

La propuesta de Renner (1982) acepta que el alumno debe desarrollar por sí mismo su comprensión de un concepto. También está estructurada en tres etapas: se comienza proporcionando a los estudiantes las *experiencias* necesarias para que se familiaricen e interesen sobre lo que deban aprender, se continúa proporcionando la terminología específica para que el alumno pueda *interpretar* la situación problemática, y se finaliza presentando experiencias adicionales para ayudar a la *elaboración* de una red conceptual más acorde con la realidad científica. Se trata de extender tanto el conocimiento como la idea recientemente adquirida.

La secuencia didáctica de Rowell y Dawson (1983) es muy parecida: a) mediante preguntas se averiguan las ideas de los alumnos sobre la situación-problema planteada a la vez que *toman conciencia* de ellas, b) el profesor acepta las soluciones de los alumnos pero

introduce *soluciones alternativas* para que sean evaluadas, y c) se comparan las nuevas ideas con las antiguas prevaleciendo las de mayor *poder explicativo*. Estos autores creen que con este enfoque los alumnos se ven menos amenazados y consideran que lo mismo que las viejas teorías rara vez son derrotadas por la evidencia en contrario, sino solamente por otras teorías mejores, los alumnos modifican sus ideas por las del científico con mayor poder explicativo y no por resultados inesperados.

Osborne y Freyberg (1985), después de analizar los modelos anteriores proponen uno nuevo que denominan modelo didáctico de *aprendizaje generativo*. Pretenden conseguir tres objetivos específicos: la clarificación de los puntos de vista que ya tienen los alumnos, la modificación de sus criterios hacia el enfoque de la ciencia actual y la consolidación del punto de vista científico en el ámbito de la experiencia existente y de los valores de los alumnos. Consta de las siguientes cuatro fases distintas de enseñanza:

1. *Fase preliminar*, de preparación explícita a cargo del profesor, en donde el profesor averigua los puntos de vista de los alumnos, los clasifica, busca criterios históricos y reflexiona sobre cómo pueden provocar su abandono. También compara *sus propios puntos de vista* con los del científico y reflexiona sobre los procedimientos que utiliza para la descripción y explicación de los fenómenos.

2. *Fase de enfoque*, cuyo objetivo es proporcionar un contexto adecuado para el trabajo posterior. El profesor ofrece experiencias motivadoras, estimula el pensamiento de los alumnos formulándoles preguntas y ayudándoles a interpretar sus respuestas. Los alumnos deben *familiarizarse con el contexto*, plantean preguntas a otros y así mismos, manifiestan sus opiniones y en definitiva asumen la responsabilidad de su propio aprendizaje.

3. *Fase de confrontación* para facilitar el intercambio de pareceres, para realizar procedimientos demostrativos, para plantear la solución de los científicos, para poner a prueba experimental las opiniones, etc. Esta fase debe finalizar con un buen número de preguntas por los alumnos al tratar de incorporar las nuevas ideas a su red conceptual.

4. *Fase de aplicación*, cuyo objetivo es reforzar y consolidar las nuevas ideas mostrando su utilidad. Mediante la resolución de problemas se pretende utilizar el nuevo concepto como base de la solución.

El CLIS (Children's Learning in Science Project) es un proyecto para la enseñanza de las ciencias en las escuelas secundarias del Reino Unido. Su propósito central (Driver y Oldham, 1986) es diseñar, poner en práctica y evaluar materiales y estrategias de enseñanza que intenten promover el cambio conceptual. El proyecto desarrolla un modelo de secuencia de enseñanza constructivista con el objetivo de impulsar la construcción activa de significados, partiendo de las propias ideas de los alumnos y dándoles oportunidades para construir y modificar sus ideas aproximándolas hacia las concepciones científicas.

Aunque el modelo está dotado de un carácter flexible y en la práctica se solapan las fases, Needham (1987) ha diferenciado cinco:

1. *Fase de orientación* diseñada para dar a los alumnos la oportunidad de desarrollar el sentido de la finalidad y motivación para aprender el tópico.

2. *Fase de elicitación*, en la que los alumnos explicitan sus ideas, haciéndose conscientes de ellas.

3. *Fase de reestructuración*, en donde se clarifican e intercambian las ideas, creándose conflictos y posibilitando la modificación de las mismas. El profesor propondrá las ideas de los científicos, explicándolas y sometiéndolas a debate y experimentación junto con las demás. Los alumnos construirán significados en la medida que las nuevas ideas satisfagan sus insatisfacciones y evaluaciones.

4. *Fase de aplicación* para que los alumnos puedan usar las ideas recién desarrolladas en diversas situaciones, nuevas y familiares, para consolidarlas y reforzarlas.

5. *Fase de revisión*, en donde los alumnos deben reflexionar sobre cómo se ha modificado su pensamiento. El profesor les ayudará a desarrollar estrategias metacognitivas.

Resumiendo, en todos estos modelos de enseñanza con orientación constructivista se contempla el aprendizaje como *cambio conceptual*. Salvando las particularidades de cada uno de ellos, el esquema general de estos modelos consta de tres fases:

- Una fase para *exploración de las ideas de los alumnos*, con el objetivo de hacer emerger las representaciones de los alumnos relativas al tema a tratar, no sólo para conocimiento del profesor, sino para que los estudiantes tomen conciencia de sus creencias y puntos de vista relativos al fenómeno de estudio.

Las técnicas utilizadas son muy diversas: enseñanza socrática, discusión entre alumnos, resolución de problemas en pequeños grupos, observación/discusión basada en el trabajo de laboratorio, realización de mapas conceptuales, etc.

Lo importante de esta fase es crear un clima de aula que facilite la libre expresión de las ideas sin que ello conlleve un juicio valorativo, positivo o negativo, sobre las mismas, lo cual obligaría a los estudiantes a buscar el razonamiento esperado por el profesor, más que a exponer sus propias creencias.

- Una segunda fase de *confrontación de ideas*, de contraste entre las diversas ideas expuestas buscando, por la vía de la evidencia, el campo de validez y límite de cada una. Algunos autores se inclinan, por ejemplo, por presentar en este momento experiencias llamadas discrepantes, cuya finalidad es crear en los alumnos un conflicto cognitivo. Otros prefieren debatir y poner en práctica las ideas que han sido expuestas e ir creando la necesidad de una interpretación más completa y coherente, es decir la científica.

La primera orientación parece haber dado buenos resultados en algunos casos, sin embargo en otros es difícil crear situaciones conflictivas que sean entendidas por el alumno y mucho menos crear la reestructuración de la red conceptual. Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982), a partir de los escritos de Kuhn (1971) y Toulmin (1972) sobre filosofía de la ciencia, postulan las cuatro condiciones necesarias para que se produzca el cambio conceptual:

1. Es preciso que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.
2. Ha de existir una nueva concepción mínimamente inteligible que
3. Debe ser inicialmente plausible y
4. Ha de ser potencialmente fructífera, abriendo nuevas áreas de investigación.

En esta fase se introducen nuevas ideas mediante presentación explícita del profesor o a través de materiales de instrucción. El uso de metáforas es importante para posibilitar

que los alumnos relacionen sus conocimientos previos y las nuevas construcciones y desarrollar una representación descriptiva antes de que una teoría sea presentada de forma axiomática. Se sugiere también que se presenten las teorías de forma que los estudiantes las contemplen como tentativas que posiblemente requieran modificaciones.

- Una tercera fase para *acomodación y aplicación* de nuevas ideas.

Es de esperar que como resultado de las fases anteriores los alumnos hayan reestructurado sus ideas, al menos parcialmente, hacia una mejor interpretación de los fenómenos. Se trata de ofrecer a los estudiantes oportunidades para utilizar las nuevas ideas en diferentes contextos, explorar su mayor capacidad explicativa y hacer así que adquieran confianza en las mismas. Esto deberá conducir a la acomodación de las nuevas ideas en la mente del sujeto.

El aspecto esencial de esta fase es comprobar el grado en que los alumnos han reestructurado sus representaciones en relación a la versión científica. Posiblemente los alumnos vuelvan de nuevo a sus marcos alternativos primitivos, más o menos enmascarados. Los procesos de cambio conceptual no son rápidos. Ni se producen siempre por la vía revolucionaria (Serrano, 1990).

La efectividad de estas estrategias de cambio conceptual viene refrendada por numerosas investigaciones realizadas en diferentes campos de las ciencias. Sin embargo, otros autores, han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando ésta se orienta explícitamente a producir el cambio conceptual.

II.3.2 MODELOS ORIENTADOS A LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.

La literatura sobre la resolución de problemas es vasta y compleja. Las investigaciones se han realizado siguiendo diversas perspectivas de enseñanza/aprendizaje y se ha abordado desde varios aspectos específicos (características expertos/novatos, elaboración de algoritmos, etc.), siendo difícil una visión global y consistente del papel de la resolución de problemas en el aula.

A continuación comentamos algunas características de modelos de resolución de problemas con un enfoque constructivista y sugerimos una alternativa a la línea de investigación sobre el cambio conceptual que implique un desarrollo gradual de conceptos con la finalidad de discriminar significados.

Los cambios conceptuales que parece exigir el aprendizaje de las ciencias no resultan fáciles de lograr, incluso cuando se toman en consideración los preconceptos y se producen las condiciones apuntadas por los investigadores (Fredette y Lochhead, 1981; Driver, 1985), como por ejemplo Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982).

Según Gil y Carrascosa (1985, 1990) una limitación importante de las propuestas de cambio conceptual reside en la falta de suficiente atención a las formas de razonamiento asociadas a los esquemas alternativos de los alumnos. Existe una cierta semejanza entre los esquemas conceptuales de los estudiantes en algunos campos y las concepciones históricas que fueron desplazadas por los conocimientos hoy aceptados por la comunidad científica (Mathews, 1990). El hecho de que los alumnos posean ideas precientíficas no puede ser simple casualidad, sino que es el resultado de la utilización de procedimientos parecidos para aproximarse a la realidad e intentar comprenderla. Una metodología generalmente poco rigurosa que saca conclusiones precipitadas y acríticas de la simple observación.

Esta forma o proceso de razonamiento, llamada por Gil y Carrascosa (1985) "metodología de la superficialidad" o por Hashweth (1986) "metodología del sentido común", está basada en las respuestas rápidas, en la aceptación de lo aparente, lo que se traduce en actitudes dogmáticas, ausencia de dudas y falta de consideración de posibles soluciones alternativas. Esta hipótesis se ve reforzada por el estudio comparado de las características de lo que puede denominarse "física del sentido común" (Holton y Roller, 1963; Koyre, 1981) y de las formas de razonamiento de los alumnos.

La historia de la ciencia revela que el cambio metodológico que supuso la combinación de la creatividad del pensamiento divergente con el rigor científico en la contrastación de hipótesis, produjo verdaderos cambios en las concepciones científicas.

Sin pretender establecer un paralelismo mecánico, parece razonable aceptar un cierto isomorfismo entre la construcción del conocimiento científico en la historia y el conocimiento personal (Wandersee, 1983; Champagne y otros, 1983; Satiel y Viennot, 1985; Gagliardi

y Giordan, 1986; Furio y otros, 1987; Duschl y Gitomer, 1991). En este sentido, diferentes autores (Gené y Gil, 1982; Gil, 1933; Gil y Carrascosa, 1985; Pérez de Eulate, 1992; Guisasola, 1996) establecen la hipótesis, de que una metodología de enseñanza/aprendizaje de las ciencias coherente con la metodología científica, ayudará a los alumnos a superar sus preconcepciones, al contribuir al aprendizaje significativo de conocimientos, procedimientos y actitudes científicas. Es decir, estos investigadores defienden, y nosotros también, una propuesta didáctica de *cambio conceptual y metodológico* que añade además de las condiciones anteriores para lograr el cambio conceptual la de utilizar una metodología de enseñanza/aprendizaje coherente con la metodología propia de la ciencia. Es más, consideramos, que el cambio conceptual será difícil sin el cambio metodológico.

Profundizando aún más en las aportaciones de la Historia y Filosofía de la Ciencia, estas nos indican que cuando se producen cambios o revoluciones científicas no sólo hay una transformación de la teoría vieja sino que también se producen cambios en las formas de ver el mundo (componente ontológica), en las formas de razonar (componente epistemológica), en los métodos (componente metodológica) y en los propios valores y propósitos de la nueva teoría (componente axiológica) (Duschl y Gitomer, 1991; Mortimer, 1995).

Por otra parte, muchos autores (Nussbaum, 1989; Schuster, 1993; Braghiroli, 1993; Mortimer, 1993; Moreira, 1994) consideran que hay que abandonar el término "cambio conceptual" procedente de los modelos que lo entienden como "reemplazo conceptual". En su lugar proponen un modelo de desarrollo/enriquecimiento conceptual y de discriminación de significados para la enseñanza de las ciencias e investigación en este área.

En consecuencia, si se acepta que el aprendizaje de las ciencias implica ayudar a que los alumnos puedan discriminar entre su cultura cotidiana y otra muy diferente, más rigurosa, como la cultura científica, con todo lo que ello significa no sólo de coexistencia conceptual entre dos culturas, sino, además, del cambio efectuado en todos aquellos componentes epistemológicos, metodológicos y axiológicos interdependientes al pasar de una cultura a otra, se puede comprender el fracaso parcial de aquellas estrategias centradas solamente en el cambio conceptual.

Las aportaciones anteriores nos sugiere que las estrategias de cambio conceptual deben ir acompañadas de un profundo cambio epistemológico, ontológico y axiológico (Duschl y Gitomer, 1991; Guisasola, 1996); pero no para causar una sustitución de

conceptos o significados, sino para producir un desarrollo o enriquecimiento conceptual que permita discriminar los significados aceptados científicamente de los no aceptados.

Históricamente, estos cambios conceptuales y epistemológicos no fueron en absoluto fáciles, y es lógico pensar que lo mismo ocurrirá con los estudiantes: solamente si son puestos reiteradamente en situación de apropiarse la nueva metodología, como por ejemplo, plantearse y precisar problemas, emitir hipótesis, realizar diseños de experimentación, tomar y analizar resultados, etc., podrán superar su metodología espontánea de sentido común y, consecuentemente, construir conocimientos científicos (Gil, 1993). En el mismo sentido, Duschl y Gitomer (1991), afirman: "si tenemos que producir una reestructuración radical de conceptos, lo que constituye el correlato personal de la idea kuhniana de revolución científica, parece que deberíamos enseñar también los conocimientos procedimentales implicados".

Para los seguidores del cambio conceptual y epistemológico, la construcción de conocimientos nunca se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas de interés; problemas que se abordan, como es lógico, a partir de los conocimientos que se poseen y de nuevas ideas que se construyen a título tentativo. En este proceso, las concepciones iniciales podrán experimentar cambios e incluso, aunque más raramente, ser cuestionadas radicalmente; pero ése no será nunca el objetivo, sino, repetimos la resolución de los problemas planteados.

Como señala Bachelard (1938) "todo conocimiento es la respuesta a una cuestión". En consecuencia, la resolución de problemas resulta esencial para la construcción de conocimientos desde un modelo constructivista de aprendizaje.

Por otra parte, una característica fundamental del tratamiento científico de los problemas es tomar las ideas que se tienen, incluso las más seguras y obvias, como simples hipótesis de trabajo que es necesario controlar, esforzándose en imaginar otras hipótesis. Ello concede un status muy diferente a las situaciones de conflicto cognitivo: ya no suponen para los alumnos el cuestionamiento externo de las ideas personales, ni la reiterada excepción de las insuficiencias del propio pensamiento (con las consiguientes implicaciones afectivas), sino un trabajo de profundización en el que unas ideas (tomadas como hipótesis) son enriquecidas por otras (tan propias como las anteriores).

En resumen, las contribuciones de la Historia y Epistemología de la Ciencia permite superar el reduccionismo de los modelos de cambio conceptual centrados exclusivamente en los contenidos conceptuales, y recuperar como objetivo la familiarización de los estudiantes con las formas de razonamiento científico. El aprendizaje de las ciencias es concebido así no como un simple cambio conceptual, sino como un cambio a la vez **conceptual, metodológico y actitudinal**. Y la estrategia de enseñanza más coherente es la que plantea el aprendizaje como tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos puedan considerar de interés.

A continuación comentamos dos modelos de enseñanza/aprendizaje centrados en la resolución de problemas:

a) **El modelo de aprendizaje como investigación** propuesto por Gil (1993) tiene como idea central el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas de interés para los alumnos, a través de las cuáles éstos construyen su conocimiento. En este modelo, los alumnos actúan "como investigadores noveles" y realizan investigaciones ya conocidas por el profesor que sería "el director" de las mismas.

Los alumnos no investigan por sí solos, sino más bien participan activamente en una investigación planteada y dirigida por el profesor. Es decir, actúan como lo hacen habitualmente los científicos principiantes cuando se incorporan a un equipo de investigación. Estos pueden alcanzar con relativa rapidez el nivel medio del resto del equipo al abordar problemas en los que quienes actúan de directores/formadores son expertos. La situación cambia, por supuesto, cuando se abordan problemas que son nuevos para todos. Los estudiantes, por tanto, no autodescubren los conocimientos científicos sino que son ayudados por el profesor, para avanzar en investigaciones que son conocidas por él.

El trabajo en el aula se realiza en pequeños grupos para incrementar el nivel de participación y la creatividad necesaria para abordar las situaciones no familiares y abiertas concebidas para posibilitar la construcción de conocimientos. También se favorece la máxima interacción entre los grupos, actuando el profesor como "portavoz de otros muchos investigadores", es decir, de lo que la comunidad científica ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso.

Esta orientación entiende que la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos exige verdaderos *programas de investigación* capaces de orientar el trabajo de los alumnos. En estos programas están insertadas las actividades fundamentales habituales, una vez transformadas, del aprendizaje de las ciencias, como son la introducción de conceptos, el trabajo de laboratorio, la resolución de problemas de lápiz y papel, la evaluación, etc.

Es muy importante para este método favorecer la construcción de conocimientos científicos dando una visión correcta del trabajo científico. Por ello, las estrategias y actividades a realizar en clase deben estar bien diseñadas y ser muy variadas para evitar aprendizajes inconexos y procesos excesivamente erráticos. Furió y Gil (1978) agrupan estas actividades en tres bloques que denominaron de "iniciación", "desarrollo" y "acabado". Gil (1993) elaboró una parrilla de análisis para detectar carencias y errores en los que se puede incurrir al elaborar o llevar a la práctica las actividades.

De forma resumida la estrategia de este modelo, con un grado amplio de flexibilidad, puede subdividirse en cuatro fases (Guisasola, 1996):

- En la primera se proponen situaciones problemáticas de interés que dé sentido a su estudio, considerando su relación con el programa general de trabajo adoptado, las posibles implicaciones C-T-S, etc. Los estudiantes participan en los objetivos generales de los temas a estudiar. El profesor tiene en cuenta los esquemas conceptuales, las capacidades y las actitudes de los alumnos para plantear situaciones adecuadas.

- En la segunda se realiza un análisis cualitativo, significativo, que ayude a comprender y acotar las situaciones planteadas, y así llegar a definir las como problemas. En esta fase los estudiantes explicitan sus esquemas conceptuales y se los replantean como algo consustancial con la tarea de resolución de problemas.

- La tercera fase, muy compleja, corresponde al proceso de resolución del problema. Implica la emisión de hipótesis fundamentadas, la elaboración de estrategias de resolución o diseños experimentales, la resolución de los mismos, la introducción de conceptos, el análisis detenido de los resultados, la reflexión sobre los posibles conflictos entre algunos resultados y las concepciones iniciales, el establecimiento de conclusiones, etc.

- En la última fase se propone la utilización de los nuevos conocimientos en situaciones diversas. Se considera, en particular, su utilidad técnica y su implicación en la sociedad. Se realizan trabajos de síntesis, se elaboran memorias científicas, se realiza un esfuerzo de integración de los nuevos conocimientos en un cuerpo teórico más amplio, se realizan mapas conceptuales, etc.

El desarrollo eficaz del programa de actividades exige la transformación del clima de aula para que se supere la habitual atmósfera de control autoritario. El profesor dirige el trabajo colectivo de los alumnos y orienta y matiza los resultados realizados por los diferentes grupos. Actúa de moderador en las puestas en común realizadas entre los grupos, conduce el debate proponiendo reflexionar sobre detalles concretos o, en ocasiones, actúa como portavoz de la comunidad científica. En consecuencia, a diferencia de la enseñanza tradicional donde el profesor actúa como transmisor continuo de información, en este modelo constructivista actúa como facilitador del aprendizaje entendido como mediador entre la ciencia y los alumnos.

La planificación de actividades es considerada como algo siempre en continua reelaboración, sometida a retoques, añadidos y, en ocasiones, a completas remodelaciones. La confección del programa de actividades y su aplicación es un trabajo colectivo de investigación /acción que implica al profesor en una tarea de investigación didáctica aplicada, la cual hace que aumente el interés y la efectividad de la tarea docente.

Por último, este modelo de investigación exige un método de evaluación coherente con el mismo. Implica valorar y calificar aspectos actitudinales y metodológicos, además de los conceptuales. Debe permitir que el alumno progrese en la construcción de conocimientos. Debe ayudar a los alumnos en el conocimiento y regulación de sus procesos de avance. Debe realizarse a lo largo de todo el proceso de aprendizaje.

b) Otro modelo basado en la resolución de problemas.

En un trabajo publicado recientemente, Lopes y Costa (1996) exponen un modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas para ser aplicado en niveles básicos y elementales. El modelo lo han ido ajustando mediante una experiencia de

concepción, ejecución y evaluación de estrategias de enseñanza-aprendizaje en el contexto del aula, realizado por un grupo de profesores de Física y Química (Lopes et al, 1993).

En este modelo, la formulación y resolución de problemas ocupan un lugar central de las tareas de enseñanza y aprendizaje. Está basado en modelos de otros autores, en particular Watts (1991) y Gil Pérez (1993). En él los conceptos científicos son identificados, progresan y son confrontados con las concepciones de los alumnos durante la formulación y resolución de problemas.

El modelo se fundamenta en tres pilares: investigación específica en resolución de problemas, estudios de raíz psicológica sobre enseñanza-aprendizaje y epistemología de la ciencia y sus implicaciones educativas.

En todos los estudios que contempla la literatura sobre resolución de problemas se contemplan tres aspectos comunes:

a) La construcción del conocimiento científico incluye tareas de formulación y resolución de problemas, que pueden ser transferidas al aula (Stewart y Hafner, 1991; Gil Pérez et al, 1982 a y b, 1988).

b) Dichas tareas movilizan habilidades de proceso (conocimiento procedimental) y conceptos científicos (conocimiento conceptual) en diferentes "contextos investigativos de aprendizaje" (Cheung y Taylor, 1991)

c) La construcción del conocimiento científico es una construcción social que envuelve frecuentemente un trabajo en equipo. En el aula, la construcción del conocimiento debe tener un carácter social. (Cheung y Taylor, 1991; Gil Pérez, 1993 y Watts, 1991).

Así mismo los autores toman otros conceptos más específicos de la investigación sobre resolución de problemas:

- La necesidad de que los problemas sean generados a partir de contextos relevantes para los alumnos (Stinner, 1990).

- La evidencia empírica de que la complejidad de las tareas debe ser definida también por un contexto.
- La necesidad de que dicha complejidad sea progresiva (concepto de progresión) y diferenciada (concepto de diferenciación), en la medida en que el conocimiento conceptual y procedimental debe ser revisado para aumentar la precisión (Stinner, 1990; Cheung y Taylor, 1991).
- La necesidad de que la progresión y diferenciación sean controladas de forma adecuada a los objetivos que se presenten con la tarea (Lock, 1990 y 1991).
- La necesidad de que la articulación entre el lenguaje matemático y el físico se haga de forma progresiva (Stinner, 1990).

La investigación de raíz psicológica tiene básicamente dos puntos de vista sobre la resolución de problemas para el aprendizaje: a) el método es más importante que los conceptos y b) los conceptos son más importantes que el método. Sin embargo ha surgido una tercera tendencia defendida por varios psicólogos cognitivistas que afirman que el conocimiento ni es sólo procedimental ni sólo conceptual, sino ambas cosas. Esta tendencia rechaza la idea de que en el fondo se trata de una mezcla de dos conocimientos, pues éstos interfieren entre sí, acabando por ser un conocimiento de otra naturaleza. En esta perspectiva se sitúa el modelo que presentan los autores.

En cuanto a la fundamentación epistemológica del modelo, los autores se basan en Dewey, J. (1925) y Bachelard, G. (1986). Los problemas según Bachelard deben seguir una cadencia: de amplios se deben transformar cada vez en más restrictivos, precisos, con las fronteras y contenidos cada vez mejor definidos; por otro lado, de cualitativos se deben volver cada vez más cuantitativos; y cada problema debe dar origen a otros cada vez más interesantes, específicos y pertinentes. El profesor no debe sólo definir el problema, sino más bien ayudar al alumno a formularlo, a definir las fronteras y los contenidos. En esta progresión surgen los problemas cuantitativos. Para Dewey es siempre posible aprender cualquier cuestión si es presentada y abordada de manera adecuada a los intereses y capacidades del sujeto que aprende. En cualquier caso, la educación se hace a través de la resolución de problemas.

El modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas propuesto por Lopes y Costa está caracterizado por los siguientes aspectos:

- a) La enseñanza y el aprendizaje están centrados en la resolución de problemas y a veces -en ciertas fases- en "tareas-problemas".
- b) Todo el proceso en el aula se inicia explorando y cuestionando "contextos-problemáticos".
- c) Los conceptos se identifican, se maduran, se operacionalizan, se desarrollan y se formalizan de forma progresiva.
- d) Los problemas y tareas-problemas tienen diferentes características y finalidades, y se usan en distintos momentos de la enseñanza-aprendizaje.

El modelo tiene cuatro principios orientadores que deben estar presentes en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Estos son:

- El *principio de los lenguajes*. Se prevé el uso de tres tipos de lenguaje para el abordaje de los conceptos cualitativos, cuantitativos y formales.
- El *principio de contextualización*. Todo conocimiento conceptual y procedimental se debe construir a partir de y en contextos problemáticos. A partir de acontecimientos naturales o tecnológicos donde es posible explorar varios conceptos, el profesor y los alumnos crean, en un ambiente lo más natural posible, el contexto problemático que originará una red de tareas-problema y problemas que permitirá el crecimiento del conocimiento conceptual y procedimental.
- El *principio de problematización*. A partir del contexto problemático, mediante la problematización se origina una red de tareas-problemas y problemas de diferentes características y complejidad que permitirá que se construya y crezca el conocimiento conceptual y procedimental.
- El *principio de crecimiento de los conceptos*. El crecimiento de los conceptos es helicoidal pasando sucesivamente por las dimensiones de identificación, maduración,

operacionalización, desarrollo y formalización. Todas estas dimensiones crecen con el tiempo.

Los autores, por último, organizan el modelo en ciclos de cinco etapas. En las tres primeras se abordan los problemas del mundo familiar de forma cualitativa. A partir de la cuarta etapa, se utilizará el lenguaje cuantitativo y progresivamente el lenguaje matemático. El número de ciclos se debe repetir hasta que todos los conceptos de una unidad sean abordados. En la primera etapa se comienza a construir el contexto problemático, identificando y explorando los conceptos implicados y problematizando la situación planteada. En la segunda etapa se ejecutan las actividades inherentes a las tareas-problemas planteadas, se operacionalizan conceptos, explicitan ideas, formulan hipótesis, etc. En la tercera etapa se desarrollan los conceptos, se elaboran planes para la resolución de los problemas, se reformulan las representaciones de los alumnos. En la cuarta etapa se construye en el aula un nuevo contexto problemático, a partir del cual se formulan nuevas tareas-problema y problemas del mundo real, no necesariamente familiar, se desarrollan y formalizan los conceptos al abordar los problemas de modo cuantitativo, se construye y reformulan modelos físicos, etc. En la quinta etapa se construye en el aula un *contexto amplio*, consistente en la presentación de los rasgos comunes a múltiples contextos (incluidos los tratados anteriormente), se hace referencia explícita a los modelos, leyes y principios que serán utilizados en la resolución de problemas generales que surjan del contexto amplio, se sintetizan y generalizan los conceptos adquiridos y los procesos utilizados, etc. Después de contemplarse las cinco etapas se comienza de nuevo por otros conceptos y otros contextos, hasta agotarse los conceptos a desarrollar en una unidad. En los ciclos siguientes, las conceptualizaciones se deberán hacer teniendo en cuenta los modelos utilizados, las leyes y principios aprendidos y los conceptos desarrollados.

La implantación en el aula del modelo anterior exige una formación previa de los profesores. La formación presupone no sólo una discusión teórica sobre modelos de enseñanza-aprendizaje sino también una actuación reflejada en la práctica.

Una vez apuntadas las características de los modelos constructivistas que hemos considerado más relevantes, pasamos a presentar nuestro modelo de instrucción concebido para orientar la enseñanza/aprendizaje de la física en el nivel universitario.

II.4 PROPUESTA DE UN MODELO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA SUPERIOR.

En las páginas siguientes desarrollamos la propuesta metodológica que proponemos para la enseñanza de la Física en los niveles superiores. Explicitamos, para ello, los objetivos que pretendemos, los principios didácticos en los que se basa, la sintaxis de las fases que deben seguirse en el proceso de enseñanza-aprendizaje para la optimización del aprendizaje significativo que propugnamos y, por último las características del material didáctico que se utiliza en el aula.

II.4.1 OBJETIVOS.

1) Favorecer la adquisición de los procedimientos, conceptos, teorías vigentes y su aplicación a situaciones concretas mediante la resolución de *situaciones problemáticas de interés atendiendo a las modernas teorías cognitivas sobre el aprendizaje y las recientes aportaciones de la Historia y Filosofía de la Ciencia.*

Consideramos necesario integrar en un único objetivo la familiarización del alumno con la metodología científica y la adquisición/construcción significativa (no arbitraria y sustantiva) de conocimientos. Los procesos científicos sólo tienen sentido en el marco de esquemas conceptuales (teorías como punto de partida y término). Sin atención a los contenidos o con tratamientos esporádicos y superficiales la metodología científica queda desvirtuada. Asimismo el estudio de los conceptos de modo memorístico implica su olvido inminente debido a su débil o nula integración en la red conceptual del alumno.

La idea central de este modelo de aprendizaje de la Física, que proponemos, consiste en el tratamiento de *situaciones problemáticas* abiertas de interés, a través de las cuales los alumnos pueden participar en la construcción del conocimiento. La introducción de conceptos, los trabajos de laboratorio, la resolución de problemas de lápiz y papel e incluso la misma evaluación, se transforman en situaciones problemáticas abiertas que pretenden favorecer el tratamiento creativo y riguroso, característico del trabajo científico.

Este objetivo es fundamental ya que está en consonancia con nuestra creencia, y la de otros investigadores ya señalados anteriormente, que la resolución de problemas puede facilitar el cambio conceptual, metodológico y actitudinal que propugnamos.

2) Potenciar el desarrollo de técnicas y estrategias diversas, necesarias para incrementar el aprendizaje significativo, promoviendo un cambio conceptual, metodológico y actitudinal.

Del mismo modo que desde el punto de vista cognitivo es necesario tener en cuenta las ideas de los alumnos, desde un punto de vista afectivo es necesario considerar sus características motivacionales (Martín Díaz y Kempa, 1991) como características internas que son y que se traducen en diferentes preferencias por distintas estrategias didácticas. El aprendizaje mejorará si los alumnos son expuestos a las estrategias que prefieren. Como los profesores tienen que trabajar con muchos alumnos -con diferentes características motivacionales- se deberán utilizar un amplio espectro de estrategias didácticas. Por esta razón, el modelo didáctico que se presenta está dotado de gran flexibilidad en función del alumno y del entorno en donde se desarrolle.

Nosotros entendemos que una buena enseñanza debe ser constructivista, promover el cambio conceptual y metodológico e incrementar el aprendizaje significativo.

Mediante un aprendizaje mecánico, el nuevo conocimiento puede adquirirse simplemente mediante la memorización verbal y puede incorporarse arbitrariamente a la estructura de conocimientos de una persona, sin tener ninguna interacción con lo que ya existe en ella. Sin embargo, en el aprendizaje significativo hay una relación no-arbitraria y sustantiva de un nuevo conocimiento con un aspecto relevante (*subsumidor*) de la estructura cognitiva de la persona que aprende. La nueva información interactúa con el subsumidor y de esta interacción se producen nuevos significados al modificarse el conocimiento previo.

Como ya hemos dicho, conseguir el cambio conceptual no es nada fácil, especialmente cambiar aquellas concepciones alternativas "resistentes al cambio" por haber sido aprendidas de modo significativo, como, por ejemplo, la "proporcionalidad entre fuerza y velocidad" en vez de fuerza y aceleración, calor como "calórico" y no como energía en

tránsito. Creemos que las cuatro condiciones que establecen Posner y otros (1982) para producir el cambio conceptual (insatisfacción con la concepción previa y existencia de una nueva concepción que sea inteligible, plausible y fructífera) no son suficientes. Quizás sean necesarias pero no aseguran el cambio conceptual. Además, concebir el cambio conceptual como un reemplazo de una concepción por otra en la estructura cognitiva del aprendiz también es criticable desde el punto de vista del aprendizaje significativo. Cuando las estrategias de cambio conceptual están bien diseñadas, en términos de aprendizaje significativo, lo que hacen es agregar nuevos significados a las concepciones ya existentes, sin borrar o reemplazar los significados que ya tenían. Quizás sea necesario abandonar el término "cambio conceptual" y considerar más bien un "desarrollo/enriquecimiento" conceptual con discriminación de significados.

En esta propuesta entendemos, al igual que Gil y Carrascosa (1985), que un cambio conceptual (o desarrollo/enriquecimiento conceptual) no es posible sin un cambio metodológico en el modo de abordar los problemas. Si nuestros alumnos tienen una concepción sobre el comportamiento de los gases (Furio y Hernández, 1983) o el comportamiento mecánico de la materia similar al paradigma aristotélico/escolástico, no es simple casualidad, ni debido principalmente a la existencia de un medio ambiente semejante, es el resultado de un mismo modo de actuar: una tendencia a generalizar acríticamente en base a observaciones cualitativas no controladas, que conducen a "evidencias de sentido común".

Esta metodología de la superficialidad (Carrascosa y Gil, 1985), de lo aparente -que se traduce en certeza, en ausencia de dudas o de consideración de posibles soluciones alternativas-, está también presente (Piaget, 1970) en las formas de atención y reflexión habituales del niño y del adolescente (Hashweh, 1986).

Y no debe olvidarse que si las concepciones aristotélico/escolásticas sólo pudieron ser reemplazadas -después de siglos de vigencia- gracias a un cambio metodológico nada fácil, que vino a superar la seguridad en las evidencias del sentido común, introduciendo una forma de pensamiento cada vez más creativa y, a la vez, más rigurosa; una metodología que obligaba a imaginar nuevas posibilidades a título de hipótesis (poniendo en cuestión lo obvio) y a someter dichas hipótesis a contrastación en condiciones controladas, es razonable pensar que ocurrirá lo mismo con las estructuras conceptuales de los alumnos (Gil y Carrascosa, 1985).

Se comprende así la necesidad de realizar un esfuerzo por introducir la metodología científica en el aula, de hecho las dificultades encontradas para producir los cambios conceptuales, pueden ser debidas, en nuestra opinión, a que la enseñanza de la Física no está organizada para familiarizar a los alumnos con la metodología científica y favorecer así el necesario cambio metodológico.

En las páginas anteriores se han señalado muchas estrategias encaminadas a provocar el cambio conceptual y metodológico. Habrá que tenerlas en cuenta para ayudar a los estudiantes a construir sus propios significados. Dependiendo de las circunstancias y del momento del proceso de enseñanza/aprendizaje habrá que considerar unas u otras. Creemos que todas ellas pueden facilitar el aprendizaje significativo en el alumno.

Especial relevancia tienen las estrategias del mapeamiento conceptual, elaborada por Novak a partir de 1972, y la V epistemológica, desarrollada por Gowin desde 1977. La elaboración de mapas conceptuales es una técnica que, como sugiere su nombre, enfatiza conceptos y relaciones entre conceptos a la luz de los principios de diferenciación progresiva y reconciliación integradora presentes en la teoría de Ausubel. La V heurística fue proyectada para ayudar a los alumnos a comprender la estructura del conocimiento y las formas que tienen los seres humanos de producir ese conocimiento. Los mapas conceptuales y la V pueden utilizarse para explorar las ideas de los alumnos y como recursos de evaluación, análisis y planificación del curriculum (Novak y Gowin, 1988). También pueden servir como instrumentos de metacognición: de aprender a aprender.

3) Facilitar las relaciones de comunicación entre todos los elementos que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para Gowin (1981) un episodio de enseñanza/aprendizaje se caracteriza por compartir significados entre alumno y profesor con respecto a los conocimientos que figuran en los materiales educativos del curriculum. Usando los materiales didácticos programados el alumno y el profesor buscan congruencia de significados. En este proceso, el profesor y el alumno tienen responsabilidades distintas. El profesor es responsable de verificar si los significados que el alumno capta son aquéllos compartidos por la comunidad de usuarios de la materia de enseñanza. El alumno es responsable de verificar si los significados que captó

son aquellos que el profesor pretendía que captase, es decir aquellos compartidos por los científicos (Moreira, 1997).

La enseñanza conlleva siempre procesos de emisión, circulación, recepción y procesamiento de información. Su flujo se produce con la intervención de emisores de diversa naturaleza (Cañal, 1987): el profesor, los alumnos, los libros, los audiovisuales, los archivos de informes, el entorno socrionatural, otras personas físicas o jurídicas, etc.

La recepción y el procesamiento significativo de la información se producirá o no en función del *clima del aula*, de las características del mensaje, de la vía empleada para la transmisión, de la capacidad de procesamiento de uno mismo, así como de la peculiar estructura de interacción social comunicativa existente en el aula.

Unas relaciones de comunicación abiertas, caracterizadas por una mayor riqueza y al mismo tiempo mayor selección de información, con una diversificación de las fuentes y una optimización de los canales de transmisión, primando la interacción, contribuirá a mejorar la eficacia de la labor docente.

La organización del centro, en general, no contribuye a favorecer las relaciones de intercambio mencionadas. Interesa adoptar un sistema organizativo flexible, adaptable a múltiples requerimientos, con horarios flexibles y en donde se establezcan relaciones de poder democráticas, en donde los alumnos puedan participar en la toma de decisiones.

II.4.2 PRINCIPIOS.

Los principios didácticos se derivan tanto de los fundamentos psico-pedagógicos, científicos y didácticos como de presupuestos ideológicos o conocimientos funcionales concebidos en la práctica docente. Actúan como guía para la toma de decisiones en el aula, proporcionando una cierta coherencia a las actuaciones del enseñante.

El modelo que presentamos asume los siguientes principios:

1) Se concibe el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias desde una óptica constructivista. Ofreciendo, a través de la resolución de problemas, una imagen correcta de la Ciencia y del modo de trabajar de los científicos se facilitará en el alumno un *cambio conceptual* (Posner et al, 1982), *metodológico* (Gil y Carrascosa, 1985) y *actitudinal*.

El cambio conceptual se fundamenta en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos; el aprendizaje significativo constituye una actividad racional semejante a la investigación científica y sus resultados -el cambio conceptual- pueden contemplarse como el equivalente a un cambio de paradigma, en terminología de Kuhn (1971).

Los modelos de cambio conceptual suelen asumir la necesidad de activar las concepciones de los alumnos para someterlas a *conflicto* permanente y posteriormente, sustituirlas o transformarlas en ideas científicamente aceptadas. Sin embargo, creemos que esta idea de cambio conceptual es muy simple. En el mejor de los casos el conflicto cognitivo puede ser una condición necesaria pero no suficiente para producir el cambio cognitivo, sobre todo de aquellas ideas o concepciones fuertemente arraigadas en la estructura conceptual del sujeto.

Lo mismo que Gil y Carrascosa (1985) consideramos que se debe enfocar el aprendizaje, no sólo como cambio conceptual, sino como cambio conceptual y metodológico, ya que entendemos que no es posible el cambio conceptual sin un previo cambio metodológico. Su fundamentación se basa en considerar que del mismo modo que el cambio (conceptual) del paradigma pre-clásico sólo pudo ser desplazado después de muchos años gracias al desarrollo de la nueva metodología, el cambio conceptual en los alumnos sólo será posible si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología en su máxima amplitud. Es decir, sólo si los alumnos son puestos en situación de construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global, será posible que superen la metodología de la "superficialidad" (Carrascosa y Gil, 1985) al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que exige la construcción del conocimiento científico.

Este planteamiento del aprendizaje en base a la resolución de problemas de interés creemos que producirá en el alumno un aumento de interés hacia la ciencia. El reto

(conjetura) que implica enfrentarse a la búsqueda de la solución, a través de la formulación de hipótesis nacidas de sus propias ideas, y el "hallazgo" final fruto de su esfuerzo personal creativo producirá en el alumno un cambio de actitud que contribuirá a incrementar el aprendizaje significativo de nuevos conceptos y teorías.

2) El aprendizaje significativo viene determinado por la estructura cognitiva de la persona. Considerar los *conocimientos previos* de los alumnos es clave para la instrucción.

La esencia del proceso de aprendizaje significativo está en la relación no arbitraria y sustantiva de las ideas simbólicamente expresadas con algún aspecto relevante de la estructura de conocimiento del sujeto, esto es, con algún concepto o proposición que ya le es significativo y adecuado para interactuar con la nueva información. Desde una perspectiva ausubeliana, el conocimiento previo es la variable crucial para el aprendizaje significativo.

Una visión del aprendizaje derivado de las teorías constructivistas obliga a considerar las ideas, intereses, creencias,... de los alumnos como muy importante para tenerlas en cuenta en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Los resultados del aprendizaje dependen, además de la situación de aprendizaje y de las experiencias que proporcionamos a nuestros alumnos, de los conocimientos previos que posee, de sus concepciones y de sus motivaciones. Estos no sólo influyen en las explicaciones que dan a los fenómenos o problemas que se les plantean en la instrucción sino que determinan y orientan la observación hacia aspectos concretos que determinan la posterior conclusión.

Es necesario conocer el origen, las características y la organización interna de los esquemas conceptuales, así como las técnicas que existen para su detección (Valcarcel y otros, 1990) con objeto de establecer o diseñar estrategias que ayuden a evolucionar las concepciones alternativas hacia ideas científicamente aceptadas.

Las concepciones de los alumnos no deben concebirse como un obstáculo para el aprendizaje de la ciencia sino como un vehículo para aprender ciencia. A partir de ellas deben desarrollar nuevas ideas. El uso de contraejemplos y datos en contra pueden ayudar

a tomar conciencia de la debilidad de sus esquemas y provocar una reestructuración más acorde con la realidad.

3) El aprendizaje de modo significativo requiere *responsabilidad* del estudiante y tiene lugar cuando construye de forma activa sus propios conocimientos.

Ausubel (1968, pp 37 y 38) señala que el aprendizaje significativo requiere no sólo que el material de aprendizaje sea potencialmente significativo (relacionable con la estructura cognitiva de manera no-arbitraria y no literal) sino también que el aprendiz manifieste una disposición para relacionar el nuevo material de modo sustantivo y no arbitrario a su estructura de conocimiento. Es decir, para aprender de manera significativa, quien aprende debe querer relacionar el nuevo contenido de manera no-litera y no-arbitraria a su conocimiento previo. Si el sujeto sólo quiere memorizarlo de manera literal y arbitraria, el aprendizaje sólo podrá ser mecánico.

La construcción de significados implica un proceso activo de formulación de hipótesis o realización de ensayos, que son contrastados mediante experiencias sensoriales (Driver, 1986). Si hay acuerdo decimos que "comprendemos", en caso contrario intentamos con nuevas construcciones o abandonamos la situación como "carente de sentido". A veces no se necesitan grandes cambios en la estructura conceptual del sujeto para comprender los fenómenos; sin embargo, otras veces es necesaria una profunda reorganización de las ideas para encontrar sentido a nuevas experiencias.

Los estudiantes deben activar un proceso analógico haciendo uso de sus propios conocimientos para construir ellos mismos el significado a la situación de aprendizaje. Es necesario estimular a los alumnos mediante actividades diversas que generen la inquietud y curiosidad necesaria para que procedan a su resolución. El profesor diseñará situaciones didácticas para que los alumnos reflexionen sobre sus ideas y le asesora en todo lo que solicite, pero debe ser el estudiante quién se implique en el aprendizaje.

Las tareas instructivas deben permitir a los alumnos utilizar activamente sus propios conocimientos y habilidades para producir, no sólo un aprendizaje significativo, sino un desarrollo de su autoestima y de sus formas de pensamiento originales.

4) **Todos trabajos que impliquen la resolución de situaciones problemáticas son actividades intrínsecas de esta metodología. La resolución de problemas, los trabajos prácticos, y todas aquellas tareas que requieran investigación contribuyen a que el aprendizaje sea significativo.**

Todas estas tareas son muy importantes en el aprendizaje, no sólo de los contenidos de las ciencias, sino de su naturaleza y de su método. Cuando el alumno se enfrenta a un *problema* (situación donde predomina la incertidumbre de cómo debemos actuar, teniendo que utilizar procedimientos más complejos que los rutinarios o manipulativos) intenta confrontarlo con las concepciones que tiene en ese momento. Si estas no le sirven para interpretar la situación problemática ni para elaborar estrategias de actuación se darán las condiciones idóneas para iniciar un proceso de reestructuración, en el que posiblemente cambien sus ideas respecto de la temática presente en el problema.

Todo tratamiento de **problemas** propicia el aprendizaje significativo (García y García, 1989) en la medida en que:

- Facilita que se expliciten y pongan a prueba las concepciones del alumno implicadas en la situación-problema.
- Fuerza la interacción de esas concepciones con otras informaciones procedentes de su entorno físico y social.
- Posibilita el que, en esa interacción, se reestructuren las concepciones del alumno.
- Favorece la reflexión sobre el propio aprendizaje y la evaluación de las estrategias utilizadas y de los resultados obtenidos.

En los **trabajos prácticos** se debe evitar el carácter de simple "receta manipulativa" que muchas veces se les atribuye, echándose de menos que los alumnos no tengan la ocasión de emitir hipótesis, concebir posibles diseños experimentales, analizar críticamente los resultados, etc. (Payá, 1990). Para proporcionar una imagen más adecuada del trabajo científico y de recuperar el papel motivador que las prácticas de laboratorio tienen es necesario concebirlas con una naturaleza lo más próxima a una investigación científica. En Calatayud y otros (1980 a y b) pueden encontrarse muchas prácticas, con este carácter de investigación, para cubrir el temario de las ciencias físico-químicas en la enseñanza secundaria.

En la **resolución de problemas** hay que implicar a los alumnos a considerar la situación física en su máxima amplitud, superando la mera manipulación de las expresiones algebraicas. Debe analizar en profundidad y críticamente hasta lo más obvio eliminando el simple juego de datos, fórmulas e incógnitas. Gil y Martínez Torregrosa (1983) proponen un modelo de resolución de problemas como investigación siguiendo los siguientes pasos:

- a) Comenzar por un estudio cualitativo de la situación, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideren reinantes, etc.
- b) Emitir hipótesis fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límites de fácil interpretación física.
- c) Elaborar y explicitar posibles estrategias de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.
- d) Realizar la resolución verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más, operativismos carentes de significación física.
- e) Analizar cuidadosamente los resultados a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límites considerados.

5) La planificación de estrategias metodológicas se concibe como hipótesis de trabajo que pretende guiar la práctica docente. Tiene la naturaleza de instrumento en construcción y adecuación permanente a la realidad educativa y por tanto está sometida continuamente a evaluación.

Las estrategias que se utilizan deben estar sometidas a periódicas evaluaciones. Los alumnos deben contribuir a aclarar cuestiones y problemas de funcionamiento relevantes. Las actividades deben ser evaluadas secuencialmente e individualmente. La secuencia de enseñanza planificada tiene la característica de una investigación/acción a través de la cual el profesor cobra una nueva dimensión, aproximándose la preparación e impartición de las clases a una investigación didáctica aplicada, lo que constituye a dar un mayor interés y efectividad a la tarea docente (Stenhouse, 1975).

Este papel de investigador que adquiere el profesor implica estar en contacto con otros colegas. No debe olvidarse que gran éxito de la experimentación didáctica, al igual que la científica, presupone compartir y discutir los hallazgos, éxitos y fracasos de técnicas y estrategias utilizadas, de actividades desarrolladas, de secuencias de enseñanzas implantadas, de tipos de evaluación efectuadas, de recursos empleados, etc. Además el intercambio de información proporciona una buena dosis de motivación y satisfacción para poderla transmitir luego a los alumnos.

6) El programa de actividades a realizar por los alumnos requiere *flexibilidad*. Es necesario disponer de un banco de actividades y recursos para ser utilizado según diferentes situaciones, no dando lugar a la improvisación.

En la planificación de la secuencia de las actividades hay que tener en cuenta muchos factores: la estructura de los conocimientos objeto de estudio, las ideas e intereses de los alumnos, el modo como aprenden, el medio en donde se desarrollará la enseñanza, los recursos con los que se cuenta, las ideas y maneras intuitivas de enseñar, etc. Por tanto, no puede pensarse en realizar actividades sueltas e improvisadas, sino en una cuidadosa secuencia de actividades que abarque el contenido del tema objeto de estudio.

Ahora bien, hay que ser conscientes del peligro de rigidez que implica el seguir una a una las actividades programadas. A veces ocurre que nuestros objetivos no coinciden con los que vislumbran los alumnos, o que estos no aprecian el hilo conductor que rige las actividades, o que las conclusiones a las que llegan no son las deseadas. En estos casos hay que modificar la secuencia y/o las actividades "sobre la marcha", durante el desarrollo de la clase. Esto implica disponer de retroalimentación en varios puntos del proceso, así como un "banco" de actividades alternativas donde, si se cree necesario, se pueda modificar la estrategia.

7) Como el conocimiento es construido por las personas a través de la interacción social y como toda tarea de investigación requiere el trabajo en equipo, la metodología didáctica favorecerá el *diálogo* y la *discusión* de los alumnos entre sí y de éstos con el profesor.

Que el alumno sea responsable de su aprendizaje no quiere decir que tenga que trabajar de modo individual. Los aprendizajes se originan en el aula (considerado como un

sistema complejo) fruto de la interacción entre todos los elementos que lo componen. El aula es un sistema vivo donde sus elementos se definen en función del intercambio y donde el sistema se configura como consecuencia de la participación activa y, en parte, autónoma, de los elementos que intervienen en la comunicación (Pérez, 1985).

Asimismo, dado que los estudiantes tendrán que abordar, para posibilitar la construcción de conocimientos, situaciones no familiares y abiertas (Solomon, 1987) interesa facilitar el diálogo de alumnos entre sí y de estos con el profesor, para así incrementar el nivel de participación y creatividad. El profesor debe jugar un papel activo centrando las intervenciones y realizando, en el momento adecuado, una síntesis aclaratoria. Deberá conocer y utilizar, según las circunstancias, diferentes técnicas: recoger las conclusiones en la pizarra y comentarlas, pedir opinión a un alumno y matizarla, completarla o criticarla, tomar datos de la bibliografía y analizarlos, etc.

Este modelo como ya hemos indicado pretende ser coherente con la metodología científica. Por ello habrá que considerar el carácter social y colectivo del desarrollo científico. La idea de una investigación completamente autónoma no tiene sentido. Las investigaciones responden cada vez más a estructuras institucionalizadas (Gil, 1983) en las que el trabajo de los individuos es orientado por líneas de investigación establecidas y por el trabajo del equipo en que se insertan. Este carácter colectivo de las investigaciones apoya la idea de estructurar la clase en pequeños grupos.

El trabajo en grupos no limita la actuación del estudiante al papel de receptor pasivo de información, sino que por el contrario, al tener que conversar y discutir, tiene que explicar sus conceptos y defenderlos, lo que le lleva a participar en su propio proceso de aprendizaje. Los programas que posibilitan una mayor participación de los estudiantes, aportando ideas propias y discutiéndolas con sus compañeros, son los más adecuados ya que favorecen la construcción del conocimiento propio y no la aceptación de la ciencia ya hecha (Harlen, 1989).

El conocimiento, al ser una construcción social, sólo se considera como tal cuando es aceptado socialmente, ya que los individuos tienden a aceptar lo que es asumido por la comunidad (Solomon, 1987; Paez, 1987). Como en nuestro caso la comunidad es el grupo-clase, es lógico pensar que estos debates en el aula ayuden a modificar las propias ideas de los alumnos.

En consecuencia, es muy importante para el aprendizaje significativo, que los alumnos se impliquen en el aprendizaje y, para que este sea fructífero deben intercambiar puntos de vista, informaciones y conclusiones con los compañeros y el profesor.

8) Concebir la evaluación como un instrumento de *impulso de aprendizaje*, integrada dentro del proceso de enseñanza/aprendizaje y coherente con el mismo.

La propuesta didáctica que propugnamos para producir el aprendizaje significativo, enmarcada en una orientación constructivista, exige transformaciones en casi todos los aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje. Por ejemplo, en la propia concepción del currículum, en la manera de estructurar el trabajo en el aula para que los alumnos reconstruyan sus conocimientos, en la forma de realizar los trabajos prácticos, en el modo de abordar los problemas, en el proceso de introducir los conceptos, y en la propia evaluación.

Una de las conclusiones de la conferencia de investigadores sobre la enseñanza de las ciencias celebrada en la Universidad de Berkeley en 1986 fue advertir que "ningún cambio en el currículo podrá darse por consolidado si no se ve acompañado de un cambio similar en la evaluación" (Linn, 1987). Ello exige que deba existir coherencia entre las modificaciones que se realicen en el proceso de enseñanza/aprendizaje y las actividades de evaluación.

La evaluación habitual está destinada primordialmente a constatar si los alumnos han adquirido los conocimientos transmitidos en clase. No se utiliza para favorecer un aprendizaje significativo dado que no contempla todos los aspectos (conceptuales, metodológicos y actitudinales) que ese aprendizaje entraña. Sólo se realiza al final del proceso para calificar al alumno, con lo cual no se utiliza para impulsar el aprendizaje del mismo.

Desde una óptica constructiva no se encuentra funcionalidad a una evaluación consistente en el enjuiciamiento "objetivo" y terminal de la labor realizada por el alumno; por el contrario, el profesor, en su papel de guía/motivador/investigador no se dedicará a valorar positiva o negativamente al alumno sino que le planteará actividades que permitan

al propio alumno autoevaluarse y seguir avanzando en el proceso de construcción de conocimientos.

Atribuir a la evaluación el papel de instrumento de aprendizaje implica romper con bastantes de las concepciones de sentido común sobre la propia evaluación, modificando sus características. Alonso, Gil y Martínez-Torregrosa (1992) formulan las siguientes:

- Si la evaluación ha de constituir un instrumento de impulso, es necesario que los alumnos perciban las situaciones de evaluación como ocasiones de ayuda real, generadora de expectativas positivas y útil para tomar conciencia de sus propios avances, dificultades y necesidades.

- Si ha de favorecer un aprendizaje significativo, deberá contemplar todos los aspectos (conceptuales, metodológicos y actitudinales) que ese aprendizaje entraña, lo que supone romper con su habitual reducción a aquello que permite una medida más fácil y rápida: la memorización repetitiva de los "conocimientos teóricos" y su aplicación, igualmente repetitiva, a ejercicios de mera aplicación.

- Si ha de ser aceptada como algo necesario para alcanzar los objetivos asumidos, deberá referirse a criterios claros de progreso establecidos a partir de lo que hoy sabemos sobre el aprendizaje científico.

- Si aceptamos, una vez más, que la cuestión esencial no es averiguar quiénes son capaces de hacer las cosas bien y quiénes no, sino lograr que la mayoría consiga hacerlas bien; es decir, si aceptamos que el papel fundamental de evaluación es incidir positivamente en el proceso de aprendizaje, es preciso concluir que ha de tratarse de una evaluación realizada a lo largo de todo el proceso, integrando las actividades evaluadoras en el mismo con el fin de dar retroalimentación adecuada y adoptar, en su caso, las medidas correctoras necesarias (Colombo, Pesa y Salinas, 1986).

II.4.3 ESTRUCTURACIÓN.

A partir de los objetivos y principios expuestos, así como del análisis de los modelos didácticos presentados, hemos diseñado una propuesta metodológica para la enseñanza de

la Física, con el objeto que sea tenida en consideración en las aulas universitarias. Al igual que en la mayoría de los modelos anteriores la secuencia de la enseñanza de cualquier concepto, principio o procedimiento está estructurada en tres fases.

A) Fase de *planificación*.

El punto de partida de este modelo se basa en la constatación de que la adquisición de aprendizajes significativos requiere que los alumnos sientan la necesidad de encontrar respuesta a algo, o dicho en otras palabras, que para que se produzca el aprendizaje el sujeto debe estar interesado y tener la inquietud de aprender.

El tema que se va a tratar conviene presentarlo lo más ameno posible, quizás mediante alguna actividad de carácter audiovisual o mediante un relato histórico donde se muestre su importancia y evolución. Hay que relacionarlo con los conocimientos que posee el alumno pues cualquier objeto nuevo de conocimiento no debe quedar demasiado alejado de las construcciones cognitivas que ya tiene el individuo, aunque tampoco debe parecer demasiado semejante a las mismas, pues no surgiría la motivación para aprender.

En esta fase los alumnos deben explicitar las ideas y modelos explicativos que ya tienen en relación con el tema de estudio. Este interesa que esté pactado, lo cual implica que el alumno se ha comprometido a profundizar sobre el mismo. Además de motivarles, la afloración de las ideas constituirá un buen instrumento de diagnóstico para el profesor, que le permitirá elegir y orientar situaciones problemáticas.

Cómo técnicas para hacer aflorar las ideas se utiliza la enseñanza socrática, la discusión entre los alumnos, la resolución de problemas en pequeños grupos, la observación-discusión basada en el trabajo de laboratorio, la utilización de cuestionarios adecuados, etc.

Las situaciones problemáticas que se presentan a los alumnos deben poner en duda sus ideas utilizando contraejemplos y generando conflictos cognitivos. Asimismo deben de ser motivantes, relacionadas con los objetivos perseguidos, con el entorno más próximo y adaptadas a la capacidad y conocimientos del alumno y/o grupo, para que así puedan formular sus propias hipótesis y propuestas de resolución.

Las situaciones problemáticas deben estar enmarcadas en un contexto teórico coherente con los conocimientos que se pretende que los alumnos construyan. Estos deben participar en la concreción del problema. El profesor presentará una situación general objeto de estudio y los alumnos formularán preguntas, señalarán aquello que les resulte de interés, imaginarán posibles soluciones, y por tanto, participarán en la modelización y concreción del problema. De este modo los estudiantes van haciendo suyos los problemas, los adaptan a su zona de desarrollo potencial (Vygotsky, 1989) y se sienten motivados e interesados en su resolución.

B) Fase de construcción.

Para facilitar la formulación de hipótesis se fomentará la discusión y contrastación de pareceres. Aunque en un principio serán ambiguas e imprecisas, servirán de hilo conductor para interpretar las observaciones, los resultados experimentales y la información recogida. Sin ellas la utilización de los instrumentos de investigación resulta carente de interés intelectual para el alumno y favorece su utilización mecánica. Por otra parte, la formulación de conjeturas será el elemento básico que facilite la construcción de ideas y conceptos interpretativos al forzar la coherencia entre lo que se piensa y la objetivización buscada a través de los instrumentos de investigación.

Esta es la fase más compleja pues los alumnos deben de comprobar sus hipótesis. Muchas veces necesitarán nuevos conceptos para interpretar la situación planteada. Un agente externo debe encargarse de proveer nuevos términos y definiciones, bien mediante presentación explícita del profesor o a través de materiales de instrucción. Estos deben de estar expertamente planificados por el profesor o un equipo de investigación. La eficacia o idoneidad de las actividades de aprendizaje que se seleccionen, constituye un problema empírico y su evaluación requiere investigación. Por tanto, concebimos el aprendizaje del mismo modo que Driver y Oldham (1986) como el *programa de actividades a través de las cuales dichos conocimientos y habilidades pueden ser construidos y adquiridos*.

En la elaboración de los materiales de instrucción es indispensable establecer una secuencia clara de las actividades basada en las posibilidades reales de investigación que ofrece la realidad de los centros universitarios. Por desgracia, debido a la masificación de

la gran mayoría de los centros y a la rigidez de la organización, no se pueden utilizar todos los métodos, recursos y técnicas de investigación que se deseen.

No debe confundirse el término *actividad* con lo que hace el alumno. En muchos momentos el profesor debe introducir conceptos desconocidos por el alumno y demostrar su potencial explicativo para que luego puedan ser utilizados en la resolución de las situaciones-problema. Asimismo en actividades de introducción a la temática, de recapitulación, de comentario de informes, etc. el grado de participación del profesor es quizás superior al del alumno.

Al final de esta fase, tras la información adicional suministrada al alumno para que evalúe sus conjeturas, deben haber conceptualizado y estructurado los conocimientos implicados en la investigación. Se habrán cometido muchos errores hasta llegar a una conclusión clara, pero aprender esto es básico para avanzar más eficazmente en investigaciones posteriores. El aprendizaje mediante este método se basa en el ensayo y error progresivo, que permite la construcción de verdades aproximativas, que adquieren siempre una validez relativa. Los errores, con su consiguiente reelaboración, son fundamentales para la maduración de las estructuras intelectuales y la formulación de conceptos. El resultado de esta fase será, por tanto, la *construcción de* los nuevos conceptos, principios o procedimientos por los alumnos.

Durante todo el proceso de resolución del problema la confrontación de las ideas, pareceres, técnicas y estrategias empleadas, experiencias realizadas, hipótesis verificadas, etc. permite comprender que los conocimientos no son algo elaborado individualmente, sino fruto de un esfuerzo colectivo cuyo camino no siempre está claro y fácil.

C) Fase de *ampliación y aplicación*.

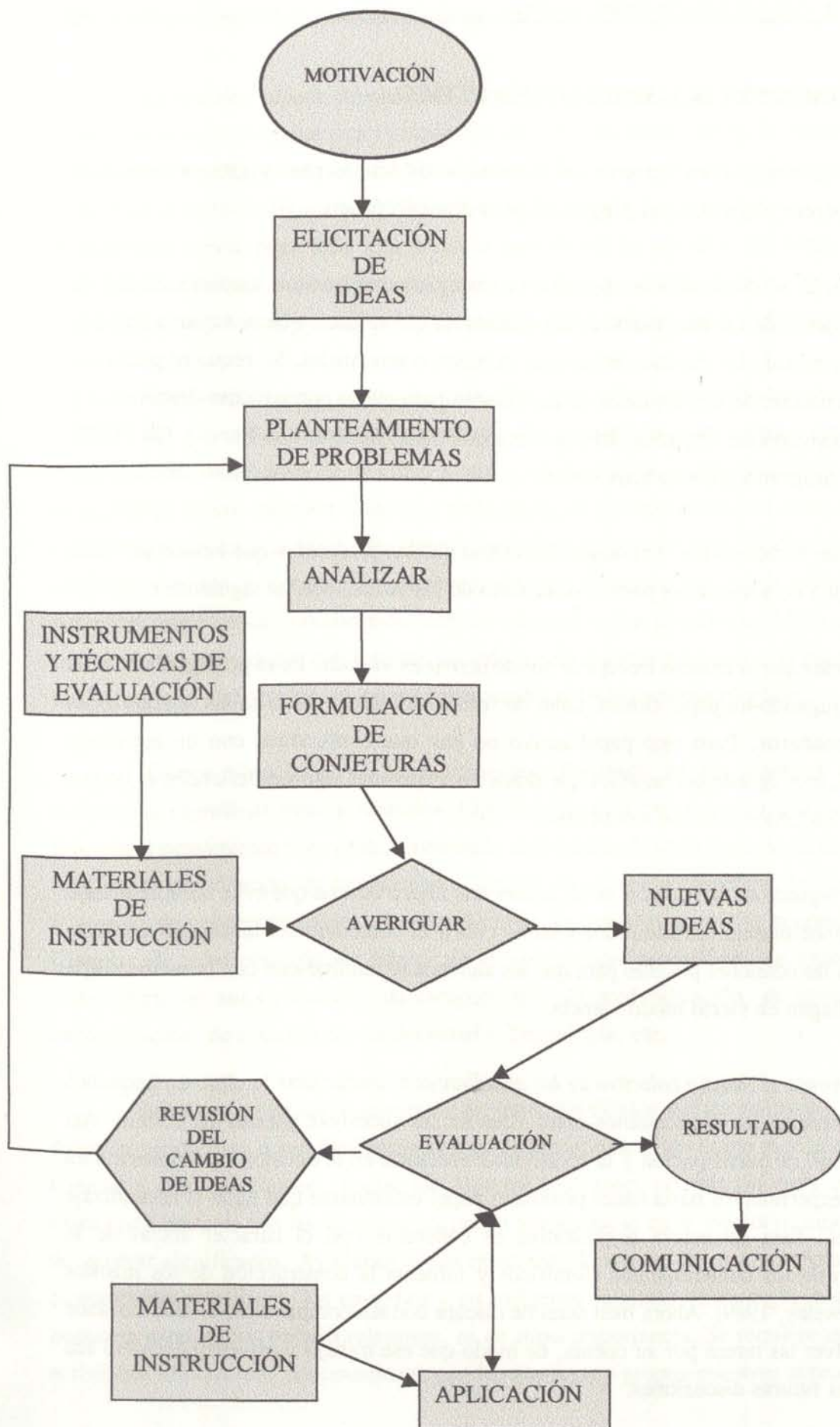
El objetivo de esta fase es favorecer y extender el significado de los conocimientos construidos. Se debe dar a los estudiantes oportunidades para usar las nuevas ideas de varias formas y hacer así que adquieran confianza en las mismas. Se plantearán nuevos problemas, algunos de los cuáles requerirán información sobre nuevos conceptos, reiniciándose de nuevo el ciclo de aprendizaje. También se deben diseñar actividades que muestren la utilidad

de los principios físicos y contribuyan a que los alumnos vean la relevancia y utilidad de lo aprendido.

Al final del proceso se debe hacer reflexionar a los alumnos sobre cómo han cambiado sus ideas, realizando comparaciones entre su pensamiento actual y el inicial. Conviene, por tanto, recoger en algún lugar las ideas primitivas para así poder observar la evolución de las mismas tras la instrucción. La utilización de diagramas conceptuales (Novak y Gowin, 1988) antes y después de la temática a tratar es una buena técnica para que el alumno pueda reflexionar sobre su grado de aprendizaje.

El ciclo puede ser utilizado con grados diversos de estructuración y directividad por parte del profesor. La interacción entre alumno-alumno y alumno-profesor son de suma importancia en el proceso de aprendizaje. Así en muchos momentos del proceso proponemos el trabajo en grupos de tres o cuatro alumnos.

En el diagrama de la página siguiente hemos representado la sintaxis de las fases.



PLANIFICACIÓN

CONSTRUCCIÓN

AMPLIACIÓN Y APLICACIÓN

II.4.4. CONCRECIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO.

La puesta en práctica y concreción del modelo didáctico anterior gira en torno a un elemento concreto y directriz: *el programa-guía de actividades*.

Potenciar el desarrollo de técnicas o estrategias, emplear una amplia variedad de recursos o disponer de un buen banco de actividades no quiere decir que se vayan a emplear de modo discriminado las técnicas, estrategias, recursos o actividades. Se requiere planificar una buena secuenciación del conjunto de actividades para evitar aprendizajes desconexos y procesos excesivamente erráticos. Esto se consigue elaborando lo que Furió y Gil (1978) han llamado programa-guía de actividades.

Algunas características y ventajas, detectadas por los profesores que hemos utilizado programas-guía de actividades para el desarrollo de los temas, son las siguientes:

- *Permite que el alumno trabaje de forma activa en el aula.* Es el protagonista de su aprendizaje, jugando un papel central tanto de forma individual como en las interacciones con sus compañeros. Pero este papel activo no hay que confundirlo con un activismo manipulativo, propugnado por aquellos que desde un empirismo ingenuo defienden el origen sensorial de los conocimientos científicos.

- *El conjunto de actividades ha de poseer una lógica interna* que evite un aprendizaje inconexo (conocimiento estructurado) y ha de cubrir el contenido del tema aprovechando además todas las ocasiones posibles para que los alumnos se familiaricen con la metodología científica y hagan en cierto modo ciencia.

- *Favorece el trabajo colectivo de los estudiantes* al estructurar la clase en pequeños grupos y potenciar los intercambios entre ellos en las sucesivas puestas en común. Así aumenta el nivel de participación y la creatividad necesaria en la emisión de hipótesis o en el diseño de experimentos hasta hacer posible el papel estimulante que tiene el aprendizaje entre iguales. Esta estructura organizativa es coherente con el carácter social de la construcción de los conocimientos científicos y fomenta la construcción de los mismos (Astolfi y Develay, 1989). Ahora bien antes de discutir con sus compañeros, el alumno debe intentar resolver las tareas por su cuenta, de modo que ese trabajo y esfuerzo personal sea la base de las futuras discusiones.

- *Es flexible y abierto* dependiendo de las circunstancias concretas del aula. Aunque la secuencia de actividades está cuidadosamente prevista atendiendo a la epistemología e historia de la Física y a las últimas aportaciones de las teorías de aprendizaje siempre cabe modificar o sustituir alguna actividad por otra. En ningún caso se improvisa por falta de preparación previa pues todo está previsto para cubrir la totalidad del tema objeto de estudio. El profesor conoce los objetivos de cada actividad y dispone de actividades alternativas, con lo cuál en cualquier momento puede cambiar una o varias actividades.

- *Está sometido a una continua evaluación.* El profesor contrasta durante la clase la validez de las actividades programadas. Un programa-guía puede experimentar modificaciones sustanciales de un curso a otro y, en definitiva, su elaboración se convierte en un trabajo de investigación didáctica y pedagógica, lo que hoy se conoce como un trabajo de investigación en la acción. Este trabajo fundamental ha permitido mejorar la secuencia didáctica y evitar, por ejemplo, problemas de que el alumno no vea la utilidad de los conceptos introducidos, o la conexión entre los mismos, o que no perciba el hilo conductor, introduciendo actividades que resaltan las informaciones más relevantes, la confección de resúmenes o la elaboración de mapas conceptuales o UVEs epistemológicas.

- Ofrece situaciones de aprendizaje que *fomentan en los alumnos el uso de estrategias cognitivas ricas y variadas.* El programa-guía potencia el trabajo creativo y favorece el pensamiento divergente. Contempla actividades de todo tipo: de motivación, de relación, de explicitación, de familiarización con la metodología científica, de introducción y manejo de conceptos físicos, de introducción de modelos o teorías aceptadas por la Ciencia, de confrontación de ideas, de diferenciación progresiva, de reconciliación integradora, de autoevaluación, de recuperación, de profundización, de aplicación, de metacognición, de relación con la Sociedad y Tecnología, etc.

- Permite cambiar las funciones del profesor. De difusor del aprendizaje o transmisor de información pasa a ser *facilitador del aprendizaje*, entendido como mediador entre la Ciencia y los estudiantes. Todos los alumnos necesitan orientación para enlazar su experiencia presente con las ideas que ya tienen almacenadas en la memoria, cuando tratan de generar significados. Ayudarles a que relacionen lo que se les está enseñando con las proposiciones apropiadas, los episodios y las imágenes ya almacenadas en la memoria, y a pensar en experiencias pasadas relevantes, es de suma importancia. Se requiere un profesor activo que interaccione continuamente con los alumnos y grupos mientras aprenden.

- *Favorece las discusiones y puestas en común.* El profesor anima a los alumnos a que verbalicen sus concepciones, las concreten y las defiendan. De esta forma no sólo construyen nuevos conocimientos sino también mejoran la capacidad de expresión, cuyas deficiencias acostumbran a ser señaladas por los profesores, pero sin que se tomen medidas para solucionarlas. La labor del profesor en las puestas en común, realizadas después de cada actividad, debe ser muy activa, centrando las intervenciones y realizando en el momento oportuno una reformulación globalizadora. Estará atento al trabajo de los grupos y pasará a la discusión general en el momento oportuno. No tiene que esperar a que finalicen su trabajo todos los grupos. Las puestas en común servirán para que unos grupos completen el trabajo, otros acepten los errores cometidos, y sobre todo para establecer las conclusiones y así poder enfocar las actividades siguientes.

- *Contempla actividades que permiten al alumno autoevaluarse y autorregularse en su aprendizaje.* Desde una posición que considera la evaluación como instrumento de impulso del aprendizaje hay que fomentar la implicación de los estudiantes en un proceso de construcción de significados, propiciando situaciones de *feed-back* entre los alumnos y sus propios procesos de aprendizaje.

En el programa-guía se incluyen actividades de evaluación que permiten a los alumnos autorregularse. Por ejemplo: a) situaciones que remiten a otras actividades ya realizadas con anterioridad, con el fin de mostrar a los alumnos sus avances; b) proponer a los estudiantes que corrijan y critiquen una interpretación errónea proporcionada por el profesor; c) revisar situaciones problemáticas resueltas por un compañero.

Las actividades de evaluación deben ser ricas y variadas incidiendo en aspectos no contemplados habitualmente en los exámenes tradicionales. Por ejemplo plantear actividades: a) que pongan énfasis en el manejo significativo de conceptos, b) que se centren en aspectos metodológicos, c) que incidan sobre las relaciones Ciencia/Tecnología/Sociedad, d) que se centren en aplicaciones de los conceptos en contextos diferentes a los trabajados en clase, e) que propongan planteamientos cualitativos de problemas.

- *Potencia la relación entre el profesorado.* La elaboración y aplicación de los programas-guía es un trabajo colectivo de investigación/acción. Aunque el profesor sea un innovador, e incluso un experimentador, de forma aislada no puede desempeñar el papel necesario de investigador. Necesita estar en contacto con otros colegas para comunicarles

sus hallazgos y recibir sus comentarios. Gran parte del éxito de la experimentación didáctica presupone compartir los hallazgos sobre las ideas y los modos de pensar de los alumnos y discutir sobre sus éxitos o fracasos. Cuando los profesores son verdaderos investigadores e intercambian sus descubrimientos, el nivel de profesionalidad crece (Freyberg y Osborne, 1982), al margen que aumenta la efectividad de la tarea docente (Stenhouse, 1982).

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

En el capítulo primero atendiendo al problema planteado revisamos la literatura referida a las características y eficacia en el aprendizaje que presentan diferentes modelos didácticos con un enfoque constructivista puestos en práctica durante los últimos diez años y, en base a la misma, formulamos los objetivos de nuestra investigación. El primero de dichos objetivos, el diseño del modelo didáctico con carácter constructivista, para aplicar en la enseñanza de la Física del primer curso universitario, ha sido conseguido tal y como lo describimos en el capítulo segundo. Para alcanzar el resto de los objetivos, es decir la evaluación de los aprendizajes necesitamos diseñar un modelo de investigación educativa acorde con ellos. Esta tarea la enfocamos en el presente capítulo.

III.1 FORMULACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

De cara a la evaluación de la metodología didáctica construida en el capítulo anterior y antes de formular las hipótesis correspondientes, es conveniente precisar algunas circunstancias contextuales muy importantes como el nivel educativo en que va a desarrollarse y la duración del período instruccional.

Dado que existe escasa investigación relativa a este tema en el nivel universitario hemos elegido el primer curso de Facultad para realizar esta experimentación. Debido a que nuestro campo de trabajo es la Didáctica de la Física, hemos elegido esta disciplina como objeto de análisis. El bloque temático seleccionado es el *Electromagnetismo* que se imparte en el primer curso de la diplomatura de Ciencias Químicas, única titulación de carácter experimental que se imparte en la Universidad de Burgos. Esta materia es muy rica en aprendizajes de los diferentes ámbitos: conceptuales, procedimentales y actitudinales. La duración del período instructivo lo hemos fijado en trece semanas, a razón de cinco clases semanales, y cuatro sesiones más de tres horas en el laboratorio; es decir, el tiempo total de la experimentación es de 77 horas. Es un tiempo bastante amplio, pero creemos que es necesario para que los alumnos se familiaricen con la nueva metodología.

Es de esperar, por las investigaciones realizadas hasta ahora y por los propios fundamentos teóricos, que la metodología experimental produzca mejores rendimientos en todos los aprendizajes que se miden. El cambio conceptual conjeturamos que será mayor el

producido por la metodología constructivista que precisamente tiene en cuenta las concepciones y estructuras conceptuales de los alumnos e intentará ampliarlas y enriquecerlas para que el alumno sepa aplicarlas a situaciones o contextos determinados de la forma apropiada. Por último, no deben esperarse interacciones de los tratamientos con las variables sexo e inteligencia general; en cambio, probablemente surjan interacciones respecto a los estudios previos de la Física de COU, ya que creemos que durante la experiencia se activarán los esquemas creados en dicho curso, y el grado de razonamiento mecánico que emplea el alumno.

En consecuencia, formulamos las siguientes hipótesis:

HIPÓTESIS 1:

Después del período instructivo existirá un mayor rendimiento en los alumnos que recibieron sus clases con la metodología con enfoque constructivista, y orientada al cambio conceptual y metodológico, diseñada en el capítulo II que los que la recibieron con la metodología expositiva tradicional, respecto a las siguientes variables:

- a) *Aprendizaje de hechos, conceptos y principios.*
- b) *Aprendizaje de habilidades intelectuales: procedimientos específicos y habilidades en la metodología de la investigación científica.*
- c) *Aprendizaje de estrategias cognitivas en la resolución de problemas.*
- d) *Aprendizaje global.*

HIPÓTESIS 2:

No existen interacciones entre las dos metodologías y las variables sexo y nivel de inteligencia general del alumno; por contra, sí que se producen interacciones con los estudios previos de Física y el grado de razonamiento mecánico que dispone el alumno.

HIPÓTESIS 3:

Existen diferencias significativas a favor del grupo experimental en cuanto al nivel de superación de las concepciones previas erróneas.

III.2 SELECCIÓN DE LAS VARIABLES EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL.**III.2.1 Variables independientes.**

Se definen como aquellos factores que son medidos, manipulados o seleccionados por el investigador para determinar sus relaciones con un fenómeno observado.

La variable independiente, en esta investigación, es la *metodología didáctica* que se ha empleado con cada uno de los dos grupos de alumnos tratados.

Una de ellas es la tradicional (expositiva habitual) que se viene desarrollando en la mayoría de los Centros y tiene las siguientes características:

- El profesor expone o presenta el cuerpo de conocimientos (temas, lecciones) establecido por la comunidad científica. Es decir, el docente transmite información a los alumnos (Belendez, 1996).

- Se introducen los conceptos de forma meramente operativa (Gil, 1991).

- Se prioriza los hechos, conceptos y leyes frente, a los procedimientos y a las actitudes hacia la Ciencia, ya que se entiende que teniendo los primeros se llega a tener los últimos. En consecuencia, se considera que es fundamental el dominio conceptual previo para abordar, en algún momento, los conocimientos procedimentales y de actitudes hacia la Ciencia (Fernández et al., 1997).

- Las prácticas de laboratorio se realizan para confirmar lo desarrollado por la mente de los científicos, presentando una visión deformada del trabajo científico. A veces sólo desarrollan destrezas manipulativas en lugar de constituir un ejercicio para el pensamiento

sistemático. Frecuentemente son asistidas por ayudantes, estando desconectadas del desarrollo en el aula de las leyes o teorías implicadas. (Gil, 1991).

- Se resuelven problemas numéricos para aplicar las leyes, conceptos, etc. a situaciones particulares. Casi siempre son simples ejercicios repetitivos que distan mucho de lo que debe entenderse por problema (Gil, 1991).

- Se interacciona poco con los alumnos y casi nunca se produce comunicación entre ellos. Se limitan a tomar apuntes de lo que expone el profesor, mostrándose -en general- con una actitud pasiva (Belendez, 1996).

- Normalmente no se tienen en cuenta las ideas previas de los alumnos ni sus características (Driver, 1991).

- Se enseña la Física poniendo más énfasis en describir lo que sabemos que cómo sabemos; se da más importancia a contestar preguntas que a decidir que preguntas deben hacerse; se enseña la Física más como una antología de logros que como el trabajo de la inteligencia humana que busca refinar la comprensión que tiene el hombre sobre el mundo cultural (Dehart, 1969)..

- Se considera que la formación científica escolar se basa en ir enseñando poco a poco todo el saber de la Física y se estudian los conceptos de una dificultad progresiva en complejidad (Fernández et al., 1997).

La otra metodología es la que hemos descrito en el capítulo anterior. Se ha diseñado, elaborado y desarrollado en el aula con el fin de estudiar sus repercusiones en los tipos de aprendizajes científicos de los sujetos señalados en el punto anterior.

En adelante, denominaremos:

GRUPO A: al que sigue la metodología experimental con enfoque constructivista.

GRUPO B: al que sigue la metodología expositiva comúnmente utilizada en la mayoría de las aulas universitarias.

III.2.2 Variables dependientes.

Siguiendo a Tuckman (1972), las variables dependientes son aquellos factores, observados y medidos para estudiar los efectos de la variable independiente.

Al manipular una variable metodológica, lo que se pretende es conseguir una mejora de la enseñanza. Son muchos los factores que pueden modificarse con un proceso determinado de aprendizaje, pero nosotros hemos centrado nuestros esfuerzos en controlar el rendimiento del alumno en los aspectos ya señalados en las hipótesis emitidas. Por consiguiente, las variables dependientes son:

- Rendimiento en el aprendizaje de hechos, conceptos y principios al acabar la experimentación.
- Rendimiento en el aprendizaje de procedimientos específicos y habilidades en la metodología de la investigación científica al acabar la experimentación.
- Rendimiento en el aprendizaje de estrategias cognitivas para la resolución de problemas al acabar la experimentación.
- Rendimiento en el aprendizaje global al acabar la experimentación.
- Cambio conceptual (cantidad de concepciones previas erróneas superadas positivamente) al acabar la experimentación.

III.2.3 Variables intervinientes.

Martín Rodríguez (1977) define a este tipo de variables como disposiciones conductuales que median entre las variables dependientes y las independientes. El control del experimentador en este tipo de variables resulta complejo en muchas ocasiones.

Consideramos que las variables intervinientes, extrañas o contextuales más importantes que podrían influir sobre las variables dependientes son:

- Duración del período instructivo.
- Edad de los alumnos.
- Sexo de los estudiantes.
- Características familiares de los sujetos: estudios y profesión del padre.
- Nivel de conocimientos previos de los alumnos.
- Capacidad intelectual de los estudiantes.
- Grado de razonamiento mecánico.
- Unidad temática objeto de estudio.
- Características de los profesores: preparación científica y didáctica, personalidad, actitud hacia la Física y hacia la enseñanza e investigación.
- Práctica o entrenamiento de la metodología experimental por parte de los profesores y alumnos.
- Influjo de las pruebas aplicadas.
- Mortandad experimental.

III.3 ELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS.

La hipótesis primera trata de estudiar los efectos de la metodología didáctica que hemos diseñado. Precisamos disponer de dos grupos, uno experimental (A) para poder ensayar los materiales elaborados sobre la enseñanza del electromagnetismo, y otro grupo de control (B) que siga la enseñanza expositiva tradicional.

Por razones de carácter administrativo y organizativo de los Centros Universitarios es difícil formar dos grupos de alumnos al azar. Sería deseable elegir por sorteo entre todos los grupos de las Universidades de España o de una concreta una muestra representativa para ensayar la metodología experimental, pero ello implicaría que los profesores seleccionados la aceptaran, la asumieran como algo propio, la experimentarían de forma natural y, finalmente, evaluarían el aprendizaje de los alumnos mediante una gran cantidad de pruebas preparadas al efecto. Evidentemente, la colaboración que solicitamos es muy alta y resulta muy problemático conseguir profesores dispuestos a participar en la investigación.

La única posibilidad disponible, para realizar los ensayos, fue a través de un profesor de la Facultad de Ciencia y Tecnología de los Alimentos y Ciencias Químicas de la Universidad de Burgos que imparte la asignatura de Física General a alumnos de primero de Ciencias Químicas. Por tanto, la muestra está condicionada por el profesorado disponible y queda establecida de la siguiente manera:

GRUPO A (Metodología experimental con enfoque constructivista): 40 alumnos matriculados por primera vez en la asignatura de Física General de primero de Ciencias Químicas durante el Curso 1995-96.

GRUPO B (Metodología expositiva tradicional): 60 alumnos matriculados por primera vez en la asignatura de Física General de primero de Ciencias Químicas durante el Curso 1995-96.

El tamaño total de la muestra es, por tanto, de 100 alumnos. A pesar que la selección de los alumnos en cada uno de los grupos se ha efectuado al azar, para mayor seguridad en su homogeneidad hemos creído conveniente evaluar su **grado de homogeneidad** respecto a las principales variables que pueden influir en la eficacia del proceso instructivo: sexo, profesión y estudios del padre, estudios de Física en COU, nivel de inteligencia (factor "g"), razonamiento mecánico y grado de concepciones previas.

III.4 INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y SISTEMAS DE CONTROL.

III.4.1 Análisis de la homogeneidad inicial de los grupos.

Antes de comenzar el período instructivo se pasaron los siguientes instrumentos (pruebas y cuestionarios) de medida:

VARIABLES	INSTRUMENTO DE MEDIDA
Sexo	Cuestionario
Estudios del padre	Cuestionario
Profesión del padre	Cuestionario
¿Ha cursado la Física de COU?	Cuestionario
Nivel de razonamiento mecánico	Test MR, forma L de la batería DAT
Factor "g" (Inteligencia y aptitud cognitiva)	Test de Cattell (escala 3, forma A)
Nivel de concepciones previas	Prueba elaborada <i>ad hoc</i>

Para averiguar el sexo, si cursó Física en COU y los estudios y la profesión del padre se elaboró un cuestionario.

Para la variable *estudios del padre* se establecieron seis categorías:

1. Ninguno o Primarios sin terminar.
2. Primarios completos.
3. Bachillerato elemental o asimilados.
4. Bachillerato superior o asimilados.
5. Diplomado Universitario o asimilado (estudios profesionales de grado medio, peritajes, magisterios, aparejadores).
6. Licenciado, Ingeniero, Arquitecto, E. Superior Militar o asimilado.

Para la variable *profesión del padre* se establecieron cuatro categorías, atendiendo a los siguientes criterios:

1. Profesión alta:

Directores, gerentes, personal titulado.

Empresarios no agrarios con asalariados.

Profesionales liberales con o sin asalariados.
Directores y gerentes de empresas no agrarias.
Alto personal administrativo, comercial y técnico.
Gerentes, jefes y oficiales de Fuerzas Armadas.

2. Profesión media/alta:

Empresarios agrarios con asalariados.
Empresarios no agrarios sin asalariados.
Personal intermedio administrativo, comercial y técnico.
Suboficiales y profesionales de las Fuerzas Armadas.

3. Profesión media/baja:

Empresarios agrarios sin asalariados.
Resto del personal administrativo, comercial y técnico.
Contramaestres y capataces no agrarios.
Obreros cualificados y especialistas no agrarios.
Jefes de grupo del sector servicios.

4. Profesión baja:

Resto de trabajadores agrarios.
Obreros no agrarios sin especialización.
Resto de trabajadores del sector servicio.
Personal activo no clasificado anteriormente.
Amas de casa.
Desempleados.
No activos.

El Test de Razonamiento Mecánico ha sido extraído de la clásica batería *Tests de Aptitudes Diferenciales (DAT)* (Bennett y otros, 1972) adaptada al español por el Departamento de Psicología de TEA. En este test de Comprensión Mecánica cada elemento presenta una situación físico-mecánica, ilustrada gráficamente, junto con unas indicaciones

verbales que permiten el planteamiento del problema. Utiliza mecanismos simples, familiares a la mayoría de los sujetos, que no requieren conocimientos específicos. El test aprecia la comprensión de principios físicos y mecánicos en las situaciones de la vida ordinaria. Este tipo de aptitud puede considerarse como un aspecto de la inteligencia si ésta se define en términos suficientemente amplios.

El test de factor "g", en su escala 3, de Cattell (Cattell y Cattell, 1977) es un instrumento psicométrico adecuado para medir la inteligencia individual por medio de cuatro pruebas no verbales que reducen al máximo la influencia de otros factores como la fluidez verbal, el nivel cultural, el clima educacional, etc.

Los test anteriores tienen una reconocida validez y fiabilidad. Esos instrumentos suministran información sobre las aptitudes de los sujetos, desde una perspectiva más general de las potencialidades intelectivas. También pueden servir como un criterio externo para validar las pruebas que se desarrollen para la evaluación del aprendizaje.

La prueba *ad hoc* para medir el nivel de conocimientos previos consta de 178 ítems (verdadero-falso). Se ha realizado en dos partes. La primera con 140 ítems y la segunda con 38 ítems. Su fiabilidad estudiada con el coeficiente KR_{20} de Kuder-Richardson es buena. El coeficiente KR_{20} total es de 0,9654, siendo 0,9259 y 0,8621 para cada una de las dos partes por separado.

A continuación se muestran, para las variables cualitativas, los resultados de la prueba "ji-cuadrado" (χ^2):

χ^2 codificado X_1 : Grupo Y_1 : Sexo		GRUPO COMPLETO			
Sumario de Estadísticos					
DF:	1				
Ji-Cuadrado Total:	0,694 $p=0,4047$	TABLA DE FRECUENCIA			
Estadístico G	0,692		CONTROL	EXPERIM.	TOT.
Coefic. de Contingencia	0,083	VARON	22	18	40
Phi:	0,083	HEMBRA	38	22	60
χ^2 con corrección:	0,391 $p=0,532$	TOTAL	60	40	100

χ^2 codificado X_1 : Grupo Y_2 : Sexo		<i>GRUPO REDUCIDO</i>			
Sumario de Estadísticos					
DF:	1				
Ji-Cuadrado Total:	0,565 $p=0,4524$	TABLA DE FRECUENCIA			
Estadístico G	0,565		CONTROL	EXPERIM.	TOT.
Coefic. de Contingencia	0,085	VARON	15	17	32
Phi:	0,086	HEMBRA	25	20	45
χ^2 con corrección:	0,27 $p=0,6031$	TOTAL	40	37	77

χ^2 codificado X_1 : Grupo Y_1 : FísicaCOU		<i>GRUPO COMPLETO</i>			
Sumario de Estadísticos					
DF:	1				
Ji-Cuadrado Total:	0,181 $p=0,6708$	TABLA DE FRECUENCIA			
Estadístico G	0,179		CONTROL	EXPERIM.	TOT.
Coefic. de Contingencia	0,042	VARON	10	8	18
Phi:	0,043	HEMBRA	50	32	82
χ^2 con corrección:	0,025 $p=0,8734$	TOTAL	60	40	100

χ^2 codificado X_1 : Grupo Y_2 : FísicaCOU		<i>GRUPO REDUCIDO</i>			
Sumario de Estadísticos					
DF:	1				
Ji-Cuadrado Total:	0,026 $p=0,4524$	TABLA DE FRECUENCIA			
Estadístico G	0,026		CONTROL	EXPERIM.	TOT.
Coefic. de Contingencia	0,018	VARON	7	7	14
Phi:	0,018	HEMBRA	33	30	63
χ^2 con corrección:	0,018 $p=0,8931$	TOTAL	40	37	77

χ^2 codificado.		GRUPO COMPLETO				
X_1 : Grupo completo.		TABLA DE FRECUENCIA				
Y_1 : Estudios del padre			CONTROL	EXPERIM.	TOT.	
Sumario de Estadísticos		NINGUNO	8	2	10	
DF:		5	PRIMARIOS	18	13	31
Ji-Cuadrado Total:	7,129 $p=0,2112$	BACH.ELEM.	7	12	19	
Estadístico G:	7,266	BACH. SUP.	13	8	21	
Coef. de contingencia:	0,259	DIPLOMADO	11	4	15	
V de Cramer:	0,268	LICENCIADO	2	1	3	
		TOTAL	59	40	100	

χ^2 codificado.		GRUPO COMPLETO				
X_1 : Grupo completo.		TABLA DE FRECUENCIA				
Y_1 : Estudios del padre			CONTROL	EXPERIM.	TOT.	
Sumario de Estadísticos		NINGUNO	5	1	6	
DF:		5	PRIMARIOS	13	12	25
Ji-Cuadrado Total:	9,487 $p=0,0912$	BACH.ELEM.	5	12	17	
Estadístico G:	-	BACH. SUP.	8	8	8	
Coef. de contingencia:	0,331	DIPLOMADO	9	3	12	
V de Cramer:	0,351	LICENCIADO	0	1	1	
		TOTAL	40	37	77	

χ^2 codificado.		GRUPO COMPLETO				
X_1 : Grupo completo.		TABLA DE FRECUENCIA				
Y_2 : Profesión del padre.			CONTROL	EXPERIM.	TOT.	
DF:		3	BAJA	8	2	10
Ji-Cuadrado Total:	4,976 $p=0,1736$	MED/ BAJA	27	27	54	
Estadístico G:	5,144	MED/ALTA	20	9	29	
Coef. de contingencia:	0,219	ALTA	4	2	6	
V de Cramer:	0,224	TOTAL	59	40	99	

χ^2 codificado.		GRUPO REDUCIDO			
		TABLA DE FRECUENCIA			
X _i : Grupo reducido.			CONTROL	EXPERIM.	TOT.
Y _j : Profesión del padre.					
DF:	3	BAJA	5	1	6
Ji-Cuadrado Total:	6,774 $p=0,0795$	MED/ BAJA	17	26	43
Estadístico G:	7,058	MED/ALTA	15	8	23
Coef. de contingencia:	0,284	ALTA	3	2	5
V de Cramer:	0,297	TOTAL	40	37	77

Como se observa, no se aprecian diferencias significativas al 95% entre los grupos y puede asegurarse que los mismos son homogéneos respecto a las variables: sexo, Física de COU, estudios del padre y profesión del padre.

Para contrastar la homogeneidad de los grupos respecto de las tres variables cuantitativas, realizamos el Análisis de la Varianza (un factor). Los resultados obtenidos son los siguientes:

ANOVA (1 factor)		GRUPO COMPLETO		VARIABLE: FACTOR "g"	
Análisis de la Varianza					
FUENTE:	DF:	Suma Cuadr.	Media Cuad.	F-test	Probabil.
Intergrupos	1	0,06	0,06	7,990 E-5	$p=0,9929$
Intragrupos	98	73594,05	750,96		
TOTAL	99	73594,11			

Modelo II estimado entre componentes de la varianza: -15,644

GRUPO:	N:	Media:	Desv. Típica	Error típico
CONTROL	60	65,35	26,302	3,396
EXPERIMEN.	40	65,3	28,991	4,584
TOTAL	100	65,33	27,265	2,726

Comparación	Difer. Media	Fisher PLSD	Scheffe F-test:	Dunnett t:
CONTROL/EXPERIM	0,05	11,102	7,990 E-5	0,009

ANOVA (1 factor)		GRUPO REDUCIDO		VARIABLE: FACTOR "g"	
Análisis de la Varianza					
FUENTE:	DF:	Suma Cuadr.	Media Cuad.	F-test	Probabil.
Intergrupos	1	827,173	827,173	1,152	$p=0,2866$
Intragrupos	75	53854,099	718,055		
TOTAL	76	54681,273			

Modelo II estimado entre componentes de la varianza: 2,839

GRUPO:	N:	Media:	Desv. Típica	Error típico
CONTROL	40	71,425	24,168	3,821
EXPERIMEN.	37	64,865	29,38	4,83
TOTAL	77			

Comparación	Difer. Media	Fisher PLSD	Scheffe F-test:	Dunnnett t:
CONTROL/EXPERIM	6,56	12,177	1,152	1,073

ANOVA (1 factor)		GRUPO COMPLETO		VARIABLE: RAZ. MECAN.	
Análisis de la Varianza					
FUENTE:	DF:	Suma Cuadr.	Media Cuad.	F-test	Probabil.
Intergrupos	1	28,602	28,602	0,054	$p=0,8173$
Intragrupos	98	52212,958	532,785		
TOTAL	99	52241,56			

Modelo II estimado entre componentes de la varianza: -10,504

GRUPO:	N:	Media:	Desv. Típica	Error típico
CONTROL	60	32,183	22,087	2,851
EXPERIMEN.	40	33,275	24,511	3,875
TOTAL	100	32,62	22,972	2,297

Comparación	Difer. Media	Fisher PLSD	Scheffe F-test:	Dunnnett t:
CONTROL/EXPERIM	-1,092	9,351	0,054	0,232

ANOVA (1 factor) GRUPO REDUCIDO VARIABLE: RAZ. MECAN.					
Análisis de la Varianza					
FUENTE:	DF:	Suma Cuadr.	Media Cuad.	F-test	Probabil.
Intergrupos	1	1,069	1,069	0,002	$p=0,9654$
Intragrupos	75	42403,451	565,379		
TOTAL	76	42404,519			

Modelo II estimado entre componentes de la varianza: -14,68

GRUPO:	N:	Media:	Desv. Típica	Error típico
CONTROL	40	33,425	22,882	3,618
EXPERIMEN.	37	33,169	24,711	4,063
TOTAL	77			

Comparación	Difer. Media	Fisher PLSD	Scheffe F-test:	Dunnett t:
CONTROL/EXPERIM	0,236	10,805	0,002	0,043

ANOVA (1 factor) GRUPO COMPLETO VARIABLE: CONCEPC. PRETEST					
Análisis de la Varianza					
FUENTE:	DF:	Suma Cuadr.	Media Cuad.	F-test	Probabil.
Intergrupos	1	8415,015	8415,015	0,807	$p=0,3711$
Intragrupos	98	1021361,425	10422,055		
TOTAL	99	1029776,44			

Modelo II estimado entre componentes de la varianza: -41,813

GRUPO:	N:	Media:	Desv. Típica	Error típico
CONTROL	60	71,85	92,59	11,953
EXPERIMEN.	40	90,575	114,976	18,179
TOTAL	100	79,34	101,989	10,194

Comparación	Difer. Media	Fisher PLSD	Scheffe F-test:	Dunnett t:
CONTROL/EXPERIM	-18,725	41,358	0,807	0,899

ANOVA (1 factor) GRUPO REDUCIDO VARIABLE: CONCEPC. PRETEST					
Análisis de la Varianza					
FUENTE:	DF:	Suma Cuadr.	Media Cuad.	F-test	Probabil.
Intergrupos	1	14349,883	14349,883	1,303	$p=0,2572$
Intragrupos	75	825657,207	11008,763		
TOTAL	76	840007,091			

Modelo II estimado entre componentes de la varianza: 86,914

GRUPO:	N:	Media:	Desv. Típica	Error típico
CONTROL	40	68,325	91,318	14,439
EXPERIMEN.	37	95,649	117,903	19,383
TOTAL	77			

Comparación	Difer. Media	Fisher PLSD	Scheffe F-test:	Dunnnett t:
CONTROL/EXPERIM	-27,324	47,68	1,303	1,142

Estos resultados indican que no se aprecian diferencias significativas entre los dos grupos.

III.4.2 Instrumentos de medida de las variables dependientes.

Para valorar los efectos producidos por la variable independiente, es decir de la metodología, se han diseñado instrumentos de recogida de datos que evalúan las variables dependientes. Asimismo hemos diseñado pruebas *ad hoc* relativas a los tres dominios que nos preocupan:

PEC1 y PEC2: Pruebas sobre *hechos, conceptos y principios* a la mitad y al final de la experimentación.

PRP1 y PRP2: Pruebas sobre *procedimientos algorítmicos y habilidades intelectuales en el ámbito de la investigación científica* a la mitad y al acabar la experimentación.

PTP1 y PTP2: Pruebas sobre *habilidades o estrategias cognitivas en la resolución de problemas* a la mitad y al acabar la experimentación.

PPR1 y PPR2: Pruebas sobre concepciones previas.

El **cambio conceptual** se mide también al acabar la experimentación y se obtiene calculando la diferencia en las frecuencias de aciertos en los ítems de las pruebas sobre concepciones previas.

III.4.3 Control de las variables intervinientes.

El modo en que controlamos las variables intervinientes, señaladas en el punto III.2.3, es el siguiente:

La duración del período instructivo para los dos grupos es el mismo: 77 horas. El grupo de control tiene 65 sesiones teóricas de una hora en la clase y cuatro sesiones de tres horas en el laboratorio. El grupo experimental desarrolla todas las sesiones en el laboratorio.

El profesor es el mismo para los dos grupos de alumnos. Tiene una amplia experiencia en el desarrollo de la metodología expositiva habitual. Sigue la metodología con enfoque constructivista con el grupo A y la expositiva tradicional con el grupo B. En consecuencia la variable profesor queda bastante controlada. El profesor ha sido formado y entrenado previamente, conoce con detalle todos los materiales didácticos preparados para el grupo experimental, e incluso ha realizado el ensayo de los mismos el Curso anterior cuando se realizó la prueba Piloto que permitió ajustar todas las actividades y pruebas. En cuanto a los alumnos, ninguno de los que participaron en el desarrollo de la metodología constructivista había practicado previamente con metodologías didácticas semejantes a ésta.

Los cuestionarios y pruebas que realizan los alumnos para evaluar los aprendizajes son los mismos. Realizaron las evaluaciones en las mismas fechas y con los mismos condicionantes de tiempo, espacio, clima, etc.

El sexo, la edad, las características familiares, la capacidad intelectual, el grado de razonamiento mecánico y el nivel de conocimientos previos han sido controlados, tal y como ha quedado reflejado en el punto anterior, al resultar homogéneos los dos grupos.

La elección del núcleo temático objeto de estudio, común para los dos grupos, es el relativo al bloque temático del *electromagnetismo* que normalmente se imparte en la asignatura de Física General en el primer curso de la licenciatura de Ciencias Químicas.

La mortandad experimental ha quedado controlada al realizar dos análisis diferentes de la homogeneidad de los grupos. Por un lado, se han considerado los sujetos totales que participaron en la investigación y, por otro lado, sólo los estudiantes que poseían datos en todas las variables que se estudian.

SEGUNDA PARTE

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS.

Establecimos, en la primera parte, el diseño de esta investigación, cuyo objetivo principal es comparar los rendimientos producidos por la metodología con enfoque constructivista construida en el tema II con los que produce la expositiva habitual. Su desarrollo requiere, en primer lugar, la elaboración de materiales didácticos acordes con la metodología; en segundo lugar, su puesta en práctica con alumnos universitarios; y, en tercer lugar, la evaluación de los resultados. Nos centraremos a continuación en la primera etapa.

Atendiendo al modelo didáctico construido, uno de los aspectos importantes que hay que considerar para la planificación de una unidad o módulo de aprendizaje son las ideas, creencias o concepciones más frecuentes que tienen los alumnos sobre el tema objeto de estudio. De este análisis didáctico y científico de los contenidos dependerá el diseño de las unidades didácticas. Seguidamente exponemos el procedimiento y los resultados obtenidos del análisis realizado sobre las ideas o esquemas conceptuales que sobre el electromagnetismo tienen nuestros alumnos que acceden a la universidad.

IV.1 IDEAS DE NUESTROS ALUMNOS SOBRE EL ELECTROMAGNETISMO.

La existencia de esquemas conceptuales espontáneos es difícilmente cuestionable. Son fruto de las experiencias cotidianas vividas por los alumnos, tanto de sus experiencias físicas, como de las sociales, por ejemplo, del lenguaje (Llorens y otros, 1989). Los profesores deben ser conscientes de ello y su función consistirá en presentar estrategias de enseñanza/aprendizaje apropiadas para modificar las concepciones erróneas de los alumnos hacia los conocimientos científicos.

La literatura sobre errores conceptuales es muy extensa. En el punto I.4 realizamos un amplio resumen sobre las aportaciones más relevantes realizadas por diferentes autores en el campo del electromagnetismo. Los tópicos y fenómenos científicos tratados son muchos y sobre diferentes niveles de enseñanza, predominando los niveles básico y medio. La interpretación que los estudiantes hacen sobre el funcionamiento de circuitos eléctricos es el tema más estudiado. Sobre la interpretación de fenómenos electrostáticos también existen trabajos pero en menor medida. Sin embargo, sobre la interpretación de fenómenos

magnéticos y fenómenos que relacionan el magnetismo con la electricidad apenas existe alguna referencia.

Por nuestra parte hemos procurado obtener la máxima información posible sobre las ideas y dificultades de nuestros alumnos universitarios en el manejo significativo de una serie de conceptos electromagnéticos, modelos interpretativos de circuitos eléctricos, funciones que desempeñan los elementos característicos de los mismos, aplicación y utilidad de los tópicos científicos implicados en el tema seleccionado. Para ello hemos elaborado un cuestionario con 178 ítems de verdadero-falso. La mayoría de las preguntas proceden de investigaciones ya realizadas y, por tanto, con suficiente claridad en la formulación y en el contenido.

Para la interpretación de los fenómenos magnéticos y su relación con la electricidad, dado que no contamos apenas con información, elaboramos primero un cuestionario breve y abierto para obtener un cúmulo de ideas previas que luego nos servirían para incluirlas de forma más precisa en el cuestionario más amplio.

IV.1.1 CUESTIONARIO PARA AVERIGUAR LAS IDEAS DE LOS ESTUDIANTES SOBRE EL MAGNETISMO Y SU RELACIÓN CON LA ELECTRICIDAD.

Con objeto de identificar algunas ideas o concepciones que sobre la relación entre la electricidad y el magnetismo subyacen en la mente de los alumnos que acceden a la instrucción superior universitaria, así como su grado de interiorización preparamos una experiencia piloto en forma de consulta abierta. La prueba consistió en la contestación a seis preguntas presentadas en el cuestionario que aparece más abajo. Las cuestiones planteadas versan sobre las propiedades de los imanes, origen del campo magnético, interacciones entre la corriente eléctrica y el campo magnético, imantación y aplicaciones del electromagnetismo.

El cuestionario fue contestado en momentos diferentes por dos grupos de 38 y 40 estudiantes del primer curso de la Licenciatura de Ciencias Químicas de la Universidad de Burgos. El primer grupo respondió a las preguntas al comienzo del curso y el segundo grupo contestó al cuestionario después de haber cursado los temas de electrostática y electrocinética con la enseñanza expositiva habitual.

CUESTIONARIO PARA DETECTAR LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO.

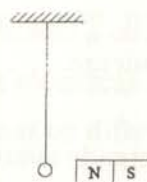
Cuestión 1: Indica las propiedades que conozcas de los imanes:

- a)
- b)
- c)
- d)

Cuestión 2: En la figura se representa un péndulo y un imán. Explica lo que ocurre sobre la bola del péndulo:

a) Si es de médula de saúco cargada positivamente.

b) Si es de hierro y está en estado neutro.



Cuestión 3: ¿Qué experiencia diseñarías para demostrar la relación entre fenómenos eléctricos y magnéticos?

Cuestión 4: ¿Cómo explicas el hecho de que una aguja magnética (brújula) señale siempre hacia el Norte?

Cuestión 5: Para cargar chatarra en un camión se suele utilizar una grúa que dispone de un electroimán.

a) Explica qué es un electroimán (su constitución) y por qué atrae a la chatarra.

b) Explica cómo se puede separar la chatarra del electroimán para depositarla en el camión.

Cuestión 6: Explica si se produce algún efecto cuando acercamos un imán a un conductor rectilíneo por el que circula una corriente eléctrica.

ESTADILLO PARA ANALIZAR EL CUESTIONARIO

- Item 1** Se valorará positivamente que se mencionen propiedades de los imanes como son: producir un campo magnético a su alrededor, atraer a los materiales ferromagnéticos y no a todos los metales, interactuar con cargas en movimiento o corrientes eléctricas, producir corrientes inducidas sobre circuitos eléctricos, imanar diferentes sustancias, existencia de polos perfectamente diferenciados, etc.
- Item 2** Se pretende averiguar si los estudiantes diferencian correctamente fenómenos electrostáticos de fenómenos magnéticos. Se valorará positivamente si señalan que un imán no actúa sobre cargas en reposo, que existe un tipo de sustancias (las ferromagnéticas) que son atraídas fuertemente por un imán y otras dos (las dúa y paramagnéticas) que son respectivamente atraídas y repelidas debilmente por un imán, que los campos magnéticos interactúan con cargas en movimiento.
- Item 3** Se pretende averiguar los fenómenos electromagnéticos más conocidos por los estudiantes. En ellos nos apoyaremos para motivarles y averiguar sus ideas sobre las interacciones eléctricas y magnéticas. Se valorará positivamente que señalen instrumentos o aparatos técnicos basados en fenómenos electromagnéticos.
- Item 4** Se pretende averiguar si los alumnos identifican a la Tierra como un imán que también tiene dos polos magnéticos separados a una enorme distancia. Se valorará positivamente si los estudiantes mencionan correctamente la posición de los polos tanto en el imán aguja de la brújula como en el imán Tierra.
- Item 5** Se pretende averiguar las ideas de los alumnos sobre el funcionamiento de un electroimán. Se valorará positivamente si señalan que al cerrar el circuito la corriente eléctrica imana al núcleo del electroimán y que éste es de un material metálico (hierro dulce) que se imanta y desimanta con facilidad.
- Item 6:** Se pretende averiguar si los estudiantes conocen el efecto que producen los materiales magnéticos sobre las cargas en movimiento. Se valorará positivamente si señalan algún instrumento o aparato que se base en este fenómeno.

Dada la naturaleza abierta de la consulta el espectro de respuestas es amplio. Por ello las dificultades de clasificación y análisis de las contestaciones es elevado; sin embargo sí encontramos una serie de características comunes con mayor o menor grado de amplitud que conviene mencionar y tener en cuenta en la instrucción de aprendizaje de la unidad didáctica.

Es de destacar, y así lo creíamos cuando pasamos el cuestionario a dos grupos diferentes, que las interpretaciones sobre los fenómenos electromagnéticos tratados, dadas por el grupo de alumnos que contestó al cuestionario después de que se hubiera desarrollado en clase los temas de electrostática y electrocinética, están directamente influenciadas por una inapropiada enseñanza de la electrostática.

Sus explicaciones sobre los efectos que produce el campo magnético son realizadas como si se tratara de un campo eléctrico. Consideran a los imanes y sustancias imantadas como si tuvieran excesos de cargas en los polos, atrayendo o repeliendo a cuerpos cargados en reposo según el tipo de carga. También predicen inducciones eléctricas en los metales para interpretar su atracción por un imán. En definitiva, confunden o no diferencian los dos tipos de campo: el magnético y el eléctrico.

Los alumnos que contestaron al cuestionario al comienzo de curso muestran respuestas pobres; no indican apenas interpretaciones sobre los fenómenos de atracción y relacionan los fenómenos magnéticos en menor medida que los fenómenos electrostáticos.

Todos los alumnos cumplieron el cuestionario en situación de examen (sin poderse comunicar entre ellos) durante una sesión cuya duración fue de cuarenta minutos. Es de reseñar que los estudiantes no tuvieron ninguna dificultad de comprensión respecto a como estaban formuladas las preguntas. El cuestionario fue validado previamente por cuatro profesores expertos en la materia.

El cuestionario fue corregido de acuerdo a la finalidad y criterios establecidos y que figuran en el estadillo presentado a continuación del cuestionario. Seguidamente presentamos las conclusiones obtenidas.

Respecto a las propiedades de los imanes, pregunta planteada en el ítem 1, se constata que la mayoría de los alumnos señalan que un imán crea un campo magnético a su

alrededor, que atrae a los metales (idea equivocada) y que tiene dos polos llamados Norte y Sur. Algunos indican que se orientan en una determinada dirección. Y muy pocos o ninguno apuntan que imanan a sustancias ferromagnéticas, interaccionan con cargas en movimiento o la posibilidad de producir corrientes inducidas en circuitos eléctricos.

De las respuestas al ítem 2 se extraen las siguientes conclusiones:

- Se considera que un imán es como una especie de gran dipolo, en donde en el polo *Norte* se encuentran concentradas (o existe un exceso) las cargas positivas y en el polo *Sur* las negativas. Así, responden que si se acerca un imán recto por uno de sus extremos a un péndulo cargado lo atraerá o lo repelerá dependiendo del tipo de carga (positiva o negativa) que tenga la bolita del péndulo y del extremo (Norte o Sur) del imán más próximo al péndulo.
- Existe una gran confusión entre campo eléctrico y campo magnético. Aunque los alumnos expresan que un imán crea a su alrededor un campo magnético, al predecir el o los efectos que produce un imán en situaciones concretas indican los que se crean debido a la existencia de un campo eléctrico y no magnético. Por ejemplo, se señala con mucha frecuencia que el polo norte de un imán atrae a un cuerpo o a una carga (en reposo) cargado negativamente y repele a uno cargado positivamente. Así mismo al explicar la atracción del hierro por un imán consideran que existe una inducción eléctrica en lugar de magnética; señalan que se produce en el hierro una redistribución de cargas; mayoritariamente colocan las negativas lo más próximas posible al polo Norte del imán. En consecuencia, se desconoce el fenómeno de *inducción magnética*.

Casi nunca, al explicar los efectos de un imán sobre cuerpos cargados o viceversa mencionan el estado de reposo o movimiento de las cargas. Conocen el efecto de una corriente eléctrica sobre una brújula pero no mencionan la existencia de cargas en movimiento. A veces se señala que el efecto de un imán sobre una carga es ponerla en movimiento.

- Se cree que las interacciones fuertes se producen entre imanes y toda sustancia metálica. Desconocen, en su mayoría, la existencia de sustancias día, para y ferromagnéticas y que existen interacciones fuertes con estas últimas y débiles con las día y paramagnéticas. Por tanto, se relaciona muy poco la carga eléctrica y la intensidad de corriente (aunque algo

más que la carga) con el concepto de campo magnético. La ausencia es casi total en la relación entre campo magnético y los efectos que produce sobre una carga eléctrica en movimiento o corriente eléctrica. A esta misma conclusión llegan otros autores utilizando otras técnicas (Pontes et al, 1991). Esto demuestra un deficiente nivel de aprendizaje sobre el origen del magnetismo que también se ha detectado en otras investigaciones (Colombo, 1990).

- Para explicar la interacción entre imanes y metales dan varias explicaciones:
 - a) Asocian al metal la doble polaridad del imán sin dar detalles.
 - b) Creen que el imán tiene en sí mismo una fuerza capaz de atraer cuerpos ("efecto mágico").
 - c) Estiman que hay un paso (transferencia) de carga del imán al hierro, produciéndose la interacción al estar los dos cargados. Esta concepción de la carga como un fluido que fluye con facilidad se la ha llamado "sustancialista" (Guisasola y Furió, 1991) y es un preconcepción cuyas raíces podrían estar en los modelos mecanicistas que proponían los científicos de la primera mitad del siglo XVIII.
 - d) Consideran, como ya se ha dicho, que se produce una redistribución de cargas en el hierro (orientación de los dipolos eléctricos), en lugar de la orientación de los dipolos magnéticos que son totalmente desconocidos.

En relación con el item 3 se puede señalar que:

- Hay un cierto conocimiento de experiencias sobre fenómenos electromagnéticos. El experimento de Oersted (15%), experiencias sencillas de inducción eléctrica -mover un imán en las proximidades de un circuito- (25%) y el electroimán (20%) son los más conocidos.

Estas experiencias, pueden servir como punto de partida en la secuencia didáctica pues pueden explicitar sus ideas al explicar los fenómenos que se producen. Asimismo, a través de ellas se pueden introducir los conceptos de campo magnético, inducción electromagnética, ferromagnetismo, imantación,...

- Un porcentaje elevado (30%) no menciona (desconoce) alguna experiencia o fenómeno que se relacione con estos hechos. Consideramos muy preocupante que un alumno, ya universitario, sea incapaz de realizar un posible diseño sobre cualquier cuestión que se le proponga. Este hecho pone en evidencia la escasa importancia que se atribuye a este aspecto clave en toda investigación científica. No se pretende que describan correctamente lo que ocurre en los experimentos pero sí que confeccionen diseños sencillos y susceptibles de ser realizados en el aula o laboratorio. Uno de nuestros objetivos de la asignatura consiste precisamente en potenciar una verdadera aplicación de la metodología científica, en donde aspectos claves y escasamente tenidos en cuenta como la emisión de hipótesis, planificación de diseños experimentales, confección de informes, etc. sean considerados en su justa medida.

De la interpretación de la cuestión formulada en el ítem 4 se extrae que la mayoría de los alumnos conocen que la Tierra es un gran imán, pero desconocen que cerca del polo norte geográfico se encuentra el sur magnético y que cerca del polo sur geográfico se encuentra el norte magnético.

Para explicar que una aguja magnética se orienta hacia el norte geográfico dan razones diversas, como las siguientes:

- Existe un potente imán en el Norte geográfico capaz de atraer a la aguja metálica de la brújula, aunque se encuentre muy lejos.
- Debajo de la aguja de la brújula existe un imán que es orientado por el imán Tierra. Es curiosa esta respuesta pues, a pesar de que en el enunciado se especifica que se trata de una aguja magnética, no parece creerlo el alumno. Se intuye, de esta respuesta, la dificultad que encuentran para comprender que una aguja pueda ser un imán (pueda estar imanada), quizás debido a su forma delgada y/o a su poco peso.

Sobre la constitución y funcionamiento de un electroimán solicitada en el ítem 5 los alumnos indican que se trata de un imán cargado al que se le ha enrollado un conductor por el que circula una corriente. No parecen darse cuenta que el núcleo del electroimán se imanta y desimanta con facilidad; creen que se trata de un imán permanente. Saben que la corriente eléctrica es fundamental para el funcionamiento, pero no parecen comprender que su función es imantar el núcleo.

En ningún caso se menciona la palabra *imantación* (o similar) del núcleo debido a la corriente y sin embargo se señala frecuentemente que el núcleo se carga y descarga al aplicar o quitar respectivamente la corriente. Algunos mencionan que la corriente induce un imán.

De nuevo explican la atracción de sustancias metálicas, como si se tratara de un fenómeno eléctrico suponiendo el imán cargado y una redistribución de cargas en la sustancia metálica (chatarra). Incluso, algunos atribuyen a la chatarra carga de diferente tipo que la del electroimán.

Por último, en el ítem 6 se constata un desconocimiento casi total del efecto que produce un imán sobre una corriente. Sin embargo, el efecto contrario es relativamente conocido. Parece aconsejable, por tanto, introducir primero el efecto que produce una corriente eléctrica sobre un imán y después el efecto que produce un imán sobre una corriente o carga en movimiento.

Con estas conclusiones extraídas del análisis del cuestionario preparamos 38 nuevos ítems, ahora con respuestas verdadero/falso, que se corresponden con los números 20, 21, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40 del cuestionario global que presentamos en las páginas siguientes.

IV.1.2 CUESTIONARIO PARA AVERIGUAR LAS IDEAS DE LOS ESTUDIANTES SOBRE EL ELECTROMAGNETISMO.

Teniendo en cuenta los resultados de la revisión bibliográfica realizada en el punto I.4 y las conclusiones extraídas de las respuestas a las preguntas presentadas en el punto IV.1.1 elaboramos un extenso cuestionario con 178 ítems de respuesta verdadero-falso. El objetivo que perseguimos es conocer en qué medida presentan nuestros alumnos las ideas o concepciones señaladas en los apartados mencionados. El cuestionario se ha diseñado con ítems de sólo dos opciones para facilitar la respuesta del alumno al concentrar su atención sobre los aspectos particulares que nos interesan.

CUESTIONARIO PARA AVERIGUAR LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

1) Indicar si las siguientes proposiciones, relacionadas con la corriente eléctrica, son verdaderas (V) o falsas (F):

- La corriente eléctrica es un movimiento o flujo de cargas (Ejm.: electrones) ().
- La corriente eléctrica se mide con un voltímetro ().
- La corriente eléctrica es una forma de energía ().
- La corriente eléctrica es el número de electrones que pasan por la sección de un hilo conductor cada segundo ().

2) En las figuras se representan dos circuitos eléctricos. Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F):

- Sólo brilla la bombilla de la fig. 1 ().
- Sólo brilla la bombilla de la fig. 2 ().
- No brilla ninguna bombilla ().
- Las dos bombillas brillan ().

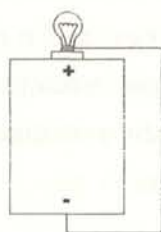


Fig 1

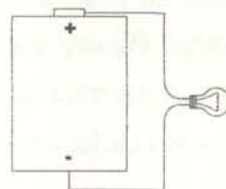


Fig 2

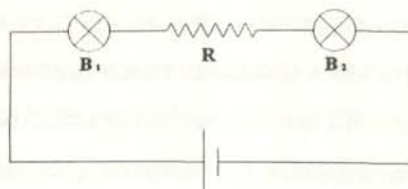
3) Indica si son VERDADERAS (V) o FALSAS (F) las siguientes afirmaciones referidas a un circuito eléctrico.

- La corriente eléctrica, o sea los electrones, que circulan por un circuito provienen de la pila ().
- En una pila hay almacenada energía, la cual se consumirá en los aparatos eléctricos conectados al circuito con el paso del tiempo ().
- Los electrones que circulan por un circuito se consumen en las resistencias ().
- La corriente eléctrica que circula por un circuito consiste en un conjunto de electrones que se mueven con la misma velocidad ().
- Una pila eléctrica es capaz de mover los electrones que se encuentran en los conductores de un circuito eléctrico ().

4) En el circuito de la figura las bombillas son iguales.

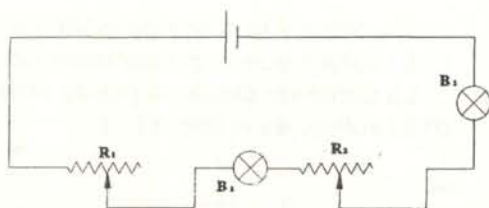
Si aumenta la resistencia R , decide si son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes proposiciones:

- La bombilla B_1 lucirá igual que antes ().
- La bombilla B_2 lucirá menos que antes ().
- Las dos bombillas B_1 y B_2 lucen igual y las dos menos que antes ().



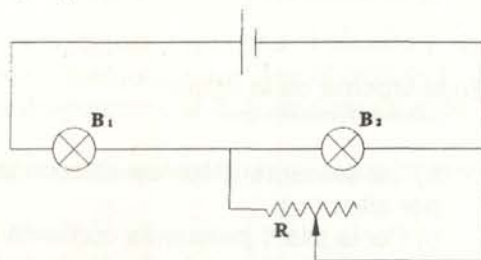
5) Contestar si son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes cuestiones. Si en el circuito de la figura las bombillas son iguales:

- Al aumentar la resistencia R_2 la bombilla B_1 luce igual que antes y la B_2 menos ().
- Al aumentar la resistencia R_2 las bombillas B_1 y B_2 lucen igual pero menos que antes ().
- Al aumentar la resistencia R_1 las bombilla B_1 y B_2 lucen menos que antes, y B_1 luce algo más que B_2 ().
- Al aumentar la resistencia R_1 las bombillas B_1 y B_2 lucen igual pero menos que antes ().



6) En el circuito de la figura las bombillas son iguales. Si aumenta la resistencia R , decide si son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes proposiciones:

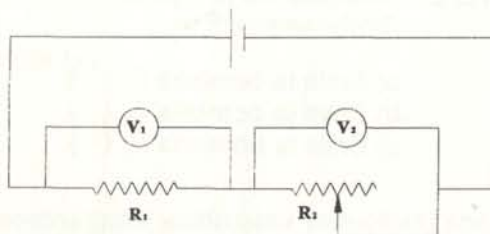
- La bombilla B_1 lucirá igual que antes y la B_2 más ().
- Las bombillas B_1 y B_2 lucirán menos que antes ().
- La bombilla B_1 lucirá menos que antes y la B_2 más ().
- La bombilla B_1 lucirá más que antes y la B_2 menos ().



7) Si aumenta el valor de R_2 en el circuito de la figura:

(Contestar verdadero o falso)

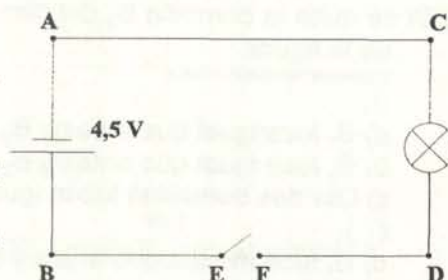
- El voltímetro V_1 permanece igual y V_2 disminuye ().
- Los dos voltímetros V_1 y V_2 aumentan ().
- Los dos voltímetros V_1 y V_2 disminuyen ().
- El voltímetro V_1 disminuye y V_2 aumenta ().



8) La d.d.p. entre los puntos e y f de la figura:

(Contestar verdadero o falso)

- Es cero cuando el interruptor está abierto ().
- Es 4,5 V cuando el interruptor está abierto ().
- Depende de la resistencia de la bombilla cuando está abierto ().
- Depende de la resistencia de la bombilla cuando está cerrado ().



9) Las siguientes frases relacionan la corriente eléctrica y el voltaje. Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F):

- El voltaje y la corriente eléctrica se presentan siempre juntos ().
- El voltaje puede presentarse sin una corriente eléctrica ().
- La corriente eléctrica puede presentarse sin un voltaje ().
- El voltaje es energía ().

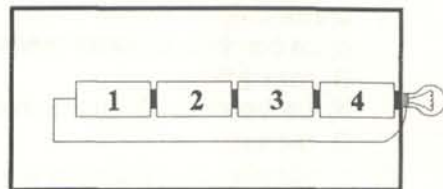
10) Una bombilla está conectada a una pila. La bombilla luce. Indica si las siguientes frases son verdaderas (V) o falsas (F):

- La bombilla consume una parte de la corriente eléctrica ().
- Por la bombilla circula la corriente eléctrica más despacio ().
- La bombilla tiene dos bornes (puntos de conexión), por uno (cualquiera de ellos) entra la corriente eléctrica y por el otro sale ().
- La bombilla toma parte de la energía de la corriente eléctrica ().
- La bombilla es una resistencia ().

11) En la linterna de la figura:

(Contestar verdadero o falso)

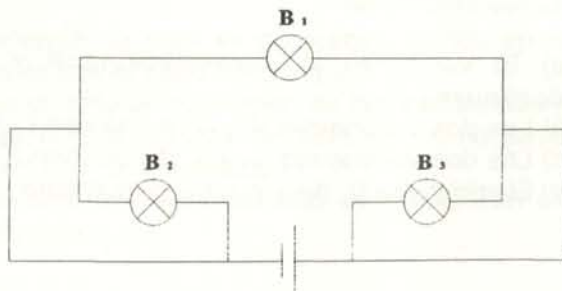
- La corriente eléctrica sale de las pilas, no pasa por ellas ().
- Por la pila 1 pasa más corriente que por la 4 ().
- Por la pila 4 pasa más corriente que por la 1 ().
- Pasa la misma corriente por todas las pilas ().



12) En el circuito de la figura:

(Contestar verdadero o falso)

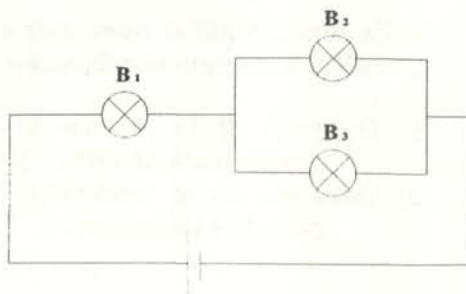
- Brilla la bombilla B_1 ().
- Brilla la bombilla B_2 ().
- Brilla la bombilla B_3 ().



13) Si se quita la bombilla B_3 del circuito de la figura:

(Contestar verdadero o falso)

- B_1 luce igual que antes y B_2 menos ().
- B_1 luce igual que antes y B_2 más ().
- Las dos bombillas lucen igual que antes ().
- B_1 luce menos que antes y B_2 más ().



14) Si tenemos dos cables, una bombilla y una pila, y te pedimos que los conectes de forma que la bombilla dé luz. ¿Cuál o cuáles de los seis diagramas siguientes representa una conexión adecuada?:

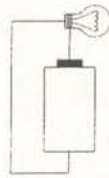
(Rodear con un círculo las opciones correctas)



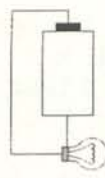
(a)



(b)



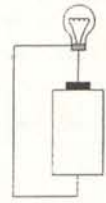
(c)



(d)



(e)



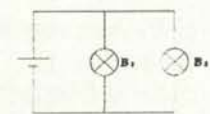
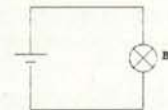
(f)

15) Contesta con verdadero (V) o falso (F) sobre lo que piensas de una pila ideal:

- Una pila entrega la misma corriente eléctrica cualquiera que sea el circuito ().
- Una pila proporciona la misma d.d.p. eléctrica cualquiera que sea el circuito ().
- Una pila contiene las cargas eléctricas que proporciona al circuito cuando está cerrado ().
- Una pila proporciona la misma energía eléctrica a los electrones cualquiera que sea el circuito ().

16) En los dos esquemas eléctricos de al lado todos los elementos (pilas y bombillas) son idénticos. Señala si las frases siguientes son verdaderas (V) o falsas(F):

- Las d.d.p.s. medidas en los bornes de las bombillas B_1 y B_2 son iguales ().
- La d.d.p. medida en los bornes de la bombilla B_1 es menor que la medida entre los bornes de B ().
- La bombilla B_1 brilla menos fuerte que la bombilla B ().
- Las tres bombillas B_1 , B_2 y B_3 brillan igual ().



17) En los esquemas eléctricos de al lado, todos los elementos (pila, voltímetro, bombillas) son idénticos. Señala si las frases siguientes son verdaderas (V), falsas(F):

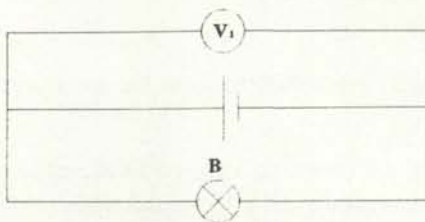


fig 1

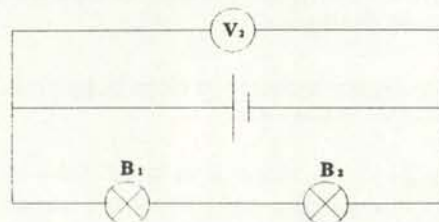
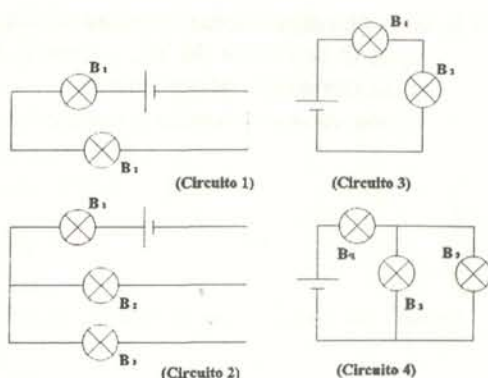


fig 2

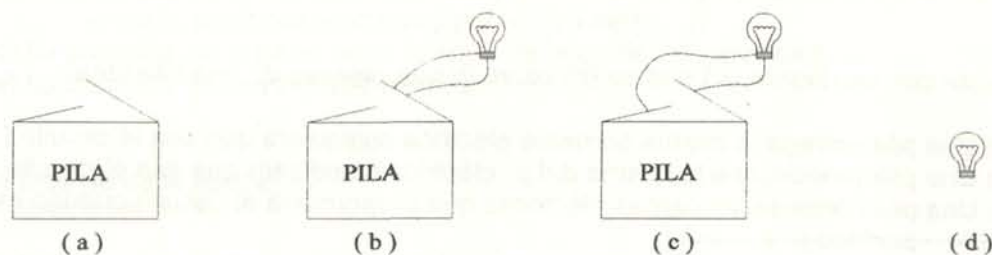
- Las diferencias de potenciales (d.d.p.s.) entre B_1 y entre B_2 son iguales ().
- El voltímetro V_1 y el V_2 marcan lo mismo ().
- Las bombillas B_1 y B_2 brillan igual que la B ().
- Las bombillas B_1 y B_2 brillan más fuerte que la B ().

18) En los circuitos 1 y 3 de la figura, donde las bombillas son iguales, se añade una tercera bombilla B_3 idéntica a las otras y en paralelo con la bombilla B_2 (circuitos 2 y 4). Decide si son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes proposiciones:

- La bombilla B_1 del circuito 1 brilla menos que la B_1 del circuito 2 ().
- La bombilla B_1 del circuito 3 brilla menos que la B_1 del circuito 4 ().



19) Observa los cuatro dibujos A, B, C y D y decide si las frases siguientes son verdaderas (V) o falsas (F):

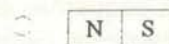


- La bombilla brilla sólo en la figura C ().
- Existe corriente eléctrica en la figura B ().
- Hay tensión eléctrica en las figuras A, B y C ().

20) En la figura se representa un péndulo y un imán. Si la bola del péndulo es de madera cargada positivamente:

(Contestar verdadero o falso)

- El imán atrae a la bola del péndulo ya que está con carga + ().
- El imán repele a la bola del péndulo ya que está con carga + ().
- En la bola actúa una gran fuerza al inducirse dipolos magnéticos ().
- En la bola actúa una pequeña fuerza al inducirse dipolos magnéticos ().
- La bola no se mueve ya que aunque está cargada es de madera ().



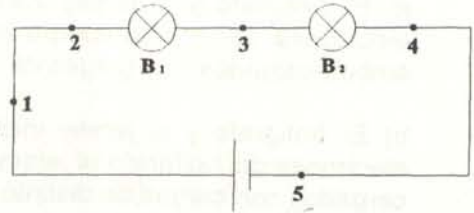
21) Si en la figura anterior la bola del péndulo es de hierro y está en estado neutro (sin carga):

(Contestar verdadero o falso)

- El imán atrae a la bola del péndulo porque se produce una redistribución de las cargas, situándose las negativas próximas al norte del imán y las positivas al otro lado de la bola ().
- El imán repele a la bola del péndulo porque se produce una redistribución de las cargas, situándose las positivas próximas al norte del imán y las negativas al otro lado de la bola ().
- La bola se mueve porque se inducen dipolos magnéticos en la bola de hierro ().
- El imán atrae a la bola del péndulo sin que se redistribuyan las cargas en la bola ().

22) En el circuito de la figura las dos bombillas son iguales y los cables de conexión *no tienen resistencia*. Decide si son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes proposiciones:

- La intensidad en 1 es *menor* que en 2 ().
- La intensidad en 2 es *mayor* que en 3 ().
- La intensidad en 3 es *igual* que en 4 ().
- La intensidad en 4 es *igual* que en 5 ().
- El brillo de la bombilla B_1 es *igual* que el de la B_2 ().

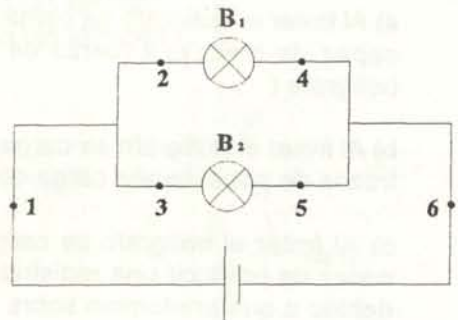


- El potencial en la sección 1 es *mayor* que en la 2 ().
- El potencial en la sección 2 es *mayor* que en la 3 ().
- El potencial en la sección 3 es *igual* que en la 4 ().
- El potencial en la sección 4 es *igual* que en la 5 ().
- El potencial en la sección 5 es *mayor* que en la 1 ().

23) En el circuito de la figura las bombillas son iguales y los cables de *resistencia nula*. Si la intensidad que circula por la sección 1 es de un amperio:

(Contestar verdadero o falso)

- En 2 la intensidad es medio amperio ().
- En 3 la intensidad es medio amperio ().
- En 4 la intensidad es un poco menos de medio amperio ().
- En 5 la intensidad es medio amperio ().
- En 6 la intensidad es un poco menos de un amperio ().

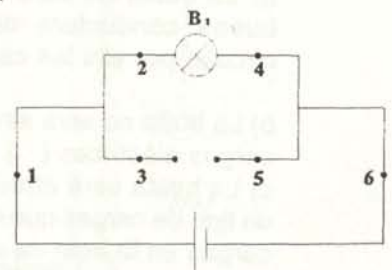


- La d.d.p. entre 1 y 2 es cero voltios ().
- La d.d.p. entre 2 y 3 es mayor de cero voltios ().
- La d.d.p. entre 2 y 4 es mayor de cero voltios ().
- La d.d.p. entre 3 y 5 es menor de cero voltios ().
- La d.d.p. entre 4 y 5 es igual a cero voltios ().
- La d.d.p. entre 5 y 6 es mayor de cero voltios ().
- La d.d.p. entre 6 y 1 es menor de cero voltios ().
- El brillo de B_1 es *igual* que el de B_2 ().
- El brillo de la bombilla B_1 de este circuito es *menor* que el de la bombilla B_1 del circuito del ítem anterior ().

24) Si en el circuito de la figura anterior se funde la bombilla B_2 :

(Contestar verdadero o falso)

- La intensidad en 1 es un amperio ().
- La intensidad en 2 es medio amperio ().
- La intensidad en 3 es cero amperio ().
- La intensidad en 4 es un poco menor de medio amperio ().
- La intensidad en 5 es medio amperio ().
- La intensidad en 6 es medio amperio ().
- La d.d.p. entre 1 y 6 es *mayor* que cuando lucía B_2 ().
- La energía consumida por la pila es *menor* que cuando lucía B_2 ().
- La energía consumida por la bombilla B_1 es *menor* que cuando lucía B_2 ().



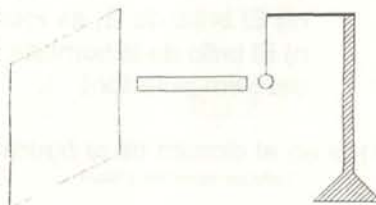
25) Al frotar un bolígrafo de plástico con tu jersey de lana, el bolígrafo queda cargado. Este fenómeno se explica debido a que: (Contestar verdadero o falso)

- a) El bolígrafo y el jersey inicialmente tienen cargas y al frotarse entre sí pasan electrones de un sólo cuerpo al otro (por ejemplo del jersey al bolígrafo), quedando ambos cargados con cargas de distinto tipo ().
- b) El bolígrafo y el jersey inicialmente tienen cargas y al frotarse entre sí pasan electrones del bolígrafo al jersey y electrones del jersey al bolígrafo, quedando ambos cargados con cargas de distinto tipo ().
- c) El bolígrafo y el jersey inicialmente no tienen cargas y al frotarse entre sí aparecen cargas en el bolígrafo, quedando cargado ().
- d) El frotamiento hace que el fluido eléctrico contenido en el bolígrafo salga de éste creando un campo eléctrico a su alrededor ().

26) Un bolígrafo frotado es capaz de atraer pequeños trozos de papel colocados en una mesa. Este fenómeno se explica debido a que: (Contestar verdadero o falso)

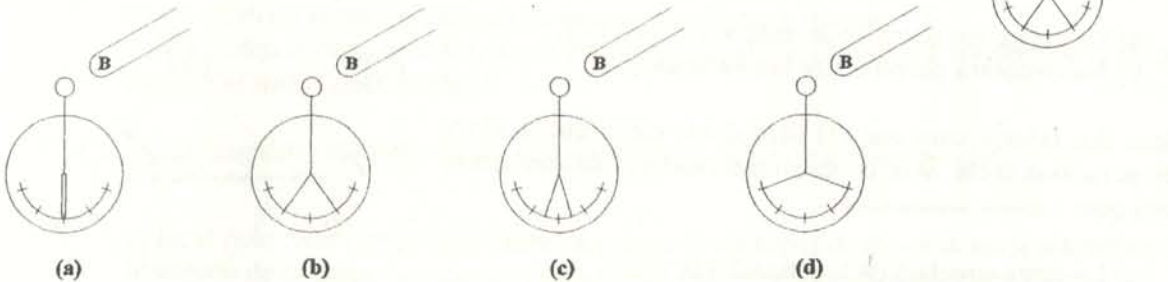
- a) Al frotar el bolígrafo se carga, creando a su alrededor un campo eléctrico, el cual es capaz de crear una fuerza de atracción sobre todos los cuerpos situados cerca del bolígrafo ().
- b) Al frotar el bolígrafo se carga, creando a su alrededor un campo eléctrico. Como los trozos de papel tienen carga contraria a la del bolígrafo se produce la atracción ().
- c) Al frotar el bolígrafo se carga, creando a su alrededor un campo eléctrico que es capaz de producir una redistribución de las cargas del papel, produciendo la atracción debido a que predomina sobre el papel la fuerza atractiva sobre la repulsiva ().
- d) Al frotar el bolígrafo se carga, creando a su alrededor un campo eléctrico que es capaz de atraer a los trozos de papel (inicialmente sin cargas) al producirse cargas de diferente tipo a las del bolígrafo ().

27) Se aproxima una hoja de plástico cargada al extremo de una barra larga de madera como se ve en la figura. En el otro extremo de la barra hay una bolita muy ligera de aluminio colgada a modo de péndulo. (Contestar verdadero o falso)



- a) La bolita no será atraída porque la madera no es buena conductora de la electricidad, no pudiendo circular por ella las cargas de la hoja de plástico ().
- b) La bolita no será atraída porque la madera es un material aislante y por tanto no tiene cargas eléctricas ().
- c) La bolita será atraída por la madera ya que en su extremo derecho tiene exceso de un tipo de cargas que crean un campo eléctrico capaz de producir una redistribución de cargas en la bola de aluminio ().
- d) La bolita será atraída por la barra si esta es de un material buen conductor de la electricidad, ya que así pueden llegar a la bola las cargas procedentes de la hoja de plástico ().

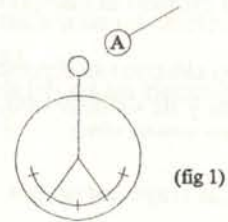
28) Se frotran dos cuerpos A y B uno contra otro. Después el cuerpo A se acerca a un electroscopio, sucediendo lo que aparece en la figura adjunta.



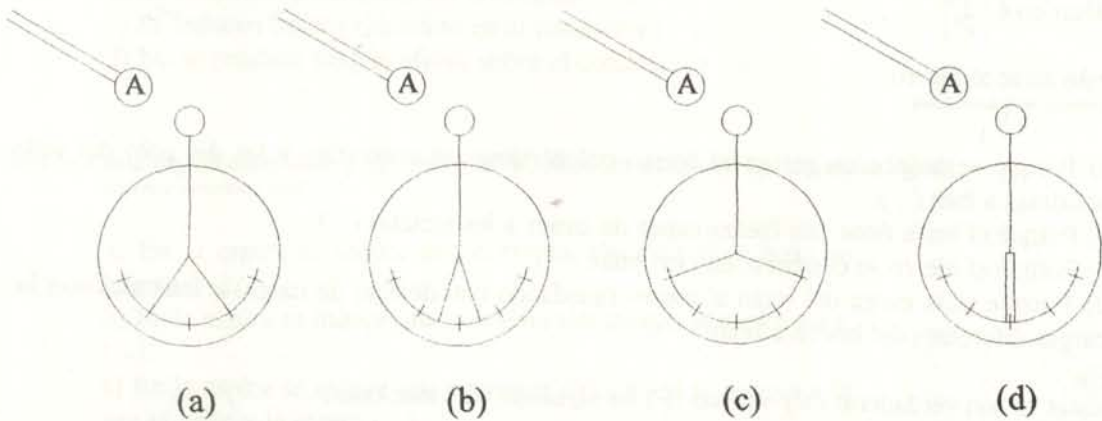
Si a continuación acercamos el cuerpo B al electroscopio descargado, contesta con verdadero (V) o falso (F) a las siguientes proposiciones:

- a) La figura "a" representa la nueva situación de las láminas ().
- b) La figura "b" representa la nueva situación de las láminas ().
- c) La figura "c" representa la nueva situación de las láminas ().
- d) La figura "d" representa la nueva situación de las láminas ().

29) Sean tres cuerpos A, B y C en estado neutro. Primero A y B se frotran uno contra otro y después el cuerpo A se acerca a un electroscopio, sucediendo lo que aparece en la figura 1.



Al cabo de un rato se pone en contacto A y B (figura 2) y a continuación se separa A de B y se hace contactar con C (figura 3). Contesta con verdadero (V) o falso (F) a las siguientes proposiciones:

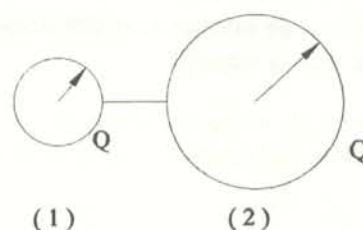


- a) La figura "a" representa la nueva situación de las láminas ().
- b) La figura "b" representa la nueva situación de las láminas ().
- c) La figura "c" representa la nueva situación de las láminas ().
- d) La figura "d" representa la nueva situación de las láminas ().

30) Sean dos esferas que tienen la misma carga, una de radio doble que la otra. Si se conectan mediante un hilo conductor, sucederá que:

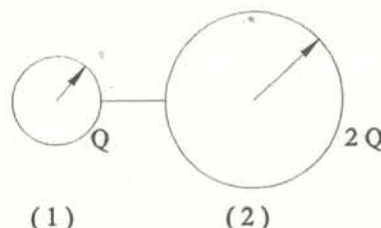
(Contestar verdadero o falso)

- a) La carga circulará de la esfera 1 a la 2 ().
b) No circulará carga entre las esferas ().



31) Sean dos esferas tales que (2) tiene doble carga que la (1) y también su radio es doble. Si se conectan mediante un hilo conductor, sucederá que: (Contestar verdadero o falso)

- a) La carga circulará de la esfera 2 a la 1 ().
b) No circulará carga entre las esferas ().



32) Queremos saber si en una determinada región del espacio existe un campo eléctrico. Para ello situamos en un punto cualquiera de esa región un cuerpo. Existirá un campo eléctrico:

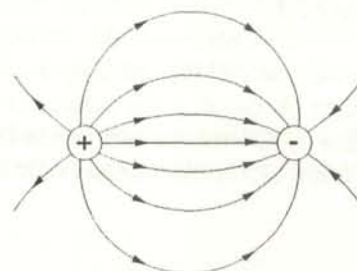
(Contestar verdadero o falso)

- a) Si estando el cuerpo cargado se mueve con velocidad constante ().
b) Si estando el cuerpo cargado se mueve con aceleración constante ().
c) Si estando el cuerpo descargado no se mueve ().
d) Si estando el cuerpo descargado se mueve con velocidad constante ().

33) Un campo eléctrico se representa mediante líneas de fuerza. En la figura aparece el producido por dos cargas iguales y de distinto tipo. Las líneas de fuerza indican:

(Contestar verdadero o falso)

- a) Las trayectorias por donde circula el fluido eléctrico ().
b) Las trayectorias que seguirían electrones colocados en esa región ().
c) Las fuerzas que se ejercen los cuerpos cargados ().
d) La dirección y sentido de la intensidad de campo eléctrico ().



34) Un imán atrae al hierro:

(Contestar verdadero o falso)

- a) Porque se induce cargas en el hierro colocándose las contrarias a las del polo del imán próximas a éste ().
b) Porque el imán tiene una fuerza capaz de atraer a los metales ().
c) Porque el hierro se convierte en otro imán ().
d) Porque pasa carga del imán al hierro (quedando con defecto de carga) e interaccionan las cargas diferentes del hierro e imán ().

35) Contestar se son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes afirmaciones:

- a) Un imán atrae a todos los metales ().
b) Un imán es como un dipolo con las cargas de un tipo situadas en el Norte y las del otro tipo en el Sur ().
c) Un imán interacciona con todas las sustancias, aunque no se aprecie ().
d) En el polo Norte de un imán están las cargas positivas ().
e) Un imán es un metal cargado ().

36) Contestar se son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes afirmaciones:

- a) Una corriente eléctrica actúa como un imán al colocar en sus proximidades un metal ().
- b) Una carga en movimiento produce un campo magnético a su alrededor ().
- c) Un trozo de acero colocado en un campo magnético se imanta ().
- d) Si a cualquier metal se le enrolla un conductor por el que circula una corriente se convierte en un potente imán (electroimán) ().

37) Una aguja magnética (brújula) señala siempre hacia el Norte geográfico porque:

(Contestar verdadero o falso)

- a) En el polo Norte geográfico existe un potente imán capaz de atraer la aguja magnética ().
- b) Debajo de la aguja magnética existe un imán que es orientado por el imán Tierra ().
- c) En el polo Norte geográfico se encuentra el polo Sur del imán Tierra ().
- d) En el polo Norte geográfico se encuentra el polo Norte del imán Tierra ().

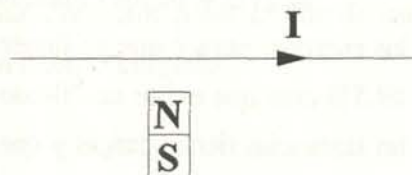
38) Contestar se son verdaderas (V) o falsas (F) las siguientes afirmaciones referidas al electroimán:

- a) Un electroimán consiste en un metal cargado al que se le ha enrollado un conductor por el que circula una corriente ().
- b) El núcleo de un electroimán es de hierro dulce para que pueda imantarse y desimantarse fácilmente ().
- c) La corriente eléctrica que circula por el hilo enrollado en el núcleo de un electroimán induce cargas eléctricas en dicho núcleo y por eso se convierte en imán ().
- d) La corriente eléctrica que circula por el hilo enrollado en el núcleo de un electroimán crea un campo eléctrico en el núcleo y por eso se convierte en imán ().

39) Si situamos un imán perpendicularmente a un conductor rectilíneo por el que circula una corriente (ver figura):

(Contestar verdadero o falso)

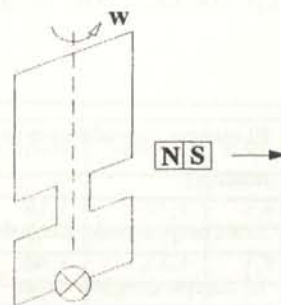
- a) Aparece una fuerza sobre el conductor ().
- b) Se modifica la corriente del conductor ().
- c) Se inducen cargas eléctricas en el conductor ().
- d) No se produce ningún efecto sobre el conductor ().



40) Sea una espira cuadrada y un imán recto, situadas como se indica en la figura.

(Contestar verdadero o falso)

- a) En la espira se induce una corriente eléctrica si el imán se mueve ().
- b) En la espira se induce una corriente eléctrica si la espira gira ().
- c) En la espira se induce una corriente eléctrica si se mueve a la vez el imán y la espira ().
- d) No se puede inducir de esta forma una corriente eléctrica ().



Este cuestionario ha sido contestado por los cien alumnos que participan en la investigación. Todos ellos son estudiantes que se matricularon por primera vez en la asignatura de Física General de la Licenciatura de Ciencias Químicas. Por tanto, no hay ningún alumno que repita esta asignatura. La cumplimentación de los items se realizó en dos momentos diferentes. A comienzo del curso los estudiantes respondieron a las preguntas concernientes a los temas de electrostática y electrocinética. El resto de las cuestiones fueron contestadas después de haberse desarrollado la unidad didáctica correspondiente a la electrocinética.

Las respuestas a los items se ha procesado con el paquete estadístico SPSS. El análisis de los resultados se expone a continuación.

a) Explicación de fenómenos de electrización por frotamiento.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
Se debe a una creación de cargas en un cuerpo	25c	71,8	27,2	1,0
Se debe al movimiento de un "fluido eléctrico"	25d	49,5	49,5	1,0
Se debe al intercambio mutuo de electrones entre dos cuerpos	25b	85,4	14,6	-
Se debe al movimiento de electrones de un cuerpo al otro	25a	54,4	44,7	1,0

El 27,2% de los estudiantes considera que la carga aparece ("se crea") cuando se frota los cuerpos; parece que no tienen muy afianzado que la materia antes de frotar es eléctrica. El 49,5% cree que existe un "fluido eléctrico" (concepción sustancialista). El 69% responde que las sustancias tienen cargas y que son los electrones los que se mueven; sin embargo, el 14,6% entiende que los electrones se intercambian entre los cuerpos, siendo el 54,4% los que responden correctamente que los electrones pasan de un sólo cuerpo al otro.

b) Explicación de fenómenos de atracción por inducción eléctrica.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
El cuerpo cargado crea una fuerza sobre todos los cuerpos (incluso neutros)	26a	62,1	35,9	1,9
Los cuerpos están cargados con cargas de signo contrario	26b	73,8	24,3	1,9
El cuerpo cargado carga "a distancia" al neutro	26d	51,5	44,7	3,9
Interpretación correcta en base a un fenómeno de inducción	26c	54,4	43,7	1,9

El 35,9% de los alumnos parece que tienen un modelo similar al de Gilbert, donde se habla del efecto "halo" producido por los cuerpos cargados para explicar la atracción que ejercen sobre los cuerpos ligeros situados en su proximidad. El 44,7% considera que los cuerpos cargados "crean" cargas de distinto tipo en los neutros próximos a ellos. El 24,3% representan un modelo similar al de Franklin, donde se justifica la atracción de los cuerpos cargados en base a la existencia de dos tipos de carga de signo opuesto.

c) Explicación de fenómenos de inducción con polarización del medio.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
Las cargas pueden saltar de un cuerpo a otro	27d	35,9	62,1	2,0
No se ejerce influencia	27a	15,5	83,5	1,0
Consideran que los cuerpos aislantes no tienen carga	27b	68,0	31,1	1,0
Conocimiento del fenómeno de polarización	27c	6,8	91,3	1,9

El 83,5% de los encuestados señalan que no se ejerce influencia, desconociendo que el medio (la barra de madera) puede polarizarse. El 62,1% entiende que sólo es posible la atracción si la carga pudiera moverse con facilidad por la barra; parece que consideran que las cargas saltan de un cuerpo al otro. El 31,1% de los alumnos señala que los materiales aislantes no tienen cargas eléctricas. Sólo el 6,8% se basa en el modelo correcto: polarización de un dieléctrico por la acción de un campo eléctrico creado por un cuerpo cargado.

d) Conservación de la carga eléctrica.

Con la cuestión 28 se pretende averiguar si los estudiantes reconocen que el frotamiento mutuo entre dos cuerpos produce cargas iguales y de signo contrario. La 29 se ha formulado para analizar lo que se piensa cuando ponemos en contacto entre sí dos cuerpos que previamente se han frotado.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
Adquieren la misma carga y de signo contrario	28b	61,1	31,1	7,8
Sólo adquiere carga un cuerpo	28a	68,9	23,3	7,8
Adquiere más carga un cuerpo que otro	28c,d	89,3	2,9	7,8

El 61,1% de los alumnos asumen el principio de conservación de la carga. El 23,3% piensa que sólo se carga un cuerpo al frotarse.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
No hay movimiento de cargas	29a	66,0	20,4	13,6
Hay movimiento de cargas en sentido contrario pero menos que al frotarse	29b	66,0	20,4	13,6
Hay movimiento de cargas en el mismo sentido que al frotarse	29c	76,7	9,7	13,6
Hay movimiento de cargas en sentido contrario e igual que al frotarse	29d	35,9	50,5	13,6

Un 20,4% de los alumnos considera que el volver a juntar los dos cuerpos no tiene influencia en la carga. Otro 20,4% piensa que sí se transfiere carga pero hay una pérdida porque se han juntado, o bien por el paso del tiempo. El 35,9% ante esta cuestión más compleja que la anterior mantiene que la carga se conserva.

e) Noción intuitiva de Potencial Eléctrico.

Con las cuestiones 30 y 31 pretendemos conocer si los alumnos identifican movimiento o no de cargas al conectar dos esferas que están a diferente potencial por una lado y a igual potencial por otro.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
No circula electrones entre esferas de diferente tamaño y con igual carga	30b	51,5	39,8	8,7
Circula electrones entre esferas de diferente tamaño y con igual carga	30a	35,0	56,3	8,7
Circula carga de la que tiene más carga a la que tiene menos	31a	52,4	35,9	11,7
No circula carga cuando los potenciales de las esferas son iguales	31b	39,8	48,5	11,7

El 39,8% de los alumnos considera que no hay transferencia de cargas cuando se ponen en contacto dos cuerpos igualmente cargados aunque tengan tamaño diferente. Sin embargo el 35% entiende correctamente que sí. La mayoría de los estudiantes considera el movimiento de cargas como el de un fluido que circula de donde hay más cantidad de carga a donde hay menos. Muy pocos contestan a todas las preguntas correctamente ya que desconocen que la circulación de cargas se produce de donde hay más potencial a donde hay menos.

f) Concepciones sobre Campo Eléctrico.

Los items 32 y 33 pretenden conocer si los alumnos tienen asumido lo que es un campo de fuerzas eléctrico, cómo se puede detectar si existe o no en una determinada región y qué significado tienen las líneas de fuerza.

	Item	correcto	Incorr.	N.C.
Se detecta el campo si al colocar un cuerpo descargado no se mueve	32c	55,3	36,9	7,8
Se detecta el campo si al colocar un cuerpo descargado se mueve con $v=cte$	32d	59,2	33,0	7,8
Se detecta el campo si al colocar un cuerpo cargado se mueve con $v=cte$	32a	57,3	33,0	9,7
Se detecta el campo si al colocar un cuerpo cargado se mueve con $a=cte$	32b	46,6	44,7	8,8
Las líneas de fuerza son trayectorias por donde circula el fluido eléctrico	33a	53,4	43,7	2,9
Las líneas de fuerza representan las fuerzas que se ejercen los cuerpos cargados	33c	66,0	31,1	2,9
Las líneas de fuerza representan las trayectorias que siguen los electrones colocados en esa región	33b	32,1	65,0	2,9
Las líneas de fuerza indican la dirección y sentido de la corriente eléctrica	33d	34,0	64,1	1,9

De las respuestas dadas por los alumnos se puede decir que existe una concepción de campo de fuerza eléctrico que influye sobre los cuerpos que se coloquen en esa zona. Señalan, creemos que al azar, que la influencia es tanto sobre los cuerpos descargados (69,9%) como sobre los cargados (79,9%) y que produce un movimiento uniforme (33%) o acelerado (46,6%). En consecuencia, entendemos que no hay una explicación de campo coherente con el marco teórico.

En cuanto a la pregunta sobre las líneas de fuerza, nuevamente el 43,7% señalan la circulación de un fluido eléctrico ("sustancialistas") y se observa que las respuestas son aleatorias pues muchos alumnos contestan a varias de las opciones, contradiciéndose.

Se puede decir que prevalece una concepción memorística del concepto de campo eléctrico producto de la instrucción recibida en los cursos anteriores.

g) *Función de una pila eléctrica en un circuito.*

Mediante las cuestiones 3, 15, 16 y 17 pretendemos clarificar cómo los individuos consideran el papel de la pila: como un "reservatorio" de corriente eléctrica cuya característica es la de entregar una corriente constante (generador de corriente) o bien considerando que su característica principal reside en la tensión constante que entrega (generador de tensión). Las respuestas obtenidas son las siguientes:

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
Entregar la misma corriente eléctrica cualquiera que sea el circuito (PILA COMO GENERADOR DE CORRIENTE CONSTANTE)	15a	32,0	55,3	12,6
	16c,d	11,7	84,5	3,9
Proporciona la misma diferencia de potencial cualquiera que sea el circuito	15b	54,4	28,2	17,5
	16b	45,6	43,7	10,7
	17b	54,4	37,9	7,8
	24g	47,6	47,5	4,9
Almacena las cargas eléctricas que suministra el circuito PILA COMO FUENTE SUMINISTRADORA DE CARGAS	3a	54,4	43,7	1,9
	15c	50,5	33,0	16,6
	11a	57,3	33,0	9,7
Almacena la energía eléctrica que se consumirá en el circuito	3b	79,6	17,5	2,9
Provoca la corriente eléctrica al mover las cargas existentes en los cables	3e	81,6	14,6	3,9
Entrega igual energía eléctrica a las cargas cualquiera que sea el circuito	15d	24,3	58,3	17,5

De los resultados obtenidos se puede concluir que la mayoría de los alumnos (84,5%) considera la corriente entregada por la pila constante con independencia del circuito al que esté conectado. El porcentaje que piensa que la pila entrega la misma energía eléctrica independientemente del circuito es del 58,3%, no contestando el 16,6%. Sin embargo aproximadamente la mitad (del 45,6% al 54,4%) responden correctamente que la pila proporciona la misma diferencia de potencial cualquiera que sea el circuito. Esto quiere decir que los alumnos mezclan estas dos nociones, pero sin embargo es la noción de corriente eléctrica la que "engloba" a la de tensión. Parece claro que muchos alumnos conciben la pila como un "generador de corriente eléctrica constante". Esta concepción tiene consecuencias nefastas en el estudio de circuitos eléctricos, en particular en los de derivación.

Aproximadamente un 40% de los alumnos (43,7% en el ítem 3a y 33% en los ítems 11a y 15c) considera que la pila es un almacén de cargas eléctricas que suministra al circuito. A pesar de esta representación errónea los alumnos en su mayoría (79,6%) considera correctamente que en la pila hay almacenada energía eléctrica que se gastará en los elementos que componen el circuito. También señalan (81,6%) que la pila provoca la corriente eléctrica al mover los electrones existentes en los cables.

h) Función de una bombilla en un circuito eléctrico.

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
Es una resistencia eléctrica	10e	89,3	6,8	3,9
Consumen electrones que circulan por el circuito	3c	74,8	21,4	3,9
Toma parte de la energía de la corriente eléctrica	10d	68,0	25,2	6,8
Debe conectarse con los polos adecuados en el circuito	10c	68,0	28,2	3,9
Por el filamento circulan los electrones más despacio	10b	50,5	21,4	28,2

Un elevado porcentaje de alumnos (89,3%) sabe que una bombilla es una resistencia que tiene dos puntos para conectar al circuito que no tienen polaridad (68%). El 68% piensa que en ella se consume parte de la energía eléctrica que tienen las cargas; sin embargo, el 21,9% considera que también se consumen electrones. Por último, ante la pregunta sorprendente sobre si los electrones circulan más despacio por el filamento, el 21,4% responden afirmativamente y un 28,2% no contesta.

i) Ideas sobre la corriente eléctrica.

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
La corriente es un movimiento o flujo de cargas	1a	94,2	4,9	1,0
La corriente es una forma de energía	1c	31,1	67,0	1,9
Las cargas se mueven a la misma velocidad por un circuito simple	3d	54,4	43,7	1,9
La corriente eléctrica se consume en las resistencias	10a	31,1	66,0	2,9

La mayoría de los estudiantes (94,2%) identifican correctamente la corriente eléctrica como un movimiento o flujo de cargas y el 54,4% que éstas se mueven a la misma velocidad. Sin embargo, erróneamente el 31,1% de los alumnos entienden que es una forma de energía y el 66% que se consume parcialmente en los elementos resistivos. No tienen asimilado el principio de conservación de la carga.

j) Ideas sobre los conceptos de intensidad de corriente y diferencia de potencial y su relación.

La cuestión 19 nos permite averiguar si, para los alumnos, la tensión existe incluso si la pila no suministra energía al circuito.

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
La intensidad de corriente se mide con un voltímetro	1b	62,1	36,9	1,0
Concepto correcto de intensidad de corriente	1d	59,2	37,9	2,9
La diferencia de potencial es una forma de energía	9d	46,6	31,1	22,3
La d.d.p. y la intensidad se presentan siempre juntos	9a	27,2	60,2	12,7
Puede haber corriente eléctrica sin que exista d.d.p.	9c	68,9	13,6	17,5
	19b	89,3	1,0	9,7
Puede haber d.d.p. sin que existe corriente eléctrica	9b	23,3	57,3	19,4
	19c	11,7	81,5	6,8
Se razona poco en términos de diferencia de potencial	7	16,5	79,6	3,9
Mala utilización de la ley de ohm (d.d.p. como consecuencia de la intensidad)	8a,b	38,8	60,2	1,0
	8c,d	40,8	58,3	0,9

La magnitud más conocida es la intensidad de corriente eléctrica. El 59,2% conoce la definición de este concepto, pero parece que es memorística pues afirman que es una forma de energía (31,1%) y que se mide con el voltímetro (36,9%).

El 60,2% considera que las dos magnitudes (d.d.p. e intensidad de corriente) se presentan siempre juntas, no puede haber una sin la otra. El 13,6% cree que puede haber corriente eléctrica sin que exista d.d.p. y aproximadamente la quinta parte (11,7%-23,3%) que puede haber d.d.p. sin que exista corriente eléctrica. Los resultados del item 7 indican que se razona poco empleando el concepto de d.d.p.

Las dos terceras partes de los alumnos que acceden a la universidad utilizan equivocadamente la ley de ohm; señalan que cuando en el circuito de la cuestión 8 el interruptor está abierto no hay corriente y por tanto la d.d.p. que marca el voltímetro es cero ya que según ohm es igual al producto de la intensidad por la resistencia. Es decir, están considerando a la intensidad como magnitud independiente y la d.d.p. magnitud dependiente.

k) Modelos sobre corriente eléctrica.

Los cinco primeros items de las preguntas 22 y 23 pretenden averiguar los modelos conceptuales que sobre la circulación de la corriente eléctrica tienen nuestros alumnos. Después del análisis de los resultados podemos decir que los estudiantes que han participado en la investigación utilizan los modelos señalados en el apartado I.4.2 (5) según los siguientes porcentajes:

	Item	%
Modelo unipolar (no hay corriente en el cable de retorno)	14e	6,8
Modelo de atenuación (consumo de corriente y brillo diferente de las bombillas)	22b,c	53,4
	23c,d	59,2
Modelo de participación o reparto (consumo de corriente y brillo diferente de las bombillas)	22b,c,e	49,3
Corriente constante y brillo diferente de las bombillas	22a,...,e	6,5
Modelo científico	22a,...,e	32,3
	23a,...,e	26,5

l) Interpretación de circuitos sencillos en serie y en paralelo.

Las cuestiones 16, 17, 22, 23 y 24 pretenden conocer si los alumnos interpretan correctamente lo que ocurre en circuitos con dos bombillas iguales en serie y en paralelo, así como averiguar lo que piensan cuando añadimos una bombilla suplementaria bien en serie, bien en derivación a un circuito simple que ya tiene una bombilla.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

l.1) Circuitos con dos bombillas iguales en serie:

Respuestas correctas

Las diferencias de potenciales existentes entre cada una de las bombillas son iguales Item 17a 63,1%
 El potencial eléctrico disminuye en los elementos resistivos según el sentido de la corriente eléctrica Item 22 f..g 46,6%

Respuestas erróneas

La intensidad disminuye al atravesar los elementos resistivos	Item 22 a..d	53,4%
El brillo de las bombillas es diferente	Item 22e	24,3%
El brillo de las bombillas es el mismo que si sólo hubiera una	Item 17c	34,0%

*l.2) Circuitos con dos bombillas iguales en paralelo:*Respuestas correctas:

Las diferencias de potenciales existentes entre las bombillas son iguales	Item 16a	76,7%
El brillo de las bombillas es igual que el de una sola	Item 16c,d	11,7%
La energía consumida por una bombilla es igual si hay una o dos en paralelo	Item 24i	39,8%

Respuestas erróneas:

El potencial disminuye al ramificarse el circuito	Item 23f,k	73,8%
El brillo de las bombillas es diferente	Item 23m	2,9%
El brillo de las bombillas es menor que el de las dos bombillas en serie	Item 23n	85,4%
La pila aporta igual de energía si hay una o dos bombillas	Item 24h	51,5%

Las respuestas dadas por los alumnos sólo son entendidas si consideramos que en su mente coexisten varias representaciones que incluso son contradictorias entre sí. Dependiendo del tipo de problema o situación activarán una u otra para explicar lo que ellos piensan. Una amplia mayoría de los alumnos tienen asumido un modelo de generador de corriente constante y razonan secuencialmente. Aproximadamente la mitad conciben que la corriente eléctrica se gasta en las bombillas. Pero también utilizan a veces la idea correcta que el generador proporciona la misma diferencia de potencial cualquiera que sea el circuito.

Así, por ejemplo, el efecto que se produce cuando conectamos una bombilla en paralelo a un circuito simple pila-bombilla consiste en modificar el brillo de las bombillas. Consideran que la pila entrega la misma corriente con independencia de que el circuito tenga una bombilla o dos en paralelo; si hay dos iguales en paralelo la corriente entregada por la pila se divide por cada rama, con lo cual llega la mitad a cada una de las bombillas y brillan menos que si sólo hubiera una (88,3%). El mismo razonamiento es utilizado al comparar un circuito con dos bombillas en serie con otro que tiene dos iguales en paralelo. La pila suministra la misma corriente eléctrica, con lo cual en el circuito en paralelo la corriente que circula por las bombillas es la mitad que la que circula por las bombillas del circuito serie, con lo cual lucen

menos (85,4%). También se aprecia el consumo de corriente en las bombillas; un 24,3% de los alumnos dicen que las bombillas en serie no lucen igual.

m) Razonamiento secuencial:

Muchos investigadores han expresado en sus trabajos (ver punto I.4.2 , 9) la fuerte tendencia que muestran los alumnos para adoptar razonamientos locales sobre los circuitos, dejando de lado los efectos de la variación registrada en un punto sobre el circuito completo.

En realidad, el cambio producido en cualquier punto se traduce en impulsos electromagnéticos que se propagan desde ese punto en ambos sentidos por todo el circuito. Por tanto, siempre que se produzca un cambio en cualquier elemento de un circuito la diferencia de potencial y la corriente quedan alterados en todo el circuito, estableciéndose rápidamente un nuevo estado de equilibrio.

Mediante las cuestiones 4, 5, 6, 13 y 18 podemos comprobar el grado en que nuestros alumnos muestran el razonamiento secuencial para interpretar el funcionamiento de los circuitos. A medida que se aumenta la complejidad del circuito el razonamiento secuencial se manifiesta con mayor intensidad. Para los dos niveles de dificultad establecidos, el porcentaje de alumnos que razonan secuencialmente es el siguiente:

NIVEL 1	Item 4	58,3%
.	Item 5	60,2%
NIVEL 2	Item 6	86,4%
.	Item 13	89,3%
.	Item 18	85,4%

n) Efecto "topológico" en la interpretación de los circuitos.

Un determinado número de alumnos tiene dificultades para identificar circuitos iguales si se cambia la forma de los diagramas o esquemas que representan el circuito. La cuestión 14 además de perseguir otras finalidades ha mostrado que un 12,6% de los estudiantes no consideran iguales circuitos que son idénticos, a pesar de que son muy sencillos.

ñ) Ideas sobre la constitución de un imán.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
Un imán tiene dos polos que están cargados con diferentes tipos de carga	35b	5,8	91,3	2,9
En el polo Norte de un imán están las cargas positivas	35d	32,0	62,1	5,8
Un imán es un metal cargado	35e	51,5	44,7	3,9
	38a	23,3	72,8	3,9
Debajo de la aguja de una brújula hay un imán	37b	33,0	62,1	4,9

La mayoría de los alumnos (91,3%) que participan en esta investigación, después de haber cursado el tema de electrostática, consideran que un imán tiene dos zonas cargadas con diferente tipo de carga. En el polo Norte dicen (62,1%) que predominan las cargas positivas y en el Sur las negativas. Aproximadamente la mitad señalan (del 44,7% al 72,8%) que cualquier metal previamente cargado puede ser un imán y un 62,1% parece que piensan que una aguja alargada y fina como la de una brújula no puede ser imantada ya que dicen que debajo de ella debe haber un imán para que pueda orientarse en dirección del campo magnético.

o) Ideas sobre el imán TIERRA.

	Item	correcto	Incorrec.	N.C.
En el polo Norte geográfico existe un potente imán capaz de atraer a la aguja magnética	37a	81,6	14,6	3,9
En el polo Norte geográfico se encuentra el polo Sur del imán Tierra	37c	58,3	35,9	5,8
En el polo Norte geográfico se encuentra el polo Norte del imán Tierra	37d	74,8	19,4	5,8

El 14,6% de los estudiantes cree que en el polo Norte geográfico existe un potente imán y por eso la brújula se orienta hacia ese lugar. El 81,6% sin embargo considera correctamente que el gran imán Tierra tiene un polo en las proximidades del Norte geográfico y otro hacia el Sur geográfico. De ellos el 19,4% cree que el polo Norte magnético está próximo al Norte geográfico y el 58,3% tiene el modelo correcto.

p) *¿Con qué sustancias interacciona un imán?*

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
Un imán atrae a todos los metales	35a	59,2	38,8	2,0
Un imán interacciona con todas las sustancias aunque no se aprecie	35c	41,7	54,4	3,8
Un imán interacciona con un cuerpo cargado	20a,b	49,5	44,7	5,8
Un imán no interacciona con sustancias cargadas no ferromagnéticas	20e	52,4	40,8	6,8

El 38,8% cree equivocadamente que un imán atrae a todos los metales y el 44,7% que interacciona con un cuerpo cargado, incluso aunque sea no metálico (40,8%). Sin embargo, el 41,7% entiende correctamente que interaccionan fuerte o débilmente con todas las sustancias. El fenómeno de inducción parece que está afianzado en la mitad de los alumnos.

q) *Ideas sobre la atracción de un imán sobre el hierro.*

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
Un imán atrae al hierro porque se inducen cargas en éste	34a	17,5	80,6	1,9
	21a,b	18,4	76,7	4,9
Un imán atrae al hierro porque "pasan" cargas del imán al hierro	34d	63,1	32,0	4,9
Un imán atrae al hierro porque el imán tiene una fuerza capaz de atraer a los metales	34b	51,5	46,6	1,9
Un imán atrae al hierro porque se convierte en otro imán	34c	50,5	46,6	2,9
Explicación correcta: por inducción magnética	20d	34,0	57,3	8,9
	21d	11,7	75,7	12,7

Para dar explicación a la atracción que ejerce un imán sobre el hierro, alrededor del 80% (del 76,7% al 80,6%) de los estudiantes considera que se debe a una inducción eléctrica. Una concepción sustancialista también se manifiesta en el 32% de los alumnos que señalan que "pasa" carga del imán al hierro. La explicación correcta: atracción causada porque se han inducido dipolos magnéticos en el hierro es manifestada sólo por un porcentaje muy pequeño de alumnos (11,7% en el item 21d y un 34% en el item 20d).

Por último, también existe un 46,6% de los encuestados que tratan de explicar el fenómeno asociando al imán ciertos "poderes" (una fuerza) para influir sobre los metales, atrayéndolos.

r) Efecto de un imán sobre una corriente rectilínea.

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
Modifica la corriente	39b	47,6	44,7	7,8
Induce cargas en el conductor	39c	53,4	39,8	6,8
Ningún efecto	39d	86,4	7,8	5,8
Aparece una fuerza sobre el conductor	39a	61,2	31,1	7,8

Nuevamente los alumnos (el 38,8%) mencionan un efecto de inducción eléctrica y quizás por ello entienden (el 44,7%) que se modifica la corriente. Por otra parte el 7,8% considera que no se produce ningún efecto y el 61,2% señala correctamente que aparece una fuerza sobre el conductor.

s) Efecto de una corriente eléctrica sobre el núcleo de un electroimán.

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
Induce cargas eléctricas en el núcleo	38c	46,6	47,6	5,8
Crea un campo eléctrico en el núcleo	38d	36,9	55,3	7,8
El hierro dulce se imanta y desimanta con facilidad cuando pasa o cesa una corriente que circula por él	38b	53,4	37,9	8,7

Nuevamente vuelve a aparecer la confusión entre los campos y/o los dipolos magnéticos y eléctricos. El 55,3% de los estudiantes piensa que en el núcleo de un electroimán se crea un campo eléctrico y el 47,6% que se inducen cargas eléctricas cuando circula corriente eléctrica por el hilo conductor. Aproximadamente la mitad (53,4%) sabe que el hierro dulce se imanta y desimanta con facilidad al pasar o cesar respectivamente la corriente eléctrica.

t) *Concepciones sobre la imantación de las sustancias.*

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
Un trozo de acero colocado en un campo magnético se imanta	36c	61,2	33,0	5,8
Un trozo de hierro colocado cerca de un imán se imanta	21c	70,9	19,4	9,8
Cualquier metal rodeado por un conductor por el que circula una corriente eléctrica se imanta fuerte	36d	16,5	80,6	2,9
En todas las sustancias se inducen débiles dipolos magnéticos	20d	34,0	57,3	8,8
En todas las sustancias se inducen fuertes dipolos magnéticos	20c	75,7	16,5	7,8

El 80,6% de los estudiantes piensa erróneamente que cualquier metal rodeado por un hilo por el que circula una corriente se imanta apreciablemente y el 16,5% cree que en presencia de un imán todas las sustancias interaccionan fuertemente con él, ya que se han inducido dipolos magnéticos.

El 70,9% de los alumnos considera acertadamente que el hierro se imanta en presencia de un imán y el 61,2% que el acero situado en un campo magnético también se imanta.

u) *Ideas sobre la inducción de corriente eléctrica.*

	Item	correcto	Incorrect.	N.C.
En un circuito que está girando en un campo magnético se induce corriente	40b	55,3	32,0	12,7
Un imán en movimiento induce una corriente eléctrica en un circuito	40a	57,3	33,0	9,7
No se puede inducir una corriente en un circuito moviendo un imán en sus proximidades o haciendo girar el circuito en presencia de un imán	40d	76,7	12,6	10,7
Se puede crear una corriente en un circuito si cambia el flujo magnético que lo atraviesa	40c	35,9	49,5	14,6

Un poco más de la mitad de los alumnos considera que se puede inducir corriente eléctrica en un circuito colocado en presencia de un imán, bien haciendo girar el circuito (55,3%), o bien moviendo el imán (57,3%). El 12,6% entiende que así no se induce corriente y el 10,7% no contesta.

Sólo el 35,9% relaciona la creación de corriente inducida con la variación del flujo magnético en el circuito.

IV.1.3 CONCLUSIONES.

Los resultados anteriores señalan que muy pocos alumnos que llegan a la universidad tienen asumido el modelo científico para interpretar los fenómenos electromagnéticos. A modo de resumen a continuación se relacionan las ideas previas erróneas más importantes, señaladas anteriormente, que hemos encontrado en nuestros alumnos:

1. La pila es considerada como un almacén de cargas eléctricas o bien como el elemento que "crea" o "genera" la corriente eléctrica que proporciona al circuito.
2. En los elementos del circuito (resistencias o bombillas) se consume la electricidad. Al confundirse conceptos como corriente, potencial, energía, electricidad, intensidad, fuerza eléctrica, etc. los alumnos no saben muy bien lo que se consume. Aproximadamente la mitad aún tienen la idea intuitiva equivocada que se consume la corriente eléctrica, por eso creen que la intensidad disminuye a medida que la corriente atraviesa los distintos elementos del circuito.
3. Se piensa que una pila entrega siempre la misma corriente eléctrica cualquiera que sea el circuito. Las representaciones de "consumo de corriente" y la pila como "generador de corriente constante" parece ser que son las que hacen que el alumno razone casi siempre "en corriente".
4. El aspecto material y energético de la corriente eléctrica no son diferenciados. Se considera a la corriente como "un fluido o algo sustancial que va atravesando los distintos elementos del circuito" e incluso que es "una forma de energía".
5. Se cree que la diferencia de potencial es consecuencia de la corriente eléctrica y no al revés. Señalan que siempre que hay intensidad existe diferencia de potencial y si no hay intensidad no existe diferencia de potencial. Utilizan erróneamente la ley de Ohm al considerar que la intensidad de corriente es la magnitud independiente y la diferencia de potencial la dependiente (depende de la resistencia y la intensidad).
6. El potencial o la diferencia de potencial es un concepto poco arraigado. No se sabe que significa y por eso apenas se utiliza. Se dice que es "algo" que existe en las pilas, que puede ser corriente o energía y que sirve para interpretar circuitos eléctricos.

7. Se tiene una fuerte tendencia a adoptar un razonamiento muy localizado, ignorando el efecto que una variación en cualquier parte de un circuito tiene sobre el conjunto del mismo. Se considera que la variación producida en un punto determinado de un circuito sólo afecta a los elementos que se encuentran "detrás" de la perturbación. Existe una cierta asociación entre el uso del modelo secuencial y la idea de no conservación de la corriente.

8. Existe una concepción "creacionista" de la carga según la cual esta no existe en la materia y se "crea" al frotar.

9. Se confunde la propiedad de los materiales para conducir o no la electricidad con la naturaleza eléctrica de dichos materiales.

10. Se identifica la propiedad eléctrica como un "fluido" compuesto de cargas que saltan de un cuerpo a otro y se explica la inducción eléctrica mediante un efecto "halo" en contra de una interpretación como "acción a distancia".

11. Se desconoce la propiedad de los dieléctricos de polarizarse en presencia de un campo eléctrico.

12. Se piensa que la perturbación en un punto del espacio sólo existe cuando está "visible" allí la carga testigo.

13. Se confunde habitualmente la intensidad de campo y la fuerza eléctrica.

14. Se interpreta el movimiento de cargas entre dos cuerpos en contacto cargados mediante un modelo "hidrostático", no utilizando apenas el concepto de potencial eléctrico.

15. Se considera que en los polos del imán hay concentradas cargas de diferente tipo; las positivas en el Norte y las negativas en el Sur.

16. Se piensa que los imanes son metales y pueden atraer a todos los metales.

17. Se confunde el campo magnético con el eléctrico, la inducción magnética con la eléctrica, los dipolos magnéticos con los eléctricos y, en general, los fenómenos magnéticos con los eléctricos.

IV.2 IMPLICACIONES DIDÁCTICAS.

El análisis que hemos realizado en los apartados anteriores sobre las concepciones alternativas y errores conceptuales que mantienen en común los alumnos que participan en esta investigación acerca del electromagnetismo tiene como objetivo orientar la elaboración de las unidades didácticas que van a ser utilizadas en la experimentación de la metodología constructivista que deseamos comparar con la expositiva habitual. Enumeramos a continuación, algunas implicaciones didácticas que se derivan de este análisis y que, por tanto, deben tenerse en cuenta al diseñar las situaciones de aprendizaje y las estrategias de enseñanza.

Los resultados anteriores, confirman que la mayoría de los estudiantes universitarios razonan en términos de corriente eléctrica o intensidad de corriente. Esta magnitud se convierte en el aspecto dominante del fluido en movimiento y suministra al alumno la base para el análisis de los circuitos eléctricos. El potencial o la diferencia de potencial es una magnitud muy secundaria. De este modo, el estudiante entiende que la intensidad es la característica principal de la pila, definida por la corriente que ella "suministrará" al circuito, la cual es considerada como una magnitud invariante y fundamental.

Nosotros creemos necesario considerar el concepto de diferencia de potencial como *fundamental* y no como normalmente se hace a través de relaciones con otras variables (intensidad y resistencia). Normalmente se define potencial y diferencia de potencial en electrostática vinculado al trabajo realizado sobre la unidad de carga por las fuerzas electrostáticas entre dos puntos de un campo conservativo. Para el alumno esta definición no tiene que ver con la que luego se da en electrocinética. Uno de los objetivos que habrá que perseguir es que el alumno vea la relación que existe entre los fenómenos electrostáticos y electrocinéticos en el movimiento de cargas eléctricas. Insistiremos en el hecho que la diferencia de potencial entre dos puntos es la causa de que por un circuito dado circule corriente eléctrica. Cuanto mayor sea la diferencia de potencial entre los bornes de la batería más corriente circulará por el circuito. Haremos ver que para que la corriente sea permanente se necesita que el circuito esté cerrado y que siempre exista diferencia de potencial entre los dos polos del elemento principal del circuito, es decir de la pila. Sólo cuando el alumno afiance la idea que la diferencia de potencial (más adelante hablaremos de fuerza electromotriz) es la magnitud invariante, la que caracteriza a la batería y la que permite que circule corriente

por un circuito pasaremos a precisar los conceptos mucho más conocidos de intensidad de corriente y resistencia eléctrica.

La idea de producción de electricidad en las baterías y consumo en las bombillas está en la raíz de muchas de las predicciones erróneas de los estudiantes y que concuerda con un esquema de razonamiento causal-lineal que ha sido explorado en otros campos y conduce, en ocasiones, a predicciones correctas (Andersson, 1986; Sebastián, 1989). Este tipo de razonamiento muy extendido en alumnos de secundaria todavía persiste en algunos alumnos universitarios. En los circuitos-serie, la atribución de una relación causa-efecto a la batería y al brillo de las bombillas no conduce a contradicciones experimentales; sin embargo, los circuitos paralelos no pueden ser analizados mediante este esquema, ya que por ejemplo, si aumenta el número de baterías en paralelo, esto no conlleva un aumento del brillo de las bombillas del circuito. Habrá que combatir este tipo de razonamiento utilizando situaciones en donde no sea válido.

Antes de formular la ley de Ohm el alumno debe comprender las magnitudes que en ella intervienen. Se investigará sobre cómo influye la fuerza electromotriz o la (d.d.p.) y la naturaleza del elemento resistor que se coloque en el circuito en el valor de la intensidad. Sólo cuando el alumno tenga claro que cuanto mayor es la fuerza electromotriz de la pila mayor es la intensidad (si no cambiamos el circuito) y que para una misma fuerza electromotriz el valor de la intensidad puede ser mayor o menor según sea el elemento colocado en el circuito, comprenderá el significado de la expresión matemática de la ley de Ohm. Habrá que plantear varias situaciones para provocar que el alumno reflexione sobre la independencia de la magnitud *diferencia de potencial*. Es necesario utilizar la expresión de la ley de Ohm de todas las formas posibles, incluso de la forma $\Delta V = I.R$, pero dejando claro el papel de CAUSA que juega la diferencia de potencial y el de EFECTO que juega la intensidad.

El tipo de razonamiento que hemos denominado "secuencial" bajo nuestro punto de vista es el más preocupante porque, por los resultados obtenidos, es bastante difícil de eliminar. Planificaremos actividades variadas insistiendo en que debe realizarse un análisis completo de todo el circuito cuando modificamos en él cualquier cosa por pequeña que sea. Insistiremos en razonar en términos de potencial, del mismo modo que ya se hace en términos de intensidad. Explicaremos cómo la información sobre cualquier cambio se transmite tanto "hacia atrás" como "hacia adelante" en relación con el sentido de la corriente. Haciendo hincapié en que los cambios afectan a todas las partes del circuito puede ayudar a contrarrestar

la impresión que frecuentemente tiene el alumno de que la corriente sólo cambia a partir de donde se produce la perturbación. Habrá que diseñar una enseñanza de choque, planteando situaciones problemáticas donde el análisis cualitativo esté presente, favoreciendo la discusión entre los alumnos y de estos con el profesor.

Los alumnos tienen problemas a la hora de interpretar fenómenos de inducción, fenómenos de no electrización de un metal por frotamiento y, en particular, aquellas situaciones donde la explicación requiera considerar el papel que desempeña el medio al polarizarse en presencia de un campo eléctrico. Habrá que insistir que toda la materia es eléctrica y que la propiedad de conducir la carga de algunos materiales explica su no electrización por frotamiento. Seguidamente se aclarará que al acercar un cuerpo cargado a otro neutro aparece una atracción debido a que se produce una redistribución de cargas en el cuerpo neutro por la "acción a distancia" de las cargas del cuerpo cargado. Por último se introducirá el fenómeno de la polarización en las sustancias dieléctricas.

Hemos dicho que los alumnos piensan que sólo existe campo eléctrico cuando colocamos una carga testigo que lo pone de manifiesto; también confunden intensidad de campo y fuerza eléctrica y suelen utilizar un modelo "hidrostático" para el movimiento de cargas no comprendiendo el concepto de potencial eléctrico. Debemos provocar en el alumno la necesidad de utilizar el concepto de campo eléctrico mediante situaciones problemáticas muy motivantes para interpretar determinados fenómenos electrostáticos, como por ejemplo la propagación de la interacción eléctrica y el fenómeno de la Jaula de Faraday. A continuación plantearemos la necesidad de introducir una magnitud que mida la intensidad de campo eléctrico. Mediante un planteamiento cualitativo procuraremos que el alumno afiance la idea que la intensidad de campo sólo depende de la o las cargas creadoras del campo y de la distancia a la que se encuentre de ella o ellas. Habrá que evitar utilizar de una manera operativa la definición de \mathbf{E} como \mathbf{F}/q . Por último, habrá que hacer ver la necesidad de utilizar el concepto de potencial para interpretar el movimiento de cargas entre dos esferas diferentes conectadas entre sí.

La mayoría de los fenómenos electromagnéticos son interpretados por los alumnos como si se trataran de fenómenos electrostáticos. No tienen interiorizado que el origen del magnetismo son las cargas en movimiento, incluso aunque respondan que una corriente eléctrica o una carga en movimiento produce a su alrededor un campo magnético. Debido quizás a que han realizado con anterioridad el experimento de Oersted y han oído hablar del

electroimán saben que una corriente eléctrica interacciona con un imán e incluso puede imantar metales. Sin embargo la interacción contraria, el efecto que produce un imán sobre una corriente eléctrica no es conocido. Por ello pensamos que la secuencia de enseñanza debe de comenzar analizando los efectos que produce las corrientes eléctricas sobre las sustancias y después los efectos de un campo magnético sobre las cargas en movimiento. El profesor insistirá, en las interpretaciones de las situaciones problemáticas que se planteen, que el alumno establezca diferencias entre los fenómenos electromagnéticos y electrostáticos. El alumno debe diferenciar la inducción eléctrica de la magnética, no imaginar los polos de un imán como zonas donde se encuentran concentradas las cargas. En definitiva, debe diferenciar el campo magnético del eléctrico.

Antes de finalizar este capítulo creemos oportuno destacar que pensamos que un mismo individuo puede compartir simultáneamente más de un esquema conceptual acerca de un contenido determinado. Los resultados obtenidos así lo atestiguan, ya que hemos comprobado que en un mismo sujeto coexisten concepciones contradictorias desde el punto de vista científico pero que quizás para ellos no lo sean. Los alumnos aplican estas ideas de formas diferentes dependiendo de como se formule la pregunta o se plantee el problema.

Por ejemplo, en la mente de algunos estudiantes se considera que una pila es un generador de corriente constante y a la vez un generador de energía constante o un generador que proporciona una misma diferencia de potencial al circuito que sea. Dependiendo de la situación aplicarán una u otra concepción para explicar su predicción. Un mismo sujeto que razona secuencialmente y que piensa que la corriente se consume en las bombillas justifica (porque lo ha observado) que dos bombillas iguales conectadas en serie brillan lo mismo, aunque a la segunda la llegue menos corriente, porque la diferencia de potencial entre ellas es la misma. Es decir, en este caso no activa su concepción de consumo de corriente porque no le interesa o no le vale para explicar que el brillo de las bombillas es el mismo y razonan en términos de potencial.

Esto nos hace pensar que aprender ciencia no consiste en suplantarse unos conocimientos por otros, sino más bien, aprender a distinguir los contextos en los que son aplicables los diferentes esquemas conceptuales.

CAPÍTULO V: ELABORACIÓN DE LOS MATERIALES DIDÁCTICOS.

V.1 DISEÑO DE LAS UNIDADES DIDÁCTICAS.

La planificación curricular está condicionada por una serie de factores sobre los que no es fácil ponerse de acuerdo si intentamos jerarquizarlos por lo decisivo de su incidencia. El nivel de desarrollo cognitivo de los alumnos, sus destrezas o actitudes ante la ciencia, sus intereses, el clima de aula, los recursos con los que contamos, los tipo de contenido, los objetivos que perseguimos, el número de alumnos, etc. son factores que influyen en menor o mayor medida en la planificación del proceso de enseñanza y aprendizaje.

Nosotros, sin desestimar al resto de los elementos que inciden en el proceso, hemos tenido en cuenta para la planificación de la enseñanza del electromagnetismo principalmente tres factores: la *problemática científica* que se deriva de la temática a estudiar, las *ideas o concepciones* de los alumnos a los que va dirigida la enseñanza y, sobre todo, las estrategias y *proceso metodológico* que debemos seguir.

V.1.1 ANÁLISIS CIENTÍFICO.

El objetivo del primer factor, el *análisis científico* (Sánchez y Valcarcel, 1993) es doble: la estructuración de los contenidos de enseñanza y la actualización científica del profesor, derivada del proceso de consulta y reflexión sobre el propio conocimiento científico a tratar. La selección del contenido de enseñanza será coherente con el modelo didáctico propuesto en el apartado II.4.

El contenido científico lo hemos incluido en el índice de los programas de actividades de cada una de las cuatro unidades didácticas que se presentan en las páginas siguientes. Hemos seleccionado, por una parte, aquellos hechos, conceptos, principios o leyes que son considerados relevantes por una amplia mayoría de los autores que han trabajado esta temática. Por otra parte, se han seleccionado aquellas teorías o modelos que explican los fenómenos electromagnéticos y el comportamiento del sistema. También hemos incluido contenidos procedimentales y actitudinales. Y por último, hemos incorporado contenido de carácter funcional y predictivo para mostrar la relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Para el análisis estructural de los contenidos y hechos científicos utilizamos *mapas conceptuales* del tipo Novak y Gowin (1984) (Novak, 1990) para representar las relaciones significativas entre los conceptos y explicitar nuestro pensamiento sobre la temática a impartir. Esta técnica nos ayuda a reflexionar sobre nuestras propias concepciones y puntos de vista en relación con el modo de desarrollar el tema en el aula.

Nosotros hemos elaborado tres grandes mapas conceptuales que han guiado la secuenciación de las unidades didácticas correspondientes a la electrostática, electrocinética y electromagnetismo.

En las tres páginas siguientes se representan dichos mapas.

V.1.2 ANÁLISIS DIDÁCTICO.

Una vez estructurados los contenidos de las unidades didácticas principalmente desde una perspectiva científica realizamos el *análisis didáctico*. Consideramos para ello las concepciones previas de los alumnos ya que son muy importantes para lograr que los aprendizajes sean significativos (Posner et al, 1992; Driver, 1986). En el capítulo IV se han detallado los conocimientos previos de nuestros alumnos sobre los conceptos y relación entre ellos más relevantes.

Para la planificación de los programas de actividades no sólo es importante conocer las ideas previas de los alumnos sino también cómo evolucionan con la enseñanza. Un ejemplo, suficientemente detallado en el capítulo IV, son los graves errores conceptuales que cometen los alumnos cuando tratan de explicar fenómenos magnéticos y electromagnéticos después de haber cursado la electrostática.

También queremos puntualizar, que es importante conocer no sólo las ideas erróneas de los alumnos sino también las aceptadas científicamente pues ambas hay que considerarlas para hacer inteligible la nueva información que incorporaremos en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

V.1.3 SELECCIÓN DE OBJETIVOS.

Realizados los análisis científico y didáctico, la siguiente tarea es la *selección de los objetivos* que se pretenden conseguir. Nosotros hemos formulamos para todo el bloque temático del Electromagnetismo una lista de objetivos generales que representan una visión global de la Física en general. Después, para cada actividad, grupo de actividades o para cada unidad didáctica podrán señalarse objetivos más específicos que orientarán la actuación del profesor que dirija el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Los objetivos generales que intentamos que adquieran nuestros alumnos, en relación con su aprendizaje, son los siguientes:

- Conocer y comprender los conceptos, los principios, las leyes, las teorías y, en general, las ideas fundamentales del electromagnetismo que ayudan a unificar y formar la estructura de la Física.
- Saber resolver y explicar problemas de la vida cotidiana en relación con fenómenos eléctricos y magnéticos.
- Comprender la naturaleza del conocimiento científico y de la metodología científica.
- Comprender las aplicaciones prácticas y las implicaciones sociales del Electromagnetismo.
- Adquirir capacidad para aprender por sí mismo.
- Comprender los aspectos histórico-culturales del Electromagnetismo: desarrollo histórico, sus relaciones con las otras ciencias, la tecnología y las humanidades.
- Conocer y utilizar habilidades intelectuales y manipulativas propias de los procesos de investigación.
- Mostrar una actitud positiva hacia la Ciencia y su aprendizaje.
- Adquirir capacidades y estrategias cognitivas para la resolución de problemas.

V.1.4 PROCESO METODOLÓGICO.

Para desarrollar un tema, el profesor debe adoptar unas normas de actuación ante las que espera que los alumnos respondan de una determinada manera. La selección de la metodología a seguir tiene por objeto el que estas normas de actuación sean eficaces para el logro de los objetivos propuestos. En el capítulo II presentamos la metodología que seguimos en el aula, que concretamos en un conjunto de actividades de enseñanza.

A continuación mostramos los programas de actividades de las cuatro unidades didácticas en que hemos estructurado la enseñanza del electromagnetismo. Corresponden a la segunda versión de las mismas ya que se modificaron después de la evaluación de la experiencia piloto.

La secuencia de actividades que se presenta no es rígida, y debe ser entendida como una propuesta base a partir de la cual cada profesor o grupo de profesores, en función de su programa, puede modificar.

Para todas las unidades didácticas se ha elaborado además del programa-guía de actividades que siguen los alumnos, y que constituye su material de trabajo, una amplia información y comentarios para el profesor que le ayudarán a plantear un proceso metodológico en consonancia con el propuesto.

V.2 PROGRAMAS-GUÍA DE ACTIVIDADES SOBRE LA INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Vamos a iniciar aquí el estudio de una nueva forma de interacción. Se trata de la interacción existente entre cuerpos cargados eléctricamente, llamada interacción electromagnética.

La fuerza electromagnética es una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. Las otras tres son la fuerza gravitatoria, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil. Estas cuatro fuerzas son fundamentales porque cualquier tipo de interacción entre dos objetos de cualquier especie se puede atribuir a una o más de ellas. La fuerza gravitatoria ya la hemos analizado. Las dos fuerzas nucleares se manifiestan solamente entre aquellas partes de dos objetos cuya separación es menor que el radio de un núcleo atómico típico. Es por esto por lo que las fuerzas nucleares no se detectan directamente en la vida cotidiana. Sin embargo son claves en el funcionamiento del universo. Por ejemplo, son responsables de los procesos que hacen que el sol sea luminoso.

La fuerza electromagnética es menos familiar que la fuerza gravitatoria, pero mucho más que las nucleares. A pesar de ello, las consecuencias de las fuerzas electromagnéticas son muy comunes.

La electricidad constituye un nuevo aspecto del comportamiento de la materia. A lo largo de las unidades didácticas siguientes, llegaremos a establecer las leyes que rigen la corriente eléctrica, el estudio de la interacción entre cargas en movimiento y la relación existente entre los fenómenos eléctricos y magnéticos.

A.1 ¿Qué entendéis por electricidad?. Enumerar fenómenos eléctricos e instrumentos conocidos que tengan un fundamento eléctrico?.

COMENTARIOS PARA EL PROFESOR:

Esta actividad planteada de forma abierta, permite que los alumnos aporten valiosas informaciones sobre las ideas que poseen acerca de los fenómenos eléctricos.

Además de los fenómenos puramente electrostáticos, como la electrización por frotamiento, se refieren a otros, como la producción de luz y calor, la utilización de las máquinas eléctricas, aparatos de radio y televisión, etc. Toda esta información puede servirnos de base para delimitar los contenidos a estudiar en esta parte de la física y permitirá fijar el hilo conductor para el desarrollo de estas unidades.

El profesor preguntará a los alumnos que clasifiquen sus respuestas atendiendo al criterio de si existe movimiento continuo de cargas (electrocínica) o si existen cargas en reposo respecto al observador (electrostática) en los instrumentos o fenómenos que mencionan. Esta clasificación permite centrar la atención sobre los fenómenos electrostáticos, que serán los primeros que se estudiarán porque su comportamiento físico es más simple que el de las cargas en movimiento.

El profesor intentará motivar en este tema a los alumnos subrayando los aspectos Ciencia-Técnica-Sociedad que muestren el interés del estudio a realizar, en particular, la producción de energía eléctrica y su transporte a grandes distancias, los problemas de las grandes pérdidas de energía que ello conlleva, la búsqueda de nuevos materiales superconductores, la rapidez en las transmisiones de información mediante cables (fibras ópticas) y ondas (radiación).

V.2.1 UNIDAD DIDÁCTICA 1: LA ELECTROSTÁTICA

Acabáis de indicar algunos ejemplos de fenómenos eléctricos donde las cargas están en reposo y muchos más donde las cargas se encuentran en continuo movimiento. Comenzaremos abordando el estudio del caso más sencillo: la producción de carga eléctrica y la interacción entre cuerpos cargados eléctricamente y en reposo (electroestática), dejando para la unidad didáctica siguiente el estudio del desplazamiento de cargas eléctricas (corriente eléctrica).

El índice del tema es el siguiente :

1. MATERIA Y CARGAS ELÉCTRICAS.

- 1.1 Electrización por frotamiento.
- 1.2 Electrización por contacto.
- 1.3 Carga eléctrica. Tipos de carga.
- 1.4 Teoría atómica sobre constitución de la materia.

2. MEDIDA DE LA CARGA ELÉCTRICA. MATERIALES CONDUCTORES Y AISLANTES.

- 2.1 Transmisión de la carga. Cuerpos conductores y aislantes.

3. INTERACCIONES ENTRE CUERPOS CARGADOS. LEY DE COULOMB. CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO.

- 3.1 Ley de Coulomb.
- 3.2 Campo eléctrico.
- 3.3 Representación de campos de fuerzas. Líneas de fuerza.
- 3.4 Fenómenos de influencia: su interpretación.
- 3.5 Diferencias entre las tres formas de cargar cuerpos.
- 3.6 Campos eléctricos creados por: una carga puntual, varias cargas puntuales y cuerpos extensos.

4. ENERGÍA POTENCIAL DE UN CAMPO ELÉCTRICO.

- 4.1 Diferencia de energía potencial. Diferencia de potencial.
- 4.2 Energía potencial de una carga. Potencial absoluto. Voltio.
- 4.3 Superficie equipotencial.
- 4.4 Potencial creado por: una carga puntual, varias cargas puntuales y cuerpos extensos.
- 4.5 Gradiente de potencial.

5. CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICOS CREADOS POR CUERPOS EXTENSOS CARGADOS. TEOREMA DE GAUSS: APLICACIONES.

- 5.1 Campos y potenciales creados por: un hilo largo, una lámina plana infinita y un conductor esférico.
- 5.2 Teorema de Gauss.
- 5.3 Máquinas electrostáticas: Generador de Van der Graff.
- 5.4 Fenómenos atmosféricos: relámpago y trueno.
- 5.5 El pararrayos: su utilidad.

6. ALMACENAMIENTO DE CARGA. CAPACIDAD. CONDENSADORES.

- 6.1 Capacidad de un conductor aislado.
- 6.2 Condensador: su utilidad.
- 6.3 Comportamiento de un dieléctrico en un campo eléctrico.
- 6.4 Energía de un condensador.

1. MATERIA Y CARGAS ELÉCTRICAS

A.1 Describir lo que ocurre cuando se realizan los siguientes experimentos y dar explicación a los mismos:

- a) Frotar con un paño un bolígrafo de plástico y acercarlo a trocitos de papel y de aluminio.
- b) Frotar con piel de gato una barra de ebonita y acercarla a un chorro fino de agua.
- c) Frotar con piel de gato una barra de ebonita y acercarla a un chorro de alcohol.
- d) Peinarse con un peine de plástico estando el pelo muy seco y desengrasado.
- e) ¿Habéis recibido alguna descarga eléctrica ("calambrazo") cuando os habéis apeado de un coche y habéis tocado la chapa?
- f) ¿Habéis visto pequeñas chispitas que saltan de un jersey acrílico cuando os lo quitáis por la noche en tiempo seco?
- g) Inflar dos globos y frotarlos con piel o con vuestros jerseys de lana. Dejarlos de nuevo y colocarlos juntos a modo de péndulo.

Todos los experimentos anteriores y muchos más son fenómenos eléctricos. Enumerar más fenómenos semejantes y dar explicación a los mismos.

A.2 ¿Qué ocurre cuando se acerca una barra de ebonita cargada a una esferita de médula de saúco colgada de un hilo de nylon a modo de péndulo?. Explicarlo.

En los primeros trabajos sobre propiedades eléctricas de la materia se utiliza como detector la acción ejercida por los cuerpos frotados sobre objetos muy ligeros (plumas, papelitos, etc...). Pero resulta evidente que, tal procedimiento carece de la mínima precisión, y se hace necesario construir instrumentos más sensibles.

A.3 Diseñar algunos instrumentos sencillos y suficientemente sensibles para la detección de pequeñas fuerzas eléctricas. Proceder a la construcción de alguno de los instrumentos diseñados.

William Gilbert, el más famoso físico experimental inglés de su época, publicó en 1600 su libro De Magnete. El último capítulo dedicado a la electricidad representa el primer tratado importante sobre el tema. Hasta entonces el conocimiento de los fenómenos eléctricos era muy escaso. Se sabía, desde la antigüedad que el ámbar y el azabache, al ser frotados, adquieren la propiedad de atraer a pequeñas porciones de materia. Pero, ¿esta propiedad la adquieren todos los cuerpos que se frota entre sí?. Trataremos de dar respuesta a este interrogante.

A.4 A qué conclusión se llega al frotar entre sí diferentes materiales. Por ejemplo: barras de ebonita, metálicas, de plástico, de vidrio,...; trozos de piel de gato, lana, seda natural...; trocitos de papel, aluminio, ...

Mediante los aparatos detectores de cargas se puede realizar un estudio cualitativo sobre las interacciones que se producen entre cuerpos cargados. Charles François de Cisternay du Fay descubrió que la electrización producida en los cuerpos por el frotamiento es de dos tipos únicamente. La electricidad producida en el vidrio (frotado con seda) la llamó "vítrea", y la producida en una varilla de resina o ámbar (frotada con lana) la llamó "resinosa". Más tarde Benjamín Franklin sustituyó los nombres anteriores por los términos de positiva (vítrea) y negativa (resinosa) que hoy día están en vigor.

A.5 Frotamos una barra de hierro con piel de gato. ¿Por qué no se electriza la barra?. ¿Por qué al acercar la piel de gato frotada a un péndulo no ocurre nada?.

Las primeras teorías de valor a la hora de dirigir y sistematizar la experimentación tuvieron su advenimiento únicamente después de que Du Fay encontrase que puede electrizarse toda clase de materia, y que la electrización es de dos tipos opuestos. Desarrolló la teoría de que todos los cuerpos contienen cantidades iguales de dos fluidos sin peso: electricidad resinosa y vítrea. Se suponía que los dos fluidos eran autorrepelentes pero mutuamente atractivos, de modo que sus efectos se neutralizaban entre sí completamente en los cuerpos en condiciones normales. Esta teoría de los dos fluidos tuvo su rival en la teoría de un solo fluido propuesta en 1746 por William Watson e independientemente algunos meses después por Benjamín Franklin. Difirió de la teoría de Du Fay en considerar la electrización positiva (vítrea) como indicación de un exceso de una cierta cantidad normal de un solo fluido, que lo impregnaba todo, la electricidad positiva, que es auto-repelente pero que se ve atraída fuertemente por la materia

ordinaria. La electrización negativa (resinosa) es una deficiencia de este fluido. Con objeto de explicar las repulsiones mutuas de cuerpos cargados negativamente, era necesario admitir que las partículas de la materia ordinaria, cuando se disocian del fluido eléctrico, se repelen entre sí.

Hoy día los fenómenos eléctricos se explican a través de la teoría atómica acerca de la constitución de la materia.

A.6 Exposición de la teoría atómica acerca de la constitución de la materia.

Los cuerpos al ser frotados modifican su estructura apareciendo en ellos efectos que manifiestan la presencia de "algo" que llamamos carga. ¿Pero estas cargas se crean en la materia como consecuencia de ciertos procesos físicos o son las cargas eléctricas una propiedad intrínseca de la materia (como es la masa), a pesar de que sólo manifiestan sus efectos después de ciertos frotamientos de la misma?

A.7 Contestar a las siguientes cuestiones :

- a) ¿Explica la teoría atómica los fenómenos anteriores?. ¿Las cargas eléctricas son una propiedad intrínseca de la materia?.
- b) Un cuerpo neutro, ¿es un cuerpo sin cargas eléctricas?.
- c) ¿Está cuantizada la carga eléctrica?.
- d) Si al frotar un cuerpo éste queda cargado con una cierta cantidad de carga positiva, ¿qué carga adquirirá el cuerpo con el que se frotó?. ¿Por qué?.
- e) ¿Se puede hablar de una ley de conservación de la carga eléctrica?.
- f) ¿Cómo interpretáis los fenómenos que ocurren en el caso del peine-pelo, jersey y coche?.

2. MEDIDA (CANTIDAD Y CLASE) DE LA CARGA ELÉCTRICA. MATERIALES CONDUCTORES Y AISLADORES.

Hemos dicho que los metales no se cargan al ser frotados con piel de gato. Sin embargo existen instrumentos detectores y medidores de carga que utilizan aquellos para su funcionamiento. ¿Cómo se puede explicar esta aparente contradicción?. Veámoslo.

A.8 Para qué sirve un electroscopio. Para qué se utiliza un electrómetro?. Explicar cómo funcionan.

A.9 ¿Qué ocurre si se toca la parte superior de un electroscopio cargado con diversos objetos; por ejemplo: con un lápiz, con un bolígrafo, con la mano, con cerillas, con varillas, etc..?. ¿Cómo clasificaríais a los materiales?. ¿Encontráis ahora respuesta a la primera pregunta de la actividad A.5?.

A.10 Interpretar teóricamente el fenómeno de la conducción eléctrica a través de la teoría atómica de la materia.

A.11 Explicar cómo determinar la clase de carga de un cuerpo cargado.

Contestar a las siguientes cuestiones :

- ¿Por qué pasan los electrones de la barra de ebonita cargada al electrómetro o del electrómetro a la barra de vidrio?.
- ¿Por qué se descarga el electrómetro al tocarle con un dedo?.

3. INTERACCIONES ENTRE CUERPOS CARGADOS. LEY DE COULOMB. CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO.

Ya sabemos cómo explicar una buena parte de los fenómenos electrostáticos que se producen en la naturaleza. Sin embargo, aún no conocemos la ley que rige las interacciones entre cargas eléctricas (cuerpos puntuales cargados cuyas dimensiones son despreciables comparadas con la distancia r que las separa).

A.12 Emitir hipótesis acerca de los factores de que puede depender el valor de la fuerza entre dos cuerpos puntuales cargados. Profundizar dicha hipótesis proponiendo una forma de dependencia concreta. Diseñar algún experimento que nos permita contrastar las hipótesis emitidas.

A.13 Contestar a las siguientes cuestiones:

- ¿Por qué algunos días no se detectan los efectos electromagnéticos?.
- Una carga negativa se encuentra equidistante de dos cargas positivas, ¿existe alguna fuerza sobre ella?.

La ley de la fuerza existente entre cargas eléctricas, fue descubierta por Priestley en 1766 y redescubierta por Cavendish pocos años después; pero fue Coulomb, en 1785, quien la sometió en primer lugar a ensayos experimentales directos, utilizando una balanza de torsión.

A.14 Exposición de la ley que rige las interacciones entre cuerpos cargados: **Ley de Coulomb**.

Leer y retener el apartado que sobre la ley de Coulomb figura en tu libro de Física General.

A.15 Comparar las intensidades de la interacción gravitatoria y eléctrica en un átomo de hidrógeno formado por un protón y un electrón.

Una particularidad que presentan las fuerzas de origen eléctrico es que las interacciones entre dos cargas no están afectadas por la presencia de una tercera, cuarta, etc.. carga. De este modo, la fuerza que varias cargas $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_i$, ejercen sobre una carga Q , será:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_i$$

A.16 Sea un cuadrado con cuatro cuerpos cargados situados en sus vértices. ¿A qué fuerza se encuentra sometido otro cuerpo cargado situado en el centro del cuadrado?.

- Realizar un estudio cualitativo de la situación planteada y, a la luz del mismo, *operativizar* el problema y formular hipótesis acerca de los factores que influirán en la magnitud buscada. Imaginar, asimismo, situaciones sencillas donde sea posible predecir el resultado.
- A partir de las hipótesis formuladas y el cuerpo de conocimientos disponibles, elaborar posibles *estrategias de resolución*.
- Realizar la *resolución*.
- Proceder al *análisis* de los resultados.
- Aplicar la situación a un *caso particular*.

A.17 Realizar un análisis comparativo entre las interacciones gravitatorias y eléctricas regidas por las leyes de Newton y de Coulomb respectivamente.

A.18 ¿Por qué cuando acercamos una barra de ebonita cargada a un electroscopio divergen las láminas y cuando la alejamos vuelven a su situación primitiva?.

A.19 Al acercar un cuerpo cargado a un chorro de agua lo atrae, ¿ocurrirá lo mismo si lo acercamos a un chorro de otro líquido (p.e.: tetracloruro de carbono)?.

La importante noción física de **CAMPO** se corresponde con la existencia de una región del espacio en la que existe una propiedad medible. Así, por ejemplo, en una habitación se puede hablar de campo de temperaturas, ya que si colocamos un termómetro en cualquiera de los puntos de ese recinto mediremos una temperatura. Igualmente, se puede hablar de un campo de presiones (el mapa del tiempo representa gráficamente la presión atmosférica a una altura determinada), o un campo de velocidades del agua en los diferentes puntos de un río, etc.

Los campos de fuerza son especialmente importantes; ya conoces uno, el campo gravitatorio caracterizado porque al colocar un cuerpo de masa m en cualquier punto influenciado por una masa M creadora del campo, aquél se ve sometido a una fuerza de atracción hacia la materia M . Su propiedad característica es la gravedad. Otro, es el campo eléctrico. Veamos sus propiedades.

A.20 Definir campo eléctrico. ¿Quién lo crea?. ¿Es escalar o vectorial?. ¿De qué depende?. ¿Cuál es la magnitud activa?. ¿Cuál es la característica propia que define el campo?.

*Para indicar la dirección y sentido de la magnitud que diferencia a un campo de otro se utiliza el concepto de **líneas de fuerza**. Este concepto fue introducido por Michael Faraday (1791-1867) como un medio auxiliar para visualizar sobre un plano campos eléctricos (o magnéticos). Una línea de fuerza es una línea imaginaria dibujada de modo que indica la dirección y sentido -se visualiza con una flecha sobre la línea- del campo en cualquiera de sus puntos.*

Se puede dibujar una línea de fuerza por cada punto del campo eléctrico; pero si se hiciese esto, toda la superficie del plano estaría cubierta por líneas de fuerza, y no podríamos distinguir ninguna de ellas por separado. Para evitar este problema y para indicar la magnitud del mismo se espacian las líneas de tal modo que el número de las que atraviesan la unidad de superficie perpendicular a la dirección del campo sea en cada punto proporcional a la intensidad del campo eléctrico. Por tanto, en una región donde la intensidad del campo es grande, las líneas de fuerza están más apretadas que en una zona donde la intensidad del campo es menor.

A.21 Calcular el campo eléctrico creado por una carga puntual y la fuerza a que se encuentra sometida otra carga también puntual y no muy alejada de la anterior. Representar el campo eléctrico mediante líneas de fuerza.

*Ya conocéis dos técnicas para cargar cuerpos: por frotamiento entre dos cuerpos neutros y por contacto de un cuerpo cargado con uno neutro. Existe otro método llamado **electrización por inducción** mediante el cuál se puede cargar cuerpos conductores a distancia, es decir, sin necesidad de que exista contacto entre los cuerpos.*

A.22 Indicar lo que ocurre si se realizan los siguientes experimentos y explicarlos:

a) Frotar un trozo de plástico con piel de gato y apoyar en aquél un electróforo. Cogerlo por el mango y tocar con el disco la parte metálica de un electrómetro. Hacer lo mismo, pero ahora cuando está el electróforo apoyado en el plástico tocar con un dedo durante un instante la cara superior del disco. Comparar la clase de electricidad del electrómetro con la de la barra de ebonita cargada.

b) Cargar el electróforo igual que antes y acércalo, sin llegar a tocarlo, al electrómetro. Separarlo. Hacer lo mismo, pero ahora tocar con un dedo la parte inferior del electrómetro. Retirar el dedo y acto seguido el electróforo. Comparar la carga del electrómetro con la barra de ebonita cargada.

A.23 Interpretar teóricamente los fenómenos de inducción electrostática atendiendo a la naturaleza de la materia. Considerar para ello las diferencias existentes entre conductores y aisladores.

Como ya sabes, toda carga eléctrica crea un campo eléctrico. Cuando tenemos varias cargas, cada una de ellas originará su campo eléctrico. Hoy día la comunidad científica admite el principio de superposición de campos, de tal forma que la intensidad del campo eléctrico total en un punto es la suma vectorial de las intensidades de los campos creados por cada carga individual.

A.24 Calcular la intensidad del campo eléctrico creado por dos cargas puntuales e iguales en los puntos equidistantes de ambas cargas.

A.25 Dibujar, mediante líneas de fuerza, el campo eléctrico producido por :

- a) Dos cargas del mismo tipo.
- b) Dos cargas de distinto tipo.
- c) Dos placas metálicas plano paralelas con cargas de distinto tipo.

En la práctica, los campos eléctricos los crean generalmente cargas distribuidas sobre las superficies de conductores de tamaño finito, y no cargas puntuales. El campo eléctrico se calcula entonces imaginando subdividida la carga de cada conductor en pequeños elementos Δq .

A.26 ¿Cuál será la expresión del campo eléctrico producido por una carga extensa en cualquier punto del espacio?. Calcular la intensidad del campo eléctrico debida a un anillo cargado en los puntos de su eje. Representar el campo eléctrico que origina mediante líneas de fuerza.

A.27 Revisar ordenadamente el modelo construido hasta aquí sobre el comportamiento de la materia. Indicar las diferencias entre los tres modos de electrizar o cargar los cuerpos: por frotamiento, por contacto y por inducción.

Explicar todos los fenómenos realizados en clase o fuera de ella relacionados con la inducción electrostática.

4. ENERGÍA POTENCIAL DE UN CAMPO ELÉCTRICO.

Los conceptos de trabajo y energía empezaron a ocupar una posición central en las teorías de la mecánica y del calor en la primera mitad del siglo pasado y pronto se incorporaron a las teorías de la electricidad, en donde gradualmente asumieron papeles de importancia fundamental. Una vez definido claramente el concepto de trabajo, resultó evidente que debe realizarse un trabajo por o contra las fuerzas que existen entre cuerpos cargados cuando dichos cuerpos se desplazan relativamente entre sí. De aquí que resultase adecuado el desarrollar los conceptos apropiados para la energía potencial electrostática.

En este apartado desarrollaremos una descripción energética de los campos eléctricos que simplifica grandemente su cálculo analítico o numérico.

A.28 ¿Qué quiere decir que un campo es conservativo?. ¿Qué transformaciones energéticas experimentan los cuerpos cuando se desplazan de una posición a otra de un campo de fuerzas?.

Ya sabéis cómo calcular las fuerzas que actúan sobre cuerpos cargados situados en un campo eléctrico. Pero, para el conocimiento completo de los fenómenos relativos al movimiento de estos tenemos que conocer -como ya sabéis- las manipulaciones energéticas que los acompañan, es decir, el trabajo que se debe realizar para desplazar cargas.

A.29 Averiguar si los campos eléctricos son conservativos. Comprobarlo en caso particular sencillo, por ejemplo en el campo eléctrico creado por una carga puntual negativa.

A.30 ¿Cómo se puede desplazar una carga de un punto a otro de un campo eléctrico?. ¿Se modifica el campo?. ¿Posee más energía?. ¿Cuáles son las diferencias más significativas entre el desplazamiento de una masa en un campo gravitatorio y el desplazamiento de una carga en un campo eléctrico?.

Si una carga se mueve en un campo eléctrico por la acción de un agente externo, este agente debe realizar trabajo sobre la carga contra las fuerzas eléctricas netas del campo. Una vez eliminado el agente externo, el campo queda libre para hacer volver la carga a su posición original, realizando a su vez trabajo en el proceso. Así pues, por analogía con la energía potencial mecánica, podemos asociar una energía potencial electrostática con cualquier carga situada en el interior de un campo eléctrico.

A.31 Dar una definición operativa de *diferencia de energía potencial eléctrica* entre dos puntos de un campo eléctrico.

¿Se puede conocer la *energía potencial eléctrica absoluta* en cualquier punto de un campo eléctrico?. ¿Cómo?. Definir este concepto.

A.32 ¿La magnitud, diferencia de energía potencial entre dos puntos de un campo eléctrico es una propiedad de campo?. Introducir una nueva magnitud, llamada *diferencia de potencial*, que sea característica propia de un campo de fuerzas eléctrico.

Definir análogamente *potencial absoluto* en un punto de un campo eléctrico.

Definir *voltio*: unidad del S.I. de la magnitud potencial o diferencia de potencial.

No siempre resulta fácilmente calculable el potencial en un punto de un campo eléctrico creado por una distribución cualquiera de carga. El caso más sencillo se da cuando la distribución que crea el campo se reduce a una carga puntual o un sistema de cargas puntuales. Estudiemos estos casos y el de una carga extensa con una cierta simetría.

A.33 Calcular el potencial eléctrico creado por una carga puntual.

Qué trabajo hay que realizar para llevar una carga puntual de un punto A a otro B del campo anterior. Particularizar para los siguientes datos:

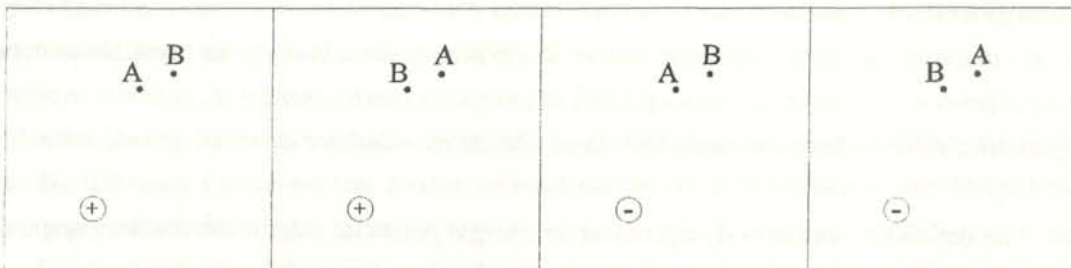
- Carga creadora del campo = -5×10^{-4} C.
- Carga que se desplaza = 10^{-4} C.
- Distancia entre los puntos A y B = 8 m.
- Distancia de la carga fija al punto A = 5 m.
- Distancia de la carga fija al punto B = 10 m.

A.34 Admitiendo el principio de superposición de campos, calcular el potencial creado por un dipolo (cargas iguales en magnitud, signo opuesto y puntuales), en los puntos equidistantes de las dos cargas.

A.35 Calcular el potencial eléctrico en los puntos del eje de un disco circular uniformemente cargado, cuya densidad de carga por unidad de área es σ .

De ordinario el potencial del campo creado por una distribución de cargas dadas es más fácil de calcular que la intensidad del campo, debido a que el primero es escalar y el último es un vector. Interesa, por tanto, encontrar una expresión sencilla que relacione estas dos magnitudes con objeto de calcular la intensidad del campo una vez conocido el potencial. Hallemos esta relación.

A.36 Considerar las figuras siguientes donde los puntos A y B se suponen muy próximos.



Calcular la diferencia de potencial entre A y B en función de la componente del campo eléctrico en dirección del desplazamiento para las cuatro figuras. Extraer conclusiones.

Con la ayuda de la nueva magnitud -potencial- que caracteriza a un campo de fuerzas se puede obtener otra representación gráfica del mismo por medio de las llamadas superficies equipotenciales.

A.37 Contestar a las siguientes cuestiones:

- a) Qué indican las superficies equipotenciales.
- b) ¿Qué trabajo se realiza cuando se traslada una carga por una superficie equipotencial?
- c) ¿Se pueden cruzar las superficies equipotenciales entre sí?. ¿Y las líneas de fuerza?.

- d) ¿Se pueden cruzar las líneas de fuerza con las superficies equipotenciales?. En caso afirmativo, ¿cómo lo hacen?.
- e) ¿Puede una carga moverse espontáneamente por una superficie equipotencial?.

A.38 Representar las superficies equipotenciales del campo creado por las siguientes cargas:

- a) Una carga puntual.
- b) Dos cargas iguales separadas una distancia.
- c) Dos placas metálicas plano paralelas con cargas iguales de signo contrario.

Con objeto de aplicar los conceptos introducidos anteriormente a continuación se presentan dos situaciones problemáticas que debéis resolver utilizando la metodología científica.

A.39 ¿En qué punto de la pantalla fluorescente de un tubo de rayos catódicos chocará un electrón?.

A.40 ¿Qué ángulo forma un péndulo entre dos placas metálicas plano paralelas cargadas?.

5. CAMPO ELÉCTRICO Y POTENCIAL CREADO POR CUERPOS EXTENSOS CARGADOS. TEOREMA DE GAUSS: APLICACIONES.

Ya sabemos calcular la intensidad del campo eléctrico y el potencial en cualquier punto del espacio debidos a cuerpos conductores cargados que presenten una cierta simetría. Con objeto de adquirir soltura en la realización de los procesos de cálculo, veámos algunos ejemplos interesantes.

A.41 Calcular el campo eléctrico y el potencial creado por un hilo largo cargado con una carga λ por unidad de longitud en cualquier punto del espacio.

A.42 (Opcional). Calcular el campo eléctrico y el potencial creado por una lámina delgada plana infinita, cargada con una carga por unidad área σ , en cualquier punto del espacio.

A.43 Calcular el campo eléctrico y el potencial creado por un conductor esférico en equilibrio electrostático en cualquier punto del espacio (dentro y fuera de la esfera). Para ello reflexionar sobre la situación de las cargas en el interior de la esfera.

Mediante las actividades anteriores habéis comprobado la dificultad que entraña el cálculo de campos eléctricos creados por cargas continuas o extensas. Sin embargo, su cálculo puede simplificarse bastante aplicando la ley de Gauss, la cual constituye la expresión de una importante propiedad que poseen los campos electrostáticos.

La ley de Gauss es equivalente a la ley de Coulomb. Sin embargo, en ciertas circunstancias posee dos ventajas significativas frente a la ley de Coulomb. La primera es que la ley de Gauss permite cálculos de campos eléctricos relativamente fáciles para ciertas distribuciones simétricas de cargas. La otra ventaja es que la ley de Gauss nos suministra una visión particularmente clara de ciertas propiedades básicas del campo eléctrico para cualquier distribución de carga.

A.44 Exposición de la ley que establece una relación entre el flujo ϕ de líneas de fuerza eléctrica a través de una superficie cerrada y la carga neta q encerrada por la superficie. (**Teorema de Gauss**).

A.45 Realizar las actividades A.43, A.41 y A.42 aplicando el teorema de Gauss.

Calcular el campo eléctrico de un conductor cargado, de forma irregular, en los puntos cercanos a la superficie.

Al realizar la actividad A-43 emitimos la hipótesis de que la carga de un conductor esférico debía estar en la superficie, pero ¿es realmente cierto?, ¿ocurre igualmente en los conductores irregulares?. Comprobémoslo diseñando y realizando algunos experimentos.

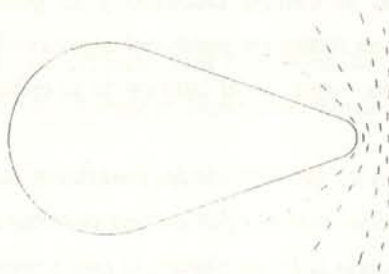
A.46 Planificar y realizar experimentos para averiguar si la carga de un conductor se sitúa en su superficie. ¿Ocurre lo mismo en todos los cuerpos?.

A.47 Sean dos conductores esféricos cargados. ¿Qué cargas tendrán después de conectarlos entre sí?.

A.48 ¿Qué ocurre cuando introducimos una esfera cargada dentro de otra hueca?. ¿Y al ponerlas en contacto mediante un hilo?.

Hemos analizado dónde y de qué forma se encuentra situada la carga de conductores con una cierta simetría y perfectamente aislados en el espacio. Sin embargo la uniformidad de la carga que hemos observado hasta ahora no tiene lugar en todos los conductores y menos aún en los no conductores.

A.49 En el gráfico adjunto se representan las superficies equipotenciales de un conductor cargado de la forma que se observa en la figura. Compararlas con las creadas por un conductor esférico. Pintar las líneas de fuerza. Extraer conclusiones.



El aire es mal conductor de la electricidad; sin embargo, si la intensidad del campo es suficientemente grande, las moléculas del aire (en este siempre existen iones positivos y electrones libres) se pueden ionizar; es decir, el aire se convierte en conductor.

A.50 Interpretar los fenómenos atmosféricos : relámpago y trueno.

No existe ningún medio conocido para evitar los rayos; sin embargo existen medios eficaces de protección contra su destructividad. Los pararrayos, invento de Benjamin Franklin, se utilizan para proteger edificios.

A.51 Explicar cómo protegen los pararrayos a los edificios y personas que se encuentran en los mismos de las descargas eléctricas.

Todo dispositivo capaz de producir una d.d.p. entre dos conductores poniendo en juego los fenómenos de electrización por influencia o rozamiento, constituye una máquina o generador electrostático. Detengámonos en una de ellas.

A.52 Analizar las diferentes partes de un generador de Van der Graaff. Explicar para qué se utiliza, cómo funciona y qué limitaciones tiene.

Dibujar líneas de fuerza producidas por cuerpos cargados.

6. ALMACENAMIENTO DE CARGA. CAPACIDAD. CONDENSADORES.

Durante muchos siglos, la única manera de cargar objetos eléctricamente fue frotándolos. En 1667 Otto Van Guericke descubrió y realizó una máquina capaz de producir grandes cantidades de carga por frotamiento:

"... toma una esfera de vidrio tan grande como una cabeza de un niño y llénala con azufre pulverizado y caliéntala hasta que funda. Cuando se haya enfriado de nuevo, rompe la esfera, saca el globo de azufre y mantenlo en lugar seco. Si piensas que es mejor haz un orificio de modo que se pueda colocar un asa".

Esta esfera se cargaba haciéndola girar rápidamente y colocando la mano sobre la superficie.

Cada vez se fueron construyendo máquinas eléctricas más potentes, lo suficiente para producir fuertes sacudidas eléctricas y terribles chispas. En 1746 Pieter Von Musschenbroek, profesor de física de la universidad de Leyden, informó de un accidente y casi total descubrimiento en una carta que comenzaba:

"Deseo comunicarte un nuevo, pero terrible descubrimiento que te aconsejaría que nunca lo intentases tu mismo".

Musschenbroek estaba aparentemente tratando de capturar electricidad de una botella para lo cual conectó una botella llena de agua mediante un cable de latón a una máquina electrostática. Cuando el estudiante tocó el cable con la mano libre recibió una tremenda sacudida. Repitieron el experimento, esta vez el estudiante hacia funcionar la máquina y Musschenbroek sostenía la jarra. La sacudida fue incluso mayor que antes (el estudiante debió ser más enérgico al hacer funcionar la máquina). Musschenbroek había descubierto inadvertidamente que las cargas podían ser almacenadas en un objeto adecuadamente construido.

A.53 Contestar razonadamente a las siguientes cuestiones :

- a) ¿Se puede almacenar en un conductor aislado -por ejemplo, en la campana del generador de Van der Graaff- toda la carga que se desee?.
- b) ¿Cómo se puede conseguir un flujo de electrones -corriente eléctrica- disponiendo del almacén de cargas anterior?.
- c) ¿Por qué se produce la corriente eléctrica?. ¿Cuándo cesa?. ¿Qué debe hacerse para conseguir que la corriente dure el mayor tiempo posible?.
- d) ¿Cómo cargarías dos conductores para obtener una corriente eléctrica duradera?.
- e) ¿Cómo definirías la *capacidad* de almacenamiento de cargas de un conductor aislado?. ¿Y la de dos conductores con igual carga y de signo contrario, separados una distancia?.

La capacidad de un conductor varía con la proximidad de otros conductores, ya que el potencial del primero depende no tan sólo de la propia carga, sino también del valor y signo de las que le rodean. Un caso muy importante es el que se presenta a continuación:

A.54 Calcular el campo eléctrico creado por dos láminas paralelas cargadas con distinto tipo de carga. Hallar la diferencia de potencial entre las placas. Calcular la capacidad de estas láminas. ¿Dónde está almacenada la energía?. ¿Puede ser útil este dispositivo?. Indicar otros semejantes.

Cuando la materia se introduce dentro de un campo eléctrico hemos visto que se produce siempre un cierto movimiento o reordenación de las cargas existentes dentro de la misma. En un conductor perfecto, que coincide aproximadamente con el comportamiento de las sustancias metálicas reales, los electrones se mueven libremente hasta que se anula el campo neto en el interior del conductor. Sin embargo, en el caso de la mayoría de los materiales no metálicos las cargas no tienen libertad para moverse y los electrones están ligados estrechamente a sus moléculas. La única reordenación posible consiste en un desplazamiento neto de carga dentro de cada molécula, como si se aplicase una fuerza en ambos extremos de un muelle muy

resistente, deformado muy ligeramente. Sin embargo, el efecto macroscópico acumulativo de un número elevado de pequeñas deformaciones o distorsiones puede ser muy notable y fácil de medir.

Faraday investigó los efectos de diferentes materiales aislantes -dieléctricos- colocados entre las placas o láminas paralelas cargadas. Veamos cuáles fueron los resultados de sus investigaciones.

A.55 Explicar lo que ocurre cuando entre las dos láminas anteriores se introducen diferentes materiales aislantes -dieléctricos- como: vidrio, papel, polietileno, caucho, mica. Recuerda que los dieléctricos poseen o bien moléculas polares (agua, amoníaco, ...) o bien moléculas no polares (H_2 , N_2 , O_2 , etc....).

*A los dispositivos anteriores (dos conductores cargados con igual carga de signo contrario) separados por un dieléctrico se les llama **condensadores**.*

A.56 Indicar cómo se puede aumentar la capacidad de un condensador. Señalar la importancia que tienen los dieléctricos en el interior de un condensador. Describir la utilidad que tienen los condensadores.

¿Cuál es la característica que diferencia a un condensador de otro?. Define la unidad de esta magnitud.

A.57 (Opcional). Calcular la capacidad de un condensador cilíndrico y la de uno esférico.

A.58 Se rellena un condensador de láminas plano-paralelas con dos dieléctricos de igual tamaño. ¿Qué forma deben tener los dieléctricos, en el interior de las placas, para que la capacidad del condensador aumente lo máximo posible?.

A.59 ¿Qué capacidad debe tener un condensador para sustituir a varios asociados en serie?. ¿Y a varios asociados en paralelo?.

Para cargar un condensador hay que consumir una energía que queda almacenada en el mismo en forma de energía potencial eléctrica, y que puede ser recuperada cuando se descarga el condensador.

Se puede cargar el condensador trasladando cargas negativas de una placa a otra. La energía almacenada será igual al trabajo que realizamos para trasladar las cargas.

A.60 Calcular la energía almacenada en un condensador en función de su capacidad y la carga que posea.

Hallar la capacidad y energía de un condensador plano, cuyo dieléctrico es de poliestireno ($\epsilon' = 2,5$) y con placas de 60 cm^2 de sección y separadas 1 mm , si se carga con una diferencia de potencial de 220 V .

Como recordáis los campos de fuerza consisten en una profunda modificación sufrida por el medio tan pronto como aparece en su seno la causa -masa, carga, etc...- creadora del campo. Esta modificación implica que en el medio se cree una densidad de energía que antes no existía. La energía, por tanto, se encuentra "almacenada" en el mismo espacio del campo eléctrico que la produce.

A.61 Encontrar una relación que dé la energía "almacenada" en un condensador plano en función de la intensidad del campo eléctrico existente en el mismo. Calcular la densidad de energía del campo eléctrico, ρ_e , existente en el interior del condensador.

A.62 Un condensador de láminas plano paralelas, sin dieléctrico, se carga con una fuente de alimentación. Seguidamente se desconecta y se sumerge en un líquido. ¿Qué diferencia de potencial existe entre las placas después de sumergirse la mitad?

A.63 Elaborar uno o varios mapas conceptuales con todo lo tratado en la unidad didáctica.

INFORMACIÓN Y COMENTARIOS PARA EL PROFESOR

A.1 Mediante esta actividad se pretende por una parte motivar a los alumnos en el tema de la electrostática y por otra para que expliciten sus ideas y concepciones sobre fenómenos electrostáticos cotidianos. El profesor debe procurar establecer un diálogo ameno en donde participen un número elevado de alumnos. No se pretende, por tanto, dar la respuesta científica a las cuestiones planteadas. Las contestaciones a las preguntas serán anotadas por los alumnos para que puedan ser contrastadas una vez desarrolladas las actividades posteriores.

A.2 En esta actividad saldrán a relucir algunas concepciones erróneas sobre la electricidad, como por ejemplo, la concepción "creacionista" de la carga eléctrica o la electricidad como "fluido eléctrico". Estas concepciones se irán analizando a medida que se profundiza en el tema. Si los alumnos no lo consiguen, el profesor mostrará el comportamiento de la bolita del péndulo según se encuentre en estado neutro o cargado con uno u otro tipo de carga. Permitirá posteriormente argumentar la existencia de dos tipos distintos de cargas.

A.3 Las respuestas de los alumnos consisten básicamente en suspender un objeto ligero de un hilo (con lo que puede ser atraído con facilidad) o en una varilla suspendida por su centro, o mejor, ayudándose de un soporte que mantenga la varilla en posición horizontal para que pueda girar fácilmente también.

El primer instrumento eléctrico llamado *versorio* fue diseñado y utilizado por Gilbert (1544-1603). Conviene situar el trabajo de Gilbert señalando que su interés principal era el magnetismo en una época marcada por el desarrollo de la navegación. Sus estudios pretendían precisamente establecer una clara división entre el magnetismo y el "efecto ambar" (con que se conocía a la electrización por frotamiento).

Otro tipo de versorio con mayores posibilidades experimentales, puede construirse pinchando una aguja larga en una plancha de porexpan, colocando un tubo de ensayo invertido en la aguja, actuando su punta de pivote. Encima del tubo se pone una plataforma que sirve para que se puedan colocar cuerpos cargados que interactúan con otros que se aproximen. El giro suave de la plataforma sobre el extremo del tubo de vidrio dependerá del tipo de interacción entre los cuerpos cargados.

Otros de los aparatos para detección de pequeñas fuerzas eléctricas es el péndulo electrostático y el electroscopio que se ve más adelante.

A.4 Se pretende confirmar que la mayoría de las sustancias a excepción de los metales, adquieren al frotarlos, propiedades eléctricas.

Por otra parte, mediante el versorio o el péndulo electrostático, se puede ver la existencia de atracciones y repulsiones. Si el péndulo está cargado, al acercar una barra de ebonita y una barra de vidrio al mismo, se observa que es atraído o repelido. Esto nos lleva a pensar que por lo menos tienen que existir dos clases de carga. Franklin -primer físico americano- denominó a la electricidad que aparece en el vidrio *positiva* y la que aparece en la ebonita *negativa*. Estos nombres permanecen hasta la fecha.

Es interesante averiguar que un mismo cuerpo frotado con materiales diferentes se electriza con cargas distintas. Así, si frotamos una barra de pelikan o baquelita con un trozo de piel de gato se carga con un tipo de carga diferente a la que queda cuando se la frota con un trozo de seda natural.

Se puede establecer una escala, llamada *triboeléctrica*, formada por una serie de ciertas sustancias, en un orden tal que, cada una frotada con otra anterior en la lista se carga positivamente y, por tanto más energicamente cuanto más distante se encuentren en aquella, y negativamente cuando es frotada por otra posterior.

Algunas sustancias, con su orden en la escala, son las siguientes: gamuza, cristal pulido, piel de conejo, mica, lana, piel de gato, plástico, seda, algodón, papel, ebonita, madera, resina, metales, azufre, vidrio, celuloide.

A.5 Se pretende colocar en situación de conflicto a los alumnos. Ya conocen que cuando se frota cuerpos entre sí se cargan los dos. Las sustancias por donde los electrones se mueven con más facilidad se cargan más que otras que no tienen esta propiedad. Los alumnos saben que los metales son buenos conductores, sin embargo la barra de hierro frotada por ellos con piel de gato parece que no se carga. Asimismo si acercamos la piel (con muchas puntas) al péndulo tampoco se mueve. Estos dos fenómenos producen un conflicto en la mente de los estudiantes que les causará inquietud.

A.6 La teoría acerca de la constitución de la materia propugna que esta está constituida por átomos y que estos constan de un núcleo y una parte externa o corteza.

Todos los átomos son agrupaciones más o menos complejas de partículas subatómicas, y hay muchos métodos de separar algunas de esas partículas, bien solas o en grupos.

Las partículas subatómicas se hallan dispuestas del mismo modo general en todos los átomos. Los protones - que poseen carga positiva - y neutrones se encuentran en una zona muy compacta llamada núcleo, que posee, por tanto, carga neta positiva. El diámetro del núcleo, imaginado como una esfera, es del orden de 10^{-12} cm. Exteriormente al núcleo y a distancias relativamente grandes de él, se encuentran los electrones - que poseen carga negativa - cuyo número es igual al de protones interiores al núcleo. Si el átomo no se excita, ni se elimina ningún electrón del espacio que rodea al núcleo, aquel resulta en conjunto eléctricamente neuro.

Si se eliminan uno o más electrones, la estructura restante, cargada positivamente, se denomina ion positivo y un átomo que ha ganado uno o más electrones es de ion negativo. El proceso de ganar o perder electrones se denomina ionización.

Las masas del protón y neutrón son aproximadamente iguales, siendo la masa de cada una de ellas unas 1.840 veces mayor que la de un electrón. Por tanto, toda la masa del átomo está prácticamente concentrada en su núcleo.

Todo cuerpo material contiene un número enorme de partículas cargadas: protones con carga positiva en los núcleos de sus átomos y electrones cargados negativamente fuera de los núcleos. Cuando el número total de protones es igual al número total de electrones, el cuerpo en conjunto es eléctricamente neutro.

Al frotar los cuerpos, realizamos un trabajo mecánico que se convierte en energía térmica; esta puede ser suficiente para arrancar electrones periféricos de los átomos que se encuentran en la superficie de los cuerpos que se frota. El potencial de ionización de cada sustancia indica la energía necesaria para arrancar a un átomo aislado el electrón más externo. La afinidad electrónica indica la energía que se libera cuando un átomo aislado toma un electrón.

En el caso de la barra de vidrio los electrones son arrancados por el paño de seda de los átomos del vidrio. En consecuencia, el vidrio quedará con un defecto de electrones de estos átomos frente al número de protones de los mismos y por tanto la barra reflejará una carga neta positiva, mientras que los átomos del paño de seda tendrán ahora un exceso de electrones que comunican carga neta negativa al paño.

En el caso de la ebonita frotada con piel de gato, los electrones son arrancados de los átomos de la superficie frotada de la piel y pasan a los átomos que están en la superficie de la barra de ebonita; así la barra quedará con carga negativa y la piel con carga neta positiva.

Las cargas están presentes en la propia naturaleza de la materia y son una propiedad de esta como lo es la masa.

A.7 Esta actividad pretende averiguar si los alumnos han interiorizado la teoría atómica. Se reflexiona sobre el significado de la frase "cuerpo cargado", se interpretan fenómenos de electrización por frotamiento a la luz de la teoría establecida y se debate sobre el principio de conservación de la carga.

Las respuestas a las cuestiones son las siguientes:

a) Sí. La materia posee cargas en cantidad variable. La carga, al igual que la masa es una propiedad característica de la materia.

b) Un cuerpo neutro tiene cargas eléctricas. Posee el mismo número de protones que de electrones, por lo que la suma total de cargas es eléctricamente nula.

c) Sí. Un cuerpo cargado no puede tener una carga que no sea múltiplo de la del protón o electrón, ya que son las unidades elementales de carga.

d) El número de electrones que pierde una sustancia los gana la otra con quien se frotó. Por consiguiente, al frotarse dos cuerpos, uno queda cargado positivamente y el otro negativamente.

e) Sí, ya lo apuntó Benjamin Franklin (1706-1790). La carga total se conserva. No hay producción neta de carga.

f) Al peinarse existe un rozamiento del peine con el pelo y se cargan cada uno con un tipo diferente de carga. Una vez cargados los pelos se descargan entre ellos a través del aire, produciéndose pequeñas descargas. En la oscuridad se observan chispitas entre los pelos.

El mismo fenómeno ocurre al rozar el aire con el jersey acrílico y con el coche. Aquel se carga y pueden saltar chispas entre los pelos. La goma que arrastra el coche lleva un hilo conductor que pone en contacto la chapa con el suelo y así las cargas, existentes en la chapa y demás elementos metálicos, pasan a la Tierra descargándose el coche.

A.8 Se pretende que los alumnos examinen la constitución de un electroscopio o un electrómetro y detecten con ellos la presencia de carga eléctrica.

A.9 Esta experiencia permite clasificar los distintos materiales que probamos en conductores de cargas eléctricas y aislantes de cargas. Se puede averiguar que los metales son buenos conductores. Se sugiere a los alumnos que repitan la actividad A.5 poniéndose en la mano que sujeta la barra un guante de goma de los utilizados para fregar y que observen si se electriza o no.

Al tocar con una sustancia la parte metálica de un electroscopio cargado, este puede descargarse a través de la sustancia, si deja pasar fácilmente la carga a través de ella.

Materiales conductores: la mina del lápiz (grafito), mano, varillas metálicas...

Materiales aislantes: madera, plástico, papel...

Ningún material es un perfecto conductor ni un perfecto aislante. Son más o menos conductores de la electricidad. Determinados dieléctricos se pueden comportar como "malos conductores", y sin embargo hay otros, como por ejemplo el grafito, que aún siendo considerados, en general, como aislantes son "buenos conductores".

A.10 Hay materiales, como los metales, en los que existen cargas eléctricas que se pueden mover; estas cargas son electrones que están libres en el seno del metal y proceden de sus propios átomos. Un cuerpo no tiene por qué estar cargado para disponer de estos electrones no ligados a ningún átomo o ligados débilmente.

Estos electrones móviles son los que proporcionan conductividad a los metales; por eso se dice que la conducción en los metales es electrónica, frente a la conducción que presentan algunas disoluciones o sales fundidas, que se debe a átomos o agrupaciones atómicas con carga eléctrica (iones), en cuyo caso se llama conducción iónica.

Los electrones se mueven por el metal libremente, en forma análoga a como las moléculas de un gas se desplazan a través de los espacios comprendidos entre los granos de arena de un recipiente que contiene esa sustancia.

Otros materiales, por el contrario, no disponen de cargas eléctricas libres, ya que los electrones, o están asociados a los átomos o están comprometidos en enlaces entre ellos; en consecuencia, no conducen la electricidad.

Hay que decir que no existen conductores perfectos ni aislantes perfectos, sino una graduación en la conducción, desde los más conductores a los menos.

A.11 Con esta actividad se profundiza sobre lo tratado. Si cargamos el electroscopio con un cuerpo cargado, las laminillas se abren un determinado ángulo. Si se repite esta operación varias veces, las laminillas se abren cada vez más, hasta un cierto límite.

Para averiguar si un cuerpo tiene un tipo u otro de carga simplemente tenemos que ponerlo en contacto con un electroscopio cargado. Si las laminillas de este se abren más quiere decir que la carga del cuerpo y la del electroscopio es del mismo tipo. Por el contrario, si las laminillas se cierran, entonces la carga del cuerpo y del electroscopio son de distinto tipo.

Sabiendo que la carga de una barra de ebonita frotada con piel de gato es negativa, se pueden averiguar las demás.

A.12 En esta actividad se plantea un problema para que sea resuelto siguiendo la metodología científica. Existen varias actividades como esta en las unidades didácticas. Con objeto de mostrar cómo se desarrolla el trabajo en el aula, a continuación y a modo de ejemplo transcribimos cómo resuelven los alumnos este problema. Del mismo modo se resolverán todos los que tengan las mismas características.

Para favorecer la creatividad y el nivel de participación, la dinámica de trabajo ha sido de pequeño grupo (4 alumnos), estableciéndose al finalizar cada parte del proceso un intercambio y debate con el profesor, que concluye con una síntesis de las aportaciones más significativas.

El objetivo cognitivo que pretendemos conseguir es que el alumno llegue a comprender la ley de Coulomb. Para lo cual se le propone el siguiente problema:

"Analiza de qué depende la fuerza que se ejercen entre sí dos cuerpos cargados".

En la mayoría de los laboratorios de los Centros no se dispone de material adecuado para resolver con exactitud este problema así que normalmente se analiza la relación entre las magnitudes de forma cualitativa.

Nosotros a pesar de la dificultad que existe para cuantificar los resultados hemos insistido en que los alumnos planifiquen algún experimento donde se tomen datos y lleguen a encontrar la expresión matemática que relaciona las variables que influyen en el fenómeno.

Así, se han centrado de modo especial en los procesos de:

- 1) Emisión de hipótesis.
- 2) Planificación de diseños experimentales.
- 3) Realización de las experiencias diseñadas.
- 4) Comunicación de los resultados.

Las aportaciones de los alumnos han sido:

a) Emisión de hipótesis

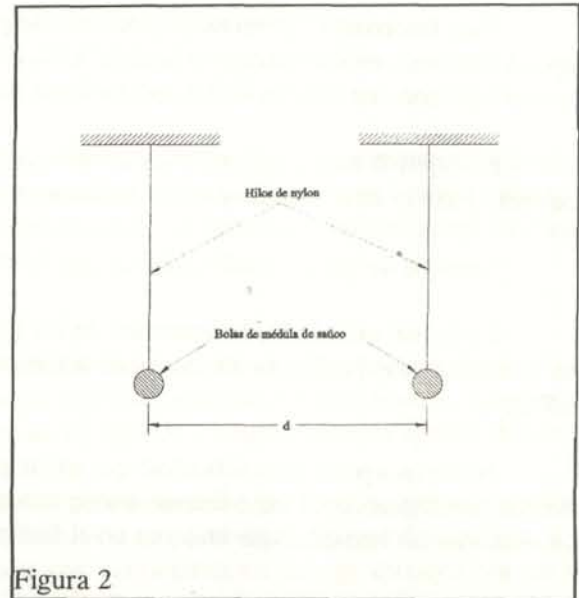
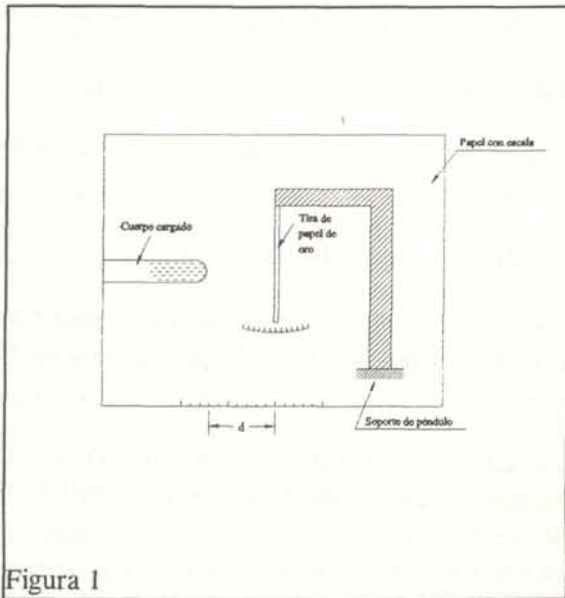
La fuerza que actúa entre dos cuerpos cargados depende:

- Inversamente de la distancia entre ellos.
- Directamente de la cantidad de carga que poseen.
- Del material de los cuerpos.

Es interesante destacar cómo en la formulación de hipótesis quedan reflejadas las concepciones que tienen los alumnos sobre diferentes fenómenos. Así, por ejemplo, expresan que la interacción entre cuerpos cargados depende de la naturaleza de la sustancia (hipótesis falsa) y sin embargo no indican la influencia que tiene el medio.

b) Planificación de diseños experimentales.

Las cuatro figuras que se muestran a continuación representan los diseños realizados en el aula. La secuencia de las mismas refleja la evolución que han experimentado a medida que los alumnos van dando respuesta a los interrogantes que se plantean, al tratar de averiguar la dependencia de las magnitudes que influyen en el fenómeno.



En el diseño de la fig.1 se pretende medir la fuerza existente entre dos cuerpos cargados. Posiblemente se pueda apreciar la dependencia cualitativa de la fuerza con la distancia; sin embargo, debido a que la tira de papel de oro es flexible, no es posible cuantificar el valor de la fuerza que actúa sobre ella.

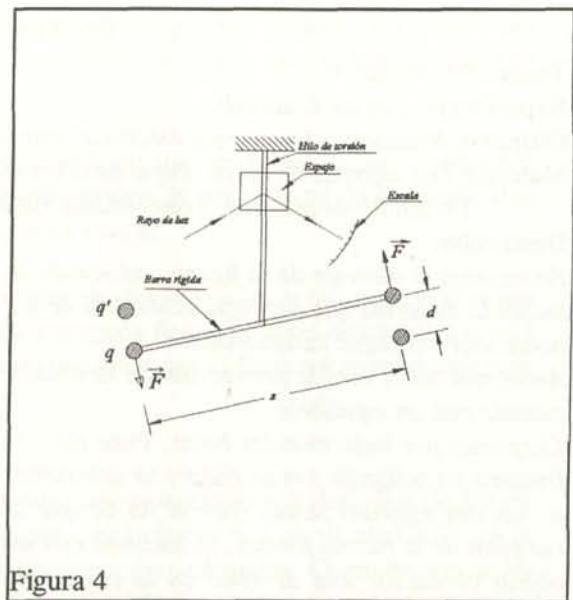
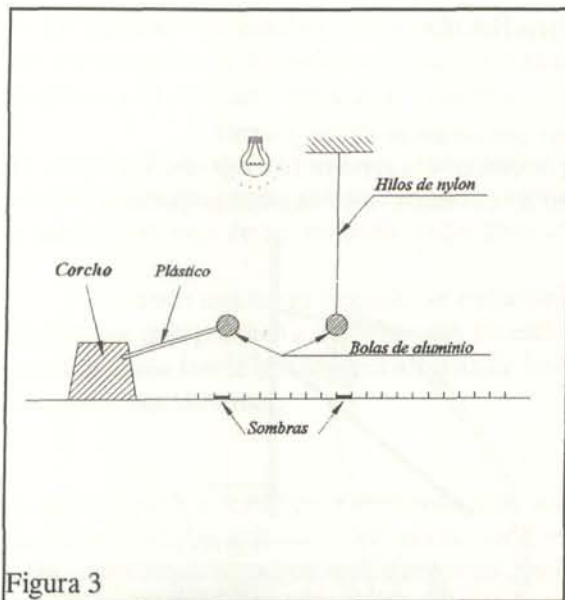
Por otra parte, al tratar de medir la distancia entre los cuerpos, ven la necesidad de disponer de cuerpos puntuales. Los que aparecen en este diseño no pueden considerarse como tales ya que las dimensiones de los mismos no son despreciables frente a la distancia existente entre ellos.

Este "descubrimiento" realizado por los alumnos les ayuda a definir con más precisión la ley de Coulomb, y en concreto hemos constatado cómo señalan explícitamente que las cargas deben ser puntuales, aspecto este que no es frecuente que aparezca cuando se pregunta por la ley de Coulomb.

Al analizar el diseño de la fig. 2 ya se ve la dificultad de medir con precisión la distancia entre los dos cuerpos cargados. Este hecho se constata al realizar el experimento. Cuando se cargan las bolas, éstas se mueven en todas las direcciones, no fijando nunca su posición de equilibrio. Entonces se decide fijar una de ellas y dejar libertad de movimiento a la otra.

Un grupo, por otra parte, considera útil colocar papel milimetrado sobre la mesa y situar por encima de los cuerpos cargados una bombilla. La sombra proyectada por las dos bolas sobre el papel milimetrado ayuda a medir la distancia entre los cuerpos cargados.

Asimismo en la realización práctica del diseño de la fig. 2 se observó la dificultad de cargar la médula de saúco, ya que es un material poco conductor. Para resolver este problema se acuerda envolver las bolas con papel de aluminio.



Una vez incorporadas todas estas modificaciones con respecto al diseño original, ya tenemos proyectado el diseño definitivo que aparece en la fig. 3. Mediante la realización de este experimento se puede obtener, con relativa precisión, la dependencia de la fuerza entre los cuerpos conductores cargados con la inversa al cuadrado de la distancia entre ellos.

Pero, ¿cómo podemos variar la carga para hallar la dependencia de la fuerza con ella?. Los alumnos no encuentran ningún procedimiento, así que les indicamos cómo resolvió este problema Coulomb, junto con el diseño que hizo en el año 1784 y que se muestra en la fig. 4.

Utilizó una balanza de torsión mediante la cuál pudo medir la fuerza entre dos cargas puntuales. Esta resulta de igualar el momento aplicado sobre el hilo de torsión ($M = F \cdot s$) con el momento recuperador del mismo ($M = K \cdot \alpha$). Conociendo la constante característica de torsión del hilo K , la longitud de la barra rígida s y el ángulo (α) girado por el hilo podemos averiguar el valor de la fuerza ($F = K \cdot \alpha / s$) con que se atraen o repelen dos cargas puntuales. Asimismo, midiendo la distancia entre las cargas con un catetómetro se averigua su relación con la fuerza anterior.

Para hallar la dependencia de la fuerza que se ejercen dos cargas con su valor, Coulomb ideó un método ingenioso. Para ello se basó en la hipótesis de que si un conductor esférico cargado se pone en contacto con un segundo conductor idéntico, inicialmente descargado, por razones de simetría la carga del primero se reparte por igual entre ambos. De este modo dispuso de un método para obtener cargas iguales a la mitad, la cuarta parte, etc., de cualquier carga dada.

c) Realización de los experimentos y comunicación de los resultados.

Todos los grupos deben confeccionar una ficha. En ella se debe indicar el o los objetivos que se persiguen, el material necesario, el desarrollo de la experiencia, los resultados obtenidos (tabulados y representados en gráficas) y las conclusiones a que se llega.

La ficha elaborada por uno de los grupos y que corresponde al diseño de la fig.3 la reproducimos a continuación.

FICHA DE TRABAJO

Tema: *Electrostática.*

Experiencia: *Ley de Coulomb.*

Objetivo: *Relacionar las fuerzas eléctricas con las cargas que originan dichas fuerzas.*

Material: *Dos esferitas de saúco. Papel de aluminio. Una bombilla. Un soporte con trípode. Un tapón. Hilo. Un palillo de plástico. Papel milimetrado. Cables de conexión. Un bolígrafo de plástico.*

Desarrollo:

Realizamos el montaje de la figura, colocando la bombilla de forma que proyecte la sombra de las bolas sobre el papel milimetrado.

Anotamos sobre éste la proyección de la bola A cuando está en equilibrio.

Cargamos por inducción las bolas. Para ello: 1) frotamos un bolígrafo con un paño y lo acercamos a las dos esferitas juntas (con el fin de que se carguen de la misma forma), 2) tocamos con un objeto conductor una de ellas en la parte más alejada del bolígrafo, 3) retiramos el objeto metálico, 4) retiramos el bolígrafo y 5) separamos las esferitas.

Modificamos la distancia existente entre A y B desplazando B.

Tomamos d como la distancia entre la sombra de A en equilibrio y la de A al ser desplazada por la interacción existente entre las cargas.

LLamamos D a la distancia entre la sombra de B y la de A desplazada.

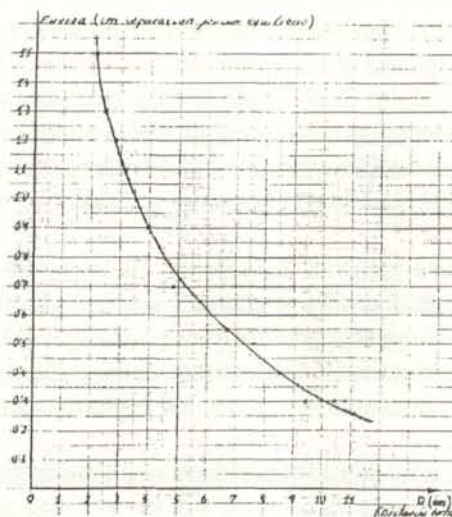
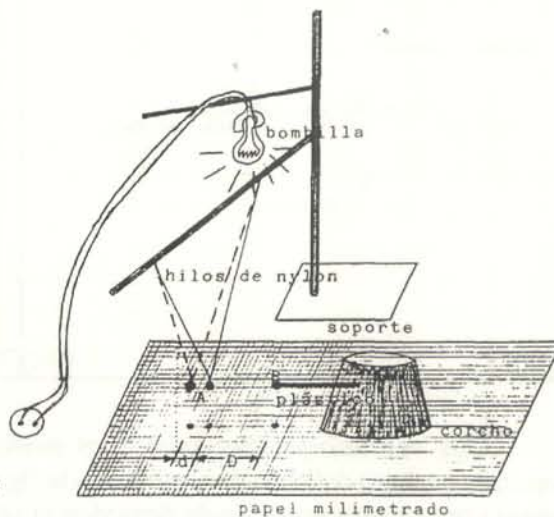
Construimos la tabla de valores D , d , D^2 , $1/D^2$.

Hacemos la representación gráfica (D, d).

Resultados:

Tabla

D	d	D^2	$1/D^2$
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
10,40	0,30	108,16	0,01
9,40	0,30	88,36	0,01
8,50	0,40	72,24	0,01
7,60	0,50	57,76	0,02
6,65	0,55	44,25	0,02
5,75	0,65	33,06	0,03
4,80	0,70	23,04	0,04
4,00	0,90	16,00	0,06
3,20	1,10	10,24	0,10
2,80	1,20	7,84	0,13
2,40	1,30	5,76	0,17
2,10	1,50	4,41	0,23



Conclusiones: *La fuerza que actúa para que se desplace la bola A depende de la distancia que haya entre las dos esferitas. La relación entre estas magnitudes es de la forma:*

$$f(d) = K \cdot (1/D^2)$$

Nota: *Consideramos que las cargas se mantienen constantes pues la pérdida de carga a través del aire es despreciable en el tiempo que se tarda en tomar los datos (unos cinco minutos).*

A.13 Situación de conflicto para que se consideren dos aspectos que los alumnos no mencionan normalmente en la actividad anterior: la influencia del medio en la fuerza que se ejercen cuerpos cargados y el carácter vectorial de la fuerza.

La humedad influye en gran medida sobre la forma en que se producen los fenómenos eléctricos. Cuando el aire adquiere un grado elevado de humedad deja de ser aislante de la electricidad y por lo tanto deja de ser un buen medio para la detección de cargas.

Cuando una carga negativa se encuentra equidistante de dos positivas, solamente en el punto equidistante más próximo a ambas cargas no está sometida a ninguna fuerza. En los demás puntos está sometida a una fuerza que tiende a alejarla de las dos cargas positivas por la línea lugar geométrico de los puntos equidistantes.

A.14 Aunque los fenómenos electrostáticos fundamentales fueron observados y descritos de forma cualitativa durante más de veinte siglos, fue Coulomb quien, por primera vez, se planteó cuál era la cuantía de las fuerzas mutuas que se ejercen dos cuerpos eléctricamente cargados. Como hemos dicho anteriormente Coulomb, utilizando una balanza de torsión, encontró la fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales -cuerpos cargados cuyas dimensiones son despreciables comparadas con la distancia que las separa- es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. La fuerza también depende de la cantidad de carga de cada cuerpo y del medio en el que se encuentran insertas las cargas.

La carga neta de un cuerpo podría expresarse por el exceso numérico de electrones o protones (unidad elemental de carga); sin embargo, en la práctica, la carga de un cuerpo se expresa en función de una unidad mucho mayor que la carga de un electrón o protón. A esta unidad de carga en el S.I. se la denomina culombio.

La unidad de carga "*natural*" es, por tanto, la transportada por un electrón o protón y las medidas más precisas realizadas hasta el presente atribuyen a esta carga el valor de $1,6 \times 10^{-19}$ C.

La ley de Coulomb dice que: "las fuerzas de atracción o de repulsión que se ejercen entre sí dos cargas puntuales en reposo, es directamente proporcional al producto de las cuantías de dichas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa".

$$|\vec{F}| = k \frac{q \cdot q'}{d^2}$$

Siendo K una constante de proporcionalidad que varía según el medio material en el que se hallen sumergidas las cargas. En el vacío K (K_0) es 9×10^9 N.m²/c², debido a que dos cargas de un culombio, colocadas en el vacío, a la distancia de un metro interaccionan entre sí con una fuerza de 9×10^9 N.

Normalmente, el valor de la constante K suele darse en función de una constante, ϵ , a través de la expresión: $K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$

A esta nueva constante se la denomina permitividad del medio.

El Coulombio no es una unidad fundamental sino que deriva del amperio -unidad fundamental de la intensidad de corriente- que definiremos más adelante.

$$\text{En el sistema c.g.s. } K_0=1 \text{ y } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{U.E.E.}{\text{dina} \cdot \text{cm}^2}$$

La ley de Coulomb posee una complicación que no posee la ley de la gravitación de Newton. La fuerza eléctrica puede ser de repulsión si las dos cargas son iguales, o de atracción si son diferentes

A.15 Esta es una actividad que permite aplicar las leyes de Coulomb y Gravitación para comparar las fuerzas eléctricas y gravitatorias existentes en el interior de un átomo. Se resolverá este problema (sin datos) siguiendo los pasos que se mencionan a continuación:

a) Estudio cualitativo de la situación planteada:

El modelo atómico de Bohr supone, para el átomo de hidrógeno, que el electrón está girando en una órbita circular alrededor del núcleo, lugar donde se encuentra el protón. Se consideran ambas cargas puntuales.

b) Operatización del problema:

Para resolver el problema tendremos que buscar la relación existente entre las fuerzas eléctricas y gravitatorias a que están sometidas las partículas (F_e/F_g). La dirección y sentido son iguales en ambas interacciones.

c) Formulación de hipótesis:

La fuerza eléctrica depende:

- del valor de carga del electrón y protón.
- de la distancia entre ambas partículas (radio de la órbita).
- del medio donde se encuentra el átomo.

La fuerza gravitatoria depende:

- de la masa del electrón y protón.
- de la distancia entre las partículas (radio de la órbita).
- del medio donde se encuentre el átomo.

La relación entre ambas fuerzas depende:

- de las masas y cargas de las partículas.
- de la distancia entre las partículas (radio de órbita).
- del medio donde se encuentre el átomo.

d) Elaboración de estrategias de resolución:

Resolveremos el problema calculando el valor de la fuerza eléctrica ($F_e = k \cdot q \cdot q' / d^2$), el valor de la fuerza gravitatoria ($F_g = G \cdot m \cdot m' / d^2$) y por último hallar la relación entre ambas (F_e/F_g o bien F_g/F_e).

e) *Resolución del problema:*

$$F_e = K \cdot \frac{q_p \cdot q_e}{d^2} \qquad F_g = K \cdot \frac{m_p \cdot m_e}{d^2}$$

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{K \cdot q_p \cdot q_e}{G \cdot m_p \cdot m_e}$$

f) *Análisis de los resultados:*

Al comprobar las hipótesis observamos que la relación entre las fuerzas depende tal y como se había adelantado, de las cargas y masas de las partículas y del medio donde se encuentran; sin embargo, no depende del radio de la órbita (hipótesis falsa).

Conviene indicar que la fuerza gravitatoria no depende del medio donde se encuentra el átomo (hipótesis falsa), ya que la constante G es una constante universal, válida para cualquier medio.

g) *Particularizando:*

Considerando los datos:

$$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ Kg.}$$

$$q_e = q_p = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$K_0 = 9 \times 10^9 \text{ Nxm}^2/\text{C}^2.$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nxm}^2/\text{Kg}^2.$$

tenemos que:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} = 1,68 \cdot 10^{39}$$

h) *Conclusión:*

Las interacciones gravitatorias existentes en el interior de los átomos son muy pequeñas comparadas con las interacciones eléctricas. Por lo tanto, se pueden despreciar.

A.16 Consiste en resolver un problema relacionado con la ley de Coulomb utilizando siguiendo el modelo de resolución como investigación que propugnamos.

a) *Estudio cualitativo de la situación planteada:*

Imaginamos que los cinco cuerpos son puntuales.

Los cuerpos cargados están sometidos a dos tipos de interacciones: la gravitatoria debida a la masa y la eléctrica debida a la carga. Se desprecia la primera frente a la segunda como consecuencia del análisis efectuado en la actividad anterior, aunque ahora no se trate de un protón o electrón.

No existen fuerzas magnéticas, ya que se supone que las cargas están en reposo.

La situación problemática queda definida del siguiente modo:

Sea un cuadrado con cuatro cargas puntuales y en reposo situadas en sus vértices. ¿A qué fuerza eléctrica se encuentra sometida otra carga puntual y en reposo situada en el centro del cuadrado?.

b) Operativización del problema:

El problema se resuelve calculando la fuerza que cada una de las cargas de los vértices ejerce sobre la carga del centro. No sólo debe calcularse el módulo de la fuerza, sino que se debe dar también la dirección y sentido de la misma, ya que se trata de un vector.

La fuerza que actúa sobre la carga central será la suma vectorial de las fuerzas anteriores.

c) Emisión de hipótesis:

La fuerza sobre la carga del centro F_E depende:

- del valor de todas las cargas.
- de la distancia del vértice al centro o bien del lado del cuadrado.
- del medio donde se encuentran situadas las cargas.
- del tipo o signo de las cargas de los vértices y la del centro.
- del valor de las fuerzas que actúan sobre las cargas de los vértices (Error conceptual, hipótesis falsa).

Se pueden precisar las hipótesis indicando la forma de la dependencia e indicando alguna situación sencilla de predecir. Por ejemplo:

c.1) Si las cargas de los vértices son iguales, entonces la fuerza sobre la carga central es nula.

c.2) Si una de las cargas es muy grande comparada con las demás, entonces la fuerza estará aplicada en la recta que une esa carga con la situada en el centro. Si son del mismo signo, la fuerza estará dirigida hacia afuera del rectángulo y si son de distinto tipo, la fuerza irá dirigida hacia el centro.

c.3) Si el cuadrado tiene un lado muy grande ($l \rightarrow \infty$) la fuerza sobre la carga del centro es muy pequeña ($F \rightarrow 0$) independientemente del valor de las cargas.

c.4) Si las cargas sobre una diagonal son iguales ($q_A = q_D$) y las de la otra también, aunque el valor y el signo sea diferente al anterior ($q_B = q_C$), la fuerza sobre la carga central es nula, independientemente de su valor y signo.

d) Elaboración de estrategias de resolución:

El problema consistirá en aplicar la ley de Coulomb a cada par de cargas ($q_A - q_E$), ($q_B - q_E$), ($q_C - q_E$) y ($q_D - q_E$) con lo que se calcularán las cuatro fuerzas: F_{AE} , F_{BE} , F_{CE} y F_{DE} . Interesa, previamente, fijar unos ejes de coordenadas para expresar dichas fuerzas de modo vectorial en función de los vectores unitarios i y j . La fuerza total sobre q será la suma vectorial de todas las fuerzas anteriores: $F_E = F_{AE} + F_{BE} + F_{CE} + F_{DE}$.

d.1) Unos grupos fijan los ejes en el centro del cuadrado con direcciones horizontal y vertical.

d.2) Otros grupos fijan los ejes en el centro del cuadrado con las direcciones de las diagonales.

e) Resolución del problema:

e.1)

$$\vec{F}_E = \vec{F}_{AE} + \vec{F}_{BE} + \vec{F}_{CE} + \vec{F}_{DE} = -K \frac{q_E \cdot q_A}{d^2} \left(-\frac{\vec{i}}{\sqrt{2}} + \frac{\vec{j}}{\sqrt{2}} \right) - \frac{k}{\sqrt{2}} \cdot \frac{q_E \cdot q_C}{d^2} (-\vec{i} - \vec{j}) - k \frac{q_E \cdot q_B}{d^2} \left(\frac{\vec{i}}{\sqrt{2}} - \frac{\vec{j}}{\sqrt{2}} \right) - k \frac{q_E \cdot q_D}{d^2} \left(\frac{\vec{i}}{\sqrt{2}} - \frac{\vec{j}}{\sqrt{2}} \right) - \frac{k}{\sqrt{2}} \cdot \frac{q_E}{d^2} [q_B(\vec{i} + \vec{j}) + q_A(-\vec{i} + \vec{j}) + q_C(-\vec{i} - \vec{j}) + q_D(\vec{i} - \vec{j})] - \frac{k}{\sqrt{2}} \cdot \frac{q_E}{d^2} [(q_B + q_A - q_C + q_D)\vec{i} + (q_B + q_A - q_C - q_D)\vec{j}]$$

e.2)

$$\vec{F}_E = \vec{F}_{AE} + \vec{F}_{BE} + \vec{F}_{CE} + \vec{F}_{DE} = k \frac{q_A q_E}{d^2} (-\vec{j}) + k \frac{q_B q_E}{d^2} (-\vec{i}) + k \frac{q_C q_E}{d^2} \vec{i} + k \frac{q_D q_E}{d^2} \vec{j} - k \frac{q_E}{d^2} (q_C - q_B)\vec{i} + k \frac{q_E}{d^2} (q_D - q_A)\vec{j} - k \frac{q_E}{d^2} [(q_C - q_B)\vec{i} + (q_D - q_A)\vec{j}]$$

NOTA.- Deben sustituirse los valores de las cargas con los signos correspondientes.

f) Análisis de los resultados:

f.1) Si $q_A = q_B = q_C = q_D$ entonces $F_E = 0$. Se confirma la hipótesis c.1.

f.2) Si q_C es mucho mayor que q_B, q_A, q_D y q_E entonces $F_E = (K \cdot q_E \cdot q_C / d^2) \vec{i}$.

- Si q_E es del mismo signo que q_C , entonces $F = \text{cte} \times \vec{i}$

- Si q_E es de signo contrario que q_C , entonces $F = \text{cte} \times (-\vec{i})$

Se confirma la hipótesis c.2.

f.3) Si $l \rightarrow \infty$, entonces $d \rightarrow \infty$ y $F \rightarrow 0$. Se confirma la hipótesis c.3.

f.4) Si $q_A = q_D$ y $q_C = q_B$, entonces $F_E = 0$. Se confirma la hipótesis c.4.

g) Caso particular:

Si consideramos que	$q_A = q_C = 1 \mu\text{F}$	$l = 10 \text{ cm}$
	$q_B = q_D = -2 \mu\text{F}$	$k = 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$
	$q_E = -10 \mu\text{F}$	

tenemos que:

g.1)

$$\vec{F}_E = \frac{9 \cdot 10^9}{\sqrt{2}} \cdot \frac{-10 \cdot 10^{-6}}{\left(\frac{10^{-1}}{\sqrt{2}}\right)} [(-2 - 1 - 1 - 2) \cdot 10^{-6} \vec{i} + (1 - 2 - 1 \cdot 2) \cdot 10^{-6} \vec{j}] - \frac{108}{\sqrt{2}} \vec{i} - 54 \sqrt{2} \vec{j} \text{ N}$$

$$g.2) F_g = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{2} \left(\frac{10^{-1}}{\sqrt{2}}\right)^2} [(10^{-6} - (-2 \cdot 10^{-6}))\vec{i} + (-2 \cdot 10^{-6} - 10^{-6})\vec{j}] - 54(-\vec{i} + \vec{j})N$$

A.17 Esta actividad permite revisar algunas de las ideas que hemos visto anteriormente.

A pesar de que las expresiones matemáticas de las dos leyes que rigen las interacciones gravitatorias

y eléctricas tienen la misma forma: $F_g = K \cdot \frac{m_p \cdot m_e}{d^2}$ y $F_e = K \cdot \frac{q_p \cdot q_e}{d^2}$, deben hacerse notar las siguientes

particularidades:

- Las magnitudes causantes de las interacciones son diferentes; la masa en el caso de las gravitatorias y la carga en las eléctricas.
- Las dos magnitudes anteriores son propiedades características de la materia; sin embargo mientras las interacciones gravitatorias entre los cuerpos se presenta siempre, las eléctricas aparecen únicamente cuando los cuerpos están cargados.
- La interacción gravitatoria se da siempre en un único sentido (atracción), la eléctrica puede presentarse en los dos (atracción y repulsión). Esto concuerda con la existencia de una sola clase de masa, frente a dos clases de carga.
- G es una constante universal, esto es, no depende del medio en que se encuentren situadas las masas; sin embargo, K es una constante "particular" y "característica" de cada medio. En consecuencia, la ley de Newton tiene validez universal y la ley de Coulomb no.

A.18 Permite que los alumnos profundicen en el modelo de carga construido y resalten su capacidad para interpretar fenómenos, averiguar las ideas o esquemas de los alumnos sobre el fenómeno de inducción eléctrica y sobre el concepto de "campo eléctrico".

Al acercarse un cuerpo (barra de ebonita) cargado cerca de otro neutro (electroscopio) se produce una alteración del espacio que rodea al cuerpo cargado, produciendo un campo eléctrico. Las cargas de la parte metálica del electroscopio se redistribuyen de tal forma que en las partes más próximas de éste a la barra de ebonita se concentran un tipo de cargas y en las zonas más lejanas el otro tipo. Así, si la barra de ebonita está cargada negativamente, fluyen los electrones de la bola superior del electroscopio a las laminillas del mismo, haciendo que diverjan.

Cuando se separa la barra de ebonita, desaparece el campo eléctrico y los electrones libres de las partes metálicas del electroscopio vuelven a situarse como estaban inicialmente.

A.19 Permite que los alumnos se cuestionen sus conocimientos relacionados con el efecto que produce un cuerpo cargado sobre sustancias situadas a su alrededor, ya estén en estado sólido, líquido o gaseoso.

Siempre que situamos una sustancia en un campo eléctrico se altera su estructura dependiendo de la movilidad de las partículas que posean. En todas el efecto resultante consiste en una atracción entre la sustancia y el cuerpo cargado. Sin embargo la intensidad de la interacción depende del tipo de sustancia. Si es buena conductora de la electricidad la atracción es más fuerte que si no lo es.

En la actividad A.23 se dará una explicación detallada.

A.20 Se intenta que los alumnos valoren la necesidad de introducir el concepto de campo eléctrico con objeto de conocer las interacciones existentes, así como ver la utilidad de representar el campo eléctrico de modo gráfico.

Los campos eléctricos son creados por cargas eléctricas e interaccionan sobre cargas eléctricas. Es decir, la carga es la magnitud que crea el campo y también es la magnitud activa sobre la que el campo manifiesta sus efectos.

Por lo tanto, si colocamos una carga en un recinto no aparecerán fuerzas eléctricas, pero sus proximidades ya no tiene las mismas propiedades que antes, ya que si colocamos otra carga, entonces sobre dicha carga existe una interacción, una fuerza que puede ser de atracción o repulsión según sean ambas cargas.

El campo eléctrico o electrostático es aquella región del espacio donde por el mero hecho de colocar una carga, esta se encuentra sometida a una fuerza. El campo se extiende hasta el infinito, pero como las fuerzas decrecen con el cuadrado de la distancia, se puede limitar el campo hasta aquellos puntos donde las fuerzas sean tan débiles que puedan ser consideradas prácticamente nulas.

Una forma de describir las propiedades del campo electrostático es indicar cuál sería la fuerza que en cada punto se dejaría sentir sobre la unidad de carga positiva situada en dicho punto. Esta nueva magnitud se denomina intensidad de campo eléctrico E .

Por consiguiente, la intensidad de campo eléctrico en un punto, es la fuerza que actúa sobre la unidad de carga positiva colocada en ese punto $E = F/q$.

Si conocemos el campo eléctrico en un punto, incluso sin saber nada de la carga o cargas creadoras del campo eléctrico, podemos calcular el vector fuerza que actúa sobre cualquier carga colocada en ese punto.

Rigurosamente, el campo eléctrico debiera definirse por $E = \lim_{q \rightarrow 0} F/q$ ya que la carga de prueba q en A , si no es suficientemente pequeña, puede modificar la distribución de cargas que crea el campo, sobre todo cuando éstas tengan fácil movilidad, alterando el campo eléctrico en el punto considerado.

Para indicar la dirección y sentido del campo eléctrico se introduce, al igual que en el campo gravitatorio, la noción de líneas de fuerza, las cuales expresan de forma gráfica el campo eléctrico.

Las líneas de fuerza representan las trayectorias que seguirán las partículas con carga positiva si se las abandonase a la influencias de las fuerzas del campo. Estas líneas son tangentes a la dirección del campo en cada punto y salen siempre de las cargas positivas y entran en las negativas.

A.21 Esta actividad pretende ejercitarse en el cálculo del vector intensidad de campo en cualquier punto de un campo eléctrico creado por una única carga puntual, así como dibujar las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por una carga puntual.

a) Análisis y operativización del problema:

El problema consistirá en calcular el vector intensidad del campo creado por Q en cualquier punto del espacio. Deberá darse los valores del módulo de la intensidad del campo, así como su dirección y sentido en cada punto del espacio, ya que teóricamente el campo llega hasta el infinito.

Para indicar de forma gráfica la dirección y sentido del campo se utilizará el concepto de líneas de fuerza. Asimismo, mediante este concepto podrá saberse la relación entre las intensidades del campo de dos puntos diferentes.

Por otra parte deberemos dar el vector fuerza a que se encuentra sometida otra carga q situada en un punto cualquiera del campo creado por Q .

b) Emisión de hipótesis:

b.1) El campo eléctrico existente en cualquier punto del espacio depende:

- directamente del valor y tipo de la carga Q .
- del medio donde se encuentre la carga Q .
- inversamente de la distancia de cada punto del espacio a Q .
- del valor de q (hipótesis falsa).

b.2) La fuerza a la que se encuentra sometida la carga q depende:

- directamente de la intensidad del campo existente en el punto donde se encuentra la carga q .
- directamente del valor y signo de la carga q .

Pocos grupos emiten las hipótesis mencionadas; la mayoría indican que la fuerza sobre q depende de las magnitudes dichas en *b.1*.

b.3) El campo será radial independientemente del signo que tenga Q . Hacia afuera si Q es positiva y hacia adentro si es negativa.

b.4) La intensidad del campo eléctrico disminuye a medida que nos alejamos de Q . En el infinito es nulo. En las proximidades de Q es muy grande.

b.5) La intensidad del campo eléctrico en puntos equidistantes de Q es igual (por simetría).

b.6) La fuerza sobre q es del mismo sentido que el campo eléctrico si q es positiva y de sentido contrario si q es negativa.

c) Estrategias de resolución:

c.1) Para calcular el campo eléctrico en cualquier punto del espacio puede hacerse sustituyendo la ley de Coulomb en la expresión que define el vector campo eléctrico.

Para calcular la fuerza sobre la carga Q puede hacerse:

c.2) Empleando la ley de Coulomb.

c.3) Empleando la expresión que define el vector intensidad de campo eléctrico ($E = F/q$) y despejando la fuerza.

d) Resolución del problema:

d.1)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{k \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}}{q} \vec{u} = \frac{k \cdot Q}{d^2} \vec{u}$$

\vec{u} es un vector unitario:

- radial y hacia afuera si Q es positiva.
- radial y hacia adentro si Q es negativa.

d.2)

$$\vec{F} = k \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \vec{u}'$$

\vec{u}' es un vector unitario:

- radial y hacia afuera si Q y q son del mismo tipo.
- radial y hacia adentro si Q y q son de tipo diferente.

d.3)

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

La fuerza es:

- del mismo sentido que E si q es positiva.
- de sentido contrario a E si q es negativa.

e) Análisis de los resultados:

Se confirman las hipótesis emitidas excepto que la intensidad del campo eléctrico no depende de la carga q.

Conviene que los alumnos se conciencien de que para saber la fuerza que actúa sobre cualquier carga colocada en un campo no es necesario conocer la distribución ni las cargas creadoras del campo, sino que basta con conocer la intensidad del campo en todos sus puntos.

f) Caso particular: Consideramos: $Q = 5 \times 10^{-4} \text{ C}$ (negativa)
 $q = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$ (negativa)
 $d = 5 \text{ m}$

$$E = 9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-4} / 25 = 1,8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{-6} / 25 = 9/25 \text{ N}$$

$$F = q \cdot E = 2 \times 10^{-6} \times 1,8 \times 10^5 = 9/25 \text{ N}$$

g) Representación del campo:

Dependiendo de si la carga puntual creadora del campo es positiva o negativa el sentido del mismo es radial hacia afuera de ella o hacia dentro de la misma respectivamente. Las líneas de fuerza deben estar igualmente separadas entre sí para una misma distancia.

La separación aumenta con la distancia. Esto quiere decir que el campo eléctrico disminuye a medida que nos alejamos de la carga creadora del campo.

A.22 Pretende que los alumnos monten un dispositivo que electrizado por inducción permita disponer de carga eléctrica y que reconozcan el fenómeno de inducción electrostática como un medio para obtener cuerpos cargados.

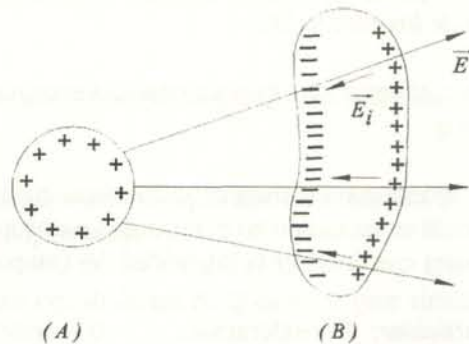
Conviene aprovechar la oportunidad para identificar fenómenos observados en experiencias anteriores como fenómenos de inducción electrostática.

En la primera experiencia se puede observar que la carga del electrómetro es contraria a la placa de plástico. Teniendo en cuenta esto y que no existe fricción entre el electróforo y la placa de plástico ni entre el electróforo y el electrómetro, se puede concluir que no se trata de un fenómeno de electrificación por frotamiento ni por contacto (no ha habido un reparto de carga entre los cuerpos).

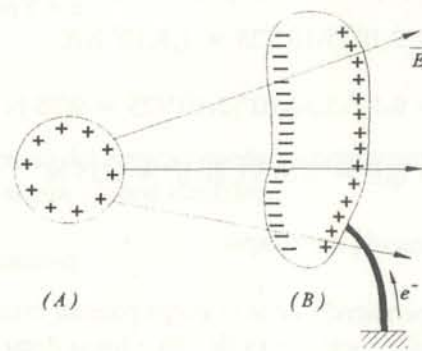
En la segunda experiencia se observa con mayor claridad que no existe contacto entre el electróforo y el electrómetro y sin embargo éste se carga. Por tanto se trata de un proceso de cargar cuerpos a distancia. A este proceso se le denomina electrificación por influencia o inducción.

A.23 La teoría más difundida que explica el comportamiento de los metales es la del gas electrónico. Esta teoría supone que las redes cristalinas están formadas por iones positivos, es decir, átomos que han perdido uno o más electrones de la capa de valencia, los cuales constituyen una especie de nube o gas electrónico que se mueve libremente en el interior del metal, perteneciendo estos electrones, a la vez, a todos los iones positivos. Los iones positivos, al estar colocados en el nudo de la red, se repelen entre ellos, efecto que es contrarrestado por el gas electrónico, al moverse libremente los electrones entre los intersticios que dejan los iones positivos. Por tanto, el enlace metálico consiste en la interacción electrostática entre los electrones libres que forman el gas electrónico y los iones positivos.

a) Cuando colocamos un cuerpo conductor neutro (B) en las proximidades de un cuerpo cargado (A), en aquél se produce una separación de cargas debido al campo eléctrico E que crea el último; en una zona del mismo existirá un exceso de carga negativa y en la zona opuesta un exceso de carga positiva. Esta separación de carga crea un campo eléctrico interno E_i que se opone al externo E creado por el cuerpo cargado.



Si dividiéramos el cuerpo con cargas inducidas en dos partes obtendríamos dos cuerpos cargados con diferente carga. Sin embargo, también podemos lograr cargar el cuerpo si lo conectamos a Tierra cuando existen en él cargas inducidas. Al ser el conductor y la Tierra cuerpos conductores pasarían electrones de ésta que atraídos por el campo eléctrico creado por A neutralizarían las cargas positivas del cuerpo B. Si ahora quitamos el hilo que une B a Tierra (manteniendo A próximo a B) y luego alejamos A de B, entonces habremos logrado cargar B negativamente.

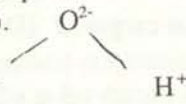


Este mecanismo, distinto de la electrificación por frotamiento y contacto, que permite cargar cuerpos eléctricamente, se llama: electrización por inducción y consiste en un desplazamiento de electrones en un cuerpo provocado por la acción de un campo eléctrico, seguido del aislamiento entre las partes donde se encuentran localizadas las dos clases de carga.

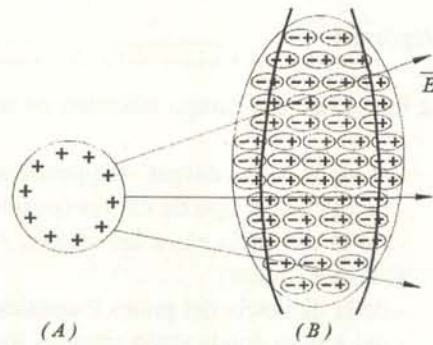
b) Cuando colocamos un cuerpo no conductor neutro (B) con las proximidades de un cuerpo cargado (A) no se produce desplazamiento de cargas, ya que los electrones no tienen movilidad. En este caso pueden ocurrir dos cosas diferentes según sean las moléculas del cuerpo B:

b.1) Si las moléculas del aislador o dieléctrico son polares, es decir, el centro de las cargas positivas está desplazado con respecto al centro de las cargas negativas, los dipolos elementales se orientan por efecto del campo eléctrico apareciendo en una cara una clase de carga, y en la opuesta, carga de otro signo.

Esto es lo que ocurre en el caso del chorro de agua que cae por un grifo, cuando se le acerca la barra de vidrio o de ebonita. Las moléculas de agua que son angulares, tienen sobre los átomos de hidrógeno una sobrecarga positiva, debida al desplazamiento de los electrones sobre el átomo de oxígeno que es más electronegativo.



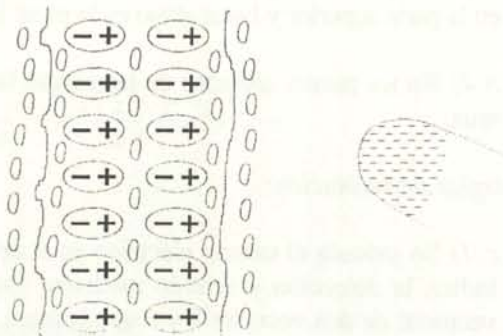
Es decir, son dipolos.



Estos dipolos se orientan cuando se somete el chorro a la acción del campo eléctrico creado por la barra cargada, apareciendo carga de signo opuesto a la de la barra en la superficie del chorro cercana a la barra, y carga del mismo signo que la de la barra en la superficie opuesta.

La interacción atractiva entre la carga de la barra y la superficie del chorro, que tiene carga contraria a la de la barra, será mayor que la repulsiva entre ésta y la superficie del chorro, con carga igual a la de la barra, por ser la distancia en el primer caso menor, dando origen a una atracción del chorro.

La misma explicación tiene la experiencia cuando se realiza con alcohol etílico.



b.2) Si las moléculas del dieléctrico no son polares, entonces estas son susceptibles de ser polarizadas, por desplazamiento del centro de las cargas negativas con respecto a las positivas, si se las somete a un campo eléctrico. El grado de polarización de estas moléculas depende de la intensidad de campo eléctrico y de la polarizabilidad de las propias moléculas que constituyen el dieléctrico ($P = \chi_e E$).

Las moléculas del tetracloruro de carbono son de forma tetraédrica y por tanto simétrica -no poseen momento dipolar permanente-. En este caso el chorro no se desvía al acercar la barra de vidrio o ebonita cargada. Esto es debido a que el campo que crea la carga de la barra no tiene suficiente intensidad para polarizarla.

A.24 Persigue que el alumno se ejercite en el cálculo de la magnitud intensidad de campo eléctrico debida a una distribución discreta de carga.

a) Análisis del problema y operativización del mismo:

Se trata de calcular el campo eléctrico en todos los puntos de la recta r equidistante de las dos cargas. Debe darse el módulo, dirección y sentido de la intensidad del campo eléctrico. Suponemos las cargas puntuales de la misma clase, bien positivas, bien negativas.

b) Emisión de hipótesis:

b.1) La intensidad del campo eléctrico en un punto P cualquiera de la recta r depende de:

- el valor de las cargas. (Dependencia directa).
- de la clase o tipo de cargas (positivas o negativas). Influye sólo en el sentido.
- de la distancia entre las cargas, s . (Dependencia inversa). No la emiten todos los alumnos (dudas).
- de la distancia del punto P considerado a las cargas, d . (Dependencia inversa).
- del medio donde estén situadas las cargas.

b.2) El campo eléctrico en el punto medio (A) de la línea que une las dos cargas es nulo. ($E_A=0$).

b.3) La dirección del campo en todos los puntos de la recta r es la misma recta r . El sentido depende de si las cargas son positivas o negativas; en el primer caso el sentido es hacia arriba en la parte superior y hacia abajo en la parte inferior, y en el segundo caso ocurre lo contrario.

b.4) En los puntos alejados de las cargas la intensidad del campo eléctrico es prácticamente nula.

c) Estrategias de resolución:

c.1) Se calcula el campo eléctrico en P debido a cada carga y se suman vectorialmente. Se indica la dirección y sentido mediante palabras, es decir, no matemáticamente. La suma vectorial de dos vectores b y c que forman un ángulo β es otro vector a de valor:

$$a^2 = b^2 + c^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \beta$$

c.2) Se calcula el campo eléctrico en P sumando las proyecciones de las intensidades de campo que crean cada carga de modo individual sobre los ejes de coordenadas, con centro en A . Se da el resultado en función de α (ángulo que forman la recta que une las dos cargas y la recta que une el punto P con una de las cargas) o bien en función de s .

d) Resolución del problema:

$$d.1) \quad E_1 = \frac{K \cdot Q}{d^2}$$

$$E_2 = \frac{K \cdot Q}{d^2}$$

Al ser:

$$\sin \alpha = \frac{\frac{s}{2}}{d} = \frac{s}{2 \times d} \qquad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{s^2}{4 \times d^2}}$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - \frac{s^2}{4 \times d^2} - \frac{s^2}{2 \times d^2} = 1 - \frac{s^2}{2 \times d^2}$$

tenemos que:

$$|\vec{E}_p| = \sqrt{|\vec{E}_1|^2 + |\vec{E}_2|^2 + 2 \times |\vec{E}_1| \times |\vec{E}_2| \times \cos 2\alpha} = \sqrt{2 \times E^2 + 2 \times E^2 \times \cos 2\alpha} = E \times \sqrt{2 + 2 \times \cos 2\alpha} = E \times \sqrt{2 + 2 \times \frac{s^2}{2 \times d^2}}$$

$$|\vec{E}_p| = E \times \sqrt{4 \times \frac{s^2}{d^2}} = k \times \frac{Q}{d^2} \times \sqrt{\frac{4 \times d^2 - s^2}{d^2}} = K \times \frac{Q}{d^3} \times \sqrt{4 \times d^2 - s^2}$$

La dirección es la de la recta r .

El sentido para los puntos por encima del A es:

- hacia arriba si las cargas son positivas.
- hacia abajo si las cargas son negativas.

El sentido para los puntos por debajo del A es:

- hacia arriba si las cargas son negativas.
- hacia abajo si las cargas son positivas.

d.2)

$$\vec{E}_p = (E_1 \cdot \cos \alpha + E_2 \cdot \cos \alpha) \vec{j} - 2 \cdot E \cdot \cos \alpha \vec{j} = \left(\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \right) 2 \cdot E \cdot \sqrt{1 - \frac{s^2}{4 \times d^2}} \vec{j} = \left(\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \right) \frac{2 \cdot E}{2 \cdot d} \cdot \sqrt{4 \cdot d^2 - s^2} \vec{j} =$$

$$\vec{E}_p = \left(\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \right) K \times \frac{Q}{d^3} \times \sqrt{4 \times d^2 - s^2} \vec{j}$$

La carga Q se sustituirá por su valor y signo.

El signo $+$ es para los puntos por encima del A .

El signo $-$ es para los puntos por debajo del A .

$$\vec{E}_p = 2 \times E \times \cos \alpha \vec{j} - 2 \times K \times \frac{Q}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j}$$

- Q se sustituye por su valor y signo.

- α indica el ángulo que forma el eje negativo de ordenadas con la recta que une el punto P con una de las cargas.

e) *Análisis de los resultados:*

- El vector intensidad de campo depende de : Q , d , K , s y clase de las cargas Q tal y como se había adelantado.
- $E_a = 0$ ya que $s = d$ o bien $\alpha = 90^\circ$.
- Cuando $d \rightarrow \infty$ entonces $E_p \rightarrow 0$.
- La dirección de la intensidad del campo es la de la recta r y con los sentidos indicados anteriormente.
- Si la distancia entre las cargas es muy grande el campo eléctrico en todos los puntos equidistantes es muy pequeño.

f) *Caso particular:*

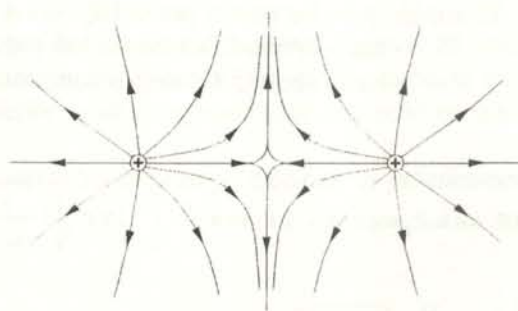
$$\text{Si } Q = -5 \mu\text{C} \quad k = k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \quad s = 2 \text{ m} \quad d = 5 \text{ m}$$

El punto P se encuentra por encima de la recta que une las cargas.

$$\vec{E}_P = +K \times \frac{Q}{d^3} \times \sqrt{4 \times d^2 - s^2} \vec{j} = 9 \times 10^9 \times \frac{-5 \times 10^{-6}}{5^3} \times \sqrt{4 \times 5^2 - 2^2} \vec{j} = 3,53 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

A.25 Es una actividad de aplicación del concepto de campo eléctrico y pretende adquirir soltura en la representación de las líneas de fuerza.

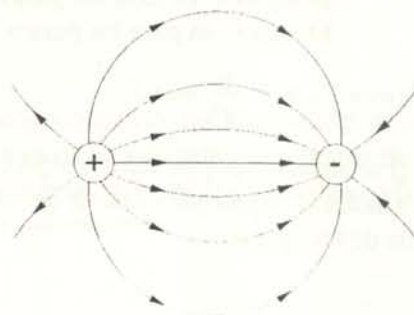
A) Suponemos que las cargas están separadas una distancia. No se indica nada de si las cargas son iguales o no, por lo tanto caben las dos posibilidades. Si las cargas son iguales debe haber simetría respecto a la línea que une las cargas y respecto a la línea que equidista de ambas cargas.



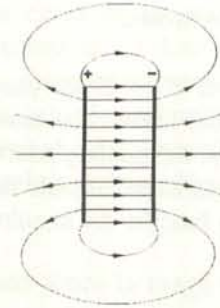
Si una de las cargas es muy superior a la otra, entonces el campo es muy parecido al producido por una carga puntual, ya que queda muy poco influenciado por la carga pequeña.

Las líneas de fuerza siempre salen de las cargas positivas y se dirigen hacia las negativas.

B) Igual que antes, no se dice si las cargas son iguales o no. Si no lo fueran, al igual que anteriormente, el campo eléctrico se aproxima tanto más al producido por una sola carga puntual cuanto mayor es la diferencia entre los valores de las cargas.



C) Si las placas tienen la misma cantidad de carga, las líneas de fuerza son las representadas en la figura. El campo eléctrico en el interior es más intenso que fuera de las placas y es perpendicular a estas excepto en los bordes, donde se produce una dispersión de las líneas.



Fuera de las placas, el campo sólo es perpendicular en la línea (superficie) que divide a las placas en dos partes iguales. Lógicamente a medida que nos alejamos de las placas, el campo eléctrico se debilita.

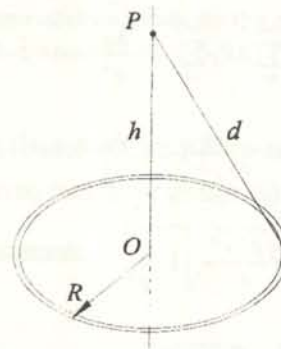
La dispersión de las líneas en los bordes se hace relativamente menor cuanto mayores sean las láminas y más pequeña la distancia que las separa.

Este dispositivo de dos láminas cargadas con signos contrarios y separadas por una pequeña distancia (comparada con sus dimensiones lineales) se utiliza en muchas piezas de utensilios eléctricos, principalmente en forma de condensador. En bastantes casos, la dispersión es enteramente despreciable, y aunque no lo sea, de ordinario se prescinde de ella para simplificar los cálculos.

A.26 Se pretende ampliar el cálculo de intensidades de campos creados por cuerpos extensos cargados y comprobar la dificultad que existe en el cálculo.

a) *Análisis del problema:*

Se trata de calcular el vector intensidad de campo en todos los puntos del eje. Se desconoce la clase de carga del anillo, pudiendo ser positiva o negativa. Consideramos que posee una carga total Q . Despreciamos la sección del anillo; esto quiere decir que para una sección determinada sólo existe una carga. El radio del anillo es R . La distancia del anillo al punto es d y la distancia del centro del anillo al punto es s .



b) *Hipótesis:*

El campo eléctrico E depende:

- De la cantidad y clase de la carga;
- De la distancia del punto al anillo d .
- Del medio.
- Del radio del anillo R .

En el centro del anillo $E = 0$.

Para puntos muy alejados del anillo el campo eléctrico es muy pequeño. Si $d \rightarrow \infty$, entonces $E \rightarrow 0$.

Si el radio del anillo es muy grande, el campo eléctrico es muy pequeño.

En los puntos del eje, la intensidad de campo eléctrico tiene la dirección de dicho eje.

c) Estrategias de resolución:

Para resolver el problema puedo calcular la intensidad de campo debida a cada carga del anillo en P y después sumar todas estas intensidades de modo vectorial. Conviene proyectar primero cada E individual sobre el eje del anillo y sobre otra recta perpendicular a él; las proyecciones sobre esta última recta se anulan, quedando solamente las proyecciones sobre el eje del anillo. Estas últimas proyecciones se pueden poner en función del ángulo que forma el semieje de ordenadas con la semirrecta que va del punto a la carga α .

d) Resolución del problema:

$$\Delta \vec{E}_{1y} = K \times \frac{\Delta q}{d^2} \vec{u}_y \quad \Delta \vec{E}_{1y} = K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \cos(180 - \alpha) \vec{j} = -K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j}$$

$$\Delta \vec{E}_{1x} = K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \text{sen } \alpha \vec{i}$$

$$\Delta \vec{E}_{2y} = K \times \frac{\Delta q}{d^2} \vec{u}_y \quad \Delta \vec{E}_{2y} = K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \cos(180 - \alpha) \vec{j} = -K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j}$$

$$\Delta \vec{E}_{2x} = K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \text{sen } \alpha \vec{i}$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta \vec{E}_{iy} = - \sum_{i=1}^n K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j} \quad \sum_{i=1}^n \Delta \vec{E}_{ix} = 0$$

$$\vec{E}_{TOTAL} = \sum_{i=1}^n \Delta \vec{E}_i = \sum_{i=1}^n -K \times \frac{\Delta q}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j} = -K \times \frac{\cos \alpha}{d^2} \times \sum_{i=1}^n \Delta q_i \vec{j} = -K \times \frac{Q}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j}$$

$$\vec{E}_{TOTAL} = K \times \int_V \frac{dq}{r^2} \vec{r} = -K \int_V \frac{dq}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j} = -K \times \frac{\cos \alpha}{d^2} \times \int_V dq \vec{j} = -K \times \frac{Q}{d^2} \times \cos \alpha \vec{j}$$

Como $\cos \alpha = \frac{z}{d} = \frac{\sqrt{d^2 - R^2}}{d}$ tenemos que:

$$E_{TOTAL} = \begin{pmatrix} + \\ - \end{pmatrix} K \times \frac{Q}{d^3} \times \sqrt{d^2 - R^2} \vec{j}$$

- El signo + corresponde a puntos por encima del anillo.
- El signo - corresponde a puntos por debajo del anillo.

e) Análisis de los resultados:

En el centro del anillo tenemos que $d=R$ y $\alpha=90^\circ$. Entonces $E=0$.

Para puntos alejados tenemos que $d \rightarrow \infty$. Entonces $E \rightarrow 0$.

Si el anillo es grande entonces $R \rightarrow \infty$ y $d \rightarrow \infty$. Entonces $E \rightarrow 0$.

Si d es muy grande comparado con R , se puede despreciar este valor. Entonces se considera al anillo como si fuera una carga puntual.

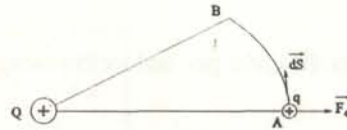
El campo eléctrico depende de la clase y valor de Q , de K , de d y de R .

Igualmente, en un campo eléctrico, para desplazar una carga de un punto a otro, con movimiento infinitamente lento, si el desplazamiento (o mejor, la componente del desplazamiento sobre la dirección del campo) es contrario a la fuerza propia del campo, entonces tenemos que realizar un trabajo, con lo cual aumenta la energía potencial eléctrica de la carga; y si el desplazamiento (o mejor, la componente del desplazamiento sobre la dirección del campo) tiene el mismo sentido que la fuerza propia del campo, entonces el campo es quien realiza trabajo y la energía potencial eléctrica de la carga disminuye.

En ambos casos el trabajo eléctrico W_e (externo) realizado sobre la carga q es igual a la variación de su energía potencial. Luego:

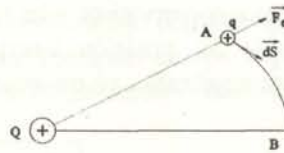
$$W_e = W_{A \rightarrow B}^q = \Delta E_p = E_{p_B} - E_{p_A}$$

Si $E_{p_B} > E_{p_A} \rightarrow W_e > 0$ (trabajo externo),



un agente externo realiza trabajo.

Si $E_{p_B} < E_{p_A} \rightarrow W_e < 0$ (trabajo interno).



El campo realiza trabajo.

NOTA.- Lo anterior es cierto si el movimiento para trasladar la carga de un punto a otro es infinitamente lento, ya que si no fuera así existiría una aceleración (F_e no es igual a F_{ext}) que haría que la carga q se acelerara teniendo en la posición final una velocidad, y por tanto energía cinética. Con lo cual $W_{A \rightarrow B}^q = \Delta E_p + \Delta E_c$.

Por la misma razón, es necesario suponer que únicamente existe un campo eléctrico creado por Q y que si existiera otro aparecerían variaciones de energías potenciales de otro tipo.

A.31 La diferencia de energía potencial eléctrica que una carga q tiene entre los puntos A y B de un campo eléctrico ($E_{p_B} - E_{p_A}$) es el trabajo realizado por el agente externo cuando la transporta de A hasta B; o el trabajo realizado por el campo cuando la trasplanta de B hasta A.

$$E_{p_B} - E_{p_A} = T_{A \rightarrow B}^q = W_{B \rightarrow A}^q$$

Hasta ahora sólo podemos calcular diferencias de energía potencial, pero aún no podemos determinar la energía potencial absoluta en cada punto del campo.

Para ello, necesitamos fijar el valor de la energía potencial de la carga q en un punto determinado y así podremos saber la energía potencial absoluta en cualquier punto con referencia a la fija.

Normalmente se fija como energía potencial cero la del infinito, ya que en los puntos más alejados de la carga, el campo, teóricamente, tiende a cero. Según esto, resulta que:

La energía potencial de la carga q en un punto A de un campo eléctrico, representa el trabajo realizado por un agente externo al transportar la carga q desde un punto situado en el infinito (fuera del campo) hasta el punto A; o bien el trabajo realizado por el campo al trasladarla desde el punto A hasta un punto situado fuera del campo.

A.27 Es una actividad de recapitulación y afianzamiento de todo lo visto. Permite evaluar el progreso del alumno.

En la electrificación por frotamiento y contacto existe transferencia de carga de un cuerpo a otro. En la electrificación por inducción no hay transferencia de carga.

En la electrificación por frotamiento un cuerpo adquiere un tipo de carga y el otro la carga de signo opuesto.

En la electrificación por contacto existe un reparto de carga del mismo signo entre los cuerpos contactados.

En la electrificación por inducción siempre aparecen dos cuerpos con distinta clase de carga.

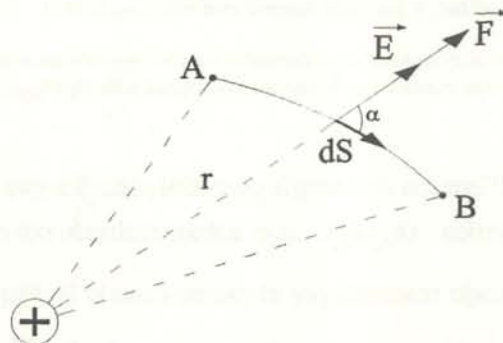
A.28 Mediante estas preguntas se pretende que los alumnos pongan de manifiesto las ideas que poseen sobre la existencia de campos conservativos y las transformaciones que tienen lugar en los mismos cuando un cuerpo se desplaza de una posición a otra. Estableciendo un diálogo abierto en gran grupo se reconstruye los conceptos implicados ya estudiados con anterioridad.

A.29 Se dice que un campo es conservativo si el trabajo realizado por las fuerzas del campo es nulo en cualquier camino cerrado; o lo que es lo mismo, en un campo conservativo el trabajo realizado por las fuerzas del campo para llevar un cuerpo de un punto a otro es independiente del camino que se tome.

Consideremos el campo eléctrico creado por una carga puntual positiva Q.

El trabajo que realiza el campo para trasladar una carga q de A a B es:

$$W_{A \rightarrow B}^q = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_A^B q \cdot \vec{E} \cdot d\vec{s} = q \int_A^B E \cdot ds \cdot \cos \alpha = q \int_A^B E \cdot dr = q \int_A^B K \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot dr = K \cdot q \cdot Q \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = K \cdot q \cdot Q \cdot \left(-\frac{1}{r_B} + \frac{1}{r_A} \right) = K \cdot q \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$



Como este trabajo es independiente del camino, ya que sólo depende de la posición inicial r_A y final r_B , demostramos que se trata de un campo conservativo.

A.30 Mediante una analogía entre el campo gravitatorio terrestre y el campo eléctrico el alumno va adquiriendo los conceptos de diferencia de energía potencial y potencial eléctrico.

En el campo gravitatorio terrestre, si cogemos una tiza y la elevamos una cierta altura, realizamos trabajo, ya que tenemos que realizar una fuerza (contraria al peso) del mismo sentido que el desplazamiento. Si ahora se deja caer al suelo, es la tierra quien realiza trabajo, ya que la fuerza propia del campo (el peso) es del mismo sentido que el desplazamiento. En el primer caso, la tiza genera energía potencial a través del trabajo exterior realizado; cuando cae al suelo es el campo gravitatorio quien realiza trabajo, perdiendo la tiza energía potencial.

$$W_{E_{PA}} - E_{PB} - T_{PA}^q - W_{A \rightarrow B}^q$$

A.32 Cuando la energía potencial eléctrica se refiere, no a una carga cualquiera q , sino a la unidad de carga positiva, se introduce el concepto de potencial eléctrico (V) y de diferencia de potencial entre dos puntos A y B ($V_b - V_a$). Así podemos definir estas magnitudes como sigue:

La diferencia de potencial entre dos puntos A y B de un campo eléctrico ($V_b - V_a$) es el trabajo realizado por agente externo al transportar la unidad positiva de carga desde el punto A hasta el B; o el trabajo realizado por el campo al transportar la unidad de carga positiva de B a A.

$$V_B - V_A = \frac{W_{A \rightarrow B}^q}{q} = \frac{E_{PB} - E_{PA}}{q} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

El potencial en un punto A de un campo eléctrico es el trabajo realizado por un agente externo al transportar la unidad de carga positiva desde un punto fuera del campo al punto A; o el trabajo realizado por el campo al transportar la unidad positiva de carga desde A hasta el punto situado fuera del campo.

$$V_A = \frac{W_{\infty \rightarrow A}^q}{q} = \frac{E_{PA}}{q} = \int_{\infty}^A \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

De la forma en que se ha definido la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico, se deduce que las cargas positivas se mueven por acción del campo de los puntos de mayor potencial a los de menor potencial, y las negativas de los puntos de menor potencial a los de mayor potencial.

El potencial en un punto de un campo eléctrico es de un **voltio**, cuando al transportar un culombio de carga positiva desde un punto situado fuera del campo a este punto, se realiza el trabajo de un julio.

La diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico es de un voltio, cuando al trasladar la unidad de carga de un culombio de uno al otro, se realiza el trabajo de un julio.

A.33 Problema para resolverlo utilizando la metodología científica.

a) *Análisis del problema y operativización:*

Se trata de calcular en todos los puntos del espacio la magnitud escalar potencial creado por una carga puntual positiva o negativa Q . Asimismo se debe representar el campo utilizando el concepto de superficies equipotenciales.

Por otra parte se debe hallar la magnitud trabajo realizado por un agente externo para llevar una carga puntual q positiva o negativa, de un punto A a otro B del campo anterior.

b) Emisión de hipótesis:

* El potencial depende:

- Del medio donde esté la carga creadora del campo.
- Del valor de la carga. Cuanto más carga, más potencial.
- De la distancia del punto considerado a la carga. Cuanto más alejado esté menos potencial tiene.
- Algunos alumnos creen que el signo de la carga también influye. No indican cómo.

Si $d \rightarrow \infty$, entonces $V \rightarrow 0$.

Si $Q \rightarrow \infty$, entonces $V \rightarrow \infty$.

Si $d \rightarrow 0$, entonces $V \rightarrow \infty$.

Si $Q \rightarrow 0$, entonces $V \rightarrow 0$.

Para $d = \text{cte}$, entonces $V = \text{cte}$.

* El trabajo que hay que realizar para trasladar q de A a B en el campo producido por Q depende:

- Directamente del valor de Q.
- Directamente del valor de q .
- Del medio.
- De la distancia de la carga Q al punto A.
- De la distancia de la carga Q al punto B.
- De la distancia entre los puntos A y B (no todos los alumnos lo indican).
- Del potencial de A y del potencial de B. Algunos alumnos creen que si se indica esta dependencia no debe mencionarse la dependencia con Q, q y distancias.
- Del signo de las cargas (no todos los alumnos la indican).
- Si los puntos están muy lejos entre sí, el trabajo es muy grande.
- Si los puntos están muy cerca entre sí, el trabajo es muy pequeño.
- Si la carga $q \rightarrow 0$ entonces $W \rightarrow 0$. Si $q \rightarrow \infty$ entonces $W \rightarrow \infty$.

c) Estrategias de resolución:

El potencial en cualquier punto se puede hallar empleando su definición. Para ello tendremos que calcular el trabajo que hay que realizar para llevar la unidad de carga del infinito al punto, o bien el trabajo que realiza el campo para llevar la unidad de carga del punto al infinito.

Para calcular el que trabajo hay que realizar para desplazar la carga q de A a B pueden seguirse dos caminos:

- 1.- Emplear la definición de diferencia de energía potencial entre los puntos B y A.

$$E_{PB} - E_{PA} = W_{A-B}^q = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

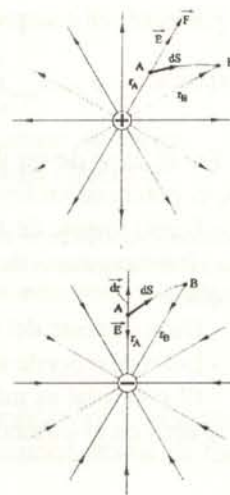
- 2.- Calcular los potenciales de A y de B y hallar el trabajo como:

$$W_{A-B}^q = q \cdot (V_B - V_A)$$

d) Resolución del problema:

$$V_A = \frac{\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}}{q} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_A^B E \cdot ds \cdot \cos \alpha = \int_A^B E \cdot dr = \int_A^B K \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot dr = K \cdot Q \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = K \cdot \frac{Q}{r_A}$$

$$V_A = \frac{\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}}{q} = q \cdot \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_A^B q \cdot E \cdot ds \cdot \cos \alpha = \int_A^B q \cdot E \cdot dr = \int_A^B K \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot dr = K \cdot Q \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = K \cdot \frac{Q}{r_A}$$



1. $W_{A-B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_A^B F \cdot ds \cdot \cos \alpha = \int_A^B K \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} \cdot dr = K \cdot q \cdot Q \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = K \cdot q \cdot Q \cdot \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right]$

2. $W_{A-B} = E_{PB} - E_{PA} = q \cdot (V_B - V_A) = q \cdot \left(K \cdot \frac{Q}{r_B} - K \cdot \frac{Q}{r_A} \right) = K \cdot q \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$

e) Comprobación de las hipótesis (Análisis de los resultados):

El potencial depende del medio, valor de Q y distancia del punto a la carga; si Q es positiva, el potencial es positivo en todos los puntos del espacio. Si Q es negativa el potencial es negativo en todos los puntos del espacio.

El trabajo para desplazar la carga q de un punto A a otro B a través de un campo producido por una carga Q depende de K, q, Q, r_A, r_B. Debe aclararse que no depende de la distancia entre los puntos. Asimismo el trabajo es positivo o negativo dependiendo de las cargas q y Q.

f) Caso particular:

$Q = -5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ $q = 10^{-4} \text{ C}$ $r_A = 5 \text{ m}$ $r_B = 10 \text{ m}$

Distancia desde A hasta B = 8 m

$V_A = 9 \cdot 10^9 \cdot (-5 \cdot 10^{-4}) / 5 = -9 \cdot 10^5 \text{ V}$ $V_B = 9 \cdot 10^9 \cdot (-5 \cdot 10^{-4}) / 10 = -4,5 \cdot 10^5 \text{ V}$

$W_{A-B} = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-4} \cdot (-5 \cdot 10^{-4}) \cdot \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{5} \right) = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot \frac{1}{10} = 45 \text{ J}$ $W_{A-B} = q \cdot (V_A - V_B) = 10^{-4} \cdot (-9 \cdot 10^5 - (-4,5 \cdot 10^5)) = 45 \text{ J}$

A.34 Si se admite el principio de superposición de campos, se tendrá que el potencial en un punto A de un campo creado por n cargas puntuales es:

$$V_A = \sum_{i=1}^n V_i = K \cdot \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i}$$

De donde: q_i es una de las cargas puntuales que crea el campo.
 r_i es la distancia de cada carga al punto A.

En la línea equidistante de las cargas de un dipolo, el potencial es nulo, ya que si las cargas son iguales, pero de signo contrario, y la distancia es la misma, los potenciales que crea cada carga en el punto son iguales, pero de signo contrario.

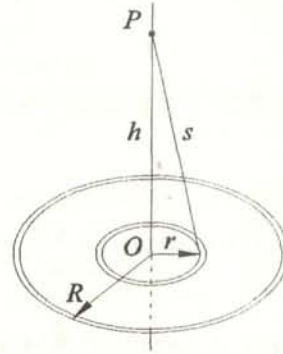
$$V_P = \sum_{i=1}^2 V_i = V_1 + V_2 = K \cdot \frac{q}{r} + K \cdot \frac{(-q)}{r} = 0$$

A.35 El potencial, en cualquier punto del espacio, que produce un cuerpo extenso cargado, viene dado

por la expresión:
$$V_P = \lim_{dq \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{\infty} K \cdot \frac{dq_i}{r_i} = K \cdot \int_V \frac{dq}{r}$$

En el caso de un disco circular uniformemente cargado, el potencial en los puntos del eje depende:

- Directamente de la carga que tenga el disco.
- Inversamente de la distancia del punto al disco.
- Directamente del radio del disco.
- Del medio donde se encuentre situado el disco.
- El potencial es máximo en el centro del disco y cero en el infinito.



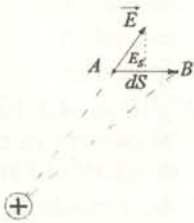
$$V_P = \int_V K \cdot \frac{dq}{r} = K \cdot \int \frac{\sigma \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr}{s} = 2\pi \cdot K \cdot \sigma \cdot \int \frac{r \cdot dr}{\sqrt{h^2 + r^2}} = 2\pi \cdot K \cdot \sigma \cdot [\sqrt{r^2 + h^2}]_0^R = 2\pi \cdot K \cdot \sigma \cdot (\sqrt{R^2 + h^2} - h)$$

En el centro del disco $h=0$ y $V_0 = 2\pi \cdot K \cdot \sigma \cdot R = 2\pi \cdot K \cdot (Q/\pi \cdot R^2) \cdot R = 2 \cdot K \cdot (Q/R)$

Como se puede ver, a medida que aumenta el radio del disco el potencial disminuye para una carga Q dada. Si se mantiene la densidad de carga superficial, el potencial aumentaría a medida que crece el radio del disco.

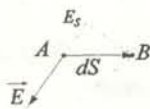
A.36 Se pretende que el alumno llegue a inducir el concepto de gradiente de potencial.

Supongamos el campo creado por una carga puntual y dos puntos A y B muy próximos:



$(V_B < V_A)$

$V_B - V_A = -dV = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = E_s \cdot ds$



$(V_B > V_A)$

$V_B - V_A = dV = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -E_s \cdot ds$



$(V_A < V_B)$

$V_B - V_A = -dV = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -E_s \cdot ds$



$(V_B < V_A)$

$V_B - V_A = -dV = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = E_s \cdot ds$

Conclusión:

$$E_s = -\frac{dV}{ds} = -\nabla V$$

"En cualquier punto de un campo eléctrico, la componente del campo en cierta dirección es igual al gradiente, cambiando el signo, del potencial en dicha dirección".

Aplicación: sea ΔS la distancia entre dos superficies equipotenciales a través de la normal. Así ΔS se mide en dirección del campo y $E_s = E$, deduciéndose de la expresión anterior $E_s = E = -\Delta V / \Delta S$, que cuanto mayor es la intensidad E del campo eléctrico, tanto menor es la distancia normal ΔS entre las superficies equipotenciales. Por consiguiente, estas están más próximas en un campo intenso, y se hallan más separadas en un campo débil.

A.37 Actividad para introducir el concepto de superficie equipotencial y aplicar los conceptos de diferencia de energía potencial, diferencia de potencial, energía potencial, potencial, líneas de fuerza y superficie equipotencial para resolver problemas.

a) Las superficies equipotenciales indican el lugar geométrico de los puntos que tienen el mismo potencial.

b) Como todos los puntos de una superficie equipotencial tienen el mismo potencial, el trabajo que hay que realizar para llevar una carga de un punto a otro de la superficie es nulo, ya que:

$$W_{A-B}^q = q \cdot (V_B - V_A) = 0 \quad (\text{al ser } V_A = V_B).$$

c) Las superficies equipotenciales no pueden cruzarse, ya que ningún punto puede tener dos potenciales. Igualmente ocurre con las líneas de fuerza; ningún punto puede tener las direcciones o sentido de campo eléctrico.

d) Sabemos, por definición, que:

$$V_B - V_A = \frac{W_{A-B}^q}{q} = \frac{\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}}{q} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Si desplazamos una carga de un punto A a otro B de una superficie equipotencial, el trabajo es nulo; la diferencia de potencial entre los puntos A y B es nula y por tanto la integral $\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$.

Para que se verifique esta igualdad debe cumplirse que:

1) $E = 0$. No es posible, ya que entonces no hay campo.

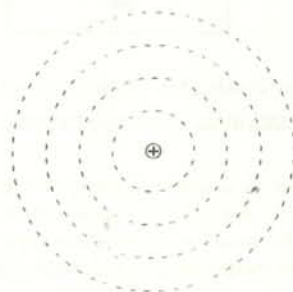
2) $ds = 0$. No es posible, pues no habría desplazamiento.

3) E perpendicular a ds . Esto indica que las líneas de fuerza (indican la dirección de E) son perpendiculares a las superficies equipotenciales, ya que el desplazamiento (ds) es a lo largo de la superficie equipotencial.

e) En las superficies equipotenciales no hay movimiento espontáneo de cargas, ya que sobre la carga actúa una fuerza en dirección de la intensidad del campo (E) y esta es siempre perpendicular a la superficie equipotencial, tal y como demostramos anteriormente.

A.38 Se pretende que los alumnos adquieran soltura en la representación de superficies equipotenciales.

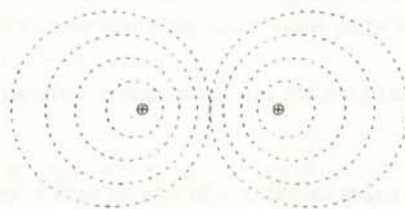
a) Las superficies equipotenciales en el campo creado por una carga puntual positiva o negativa son circunferencias concéntricas a la carga ya que el potencial depende inversamente de la distancia del punto a la carga.



b) Las superficies equipotenciales son las mismas tanto si se trata de dos cargas positivas o dos negativas.

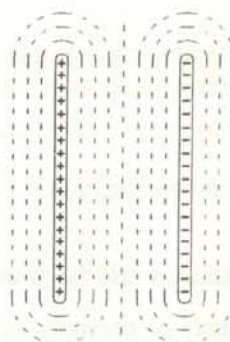
Si las cargas son iguales existe simetría respecto a la línea que equidista de ambas cargas.

Existe simetría respecto a la línea que une las dos cargas, aunque estas tengan diferente valor.



Los puntos exteriores a las cargas tienen menor potencial que los interiores.

c) Si se considera que las placas son grandes o que están muy próximas, las superficies equipotenciales son paralelas a las láminas, no existiendo apenas potencial fuera de las placas.



En los bordes existe una dispersión de las líneas de fuerza y esto hace que las superficies equipotenciales se curven, tal y como indica la figura.

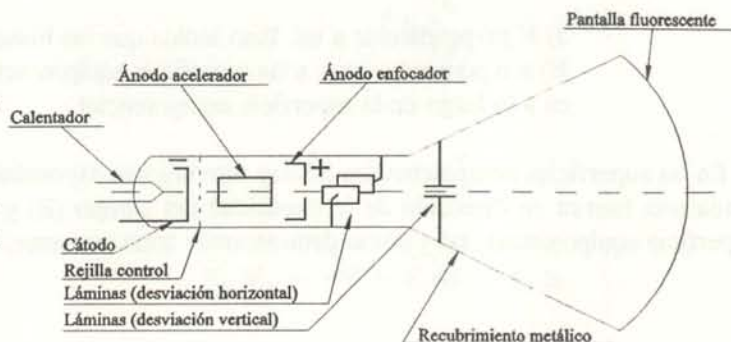
El potencial disminuye desde la superficie de la lámina cargada positivamente a (potencial máximo) hasta la lámina cargada negativamente (potencial mínimo).

A.39 Existen muchas aplicaciones importantes y tecnológicas provechosas. En esta actividad se pretende que los alumnos vean una aplicación al resolver una situación problemática relacionada con la existencia de campos de fuerzas.

a) *Análisis del problema:*

Un tubo de rayos catódicos consta de los siguientes elementos:

- Un *calentador* que eleva la temperatura del *cátodo* para que se evaporen electrones de su superficie.



- Un *ánodo acelerador*, que tiene un orificio en su centro; se mantiene a elevado potencial positivo respecto al cátodo, de modo que existe un campo eléctrico dirigido de derecha a izquierda, lo cual produce una aceleración de los electrones comparados de la superficie del cátodo.

- Una *rejilla central* para regular el número de electrones que alcanzan el ánodo (y por tanto, el brillo de la señal sobre la pantalla).

- El *ánodo enfocador* para dirigir los electrones que abandonan el cátodo hacia la pantalla.

Los electrones acelerados en el *cañón eléctrico* pasan entre dos pares de láminas cargadas con diferente potencial. El campo eléctrico existente entre el primer par de láminas desvía a los electrones a la derecha o a la izquierda, y el otro campo existente entre el segundo par de láminas los desvía hacia arriba o hacia abajo. En el interior del tubo se ha hecho un vacío elevado.

El problema concreto que pasamos a resolver puede concretarse como sigue:

"¿En qué punto de una pantalla fluorescente de un tubo de rayos catódicos, con un solo par de láminas desviadoras, chocará un electrón?".

O bien:

"Un electrón sale del cañón electrónico de un tubo de rayos catódicos con una velocidad v y atraviesa dos láminas paralelas cargadas con igual carga de signo contrario. ¿En qué punto de la pantalla fluorescente chocará?".

b) *Operativización del problema:*

El electrón se desvía al atravesar las láminas cargadas.

El problema estará resuelto al dar el valor de y , punto de incidencia del electrón sobre la pantalla.

c) *Emisión de hipótesis:*

La ordenada y depende:

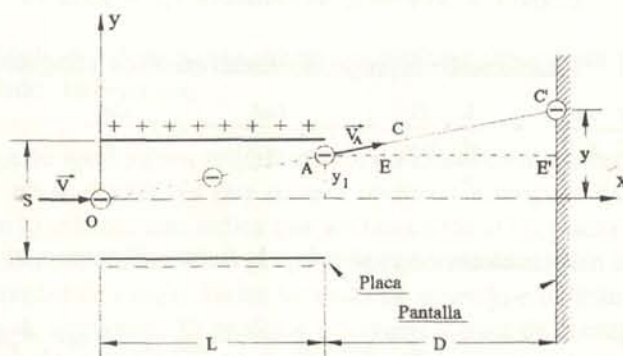
- de la velocidad del electrón v que lleva cuando llega al interior de las placas (inversamente).

- de la longitud, L , de las placas (directamente).

- de la distancia, D , de las placas a la pantalla (inversamente).

- de la intensidad del campo eléctrico existente entre las láminas (directamente), o bien de la diferencia de potencial (directamente) o de la separación entre ellas (inversamente).

- de la carga del electrón.



- Si no existe campo eléctrico entre las láminas, y valdrá cero.
- Si v es muy grande el electrón no se desvía.
- Si la intensidad de campo eléctrico es muy grande, el electrón puede que no salga de las placas.
- Cuanto mayor es la longitud de las placas, mayor es la desviación del electrón.
- La desviación depende del tipo de partícula en movimiento.

d) Estrategias de resolución:

El electrón en el interior de las placas está sometido a un movimiento compuesto: uno uniforme, de velocidad v , en dirección de las abscisas, y otro uniformemente acelerado, de aceleración a , en dirección de ordenadas. Se calcula la ecuación de la trayectoria $y=f(x)$ y se calcula y , para $X=L$. Se calcula la velocidad del electrón en el punto A utilizando las ecuaciones del movimiento compuesto.

Una vez hallada la velocidad v_A podemos calcular de forma gráfica la variable y . También se puede establecer una proporcionalidad entre los triángulos semejantes AEC y AE'C'.

e) Resolución del problema:

Ecuación de la trayectoria OA del electrón:

$$\begin{aligned} x &= V \cdot t & - t &= x/V \\ y &= \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 & - y &= \frac{1}{2} \cdot a \cdot (x^2/V^2). \end{aligned} \quad \text{Para } x = L \rightarrow y_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (L^2 / v^2).$$

Movimiento del electrón de O a A:
$$\begin{aligned} V_x &= V \\ V_y &= a \cdot t \end{aligned}$$

La velocidad del electrón en A es $V_A = V \mathbf{i} + a \cdot t \mathbf{j}$

Como $t = X/V = L/V$, entonces $V_{ay} = a \cdot (L/V)$

Estableciendo la proporcionalidad entre los triángulos equivalentes AEC y AE'C' obtenemos que:

$$\frac{AE}{EC} = \frac{AE'}{E'C'} \rightarrow \frac{v}{\frac{aL}{v}} = \frac{D}{y-y_1} \rightarrow y-y_1 = \frac{DaL}{v^2} \rightarrow y-y_1 = \frac{DaL}{v^2}$$

La aceleración es debida a la fuerza eléctrica a la que está sometida el electrón: $a = \frac{F_e}{m} = q \cdot \frac{E}{m}$

$$\text{Luego: } y = \frac{1}{2} \frac{aL^2}{v^2} = \frac{DaL}{v^2} = \frac{aL}{v^2} \left(\frac{L}{2} \cdot D \right) = \frac{qEL}{mv^2} \left(\frac{L}{2} \cdot D \right) = \frac{q(V_a - V_b)L}{mv^2} \left(\frac{L}{2} \cdot D \right)$$

f) Análisis del resultado:

Se confirman las hipótesis. Además la desviación depende inversamente de la masa del electrón.

g) *Caso particular:*

$L = 2 \text{ cm.}$ $s = 0,5 \text{ cm.}$ $D = 20 \text{ cm.}$ $V = 2 \times 10^7 \text{ m/s.}$
 Carga del electrón: $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ Masa del electrón: $9,11 \times 10^{-31} \text{ Kg.}$
 Diferencia de potencial entre las placas = 2000 V

$$y = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 2000 \times 0,02}{9,11 \times 10^{-31} \times (2 \times 10^7)^2 \times 0,005} \left(\frac{0,02}{2} \times 0,2 \right) = 0,74 \text{ m}$$

A.40 Nuevo problema para resolverlo utilizando la metodología científica.

El problema elegido es el siguiente:

¿Qué ángulo forma un péndulo situado entre dos placas metálicas plano paralelas?

La idea de la situación problemática planteada procede de la transformación de un enunciado muy típico que -con diversas variantes- aparece en la mayoría de los libros de Física General. Una de éstas puede ser la que aparece en la pág. 516 del libro de Sears y Zemansky (1976) :

"Una pequeña esfera de masa 0,2 g. pende de un hilo entre dos láminas verticales paralelas separadas 5 cm. La esfera tiene una carga de $6 \times 10^{-4} \text{ cul.}$ ¿Qué diferencia de potencial entre las láminas hará que el hilo forme un ángulo de 30° con la vertical?"

A continuación se transcribe un resumen de cómo resuelven en clase, el problema planteado, los alumnos estructurados en pequeños grupos de trabajo.

Esta transcripción no es, por supuesto, literal: representa la síntesis de las aportaciones de los distintos grupos, tal como puede ser reformulada al término de la puesta en común de cada uno de los apartados del enunciado.

a) *Análisis cualitativo de la situación problemática y operativización del problema:*

Los alumnos, estructurados en grupos de 4 ó 5 personas, imaginan distintas situaciones para comprender mejor el problema abierto formulado. Indican que:

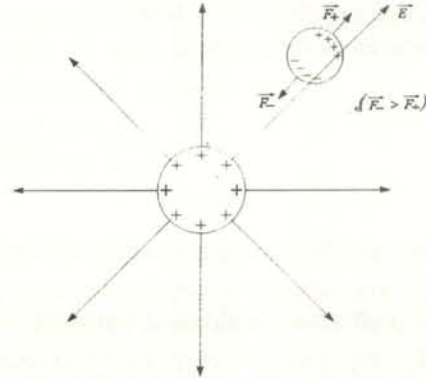
1.- Si las placas están cargadas con carga de igual signo, prácticamente no existe campo eléctrico en su interior y por tanto el péndulo no se desvía, ya que no está sometido a ninguna fuerza horizontal. Todos los grupos no piensan lo mismo, uno indica que sólo es cierto si las placas son muy grandes o no existe mucha separación entre ellas. Otro grupo opina que además deben estar las dos láminas cargadas con igual cantidad de carga. Todos no están de acuerdo e indican sus razones estableciéndose un intercambio de opiniones. El profesor interviene y trata de conseguir que todos coincidan, formulándose la conclusión final.

2.- Si las placas están cargadas con carga de distinto tipo, sólo existe el campo eléctrico en su interior. Piensan que esto es tanto más cierto cuanto mayores sean las placas y menos separadas estén. Unos grupos indican que el campo eléctrico es uniforme, existiendo una pequeña dispersión en los extremos de las placas, y lo representan mediante líneas de fuerza. Nuevamente un grupo

afirma que lo anterior solamente es cierto si las placas están cargadas con igual cantidad de carga. Ahora la discusión es menos acalorada pues el razonamiento a emplear es análogo al anterior.

Pero para que la bola del péndulo se desvíe no sólo hace falta que exista un campo eléctrico entre las placas, sino que también la bola debe de estar cargada.

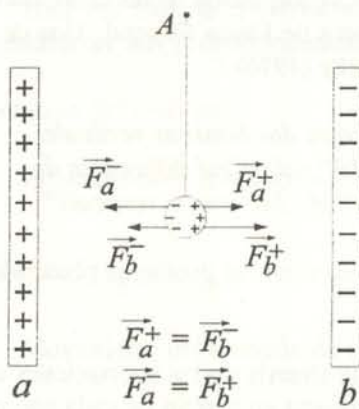
Todos no piensan lo mismo pues recuerdan que un cuerpo neutro (conductor o aislante) situado en un campo eléctrico creado por otro cuerpo cargado se mueve hacia él -si no hay rozamiento- debido a que aparecen fuerzas eléctricas de intensidades diferentes, ya que se redistribuye la carga, apareciendo de un tipo en un extremo y del contrario en el opuesto, tal y como puede verse en la figura adjunta.



Sin embargo, un grupo opina que la situación anterior no coincide con la del problema que se está analizando. En este caso también existe redistribución de carga en la bola neutra del péndulo -sea conductora o aislante con moléculas polares o no polares-, pero la fuerza neta sobre ella es neutra, tal y como puede desprenderse de la figura adjunta.

No todos están de acuerdo creyendo que solamente es cierto si la bola equidistase de las placas. Nuevamente se establece una discusión interesante.

Tras el análisis de todas las situaciones particulares que se presentan, aparece el problema en la pizarra, formulado de la siguiente manera :



¿Qué ángulo forma un péndulo cargado situado entre dos placas, metálicas grandes, plano paralelas, y cargadas con igual cantidad de carga y de distinto tipo?.

Las simplificaciones efectuadas son lógicas y coinciden con las que plantean los enunciados habituales (mucho más restrictivo), pero que aquí aparecen como condiciones que van precisando el problema y lo hacen susceptible de solución. Tomar conciencia de esto, supondrá posteriormente ser consciente del límite de validez de los resultados obtenidos.

La operativización del problema no presenta dificultades para los alumnos, concretándose en determinar el ángulo que forma el hilo del péndulo con la vertical por el punto de giro.

b) Emisión de hipótesis:

Al plantearse la cuestión de qué dependerá el valor del ángulo de desviación con respecto a la vertical, los grupos indican que depende de la carga de las placas (Q), de la carga de la bola del péndulo (q) y del medio existente entre las placas. Algún grupo opina que depende también de la longitud del hilo y de la separación existente entre las placas. Es conveniente que estas ideas erróneas salgan a la luz y

puedan ser discutidas. Curiosamente, ningún grupo, en un principio, indica que la desviación depende del peso de la bola del péndulo.

Las hipótesis no deben reducirse a indicar los factores de que depende una magnitud. Hace falta que los alumnos profundicen en el sentido de estas dependencias. Esto lleva a considerar situaciones especiales -casos límites- con significación física clara.

Así los diferentes grupos suelen plantear alguna de las siguientes situaciones:

- La bola se desvía hacia la placa negativa si está cargada con carga positiva y hacia la placa positiva si su carga es negativa. Cuanto mayor sea la carga de las placas (Q) y de la bola (q) mayor será la desviación (α).

- La bola se desvía debido a la fuerza eléctrica que actúa sobre ella. Pero, ¿cuánto se desvía?. Ahora, ¡por fin!, algún grupo se da cuenta de que cuanto más pesada sea la bola y el hilo mayor fuerza habrá que hacer para desviarla. Inmediatamente se formula una nueva hipótesis -que no se había, aún, emitido- indicando que la desviación (α) depende inversamente del peso (mg) de la bola del péndulo. Se efectúa una nueva simplificación, bastante real, despreciando el peso del hilo del péndulo frente al peso de la bola.

- El péndulo no se desvía si la fuerza eléctrica es muy pequeña comparada con el peso de la bola. Por tanto, si la intensidad del campo eléctrico y (o) la carga de la bola es (son) pequeña(s) o bien el peso de la misma es muy grande la desviación no existirá.

- El péndulo se desviará 90° si la fuerza eléctrica es muy grande comparada con la fuerza gravitatoria. Esto ocurrirá cuando el peso de la bola sea muy pequeño o bien cuando la intensidad del campo eléctrico y (o) la carga de la bola sea(n) muy grande(s).

- El péndulo se desviará 45° si las fuerzas eléctrica y gravitatoria son iguales.

- Es muy frecuente cometer el error de decir que la fuerza eléctrica disminuye al separar las láminas. Esto no es cierto ya que el campo eléctrico (para placas muy grandes) sólo depende de la densidad de carga superficial (σ) que posean las placas y del medio (ϵ) existente entre ellas. Este hecho hace reflexionar al alumno sobre la idea intuitiva que tiene al creer que, en todos los casos, la intensidad del campo eléctrico disminuye a medida que nos separamos de la causa creadora del campo.

- Por último, existen alumnos que creen que cuanto mayor sea la longitud del hilo menor será la desviación. Esta idea, con escasa o ninguna justificación, es fácilmente corregida, tras un breve diálogo. De todas formas, y al igual que las demás hipótesis emitidas, queda pendiente de justificación.

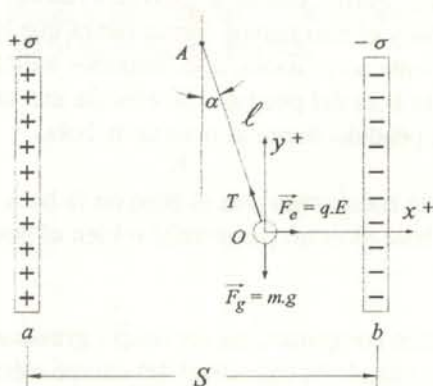
Como puede comprobarse, la formulación de hipótesis es una ocasión propicia para que los alumnos hagan explícitas sus concepciones, pongan de manifiesto sus preconcepciones que, de otro modo, quedarían subyacentes y sin posibilidad de incidir sobre ellos. Además, el avance de casos extremos donde la solución es evidente, juega un doble papel: por una parte, obliga a profundizar más en la visión cualitativa del problema y evita el mecanicismo en la formulación de hipótesis; por otra, las situaciones concebidas servirán para la comprobación del resultado obtenido, que deberá "ajustarse" a las soluciones particulares en dichos casos.

c) *Elaboración de estrategias de resolución:*

Queremos insistir en el hecho de que son las hipótesis, a la luz de la visión cualitativa del problema, las que determinan lo que debe considerarse "datos" necesarios para su resolución (en este caso q , Q , α , m y q) en contra del error empirista -favorecido por el tipo habitual de enunciado-, consistente en tomar los datos como punto de partida.

A continuación se solicita, de todos los grupos, que elaboren la estrategia de resolución. Es decir, que realicen el equivalente a lo que, en un trabajo experimental, representa el diseño del experimento, con objeto de tener una visión clara de lo que se intenta resolver y cómo hacerlo, sin caer en mimetismos irreflexivos o en el puro ensayo y error.

En el ejemplo planteado, en la puesta en común que sigue a la fase de trabajo en los pequeños grupos, surgen las siguientes estrategias :



1.- Se calcula el ángulo (α) estudiando el equilibrio de la bola del péndulo. Sobre la bola actúan tres fuerzas: la gravitatoria (peso $-mg$ - de la bola), la eléctrica (qE) y la tensión del hilo (T).

Colocando unos ejes sobre la bola, proyectando las fuerzas anteriores sobre dichos ejes y haciendo que la suma vectorial de las fuerzas sea nula calculamos la desviación.

2.- Se calcula el ángulo (α) estudiando, también, el equilibrio de la bola del péndulo. Pero ahora igualamos a cero el momento que respecto a cualquier punto produce las fuerzas que actúan sobre la bola.

Para el cálculo del campo eléctrico algún grupo piensa que, en lugar de calcularlo como σ/ϵ , también se podría saber si se conoce la d.d.p. existente entre las placas ($V_a - V_b$) y la separación (s) entre las mismas, a través del concepto de gradiente de potencial ($E = -dV/ds$). Esto no quiere decir que la intensidad del campo eléctrico en el interior de las placas, para una carga determinada de las mismas, varíe con la separación entre ellas ya que la d.d.p. aumenta o disminuye a medida que se acercan o se alejan las placas y en la misma proporción. Sí lo haría si entre las placas se mantiene siempre la misma d.d.p.

d) Resolución del problema

La resolución no plantea ahora ninguna dificultad los alumnos :

1. - Eligen el sistema de coordenadas conveniente.
- Proyectan las fuerzas sobre el eje X : $F = q.E$ y $T.\text{sen}\alpha$
- Proyectan las fuerzas sobre el eje Y : $F = m.g$ y $T.\text{cos}\alpha$
- Igualan las fuerzas (con su signo) sobre el eje X a cero $F = 0 = q.E - T.\text{sen}\alpha$
- Igualan las fuerzas (con su signo) sobre el eje Y a cero $F = 0 = T.\text{cos}\alpha - m.g$
- Despejan T de la expresión primera y sustituyéndolo en la segunda obtienen el ángulo pedido.

$$T = \frac{q.E}{\text{sen } \alpha}; \quad \frac{q.E}{\text{sen } \alpha} \cdot \text{cos } \alpha = m.g; \quad \text{tag } \alpha = \frac{q.E}{m.g}$$

2.- Eligen un punto sencillo para aplicar momentos. Toman el A ya que T (fuerza desconocida) no produce momento por pasar su recta de aplicación por dicho punto.

- Fijan el sentido contrario a las agujas del reloj como sentido positivo de momentos.
- Calculan el momento, respecto a A, que producen las fuerzas gravitatorias ($-mg\text{sen}\alpha$) y eléctrica ($qE\text{cos}\alpha$) y lo igualan a cero.

$$\sum M = 0 = mg\text{sen}\alpha + qE\text{cos}\alpha$$

- Despejan el ángulo pedido : $mg\text{sen}\alpha = qE\text{cos}\alpha$

$$\text{tag } \alpha = \frac{qE}{m \cdot g}$$

e) *Análisis y contrastación de los resultados:*

Mediante el análisis de los resultados contrastamos la validez o no de las hipótesis emitidas, permitiéndonos averiguar hasta qué punto la visión cualitativa de la situación es correcta y/o la estrategia seguida adecuada, etc.

En nuestro caso todas las hipótesis emitidas son correctas excepto las que indicaban la dependencia del ángulo con la longitud del hilo y la separación entre las placas.

Una vez que los alumnos han reflexionado sobre la obtención del mismo resultado utilizando dos caminos diferentes, conviene impulsarles a analizar más situaciones de interés con el fin de hacer que el análisis de los resultados no se limite sólo a la contrastación de las hipótesis sino que se convierta, también, en una tarea creativa, dando pie a plantear nuevos problemas e investigaciones.

Por último, una vez analizados los resultados, se puede proceder al manejo de datos concretos. Los tratamientos numéricos tienen también su interés formativo, y la consideración de la viabilidad de un cierto valor puede formar parte del análisis de los resultados.

A.41 y A.42 Son ejercicios de aplicación de las leyes electrostáticas para que los alumnos comprueben la gran dificultad que supone el cálculo del vector intensidad de campo eléctrico y el potencial producido por cuerpos cargados sencillos.

A.43 Si la esfera se encuentra en equilibrio electrostático, entonces las cargas no se mueven y por lo tanto no existen fuerzas netas ($F = 0$). Entonces $E = F/q = 0$.

Si no existen fuerzas netas, entonces no existe diferencia de potencial entre las cargas, al no desarrollar ningún trabajo. Como $E = 0$ entonces $dV = 0$ y $V = \text{cte}$, al considerar el gradiente de potencial $E_s = -dV/ds$.

Conclusiones:

- El campo eléctrico en el interior de un conductor esférico (y no esférico) en equilibrio electrostático es nulo.

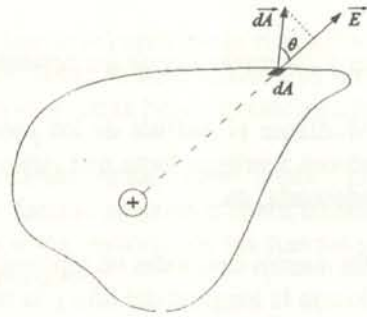
- Un conductor en equilibrio electrostático es un volumen equipotencial.
- Es muy complicado calcular el campo eléctrico de cargas continuas.
- Las cargas se encuentran en su superficie ya que existen entre ellas fuerzas repulsivas que las obligan a separarse lo máximo posible del centro de la esfera.

A.44 Se pretende que el alumno comprenda el significado y la importancia del teorema de Gauss.

Karl Friedrich Gauss (1777-1855) fue un físico y matemático alemán que hizo muchas aportaciones a la Física, tanto de tipo teórico como experimental. Su teorema es el siguiente:

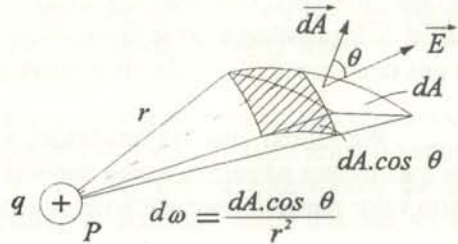
Consideremos en primer lugar el campo creado por una sola carga puntual positiva Q , donde la carga está rodeada por una superficie cerrada imaginaria. Supongamos una diferencial de área dA donde el E es cte. Se define el **flujo de líneas de fuerza a través de una superficie** en un campo eléctrico uniforme como el producto escalar de la intensidad del campo por el área de la superficie.

$$d\phi = \vec{E} \cdot d\vec{A}$$



Si sumo todos los flujos que atraviesan todos los (dA) que componen la superficie imaginaria supuesta obtendré el flujo total que atraviesa esa superficie cerrada.

$$\phi_{TOTAL} = \oint d\phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint E \cdot dA \cdot \cos \theta = \oint \frac{K}{r^2} \cdot 2\pi r^2 \cdot \cos \theta = Kq \oint \frac{dA \cdot \cos \theta}{r^2} = Kq \oint d\omega$$



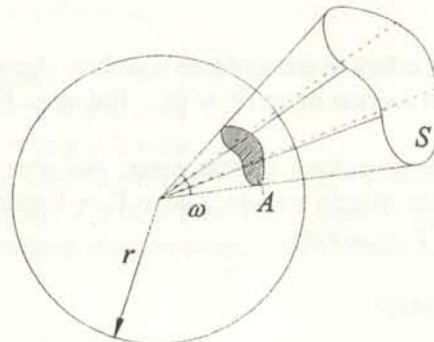
$d\vec{A}$ es un vector de módulo dA , dirección perpendicular al área y sentido hacia afuera de la superficie cerrada.

El ángulo sólido subtendido en un punto P por una superficie S se define como sigue:

Imaginemos una esfera de radio r y centro P. Las rectas determinadas por P y el contorno de S forman un cono que intercepta sobre la superficie de dicha esfera un área A.

El ángulo sólido w subtendido por S se define por $w = A/r^2$.

La unidad del ángulo sólido se llama **estereorradián** y, dado que el área total de una esfera es $4\pi r^2$, el ángulo sólido total subtendido en un punto será $w = 4\pi r^2 / r^2 = 4\pi$ estereorradianes.



Independientemente de la forma y tamaño de la superficie imaginaria cerrada que tenemos, siempre $\oint d\omega = 4\pi$, luego $\Phi_{TOTAL} = kq4\pi = \frac{q}{\epsilon_0}$, siendo ϵ_0 la cte dieléctrica del vacío. (Se introduce con el objeto de eliminar la cte π y poder simplificar los cálculos).

Si en lugar de una carga puntual, suponemos una carga continua, siempre puede imaginarse subdividida en muchas cargas puntuales. En este caso el flujo total será:

$$\Phi_{TOTAL} = \Sigma \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma q}{\epsilon_0} = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

en donde Σ indica la suma total de las cargas contenidas en el interior de la superficie, ya que las cargas exteriores crean un flujo nulo.

La ecuación anterior expresa el **TEOREMA DE GAUSS**:

"el flujo de líneas de fuerza a través de un línea cerrada es igual a la suma algebraica de las cargas que hay dentro de la superficie, dividida por el dieléctrico".

$$\Phi = \frac{\Sigma q}{\epsilon_0} = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

A.45 Actividad de aplicación del teorema de Gauss para valorar su utilidad.

a) *Conductor esférico:*

El teorema de gauss es $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma q}{\epsilon_0}$

como $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint E \cdot dA \cdot \cos 0 = E \oint dA = E \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2$

y $\frac{\Sigma q}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0}$ entonces queda que

$$E = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} = k \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Por otra parte $V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_a^b E \cdot ds \cdot \cos \alpha = \int_a^b E \cdot dr$

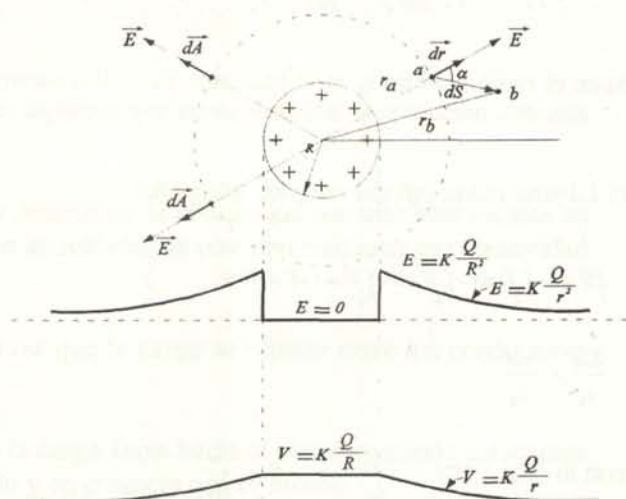
$$= \int_a^b k \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot dr = k \cdot Q \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_a^b = k \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right)$$

Cuando $r_b \rightarrow \infty$ entonces:

$$V_b = 0 \text{ y } V_a = K \cdot (Q/r_a)$$

En la superficie: $E = K \cdot (Q/R^2)$ y $V = K \cdot (Q/R)$

y por lo tanto $E = V/R$ y $V = E \cdot R$



El potencial máximo que puede alcanzar un conductor en el aire está limitado por el hecho de que las moléculas del aire se ionizan, es decir, el aire se hace conductor. Esto ocurre cuando el campo eléctrico es de alrededor de $3 \cdot 10^6$ V/m.

Para una esfera de 1 centímetro de radio el máximo potencial a que puede llegar será:
 $10^2 \cdot 3 \cdot 10^6 = 3 \cdot 10^8 = 30.000$ V

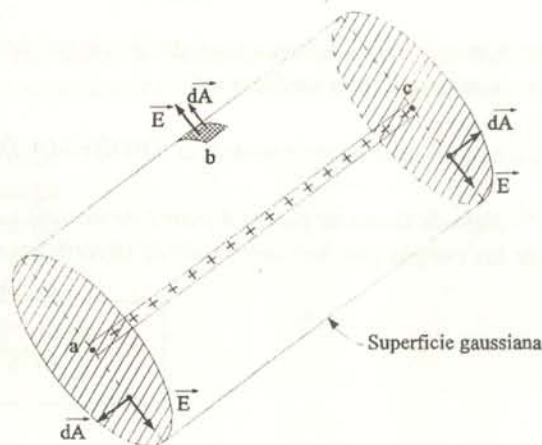
b) Conductor cilíndrico cargado:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{A} + \int_b^c \vec{E} \cdot d\vec{A} + \int_c^a \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_b^c E \cdot dA = E \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$$

ya que $\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$ y $\int_c^a \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$ (por ser los vectores \vec{E} y $d\vec{A}$ perpendiculares).

También $\Sigma \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{\lambda \cdot L}{\epsilon_0}$

Luego: $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$



Por otra parte:

$$V_a - V_b = \int_a^b E \cdot dr = \int_a^b \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_b}{r_a}$$

Si en el radio del hilo $r_b = R$ hacemos $V_b = 0$ tenemos que $V_a = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{R}{r_a}$

c) Lámina plana infinita cargada (delgada):

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{A} + \int_b^c \vec{E} \cdot d\vec{A} + \int_c^a \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA + EA$$

$$\frac{\Sigma q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

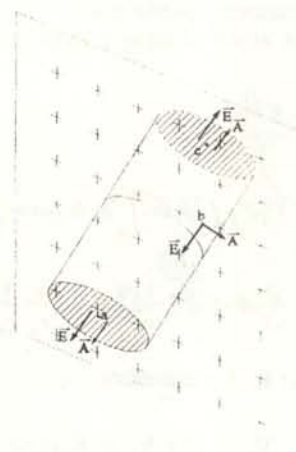
con lo cual $2EA = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$ y $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

y como $\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot k}$ entonces $E = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \sigma$

Por otra parte:

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_a^b E \cdot dr = \int_a^b 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \sigma \cdot (r_b - r_a)$$

si para $r_a = 0$ hacemos $V_a = 0$ entonces $V_b = -2 \cdot \pi \cdot k \cdot \sigma \cdot r_b$



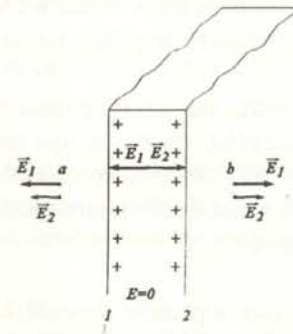
d) Lámina gruesa:

Si E_1 es el campo debido a la superficie 1

y E_2 es el campo debido a la superficie 2

$$\vec{E}_a = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0} + \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \text{con lo cual}$$

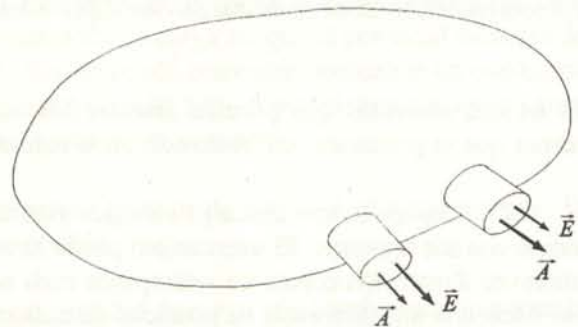
$$E \cdot A = \frac{\sigma \cdot A}{\epsilon_0} \quad \text{y} \quad \boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}}$$



e) Conductor cualquiera:

El campo eléctrico en la superficie debe ser normal a ella, ya que si no existiría una componente tangencial del mismo que haría que las cargas se movieran por la superficie. Como el conductor se encuentra en equilibrio electrostático no puede existir esa componente.

Considerando el prisma de la figura obtenemos (sólo existe campo eléctrico fuera):



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = E \cdot A = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

A.46 La planificación de experimentos es uno de los aspectos que especialmente se potencian con esta metodología.

Las ocasiones que tienen los alumnos para desarrollar la creatividad son más bien escasas en la enseñanza tradicional. Nosotros pretendemos con actividades de este tipo estimular esa creatividad necesaria en toda investigación científica.

En la primera experiencia se puede observar que la carga se reparte entre los conductores cuando se ponen en contacto.

En la segunda experiencia se observa que la carga fluye hacia el exterior cuando colocamos un cuerpo cargado en el interior de otro descargado y en contacto con el mismo.

El hecho experimental observado de que las cargas se encuentran en la superficie de los conductores en equilibrio electrostático nos sirve para comprobar la ley de Gauss.

Ya sabemos que el campo en el interior de un conductor en equilibrio electrostático es nulo; si tomamos una superficie cerrada gaussiana infinitamente próxima a la exterior de un conductor, a través de ella no hay flujo, ya que el campo es nulo. Luego atendiendo al teorema de Gauss, toda la carga debe encontrarse en la superficie.

A.47 y A.48 Son dos nuevas experiencias de aplicación de los conceptos tratados que sirven para que los alumnos afiancen los conocimientos adquiridos al mismo tiempo que tratan de resolverlas siguiendo el modelo de resolución de problemas como investigación.

A.49 La figura indica que en las puntas de conductores cargados, la intensidad del campo eléctrico, o gradiente de potencial, es mayor que en cualquier otro sitio alrededor del conductor. Si se da nueva forma a esta superficie, con su extremo puntiagudo, la intensidad del campo puede llegar a ser lo suficientemente grande como para hacer que se ionicen las moléculas de gas en el aire que rodea al extremo puntiagudo.

El aire seco a presión atmosférica, requiere un gradiente de potencial de 30KV/cm entre dos superficies electrizadas para ionizar la columna de aire entre estas superficies. Cuando el aire se ioniza, se produce una descarga de chispa y un torrente de electrones libres y moléculas ionizadas a través del espacio ionizado; con estos se descargan las superficies y se producen calor, luz y sonido.

A.50 Es una actividad que permite afianzar los conocimientos mediante la explicación de dos fenómenos que se producen con frecuencia en la naturaleza.

Un relámpago es una descarga eléctrica gigante en la cual las cargas eléctricas se precipitan para unirse con sus opuestos. El intercambio puede llevarse a cabo entre las nubes y la Tierra. Según el Instituto de Protección contra los relámpagos cada segundo caen 100 rayos sobre la Tierra y cada rayo se inicia con una diferencia de potencial de millones de voltios.

A.51 Es una actividad que permite a los alumnos ver la utilidad del tema tratado. Los pararrayos puntiagudos se colocan de manera estratégica sobre las salientes más altas de los edificios. Están fundados en el poder de las puntas, por las que escapan cargas opuestas a las de la nube hasta neutralizar o disminuir la diferencia de potencial existente entre la Tierra y la nube que podría dar lugar a la descarga eléctrica. Por otra parte, al estar colocados minuciosamente haciendo tierra, si se produce la descarga, esta pasa a través de toda la estructura metálica del edificio a Tierra, ya que sabemos que el campo eléctrico en el interior de una esfera hueca (estructura metálica del edificio) es cero, al estar toda la carga distribuida en la superficie.

A.52 El generador inventado por Rober J. Van de Graaff en 1931 basa su funcionamiento en los siguientes hechos:

a) Al introducir un conductor cargado dentro de otro hueco y puestos en contacto entre sí, toda la carga del primero pasa al segundo, cualquiera que sea la carga de este.

b) La carga de la campana superior aumenta de modo continuo al trasferir carga la correa no conductora, que la recibe por frotamiento.

A.53 Conseguir una corriente eléctrica duradera no fue una tarea fácil. Los alumnos reflexionan sobre este hecho en esta actividad. Igualmente almacenar energía tampoco es sencillo. No se puede concentrar toda aquella que queramos; existen una limitaciones que hay que analizar.

a) No puede almacenarse toda la carga que se desee, ya que si el campo eléctrico aumenta mucho se puede llegar a ionizar el aire, convirtiéndose en conductor.

b) Uniendo un conductor de la campana a Tierra se produce un flujo de electrones que cesa cuando se igualan los potenciales de la campana y de la Tierra ($= 0$).

c) La corriente eléctrica se produce al existir una diferencia de potencial entre los extremos del hilo conductor. Esta diferencia de potencial crea un campo eléctrico en su interior que hace moverse a los electrones libres del conductor. Cesará el movimiento cuando desaparezca el campo eléctrico, lo cual ocurre cuando se igualan los potenciales.

Para que la corriente dure el mayor tiempo posible debe existir gran cantidad de cargas en la campana. Aunque aumente la diferencia de potencial y el campo eléctrico en el hilo, la velocidad de las partículas prácticamente es constante. El problema surge en el límite máximo de potencial de la campana para que se ionice el aire. ¿Cómo puede aumentar la carga sin que el potencial aumente del máximo admisible para que no se ionice el aire?. Esto lo puedo conseguir acercando un conductor, cargado negativamente a la campana; esto hace que el potencial baje, y por lo tanto se pueda cargar más la campana hasta que el potencial vuelva como estaba anteriormente.

d) Cargaría a los dos conductores con el mayor número de cargas de diferente signo. Así podría obtener una gran corriente el mayor tiempo posible.

e) La capacidad de un conductor aislado es la cantidad de carga que admite para un potencial dado. $C = Q/V$.

La capacidad de los conductores que poseen cargas iguales de signo opuesto se define como la razón de la carga de cualquiera de los conductores a la diferencia de potencial existente entre ambos.

A.54 Mediante un dispositivo llamado condensador se puede concentrar una energía limitada en un espacio reducido.

El campo en el interior del condensador es:

$$E_T = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

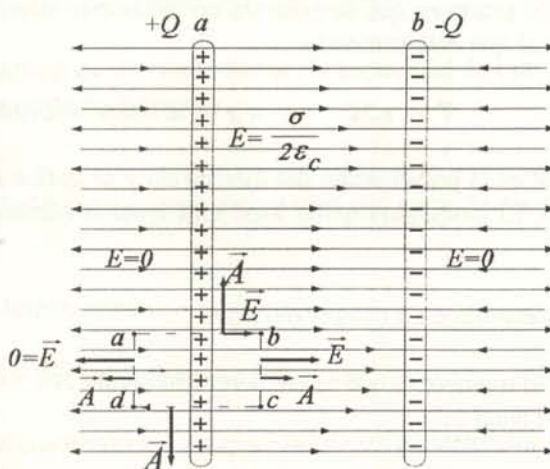
En el exterior el campo es nulo.

Otra forma: aplicando el Teorema de Gauss a la superficie gaussiana "abcd".

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E = -\frac{dV}{ds} \Rightarrow V_b - V_a = -E \cdot l$$

$$\text{Por tanto: } C = \frac{Q}{V_a - V_b} = \frac{Q}{\frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot l} = \frac{Q}{\frac{Q}{A \cdot \epsilon_0} \cdot l} = \frac{A \cdot \epsilon_0}{l}$$

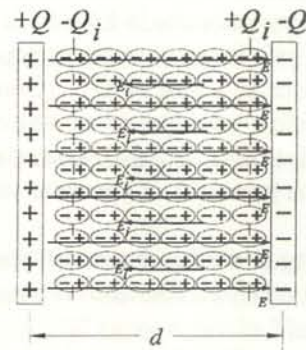


Al existir sólo campo eléctrico entre las láminas, toda la energía está almacenada entre ellas. Si colocamos una carga entre las láminas ésta se encuentra sometida a una fuerza y al desplazarse el campo eléctrico realiza un trabajo.

Todo dispositivo que almacena energía es útil. También se puede almacenar energía entre dos conductores cilíndricos o esféricos cargados con igual carga y de signo contrario. Hay que indicar que la cantidad de energía que se puede almacenar es muy pequeña si se utilizan unas dimensiones normales en los dispositivos mencionados.

A.55 Averiguar que la capacidad de un condensador aumenta en un factor K cuando entre las armaduras del mismo se introduce un aislante.

Al introducir un dieléctrico en un campo eléctrico, los dipolos del mismo, si los tuviera, se orientan en dirección del campo o bien las moléculas no polares se distorsionan, convirtiéndose en dipolos orientados también en dirección del campo. En este último caso las moléculas del dieléctrico se han polarizado por el campo.



Por tanto, sean o no polares las moléculas de un dieléctrico, el efecto neto de un campo exterior es, en definitiva, el mismo que el representado en la figura. Dentro de las dos capas superficiales extremadamente delgadas, indicadas por las dos líneas continuas, hay un exceso de carga, negativa en una y positiva en la otra. Estas capas de carga son las que dan origen a la carga inducida sobre las superficies de un dieléctrico. Las cargas no son libres, sino que cada una está ligada a una molécula situada en la superficie, o próxima a ella. Dentro del resto del dieléctrico, la carga neta por unidad de volumen sigue siendo nula.

El grado en que se polariza un dieléctrico depende de las moléculas del mismo y del campo eléctrico al que está sometido.

$$P = \chi \cdot E \quad \text{a } \chi \text{ se la llama susceptibilidad.}$$

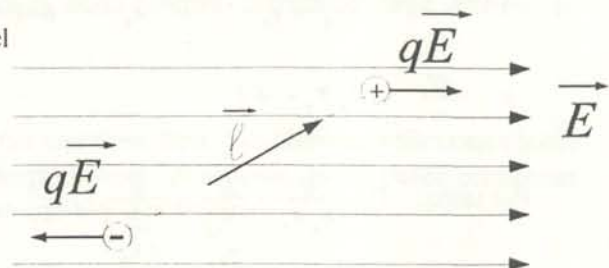
P es la polarización del dieléctrico y se define como el momento dipolar total por unidad de volumen. El momento dipolar total será igual al número de dipolos por el momento dipolar de cada dipolo.

Dipolo sometido a un campo eléctrico:

El momento a que se encuentra sometido el dipolo es igual a:

$$l \times q \cdot E = q \cdot l \times E = m \times E.$$

Siendo el momento dipolar = $m = q \cdot l$



Polarización total en un condensador plano:

$$p = n \cdot m = n \cdot q \cdot l = \sigma_i \cdot A / A \cdot l = \sigma_i$$

siendo n el número de moléculas (dipolos) por unidad de volumen.

"En un condensador plano la polarización coincide con la carga superficial inducida".

El campo eléctrico resultante, al introducir un dieléctrico entre las placas de un condensador, será igual al primitivo menos el inducido:

$$E = E_0 - E_i = E_0 - \frac{\sigma_i}{\epsilon_0} = E_0 - \frac{\chi \cdot E}{\epsilon_0} \rightarrow E \cdot \frac{\chi}{\epsilon_0} = E_0 - E \rightarrow E_0 = E \frac{\epsilon_0 + \chi}{\epsilon_0}$$

$\epsilon = \epsilon_0 + \chi$ - La permitividad del medio es igual a la permitividad del vacío más la susceptibilidad.

$\epsilon/\epsilon_0 = \epsilon'$ = Permitividad relativa del medio respecto al vacío.

$E = E_0 / \epsilon'$ "Al introducir un dieléctrico entre las placas de un condensador, el campo eléctrico disminuye en un factor ϵ' llamado permitividad del medio respecto al vacío".

$$V_a - V_b = E \cdot d = \frac{E_0 \cdot d}{\epsilon'} = \frac{\sigma \cdot d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon'} = \frac{\sigma \cdot d}{\epsilon} = \frac{Q}{\epsilon \cdot A} \cdot d$$

$$C = \frac{Q}{V_a - V_b} = \frac{Q}{\frac{Q \cdot d}{\epsilon \cdot A}} = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

"La capacidad de un condensador plano es directamente proporcional a la superficie y al dieléctrico, e inversamente proporcional a la distancia entre las láminas".

Al introducir un dieléctrico entre las armaduras de un condensador, la capacidad de este aumenta en un factor ϵ' igual a la permitividad del medio respecto del vacío.

A.56 Permite que el alumno vea la utilidad del dieléctrico en un condensador, así como la necesidad de estos en el desarrollo de la electrónica.

Un dieléctrico desarrolla tres funciones importantes:

- A) Aumenta la capacidad del condensador por fenómenos de influencia.
- B) Es un medio mecánico para separar dos conductores. La capacidad de un condensador aumenta cuanto más cerca se encuentran los conductores.
- C) Proporciona un aumento de resistencia a la ruptura, con lo cual se puede aumentar la diferencia de potencial entre las láminas y por lo tanto la carga almacenada sin que se quemé.

La rigidez dieléctrica es de 3 KV/mm para el aire, 16 KV/mm para el papel, 24 KV/mm para la baquelita, etc.

Los condensadores son aparatos muy útiles, de gran interés a físicos e ingenieros. Por ejemplo:

a) Para establecer configuraciones de campo eléctrico deseadas con diversas finalidades: desviar electrones en un campo uniforme, etc.

b) Puede servir para almacenar energía en un volumen pequeño. En muchos sincrotrones de electrones, que son aparatos del tipo del ciclotrón para acelerar electrones, se acumula energía en una gran batería de condensadores durante un tiempo relativamente largo y se echa mano de esa energía en forma intermitente para acelerar los electrones, descargando el condensador en un tiempo mucho más corto. Muchos aparatos en la física del plasma también hacen uso de impulsos de energía de esta manera.

c) La electrónica no podría existir sin los condensadores. Se usan, junto con otros aparatos, para reducir fluctuaciones de voltaje en fuentes de alimentación, para transmitir señales pulsantes, para generar oscilaciones electromagnéticas en radiofrecuencias, y para lograr retardos de tiempo.

La unidad de la capacidad es el faradio que es la capacidad a la que una carga de un culombio en un condensador produce una diferencia de potencial de un voltio entre las placas.

También puede definirse como la capacidad de un conductor que con una carga de un coulomb adquiere el potencial de un voltio.

Se llama así en honor de Michel Faraday que fue el científico que investigó los efectos de diferentes materiales aislantes entre las placas de un condensador.

A.57 Pretende que el alumnos se ejercite en el cálculo de las capacidades de condensadores.

a) *Condensador cilíndrico:*

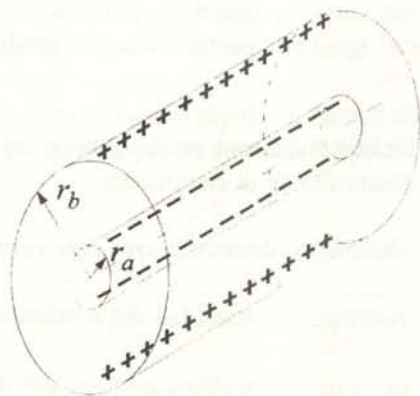
$$E = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r}$$

$$V_b - V_a = - \int_{r_a}^{r_b} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_{r_a}^{r_b} \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r} \cdot dr = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \ln \frac{r_b}{r_a}$$

ya que $-\int_{r_b}^{r_a} \frac{dr}{r} = -[\ln r]_{r_b}^{r_a} = -\ln r_a - \ln r_b = \ln \frac{r_b}{r_a}$

Por tanto, la capacidad al ser $\lambda = \frac{q}{L}$, será:

$$C = \frac{q}{(V_b - V_a)} = \frac{q}{\frac{q}{L \cdot 2 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \ln \frac{r_b}{r_a}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot L}{\ln \frac{r_b}{r_a}}$$



b) Condensador esférico:

$$V_1 - V_2 = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_1^{R_2} E \cdot dr = \int_{R_1}^{R_2} \frac{Q}{4\pi\epsilon \cdot r^2} \cdot dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left[-\frac{1}{r} \right]_{R_1}^{R_2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]$$

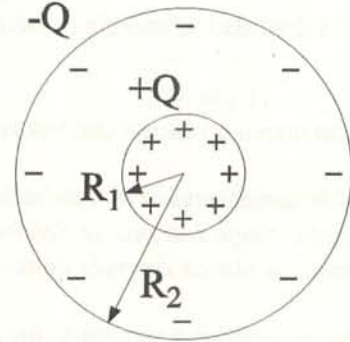
$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon \cdot r^2}$$

$$C = \frac{q}{V_1 - V_2} = 4\pi\epsilon \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} = 4\pi\epsilon \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1}$$

Si consideramos la placa exterior unida a Tierra, entonces $V_2 = 0$.

Considerando la placa exterior muy grande ($R_2 \rightarrow \infty$)

entonces: $C = 4\pi\epsilon \frac{R_1}{1 - \frac{R_1}{R_2}} \approx 4\pi\epsilon R_1$ que se corresponde con la



capacidad electrostatica de una esfera aislada.

A.58 y A.59 Son dos nuevos problemas para intentar llegar a la solución utilizando el modelo de resolución como investigación.

A.60 Pretende estimar la capacidad y energía almacenada en un condensador medio.

El proceso de cargar un condensador consiste en el paso de carga desde la lámina de menor a la de mayor potencial y requiere, por tanto, un consumo de energía, que puede ser recuperada cuando se descarga el condensador.

Imaginemos que el proceso de carga comienza cuando ambas placas están completamente descargadas, y que después sacamos repetidamente pequeñas cargas positivas de una de ellas y las pasamos a la otra. En cierta etapa de este proceso, cuando la cantidad total de carga transportada ha alcanzado un valor q , la diferencia de potencial entre las láminas es V , siendo $q = C \cdot V$

El trabajo dW , necesario para transportar la pequeña carga siguiente dq , es: $dW = V \cdot dq = \frac{q}{C} \cdot dq$

Y el trabajo total realizado en el proceso de carga, mientras esta aumenta desde cero hasta su valor

final Q , será: $w = \int_0^Q \frac{q}{C} \cdot dq = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot V$

Ejemplo: $C = \frac{\epsilon \cdot S}{l} = \frac{2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 60 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-3}} = 18,84 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 18,84 \mu\text{F}$

Energía almacenada = $\frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 18,84 \cdot 10^{-6} \cdot 220^2 = 0,456 \text{ J}$

La energía anterior es parecida a la energía potencial que posee un cuerpo de 45 gramos de masa situado a un metro de distancia del suelo.

A.61 Consiste en reflexionar sobre la energía que hay almacenada en todo campo de fuerzas, como el eléctrico.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon \cdot A}{s} \cdot (E \cdot s)^2 = \frac{1}{2} \cdot A \cdot s \cdot E^2 \cdot \epsilon$$

La densidad de energía electrostática o energía por unidad de volumen es: $\frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot E^2$.

A.62 Es un nuevo problema que resolveremos para que se vea de nuevo la metodología que se utiliza.

Un condensador de láminas plano paralelas, sin dieléctrico, se carga con una fuente de alimentación. Seguidamente se desconecta y se sumerge en un líquido. ¿Qué diferencia de potencial existe entre las placas después de sumergirse la mitad?

Resuelve el problema siguiendo los pasos siguientes:

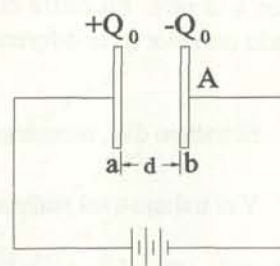
- Analiza la situación planteada y operativiza el problema.*
- Formula hipótesis razonadas e imagina situaciones sencillas donde sea posible predecir el resultado.*
- Indica la estrategia que vas a seguir para resolver el problema.*
- Realiza la resolución y analiza los resultados.*
- Fija unos valores concretos a los elementos que componen el circuito y resuelve el problema.*

Por ejemplo:

- Fuente de alimentación de 30 V.
- Área de las placas: 200 cm²
- Distancia entre las placas: 0,5 mm.
- Constante dieléctrica del líquido respecto al vacío: 2.

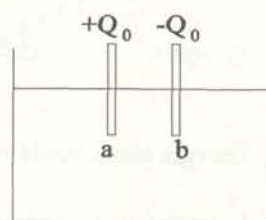
a) Analiza la situación planteada y operativiza el problema.

En primer lugar tenemos que cargar el condensador. Para ello le conectamos a una fuente de alimentación de corriente continua y así las placas del condensador adquieren una carga igual y de diferente tipo ($+Q_0 - Q_0$). Consideramos que las placas del condensador están separadas una distancia d y que inicialmente el medio existente entre ellas es el aire o bien no hay ningún medio: el vacío (ver figura 1).



(fig 1)

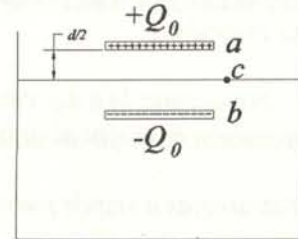
A continuación, se desconecta el condensador de la batería y se sumerge en un líquido, que suponemos que es un aislante perfecto. Como el líquido y el aire son dieléctricos, la carga de cada una de las placas del condensador permanece constante antes y después de sumergirlas en el líquido.



(fig 2)

Podemos entender dos situaciones diferentes al sumergir el condensador en el líquido; en las figuras adjuntas 2 y 3 se representan.

Ahora vamos a *operativizar* el problema, es decir, identificamos la magnitud física que tenemos que calcular. En nuestro problema ya está explicitada en el enunciado y es la diferencia de potencial ($V_a - V_b$) existente entre las placas, después de sumergirse la mitad en el líquido.



(fig 3)

b) Formular hipótesis razonadas e imaginar situaciones sencillas donde sea posible predecir el resultado.

b.1) La diferencia de potencial entre las placas dependerá:

1) Del valor de la *carga* (Q_0) de las placas.

A su vez la carga Q_0 depende:

- De la d.d.p entre los extremos de la pila (fuente de alimentación); aproximadamente igual a su f.e.m., si su resistencia interna es pequeña.
- De la capacidad del condensador sin dieléctrico. Esta capacidad, a su vez, depende:
 - Del área total de las placas (A).
 - De la separación entre las mismas (d).
 - De la constante dieléctrica del vacío o aire (ϵ_0).

2) de la *capacidad* (C_T) del condensador.

A su vez esta capacidad depende:

- De la constante dieléctrica del líquido (ϵ).
- Del área de la placa sumergida (A').
- De la separación entre las placas (d).
- Del área total de las placas (A).

Resumiendo, podemos señalar que la d.d.p. depende de la f.e.m. (E) de la pila, del área total de las placas (A), del área de las placas sumergidas (A'), de la separación entre las placas (d) y de las constantes dieléctricas del vacío (ϵ_0) y del líquido (ϵ_l).

b.2) También se puede decir que la diferencia de potencial ($V_a - V_b$) es función de la carga de las placas, de la capacidad del condensador no sumergido (dieléctrico=aire) y de la capacidad del condensador sumergido (dieléctrico=líquido).

Al sumergirse el condensador, aumenta su capacidad y disminuye la d.d.p entre las placas. Cuanto mayor sea la constante dieléctrica del líquido, mayor será la capacidad. En la situación 1, se tienen dos condensadores en paralelo y por lo tanto la capacidad total será la suma de las capacidades individuales. En la situación 2, se tienen dos condensadores en serie; con lo cual, la inversa de la capacidad total será la suma de las inversas de las capacidades de los dos condensadores individuales,

uno en el aire y otro en el líquido. En consecuencia, en la situación 1 la capacidad total es mayor que en la situación 2.

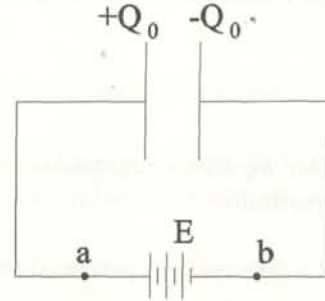
Por su parte, la d.d.p. entre las placas disminuye a medida que las introducimos en el líquido. Esta disminución es mayor al sumergirlas según la forma 1 que según la 2.

c) Estrategias a seguir para resolver el problema

I) Estrategia 1:

1) Calcular la carga Q_0 de cada placa, conociendo la d.d.p en la fuente de alimentación y la capacidad del condensador sin dieléctrico.

$$Q_0 = (V_a - V_b) \cdot C_0$$



2) Hallar la capacidad total del condensador sumergido en las situaciones 1 (paralelo) y 2 (serie).

2') En la primera, la capacidad total C_T es la equivalente a la asociación de dos condensadores en paralelo de área de placas $A/2$, separadas una distancia d y con medios uno el vacío ϵ_0 y otro el líquido ϵ . La capacidad total es la suma de las capacidades de cada condensador.

2'') En la segunda situación, la capacidad total, es la equivalente a la asociación de dos condensadores en serie de áreas de placas A , separadas $d/2$ y con medios, uno el vacío ϵ_0 y otro el líquido ϵ . La inversa de la capacidad total es la suma de las inversas de las capacidades de cada condensador.

En las dos situaciones, la capacidad de un condensador plano es igual a:

$$C = A \cdot \epsilon / d$$

3) Establecer la relación entre la carga y la capacidad equivalente en cada situación.

II) Estrategia 2:

A) Situación 1:

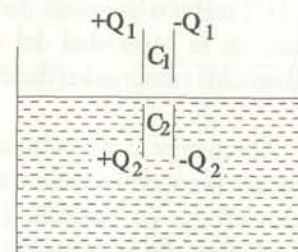
1') Calcular la carga Q_0 de cada placa, a partir de la d.d.p en la fuente de alimentación y la capacidad del condensador sin dieléctrico.

$$Q_0 = (V_a - V_b) \cdot C_0$$

2') Calcular la carga en cada parte de las placas del condensador, la sumergida en el líquido y la que queda en el aire.

$$Q_0 = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 / C_1 = Q_2 / C_2$$



3') Establecer la relación entre la carga y la capacidad en una de las mitades del condensador.

B) Situación 2:

1'') Calcular la carga Q_0 de cada placa, a partir de la d.d.p en la fuente de alimentación y la capacidad del condensador sin dieléctrico.

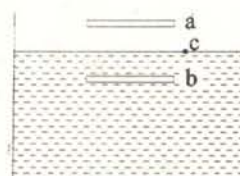
$$Q_0 = (V_a - V_b) \cdot C_0$$

2'') Calcular la diferencia de potencial entre una de las placas y el comienzo del líquido ($V_a - V_c$).

3'') Calcular la diferencia de potencial entre el comienzo del líquido y la otra placa ($V_c - V_b$)

4'') Sumar las dos diferencias de potenciales anteriores:

$$(V_a - V_b) = (V_a - V_c) + (V_c - V_b)$$



d) Resolución del problema y análisis de los resultados:

Estrategia 1:

$$1) \quad C_0 = A \cdot \epsilon_0 / d \quad ; \quad C_0 = Q_0 / (V_a - V_b) \quad ; \quad (V_a - V_b)_{\text{inicial}} = Q_0 / C_0$$

$$Q = C_0 \cdot (V_a - V_b)_{\text{inicial}} = A \cdot \epsilon_0 / d \cdot (V_a - V_b)_{\text{inicial}}$$

2') Situación 1:

$$C_1 = \frac{A \cdot \epsilon_0}{d} \quad C_2 = \frac{A \cdot \epsilon_l}{d}$$

$$C_T = C_1 + C_2 = \frac{A \cdot \epsilon_0}{d} + \frac{A \cdot \epsilon_l}{d} = \frac{A}{2 \cdot d} \cdot (\epsilon_0 + \epsilon_l)$$

$$\text{Como } \epsilon_l = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \text{ entonces: } C_T = \frac{A \cdot \epsilon_0}{2 \cdot d} \cdot (1 + \epsilon_r) = \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot (1 + \epsilon_r)$$

$$3') \quad V_a - V_b = \frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_0 \cdot \frac{1 + \epsilon_r}{2}} = \frac{(V_a - V_b)_{\text{inicial}}}{\frac{1 + \epsilon_r}{2}}$$

- Por tanto:
- la capacidad aumenta un valor igual a: $(1 + \epsilon_r)/2$.
 - La d.d.p. disminuye un valor igual a: $(1 + \epsilon_r)/2$.

2'') Situación 2:

$$C_1 = \frac{A \cdot \epsilon_0}{d} \quad C_2 = \frac{A \cdot \epsilon_l}{d}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} \cdot \frac{1}{C_2} = \frac{\frac{d}{2}}{A \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{\frac{d}{2}}{A \cdot \epsilon_1} = \frac{d}{2A} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \right) = \frac{d}{2A \cdot \epsilon_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{\epsilon_r} \right)$$

$$C_T = \frac{2A \cdot \epsilon_0}{d} \cdot \frac{\epsilon_r}{1 + \epsilon_r} = C_0 \cdot \frac{2 \cdot \epsilon_r}{1 + \epsilon_r}$$

$$3) \quad V_a - V_b = \frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_0} \cdot \frac{(V_a - V_b)_{inicial}}{\frac{2 \cdot \epsilon_r}{1 + \epsilon_r}}$$

Por tanto: - la capacidad aumenta un valor igual a: $2 \cdot \epsilon_r / (1 + \epsilon_r)$.
 - La d.d.p. disminuye un valor igual a: $2 \cdot \epsilon_r / (1 + \epsilon_r)$.

Estrategia 2:

A) Situación 1:

$$1') C_0 = A \cdot \epsilon_0 / d \quad ; \quad C_0 = Q_0 / (V_a - V_b) \quad ; \quad (V_a - V_b)_{inicial} = Q_0 / C_0$$

$$Q = C_0 \cdot (V_a - V_b)_{inicial} = A \cdot \epsilon_0 / d \cdot (V_a - V_b)_{inicial}$$

$$C_1 = \frac{A \cdot \epsilon_0}{d} \quad C_1 = \frac{A \cdot \epsilon_1}{d}$$

$$2') Q_0 = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 / C_1 = Q_2 / C_2 \quad ; \quad Q_1 = (C_1 / C_2) \cdot Q_2 = (\epsilon_0 / \epsilon_1) \cdot Q_2$$

$$Q_0 = (\epsilon_0 / \epsilon_1) \cdot Q_2 + Q_2 \quad ; \quad Q_2 = Q_0 \cdot \epsilon_1 / (\epsilon_0 + \epsilon_1)$$

$$Q_0 = Q_1 + (\epsilon_1 / \epsilon_0) \cdot Q_1 \quad ; \quad Q_1 = Q_0 \cdot \epsilon_0 / (\epsilon_0 + \epsilon_1)$$

$$3') \quad V_a - V_b = \frac{Q_1}{C_1} = Q_0 \cdot \frac{\frac{\epsilon_0}{\epsilon_0 + \epsilon_1}}{\frac{A \cdot \epsilon_0}{d}} = \frac{Q_0}{C_0} \cdot \frac{2 \cdot \epsilon_0}{\epsilon_0 + \epsilon_1} \cdot \frac{(V_a - V_b)_{inicial}}{\frac{1 + \epsilon_r}{2}}$$

Por tanto: - la capacidad aumenta un valor igual a: $(1 + \epsilon_r) / 2$.
 - La d.d.p. disminuye un valor igual a: $(1 + \epsilon_r) / 2$.

B) Situación 2:

1'') Igual que antes.

$$2'') \quad (V_a - V_b) = \frac{Q_0}{C_1} = \frac{Q_0}{\frac{A \cdot \epsilon_0}{d}} = \frac{Q_0 \cdot d}{2A \cdot \epsilon_0}$$

$$3''') \quad (V_c - V_d) = \frac{Q_0}{C_2} = \frac{Q_0}{\frac{A \cdot \epsilon_1}{\frac{d}{2}}} = \frac{Q_0 \cdot d}{2A \cdot \epsilon_1}$$

$$4''') \quad (V_a - V_b) = \frac{Q_0 \cdot d}{2A \cdot \epsilon_0} + \frac{Q_0 \cdot d}{2A \cdot \epsilon_1} = \frac{Q_0 \cdot d}{2A} \left(\frac{1}{\epsilon_0} + \frac{1}{\epsilon_1} \right) = \frac{Q_0}{A \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{\epsilon_0}{2} \left(\frac{1}{\epsilon_0} + \frac{1}{\epsilon_1} \right) = \frac{Q_0}{2C_0} \left(1 + \frac{\epsilon_0}{\epsilon_1} \right)$$

$$(V_a - V_b) = \frac{(V_a - V_b)_{\text{vac}}}{\frac{2 \cdot \epsilon_1}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0}} = \frac{(V_a - V_b)_{\text{vac}}}{1 + \epsilon_r}$$

- Por tanto:
- la capacidad aumenta un valor igual a: $2 \cdot \epsilon_r / (1 + \epsilon_r)$.
 - La d.d.p. disminuye un valor igual a: $2 \cdot \epsilon_r / (1 + \epsilon_r)$.

Análisis de los resultados:

Se confirman parcialmente las hipótesis en su totalidad. La d.d.p. del condensador sumergido depende de la d.d.p. entre los bornes de la fuente de alimentación (aproximadamente igual a la f.e.m.), de la relación entre el área total y el sumergido (correspondiente al 2 del resultado obtenido) y de la relación entre la constante dieléctrica del líquido y la del vacío. Por tanto, no depende de la separación entre las placas ni del área de las placas.

e) Caso particular:

- Nos dan los siguientes datos:
- $(V_a - V_b) = E = 30 \text{ V.}$
 - $A = 0,02 \text{ m}^2.$
 - $d = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$
 - $\epsilon_r = 2.$

Situación 1:

$$(V_a - V_b) = \frac{(V_a - V_b)_{\text{vac}}}{\frac{1 + \epsilon_r}{2}} = \frac{30}{\frac{1+2}{2}} = \frac{60}{3} = 20 \text{ V}$$

Situación 2:

$$(V_a - V_b) = \frac{(V_a - V_b)_{\text{vac}}}{\frac{2 \cdot \epsilon_r}{1 + \epsilon_r}} = \frac{30}{\frac{2 \cdot 2}{1+2}} = \frac{90}{4} = 22,5 \text{ V}$$

A.63 Los alumnos, en grupo de cuatro personas, elaboran el o los mapas conceptuales que estimen conveniente con los conceptos introducidos en esta unidad didáctica. Después, en gran grupo, se comentarán todos los mapas elaborados.

V.2.1 UNIDAD DIDÁCTICA 2: LA ELECTROKINÉTICA.

En la unidad didáctica anterior estudiamos las interacciones existentes entre cargas aisladas y en reposo. Pero en la mayoría de los fenómenos eléctricos que se producen diariamente existe corriente eléctrica; es decir, por los hilos conductores circulan cargas eléctricas o electrones libres.

En algunos fenómenos analizados en la unidad anterior se producían movimientos de cargas de forma transitoria que cesaban tan pronto era compensado el campo eléctrico aplicado. Sin embargo, en ninguno de ellos el flujo de cargas se mantenía de forma duradera. En esta unidad didáctica, que desarrollamos a continuación, estudiamos cómo conseguir una corriente eléctrica permanente (que no cambie con el tiempo), así como los efectos que produce.

CORRIENTE CONTINUA

El índice de la unidad didáctica es el siguiente:

1. CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITO ELÉCTRICO.
 - 1.1 Producción de corriente eléctrica. Generadores.
 - 1.2 Intensidad de corriente.
 - 1.3 Densidad de corriente.
 - 1.4 Circuito eléctrico.

2. RELACIÓN ENTRE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL Y LA INTENSIDAD DE CORRIENTE. LEY DE OHM.
 - 2.1 Medida de la diferencia de potencial y de la intensidad de corriente.
 - 2.2 Resistencia eléctrica. Ley de Ohm.

3. ASOCIACIÓN DE RESISTENCIAS. SU MEDIDA.
 - 3.1 Asociación de resistencias.
 - 3.2 Medida de una resistencia.

4. ASPECTOS ENERGÉTICOS EN LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS.
 - 4.1 Efecto calorífico de la corriente eléctrica. Ley de Joule.
 - 4.2 Ley de ohm generalizada.
 - 4.3 Medida de las características de un generador y un motor.
 - 4.4 Reglas de Kirchoff.

5. EFECTOS QUÍMICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA.

- 5.1 Conductividad de una disolución.
- 5.2 Electrólisis.

6. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UNA REACCIÓN QUÍMICA.

1. CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITO ELÉCTRICO.

Antes de acabar el siglo XVIII se sabía poco acerca de la corriente eléctrica porque no se encontraban procedimientos para mantener un flujo de corriente permanente. Sin embargo, el invento de la pila voltaica por Alessandro Volta en 1800 abrió un nuevo campo de investigación que condujo a algunos de los logros más importantes de la física del siglo XIX.

A.1 Describir de forma cualitativa en qué consiste la corriente eléctrica. Indicar ejemplos analizados en la unidad anterior donde exista corriente eléctrica y describir otros más apropiados.

1.1 Producción de corriente eléctrica. Generadores.

A.2 Indicar en qué casos, al unir las esferas metálicas (todas iguales, excepto la última) con un conductor circulará corriente, así como el sentido en que se moverán los electrones. Supondremos $|Q_1| > |Q_2|$ y $Q_3 = 0$.

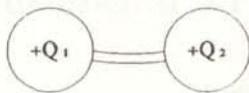


fig 1

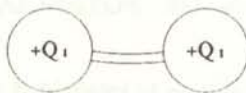


fig 2

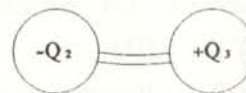


fig 3

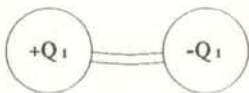


fig 4

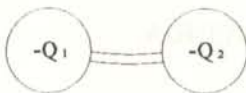


fig 5

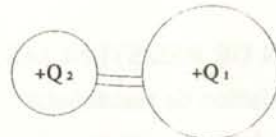
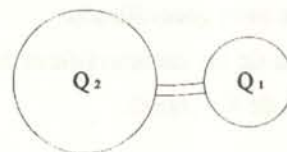


fig 6

¿Hasta cuando circulará la carga por el hilo conductor?.

Como hemos visto en un montaje como el esquematizado, la corriente cesará muy rápidamente, en cuanto se igualen en los extremos. Pero, ¿cómo evitar esto?.



A.3 ¿Cómo podría conseguirse que la corriente siga circulando por el conductor?. ¿Cómo llamaríais al dispositivo anterior?. ¿Cómo se denomina generalmente?.

1.2 Intensidad de corriente.

A.4 Introducir una magnitud adecuada para medir la **intensidad de corriente eléctrica** que atraviesa un conductor. Dar una definición operativa.

Definir la unidad correspondiente en el S. I. y llamarla **amperio (A)**.

A.5 Indicar si el movimiento de las partículas libres en el vacío es igual al de los electrones libres en el interior de un conductor.

Si consideramos que estos se mueven con una velocidad constante, dar una expresión que relacione, para un conductor metálico fijo, la intensidad de corriente con esta velocidad y el número de electrones libres por unidad de volumen que posee el conductor.

1.3 Densidad de corriente.

Además de hablar de intensidad de corriente, también se utiliza una magnitud de naturaleza vectorial llamada densidad de corriente.

A.6 Definir densidad de corriente. Comparar su sentido con el de la velocidad de los electrones y con el campo eléctrico.

1.4 Circuito eléctrico.

A.7 Calcular la intensidad de corriente que circula por un circuito si en media hora han pasado 36 C a través de una sección de un mm^2 . Considerando que las partículas libres se mueven con una velocidad de 0,01 cm/s, ¿cuál es el número de estas por unidad de volumen?. ¿Cuál es la densidad de corriente en el circuito?.

A.8 ¿Existe diferencia de potencial (d.d.p.) e intensidad de corriente en una linterna apagada?. ¿Y en una pila de petaca donde se han conectado sus bornes?. Representar gráficamente el **circuito eléctrico** mas sencillo. Explicar la función que desempeña cada componente.

A.9 Representar gráficamente dos circuitos sencillos, uno hidráulico y otro mecánico. Identificar sus diferentes partes. Establecer las semejanzas y diferencias existentes entre estos y el eléctrico de la **A.8**.

A.10 Enumerar los **generadores eléctricos** que conozcáis. Clasificarlos atendiendo a su funcionamiento.

2. RELACIÓN ENTRE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL Y LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA. LEY DE OHM.

El aparato empleado para medir la intensidad de corriente eléctrica se llama **amperímetro** y el que mide la diferencia de potencial (d. d. p.) entre dos puntos de un circuito se llama **voltímetro**.

2.1 Medida de la diferencia de potencial y de la intensidad de corriente.

A.11 Informaros sobre el funcionamiento y manejo de amperímetros y voltímetros.

A.12 ¿Qué quiere decir que entre los bornes de una pila existe una d.d.p. de 4,5 V?. Coger una pila y medir la d. d. p. existente entre sus bornes. Coger dos pilas iguales y asociarlas de todas las formas posibles. ¿Qué d. d. p. existirá entre los bornes de las asociaciones?.

Si una pila se representa por el símbolo de la figura adjunta, dibuja esquemáticamente las asociaciones anteriores.



Aun antes de 1800, cuando las pilas voltaicas ya estuvieron a disposición, ya se sabía que algunos metales eran mejores conductores de la corriente eléctrica que otros; es decir, que algunos materiales podían transportar más corriente que otros cuando se conectaban a través de la misma d.d.p. muestras de la misma forma y tamaño. Cavendish, hombre valeroso, había realizado ya comparaciones toscas y dolorosas. Conectó cables de materiales diferentes a condensadores cargados y luego los descargó mediante alambres a través de su propio cuerpo, tocando sus extremos. ¡Comparó así las intensidades de las corrientes de las descargas que recibía! (Hoy en día poseemos métodos mejores).

A.13 En la figura se representan dos circuitos formados por una pila eléctrica, dos bombillas iguales y cables de conexión de resistencia nula.

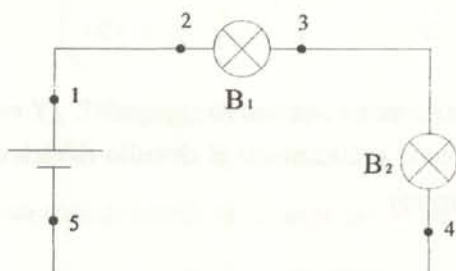


fig 1

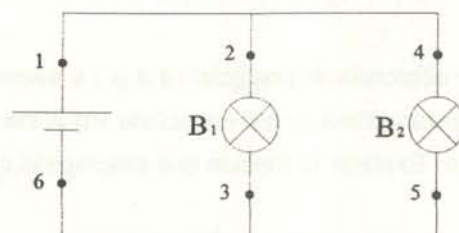


fig 2

- ¿En qué puntos la intensidad es mayor?. ¿En cuáles es menor?. Y, ¿en cuáles son iguales?.
- ¿Por qué las bombillas de un circuito brillan más que las del otro?.
- ¿Por qué si aflojamos la bombilla B_1 en uno de los circuitos se apaga la B_2 y en el otro no?.

d) ¿Entre qué dos puntos contiguos la d.d.p. es mayor que cero?. ¿Entre cuáles es menor que cero?. Y, ¿entre cuáles es igual a cero?.

A.14 Considerar el circuito eléctrico más sencillo y emitir hipótesis razonadas de los factores que pueden influir en la intensidad de corriente. Precisar las hipótesis indicando la forma de la dependencia.

A.15 Diseñar un montaje experimental para establecer la relación que deben guardar la intensidad con los factores de que dependen.

A.16 Realizar las experiencias e interpretar los resultados.

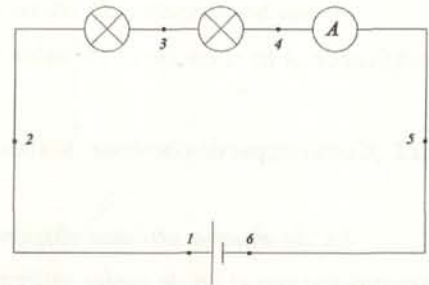
A.17 Dibujar las partes más importantes de una bombilla.

En el circuito de la figura las bombillas son iguales.

Si la intensidad que marca el amperímetro es de 2A, ¿Cuál es el valor de la intensidad en los puntos señalados?. Medirlas.

Si la d.d.p. entre 2 y 3 es de 8V, ¿qué d.d.p. existirá entre 1-2, 3-4, 2-4, 4-5, 5-6 y 1-6. Medirlas.

Representar en un gráfico ($\Delta V, I$) las curvas que indican los diferentes valores de la d. d. p. entre cada uno de los pares de puntos anteriores con la intensidad que circula por el circuito. Interpretar los resultados.



2.2 Resistencia eléctrica. Ley de Ohm.

Hemos visto que elementos como bombillas, amperímetros, cables, etc. instalados en circuitos provocan una caída de potencial entre sus extremos y esta es tanto mayor cuanto mayor es la intensidad que circula por ellos. Pero ¿existirá alguna relación de proporcionalidad?.

A.18 Encontrar la relación matemática entre la intensidad que atraviesa un elemento resistor de un circuito eléctrico y la d. d. p. que provoca este elemento entre sus extremos. ¿Cuál es su significado físico?.

*A la relación anterior, hallada en 1827 por el físico alemán Georg Simon Ohm (1787-1854) se la llama **resistencia eléctrica**. Su unidad en el S. I. es el **óhmio** (Ω).*

A.19 Definir la magnitud **resistencia eléctrica**. Dar la definición de **óhmio**.

Interpretar lo que quiere decir que un conductor tenga una resistencia de 500 Ω .

Se ha establecido que V/I tiene el significado físico de resistencia. Esta resistencia incluye todas las características del conductor ya enumeradas a título de hipótesis en la A.14. Ahora nos interesa averiguar el tipo de dependencia que presenta la resistencia con dichas características.

A.20 Indicar de qué factores depende la resistencia de un conductor. Escribir la expresión matemática que relaciona los factores anteriores con la resistencia.

*A la constante de proporcionalidad que interviene en la expresión matemática que acabáis de "descubrir" se la llama **resistividad** (ρ) o bien **conductividad** (σ).*

A.21 Explicar su significado y cuándo debe llamarse de una u otra forma.

Indicar cuáles son sus unidades en el S.I.

*En muchos circuitos eléctricos se requieren resistencias cuyo valor sea variable y fácilmente modificable. A la resistencia variable se la llama **reostato**.*

A.22 ¿Cómo se puede construir un reostato?.

*Es de mucha utilidad disponer de d. d. p. s. diferentes a la que suministra la fuente de alimentación con el fin de poder utilizar aparatos con tensiones de funcionamiento distintas a la que proporciona la batería. Esto se consigue utilizando **divisores de tensión**.*

Un reostato puede montarse en un circuito de forma que opere como divisor de tensiones y, con ello, lograr la tensión de utilización deseada.

Así mismo un reostato puede montarse en un circuito para variar la intensidad que pasa a través del mismo y como consecuencia la d. d. p. entre dos puntos.

A.23 Encontrar las dos formas anteriores de conectar un reostato a un circuito: como divisor de tensión y de modo que permita variar la intensidad y la d. d. p. entre dos puntos del mismo.

Hemos visto que la resistencia eléctrica de un conductor metálico no depende de la d. d. p. aplicada al mismo ni de la intensidad de corriente que pasa por él. Así mismo hemos averiguado que la resistencia eléctrica de un conductor depende de su longitud, su sección y su naturaleza o constitución.

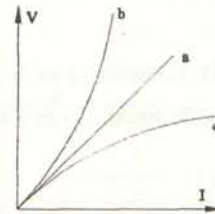
*Para la mayor parte de los conductores R es constante, y por lo tanto ρ ; sin embargo existen otros en los que su resistencia varía con la intensidad. A los primeros les llamaremos **conductores óhmicos o lineales** y a los segundos **no óhmicos o no lineales** ya que no obedecen a la ley de ohm. Por*

lo tanto dicha ley es una ley particular ya que expresa una propiedad de algunos materiales, pero no una propiedad general de la materia.

Los metales, que son los conductores más utilizados se consideran óhmicos; sin embargo, la mayoría de los agentes físicos alteran, en mayor o menor proporción, su resistividad. Así, la temperatura influye bastante en la resistencia específica o resistividad de un conductor. Se ha comprobado que para temperaturas no muy elevadas $\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$, es decir que la resistividad es una función lineal de la temperatura; α es el coeficiente térmico de la resistividad y sus dimensiones son de grado⁻¹.

En otras sustancias, como el bismuto la resistencia específica aumenta cuando la sustancia se encuentra en un campo magnético, o como en el selenio disminuye bastante cuando en el conductor se ilumina fuertemente; en este último caso se saca partido de esta propiedad en ciertas células fotoeléctricas llamadas fotoconductoras.

A.24 ¿Qué puede decirse de la resistencia de los tres conductores a, b, y c representados en la gráfica adjunta?



A.25 Planificar una experiencia en donde se demuestre la dependencia de la resistencia de un conductor metálico con la temperatura.

¿Qué quiere decir que α sea negativo?.

Indicar una utilidad práctica de la propiedad que tienen las sustancias de variar su resistencia conforme cambia la temperatura.

Interpretar la propiedad anterior según la teoría acerca de la conducción metálica.

3. ASOCIACIÓN Y MEDIDA DE RESISTENCIAS.

3.1 Asociación de resistencias.

Debido a que en los circuitos normalmente existe más de una resistencia, se plantea el problema de conocer el valor de la resistencia equivalente a todas ellas.

A.26 Dibujar las distintas formas posibles de conectar tres resistencias. Indicar en cuál de ellas las resistencias están en serie y en cuál están en paralelo.

Dar una definición que indique cuándo un conjunto de resistencias se encuentra en serie y cuando en paralelo.

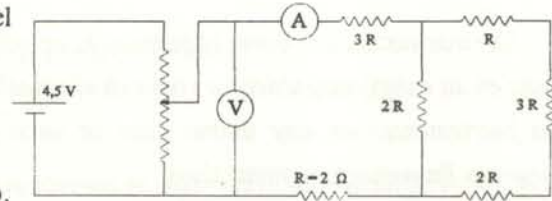
A.27 Obtener teóricamente la resistencia equivalente de una asociación de tres resistencias conectadas en serie. Comprobarlo mediante un experimento.

A.28 Obtener teóricamente la resistencia equivalente de tres resistencias conectadas en paralelo. Comprobarlo mediante un experimento.

A.29 Obtener teóricamente la resistencia equivalente a dos conectadas en paralelo y una en serie. Comprobarlo mediante un experimento.

A.30 Dado el circuito de la figura y sabiendo que el voltímetro marca 3V. Determinar:

- a) La resistencia equivalente.
- b) La intensidad que marca el amperímetro.



A.31 Calcular la resistencia o la capacidad equivalente entre los terminales A y B de las figuras siguientes, en donde todas las resistencias y capacidades son iguales.

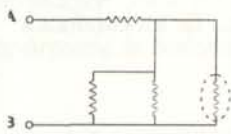


fig 1

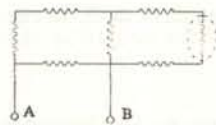


fig 2

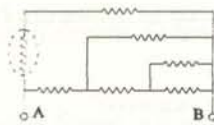


fig 3

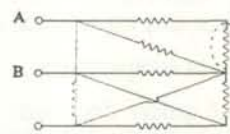


fig 4

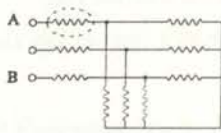


fig 5

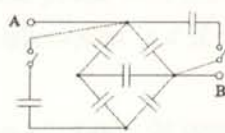


fig 6

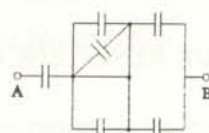


fig 7

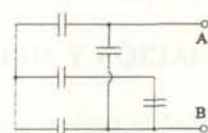


fig 8

3.2 Medida de una resistencia.

Para determinar la resistencia de un conductor puede utilizarse la ley de ohm, en la cual, midiendo la intensidad que pasa a través de la resistencia y la d. d. p. entre sus extremos, podemos deducir el valor de R.

Sin embargo es mas preciso y frecuente recurrir al puente de Wheatstone o alguna de sus variantes. Este dispositivo requiere el uso de otras tres resistencias conocidas y un amperímetro muy sensible o galvanómetro.

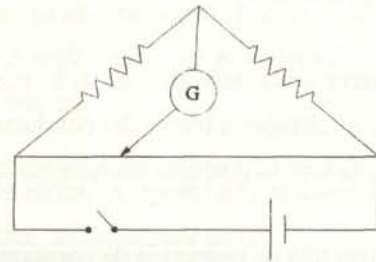
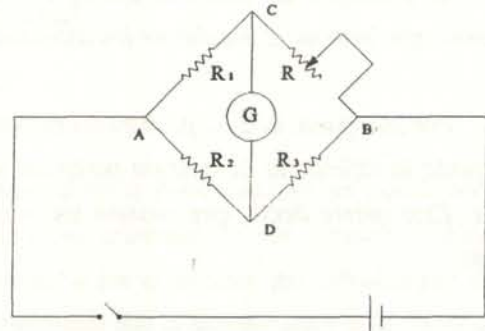
A.32 ¿Se puede conseguir en el puente de Wheatstone de la figura que por el galvanómetro no pase corriente?.

Hallar una expresión que relacione entre sí a las cuatro resistencias; para ello, calcular la d.d.p. entre los puntos AC, AD, DB y CD cuando no circula intensidad por el galvanómetro.

¿Por qué es mas preciso medir el valor de una resistencia utilizando el puente de Wheatstone que empleando la ley de ohm?.

Obtener experimentalmente el valor de una resistencia desconocida.

A.33 (Opcional) Encontrar el valor de una resistencia desconocida utilizando el puente de hilo.



A.34 Indicar si en los circuitos de las figuras el amperímetro detecta intensidad y el voltímetro d.d.p.:

- a) Cuando el interruptor esta abierto.
- b) Cuando el interruptor esta cerrado.

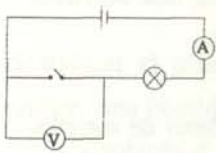


fig 1

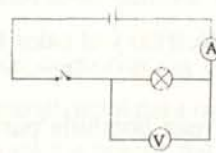


fig 2

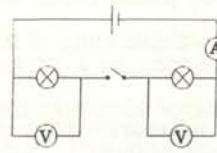


fig 3

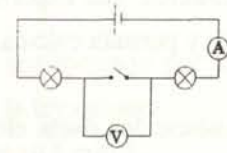


fig 4

4. ASPECTOS ENERGÉTICOS EN LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

A.35 Qué quiere decir la frase: "se han gastado las pilas del transistor".

¿Se "gastan" las baterías de los coches?.

Cuando conectáis una estufa a un enchufe de la casa casi siempre funciona. ¿Qué hay en el enchufe?. ¿Nunca se "gasta"?. ¿Cuándo dejaría de calentar la estufa?.

4.1 Efecto calorífico de la corriente eléctrica. Ley de Joule.

El principio de conservación de la energía posee una validez general. Por ello también podremos aplicarlo en el estudio de los aspectos energéticos de la corriente eléctrica.

Por otra parte, la d. d. p. entre los extremos de un conductor, por el que circula una corriente, representa la diferencia de energía potencial que tiene la unidad de carga positiva entre esos dos puntos. Esto quiere decir, que cuando las cargas se desplazan a través de un conductor pierden energía.

A.36 ¿Qué creéis que ha pasado con esta energía perdida?.

Explicar este efecto, llamado efecto Joule, atendiendo al modelo elaborado acerca de la conducción metálica.

A.37 A partir de la definición de d. d. p. deducir la expresión del trabajo eléctrico realizado por una corriente, al circular a través del conductor de resistencia R , una intensidad I , durante un tiempo t .

Calcular la potencia transformada en un elemento de un circuito eléctrico.

A.38 Con un hilo de resistencia de constantan u otro material se quiere construir un cazo eléctrico que caliente agua hasta la ebullición. ¿Qué longitud de hilo habrá que arrollar?.

A.39 Calcular la potencia que consumen todas las resistencias de cada uno de los circuitos de la **A.31** si la que está rodeada en un círculo consume una potencia P .

A.40 Diseñar una experiencia que pueda medir el efecto térmico desarrollado por una corriente eléctrica y permita calcular el equivalente entre el trabajo eléctrico y el calor liberado.

A.41 Indicar los datos eléctricos necesarios para comprar una bombilla para un flexo de estudio. Interpretar su significado y hallar la característica eléctrica invariante de la bombilla. ¿Se puede conectar una bombilla de (220V, 100W) a un enchufe de 125V?. ¿Y a uno de 380V?. ¿Existe d.d.p., corriente eléctrica, resistencia y potencia cuando está apagada?. ¿Y cuando está encendida?.

A.42 ¿Qué intensidad atraviesa el filamento de una bombilla (125V, 100w) conectada a una batería de 125V?. ¿Qué resistencia tiene, en este caso el filamento?.

Si conectamos la bombilla anterior a una batería de 220V, ¿qué ocurre?. ¿Cómo podemos evitarlo?.

Si conectamos la bombilla anterior a una batería de 80V, ¿qué resistencia tiene?. ¿Cuál es su gasto si ha estado encendida cinco horas?. Iberduero cobra el Kwh a 16 pts.

A.43 Indicar las formas de energía que pueden obtenerse a partir de la corriente eléctrica.

A.44 Para mantener caliente durante el invierno la sala de estar de vuestra casa os habéis propuesto comprar una estufa eléctrica. ¿De qué características la pediréis?

4.2 Ley generalizada de Ohm.

Hemos visto que para que aparezca una corriente eléctrica persistente en un conductor, necesitamos un dispositivo que mantenga una d.d.p. entre los extremos de ese conductor. Este dispositivo, llamado generador, proporciona energía potencial a los electrones que circulan por el conductor. ¿De dónde toma esta energía el generador?. ¿Consideráis que el nombre dado a la "bomba de electrones" es el adecuado?.

Las características invariantes de un generador son su fuerza electromotriz (f. e. m.) E y su resistencia interna r . La f. e. m. de un generador es la energía transformada por el generador para hacer circular la unidad de carga eléctrica por el circuito que alimenta.

Todo generador por bueno que sea, como todo elemento eléctrico, opone una resistencia al paso de la corriente; en esta resistencia interna, igual que en todas, se desprende calor.

A.45 Sea un generador de características (E , r). Se pide:

- ¿Cuál es la unidad de E ?
- ¿Cuál es su potencia?
- ¿Qué energía proporciona realmente al circuito?
- ¿Cuál es su rendimiento?

A.46 Aplicar el principio de conservación de la energía a un circuito eléctrico formado por un generador, una bombilla y una plancha para obtener una expresión semejante a la ley de ohm.

Calcular la d.d.p. entre los bornes del generador. ¿Cuándo coincide con su f.e.m.?

A.47 ¿Cómo habrán de conectarse dos bombillas iguales a un generador para que, junto con una resistencia, luzcan normalmente y de la forma más económica?

A.48 Para medir la intensidad que circula por el circuito de la actividad anterior así como la d. d. p. entre los extremos de la plancha se instalan en el circuito un amperímetro y un voltímetro. ¿Miden estos aparatos los valores reales de esas magnitudes?. ¿Cuál es el error?.

En la mayoría de los aparatos eléctricos que funcionan con pilas se utilizan normalmente varias combinadas de forma diversa. Nos interesa, por tanto, saber las ventajas e inconvenientes que presentan los diferentes modos de asociación.

A.49 ¿Con qué finalidad se conectan las pilas en serie?. ¿Y en paralelo?.

¿Qué intensidad circula por un circuito formado por tres pilas de 4,5 V asociadas en paralelo y una resistencia de 50 Ω ?. ¿Qué d.d.p. existe entre bornes de las pilas?.

¿Qué intensidad circula si en el circuito anterior las pilas están asociadas en serie?. ¿Qué d.d.p. existirá entre sus bornes?.

¿Qué intensidad circula en el circuito anterior si sólo se conecta una pila?. ¿Qué d.d.p. existirá entre sus bornes?.

Comprobar los resultados anteriores experimentalmente.

Al dispositivo que transforma la energía eléctrica en mecánica se llama motor eléctrico. Sus características -al igual que en un generador- son la f.e.m., llamada en este caso fuerza contraelectromotriz (f. c. e. m.) y su resistencia interna. Ambas se definen de modo análogo. La diferencia reside en que un motor consume energía eléctrica en lugar de proporcionarla.

A.50 Obtener una expresión semejante a la ley de ohm en un circuito formado por un generador, un motor, una bombilla y un secador de pelo.

Calcular la d. d. p. entre los bornes del motor, así como su rendimiento.

Calcular el rendimiento del circuito.

A.51 Calcular la d.d.p. entre los puntos a y b de los circuitos de las figuras siguientes:

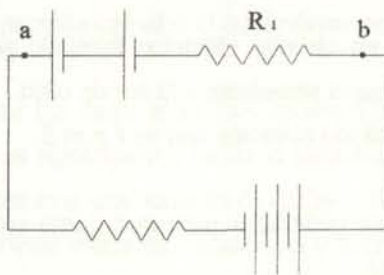


fig 1

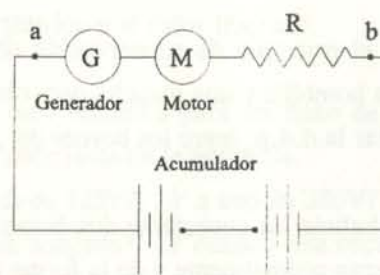


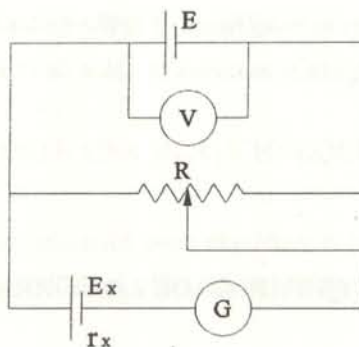
fig 2

A.52 Una dinamo acciona dos motores de una fábrica situados en extremos opuestos. ¿Cuál es la potencia de los motores y el rendimiento de la instalación?.

A.53 ¿Qué condiciones deben reunir dos pilas de características diferentes para que al conectarlas entre sí la d.d.p. entre bornes de una de ellas sea nula?.

4.3 Medida de las características de un generador y un motor.

Ya sabéis medir intensidades, tensiones y resistencias; pero, ¿cómo medir las características de un generador o motor?. Una de las formas es utilizando el montaje de la figura adjunta que representa el fundamento del potenciómetro.



A.54 ¿Cómo se puede conocer el valor de E_x ?
¿Cómo se puede medir el valor de r_x ?

4.4 Reglas de Kirchhoff.

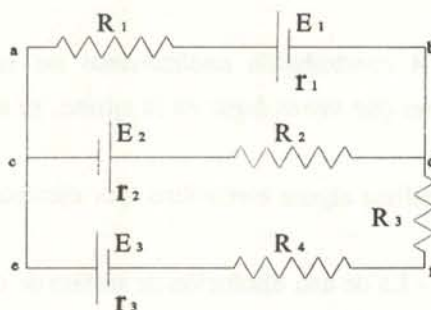
A todo sistema de conductores que forman un circuito cerrado se denomina red. No todas las redes pueden reducirse a combinaciones sencillas en serie y en paralelo. Ejemplo de ello lo tenemos en circuitos complejos como el que se presenta a continuación. En estos casos la red está compuesta de mallas o circuitos cerrados elementales. Para calcular las intensidades en cada conductor no se requieren nuevos principios, pero existen varias técnicas que permiten resolver de modo sistemático tales problemas. Una de ellas es la desarrollada por Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) que está basada en dos reglas, cuyos enunciados son los siguientes:

Regla de los nudos: "La suma algebraica de las intensidades que se dirigen hacia cualquier nudo -punto de la red donde se unen tres o más conductores- es cero" ($\sum I = 0$).

Regla de las mallas: "La suma algebraica de las f. e. m. s. en cualquier malla es igual a la suma algebraica de los productos $I \times R$ en la misma malla" ($\sum E = \sum I \times R$).

A.55 Interpretar el significado y considerar la importancia de las reglas de Kirchhoff para el cálculo de magnitudes eléctricas en redes de conductores.

Indicar los nudos y las mallas existentes en la red de la figura.

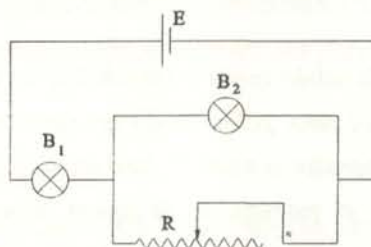


Calcular las intensidades que circulan por cada conductor, suponiendo que $E_1 = E_2 = E_3 = 10V$

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 5\Omega$ y $r_1 = r_2 = r_3 = 0,2\Omega$.

Hallar la d.d.p. entre los puntos c-d, a-b y e-f.

A.56 En cuanto se modificará el brillo de las bombillas B_1 y B_2 de la figura si aumenta el valor de la resistencia R del reostato.



5. EFECTOS QUÍMICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA.

5.1 Conductividad de disoluciones.

Ya hemos analizado la conductividad eléctrica de los sólidos. Ha llegado el momento de averiguar si los líquidos son buenos o malos conductores, qué condiciones benefician el movimiento de cargas, cuáles son estas, qué factores influyen en la resistencia de una disolución, etc.

A.57 Preparar tres o cuatro disoluciones y averiguar mediante algún experimento si son conductoras o no de la electricidad. Si lo son, emitir hipótesis de los factores que influyen en el valor de la resistencia eléctrica de una disolución. Comprobar si las hipótesis emitidas son ciertas. Interpretar y dar explicación a los resultados obtenidos. Formular la ley correspondiente.

5.2 Electrólisis.

Seguramente habréis observado en algunos experimentos anteriores que se producen reacciones químicas en el seno de la disolución.

*La conducción de una carga eléctrica a través de una solución electrolítica o de un compuesto iónico fundido, junto con los cambios químicos resultantes, recibe el nombre de **electrólisis**.*

A continuación analizaremos los componentes esenciales de una cuba electrolítica, las reacciones que tienen lugar en la misma, su utilidad, etc.

A.58 Realizar alguna electrólisis. por ejemplo:

- La de una disolución de sulfato de cobre con electrodos del mismo material.
- La del cloruro de sodio disuelto en agua.
- La del agua con electrodos de platino.

*La **galvanostegia** consiste en recubrir un objeto metálico de una capa de un metal mediante electrólisis de una sal de este último metal, utilizando como cátodo el objeto que se va a recubrir.*

A.59 Encobrar -o cuprificar- una placa de hierro utilizando medios eléctricos. Explicar las reacciones químicas que tienen lugar.

6. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UNA REACCIÓN QUÍMICA.

En la A.3 se vio la necesidad de utilizar un generador eléctrico para mantener el movimiento de cargas por un circuito. Un tipo de generador es la pila eléctrica, ya utilizada en muchos montajes. Pero, ¿cómo funciona una pila?

Las pilas eléctricas son dispositivos destinados a producir energía eléctrica, manteniendo una d. d. p. entre dos bornes; están fundadas en la d. d. p. que se originan entre los dos metales que constituyen los electrodos y los correspondientes líquidos en que van sumergidos cada uno de ellos. En el interior de la pila se producen reacciones espontáneas en donde uno de los reactivos pierde electrones y el otro los gana en igual número. Al separar estos reactivos en un ambiente conductor, la transferencia de electrones se producirá por medio de un circuito externo que conecta ambas sustancias. Esta transferencia de electrones continuará en tanto se disponga de reactivos.

A.60 Obtener con la ayuda de placas metálicas (cobre, zinc, hierro, plomo, . . .) y ácido sulfúrico diluido unas fuentes de tensión sencillas. Explicar los procesos químicos que tienen lugar.

A.61 Romper una pila seca. Identificar sus componentes más importantes y realizar un esquema. Explicar las reacciones químicas que tienen lugar.

Informaros sobre las pilas más corrientes, así como sus características.

A.62 Construir una pila húmeda sencilla. Explicar las reacciones que se producen.

A.63 Elaborar uno o varios mapas conceptuales sobre lo tratado en esta unidad didáctica.

INFORMACIÓN Y COMENTARIOS PARA EL PROFESOR

A.1 Con esta actividad se pretende que los alumnos expliciten sus ideas sobre lo que entienden por corriente eléctrica: qué es, cómo se produce, cómo se mide, de qué depende, cuáles son sus aplicaciones, etc. Además sirve para que los alumnos planteen los problemas a estudiar y para establecer el hilo conductor del tema.

Una corriente eléctrica es un chorro de partículas cargadas o iones. Los metales están constituidos por una red de iones positivos y por electrones libres que pueden moverse a través de esta red iónica. En los conductores metálicos, los portadores de carga eléctrica no son, necesariamente, los electrones. En las disoluciones conductoras, la corriente eléctrica se debe al movimiento tanto de iones positivos como de iones negativos. En la materia en estado de plasma, la conducción la realizarán los núcleos de los átomos con carga positiva y los electrones.

Los haces de partículas procedentes de los aceleradores representan una corriente eléctrica donde los portadores de carga son las respectivas partículas. En los gases, los portadores de carga son iones y electrones.

Como se puede observar la corriente eléctrica tiene sentidos opuestos dependiendo de las partículas o iones que se desplazan. Se necesita adoptar un convenio para asignar *el sentido de la corriente*; así pues, se ha tomado *el sentido de movimiento de las cargas positivas*, es decir, de los puntos de mayor a los de menor potencial.

Por consiguiente, el sentido de la corriente en un circuito eléctrico es, por convenio, el sentido contrario al del movimiento de los electrones.

A.2 Incluso después de haber tratado el tema anterior, aún algún alumno entiende que en los cuerpos cargados positivamente no hay electrones. Sin embargo, la mayoría identifican el movimiento de las cargas con la existencia de un campo eléctrico en el conductor, o dicho de otro modo, de una diferencia de potencial entre sus extremos.

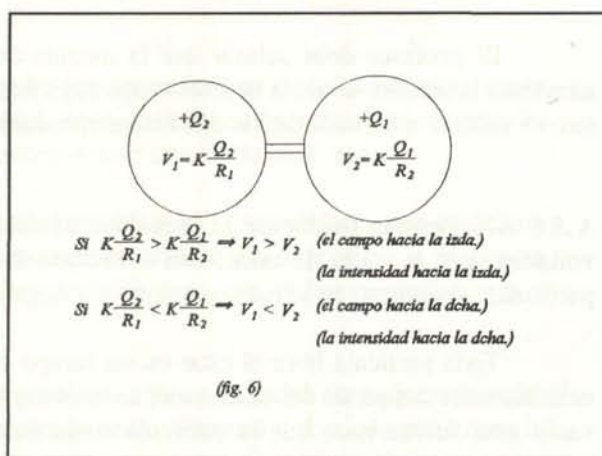
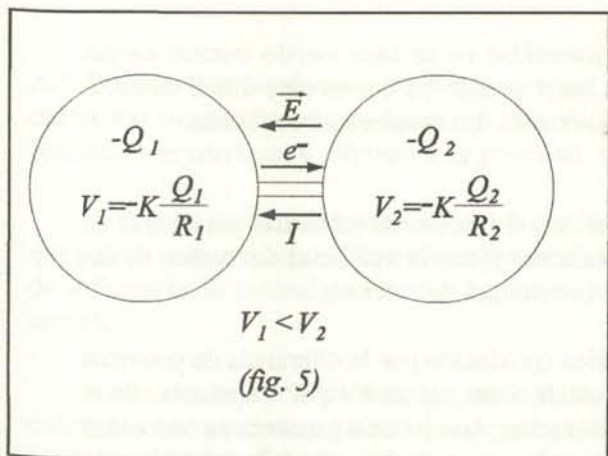
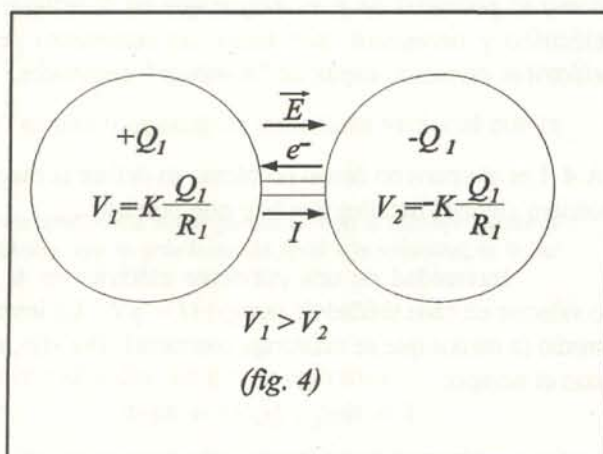
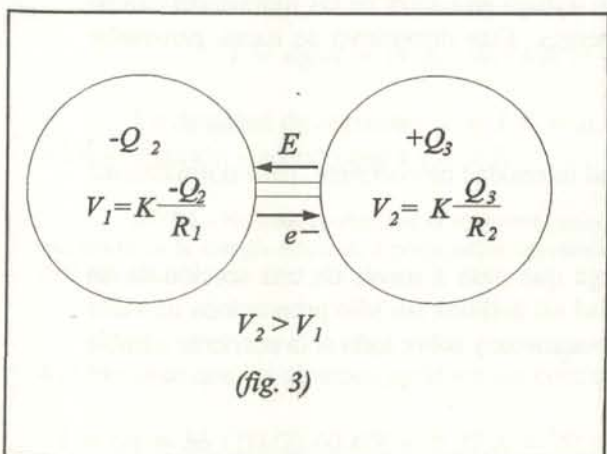
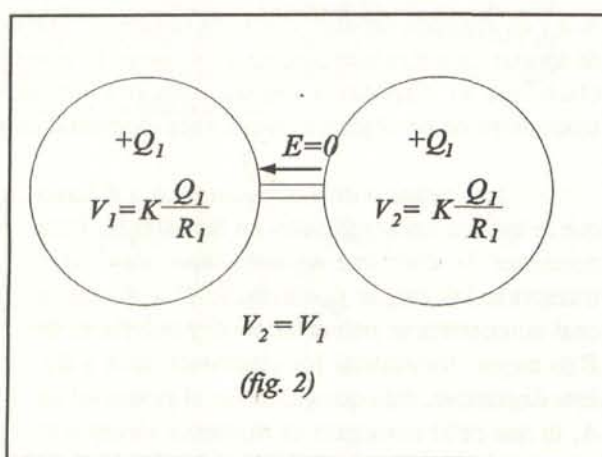
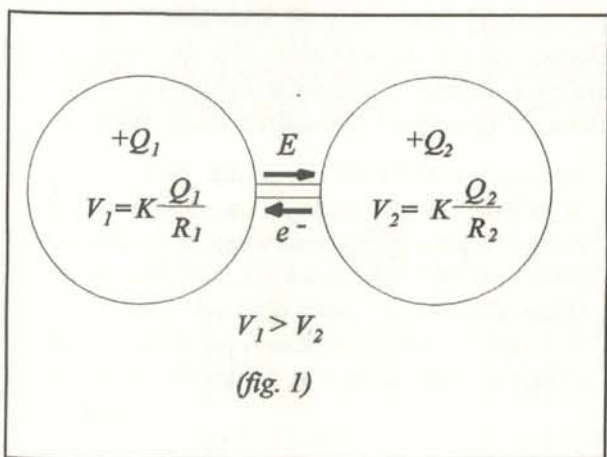
Existen respuestas intuitivas como que la corriente se produce debido a la atracción entre los electrones y las cargas positivas o la repulsión entre los electrones. Se recurre también al concepto de potencial como densidad de cargas.

El flujo de electrones libres del conductor metálico cesa cuando se igualen los potenciales de las esferas. Los electrones circulan de los puntos de menor a los de mayor potencial. La corriente eléctrica -al considerar que se mueven los portadores de carga positiva- se produce de los puntos de mayor a los de menor potencial.

En las cinco primeras figuras de la página siguiente circula la corriente (I) de la esfera que tiene mayor número de cargas positivas a la que tiene menor, ya que todas tienen el mismo radio.

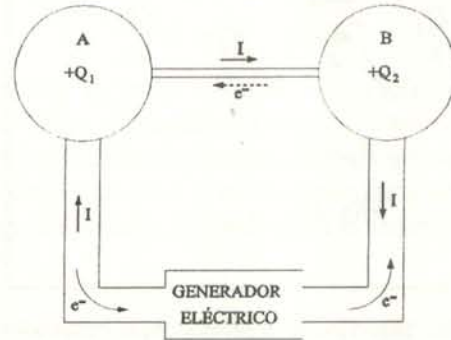
Debe evitarse el peligro de que los alumnos piensen que igualarse los potenciales implica que se iguales las cargas en ambas esferas.

En la fig. 6 no se sabe el sentido de la corriente, dependerá de la relación Q/R (carga/radio) de cada una de las esferas. Si esta relación es mayor en la esfera pequeña entonces la corriente circulará de esta a la más grande; y en sentido contrario si la relación es menor.



A.3 Los alumnos señalan que para conseguir una corriente continua debe existir un "dispositivo" capaz de aportar cargas continuamente a los puntos (o cuerpos, esferas) que los van perdiendo. Hay que dejarles claro que el dispositivo realiza trabajo sobre el sistema para separar y acumular cargas netas. El frotamiento de los objetos es una forma elemental de generador, al igual que las máquinas electrostáticas.

Las cargas positivas pasan de *A* a *B* hasta que se igualen los potenciales en las esferas. Para mantener la corriente se necesita "algo" que transporte las cargas positivas de *B* a *A* con lo cual aumentaría el potencial de *A* y bajaría el de *B* (o mejor: transportar los electrones de *A* a *B*). Este dispositivo, más que aumentar el potencial de *A*, lo que debe conseguir es mantener siempre el mismo potencial en *A* y *B*, con lo cual la diferencia de potencial será siempre la misma.



Este dispositivo, por lo tanto, debe pasar los electrones que van llegando a *A* otra vez a *B*, pero como el potencial en *A* es mayor que en *B* realizará un trabajo en contra de las fuerzas del campo eléctrico y necesitará, por tanto, un suministro de energía. Este dispositivo se llama *generador eléctrico*: elemento capaz de "bombear" electrones.

A.4 Los alumnos no tienen problema en definir la magnitud intensidad de corriente, pero normalmente omiten algunos detalles que hay que precisar.

Intensidad de una corriente eléctrica es la carga que pasa a través de una sección de un conductor en cada unidad de tiempo ($I = q/t$). La intensidad así definida tan sólo proporciona un valor medio (a menos que se mantenga constante). Por ello, rigurosamente y sobre todo si la corriente cambia con el tiempo:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta q / \Delta t = dq/dt.$$

La unidad de la intensidad es el *amperio* y equivale a (C/s).

La intensidad de una corriente es de un amperio cuando por una sección del conductor pasa una carga eléctrica de un culombio en cada segundo.

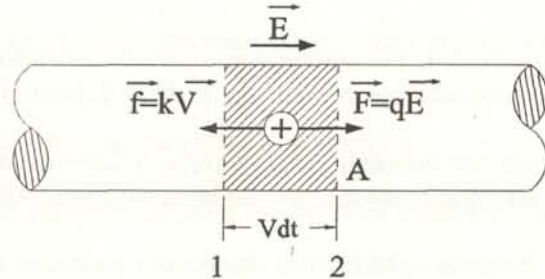
El profesor debe aclarar que la medida de la intensidad no se hace viendo cuantas cargas atraviesan la sección -como la definición operativa pudiera hacer pensar- ya que es muy difícil medirlo, sino se recurre a algunos de los efectos que produce la corriente. Lo veremos más adelante.

A.5 y A.6 Permite relacionar la intensidad de corriente con el número de partículas por unidad de volumen, con la carga de estas, con la sección del conductor y con la velocidad de avance de las partículas. Asimismo se introduce una nueva magnitud: la densidad de corriente.

Toda partícula libre al estar en un campo eléctrico (producido por la diferencia de potencial existente entre dos partes del conductor) se encuentra sometida a una fuerza $F = q \cdot E$ impulsora. En el vacío esta fuerza hace que la partícula tenga una aceleración, con lo cual aumenta su velocidad uniformemente. Sin embargo, esta partícula en el interior de un metal, después de una aceleración momentánea, experimenta un choque inelástico con una de las partículas fijas del conductor, pierde la

velocidad adquirida en la dirección de la fuerza impulsora y comienza de nuevo a moverse. De este modo se desplaza en la dirección de dicha fuerza, con una velocidad media denominada *velocidad de arrastre*. Los choques inelásticos entre partículas dan lugar a transferencias de energía, lo cual hace que aumente su energía de vibración y ocasione una elevación de la temperatura.

Por tanto, el movimiento de una partícula libre en un conductor es como si se desplazara en un medio viscoso, sometida a una fuerza impulsora F y a una fuerza de viscosidad $f = -k.v$. En todo caso, la partícula acaba moviéndose con *velocidad límite* constante, en la misma dirección y sentido que la fuerza impulsora.



LLamando n al número de partículas que tiene un conductor por unidad de volumen, entre las secciones 1 y 2 del conductor habrá una carga igual a $n.A.v.dt.e^-$

Luego la intensidad de corriente será:

$$I = dq/dt = (n.A.v.dt.e^-)/dt = n.A.v.e^-$$

La densidad de corriente $J = I/A = n.e^-v$ es una magnitud de naturaleza vectorial con la misma dirección y sentido que v y que E .

NOTA.- No debe confundirse la velocidad límite v (velocidad media de las partículas) con la correspondiente al transporte de la energía eléctrica, o propagación del campo eléctrico, que es prácticamente igual a la velocidad de la luz (300.000 Km/s.).

A.7 Persigue que los alumnos apliquen los conceptos introducidos de forma operativa.

$$I = q/t = 36 / [(1/2).60.60] = 0,02 \text{ A} = 20 \text{ mA}$$

$$J = I/A = (20.10^{-3})/10^{-6} = 2.10^4 \text{ A/m}^2$$

$$I = n.A.v.e^- \Rightarrow n = I/(A.v.e^-) = (20.10^{-3})/(10^{-6}.10^{-4}.1,6.10^{-19}) = 1,24.10^{27} \text{ elect./m}^3$$

A.8 Pretende que los alumnos expliciten sus ideas sobre lo que entienden por circuito eléctrico, sobre cuáles son sus componentes y funciones más importantes, sobre cuándo se presentan las magnitudes intensidad de corriente y diferencia de potencial, si pueden existir una sin la otra, etc.

Normalmente los alumnos entienden que la magnitud principal es la intensidad y por ello creen que sin ella no puede haber diferencia de potencial. Esta concepción es debatida al analizar la existencia de diferencia de potencial entre los bornes de las pilas de la linterna con el interruptor abierto y cerrado.

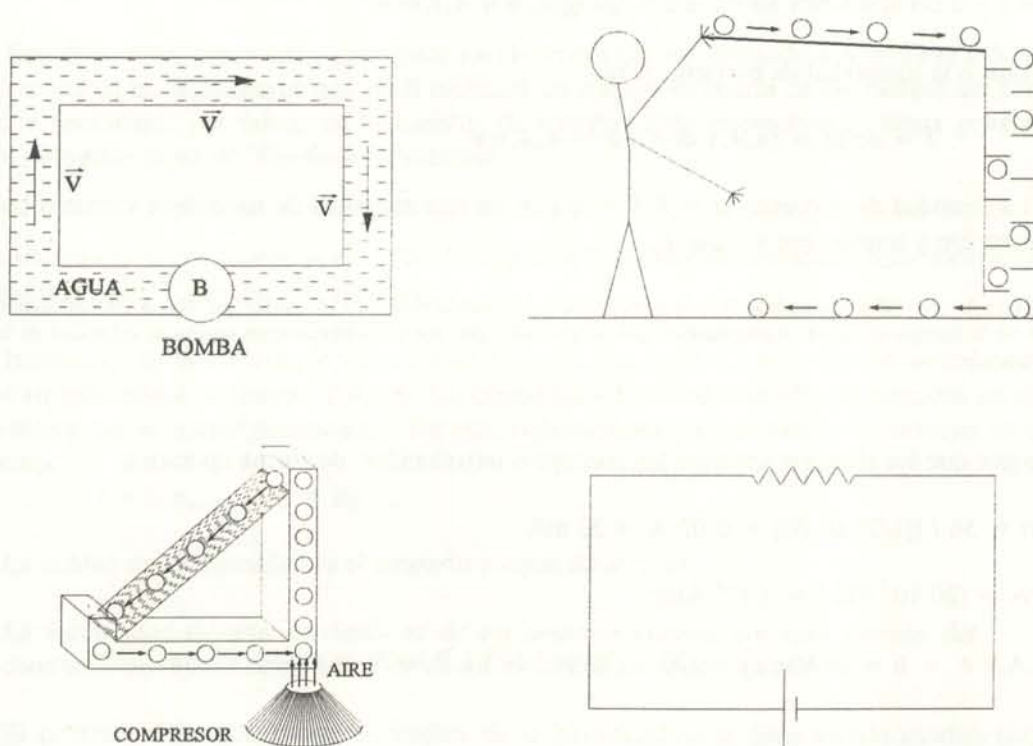
En una pila cortocircuitada (juntar los bornes o unirlos con un material de resistencia nula) existe una corriente muy grande que descarga la pila rápidamente. Existirá d.d.p. mientras dure la corriente eléctrica. Cuando se descarga la pila, su resistencia es muy grande.

El circuito más sencillo consta de un conductor unido a los extremos de una "bomba de electrones", llamada generador. El generador proporciona energía a los electrones que van llegando a él. El conductor constituye el medio por donde circulan los electrones.

A.9 Para facilitar la comprensión y conceptualización de los conceptos implicados en un circuito eléctrico consideramos conveniente analizar diferentes circuitos análogos en su funcionamiento.

En una discusión en gran grupo se interpretarán circuitos como los que se presentan en las figuras. Hay que establecer no sólo las semejanzas existentes entre ellos sino también las diferencias.

Nosotros consideramos muy positivo establecer analogías entre magnitudes o fenómenos físicos pues creemos que es una forma de progresar hacia el razonamiento formal que toda persona debe llegar a adquirir.



El generador, la bomba, el compresor y la persona de los circuitos de las figuras realizan la misma función: proporcionar energía a los electrones, agua, bolas y bolas respectivamente. Esta energía se pierde (se transforma en calor) a medida que circulan por el circuito.

La intensidad de corriente en el circuito eléctrico es análoga al caudal en el circuito hidráulico y al flujo de bolas a través de una sección en el circuito mecánico.

La sustancia que circula en un circuito eléctrico es la carga, en uno hidráulico el fluido (líquido o gas) y en el mecánico de la figura las bolas.

Si se desea se puede analizar el funcionamiento de estos circuitos incorporando a los mismos elementos análogos en serie o paralelo. Dependerá del grado de razonamiento que posean los alumnos. A veces no se consigue progreso conceptual si la analogía es demasiado abstracta para el alumno.

A.10 Conviene realizar un repaso a la historia para que los alumnos vean lo que cuesta avanzar científica y tecnológicamente. Hoy día disponemos de:

Pilas, baterías y acumuladores que transforman energía química en eléctrica.

Dinamos y alternadores que transforman energía mecánica en eléctrica continua y alterna, respectivamente.

Generadores termoeléctricos que transforman energía calorífica en eléctrica.

Generadores fotovoltaicos que transforman energía lumínica en eléctrica.

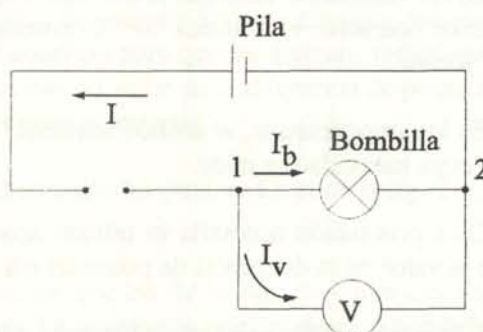
A.11 Los alumnos saben que existen unos aparatos (amperímetro y voltímetro) que miden la intensidad que circula por un conductor y la diferencia de potencial existente entre dos puntos del mismo. En esta actividad se analiza su funcionamiento para afianzar aún más los conceptos anteriores.

Los voltímetros miden la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico y los amperímetros la intensidad que pasa por un conductor.

Aunque son aparatos cuyo funcionamiento está basado en los mismos efectos de la corriente eléctrica y su aspecto externo suele ser muy parecido, presentan diferencias notables en cuanto a algunas de sus características.

Los **voltímetros** se instalan en el circuito conectando sus terminales a los puntos cuya diferencia de potencial se desea medir, esto es, en *paralelo* con el o los elementos que existen en el circuito.

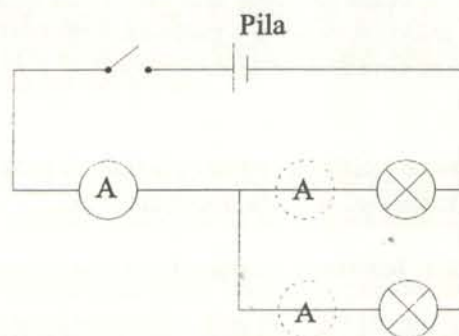
Para que funcione un voltímetro es necesario que por él pase una corriente eléctrica. Su introducción en un circuito modifica, por tanto, el estado del circuito. Así la diferencia de potencial que marca el voltímetro no es exactamente la real que existe en el circuito cuando no está el voltímetro. Este efecto será tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad que pase por él. Los voltímetros, por tanto, están contruidos de forma que pase una fracción muy pequeña de la intensidad del circuito. Más adelante ya veremos sus características internas.



Los **amperímetros** se conectan en el circuito de forma que pase por ellos toda la intensidad que quiere medirse, esto es, en *serie* con el elemento conductor por donde circula la intensidad que se desea conocer.

Si queremos medir la intensidad que pasa a través de la bombilla B , instalaría el amperímetro en esa rama del circuito (A_1) a un lado u a otro de la bombilla. Lo mismo se hace si se quiere saber la intensidad (A_2) que pasa por la bombilla B' .

En la figura se ha instalado el amperímetro para saber la intensidad que pasa por la pila, que será igual a la suma de la que pasa por las bombillas.



Cuando se instala en un circuito un amperímetro, este modifica la intensidad de la corriente que recorre el circuito y, por tanto, el valor de la magnitud que desea medirse.

Los amperímetros están contruidos de forma que alteren la intensidad del circuito lo suficientemente poco como para poder despreciar este efecto en nuestras mediciones. Más adelante ya veremos sus características internas.

Hay voltímetros y amperímetros que tienen la escala de medida con el cero en el centro de la misma. En cambio otros tienen la escala con el cero en un extremo de esta.

En los aparatos con el cero en el centro de la escala, la aguja indicadora se desplaza en un sentido o en el otro, según el sentido que tenga la corriente en el circuito del voltímetro o del amperímetro. Sus terminales pueden conectarse al circuito de forma que la corriente entre por cualquiera de ellos.

En los voltímetros y amperímetros cuya escala tiene el cero en un extremo de la misma, la aguja indicadora sólo puede desplazarse en un sentido. La corriente eléctrica -según el sentido convencional de la misma- debe entrar por el terminal señalado con el signo "+" y salir por el terminal señalado con el signo "-".

En los voltímetros, dado que la corriente circula de los puntos de mayor potencial a los puntos que tienen menor potencial, el terminal "+" se conecta al punto de mayor potencial y el terminal "-" al de potencial menor.

En los amperímetros, el sentido terminal "+" y terminal "-" debe coincidir con el sentido de la corriente cuya intensidad se mide.

Otra precaución necesaria es utilizar aparatos de medida que tengan la escala con el alcance adecuado al valor de la diferencia de potencial o a la intensidad que se quiere medir.

Si la escala resultase pequeña, el circuito de estos aparatos corre el peligro de estropearse por estar sometido a una sobrecarga.

Si la escala fuese demasiado grande, las lecturas son más difíciles de realizar y el error cometido sería mayor.

En aparatos que tengan más de una escala, debemos empezar probando la escala de mayor alcance y continuar por orden decreciente de alcances, hasta encontrar la escala de alcance adecuado.

Conviene instalar en todos los circuitos en los que se hacen medidas un interruptor o pulsador para que el circuito no tenga intensidad continuamente, ya que las pilas se agotan, los aparatos de medida podrían estropearse y además, si hay error en las conexiones del circuito, se puede desconectar la corriente de forma inmediata.

Las lecturas deben hacerse desde una posición tal, que permita seguir con la vista la dirección de la aguja indicadora para evitar el error de paralelaje en las mismas.

A.12 Presenta una cuestión que el alumno, con los conocimientos adquiridos en la unidad didáctica anterior, debe responder con facilidad. Asimismo debe predecir lo que marca el voltímetro antes de realizar la medida de las diferentes asociaciones.

La d.d.p. entre dos puntos es de 4,5 V si al transportar una carga de un culombio de un punto a otro se realiza el trabajo de un julio.

Dos pilas se pueden asociar de tres formas diferentes: conectando el borne positivo de una al negativo de la otra y dejando los otros dos para conectarlos al circuito (en serie), conectando los bornes positivos por un lado y los negativos por otro (en paralelo) y conectando el borne positivo de una al negativo de la otra y el negativo de la primera al positivo de la segunda (nunca debe hacerse).

Dos o más pilas electroquímicas conectadas en serie constituyen una batería. La d.d.p. entre bornes de la batería es aproximadamente igual a la suma de las d.d.p. entre bornes de cada una de las pilas.

La d.d.p. total de varias pilas asociadas en paralelo es igual a la d.d.p. de cada pila por separado.

La conexión mencionada en tercer lugar no tiene ninguna finalidad y no debe hacerse. En realidad se forma un circuito por el que circula una intensidad grande que hace que se agoten las pilas en poco tiempo.

A.13 Con esta actividad salen a la luz los diferentes modelos de interpretación de circuitos comentados en el capítulo IV. El profesor debe generar situaciones de conflicto para que los alumnos reflexionen sobre el valor de la intensidad en las diferentes partes del circuito, el valor de la diferencia de potencial entre distintos puntos y el brillo de las bombillas en las situaciones planteadas.

a) En el circuito de la fig. 1 existe la misma intensidad en todos los puntos. En el de la fig. 2 $I_1 = I_6$; $I_2 = I_3$; $I_4 = I_5$; $I_2 = I_4 = I_1/2$.

b) Las bombillas del circuito de la fig. 1 brillan menos que las de la fig. 2 ya que circula menos intensidad por las mismas al estar conectadas en serie. La resistencia que oponen las bombillas en el circuito serie es mayor que la que oponen en el circuito paralelo.

c) Si aflojamos la bombilla B_1 de la fig. 1 queda abierto el circuito y por tanto no circula corriente y las bombillas no brillan. En la fig. 2 al aflojar B_1 sigue circulando la misma corriente por B_2 y por tanto brilla con la misma intensidad.

d) La d.d.p. es mayor que cero entre los puntos:

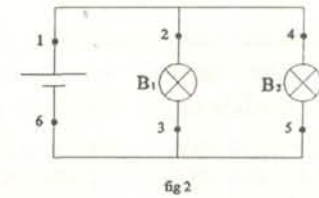
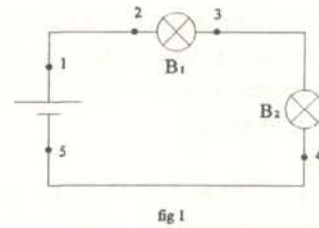
- 2-3, 3-4 y 1-5 del circuito serie.
- 2-3, 4-5 y 1-6 del circuito paralelo.

La d.d.p. es menor que cero entre los puntos:

- 3-2, 4-3 y 5-1 del circuito serie.
- 3-2, 5-4 y 6-1 del circuito paralelo.

La d.d.p. es cero entre los puntos:

- 1-2 y 4-5 del circuito serie.
- 1-2, 2-4, 5-3 y 3-6 del circuito paralelo.



A.14, A-15 y A-16 Se plantea una pequeña investigación para que sea resuelta utilizando la metodología "científica".

A.14 Emisión de hipótesis.

La intensidad de corriente aumentará si aumentamos la diferencia de potencial entre los extremos de un conductor o si aumenta la diferencia de potencial entre los bornes de una PILA en el circuito correspondiente.

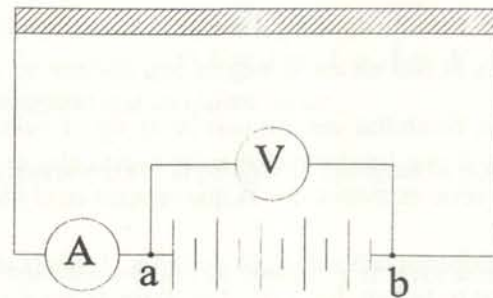
La intensidad dependerá del tipo de material por donde tenga que circular. Si este es buen conductor de la electricidad (tiene muchos portadores de carga -electrones libres-) entonces la intensidad será grande. En caso contrario, la intensidad bajaría.

La intensidad depende directamente de la sección del conductor. Al aumentar la sección aumentan los portadores de carga o bien estos encuentran menos dificultad en su camino.

Por último, la intensidad depende inversamente de la longitud del conductor, ya que los portadores de carga encuentran mayores dificultades en circular a través del mismo, ya que el camino es mayor.

A.15 Diseño de un montaje experimental.

Se monta un circuito formado por una *Batería (Pila)*, un conductor, un amperímetro y un voltímetro. Variando la d. d. p. -añadiendo pilas en serie-, utilizando conductores de diferentes materiales y cambiando la longitud y sección de los mismos se toman valores. Hay que realizar un control de variables.



A.16 Conclusiones.

Interpretando los resultados se puede establecer que la intensidad de corriente a través de un hilo conductor depende directamente de la diferencia de potencial aplicada entre los extremos del mismo y de su sección, e inversamente de su longitud. Asimismo depende de la naturaleza del conductor.

$$I = K \cdot \frac{(V_a - V_b) \cdot l}{A}$$

siendo: K = Característica del material del conductor.

$(V_a - V_b)$ = d.d.p. entre los extremos del conductor.

l = Longitud del hilo conductor o resistor.

A = Sección del hilo conductor o resistor.

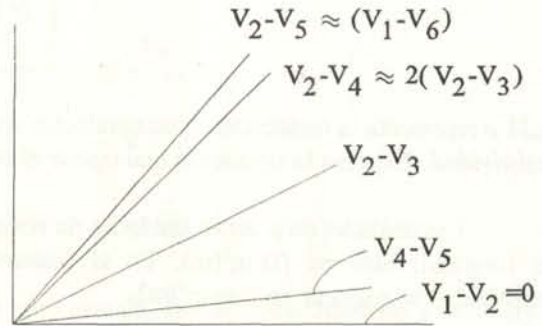
A.17 Conocer cómo está constituida una bombilla ayuda a interpretar su función en un circuito. Por ello creemos conveniente que los alumnos reflejen en un dibujo los elementos que definen la bombilla: el filamento (resistencia), dos bornes para conectarlos al circuito y la ampolla que sirve para cerrar herméticamente el filamento y poder hacer el vacío en el interior.

La intensidad que circula por todos los puntos del circuito es de 2 A.

La d.d.p. entre 1 y 2 es nula, entre 3 y 4 es de 8 V, entre 2 y 4 es de 16 V, entre 4 y 5 es muy pequeña (depende de la resistencia interna que tenga el amperímetro), entre 5 y 6 es nula y por último entre 1 y 6 es un poquito más de 16 V.

En la gráfica adjunta se representan los valores de la d.d.p. entre los extremos de cada elemento del circuito en función de la intensidad de corriente que circula por ellos. Son aproximadamente rectas de diferente inclinación.

La diferencia de potencial entre los extremos de una bombilla depende de su resistencia y de la intensidad que circula por la misma.



La diferencia de potencial entre los extremos del amperímetro es muy pequeña ya que su resistencia interna es baja.

La diferencia de potencial entre dos puntos de un hilo conductor en un circuito es casi nula, depende del valor de la resistividad del material. Para los conductores (cobre, aluminio, etc.) es pequeña.

Sólo existe diferencia de potencial entre dos puntos cuando entre los mismos existe resistencia.

A.18 Aunque habitualmente la relación $I=f(\Delta V)$ se expresa en la forma $\Delta V/I = \text{cte}$ (con un significado físico de la constante que los alumnos asocian a la dificultad o resistencia que el conductor presenta al paso de la corriente) es conveniente también presentar dicha relación en la forma $I/\Delta V = \text{cte}'$, con un significado de la constante, lógicamente opuesto. Ello permite insistir en el significado físico de las constantes que aparecen en las relaciones entre variables y evitar lecturas puramente operativistas. En este caso, además, es importante seguir profundizando en el significado de dicha "constante" e incluso de señalar los límites de validez de la expresión $\Delta V/I=R$ haciendo referencia a los conductores óhmicos y no óhmicos.

A la constante de proporcionalidad entre la diferencia de potencial entre los extremos de un conductor y la intensidad que circula por el mismo se la llama **resistencia (R)**.

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

A.19 El ohmio (Ω), unidad de resistencia en el S.I., se define como la resistencia de un conductor tal que, al aplicarle entre sus extremos una diferencia de potencial de un voltio circula a través de él una intensidad de corriente de un amperio.

Que un conductor tenga una resistencia de 500 ohmios quiere decir que al aplicar entre sus extremos un voltio circula por el mismo una intensidad de $1/500 \text{ A} = 2 \text{ mA}$.

A.20 Interpretando los valores de *longitud*, *sección*, *intensidad* y *d.d.p.* obtenidos en la actividad **A.15**, tabulándolos y representándolos gráficamente, se llega a la expresión matemática:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

A.21 ρ representa la resistencia de un conductor que tiene la unidad de longitud y de sección. Se llama *resistividad*. Expresa la oposición que opone el conductor al paso de la corriente eléctrica.

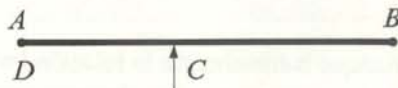
Las unidades de ρ serán unidades de resistencia por unidades de sección partido por unidades de longitud; esto es: ($\Omega \cdot \text{m}^2/\text{m}$). En el Sistema Internacional resultará ($\Omega \cdot \text{m}$). Habitualmente la resistividad se expresa en ($\Omega \text{mm}^2/\text{m}$).

σ es la inversa de la resistividad y se la llama *conductividad*.

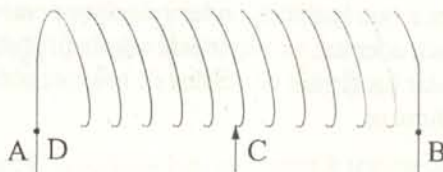
La resistividad y la conductividad de un conductor es una característica del material con el que está construido.

A.22 Buscar utilidad a las magnitudes físicas es uno de los aspectos que más hay que potenciar en la enseñanza.

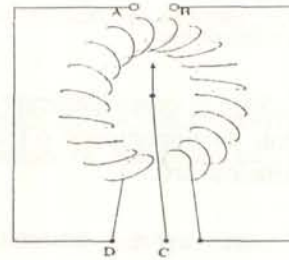
Un reostato es una resistencia variable. Moviendo un cursor podemos variar su valor. Se puede calibrar y saber cuanto vale la resistencia en cada posición del cursor.



En la figura se han dibujado dos tipos de reostato, uno lineal y otro circular. Igualmente se ha representado el reostato más sencillo formado solamente por un hilo resistor y un cursor.



Un reostato puede tener tres o cuatro bornes de conexión. Si el reostato se conecta en el circuito utilizando los bornes *AB*, funciona como una resistencia fija. Si se conecta entre los bornes *AC* o *CB* funciona como resistencia variable según la posición del cursor.



A.23 Plantea un problema para pensar sobre la utilidad del reostato.

Un reostato se puede montar en serie o en derivación (forma potenciométrica).

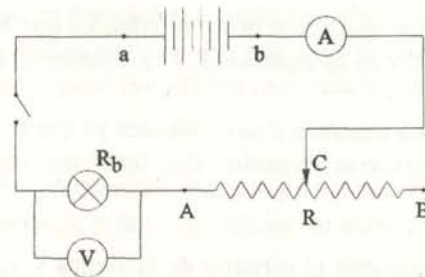
A) Montaje en serie:

Moviendo el cursor desde **A** hasta **B** se puede comprobar que el amperímetro marca menos intensidad y el voltímetro menos diferencia de potencial. Esto hace que la lámpara ilumine menos. Mediante este montaje no se puede anular la intensidad, ya que aproximadamente cuando está el cursor en **A** la intensidad será:

$$(V_a - V_b)/R_b$$

y cuando está en **B**:

$$(V_a - V_b)/(R_b + R).$$



Únicamente si el reostato tuviera una resistencia muy grande, la intensidad tendería a cero. Se puede colocar el amperímetro en otro lugar del circuito y marcará lo mismo.

Conclusiones:

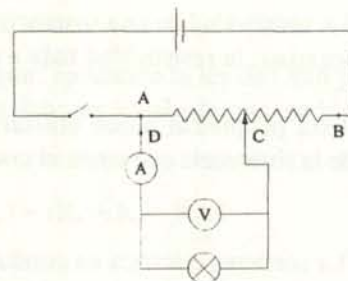
- Un reostato es una resistencia variable que permite disminuir la intensidad del circuito y la diferencia de potencial entre dos puntos del mismo.
- Aumentando la resistencia de un circuito, disminuye la intensidad en el mismo.
- La intensidad en un circuito que no presenta derivaciones es la misma en todos los puntos del circuito.
- Montando un reostato en serie no puede conseguirse intensidad nula en el circuito.

B) Montaje como potenciómetro (DIVISOR DE TENSIÓN):

Variando el cursor **C** puedo obtener que el voltímetro marque cero cuando esté aquel en **A** y marque lo máximo posible cuando esté en **B**.

Si el voltímetro lo coloco entre **C** y **B** marcaría al revés: cero cuando esté el cursor en **B** y lo máximo cuando esté el cursor en **A**.

La fuente de alimentación del circuito de la lámpara viene dada por la salida **DC**.



Conclusiones:

- Cuando se desea alimentar un circuito mediante una tensión menor que la que suministra la fuente de alimentación o fraccionar esta tensión, se monta un circuito con un reostato como potenciómetro.
- Cuando interesa disminuir la intensidad de un circuito, se monta un reostato en serie conectado con extremo libre o en cortocircuito.

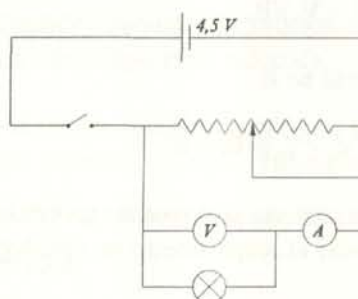
A.24 Interpretar gráficas ayuda a establecer conclusiones que permite formular leyes.

La sustancia *a* es *óhmica* ya que $R=V/I=cte$ y por tanto cumple la ley de Ohm.

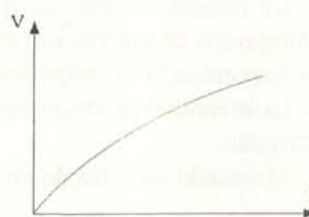
La sustancia *b* es *no óhmica* ya que la resistencia es variable. Aumenta la resistencia (mayor pendiente) con la intensidad. Este fenómeno ocurre en los metales.

La sustancia *c* es *no óhmica* ya que la resistencia es variable. Disminuye la resistencia (menor pendiente) con la intensidad. Este fenómeno ocurre en algunas sustancias, como el carbón, silicio, etc.

A.25 Montando el circuito de la figura y variando el cursor, obtenemos valores de d.d.p. (ΔV) entre bornes de la bombilla e intensidad que circula por la misma (I). Realizando una tabla como la que se indica y representando gráficamente los valores de ΔV e I , obtendremos que no sale una línea recta, con lo cual averiguamos que R es función de la temperatura, ya que al variar la intensidad varía la temperatura.



V	I	V/I
...
...
...
...
...



La resistividad de una sustancia depende de la temperatura según la expresión $\rho = \rho_0(I + \alpha.T)$. Si α es negativo, la resistividad baja a medida que aumenta la temperatura.

Esta propiedad puede utilizarse para diseñar termómetros de resistencia, de tal forma que en función de la resistencia que tenga el conductor, podemos saber la temperatura del ambiente que rodea al mismo.

La corriente eléctrica en conductores metálicos se debe a un movimiento de los electrones libres del metal a través de una red geométrica, en la que se encuentran situados los restos atómicos del metal -iones positivos-. Estos electrones, durante su movimiento, sufren choques continuos con los iones

positivos de la red. La resistencia de un conductor es proporcional al número de choques que efectúa un electrón de conducción en cada unidad de recorrido.

Cuando aumenta la temperatura del conductor, las vibraciones de los iones positivos de la red metálica son mayores y, por tanto, los choques de los electrones de conducción aumentan, aumentando a su vez la resistencia del conductor.

A.26 Se dice que varias resistencias están en serie cuando se colocan una a continuación de otra, unidas por conductores de resistencia despreciable. En este caso circula la misma intensidad de corriente por todas ellas, mientras que la diferencia de potencial total será la suma de las diferencias de potencial correspondiente a cada resistencia, pues el trabajo necesario para llevar la unidad de carga de un extremo a otro del conductor es igual a la suma de los trabajos necesarios para cada uno de ellos.

Un conjunto de varias resistencias están en paralelo o en derivación cuando se hallan unidos entre sí los extremos iniciales de todas ellas, por un parte, y los finales por otra. En este caso la diferencia de potencial aplicada a los extremos de cada una de ellas es la misma, pero la corriente que circula por cada una es distinta, siendo su suma igual a la total.

Además de las asociaciones en serie y paralelo de las tres resistencias, estas se puede conectar en dos asociaciones mixtas: una resistencia en serie con dos en paralelo, y dos resistencias en serie con una en paralelo.

A.27 El trabajo experimental es muy importante para construir, a través de los procesos, la red conceptual adecuada para responder a los múltiples fenómenos que se producen en la naturaleza. En esta actividad y en las dos siguientes los alumnos adquieren soltura en la conexión de circuitos y realización de medidas de intensidad y diferencia de potencial, a la vez que calculan resistencias equivalentes a varias asociadas de forma diferente.

Los alumnos deben plantearse el problema tratando de buscar una resistencia que pueda sustituir a las tres, con los mismos efectos, es decir provocando la misma diferencia de potencial entre sus extremos al circular una corriente de la misma intensidad.

En este caso la intensidad de corriente que atraviesa la asociación en serie, lógicamente es la misma que atraviesa cada una de las resistencias. Sin duda los alumnos reconocen como hipótesis de trabajo que la resistencia equivalente que buscamos debe ser función de R_1 , R_2 y R_3 y mayor que ellas.

Se puede profundizar un poco más, analizando las consecuencias que tendría si una de las resistencias fuera muy grande (p.e.: si $R_2 \rightarrow \infty$ entonces $R_{eq} \rightarrow \infty$), o lo contrario, que una de ellas fuera muy pequeña (p.e.: si $R_3 \rightarrow 0$ entonces $R_{eq} = R_1 + R_2$).

A partir de aquí pueden fijar con facilidad la estrategia a seguir, aplicando la ley de Ohm y teniendo en cuenta que la suma de las caídas de potencial de cada resistencia debe ser igual a la que tendría lugar en la resistencia equivalente.

$$\text{Como } (V_A - V_B) = (V_A - V_C) + (V_C - V_D) + (V_D - V_B) = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I$$

$$\text{y } (V_A - V_B) = R_{eq} \cdot I$$

entonces $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

"La resistencia equivalente a un conjunto de resistencias unidas en serie es igual a la suma de todas ellas".

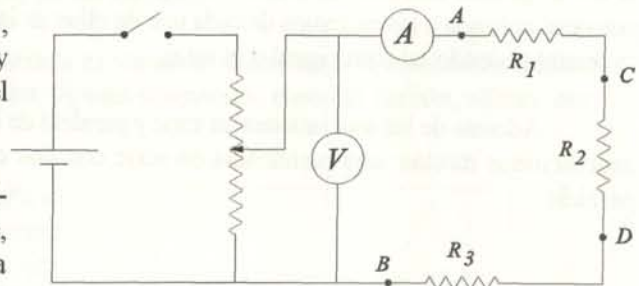
$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$$

La expresión obtenida (que muchos alumnos en la emisión de hipótesis llegan a concretar) debe aplicarse a las situaciones límite antes mencionadas para llegar a verificar la hipótesis de partida.

Montaje experimental:

Se pueden sustituir las tres resistencias R_1 , R_2 y R_3 por una que sea la suma de todas ellas y observaríamos que no varían las medidas del voltímetro y amperímetro.

Considerando la resistencia del amperímetro muy pequeña y la del voltímetro muy grande, la resistencia equivalente (en ohmios) será igual a la medida del voltímetro (en voltios) dividida entre la medida del amperímetro (en amperios).



A.28 Esta actividad debe plantearse de modo análogo a la anterior, tratando de buscar una resistencia equivalente a las tres conectadas en paralelo, que produzca los mismos efectos, es decir, provocando una misma caída de potencial entre sus extremos y dejando circular una corriente de la misma intensidad.

Han de comenzar analizando el problema de una forma cualitativa y teniendo en cuenta que el hecho de que la corriente pueda bifurcarse, facilita que disminuya la resistencia equivalente, esto permite aceptar como hipótesis de trabajo que la resistencia equivalente R_{eq} , dependerá de R_1 , R_2 y R_3 , de tal modo que sea menor que cualquiera de ellas.

Más todavía, si una de las resistencias se hace "infinita" y no deja pasar corriente el circuito quedará reducido a las otras dos resistencias en paralelo (toda la corriente tiene que pasar por ellas). En otro caso, si $R_1 \rightarrow \infty$ y $R_2 \rightarrow \infty$ entonces $R_{eq} = R_3$.

Por contra, si una de las resistencias es nula (dejando pasar sin dificultad la corriente) toda la corriente pasará por ella y entonces la $R_{eq} \rightarrow 0$, sea cual sea la resistencias de las otras dos.

la estrategia de resolución deberá basarse en aplicar la ley de Ohm a los dos circuitos, teniendo en cuenta que la resistencia equivalente no debe modificar los valores de V ni de I .

Como $(V_A - V_B) = R_2 \cdot I_2$

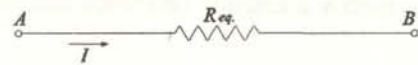
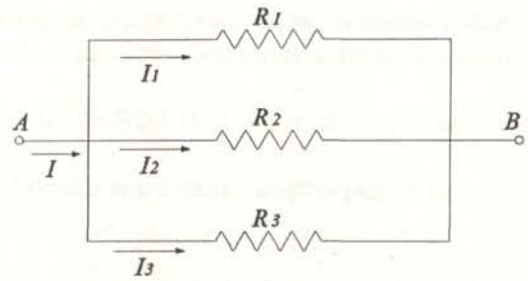
y $(V_A - V_B) = R_3 \cdot I_3$

y $(V_A - V_B) = R_{eq} \cdot I$

e $I = I_1 + I_2 + I_3$

entonces: $\frac{(V_A - V_B)}{R_{eq}} = \frac{(V_A - V_B)}{R_1} + \frac{(V_A - V_B)}{R_2} + \frac{(V_A - V_B)}{R_3}$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

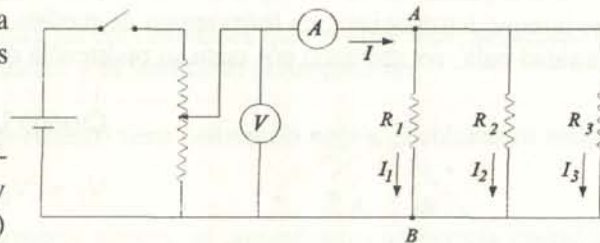


"La inversa de la resistencia equivalente a un conjunto en paralelo es igual a la suma de los inversos de cada una".

Montaje experimental:

Se pueden sustituir las tres resistencias R_1 , R_2 y R_3 por una igual a $1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)$ y no cambiarían las medidas del amperímetro y del voltímetro.

Considerando la resistencia del amperímetro muy pequeña y la del voltímetro muy grande, la resistencia equivalente (en óhmios) será igual a la medida del voltímetro (en voltios) dividida entre la medida del amperímetro (en amperios).



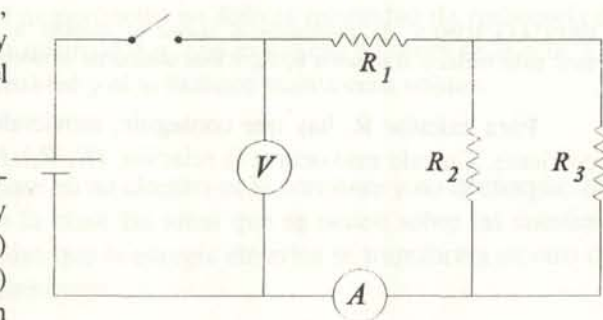
A.29 En este problema se procede igual que en los dos anteriores, llegando a que la resistencia

equivalente para la asociación planteada es: $R_{eq} = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

Montaje experimental:

Se pueden sustituir las tres resistencias R_1 , R_2 y R_3 por una igual a $R_1 + (R_2 \cdot R_3)/(R_2 + R_3)$ y no cambiarían las medidas del amperímetro y del voltímetro.

Considerando la resistencia del amperímetro muy pequeña y la del voltímetro muy grande, la resistencia equivalente (en óhmios) será igual a la medida del voltímetro (en voltios) dividida entre la medida del amperímetro (en amperios).



A.30 Consiste en un sencillo ejercicio de aplicación que los alumnos resuelven con facilidad una vez resueltas las situaciones problemáticas de las actividades anteriores.

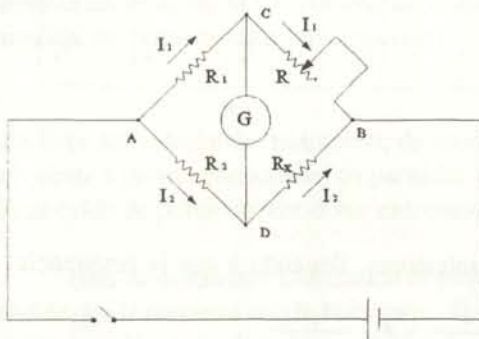
$$a) R_{\text{eq.}} = R + 3R + 1/[1/2R + 1/(R+3R+2R)] = 11R/2 = 11.2/2 = 11 \Omega$$

b) El amperímetro marca una intensidad igual a $3/11$ amperios.

A.31 Ejercitarse en el cálculo de la resistencia y capacidad equivalente a un conjunto de resistencias y capacidades asociadas y representadas de modo diverso permite combatir el efecto topológico que más o menos acentuado tienen los alumnos.

A.32 Para calcular el valor de una resistencia desconocida los alumnos enseguida recurren a conectarla a una pila colocando un amperímetro en serie, para medir la intensidad, y un voltímetro en paralelo, para medir la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia. Luego aplican la ley de Ohm y dan su valor. El profesor debe hacerles ver que cuando se colocan aparatos de medida en un circuito se modifican los valores de la intensidad y diferencia de potencial en el mismo ya que, aunque sean muy buenos, todos los instrumentos de medida tienen una resistencia.

Con el puente de Wheatstone o de hilo se pueden hallar resistencias sin cometer error alguno, pues aunque introducimos un instrumento de medida sólo es para conseguir que por él pase una intensidad nula, no alterando por tanto su resistencia nada en el circuito.



Cuando $I_G = 0$, entonces $V_C - V_D = r_G \cdot i_G = 0$

$$V_C = V_D.$$

$$V_A - V_C = V_A - V_D - R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2.$$

$$V_C - V_D = V_D - V_B - R \cdot I_1 = R_x \cdot I_2$$

Dividiendo miembro a miembro las igualdades anteriores, resulta:

$$R_1/R = R_2/R_x - R_x = (R_2/R_1) \cdot R$$

Para conseguir que $I_G = 0$ deben utilizarse resistencias patrones R_1 y R_2 adecuadas, ya que, por ejemplo, si $R_1 = R$ y $R < R_x$ no se podría conseguir nunca $I_G = 0$.

PRECAUCIONES. Si deslizando el cursor al mínimo o máximo no se consigue que el galvanómetro señale cero, debe variarse la relación R_1/R_2 , o bien utilizar un reostato de mayor resistencia límite.

Para calcular R_x hay que conseguir, moviendo el cursor, que por el galvanómetro no pase corriente. Cuando esto ocurre la relación $(R_2/R_1) \cdot R$ da el valor de la resistencia desconocida.

A.33 El funcionamiento del puente de hilo es análogo al de Wheatstone:

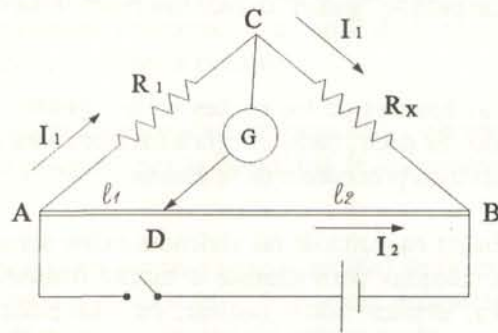
Para $i_G=0$ $V_C-V_D = i_G \cdot r_G=0$ y $V_C=V_D$

$V_A-V_C = V_A-V_D ; R_1 \cdot I_1 = \rho \cdot (l_1/S) \cdot I_2$

$V_C-V_B = V_D-V_B ; R_x \cdot I_1 = \rho \cdot (l_2/S) \cdot I_2$

Dividiendo las igualdades anteriores:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{l_1}{l_2} \quad \text{y} \quad R_x = R_1 \cdot \frac{l_2}{l_1}$$



Moviendo el cursor puedo conseguir que $I_G = 0$; en este momento se mide l_1 y l_2 y se calcula la resistencia desconocida R_x mediante la expresión $R_x = R_1 \cdot (l_2/l_1)$.

A.34 Es una actividad que permite revisar los conceptos de intensidad y diferencia de potencial. Puede haber diferencia de potencial aunque no haya intensidad, como en las figuras 1 y 4 con el interruptor abierto. Sin embargo no puede haber intensidad si no hay diferencia de potencial.

Hay que aclarar la ley de Ohm, en todas las oportunidades que se presenten, señalando que la diferencia de potencial es la magnitud independiente y la intensidad la dependiente

En esta actividad suponemos que el amperímetro tiene resistencia nula y el voltímetro resistencia infinita.

En el circuito de la fig. 1, con el interruptor abierto, el amperímetro no detecta intensidad (la resistencia del voltímetro es muy grande) y el voltímetro señala la misma d.d.p. que existe entre bornes de la pila. Con el interruptor cerrado el amperímetro marca intensidad y el voltímetro no.

En el circuito de la fig. 2 el amperímetro no señala paso de corriente (circuito abierto) y el voltímetro tampoco detecta d.d.p. Con el interruptor cerrado el voltímetro y el amperímetro detectan tensión e intensidad respectivamente.

En la fig. 3, con el interruptor abierto, por las mismas razones que en la figura anterior, ni el amperímetro ni los voltímetros detectan nada. Con el interruptor cerrado los dos voltímetros detectan d.d.p. y marcan lo mismo y el amperímetro marca intensidad.

En la fig. 4, con el interruptor abierto, el amperímetro no detecta intensidad (la resistencia del voltímetro es muy grande) y el voltímetro señala la misma d.d.p. que existe entre bornes de la pila. Con el interruptor cerrado el amperímetro detecta intensidad y el voltímetro marca cero voltios.

A.35 Algunos alumnos consideran que lo que se gasta en un circuito es la corriente y no la energía. Esta actividad persigue que salgan a la luz pública de la clase las ideas que se tienen sobre las cuestiones planteadas. Se llegará a que los estudiantes comprendan que la energía eléctrica se transforma en otro tipo de energía y por lo tanto con el paso del tiempo disminuye.

Las pilas se "gastan" cuando han cedido toda la energía que poseían a los demás componentes del circuito.

Las baterías de los coches no se "gastan" porque adquieren energía cuando el vehículo está funcionando. Es decir, cede energía a los elementos resistores y motores eléctricos del vehículo, y toma energía eléctrica procedente de la dinamo.

En los enchufes de las viviendas existe aproximadamente una d.d.p. constante. En las centrales eléctricas, situadas normalmente a mucha distancia, se transforma un tipo de energía no eléctrica (hidráulica, térmica, solar, nuclear, etc.) en eléctrica. Entre dos puntos se mantiene una d.d.p. alta constante y mediante transformadores se reduce a la d.d.p. que deseemos (en las viviendas 220V). Los elementos resistores y motores que se utilizan en los hogares (estufas, placas, secadores, motores, etc.) consumen la energía eléctrica que constantemente producen las centrales.

La estufa dejaría de calentar cuando por alguna causa se interrumpe su circuito eléctrico (rotura de la resistencia, del interruptor o de algún hilo) o bien no existe d.d.p. entre los bornes del enchufe.

A.36 Cuando por un conductor metálico circula una corriente, existe una diferencia de potencial entre dos puntos del mismo; es decir, existe una diferencia de energía potencial por unidad carga entre esos puntos. Por tanto, las cargas a medida que avanzan por el conductor pierden energía potencial. Esta energía potencial perdida no produce aumento de la energía cinética de las cargas, ya que la intensidad permanece constante a lo largo del conductor (comprobado experimentalmente), pero sí hace que aumente la energía vibracional de los electrones, y en consecuencia aumentan los choques internos entre estos y la estructura metálica, con lo cual se desprende calor.

Así pues, la energía que se disipa en un conductor se cede al exterior en forma de calor.

La corriente eléctrica produce un efecto calorífico.

A.37 La obtención de la expresión $dW = \Delta V \cdot I \cdot dt$ a partir de $W = -q \cdot \Delta V$ aunque sencilla exige una cuidadosa atención al signo de las cargas que se desplazan y de ΔV (aunque puede encontrarse que tanto si las cargas que se desplazan son las negativas como si fueran las positivas, el trabajo eléctrico resulta $\Delta V \cdot I \cdot dt$, donde ΔV representa el valor absoluto de la diferencia de potencial).

Por otra parte los alumnos no tienen dificultad en obtener las expresiones equivalentes $R \cdot I^2 \cdot dt$ y $(\Delta V)^2 \cdot t / R$. Por el contrario, es necesario llamar la atención sobre el carácter particular de ambas expresiones (solo aplicables a conductores óhmicos y no por ejemplo, cuando se intercala un motor, en cuyo caso sólo podemos aplicar $\Delta V \cdot I \cdot dt$).

Si por el elemento resistor (resistencia) circula la carga dQ , la energía potencial que pierde la carga será: $dW = (V_A - V_B) \cdot dQ = (V_A - V_B) \cdot I \cdot dt = (V_A - V_B)^2 \cdot dt / R$ ya que $dQ = I \cdot dt$ y $R = (V_A - V_B) / I$

También puede ponerse: $dW = R \cdot I^2 \cdot dt$

$$P = dW/dt = (V_A - V_B) \cdot I$$

LEY DE JOULE: *"El trabajo desarrollado en forma de calor en una resistencia pura por una corriente eléctrica, es directamente proporcional al valor de la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y al tiempo".*

"La potencia de la corriente eléctrica viene dada en magnitudes eléctricas por el producto de la diferencia de potencial por la intensidad de la corriente".

A.38 Consiste en plantear un problema práctico para que los alumnos vean la utilidad de la ley de Joule para la técnica. En las industrias de radiadores se calcula el valor de la resistencia dependiendo de la potencia que se quiera dar al calentador. Los cazos eléctricos se diseñan del mismo modo.

A.39 Ejercitarse en el cálculo de la potencia de resistencias en circuitos formados por múltiples resistencias asociadas de forma diversa.

A.40 Ya se ha dicho que con esta metodología se potencia la creatividad en los alumnos, por ello se solicita en muchas ocasiones que se diseñen experimentos para averiguar la relación existente entre diferentes magnitudes físicas. En esta actividad se pretende averiguar cuál es la equivalencia entre el julio y la caloría.

Una actividad que es mencionada por algún grupo de alumnos tiene por referencia el problema anterior. Consiste en sumergir una resistencia conocida en un calorímetro que contenga un volumen de agua determinado a una temperatura inicial conocida y medir, durante un tiempo fijo, el incremento de temperatura que experimenta el agua. A su vez, se ha colocado en el circuito eléctrico un voltímetro para medir la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia y un amperímetro para saber la intensidad que circula por la misma durante un cierto tiempo.

La energía eléctrica, en julios, suministrada al agua es: $\Delta V.I.t$

El aumento de energía calorífica, en calorías, del agua es: $(m.c+k).\Delta T$

La relación entre las dos expresiones anteriores nos da el equivalente mecánico del calor:

1 caloría = 4,18 julio

1 julio = 0,24 calorías

PRECAUCIONES A TOMAR.

- Usar un calorímetro con poco equivalente en agua (k) y cerrarlo bien.
- Medir ΔV e I a intervalos de tiempo si se observa variación en los mismos.
- No colocar el termómetro junto a la resistencia.
- Agitar constantemente.
- Medir la temperatura final nada más acabar el tiempo o al desconectar la resistencia.

A.41 La característica invariante de una bombilla es su resistencia. Como normalmente en la vida cotidiana nunca se habla de ella y sí de la diferencia de potencial o de la potencia, se puede llegar a entender que no es su característica y, debido a ello, cometer muchos errores científicos.

El rótulo que aparece en las bombillas es la tensión máxima de utilización y la potencia que consume si está sometida a esa diferencia de potencial. Sin embargo, estas magnitudes pueden variar. Si se aplica una tensión superior a la máxima, el filamento no aguanta la intensidad que lo atraviesa y se rompe. Si se aplica una tensión inferior la bombilla brillará menos de lo normal ya que circula menos intensidad de la necesaria para poner el filamento incandescente.

La característica que no varía con la tensión a que se someta la bombilla es la resistencia. Esta depende de la temperatura, pero ligeramente.

$$R = P/I^2 = (V_A - V_B)^2/P$$

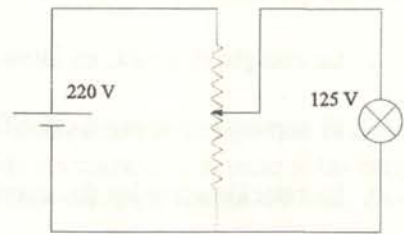
Cuando la bombilla está apagada no tiene d.d.p. entre sus bornes, ni circula intensidad por ella, ni -por tanto- consume energía eléctrica. Sin embargo, sí posee una resistencia.

Cuando la bombilla está encendida existe d.d.p. entre sus bornes, circula corriente por el filamento y, por tanto, consume energía eléctrica. Su resistencia no cambia apenas.

A.42 Es un ejercicio que permite adquirir soltura en el cálculo de magnitudes energéticas, como la energía consumida por una bombilla en un tiempo determinado. A los alumnos les resulta interesante calcular el costo que supone utilizar el flexo de estudio diariamente.

a) $P = V \cdot I \rightarrow I = P/V = 100/125 = 0,8 \text{ A} \rightarrow R = V/I = 125/0,8 = 156,25 \Omega$

b) Al conectarla a 220 V, se funde. Se puede evitar colocando un reostato (mejor en paralelo) para bajar la tensión..



c) $P = V^2/R = 80^2/156,25 = 40,96 \text{ W}$

En cinco horas consume una energía = $[(V_a - V_b)^2/R] \cdot t = 40,96 \cdot 5 \cdot 3600 = 737280 \text{ W}\cdot\text{s} = 737280/3,6 \times 10^6 = 0,2 \text{ Kw/h}$
 (1 Kw/h = $1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3,6 \times 10^6 \text{ W}\cdot\text{s}$)

Consumo: $0,2 \times 16 = 3,2 \text{ pts.}$

A.43 Pensando en aparatos e instrumentos eléctricos se puede contestar a la pregunta.

Se solicita a los alumnos que den ejemplos de los distintos aparatos eléctricos que conozcan; en ellos se producirán cambios o transformación de la energía eléctrica en otros tipos de energía, como mecánica, calorífica, luminosa, química, etc.

En los **motores** (de secadoras, lavadoras, máquinas de afeitar, etc) y **compresores** (de frigoríficos, congeladores, etc.) se transforma energía eléctrica en **mecánica**.

En las resistencias de planchas, estufas, cocinas eléctricas, hornos, etc. se transforma energía eléctrica en **calorífica**.

En las resistencias de bombillas, tubos fluorescentes, etc. se transforma energía eléctrica en **luminosa**.

En baterías, pilas recargables, etc. se transforma energía eléctrica en **química**.

A.44 Nuevo problema para resolverlo utilizando el modelo como investigación. Hay que relacionar dos partes de la Física como son la transmisión del calor para calcular las pérdidas de la sala de estar y la energía eléctrica.

A.45 Se pretende conocer con más profundidad las características de un generador eléctrico. Hasta ahora hemos señalado que proporciona una misma diferencia de potencial al circuito, pero esto sólo es así si no tiene resistencia interna. La realidad es que por muy bueno que sea siempre posee una pequeña resistencia que impide proporcionar una misma d.d.p. al circuito.

Un *generador eléctrico* es todo dispositivo que convierte la energía no eléctrica en eléctrica. En una pila y acumulador se transforma energía química en eléctrica, en una dinamo y en un alternador se transforma energía mecánica en eléctrica continua y alterna respectivamente.

Considerando que un generador *no* genera energía eléctrica sino que transforma un tipo de energía no eléctrica en eléctrica, su nombre no nos parece muy adecuado.

Las características que definen a un generador son:

1) *F.e.m.*

Es una magnitud que se mide por la energía eléctrica proporcionada por el generador, a costa de otra energía para hacer circular la unidad de carga por todo el circuito. $E = dW/dQ$

Por tanto, la f.e.m. *no* es una fuerza, sino la energía que le corresponde a cada unidad de carga. En el S.I. la unidad será el Julio/Culombio = VOLTIO.

La magnitud f.e.m. es distinta a la magnitud d.d.p., ya que, en realidad, gracias a la f.e.m. existe d.d.p. entre los extremos de un conductor.

2) *Resistencia interna.*

Todo dispositivo eléctrico posee una resistencia. En esta se desprende calor, disminuyendo el rendimiento del dispositivo.

La energía suministrada por un generador es $dW = E.dQ = E.I.dt$

La potencia es $= dW/dt = E.I$

"La potencia de un generador es igual al producto de su f.e.m. por la intensidad que suministra al circuito".

"La f.e.m. de un generador es igual a la potencia que debe consumir para suministrar al circuito la corriente de un amperio".

De toda la energía no eléctrica que consume el generador y que suministra en forma de energía eléctrica al circuito, parte de ella se transforma en energía calorífica en su resistencia interna y el resto puede utilizarse en producir energía mecánica (en un motor), lumínica (en una bombilla), calorífica (en un radiador), química (en una batería), etc.

El rendimiento del generador será tanto mayor cuanto menor es su resistencia interna.

Energía total de un generador = $E \cdot I \cdot dt$

Energía perdida en su resistencia interna = $r \cdot I^2 \cdot dt$

Energía útil proporcionada por el generador = $E \cdot I \cdot dt - r \cdot I^2 \cdot dt$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Energía útil}}{\text{Energía total}} = \frac{E \cdot I \cdot dt - r \cdot I^2 \cdot dt}{E \cdot I \cdot dt} = \frac{E \cdot I - r \cdot I^2}{E \cdot I} = \frac{E - r \cdot I}{E}$$

A.46 Aplicando el principio de conservación de la energía a circuitos con varios elementos resistivos se puede generalizar aún más la ley de Ohm.

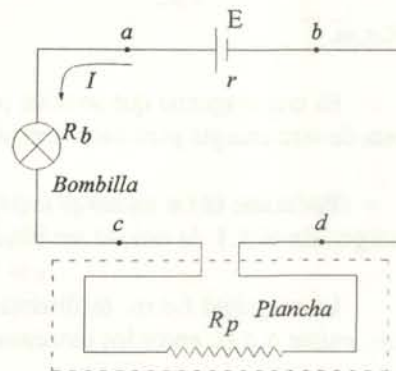
Asimismo si consideramos la resistencia interna del generador la diferencia de potencial entre sus extremos dependerá de la intensidad que circule por él. ¿De qué forma dependerá?. Esta cuestión es planteada a los alumnos para que utilizando los conocimientos que ya se han tratado den una solución.

- La energía proporcionada por el generador en un tiempo t es: $E \cdot I \cdot t$

- La energía consumida en la bombilla en t es: $R_b \cdot I^2 \cdot t$

- La energía consumida en la resistencia de la plancha durante el mismo tiempo t es: $R_p \cdot I^2 \cdot t$

- La energía consumida en la resistencia del generador en t es: $r \cdot I^2 \cdot t$



Considerando el principio de conservación de la energía tenemos que:

$$E \cdot I \cdot t = R_b \cdot I^2 \cdot t + R_p \cdot I^2 \cdot t + r \cdot I^2 \cdot t \quad \rightarrow \quad (R_b + R_p + r) = E/I \quad \rightarrow \quad \Sigma R = E/I$$

Por otra parte: $(V_a - V_b) = (V_a - V_c) + (V_c - V_d) + (V_d - V_b)$

$V_a - V_c = R_b \cdot I$ → es la caída de potencial existente entre los puntos a y c.

$V_c - V_d = R_p \cdot I$ → es la caída de potencial existente entre los puntos c y d.

$V_d - V_b = 0 \cdot I = 0$ → no cae el potencial entre los puntos d y b si consideramos nula la resistencia del hilo conductor que une esos puntos.

Luego $V_a - V_b = R_b \cdot I + R_p \cdot I$

Como $E = R_b \cdot I + R_p \cdot I + r \cdot I$ entonces $E = (V_a - V_b) + r \cdot I$ y por tanto:

$$V_a - V_b = E - r \cdot I$$

"La diferencia de potencial entre los bornes de un generador es igual a la fuerza electromotriz del generador menos el producto rI ".

$V_a - V_b = E$ sólo cuando $I=0$, es decir, en circuito abierto.

A.47 y A.48 Son dos problemas para que los alumnos puedan aplicar los conocimientos construidos.

A.49 Es muy importante que los alumnos comprendan la utilidad de tiene el asociar pilas en serie o en paralelo. Para ello hay que relacionar:

a) Por una parte la diferencia de potencial existente entre los extremos de un conjunto de pilas asociadas en serie o en paralelo, formando circuito con una resistencia de valor R , y la diferencia de potencial entre los bornes de cada pila cuando se conecta formando circuito ella sola con la misma resistencia R .

b) Por otra parte la intensidad en el circuito alimentado por el conjunto de pilas asociadas en serie y en paralelo con la intensidad que suministra al mismo una sola de las pilas.

A) Conexión en serie:

$$I = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n) / (R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n)$$

$$I = n \cdot E / (R + n \cdot r)$$

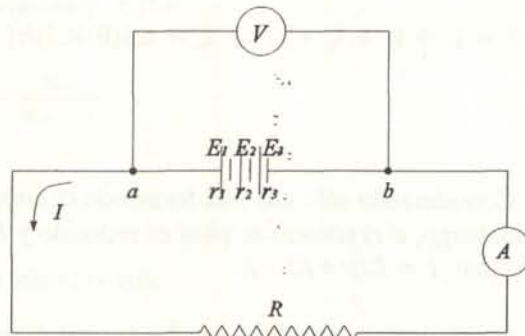
Donde n = número de pilas.

$$V_a - V_b = (E_1 - r_1 \cdot I) + (E_2 - r_2 \cdot I) + \dots + (E_n - r_n \cdot I)$$

$$V_a - V_b = n \cdot E - n \cdot r \cdot n \cdot E / (R + n \cdot r)$$

$$V_a - V_b = n \cdot E \cdot R / (R + n \cdot r)$$

Cuando el número de pilas es pequeño y R tiene un valor no demasiado pequeño, entonces puedo considerar que $R + n \cdot r \approx R + r$ y entonces:



$$I = n.E/(R+r) = n.I_1$$

Siendo I_1 y $(V_a-V_b)_1$ respectivamente la intensidad y la diferencia de potencial entre los bornes de una pila si sólo estuviera esta alimentando a una resistencia.

$$V_a-V_b = [n.E/(R+r)].R = n.I_1.R = n.(V_a-V_b)_1$$

"La pila equivalente a varias conectadas en serie tiene una f.e.m. y una resistencia interna que es la suma de las f.e.m. y de las resistencias internas, respectivamente, de cada pila asociada".

"La d.d.p. existente entre los extremos de un conjunto de pilas asociadas en serie es igual, dentro de unos márgenes de error, a la suma de las d.d.p. entre los bornes de cada una de las pilas conectada por separado al mismo circuito".

"La intensidad que suministra a un circuito un conjunto de pilas conectadas en serie es igual, dentro de unos márgenes de error, a la suma de la intensidad que cada una de las pilas suministra al mismo circuito cuando se conecta sola".

B) Conexión en paralelo:

$$V_a-V_b = E_1-I_1.r_1 ; I_1 = [E_1-(V_a-V_b)]/r_1$$

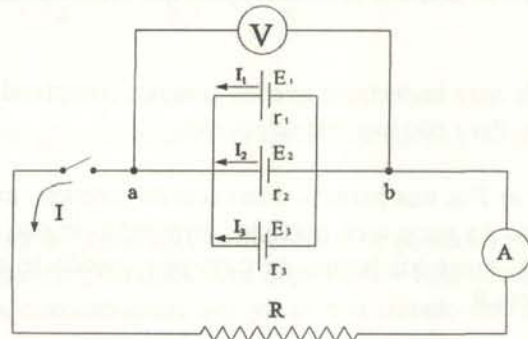
$$V_a-V_b = E_2-I_2.r_2 ; I_2 = [E_2-(V_a-V_b)]/r_2$$

$$V_a-V_b = E_3-I_3.r_3 ; I_3 = [E_3-(V_a-V_b)]/r_3$$

$$\dots\dots\dots$$

$$V_a-V_b = E_n-I_n.r_n ; I_n = [E_n-(V_a-V_b)]/r_n$$

$$V_a-V_b = R.I$$



Si las pilas son iguales entonces $E_1 = E_2 = \dots = E_n$ y $r_1 = r_2 = \dots = r_n$

En este caso $I_1 = I_2 = \dots = I_n = [E - (V_a - V_b)]/r = (E - R.I)/r$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = n.[(E-R.I)/r] = (n.E-n.R.I)/r \rightarrow I.r = n.E - n.R.I$$

$$I = \frac{n.E}{r + n.R} = \frac{E}{\frac{r}{n} + R}$$

Considerando sólo una pila formando el circuito $I_1 = E/(r+R)$ Evidentemente I no es igual a I_1 ; sin embargo, si el número de pilas es reducido y R es alto, puedo considerar que $(r/n) + R \approx r+R$ y por lo tanto $I = E/(r+R) \approx I_1$.

Igualmente si consideramos $I \approx I_1$, entonces $(V_a-V_b)_{conjunto} \approx (V_a-V_b)_{de\ pila}$

"La pila equivalente a N pilas iguales conectadas en paralelo tiene una f.e.m. igual a la de una de las pilas y una resistencia interna n veces menor que cualquiera de ellas".

"La diferencia de potencial existente entre los extremos de un conjunto de pilas iguales asociadas en paralelo es igual, dentro de unos márgenes de error, a la d.d.p. entre los bornes de una de las pilas cuando sólo ella está conectada al mismo circuito".

"La intensidad que suministra a un circuito un conjunto de pilas iguales conectadas en paralelo es igual, dentro de unos márgenes de error, a la intensidad que suministra cada una de las pilas cuando sólo ella está conectada al mismo circuito".

C) Conclusiones:

- a) Cuando necesite más diferencia de potencial que la que me puede proporcionar una pila, entonces utilizaré varias en serie.
- b) Utilizaré varias pilas en paralelo cuando necesite mantener aplicada una misma d.d.p. durante mucho tiempo.

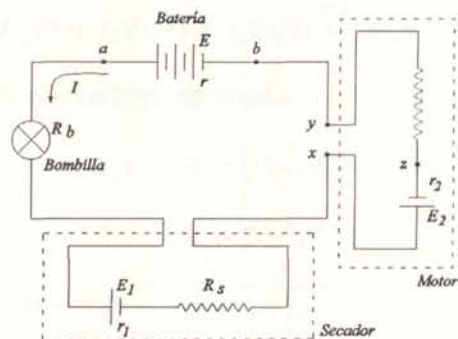
A.50 Aún no se ha trabajado con circuitos donde existen acoplados motores. ¿Cómo quedará modificada la ley de Ohm?. ¿Un motor actúa igual que un generador?. ¿Qué efecto produce sobre la corriente eléctrica?. ¿Tiene también resistencia interna?, etc Todas estas cuestiones y otras quedarán aclaradas una vez realizada la actividad.

La energía proporcionada por el generador en un tiempo t es: $E \cdot I \cdot t$

La energía consumida en la bombilla es: $R_b \cdot I^2 \cdot t$

La energía consumida en el secador es

- en la resistencia: $R_s \cdot I^2 \cdot t$
- en la resistencia interna del motor: $r_1 \cdot I^2 \cdot t$
- para producir energía mecánica(giro): $E_1 \cdot I \cdot t$



La energía consumida en la resistencia interna del generador: $r \cdot I^2 \cdot t$

La energía consumida en el motor es:

- para producir energía mecánica: $E_2 \cdot I \cdot t$
- en la resistencia interna: $r_2 \cdot I^2 \cdot t$

Aplicando el principio de conservación de la energía tenemos que:

$$E \cdot I \cdot t = R_b \cdot I^2 \cdot t + R_s \cdot I^2 \cdot t + r_1 \cdot I^2 \cdot t + E_1 \cdot I \cdot t + r \cdot I^2 \cdot t + E_2 \cdot I \cdot t + r_2 \cdot I^2 \cdot t$$

$$E - E_1 - E_2 = (R_b + R_s + r_1 + r_2) \cdot I \quad \rightarrow \quad \Sigma E = \Sigma R \cdot I \quad \rightarrow \quad \Sigma R = \Sigma E / I$$

En el motor: $(V_x - V_y) = (V_x - V_z) + (V_z - V_y) = E_2 + r_2 \cdot I$

Por lo que $(V_a - V_b) = (V_a - V_x) + (V_x - V_y) + (V_y - V_b) = (R_b \cdot I + E_1 + r_1 \cdot I + R_s \cdot I) + (E_2 + r_2 \cdot I) + 0$

"La diferencia de potencial entre los bornes de un motor es igual a la f.c.e.m. del motor más el producto de su resistencia interna por la intensidad que circula del circuito que consume energía".

La energía total que consume un motor es $= (E' \cdot I + r' \cdot I^2) \cdot t$

La energía útil o mecánica es $= E' \cdot I \cdot t$

La energía que se pierde en la resistencia interna en forma de calor es $= r' \cdot I^2 \cdot t$

Rendimiento = Energía útil / Energía total.

Rendimiento del motor $= (E' \cdot I \cdot t) / (E' \cdot I \cdot t + r' \cdot I^2 \cdot t) = E' / (E' + r' \cdot I) = E' / (V_x - V_y)$

A.51 Calcular diferencias de potencial entre dos puntos de un circuito con generadores y motores no es una tarea fácil ya que a veces no se sabe muy bien cuál es el sentido de la corriente. Para reflexionar sobre este hecho se propone esta actividad, que permitirá además diferenciar claramente las expresiones que señalan la diferencia de potencial entre un generador y entre un motor.

$$V_a - V_b = E - r \cdot I$$

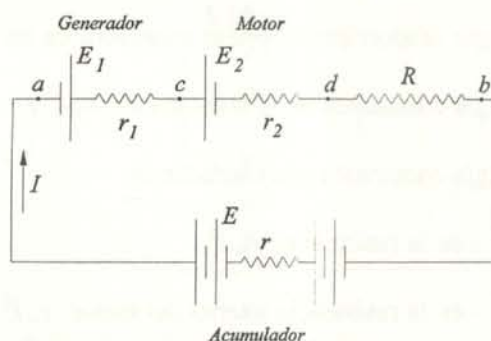
$$V_a - V_b = (V_a - V_c) + (V_c - V_d) + (V_d - V_b)$$

$$V_c - V_a = E_1 - r_1 \cdot I$$

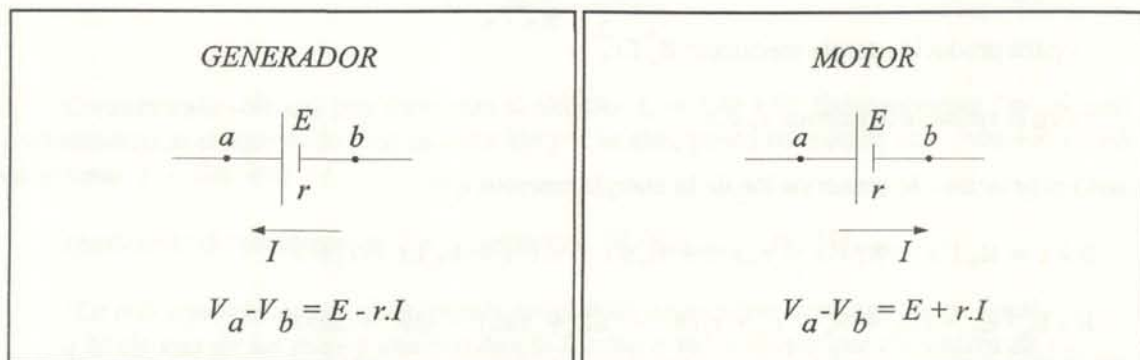
$$V_c - V_d = E_2 + r_2 \cdot I$$

$$V_d - V_b = R \cdot I$$

$$V_a - V_b = -(E_1 - r_1 \cdot I) + (E_2 + r_2 \cdot I) + R \cdot I$$



Para obtener las ecuaciones anteriores se ha tenido en cuenta la d.d.p. existente entre los bornes de un generador y un motor. En los recuadros siguientes se especifican estas expresiones:



A.52 y A53 Son dos nuevos problemas para resolver siguiendo el modelo como investigación.

A.54 Este problema experimental puede abordarse de varias formas:

A) Diseños posibles para calcular la f.e.m. de un generador:

a) Si conectamos un voltímetro entre los bornes de un generador, lo que marca el voltímetro será:

$$V_a - V_b = E_x - r_x \cdot I$$

Como $I = E_x / (R_v + r_x)$ entonces:

$$V_a - V_b = E_x - r_x \cdot [E_x / (R_v + r_x)] = E_x \cdot [1 - r_x / (R_v + r_x)] = E_x \cdot [R_v / (R_v + r_x)]$$

$$V_a - V_b = E_x \cdot [1 / (1 + r_x / R_v)]$$

Sólo cuando $R_v \rightarrow \infty$ $V_a - V_b = E$

b) Se puede hallar una f.e.m. utilizando el circuito situado al margen en donde la intensidad que circula por el galvanómetro es cero. En este caso $E_p = E_x$

El generador E_p sería un patrón.

Inconveniente: debe disponerse de un juego muy amplio de generadores patrones.

c) Utilizando el circuito de la izquierda puedo conseguir, variando el cursor, que la intensidad por el galvanómetro sea cero. En este caso toda la intensidad pasa por la resistencia y:

$$V_a - V_c = R_1 \cdot I = E_x \cdot ; I = E_x / R_1$$

$$V_a - V_b = R \cdot I = V = \text{Medida del voltímetro}$$

Con lo que: $E_x = V \cdot (R_1 / R)$

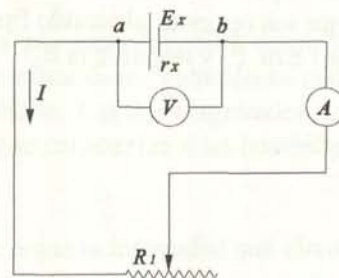
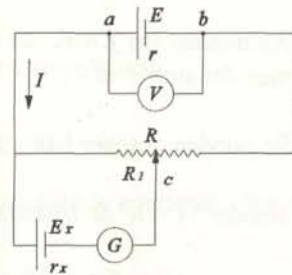
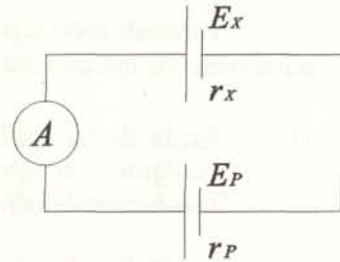
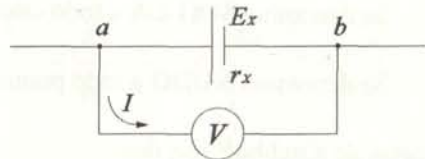
B) Diseño para calcular la resistencia interna de un generador:

$$I = E_x / (R_1 + r_x)$$

$$E_x = (V_a - V_b) - r_x \cdot I$$

$$r_x = (V - E_x) / I$$

Se comete el error de suponer nula la intensidad que circula por el voltímetro.



A.55 Circuitos más complejos requieren para calcular las magnitudes eléctricas de las reglas de Kirchoff. Una vez introducidas por el profesor procede aplicarlas a uno o varios circuitos para comprobar su utilidad.

Se denomina **RED** a todo sistema de conductores que formen un circuito cerrado.

Se denomina **MALLA** a todo circuito cerrado elemental.

Se denomina **NUDO** a todo punto donde concurren tres o más conductores.

Las reglas de Kirchoff son dos:

- 1) Regla de los nudos: *La suma de las intensidades que se dirigen al nudo es igual a la suma de las que se alejan del mismo.*

Esta regla se basa en que la carga eléctrica no puede acumularse en ningún punto.

Para cada nudo se puede escribir una ecuación; si hay N nudos es evidente que sólo $N-1$ ecuaciones son independientes.

- 2) Regla de las mallas: *La suma algebraica de las f.e.m. existentes en una malla cualquiera es igual a la suma algebraica de los productos $R \cdot i$ extendida a los conductores que forman la malla.*

Los productos $R \cdot i$ se toman positivos o negativos, según corresponda a conductores recorridos en el mismo u opuesto sentido al fijado de referencia.

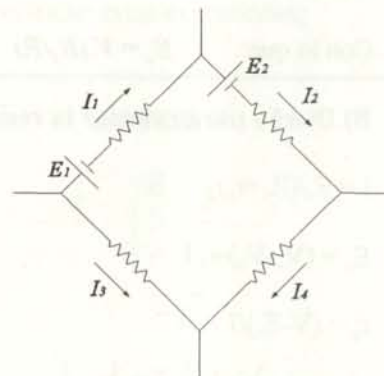
Asimismo las *f.e.m.* serán positivas si las atravesamos del signo - al + y negativas si las atravesamos del signo + al -.

Se pueden obtener $t-(n-1)$ ecuaciones independientes,

siendo $t = n^{\circ}$ de tramos diferentes

y $n = n^{\circ}$ de nudos.

Ejemplo: En una malla como la de la figura consideramos positiva la intensidad I_3 y negativas las I_1 , I_2 e I_4 , ya que son opuestas al sentido fijado. Asimismo es positiva la f.e.m. E_1 y negativa la E_2 .



En la figura adjunta los nudos y las mallas son:

Nudos: *c* y *d*

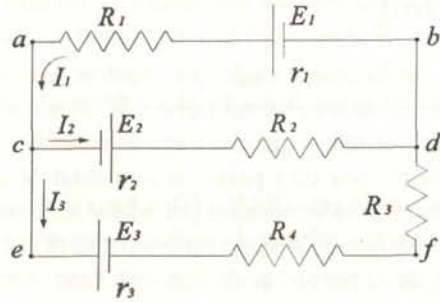
Mallas: *abdc*, *abfe* y *cdfe*

Las ecuaciones independientes son:

- Nudo *c*: $I_1 + I_3 = I_2$

- Malla *abdc*: $-E_1 - E_2 = -R_1 \cdot I_1 - r_1 \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2 - r_2 \cdot I_2$

- Malla *cdfe*: $E_2 + E_3 = r_2 \cdot I_2 + R_2 \cdot I_2 + R_4 \cdot I_3 + r_3 \cdot I_3 + R_3 \cdot I_3$



Resolviendo el sistema de ecuaciones para los datos que se dan se obtiene que:

$$\begin{aligned} I_1 + I_3 &= I_2 \\ -10 - 10 &= -5,2 \cdot I_1 - 5,2 \cdot I_2 \\ 10 + 10 &= 5,2 \cdot I_1 + 10,2 \cdot I_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= 1,316 \text{ A} \\ I_1 &= 1,265 \text{ A} \\ I_2 &= 2,581 \text{ A} \end{aligned}$$

$$V_c - V_d = -(E_2 - r_2 \cdot I_2 - R_2 \cdot I_2) = -(10 - 0,2 \cdot 2,581 - 5 \cdot 2,581) = 3,421 \text{ V}$$

$$V_c - V_d = V_a - V_b = -R_1 \cdot I_1 + E_1 + r_1 \cdot I_1 = -5 \cdot 1,265 + 10 - 0,2 \cdot 1,265 = 3,422 \text{ V}$$

$$V_e - V_f = E_3 - r_3 \cdot I_3 - R_4 \cdot I_3 = 10 - 0,2 \cdot 1,316 - 5 \cdot 1,316 = 3,1568 \text{ V}$$

A.56 Resolvemos el problema completo siguiendo los pasos reiteradamente señalados.

a) Análisis de la situación problemática y operativización.

Se considera que los hilos conductores no ofrecen resistencia al paso de la corriente, por tanto no disminuyen el potencial en ellos.

Se entiende que la pila es nueva y que la resistencia es prácticamente nula.

Se supone que la bombilla tiene una resistencia constante, no depende de la temperatura ni de cualquier otra magnitud.

Fijamos la *intensidad de corriente eléctrica* que circula por cada bombilla como magnitud incógnita del problema ya que el brillo (calidad) no lo podemos cuantificar. También se podía haber tomado como magnitud incógnita la *potencia eléctrica* de las bombillas. Las dos magnitudes, intensidad y potencia, están relacionadas a través de la resistencia (magnitud que caracteriza a las bombillas) que la hemos supuesto constante.

Lógicamente el aumento del brillo de las bombillas se debe a que la intensidad que circula por el filamento aumenta y por tanto la potencia también.

b) Hipótesis.

Se ha comprobado que muchos alumnos, cuando tratan de señalar lo que ocurre en el circuito al aumentar el valor de la resistencia R , razonan de este modo: la intensidad que circula por la bombilla B_1 no se ve alterada y cuando llega al nudo parte se va por B_1 y parte por R dependiendo del valor de sus resistencias; por otra parte, al aumentar R aumenta la oposición al paso de la corriente por esa rama, disminuyendo la intensidad por ella y aumentando la que circula por B_2 . En este razonamiento se puede comprobar que el alumno sólo considera las repercusiones que ocurren en la parte del circuito situado después de la perturbación (en este caso: modificación de la resistencia); no considera que ésta afecta a la totalidad del mismo.

Razonamientos correctos:

- Al aumentar el valor de la resistencia R , la resistencia equivalente a la asociación en paralelo (R_2, R) aumenta y la resistencia total del circuito aumenta. Esto hace que la intensidad que circula por la bombilla B_1 disminuya y su brillo, en consecuencia, **disminuirá**.

- Al aumenta R , parece que puede entenderse que la intensidad que pasa por ella baja y la que va por la bombilla B_2 (la otra rama de la derivación) sube. Sin embargo hay que considerar también, como ya se ha dicho en el párrafo anterior, que la intensidad que circula por B_1 ha disminuido y esta es la suma de la que circula por R y la que circula por B_2 . Por lo tanto, mediante este razonamiento no se puede concluir si la bombilla B_2 aumenta o disminuye de brillo, dependerá de qué efecto predomine.

Razonemos de otra forma: en términos de diferencia de potencial (d.d.p.). Hemos dicho que al aumentar R disminuye la intensidad que circula por B_1 . Esto hace que la d.d.p. entre sus extremos disminuya (teniendo en cuenta la ley de ohm), ya que R_1 no cambia. Si disminuye la d.d.p. entre B_1 , la d.d.p. entre la bombilla B_2 aumentará, ya que la que existe entre los bornes de la pila es constante. Por último, considerando la ley de ohm, si la d.d.p. entre la bombilla B_2 aumenta y su resistencia es constante, la intensidad que circule por ella y su brillo **aumentará**.

Situaciones sencillas:

- Si la resistencia R es cero toda la intensidad irá por esta rama y por la bombilla B_2 nada (no brilla); esta bombilla está cortocircuitada. Al ir aumentando R la bombilla B_2 empezará a brillar e irá aumentando su brillo poco a poco.

- Si todas las resistencias son iguales $R=R_1=R_2$ o bien $R_2=R$ la intensidad que circula por B_2 y R es la misma y la mitad que la que circula por B_1 .

- Si la resistencia R es muy grande comparada con R_2 no circulará apenas intensidad por ella y, por tanto, la mayor parte de la intensidad irá por B_2 y será la misma que la que circula por B_1 ; brillarán igual si tienen la misma resistencia.

c) Estrategias.*Estrategia 1*

1) La d.d.p. entre los extremos de B_2 y R es la misma ($V_d - V_e = V_f - V_g$). Aplicar la ley de Ohm entre los puntos c y h por la rama de arriba y por la rama de abajo. De esta forma se relaciona la intensidad que circula por B_2 con la que circula por la resistencia R .

- 2) Aplicar la ley de Ohm a todo el circuito para obtener la intensidad que circula por B_1 en función de la f.e.m. (E) de la pila, las resistencias de las bombillas y la resistencia R .
- 3) Analizar lo que ocurre a la intensidad que circula por la bombilla B_1 (I_1) si R aumenta un valor ΔR .
- 4) Con las expresiones $I_1=f(E,R_1,R_2,R)$ calculada en 2) e $I_2=f(I_R,R_2,R)$ calculada en 1) y teniendo en cuenta que $I_1=I_2+I_R$ obtener una expresión que relacione I_2 con las características de los elementos del circuito.
- 5) Analizar lo que ocurre a la intensidad que circula por B_2 (I_2) en la expresión anterior si R aumenta un valor ΔR .

Estrategia II

- 1) Aplicar la primera ley de Kirchoff a uno de los dos nudos: A y B .
- 2) Aplicar la segunda ley de kirchoff a dos de las tres mallas de la red (circuito): $abcdehia$, $abcfghia$ y $degfd$.
- 3) Despejar de las tres ecuaciones anteriores las intensidades I_1 e I_2 en función de los datos conocidos (las resistencias y la f.e.m.).
- 4) Analizar lo que ocurre a las intensidades que circulan por B_1 y B_2 (I_1 e I_2) en las expresiones anteriores si R aumenta un valor ΔR .

d) Resolución.

Estrategia I

1) $I_2 \cdot R_2 = I_R \cdot R \Rightarrow I_2 = I_R \cdot R / R_2$ (1)

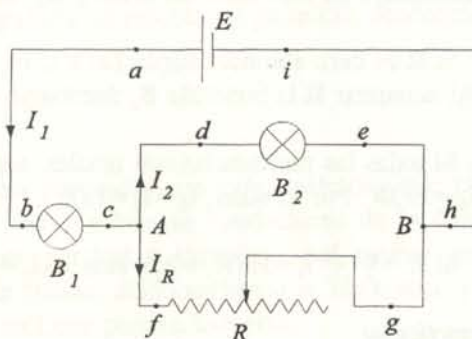
2) $I_1 = \frac{E}{R_1 + \frac{R \cdot R_2}{R + R_2}}$ (2)

3) $I_1 = \frac{E}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_2}}}$

Si R aumenta $\Rightarrow 1/R$ disminuye $\Rightarrow (1/R + 1/R_2)$ disminuye $\Rightarrow 1/(1/R + 1/R_2)$ aumenta $\Rightarrow R_1 + 1/(1/R + 1/R_2)$ aumenta $\Rightarrow I_1$ disminuye \Rightarrow El brillo de B_1 disminuye.

4) $I_1 = I_2 + I_R \qquad I_R = I_1 - I_2$ (3)

De (1) y (3) $I_2 = (I_1 - I_2) \cdot R / R_2 \Rightarrow I_2 \cdot R_2 = I_1 \cdot R - I_2 \cdot R \Rightarrow I_2 = I_1 \cdot R / (R + R_2)$ (4)



$$\text{De (4) y (2)} \quad I_2 = \frac{E}{R_1 + \frac{R \cdot R_2}{R + R_2}} \cdot \frac{R}{R + R_2} = \frac{E \cdot R}{R \cdot R_1 + R_1 \cdot R_2 + R \cdot R_2} = \frac{E}{R_1 + \frac{R \cdot R_2}{R}} \quad (5)$$

Si R aumenta $\Rightarrow (R_1 \cdot R_2)/R$ disminuye $\Rightarrow R_1 + (R_1 \cdot R_2)/R + R_2$ disminuye $\Rightarrow I_2$ aumenta
 \Rightarrow El brillo de B_2 aumenta.

Estrategia II

1) Nudo A: $I_1 = I_2 + I_R$

2) Malla abcdehía $E = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$

Malla abcfghía $E = I_1 \cdot R_1 + I_R \cdot R$

3) De las tres ecuaciones anteriores se obtiene que:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_2}}} \quad I_2 = \frac{E}{R_1 + \frac{R \cdot R_2}{R} + R_2}$$

4) Igual razonamiento que en la estrategia anterior.

Análisis de los resultados:

- Los resultados obtenidos verifican las hipótesis emitidas. Al aumentar R la bombilla B_1 disminuye de intensidad de brillo y B_2 aumenta.

- Si R es cero entonces según (2) y (5) $I_1 = E/R_1$ e $I_2 = 0$, con lo cual B_1 brilla y B_2 no brilla. Al aumentar R la bombilla B_1 disminuye el brillo y la B_2 comienza a lucir.

- Si todas las resistencias son iguales, según (2) $I_1 = 2E/3R$, según (5) $I_2 = E/3R$ y según (3) $I_R = E/3R$. Por lo tanto, $I_R = I_2 = I_1/2$.

- Si $R \rightarrow \infty \Rightarrow I_1 = E/(R_1 + R_2)$ (de 2) e $I_2 = E/(R_1 + R_2)$ (de 5) e $I_R = 0$ (de 3)

e) Caso particular

Suponemos que $E = 24V$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$.

$$\text{- Si } R = 6\Omega \quad \Rightarrow \quad I_1 = \frac{24}{2 + \frac{6 \cdot 3}{6 \cdot 3}} = \frac{24}{2 + 2} = \frac{24}{4} = 6A \quad (\text{de 2}) \text{ e}$$

$$I_2 = \frac{24 \cdot 6}{6 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 6 \cdot 3} = 4A \quad (\text{de 5})$$

$$\text{- Si } R = 10\Omega \quad \Rightarrow \quad I_1 = \frac{24}{2 \cdot \frac{10 \cdot 3}{10 \cdot 3}} = \frac{24}{2 \cdot 2,3} = \frac{24}{4,6} = 5,22 \text{ A} \quad (\text{de 2) e}$$

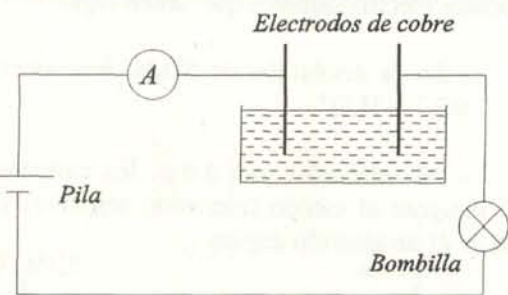
$$I_2 = \frac{24 \cdot 10}{10 \cdot 2 \cdot 2,3 + 10 \cdot 3} = 4,3 \text{ A} \quad (\text{de 5)}$$

Por lo tanto, al aumentar R , I_1 disminuye e I_2 aumenta.

A.57 Se plantea una pequeña investigación relacionada con la conducción eléctrica por líquidos.

Utilizando disoluciones de agua-azúcar, agua-sal y agua-ácido sulfúrico se puede observar que el amperímetro sólo señala corriente en las dos últimas.

Moviendo los electrodos, variando la concentración y observando el desprendimiento de gases se concluye que:



- "El agua pura y las disoluciones de azúcar en agua no son conductoras de la corriente eléctrica; sin embargo, las disoluciones de sal y de ácido sulfúrico sí lo son".
- "La conductividad de las disoluciones de sal y de ácido sulfúrico aumenta al aumentar la concentración de las mismas, así como al aumentar la superficie de los electrodos y al disminuir la separación entre los mismos".
- "La conducción en las disoluciones está acompañada de reacciones químicas, fenómeno que en los metales no sucede".

Interpretación de las conclusiones:

Para que un material sea conductor debe tener partículas con carga eléctrica que puedan moverse. Los metales poseen electrones libres, por eso son buenos conductores de la corriente eléctrica. Las disoluciones conductoras deben poseer partículas cargadas. Así ocurre que las disoluciones buenas conductoras son las iónicas (sal de cocina, ácido sulfúrico + H_2O , etc), ya que poseen cationes (Na^+ , H_3O^+ ...) y aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , etc), que pueden moverse.

El agua destilada también posee iones H_3O^+ y OH^- procedentes de la propia disociación de alguna de sus moléculas, pero estos están en una concentración tan pequeña que no comunican al agua conductividad apreciable.

Las disoluciones de azúcar no presentan conductividad porque las moléculas de esta sustancia se disuelven sin disociarse en iones. El azúcar forma disoluciones moleculares.

En el caso de las disoluciones iónicas, los iones ceden o captan electrones en los electrodos, dando lugar a procesos químicos donde se desprenden gases.

En general, las disoluciones diluidas de sales, ácidos y bases en agua son conductoras. No obstante, debemos advertir que para que las disoluciones sean conductoras hay que escoger tanto el soluto como el disolvente. Así, por ejemplo, las disoluciones de azúcares y alcoholes en agua son muy poco conductoras, mientras que el clorhídrico disuelto en agua da lugar a un medio muy conductor. En cambio, cuando dicho ácido se agrega al benceno la conductividad es muy pequeña.

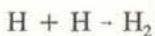
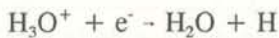
A.58 Pretende identificar la electrólisis como un proceso que permite descomponer sustancias e interpretar los procesos electródicos en la electrólisis de alguna(s) sustancia(s).

A) Electrolisis del agua:

Procesos electroquímicos que tienen lugar:

- En la disolución de SO_4H_2 hay iones SO_4^- y H_3O^+ .

- Al establecer una d.d.p. los cationes H_3O^+ emigran al cátodo (electrodo negativo) y toman de él un electrón según:



Mientras tanto los aniones SO_4^- emigran al ánodo (electrodo positivo), cediendo los electrones según: $\text{SO}_4^- \rightarrow (\text{SO}_4) + 2e^-$

Como (SO_4) es inestable se transforma en SO_3 según $(\text{SO}_4) \rightarrow \text{SO}_3 + \text{O}$, de tal forma que:

- El SO_3 pasa a SO_4^- según: $\text{SO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^- + 2\text{H}_3\text{O}^+$
- El O pasa a O_2 según: $\text{O} + \text{O} \rightarrow \text{O}_2$.

Como se puede observar, el ácido sulfúrico no se consume.

El oxígeno se desprende en el ánodo y el hidrógeno en el cátodo. Se desprende el doble de H_2 que de O_2 según: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2$.

B) Electrólisis de SO_4Cu con electrodos de cobre:

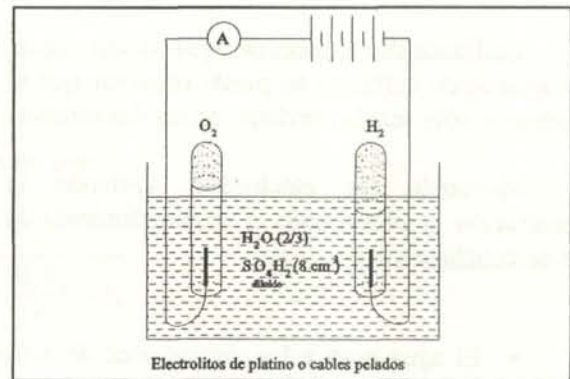
Procesos:

En el ánodo: $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e^-$ El ánodo pierde masa.

En el cátodo: $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$ El cátodo se recubre de una capa de cobre.

En este caso no se descargan en el ánodo los iones SO_4^- como ocurría en la electrólisis del agua porque siempre se produce el proceso que está más favorecido. En este caso es más fácil que se produzca la oxidación del cobre que la del oxígeno.

Con ánodo de platino se desprende oxígeno.



C) Electrólisis del cloruro sódico disuelto en agua:

Procesos:

En el ánodo: $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$ y $Cl_2 + H_2O \rightarrow ClO_2 + Cl^-$ (Reacción parcial)

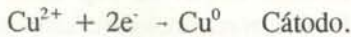
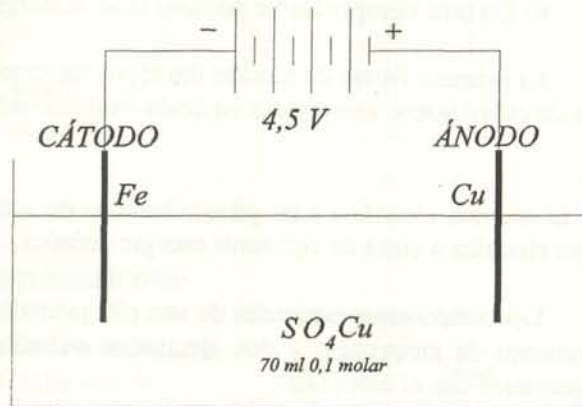
En el cátodo: $Na^+ + e^- \rightarrow Na$

$2Na + 2H_2O \rightarrow 2Na^+ + H_2$ - Se desprende H_2 .

Conclusiones: Las sustancias liberadas en los electrodos dependen de la clase de iones existentes en cada momento en la disolución, de la clase de electrones utilizados, de posibles reacciones secundarias y de la velocidad con que se lleve a cabo el proceso.

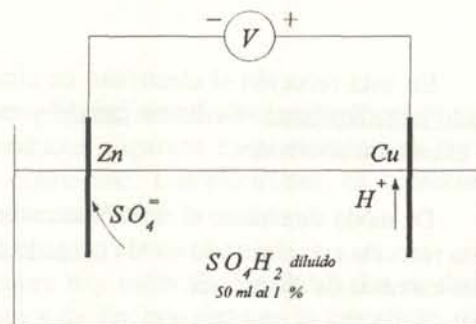
A.59 Es una actividad de aplicación a la técnica del fenómeno de la electrólisis. Se pueden obtener recubrimientos metálicos para el acabado de superficies, utilizando medios eléctricos.

En unos cuatro minutos la placa de Fe aparecerá recubierta por una capa de color rojo-marrón. Las placas deben haberse lijado y limpiado con un paño previamente, para obtener una buena adherencia del recubrimiento de cobre.



A.60 Pretende capacitar al alumno para que construya fuentes de tensión electroquímicas y perciba, mediante pruebas de polaridad efectuadas en fuentes de tensión electroquímicas, que se pueden disponer los metales en una serie que permite sacar conclusiones cualitativas sobre la magnitud de la tensión.

BORNE -	BORNE +	Desv. de manecilla		Tensión
		Izda	Dcha	
Zn	Cu		x	1 V
Fe	Cu		x	0,5
Pb	Cu		x	0,4
Pb	Zn	x		0,6 V
Pb	Fe	x		0,2 V
Zn	Fe		x	0,5 V



Conclusiones:

- 1) La tensión que marca el voltímetro no depende de la distancia entre los electrodos.
 - 2) La tensión indicada no depende del tamaño de la magnitud de las superficies de los electrodos inmersos.
 - 3) La tensión indicada depende del material de los electrodos. En la tabla se dan los valores que se obtienen.
 - 4) El voltímetro no señala tensión si los dos electrodos son iguales.
- La "diferencia de orden prioritario" de los metales en cuanto a la tensión será:



El Cu será siempre borne positivo si se sumerge en SO_4H_2 diluido con otro metal (Zn, Fe, Pb).

La primera fuente de tensión duradera fue construida por VOLTA y estaba constituida por dos placas de cobre y zinc sumergidas en ácido sulfúrico diluido.

A.61 El alumno identifica a las pilas y baterías de acumuladores como generadores que proporcionan energía eléctrica a costa de consumir energía química.

Los componentes esenciales de una pila primaria son un electrólito (líquido en donde se produce movimiento de electrones) y dos electrodos de materiales diferentes, uno de los cuales reacciona químicamente con el electrolito.

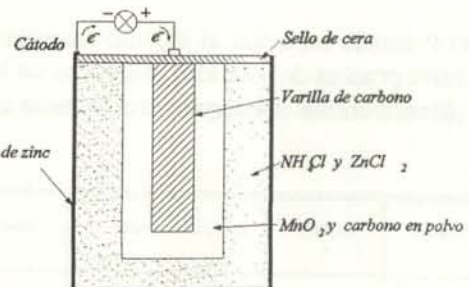
Una pila muy habitual es la pila seca de carbono y cinc; el electrolito es una pasta húmeda de cloruro de amonio; un electrodo es una varilla de carbono y el otro, una cubierta de cinc, que se consume conforme se utiliza la pila.

Cuando se conecta el circuito externo a la pila, los átomos de cinc reaccionan con el electrolito y los electrones sueltos, que permanecen con la cubierta de cinc.

En esta reacción el electrolito de cinc queda cargado negativamente. Se llama cátodo y es el que tiene exceso de electrones.

De modo simultáneo el electrolito extrae un número igual de electrones del electrodo de carbono. En esta reacción este electrodo queda cargado positivamente. Al electrodo positivo se le denomina ánodo y tiene carencia de electrones.

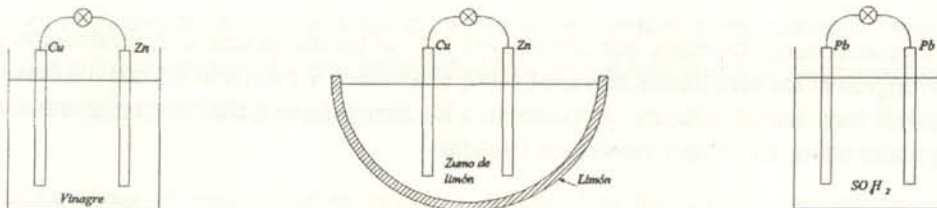
Los electrones se desplazan a través del circuito externo, del cátodo al ánodo, debido a la diferencia de potencial entre los electrodos. Así, la pila actúa como una especie de "bomba de



electrones" que toma del ánodo electrones con baja energía potencial y los suministra con alta energía potencial al cátodo, mientras la corriente fluye por el circuito externo.

Si se abre el circuito y se detiene la corriente, se establece rápidamente la máxima diferencia de potencial a través de la pila. La magnitud de esta diferencia de potencial del circuito abierto sólo dependen de los materiales que constituyen los electrodos. Para las pilas de carbono y cinc, es aproximadamente de 1,5 voltios. Cuanto mayor es la superficie de los electrodos, tanto mayor será la corriente que puede proporcionar la pila; sin embargo, es conveniente utilizarla para intensidades bajas (0,25 A).

Construcciones posibles de pilas:

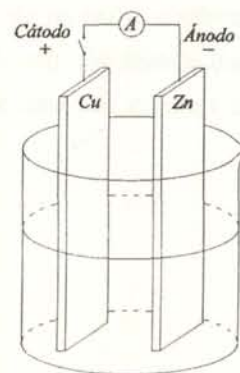


A.62 Una pila húmeda se puede construir de la siguiente forma:

Se echa en el vaso un poco de agua destilada y se le añaden unos 15 gramos de sulfato de cobre. Se agita con la varilla hasta que se hayan disuelto. Se añade más agua destilada hasta completar unos 200 ml.

Se introducen los electrodos en la disolución, de forma que no se toquen entre ellos y se efectúa el montaje de la figura.

Al pulsar el interruptor se observa paso de corriente eléctrica, ya que se desvía el amperímetro. ¿Cuál es el electrodo positivo?.



Conclusiones:

"Cuando se introducen un electrodo de cobre y otro de cinc en una disolución de sal de cobre y se establece un circuito externo mediante un conductor, aparece en el circuito una corriente eléctrica que recorre este circuito en el sentido cobre-cinc. Los electrones, en consecuencia, recorrerán el conductor metálico en el sentido cinc-cobre".

Interpretación: En la disolución de sulfato de cobre hay iones Cu^{2+} e $\text{SO}_4^{=}$. En el electrodo negativo (electrodo de cinc) que se llama **ánodo**, los átomos de Zn, que están en la superficie, pasan a la disolución según la reacción de oxidación $\text{Zn} - \text{Zn}^{2+} + 2e^-$. Los dos electrones recorren el circuito externo, llegando al electrodo de cobre.

En el electrodo positivo (electrodo de cobre) que se llama cátodo, los iones Cu^{2+} ganan los electrones según la reacción de reducción: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$, transformándose en átomos de cobre que se incorporan al electrodo. Los dos electrones los han tomado del circuito externo. (Estos electrones circulan por el conductor exterior del electrodo de Zn al electrodo de Cu).

En la disolución aparece un exceso de carga positiva en la región próxima al ánodo de Zn, provocada por los iones Zn^{2+} y un defecto de esta en las proximidades del cátodo de Cu, debido a la eliminación de iones Cu^{2+} . Este efecto provoca una migración de los aniones $\text{SO}_4^{=}$ de la zona del cátodo hacia la del ánodo, apareciendo en el electrolito una corriente eléctrica que, de acuerdo con el convenio de sentido establecido, tendrá el sentido ánodo-cátodo.

Es preciso destacar que la corriente por el circuito exterior metálico tiene el sentido Cu-Zn y es una corriente electrónica, mientras que la corriente en el electrolito tiene el sentido Zn-Cu y es una corriente iónica.

A.62 Los mapas conceptuales creemos que constituyen uno de los instrumentos de evaluación más ricos. Nos permite averiguar si los estudiantes han analizado, sintetizado y evaluado los nuevos conocimientos. Por ello, al final de cada unidad didáctica, proponemos a los alumnos que trabajen en elaborar una o varios mapas conceptuales sobre las ideas y conceptos tratados.

V.2.3 UNIDAD DIDÁCTICA 3: EL ELECTROMAGNETISMO.

En la primera unidad didáctica sobre la electricidad estudiamos la ley básica que gobierna las fuerzas electrostáticas (la fuerza mutua que actúa sobre las cargas eléctricas en reposo). Ahora dirigimos nuestra atención a otro tipo de fuerza totalmente diferente. Los experimentos demuestran que una corriente eléctrica ejerce una fuerza sobre otra segunda corriente eléctrica. En muchos aspectos, la naturaleza de estas fuerzas entre cargas móviles posee un notable contraste con la naturaleza de las fuerzas electrostáticas. Estas fuerzas representan un fenómeno fundamentalmente más complejo que aquél en el que intervienen las fuerzas electrostáticas y por ello su descripción es bastante más complicada.

Las fuerzas entre corrientes eléctricas se denominan fuerzas magnéticas, debido a que precisamente este fenómeno es el que justifica las fuerzas que actúan entre materiales magnéticos tales como trocitos de hierro imantados. En esta unidad didáctica se presenta la teoría del magnetismo siguiendo un desarrollo histórico parcialmente unificado.

Debido a que el estudio del magnetismo empezó casi dos siglos antes que el estudio de la electricidad comenzamos analizando los experimentos y teorías primitivas que empezaron con la noción de polos magnéticos, interacciones entre ellos (comparándolas con las existentes entre cargas) y el descubrimiento de Oersted. A continuación se analiza más detenidamente las acciones que producen los campos magnéticos sobre las cargas en movimiento para pasar después a estudiar el fenómeno contrario: los campos magnéticos creados por cargas en movimiento y volver de nuevo a profundizar en las interacciones entre corrientes constantes. Por último se establece la teoría electrónica que explica el comportamiento de las sustancias en relación con el magnetismo, se analizan algunas aplicaciones interesantes y se trata algún circuito magnético sencillo.

ELECTROMAGNETISMO

El índice del tema es el siguiente:

1. Fenómenos magnéticos: problemas que plantean.
2. Relación entre la electricidad y el magnetismo.
3. Acción del campo magnético sobre cargas en movimiento.
4. Campo magnético creado por cargas en movimiento.
5. Teorema de Ampere: aplicaciones.
6. Interacciones entre corrientes eléctricas.
7. Propiedades magnéticas de la materia.

8. Aplicaciones del electromagnetismo.

9. Flujo y circuitos magnéticos.

*Los primeros fenómenos magnéticos observados fueron, sin duda, los relacionados con los llamados imanes naturales, que son trozos de un mineral de hierro (óxido de hierro: Fe_3O_4) encontrado junto a la antigua ciudad de la Grecia Jónica de Magnesia (de donde viene el término **magnético**). Estos imanes naturales tienen la propiedad de atraer al hierro no imanado, siendo el efecto más pronunciado en ciertas regiones del imán llamadas **polos**. Era conocido de los chinos, antes del año 121 de nuestra era, que una barra de hierro, después de haber sido colocada cerca de un imán natural, adquiere y conserva esta propiedad de los imanes naturales, y que si dicha barra se suspende libremente de modo que pueda girar alrededor de un eje vertical se orienta aproximadamente en la dirección Norte-Sur. El uso de los imanes para facilitar la navegación se remonta por lo menos al siglo undécimo, posiblemente por los chinos o los árabes. En 1296, Petrus Peregrinus de Maricourt, un cruzado francés, describió detalladamente la brújula y su empleo en navegación y fue el primer escritor que aplicó el término polos a los extremos del imán en donde parecen concentrarse las fuerzas magnéticas.*

El primer compendio sistemático sobre el magnetismo es el libro de 1600 "De Magnete" de Gilbert (1544-1603), que contiene un detallado estudio sobre la fenomenología de los imanes y el funcionamiento de la brújula, que ha pasado a formar parte de la experiencia cotidiana.

1.- FENÓMENOS MAGNÉTICOS: PROBLEMAS QUE PLANTEAN.

A.1 Exponer las ideas que tengáis sobre el comportamiento y propiedades de los imanes, indicando posibles problemas que deban ser objeto de investigación.

A.2 Formular hipótesis sobre los problemas planteados; en particular, ¿de qué dependerá la fuerza que se ejercen dos imanes?.

A.3 Realizar el diseño adecuado para contrastar las ideas expuestas.

A.4 Después de las ideas expuestas, consideraréis necesario definir un nuevo campo. En caso afirmativo, definirlo e indicar cómo se puede reproducir alguno mediante la visualización de las líneas de fuerza que produce.

A.5 Establecer, a la luz de lo visto hasta aquí, las semejanzas y diferencias entre los fenómenos eléctricos y el magnetismo natural.

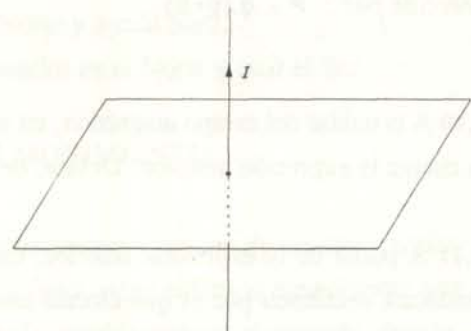
2.- RELACIÓN ENTRE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO.

En los comienzos del siglo XVIII empezaron a aparecer informes de que un rayo podía alterar el magnetismo de una brújula y magnetizar cuchillos y cucharas. Algunos investigadores habían creído haber magnetizado agujas de acero por descarga a través de ellas de una botella de Leyden. Estos hechos sugerían que la electricidad y el magnetismo estaban íntimamente relacionados de alguna manera. Ninguno de estos informes sorprendió a los filósofos naturalistas del siglo diecinueve en Europa. Ellos estaban convencidos que todos los fenómenos observados en la naturaleza eran solamente efectos diferentes de una singular "fuerza". La creencia en la unidad de la fuerza física les llevó naturalmente a esperar que las fuerzas eléctricas y magnéticas estaban asociadas o relacionadas de alguna manera.

La primera evidencia concreta de la existencia de una conexión entre la electricidad y el magnetismo data del año 1820. El 21 de julio, el físico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) descubrió la interacción existente entre el magnetismo y las corrientes eléctricas. Este hallazgo lo comunicó a la Academia Francesa de las Ciencias el 18 de septiembre del mismo año.

A.6 Diseñar algún procedimiento experimental que pueda servir para poner de manifiesto la posible relación entre cargas eléctricas e imanes.

A.7 Formular hipótesis acerca de la dependencia de la intensidad del campo magnético creado por una corriente rectilínea en un punto cualquiera. Así mismo, dibuja en el esquema adjunto las líneas de fuerza del campo producido por la corriente anterior.



A.8 Diseñar experiencias para comprobar las hipótesis anteriores. Realizarlas y extraer conclusiones.

3.- ACCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO SOBRE CARGAS EN MOVIMIENTO.

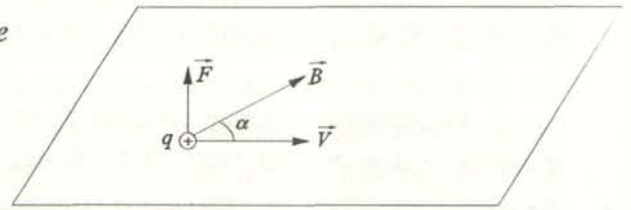
Por una parte sabemos -por experimentos de William Gilbert (1600), John Michell (1750) y Charles Coulomb (1785) entre otros- que dos imanes interactúan entre sí dependiendo de la distancia a que se encuentran los polos, de la "intensidad" de los mismos y del "tipo o clase" de polos que interaccionan. Por otra parte, Oersted descubrió que una corriente eléctrica ejerce una fuerza sobre una aguja imantada orientándola en una determinada dirección. Por analogía, el efecto que produce el par imán 1-imán 2 (fuerza de 1 sobre 2) es el mismo que el que produce el par corriente eléctrica-aguja imantada (fuerza de la corriente sobre la aguja). Ahora parece lógico pensar que la aguja

imantada (imán) produzca una fuerza sobre la corriente eléctrica, ya que el imán 2 también produce una fuerza sobre el imán 1. Esta consecuencia fue demostrada en 1821 por Michael Faraday.

A.9 Diseñar una experiencia para comprobar si un campo magnético produce algún efecto en una corriente eléctrica. Emitir hipótesis sobre las magnitudes que intervienen.

Mucho después del descubrimiento de Faraday, H.A. Rowland demostró que los efectos magnéticos de las cargas móviles son idénticos a los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas.

Hoy día, gracias a Hendrik Lorentz (1853-1928), conocemos que cuando una carga positiva q se mueve con una velocidad v , dentro de un campo magnético de intensidad B , se encuentra sometida a una fuerza F llamada **Fuerza Lorentz**, dada en magnitud y dirección por : $\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$



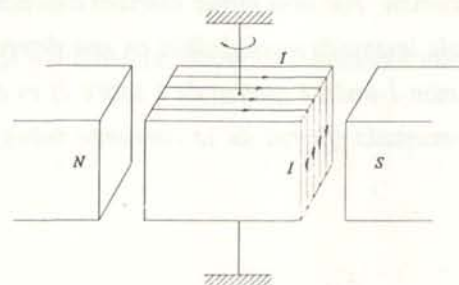
A.10 A la unidad del campo magnético, en el S.I., se la llama **Tesla o Miriagauss**. Definirla teniendo en cuenta la expresión anterior. Define, del mismo modo, el **Gauss** (unidad del sistema C.G.S.).

A.11 A partir de la expresión anterior, calcular la fuerza que causa un campo magnético sobre un conductor rectilíneo por el que circula una corriente de intensidad I . Comparar el resultado con el obtenido en la actividad A.9.

Si el conductor es un elemento de corriente de longitud dl obtendrás la **segunda ley de LAPLACE**.

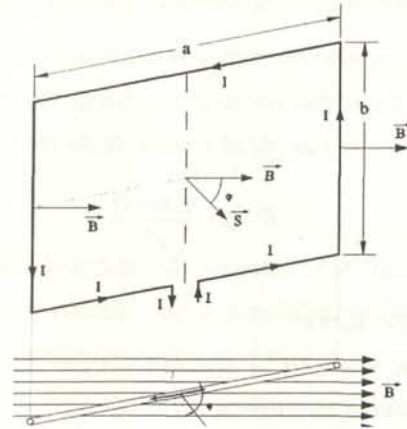
Después del descubrimiento de Oersted varios investigadores se preocuparon por cuantificar la fuerza ejercida sobre los imanes por corrientes de diferentes disposiciones geométricas. André Marie Ampère, sólo dos semanas después de que Oersted anunciara su descubrimiento a la Academia Francesa, se dirigió a la misma informando sobre los resultados de sus experimentos que demostraban que una "espiral galvánica" (bobina) actúa para todos los efectos magnéticos como si fuese un imán de hierro.

A.12 ¿Por qué gira la bobina de la figura cuando circula intensidad por ella?. ¿Qué aparatos basan su funcionamiento en el principio anterior?.



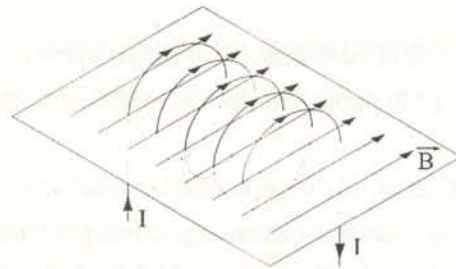
A.13 Calcular la interacción que produce un campo magnético uniforme sobre una espira por la que circula una corriente de intensidad I . Os resultará sencillo si consideráis una espira rectangular, como la de la figura. Considerar que inicialmente la normal a la espira forma un ángulo con la dirección del campo magnético.

Indicar las posiciones de equilibrio, estable e inestable, de la espira.



A.14 Calcular la interacción que produce un campo magnético uniforme sobre un solenoide recto (o bobina) por el que circula una corriente de intensidad I .

Indicar otro instrumento que se comporte igual que la bobina.



A.15 Diseñar un experimento para averiguar que existen dos puntos (polos) de un imán donde está concentrada toda la fuerza. ¿A cuál de los polos se le llama Norte y a cuál Sur?.

Indicar qué extremos del solenoide de la actividad anterior es el Norte y cuál el Sur.

4. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR CARGAS EN MOVIMIENTO.

En el apartado anterior se ha puesto de manifiesto las consecuencias de uno de los dos vínculos fundamentales entre la carga eléctrica y el campo magnético: "una carga eléctrica experimenta una fuerza cuando se mueve en un campo magnético". En este apartado consideraremos el segundo vínculo, tan importante como el primero, que versa sobre lo siguiente: cuando una carga eléctrica está en movimiento, es decir, cuando existe corriente eléctrica, existirá en su vecindad un campo magnético. En consecuencia una carga crea un campo eléctrico y si está en movimiento crea además un campo magnético.

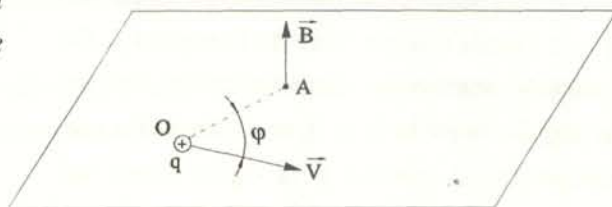
J. B. Biot y F. Savart fueron los primeros investigadores que comunicaron a la Academia Francesa el 30 de octubre de 1820 la relación o dependencia existente entre el campo magnético debido a una corriente que circula por un hilo largo con la distancia al mismo. A partir de estos resultados el gran matemático Pierre de Laplace dedujo que el campo magnético ("fuerza magnética") debido a un elemento de longitud de un hilo por el que circula una corriente varía en razón inversa con el cuadrado de la distancia al elemento. Sin embargo no fue capaz de deducir cómo depende la fuerza de la orientación del elemento de línea respecto al punto de observación. Con objeto de investigar la dependencia angular de la fuerza, Biot midió las fuerzas ejercidas sobre una aguja magnética debidas a las corrientes en ciertos hilos que tuviesen un codo angular y de este modo dedujo con éxito la ley completa que da el campo magnético debido a un elemento de línea de corriente.

El campo magnético \vec{B} elemental creado en un punto A por una carga q positiva que se mueve en el vacío con velocidad \vec{v} viene dado por:

$$\vec{B} = k \cdot \frac{q \cdot (\vec{v} \times \vec{r})}{r^3}$$

Donde $K = \mu_0/4\pi$

Siendo $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ V.s/A.m (N/A}^2\text{)}$ la permeabilidad magnética del vacío.



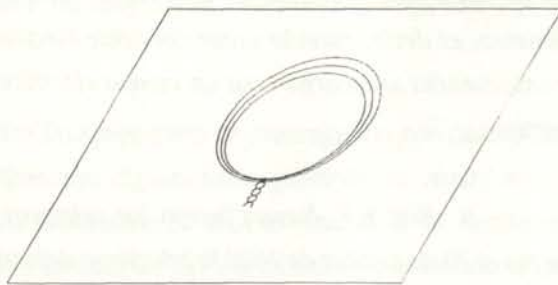
Si el movimiento de la carga ocurre en otro medio, la permeabilidad de éste μ es igual a $\mu' \cdot \mu_0$, siendo μ' la permeabilidad del medio respecto al vacío (permeabilidad relativa).

A.16 Calcular el campo magnético creado por un elemento de corriente de sección S , longitud dl y por el que se mueven n partículas positivas por unidad de volumen, todas ellas con velocidad \vec{v} , en un punto P situado a una distancia r . (**1ª Ley de Laplace, establecida por Biot**).

A.17 Aplicando la ley anterior, calcular el campo magnético creado por una corriente rectilínea indefinida, por la que circula una corriente I , en un punto P situado a una distancia s . (**Ley de Biot-Savart**).

A.18 ¿Qué dirección señalará una aguja imantada que oscila libremente en un plano horizontal, colocada en las proximidades de un conductor por el que circula una corriente?. ¿Qué dirección señalará si la aguja oscila en un plano vertical?.

A.19 En las espiras concéntricas de la figura, dibujar cómo se orientaría una aguja imantada colocada en el centro. ¿De qué depende la intensidad del campo magnético?. Emitir hipótesis, planificar experimentos y sacar conclusiones. Intentar dibujar las líneas de fuerza y tratar de visualizarlas.



A.20 A partir de la primera ley de Laplace, calcular la intensidad de campo magnético producida por una espira de radio R por la que circula una intensidad I , en un punto situado en un eje a una distancia s del plano que contiene a la espira.

¿Cuál es el campo magnético en el centro de la espira?.

Comparar los resultados con los de la actividad A. 19.

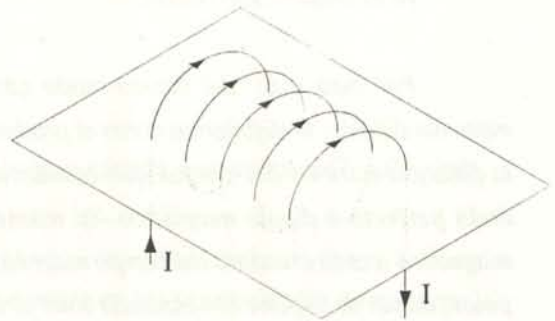
A.21 Sean dos espiras circulares colocadas de tal forma que sus centros coinciden. ¿Qué dirección señalará una brújula colocada en el centro de las espiras?.

5. TEOREMA DE AMPERE: APLICACIONES.

Mediante las actividades anteriores habéis comprobado la dificultad que entraña el cálculo de campos magnéticos creados por corrientes. Sin embargo, su cálculo puede simplificarse bastante aplicando el teorema de Ampere, cuya relación indica una importante propiedad que poseen los campos magnéticos.

A.22 Exposición por el profesor de la relación existente entre la **circulación del campo magnético** a lo largo de una línea cerrada y las intensidades que pasan por el interior de dicha línea. (Ley de Ampere).

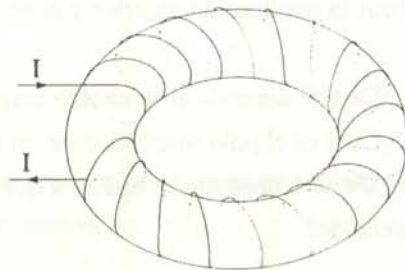
A.23 Emitir hipótesis sobre los factores de los que depende el campo magnético producido por un **solenoides recto o bobina** (alambre arrollado en hélice). Dibujar las líneas de fuerza del solenoide de la figura, razonando qué extremo del mismo será el polo Norte y cuál el Sur.



Diseñar una experiencia para comprobarlo.

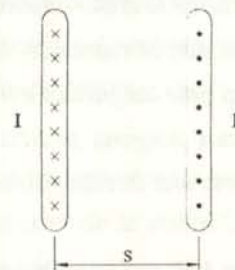
Calcular el campo magnético del solenoide anterior aplicando el teorema de Ampere.

A.24 Representar las líneas de fuerza del solenoide toroidal de la figura. Calcular el campo magnético que crea.



A.25 (Opcional) Calcular el campo magnético producido por dos largas láminas paralelas de anchura s por las que circula una corriente de intensidad I con sentidos opuestos.

Comparar este campo magnético con el eléctrico existente entre dos grandes láminas cargadas.



6. INTERACCIONES ENTRE CORRIENTES.

Por una parte, conocemos (A.1) que al colocar un imán (brújula o magnetómetro) en un campo magnético, se orienta en dirección del campo. Y por otra, hemos visto (A.12 y A.14) que un solenoide por el que circula una corriente también se orienta en dirección del campo. Por tanto, podemos realizar una analogía entre el imán y el solenoide.

Si ambos cuerpos giran, quiere decir que están sometidos a un par de fuerzas que producen un momento M . La magnitud de dicho par puede expresarse en función de dos factores según la relación

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}, \text{ de tal forma que:}$$

- B es la intensidad del campo magnético existente en el punto en que se encuentra el cuerpo.

- m es el momento magnético del cuerpo (magnitud vectorial característica del cuerpo dirigida en el sentido Sur-Norte).

Por otro lado: del mismo modo que la magnitud que caracteriza a un dipolo eléctrico -su momento dipolar- lo definíamos como el producto de la carga (causa creadora del campo eléctrico) por la distancia entre las dos cargas que constituyen el dipolo ($m=q.l$), la magnitud que caracteriza a un imán perfecto o dipolo magnético -su momento magnético- lo definimos como el producto del polo magnético (causa creadora del campo magnético) por la distancia existente entre dos puntos, llamados polos, donde se supone concentrado todo el magnetismo ($m=p.l$).

A.26 Analizar la explicación anterior y contestar a las siguientes cuestiones:

- ¿De qué depende el momento magnético de un solenoide?. Dar la relación matemática.
- ¿Cuál es el polo magnético de un solenoide?.
- ¿De qué depende la fuerza a que se encuentran sometidos los polos de un imán y de un solenoide?.

A pesar de lo dicho anteriormente, y al contrario de lo que ocurre con las magnitudes masa y carga, que son, respectivamente, las causas creadoras de los campos magnético y eléctrico, no puede considerarse al polo magnético como una masa o carga magnética creadora del campo magnético, ya que no tenemos ninguna prueba de la existencia de polos magnéticos aislados. Simplemente los utilizamos como una ficción física muy útil y cómoda.

A.27 Sea una balanza equilibrada donde de uno de los brazos está colgado de modo horizontal un conductor. ¿Qué ocurre cuando situamos un imán largo debajo del conductor?. ¿Puede calcularse el polo magnético del imán?.

M. Ampere descubrió que dos hilos rectilíneos paralelos, a través de los cuales pasan dos corrientes eléctricas, se atraen entre sí cuando las corrientes tienen el mismo sentido y se repelen mutuamente, cuando sus sentidos son opuestos. A partir de este resultado dedujo además, por analogía, la consecuencia de que las propiedades atractivas y repulsivas de los imanes dependen de las corrientes eléctricas que circulan en las moléculas del hierro y del acero en dirección perpendicular a la línea que une los dos polos.

A.28 ¿De qué factores depende la interacción entre dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas?

A partir de la ley de Biot y Savart y la segunda ley de Laplace obtener la expresión que indica la acción mutua que por unidad de longitud liga entre sí a los conductores anteriores.

La ecuación anterior permite definir el amperio, unidad de intensidad en el sistema internacional, y así se hace hoy día por convenio internacional.

A.29 Definir amperio.

A.30 ¿Qué ocurrirá al poner próximas dos bobinas por las que circula una corriente?. ¿De qué depende?. Explicarlo razonadamente.

A.31 Por una espira rectangular circula una corriente y se encuentra en las proximidades de un largo conductor de tal forma que sus lados más largos son paralelos al conductor. ¿Qué fuerza actúa sobre él?.

7. PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA.

Una vez establecido que los campos magnéticos son creados por cargas en movimiento fue posible abordar el problema de la naturaleza del magnetismo natural.

Ampere descubrió que una pequeña espira de corriente experimenta el mismo par de fuerzas en un campo magnético y da origen al mismo campo magnético que si fuese un dipolo magnético. En 1820, basado en esta observación, enunció el teorema de la equivalencia de Ampère:

"Una espira de corriente es equivalente en todas sus propiedades magnéticas a un dipolo magnético a distancias grandes comparadas con las dimensiones de la espira".

Esta equivalencia llevó a Ampere a creer que los polos magnéticos se deben realmente a las corrientes que circulan en el interior de la materia. Así, el campo de un imán en forma de barra es el campo neto producido por muchas espiras moleculares de corriente.

A.32 Proponer un modelo (teoría) que explique el magnetismo natural.

A.33 Contesta vuestro modelo a hechos como los siguientes :

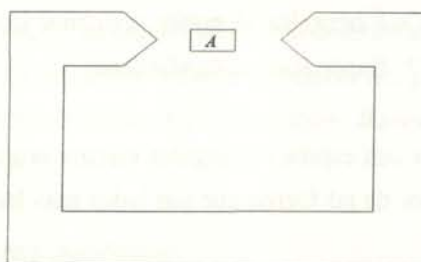
- No se pueden separar los polos de un imán.
- Un imán no atrae a todas las sustancias.
- Al situar un núcleo de hierro o acero en las proximidades de un imán se convierte a su vez en un imán.
- Frotando una aguja de acero con un imán, siempre en la misma dirección y con el mismo polo, desde el centro a uno de los extremos, se convierte en un imán.
- Arrollando un cable, por el que circula una corriente continua, a una aguja de acero, ésta se convierte en un imán. Sin embargo, si la corriente es alterna no se consigue imantar la aguja.
- Se puede conseguir un imán potente utilizando varios débiles. ¿Cómo lo haríais?

A.34 Representar las líneas de fuerza del campo magnético producido por el imán de la figura.

Si se colocan trozos de hierro, cobre y aluminio en el entrehierro del imán de herradura de la figura, ¿cómo son las líneas de fuerza?

Explicar por qué al colocar un tipo de sustancias en la posición A se desplazan hacia arriba, sin embargo al colocar otro tipo se desplazan hacia abajo.

¿Explica vuestro modelo los fenómenos anteriores?. Modificarlo, si es preciso.



A.35 Sea un trocito metálico proveniente de los electrodos de una vieja válvula electrónica rota (lleva níquel) colgado a modo de péndulo mediante un alambre fino. ¿Qué sucede si se acerca un imán?

Si ahora aproximamos con cuidado la llama de un mechero de modo que caliente al metal y no al imán. ¿Qué creéis que sucede al cabo de unos segundos?. ¿A qué se deberá?

Si se espera a que se enfríe el metal y, si el imán está suficientemente cerca, ¿qué vuelve a ocurrir?, ¿por qué?

Justifica vuestro modelo o teoría este fenómeno. Modificarlo en caso contrario.

Como ya sabes, al introducir cualquier sustancia dieléctrica en un campo eléctrico, éste queda modificado (disminuye) ya que se polariza dicha sustancia. Del mismo modo, un campo magnético queda alterado (aumenta o disminuye) cuando colocamos en él cualquier sustancia; ésta se imana o imanta.

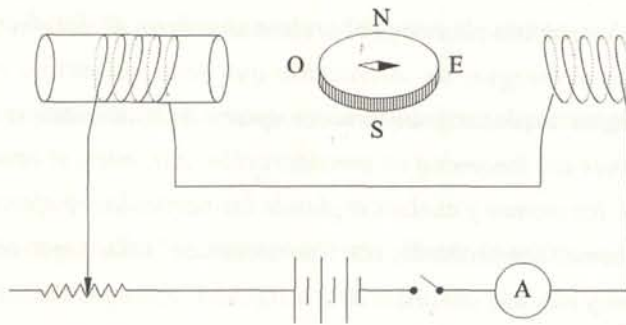
A.36 Comparar los efectos mencionados, estableciendo las semejanzas y diferencias.

Definir la imanación o imantación de manera análoga a la polarización. ¿De qué depende?.

A.37 Calcular la imanación que existe en el interior de un solenoide recto por el que circula una corriente en función del campo magnético que crea.

Indicar un procedimiento para aumentar la intensidad del campo magnético existente en una zona del espacio; por ejemplo, en el interior de la bobina anterior. ¿En cuánto aumentaría la intensidad del campo?.

A.38 Indicar cómo se puede saber la imanación y el campo magnético que existe en la barra de hierro de la figura adjunta.



A.39 Comentario del profesor sobre diferentes curvas de imantación de materiales ferromagnéticos. Ciclos de **histéresis**.

A.40 Exposición por el profesor de la teoría electrónica del magnetismo. Interpretación del **día, para y ferromagnetismo**.

A.41 ¿Por qué una aguja magnética (brújula) señala una misma dirección y sentido cuando oscila en un plano horizontal?. ¿Por qué también señala una única dirección y sentido cuando oscila en un plano vertical?. ¿Qué dirección y sentido tiene el campo magnético en ese lugar?. ¿Dónde consideráis que están los polos magnéticos del imán Tierra?.

Buscar en la bibliografía la representación del campo magnético Terrestre e interpretar el significado de **inclinación magnética** (ángulo que forma el campo con el horizonte) y **declinación** (ángulo que forma la aguja cuando oscila en el plano horizontal con el meridiano del lugar).

A.42 ¿Cuántas oscilaciones dará un imán en forma de barra cilíndrica cuando oscila, suspendido horizontalmente por su centro, en un punto determinado de la Tierra?. ¿Cómo puede conocerse el valor del ángulo de inclinación del lugar?. ¿Cuál es la imanación y los polos magnéticos provocados en la barra?.

A.43 Según el modelo atómico de Bohr, para el hidrógeno se supone que el electrón gira alrededor del núcleo en una órbita circular. ¿Qué fuerza actúa sobre el electrón si el átomo está situado en un campo

magnético perpendicular a su órbita y sumergido en agua?. ¿Cuál es el campo magnético en el núcleo?.
¿Cuál es el momento magnético del átomo?.

8. APLICACIONES DEL ELECTROMAGNETISMO.

A.44 Indicar la trayectoria que sigue una partícula con carga positiva que penetra en un campo magnético uniforme con velocidad (v) perpendicular a la intensidad del campo (B). ¿Qué trayectoria describirá la partícula si su velocidad no es normal al campo magnético?.

*Con objeto de comprobar la naturaleza de las fuerzas físicas, debemos utilizar fuerzas contrarias y energías de interacción que sean del mismo orden de magnitud que aquellas que pretendemos explotar y debemos emplear herramientas a escala geométrica del orden de las dimensiones del fenómeno en consideración. Así, pues, si deseamos interaccionar con la estructura interna de los átomos y núcleos en donde las partículas se ejercen entre sí fuerzas de $1 \text{ MeV}/\text{fem} = 16$ dinas, debemos comprobarlas con "herramientas" tales como electrones y partículas alfa con energía cinética muy elevada, del orden de 1 a 100 MeV. Estas partículas de alta energía se producen mediante los **aceleradores de partículas**.*

*Existen dos tipos de aceleradores de partículas, los lineales y los cíclicos. El acelerador lineal es un dispositivo en el cual las partículas que se mueven en una línea recta se ven aceleradas por un campo eléctrico constante o pulsante. En un acelerador cíclico, se utiliza un campo magnético para hacer que las partículas se muevan en una trayectoria circular o periódica, de forma que adquieren incrementos sucesivos de energía al pasar a través de un campo eléctrico acelerador durante cada revolución. En esta última categoría de acelerador cíclico se encuentran el **ciclotrón**, el **sincrociclotrón** y el **sincrotrón**.*

El ciclotrón es un aparato, ideado en 1931 por los doctores Ernest O. Lawrence y M. Stanley Livingston, de la Universidad de California, en Berkeley, cuya función es acelerar partículas nucleares.

A.45 Informaros sobre el funcionamiento del **ciclotrón**.

¿Qué dimensiones tendrá un ciclotrón y cuál será la frecuencia de la tensión alterna aplicada?.

Una aplicación clásica de la fuerza de Lorentz es un experimento realizado en 1897 por J.J. Thomson para determinar la relación e/m de la carga de los electrones libres. El aparato que utilizó era muy parecido a un tubo de rayos catódicos que se había empleado algunos años antes de 1897 para estudiar la conducción eléctrica a través de gases a baja presión.

A.46 (Opcional)

Una aplicación clásica de la fuerza de Lorentz es un experimento realizado en 1897 por J.J. Thomson para determinar la relación e/m de la carga de los electrones libres. El aparato que utilizó era muy parecido a un tubo de rayos catódicos que se había empleado algunos años antes de 1897 para estudiar la conducción eléctrica a través de gases a baja presión.

A.46 (Opcional)

Realizar un estudio sobre el trabajo de Thomson, principalmente en lo referente a técnicas, aparatos y formas con que midió la razón, e/m , de la carga a la masa de diferentes partículas y gases.

La base de la mayor parte de los medidores de corriente es un dispositivo electromagnético llamado *Galvanómetro*.

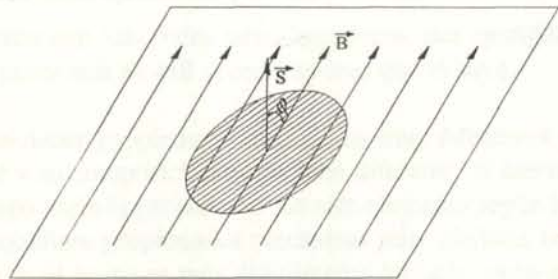
A.47 Observar un Galvanómetro de imán móvil y analizar su funcionamiento. Hacer lo mismo con uno de bobina móvil.

A.48 (Opcional) Informaros sobre el funcionamiento de un **Galvanómetro balístico**.

A.49 Describir el motor de corriente continua que os proporcione el profesor y analizar su funcionamiento.

9. FLUJO Y CIRCUITOS MAGNÉTICOS.

Del mismo modo que flujo eléctrico, se define **flujo magnético** como el producto de la intensidad del campo magnético por el área de la superficie y por el coseno del ángulo que forma la normal a la superficie con la dirección del campo.



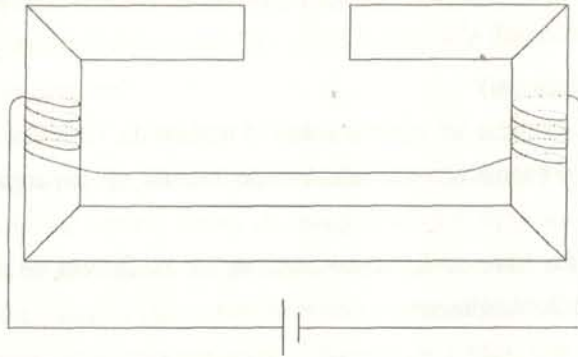
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

A.50 La unidad del flujo magnético en el S.I. se llama **Weber** y en el sistema electromagnético (c.g.s.) **Maxwell**. Definirlos.

Un **circuito magnético** es un conjunto de líneas de fuerza que se cierran sobre sí mismas; un ejemplo lo constituye un solenoide toroidal recorrido por una corriente eléctrica y arrollado sobre un núcleo de hierro.

A.51 Calcular el flujo magnético a través de cualquier sección normal al solenoide. Escribir la relación anterior de la forma $\Phi = \text{f.m.m.}/\mathbb{R}$ análoga a la ley de Ohm, donde la f.m.m. es la fuerza magnetomotriz y \mathbb{R} es la reluctancia (análoga a la resistencia en un circuito eléctrico).

Otro ejemplo de circuito magnético lo constituye un **electroimán**. Como se observa en la figura, está formado por un núcleo de hierro en forma de herradura, rodeado de bobinas de hilo que transportan una corriente eléctrica, con una separación o **entrehierro**. En este existe una dispersión considerable de las líneas de fuerza y por consiguiente un debilitamiento del campo.



Para el caso de circuitos magnéticos donde existen varios medios materiales se puede considerar que la reluctancia total es la suma de las reluctancias correspondientes a cada material por separado.

A.52 ¿En cuánto se modificará la intensidad del flujo magnético si al solenoide toroidal de la actividad anterior se le corta un trozo de material para dejar un entrehierro?

A.53 Elaborar uno o varios mapas conceptuales con las ideas o conceptos tratados en esta unidad didáctica

INFORMACIÓN Y COMENTARIOS PARA EL PROFESOR

A.1 Con esta actividad se trata de que los alumnos expongan todo lo que conocen relacionado con los imanes, fenómenos magnéticos, brújulas, interacciones entre imanes, relación entre magnetismo y electricidad, etc. Los estudiantes se plantean cuestiones como las siguientes:

- Qué sustancias actúan como imanes, cuáles pueden imantarse, de qué forma.
- Qué sustancias se ejercen las acciones magnéticas y cómo es dicha acción (dirección, intensidad, etc..)
- Cómo son las acciones entre los mismos imanes.
- Cómo se orienta un imán que puede girar libremente, etc

Las ideas que los alumnos exponen acerca de estas cuestiones, es decir, acerca del comportamiento de los imanes, son las previsible fruto de experiencias ordinarias y de algunos conocimientos escolares previos. En general son presentadas de forma incompleta en cada grupo, pero el conjunto de ideas expuestas por la clase da una buena imagen del conocimiento ordinario acerca de los imanes.

La magnetita es un imán natural. Los imanes que conocemos son trozos de acero que tienen la propiedad de atraer o de ser atraídos por objetos de hierro. Normalmente, tienen forma de barra - imán recto- o forma de "U" -imán de herradura-.

A) ¿Qué materiales presentan propiedades magnéticas?:

Se dice que un material presenta propiedades magnéticas cuando interacciona con un imán. Así el hierro y el acero son atraídos con fuerza por los imanes; al cobalto y al níquel los atrae con menos intensidad. Se dice que todas estas sustancias tienen propiedades ferromagnéticas. Algunas aleaciones especiales, como "permalloy" y "alnico" tienen propiedades ferromagnéticas extraordinarias. Los físicos están muy interesados en la estructura de los materiales que poseen ferromagnetismo.

En la actualidad se fabrican imanes muy potentes con materiales ferromagnéticos; por ejemplo, los de "alnico" (Al, Ni, Co y Fe) pueden soportar pesos más de mil veces mayores que el suyo.

Existen dos clases de materiales férreos que tienen propiedades magnéticas muy diferentes y son: el hierro dulce y el acero. Su aspecto es similar y su composición es un poco diferente: el hierro dulce tiene menos de un 5% de carbono y en el acero varía la proporción de este elemento según la clase, pero siempre es mayor. Esta diferencia le confiere propiedades mecánicas muy distintas (el hierro dulce es fácilmente forjable y no se temple, y el acero es más difícilmente forjable, pero se temple con facilidad), así como propiedades magnéticas también diferentes (el hierro dulce únicamente se comporta como un imán mientras está sometido a la acción de otro imán y el acero, una vez que se somete a la influencia de un imán, conserva la imanación).

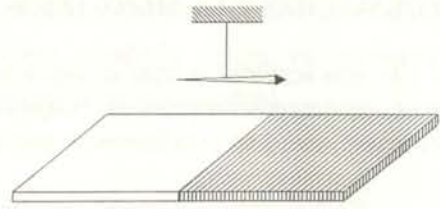
B) ¿Existen interacciones entre imanes?:

Cuando se acercan dos imanes aparecen fuerzas de atracción o repulsión según sean los extremos que se aproximen.

En un imán existen dos zonas, llamadas polos, donde parece que está concentrada toda la fuerza; estas zonas se encuentran muy próximas a los extremos del imán. En la parte media no existe atracción; se llama zona neutra.

Se puede averiguar dónde se encuentran los polos de un imán si acercamos un alfiler colgado de un hilo al imán.

Si un imán puede moverse libremente, sin que exista ninguna fuerza que le impida oscilar, se orienta en una determinada dirección que coincide aproximadamente con los polos SUR y NORTE terrestres o geográficos.



Se llama polo norte de un imán al extremo que se orienta hacia el norte terrestre y polo sur al que se orienta hacia el sur.

Con dos imanes sobre una mesa podemos comprobar que aparecen fuerzas de atracción o de repulsión; así: "Las fuerzas entre los polos iguales son de repulsión y entre polos distintos de atracción".

C) ¿Porqué se orienta un imán en una determinada dirección?:

La causa por la que un imán se orienta siempre en la misma dirección, cuando puede girar libremente, es que la Tierra es un imán cuyos polos coinciden aproximadamente con el norte y sur geográficos.

¿Dónde está el polo norte del imán Tierra?: Atendiendo al criterio convencional de fijación del polo norte y sur de un imán, el polo norte del imán Tierra será el que está en el sur geográfico, por eso atrae al polo sur de nuestro imán y repele al norte. El polo sur del imán Tierra es el que está en el norte geográfico.

D) ¿Qué es una brújula?: Es una aguja imantada que puede girar libremente en el campo magnético terrestre. Su polo norte señalará siempre el norte geográfico (aproximadamente).

E) ¿Se pueden separar los polos de un imán?:

Es imposible aislar un polo de un imán. Cuando partimos un imán obtenemos dos imanes, cada uno con sus respectivos polos.

El magnetismo debe ser una propiedad inherente a los átomos o moléculas de los cuerpos magnéticos. Cada molécula es un pequeño imán que, al sumar su acción magnética con la de otras moléculas, da origen al imán total.

A.2 Se trata de que el alumno dé respuestas a los problemas planteados en la actividad anterior. Las hipótesis tienen que tener una fundamentación científica y con posibilidad de ser comprobadas de forma experimental.

El primer estudio cuantitativo de la fuerza entre dos polos magnéticos se le atribuye a Coulomb, quien descubrió que esa fuerza magnética estaba regida por la misma relación de los cuadrados inversos que se aplica a la fuerza gravitacional y a la electrostática.

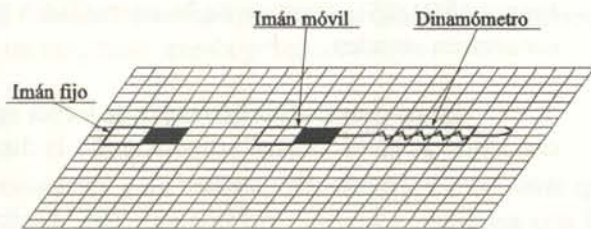
La ley de Coulomb para el magnetismo indica que la fuerza entre dos polos magnéticos es directamente proporcional al producto de las fuerzas de los polos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

$$F = k \frac{p \cdot p'}{d^2}$$

La fuerza puede ser de atracción o de repulsión, dependiendo de si los polos magnéticos son opuestos o iguales.

A.3 De forma cualitativa se puede comprobar la dependencia de las variables; fuerza del polo, distancia entre polos con la fuerza con que se atraen o se repelen dos polos. También influye en la interacción el medio donde se encuentren situados los imanes.

La dependencia cuantitativa es muy difícil de averiguar. Un experimento para realizar puede ser el representado en la figura, donde se observa un imán fijo sobre un papel milimetrado, y uno móvil que queda en equilibrio al sujetarlo con un dinamómetro.



No es conveniente detenerse excesivamente en el concepto de polo o masa magnética, ni referirse a la ley de Coulomb para las fuerzas entre polos, puesto que son conceptos que, como sabemos, se revelaron escasamente fructíferos. En realidad, es mejor orientar el estudio desde el primer momento hacia la línea de investigación basada en las semejanzas entre los fenómenos magnéticos y eléctricos.

A.4 Se pretende que los alumnos vean la necesidad de definir un nuevo campo de fuerzas, llamado "magnético" que produce unos efectos análogos al campo gravitatorio y al eléctrico.

Se llama campo magnético de un imán al espacio en que se hace sensible su acción.

El campo magnético es aquella región del espacio donde se hacen sensibles los efectos llamados magnéticos.

Para visualizar un campo magnético se espolvorean limaduras de hierro sobre un papel, plástico o vidrio situado encima de un imán. Después de dar unos golpecitos suaves al papel se observa que se colocan formando unas líneas que son las líneas de fuerza del campo magnético. Estas van de polo a polo y, convencionalmente, se considera que su sentido es el del polo norte al polo sur por fuera del imán; por dentro del imán su trayectoria es del polo sur al norte.

A.5 Conviene aprovechar esta actividad para resaltar que el estudio de un problema no es en absoluto lineal y puede incluir cambios profundos de orientación. Así, aunque Gilbert había dejado claro que magnetismo y electricidad eran fenómenos distintos, las evidentes semejanzas marcaron el camino para un estudio más fecundo del magnetismo. También debe resaltarse que esta tendencia al razonamiento análogo, a tratar de entender situaciones nuevas a la luz de lo que ya se conoce, es una de las

características del pensamiento de las personas. Pese a la enorme utilidad de esta forma de pensamiento, en ocasiones, la analogía utilizada no es la adecuada, siendo una fuente de ideas previas alternativas a las científicas.

Las diferencias más notables a considerar son las siguientes:

- La magnitud causante de la interacción magnética es la carga en movimiento. La causante de la interacción eléctrica es la carga neta en reposo o movimiento.
- El campo magnético sólo se pone de manifiesto si se introducen en él ciertos cuerpos, los ferromagnéticos. El campo eléctrico sólo se pone de manifiesto si se introducen en él cuerpos con carga neta.
- En un campo magnético la fuerza con que se atraen o repelen dos imanes es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los puntos donde se supone concentrada toda la fuerza (POLOS), depende de la intensidad o fuerza de estos polos y del medio donde se encuentren situados.

En un campo eléctrico ocurre de forma análoga: la fuerza con que se atraen o repelen dos cargas es inversamente proporcional a la distancia entre ellas, directamente proporcional a su valor y depende del medio.

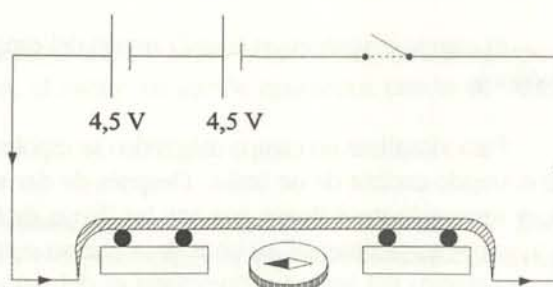
A.6 Las propuestas de los alumnos recuerdan a los primeros intentos de poner en evidencia la relación entre cargas e imanes: aproximarlos y esperando ver la aparición de algún tipo de fuerza. Sin embargo todos estos experimentos resultaron infructuosos, incluso por mucho que se aumentara el valor de la carga o la potencia del imán.

También algunos alumnos proponen poner juntos un hilo por el que circula una corriente eléctrica y un imán, es decir el experimento de Oersted.

Así, montando el circuito de la figura se puede observar que al abrir y cerrar el interruptor se detecta cómo se desvía la aguja. Al abrir, la aguja se coloca en su posición inicial y al cerrar se orienta perpendicularmente al cable.

Cambiando la polaridad de las pilas se observa que la aguja se mueve en sentido contrario.

Conviene identificar los polos del imán-corriente eléctrica y relacionar estos con el sentido de la corriente en el conductor.



Conclusión: *"La corriente eléctrica se comporta como un imán creando un campo magnético en su entorno".*

Un resultado experimental, como la experiencia de Oersted, plantea a su vez nuevos problemas que se presentan como posibles líneas de investigación. Saber extraer, explicitándolos, los nuevos

problemas y proponer las líneas de investigación que de ellos se derivan es precisamente uno de los aspectos fundamentales del trabajo científico.

De la experiencia de Oersted surgieron históricamente líneas de investigación como las siguientes (Calatayud, et al, 1988):

- La determinación cuantitativa del campo magnético producido por la corriente, con lo que está ligado el problema de la obtención de campos magnéticos de intensidad controlable, que sustituyan con ventaja a los imanes naturales (construcción de electroimanes).

- Estudio de las fuerzas ejercidas entre imanes y corrientes, que está ligado a la posibilidad de utilizar dichas fuerzas, es decir, a la posibilidad de construir motores eléctricos, instrumentos de medida de la corriente, etc.

- La posibilidad de que, al igual que la corriente eléctrica crea campos magnéticos, los campos magnéticos, engendren corriente. Esto abriría el camino a nuevas formas de producción de corriente eléctrica, por lo que el problema tiene también un indudable interés práctico.

- La explicación del magnetismo natural.

A.7 y A.8 Consisten en realizar una pequeña investigación para tratar de llegar a alguna ley física que relacione la intensidad del campo magnético creado por una corriente eléctrica rectilínea con las magnitudes de las que depende.

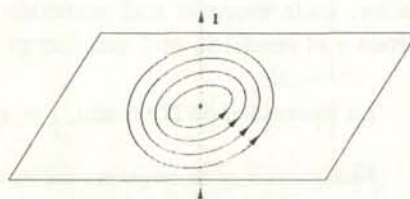
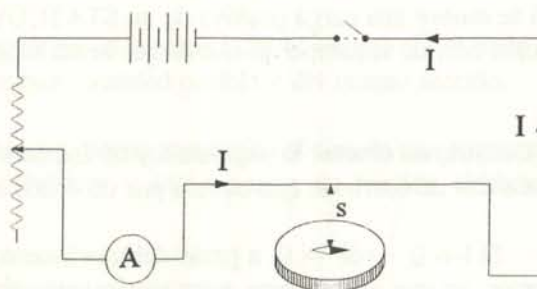
Los alumnos indican que la intensidad del campo magnético creado por una corriente eléctrica rectilínea depende de la intensidad que circula por el conductor y de la distancia del punto considerado al conductor. Se olvidan del medio donde se encuentra situado el conductor y del sentido de la corriente.

Mediante el montaje de la figura se puede averiguar la dependencia directa de la intensidad de corriente sobre la intensidad del campo magnético, al variar el cursor del reostato.

Del mismo modo, manteniendo la intensidad constante, se puede ver la dependencia inversa de la distancia al conductor sobre la intensidad del campo magnético.

La desviación que sufre la aguja de la brújula depende de I , s y el medio donde se encuentre.

La aguja está sometida a dos campos magnéticos: el terrestre y el debido a la corriente que circula por el conductor. Su orientación será la del vector \mathbf{B} , suma vectorial de los dos anteriores: B_h (componente horizontal del campo terrestre) y B_{hilo} (perpendicular al conductor).



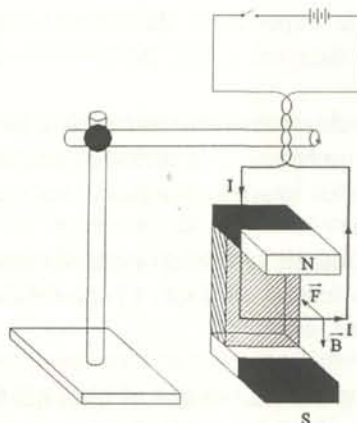
A.9 Se propone un problema para resolverlo utilizando la metodología científica. Consiste en investigar los efectos que produce un campo magnético sobre una corriente eléctrica.

Realizando el montaje de la figura se observa cómo se desvía el cable entre los imanes cuando cerramos el interruptor. ¿En qué sentido actúa la fuerza sobre el cable?. Se intercambian las conexiones en el conjunto de las pilas y observamos que el sentido de la fuerza es contrario al anterior.

Los alumnos dicen las siguientes hipótesis:

La fuerza que actúa sobre un conductor por el que circula una corriente depende de:

- 1.- El valor de la intensidad de corriente.
- 2.- El valor del campo magnético a que está sometido.
- 3.- La longitud del conductor.



A.10 Se pretende que los alumnos definan las unidades, en los dos sistemas propuestos, de la magnitud intensidad de campo magnético considerando para ello una ley de Física.

Una **Tesla** o un **Miriagauss** es el valor de la intensidad del campo magnético existente en un punto donde al moverse la carga positiva de un culombio a la velocidad de un m/s en dirección normal al campo, la fuerza que actúa sobre dicha carga sea de un newton.

Un **Gauss** es el valor de la intensidad del campo magnético existente en un punto, de tal forma que si se mueve una carga positiva de un STATCOULOMB (U.E.F.) a una velocidad de un cm/s en dirección normal al campo, la fuerza que actúa sobre dicha carga es de una dina.

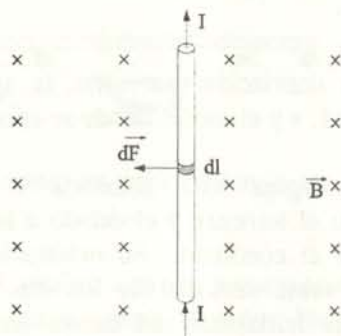
A.11 Consiste en obtener la segunda ley de Laplace partiendo de la ley de Lorentz y el significado de la intensidad de corriente que circula por un conductor.

Si $I = 0 \rightarrow dF = 0$ a pesar del movimiento de agitación térmica de los electrones del metal conductor, ya que al realizarse estos movimientos en todas las direcciones, se compensan entre sí las fuerzas.

Si I no es igual a 0 los electrones se mueven en conjunto con una velocidad en dirección del eje al conductor; cada electrón está sometido a una fuerza magnética y el resultado será una fuerza única.

La intensidad de corriente, $i = n \cdot e \cdot v \cdot S$

Siendo: n = nº de cargas por unidad de volumen.
 e = carga del electrón.
 v = velocidad con que se mueven los electrones.
 S = sección del conductor.



El número total de cargas es $N = n.S.l$

Sobre cada carga actúa una fuerza $dF = dq.v.B.\text{sen}\alpha = e.v.B.\text{sen}\alpha$

La fuerza total sobre el elemento de corriente de longitud dl será:

$$dF = N.df = n.S.dl.e.v.B.\text{sen}\alpha = I.dl.B.\text{sen}\alpha = I.(dl \times B)$$

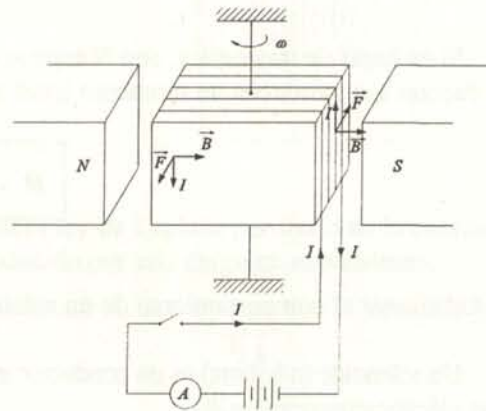
La fuerza total sobre el conductor será:

$$F = N.f = n.S.l.e.v.B.\text{sen}\alpha = I.l.B.\text{sen}\alpha = I.(l \times B)$$

Conclusión: "La fuerza con que actúa un campo magnético uniforme sobre un conductor rectilíneo es igual al producto de la intensidad de campo, intensidad de la corriente del conductor, longitud de este y seno del ángulo formado por el conductor y el campo".

A.12 Una aplicación de la segunda ley de Laplace son los motores eléctricos.

Se realiza el montaje de la figura y se observa al cerrar el interruptor que la bobina gira en un sentido determinado. Si se cambian las polaridades de las pilas al cerrar el interruptor el giro de la bobina es ahora en sentido contrario.



Al modificar la corriente que pasa por la bobina, moviendo el cursor del reostato variará el ángulo de giro de esta, ya que varía la fuerza que actúa sobre ella.

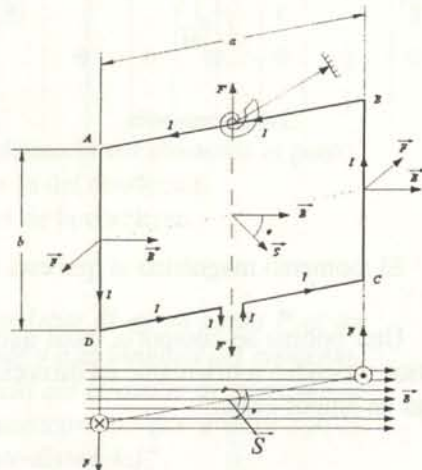
La bobina al girar tiende a colocar un flujo magnético en la misma dirección que el del imán y de tal manera que las líneas de fuerza comunes sean la mayor cantidad posible y del mismo sentido.

En este fenómeno (giro de toda bobina sometida a un campo magnético si circula una corriente magnética por ella) se fundamentan los motores eléctricos y los aparatos de medida eléctrica (amperímetros y voltímetros de bobina móvil...).

A.13 Pretende encontrar la relación que indica la interacción de un campo magnético sobre una bobina por la que circula una corriente.

Todos los lados de la espira están sometidos a una fuerza. Las que actúan sobre los lados AB y CD se anulan al ser iguales y de sentido contrario. Las que actúan sobre BC y DA forman un par de fuerzas al ser iguales, de sentido contrario, pero con recta de aplicación diferentes.

Por tanto, la espira se encuentra sometida a un par de fuerzas que producen un momento igual a:

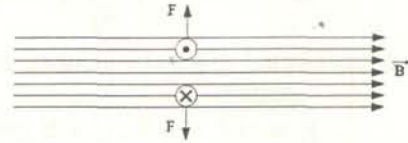


$$\mathbf{M} = \mathbf{F} \times \mathbf{r} = I \cdot b \cdot B \cdot a \cdot \text{sen} \alpha = I \cdot B \cdot S \cdot \text{sen} \alpha = I \cdot (\mathbf{S} \times \mathbf{B})$$

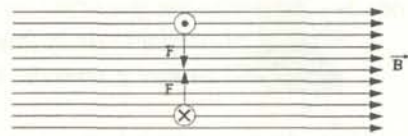
Siendo \mathbf{S} un vector de módulo $(a \cdot b)$, dirección perpendicular a la espira y sentido el del giro del sacacorchos que lo haga conforme gira la intensidad.

La espira se encuentra en equilibrio cuando está en posición perpendicular al campo magnético.

El equilibrio es estable en la posición:



El equilibrio es inestable en la posición:

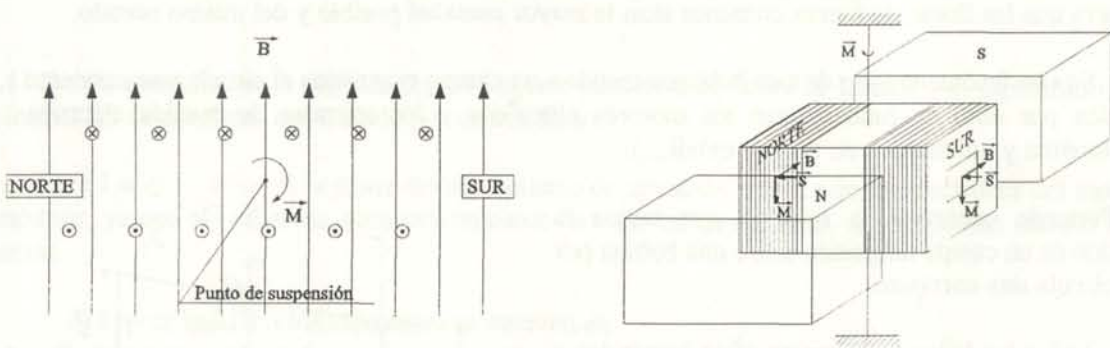


Si en lugar de una espira, son N espiras enrolladas en forma de bobina, estarían sometidas a un par de fuerzas que producen un momento igual a:

$$\vec{M} = N \cdot I \cdot (\vec{S} \times \vec{B})$$

A.14 Relacionar el comportamiento de un solenoide por el que circula una corriente con un imán.

Un solenoide (o bobina) es un conductor metálico arrollado en hélice de modo que las espiras estén aisladas eléctricamente entre sí.



El momento magnético al que está sometida la bobina es: $\vec{M} = N \cdot I \cdot (\vec{S} \times \vec{B})$

Una bobina se comporta igual que un imán en un campo magnético. Ambos crean un campo magnético y tienden a orientarse en dirección de un campo exterior. Así mismo las líneas de fuerza son análogas en ambos casos.

A.15 Conocer la situación de los polos de un imán y un solenoide y comprobar que son las zonas donde se encuentra concentrada su fuerza magnética.

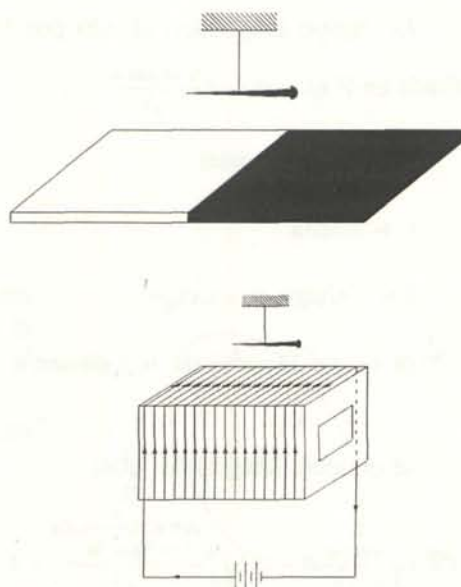
Con el imán colocado sobre la mesa, se pasa la aguja o el alfiler pendiente del hilo por encima del mismo, tal como indica la figura.

Se observa que no existe atracción en el medio y sí cerca de los extremos.

"Los extremos del imán -donde está concentrada la fuerza- se llaman polos del imán y la parte media se llama zona neutra".

El polo norte es el del extremo correspondiente del imán o solenoide orientado al norte geográfico cuando oscilan libremente.

El polo sur de un imán o solenoide es el cercano al extremo que se orienta al sur geográfico.



A.16 Pretende que los alumnos lleguen a deducir la primera ley de Laplace partiendo de la expresión matemática que da el campo magnético en un punto producido por una carga en movimiento.

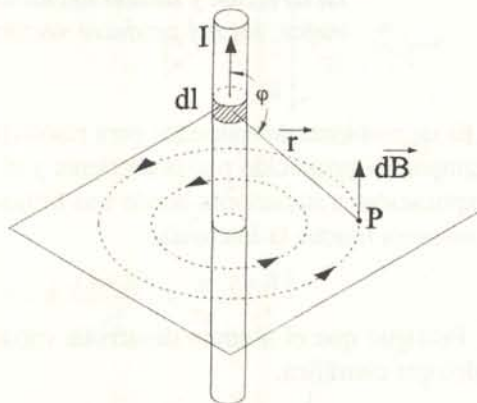
El número de partículas en el elemento de corriente serán: $n \cdot S \cdot dl$

El campo magnético producido por cada partícula es:

$$B = k \cdot \frac{q \cdot (\vec{v} \times \vec{r})}{r^3}$$

luego:

$$d\vec{B} = k \cdot \frac{n \cdot S \cdot dl \cdot e \cdot (\vec{v} \times \vec{r})}{r^3} = k \cdot \frac{n \cdot S \cdot v \cdot e \cdot (d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3} = k \cdot \frac{I \cdot (d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$$



siendo:

$$k = \mu / 4\pi$$

d \vec{l} un vector de:

módulo = distancia del elemento al punto.

dirección = la del conductor.

sentido = el de la corriente.

Conclusión:

"El campo magnético creado por un elemento de corriente dl en un punto P es un vector elemental de módulo proporcional a la corriente y a la longitud del elemento, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia del elemento de corriente al punto. La dirección y sentido son los del giro del sacacorchos que avance con la corriente (o mejor: los del producto vectorial corriente-distancia)"

A.17 Siguiendo con el razonamiento matemático se puede llegar a la ley de Biot y Savart.

El campo magnético creado por la corriente

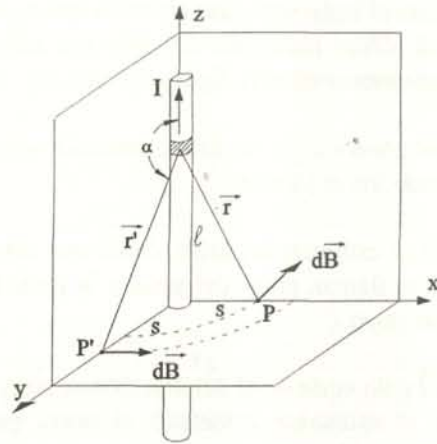
indefinida en P es: $dB = k \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$

Considerando que:

$$r = s / \sin \alpha$$

$$l = -s / \tan \alpha = -s \cdot \cot \alpha$$

$$dl = -s \cdot (-1 / \sin^2 \alpha) \cdot d\alpha = s \cdot d\alpha / \sin^2 \alpha$$



se obtiene, integrando, que:

$$B = K \cdot I \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \alpha}{r^2} dl = K \cdot I \cdot \int_0^{\pi} \frac{\sin \alpha \cdot \frac{s}{\sin^2 \alpha} \cdot d\alpha}{\frac{s^2}{\sin^2 \alpha}} = k \cdot \frac{I}{s} \int_0^{\pi} \sin \alpha \cdot d\alpha = K \cdot \frac{I}{s} [-\cos \alpha]_0^{\pi} = K \cdot \frac{2 \cdot I}{s} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{2 \cdot I}{s} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{s}$$

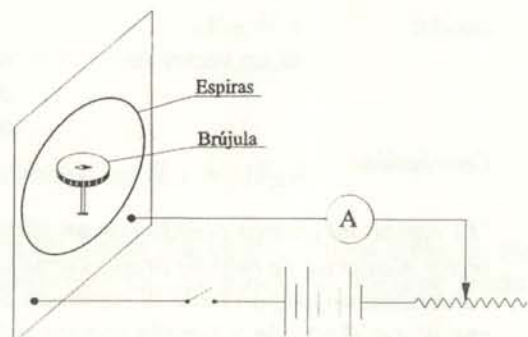
Conclusión: "El campo creado por una corriente rectilínea indefinida en un punto P es proporcional a la corriente e inversamente proporcional a la distancia corriente-punto. La dirección y sentido son las del giro del sacacorchos que avanza con la corriente (o mejor, los del producto vectorial corriente-distancia)".

A.18 Es un problema de aplicación para resolverlo como investigación. Sobre la aguja imantada actúan dos campos: el producido por la corriente y el terrestre. Las conclusiones que se extraen sirven para dar explicación a situaciones donde una brújula próxima a un hilo de corriente no se mueve, incluso si se aumenta mucho la intensidad.

A.19 Persigue que el alumno desarrolle capacidades para la resolución de problemas utilizando la metodología científica.

En esta actividad el alumno debe ser capaz de identificar el problema propuesto, analizarlo, obtener información relativa al problema, formular hipótesis, diseñar experiencias, utilizar y montar los materiales necesarios, interpretar los datos obtenidos, comprobar las hipótesis y formular una conclusión.

Un montaje posible a utilizar es el esquematizado en la figura.



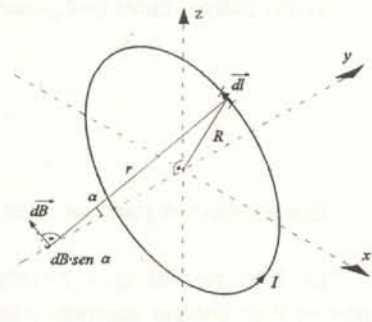
El campo magnético en el centro de las espiras depende de:

- La intensidad que circule por ellas.
- Del radio de las espiras.
- Del medio donde se encuentren las espiras.
- Del sentido de la corriente eléctrica.

A.20 Es un ejercicio de aplicación para ser resuelto de forma teórica que deberá confirmar los resultados alcanzados en la actividad anterior.

Aplicando la ley de Laplace, el campo magnético creado por una espira en un punto de su eje es:

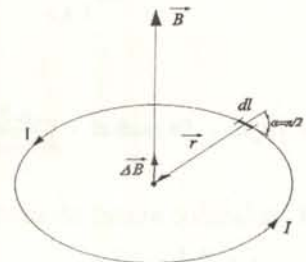
$d\vec{B} = K \cdot I \cdot (dl/r^2) \cdot \vec{n}$ en donde \vec{n} es un vector perpendicular al plano formado por dl y \vec{r} .



$d\vec{B}$ se puede descomponer en dos vectores:

- $dB \text{ sen} \alpha$ en la dirección del eje Y.
- $dB \text{ cos} \alpha$ en dirección perpendicular al eje Y.

Por razón de simetría, se ve que cada elemento contribuye con una componente igual, $dB \cdot \text{sen} \alpha$, y que las componentes $dB \cdot \text{cos} \alpha$ creadas por elementos diametralmente opuestos se anulan entre sí. Por tanto:



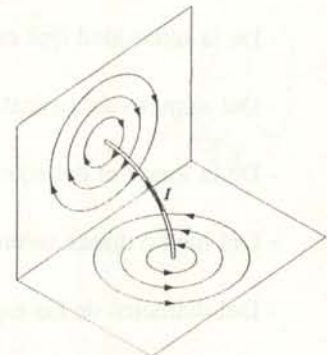
$$\vec{B} = \int d\vec{B} \cdot \text{sen} \alpha = K \cdot \frac{I \cdot \text{sen} \alpha}{r^2} \int dl = K \cdot \frac{I \cdot \text{sen} \alpha}{r^2} \cdot 2\pi \cdot R = K \cdot \frac{I \cdot 2 \cdot \pi \cdot R^2}{r^3} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I \cdot \pi \cdot R^2}{r^3}$$

En el centro de la espira $\alpha = 90^\circ$ y $r=R$, luego:

$$B = K \cdot \frac{I \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{R^2} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{R^2} = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot R}$$

Si en lugar de una espira son muchas (N) con radios aproximadamente igual, cada espira contribuye en igual medida a la creación del campo y la ecuación es :

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{2 \cdot R}$$



A.21 Es un nuevo problema de aplicación para resolverlo utilizando la metodología científica.

A.22 Mediante el teorema de Ampere, para corrientes con una cierta simetría, se puede simplificar mucho el cálculo de la intensidad de campo magnético. El profesor introducirá este teorema de la forma más clara posible y lo aplicará a una situación sencilla para comprobar su validez.

El teorema de Ampere dice:

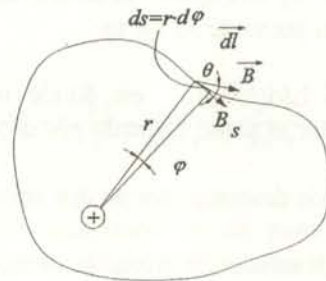
"En todo campo engendrado por corrientes constantes la circulación del vector B a lo largo de una curva cerrada (en el vacío) es igual a μ multiplicada por la suma algebraica de las intensidades que posan por el interior de la curva".

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \Sigma I$$

Comprobación para un caso particular:

El hilo por el que circula una corriente I produce en P un campo magnético igual a:

$$B = \frac{\mu I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$



$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int B_r \cdot dl = \int B \cdot \cos \theta \cdot dl = \int \frac{\mu I}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \cos \theta \cdot \frac{r \cdot d\phi}{\cos \theta} = \int \frac{\mu I \cdot d\phi}{2 \cdot \pi} = \frac{\mu I}{2 \cdot \pi} \int d\phi$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2 \cdot \pi} \cdot 2 \cdot \pi = \mu_0 I$$

A.23 Se presenta un problema para ser resuelto utilizando la metodología científica. Las hipótesis formuladas se comprobarán experimentalmente y las conclusiones obtenidas deben ser compatibles con las obtenidas al aplicar el teorema de Ampere.

El campo magnético en el interior del solenoide depende:

- De la intensidad que circula por las espiras.
- Del número de espiras.
- De la longitud del solenoide.
- Del medio donde se encuentran situadas las espiras.
- Del diámetro de las espiras (hipótesis falsa).

- Del sentido de la intensidad de corriente que circule por las espiras.

En el exterior del solenoide el campo magnético es nulo (siempre y cuando la longitud del solenoide sea grande comparada con su diámetro).

Un diseño experimental puede ser como el de la figura, donde la intensidad del campo magnético puede medirse por el efecto que produce sobre una brújula colocada en un extremo del solenoide.

Aplicando el teorema de Ampere a la línea cerrada *abcd* tenemos que:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot L \text{ ya que:}$$

$$\int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 \text{ por ser } \vec{B} \text{ perpendicular a } d\vec{l}.$$

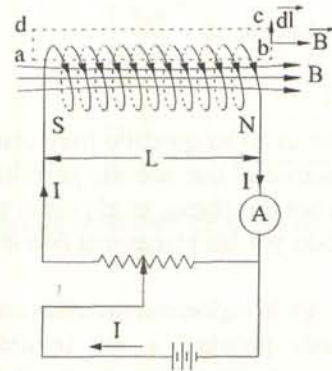
$$\int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 \text{ por ser } \vec{B} \text{ igual a cero.}$$

$$\int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 \text{ por ser } \vec{B} \text{ perpendicular a } d\vec{l}.$$

Por otro lado $\Sigma \mu_0 I = \mu_0 N I$

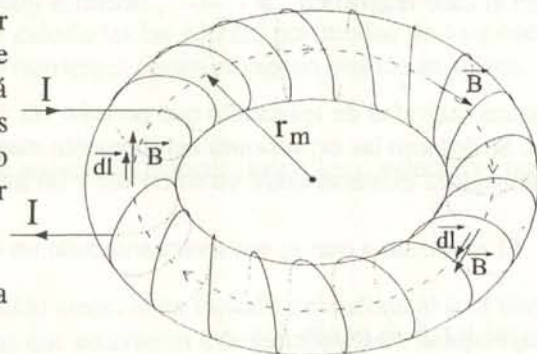
Por tanto tenemos que $B \cdot L = \mu_0 N I$ y por consiguiente $B = \frac{\mu_0 N I}{L}$

Un solenoide recto se comporta igual que un imán recto; sus líneas de fuerza coinciden. En la figura el polo norte estaría a la derecha y el sur a la izquierda.



A.24 Nueva aplicación del teorema de Ampere para valorar aún más su utilidad. También se pretende reforzar el significado del concepto de líneas de fuerza.

Dado que el campo magnético creado por una espira es perpendicular a ella, sólo podrá existir campo magnético en el interior del toroide, ya que se cierran por él las líneas de fuerza. Además será constante sobre todo si el grosor del mismo es pequeño al compararlo con el radio exterior. Por lo cual, las líneas de fuerza sólo existen en el interior de las espiras y son concéntricas entre sí.



Aplicando el teorema de Ampere a la línea de puntos tenemos que:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int B \cdot dl = B \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_m \text{ al ser } \vec{B} \text{ paralelo a } d\vec{l}$$

$$\sum \mu_0 I - \mu_0 N I$$

$$\text{Luego: } B = \frac{\mu_0 N I}{2 \cdot \pi \cdot r_m}$$

A.25 Por si no ha quedado muy claro el significado y aplicación del teorema de Amperè se incluye esta nueva actividad que además permitirá establecer una analogía entre los campos eléctricos y magnéticos creados por dos placas; en el primer caso con las placas conteniendo cargas en reposo y en el segundo caso circulando por las placas una corriente como la que señala esta actividad.

En la región comprendida entre las láminas y no demasiado próxima a sus bordes, el campo B es uniforme, mientras que fuera de ellas, el campo es pequeño, y disminuye al aumentar la anchura s .

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot s \quad \text{al ser:}$$

$$\int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \text{ya que } \mathbf{B} \text{ es perpendicular a } dl.$$

$$\int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \text{ya que } \mathbf{B} \text{ es igual a cero.}$$

$$\int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \text{ya que } \mathbf{B} \text{ es perpendicular a } dl.$$

$$\sum \mu_0 I = \mu_0 I$$

$$\text{Por tanto: } B = \frac{\mu_0 I}{s}$$

Es interesante comparar el campo magnético entre dos largas láminas que transportan corriente con el campo eléctrico existente entre dos grandes láminas cargadas. Ambos son aproximadamente uniformes; las líneas de fuerza magnéticas son paralelas a las láminas y las líneas de fuerza eléctricas, perpendiculares.

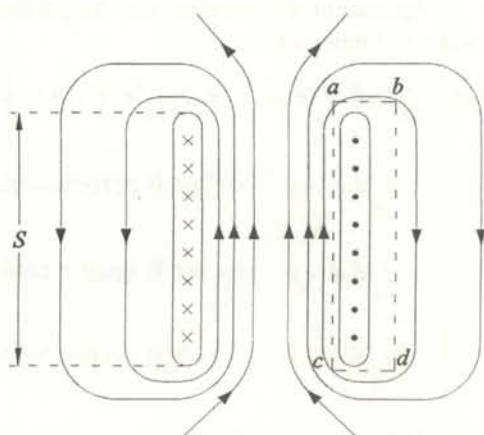
$$\text{En el caso magnético } B = \frac{\mu_0 I}{s}, \text{ mientras que en el campo eléctrico } E = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

A.26 Es una actividad de aplicación que permite ver el análogo comportamiento de un solenoide recto y un imán. Se deducen las expresiones del momento magnético, polo magnético y fuerza sobre los mismos por la semejanza existente entre un solenoide y un imán recto.

El momento a que se encuentra sometido un solenoide es:

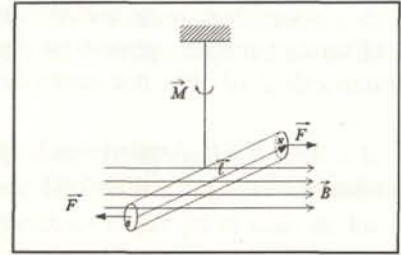
$$\vec{M} = N I (\vec{S} \times \vec{B}) = (N I \vec{S}) \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B}$$

a) El momento magnético de un solenoide depende del número de espiras, de la intensidad que circule por ellas y de su superficie. ($m = N I S$).



b) El polo magnético en un solenoide será: $p = \frac{|\vec{m}|}{|\vec{l}|} = \frac{N.I.S}{l}$

c) El momento a que se encuentra sometido el imán es: $\vec{M} = \vec{l} \times \vec{F}$. Como $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$ y $\vec{m} = p.l$ tenemos que $\vec{M} = p.l \times \vec{B} = \vec{l} \times p.B$. Luego: $\vec{F} = p.B$.



La fuerza a que se encuentran sometidos los polos del un solenoide depende de N, I, s, B y l. Su valor es: $F = \frac{N.I.S}{l} B$

A.27 Presenta un problema práctico que permite establecer un procedimiento para calcular el valor de la intensidad del polo magnético de un imán.

A.28 Problema que se plantea al alumno para que sea resuelto experimentalmente utilizando la metodología científica y teóricamente mediante las leyes de Biot-Savart y la segunda ley de Laplace.

I_1 crea un campo magnético B_1 sobre cualquier punto del conductor 2. Asimismo B_1 , al circular en el conductor una I_2 , determinará sobre él una fuerza F_2 que valdrá $F_2 = B_1.l_2.I_2$.

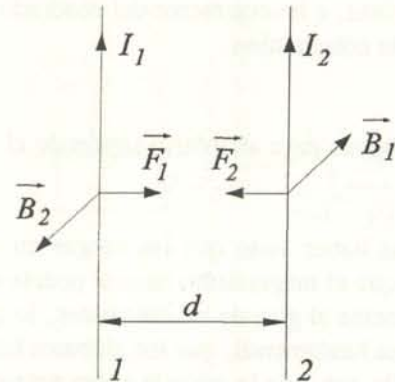
Como $B_1 = \mu_0.I_1/2\pi d$ entonces:

$$F_2 = (\mu_0.I_1.I_2).l_2/(2\pi d).$$

Del mismo modo sobre el conductor 1 actuará una fuerza $F_1 = B_2.l_1.I_1$.

Como $B_2 = \mu_0.I_2/2\pi d$ entonces

$$F_1 = (\mu_0.I_1.I_2).l_1/(2\pi d).$$



Como se puede observar de las relaciones calculadas las fuerzas por unidad de longitud que actúan sobre ambos conductores son iguales. Si las corrientes tienen el mismo sentido se atraen, si el sentido es contrario se repelen.

Para comprobar la relación anterior se puede realizar un montaje donde los conductores puedan oscilar libremente y se encuentren paralelos.

A.29 En la unidad didáctica anterior se había definido amperio en función del culombio y el tiempo, pero ya se dijo que era muy difícil medir las cargas que atraviesan una sección en un tiempo fijo. Se recurre a este fenómeno de interacción entre corrientes paralelas para definir el amperio.

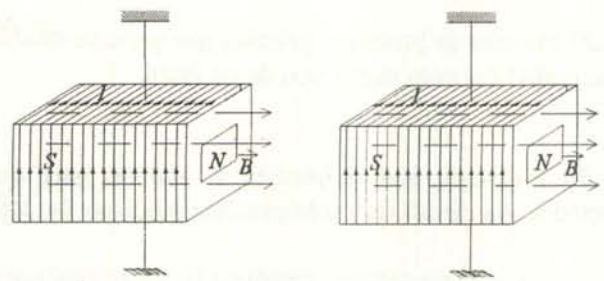
Amperio es la intensidad de corriente que circulando en el mismo sentido por dos conductores rectilíneos y paralelos, situados en el vacío y distantes un metro, producen en cada conductor una fuerza atractiva de $2 \cdot 10^{-7}$ Nw por metro de longitud.

Hoy día el Amperio es la unidad fundamental de la electricidad, definida a base de medidas mecánicas (fuerzas y distancias).

A.30 Como los alumnos ya conocen que una bobina por la que circula una corriente se comporta igual que un imán recto no tienen dificultad en responder a esta cuestión. Además pueden comprobar en el laboratorio si sus predicciones son o no correctas.

Al hacer circular una intensidad por una bobina se crea un campo magnético que es semejante al creado por un imán. Al acercar dos bobinas entre sí su comportamiento es semejante al que se produce cuando acercamos los imanes.

La fuerza de atracción que se ejercen las bobinas depende directamente de la intensidad que circule por cada una de ellas, del número de espiras y de la sección de cada una de las bobinas, e inversamente del cuadrado de la distancia entre ambas.



A.31 Problema para abordarlo siguiendo el modelo de resolución como investigación.

A.32 Tras haber visto que las cargas en movimiento producen campos magnéticos, los alumnos conciben que el magnetismo natural podría estar igualmente asociado al movimiento de cargas y más concretamente al giro de los electrones, lo que convierte a cada átomo en un pequeño imán. A partir de esta idea fundamental, que los alumnos han introducido, el profesor puede profundizar justificando el hecho de que toda la materia posea propiedades magnéticas, aunque muy débiles

Muchas son las preguntas que tienen planteadas los alumnos y necesitan de respuestas. Por ejemplo: ¿por qué unas sustancias presentan propiedades magnéticas fuertes y otras no?. ¿Por qué no se pueden separar los polos de un imán?. ¿Cuál es la causa de que el acero conserve la magnetización y el hierro dulce no?. ¿Por qué se comporta una corriente eléctrica de forma parecida a un imán?.

Los estudiantes ahora ya saben que una carga eléctrica engendra un campo eléctrico y que si la carga está en movimiento, además del campo eléctrico origina un campo magnético. Por lo tanto, una carga eléctrica en movimiento es un imán.

La materia está constituida por átomos y estos tienen electrones moviéndose alrededor del núcleo.

Cada electrón en un átomo, por ser carga eléctrica en movimiento, se comporta como un minúsculo imán. En átomos multielectrónicos puede ocurrir que los campos magnéticos elementales, creados por los electrones, se orienten al azar, se anulen entre ellos y no exista campo magnético

resultante, como ocurre en muchas sustancias. En otros, como la magnetita, los campos magnéticos de los electrones no se compensan porque existen direcciones preferentes en la orientación del plano de sus órbitas y sus átomos presentan campo magnético resultante.

Los materiales cuyos átomos no tienen campo magnético resultante, cuando se les somete a la acción de un campo magnético externo, los campos magnéticos elementales creados por los electrones se orientan en mayor o menor grado y, por tanto, presentan magnetización que en el caso de los materiales férreos tiene gran relevancia y es fácilmente observable.

Una vez que cesa el campo magnético externo, los campos magnéticos de los electrones se desorientan cesando la magnetización, como ocurre en el caso del hierro dulce; también pueden permanecer orientados, convirtiéndose el material en un imán permanente, como ocurre en el acero.

"Las corrientes eléctricas son las causantes de los fenómenos magnéticos".

A.33 El profesor plantea diferentes hechos con el objeto de ir reformulando y completando poco a poco una teoría que explique el comportamiento magnético de la materia.

a) Al ser cada electrón en un átomo un minúsculo imán, se puede romper un imán las veces que queramos y siempre se formarán imanes.

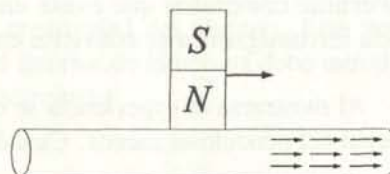
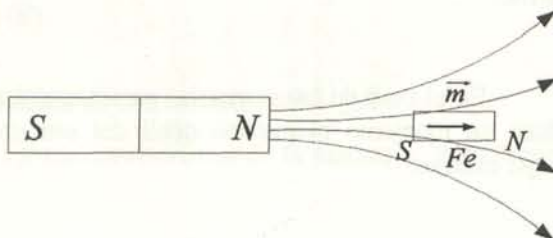
b) Un imán crea un campo magnético. Toda sustancia sometida a un campo magnético se imanta. Algunas sustancias, las llamadas ferromagnéticas, se imantan fuertemente y en el mismo sentido del campo magnético al que están sometidas; por tanto, se produce una atracción.

Otras sustancias se imantan débilmente y por tanto la atracción no se produce debido a que la pequeña fuerza no es capaz de vencer a los rozamientos.

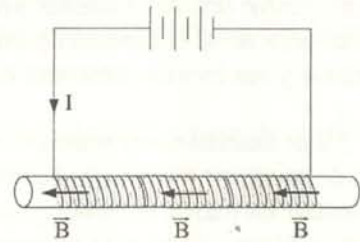
Todas las sustancias se convierten en imanes bajo la acción de un campo magnético. Algunas tienden a debilitar el campo exterior, ya que se imantan débilmente y de sentido contrario al campo externo. Estas sustancias llamadas diamagnéticas necesitan un campo externo grande para observar su efecto. Otras sustancias se imantan débilmente con el mismo sentido del campo; son las paramagnéticas. Las sustancias que se imantan fuertemente en el sentido del campo son las ferromagnéticas.

c) Toda sustancia ferromagnética sometida a un campo magnético se imanta. Al eliminar el campo exterior, algunas sustancias, como el acero, conservan una gran parte de su imantación; sin embargo, otras sustancias, como el hierro dulce, pierden casi la totalidad de su imantación y dejan de comportarse como un imán.

d) Al frotar una barra de un material ferromagnético en un determinado sentido y con el mismo polo se consigue orientar los dipolos magnéticos y, por tanto, imantar el material.



e) Al enrollar un hilo conductor en una aguja de acero se está sometiendo a la aguja a un campo magnético y, por tanto, se convierte en un imán. Si la corriente fuera alterna entonces el campo magnético en el interior del solenoide cambia constantemente y la imantación y desimantación se producen constantemente, no llegándose a imantar nunca la aguja.

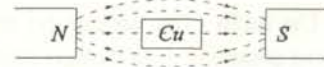


f) Colocando imanes débiles con los polos iguales entre sí se puede construir un imán potente. Si se intercambian los polos, la imantación se debilita e incluso puede desaparecer si los momentos magnéticos de los imanes individuales son iguales.

A.34 Esta experiencia demuestra que, en presencia de un imán, distintas sustancias se comportan de modo diferente, pudiéndose establecer tres grupos: diamagnéticas, paramagnéticas y ferromagnéticas.

Si en el seno de un campo magnético se colocan materiales día, para y ferromagnéticos, las líneas de fuerza vienen modificadas, tomando los aspectos de las figuras.

En el caso de las sustancias diamagnéticas se induce un momento magnético débil contrario al campo externo.



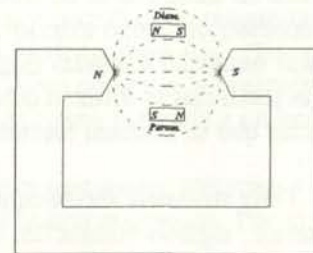
En el caso de las sustancias paramagnéticas se induce un momento magnético débil del sentido del campo externo.



En el caso de las sustancias ferromagnéticas se induce un momento magnético muy fuerte del mismo sentido que el campo externo.



En un campo magnético no uniforme una sustancia diamagnética es rechazada hacia la región donde el campo magnético es menos intenso (líneas de fuerza más separadas), mientras las paramagnéticas son atraídas hacia la zona en que el campo presenta máxima intensidad.



A.35 Permite comprobar que existe una temperatura, llamada temperatura de Curie, para la cual una sustancia ferromagnética se convierte en paramagnética.

Al mostrarse la experiencia se observa que a medida que aumenta la temperatura del níquel, la desviación del péndulo es menor. Cuando se enfría de nuevo el péndulo recupera la inclinación inicial.

A.36 Para reforzar los conocimientos y conformar la red conceptual se propone establecer una analogía entre la inducción magnética y la eléctrica.

Del mismo modo que todas las sustancias se polarizan cuando se someten a la acción de un campo eléctrico, todas las sustancias se convierten en imanes bajo la acción de un campo magnético, aunque en la mayoría de los casos su imantación es tan pequeña que resulta difícilmente observable. Sólo los cuerpos denominados ferromagnéticos adquieren una imantación apreciable.

- La **Polarización** de un cuerpo es el momento dipolar por unidad de volumen.

$$\vec{P} = \frac{\Delta \vec{m}}{\Delta V} = n \cdot \vec{m} \quad \text{siendo: } n = n^{\circ} \text{ de moléculas por unidad de volumen.}$$

\vec{m} = momento dipolar elemental.

- La **Imantación** de un cuerpo es el momento magnético que posee la unidad de volumen.

$$\vec{M} = \frac{\Delta \vec{m}}{\Delta V}$$

- La **polarización eléctrica (P)** depende de dos factores: $\vec{P} = \chi \cdot \vec{E}$

a) La susceptibilidad eléctrica (χ). Es una característica de la sustancia dieléctrica; para el vacío es cero ya que no puede polarizarse.

b) La intensidad del campo eléctrico (\vec{E}).

- La **imantación (M)**, cuando es pequeña, depende de dos factores: $\vec{M} = \chi \cdot \vec{H}$

a) De la susceptibilidad magnética (χ). Es una característica de la sustancia. Para el vacío es nula.

b) De la **INDUCCIÓN O EXCITACIÓN MAGNÉTICA** ($\vec{H} = \vec{B}/\mu$), siendo μ = permeabilidad del medio material.

La imanación es independiente del medio donde se encuentre el cuerpo.

Por sus propiedades magnéticas las sustancias se clasifican en:

- **Diamagnéticas:** $\chi < 0$ (\vec{M} de sentido contrario a \vec{H}). Ej: Bi, Sb, Hg.

- **Paramagnéticas:** $\chi > 0$ (\vec{M} del mismo sentido que \vec{H}). Ej: Al, O₂, Cl₂Fe.

- **Ferromagnéticas:** $\chi \gg 0$ (\vec{M} del mismo sentido que \vec{H}).

A.37 Presenta un problema que requiere para su solución la creatividad del alumno. Este no tiene problema en señalar que para aumentar el campo magnético en el interior de la bobina debe introducirse un material ferromagnético, constituyendo lo que se llama un electroimán

Sea un solenoide de longitud l , sección de la espira S y por el que circula una corriente I . En su interior se crea un campo magnético igual a $\mu_0 \cdot N \cdot I / l$.

La imantación será:

$$\vec{M} = \frac{\Delta \vec{m}}{\Delta V} = \frac{N \cdot I \cdot \vec{S}}{S \cdot l} = \frac{N \cdot I}{l} \cdot \vec{u} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} = \vec{H}$$

Un imán es igual que un solenoide. Se puede suponer que circula una corriente superficial. El campo magnético $\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{M}$

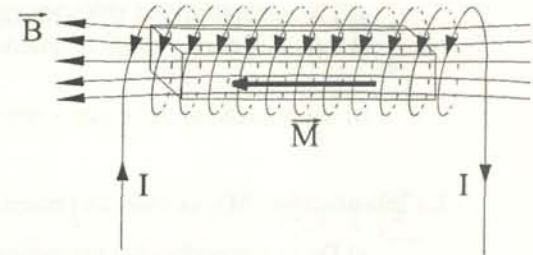
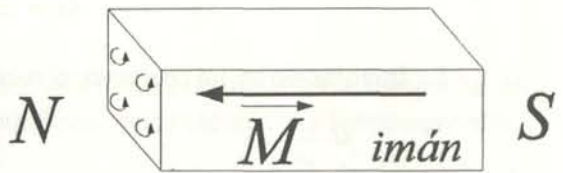
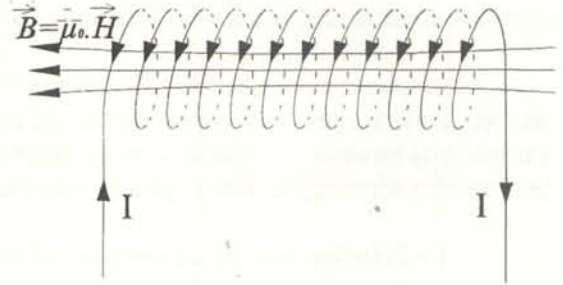
Al introducir un material ferromagnético en el interior de un solenoide, se imanta, ya que está sometido a un campo magnético. Luego el campo magnético total será igual al debido a la intensidad que circula por las espiras ($\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$) más el debido a la imantación que ha sufrido el material ($\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{M}$).

El campo magnético total en el interior del material será:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \vec{M} = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \chi \cdot \vec{H} = \mu_0 \cdot (1 + \chi) \cdot \vec{H} = \mu \cdot \vec{H} \text{ de tal forma que}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) = \text{permeabilidad del material y} \\ \mu / \mu_0 = \mu' = 1 + \chi = \text{permeabilidad relativa del medio respecto al vacío.}$$

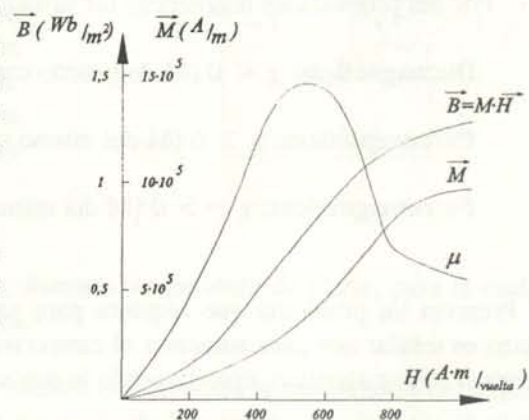
Por tanto, la intensidad del campo magnético aumenta proporcionalmente al valor de la permeabilidad relativa del material.



A.38 El alumno no es capaz de diseñar un experimento para averiguar la imantación de las sustancias ferromagnéticas en función de la corriente eléctrica o de la excitación magnética. Por ello les presentamos el montaje de la figura para que deduzcan cómo poder medir las magnitudes mencionadas y realizar una gráfica.

La brújula sólo está sometida al campo magnético creado por la imantación de la barra de hierro, ya que el debido a las corrientes se anula, al estar bobinadas en sentido inverso.

Variando el cursor del reostato logramos que cambie la intensidad y por tanto $\vec{H} = N \cdot i / l$.



El campo magnético debido a la imantación $\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{M}$ lo obtendremos por la desviación de la aguja de la brújula o magnetómetro.

El campo magnético total existente en la barra ($\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{H} + \mu_0 \cdot \mathbf{M}$) lo podemos representar para diferentes valores de \mathbf{H} , igual que la permeabilidad μ del material ($\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H}$).

A.39 El profesor proporciona información al alumno para que conozca las propiedades y el comportamiento de las sustancias ferromagnéticas.

Las características de las sustancias ferromagnéticas pueden resumirse en:

a) No existe en estos materiales la proporcionalidad entre la imantación y la excitación. ($\mathbf{M} \npropto \chi$)
 $\chi \npropto \text{cte} = f(\mathbf{H})$ (χ depende de \mathbf{H})
 $\mu \text{ o } \mu' = f(\mathbf{H})$

b) Su permeabilidad relativa puede alcanzar valores muy elevados, de 1000 a 3000.

c) Para cada material ferromagnético existe una determinada temperatura, denominada de *Curie*, por encima de la cual deja de comportarse como ferromagnético para transformarse en paramagnético. Ejemplo: para el hierro la temperatura de Curie es de 796 °C, para el níquel de 360 °C y para el Co 1137°C.

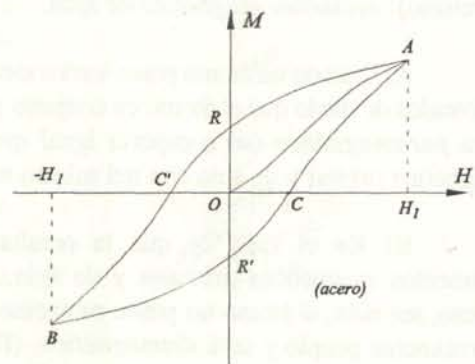
d) Las propiedades y comportamiento de un material ferromagnético dependen de los tratamientos previos a que haya estado sometido.

e) La imanación va acompañada de ligeros cambios de longitud (*magnetostricción*).

El comportamiento de una superficie ferromagnética sometida a un campo magnético variable queda resumido en la figura que representa el ciclo de histéresis del acero.

Al someter el acero a un campo magnético externo sigue la línea OA hasta que se satura, no imantándose más por mucho que aumentemos la excitación.

Si una vez saturado disminuimos la excitación de H_1 a O y luego la aumentamos en sentido contrario, de O a $-H_1$ la sustancia sigue la curva $ARC'B$ de tal forma que al eliminar la excitación la sustancia queda imantada con una imantación igual a OR (*magnetismo remanente*).



Se necesita una excitación contraria a la inicial igual a OC' para que la imantación desaparezca (*Fuerza o campo coercitivo*).

Si ahora variamos la excitación de $-H_1$ a H_1 la sustancia describe la curva $BR'CA$.

El área del ciclo de histéresis es proporcional a la energía perdida en forma de calor al someter al material al mencionado ciclo.

Un material destinado a construir imanes permanentes (acero) debe poseer un ciclo de histéresis ancho, con objeto de que su campo coercitivo sea grande; en cambio en las dinamos, motores, transformadores, etc, siempre que una masa ferromagnética deba moverse en un campo alterno, convendrá utilizar material de ciclo estrecho, pues así se imantará y desimantará más fácilmente.

A.40 Después de haber realizado las actividades anteriores el alumnos se encuentra en disposición de comprender la teoría electrónica del magnetismo.

Cuando estudiamos los campos magnéticos en la materia vimos que el campo eléctrico se ve influido por la presencia de dipolos eléctricos. En el caso de moléculas polares (cuyo momento dipolar eléctrico es permanente) los dipolos se alineaban mediante la acción de E .

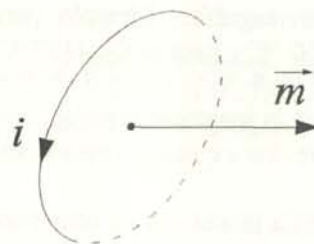
En el caso de moléculas no polares se inducen dipolos eléctricos mediante el campo externo. En ambos casos, los dipolos se alinean paralelamente a E , tendiendo a debilitar ese campo externo.

En el magnetismo los fenómenos son algo semejantes. Los átomos tienen momentos magnéticos debido al movimiento de sus electrones que giran alrededor de su núcleo: *momento magnético orbital*.

Ampere, en 1823, había predicho que el magnetismo era debido a corrientes cerradas existentes en el interior de la materia.

$$m = i.S = (q/T).S = q.v.S$$

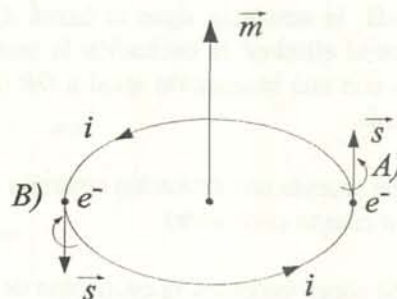
en donde: q = carga del electrón.
 v = n° de vueltas por segundo.
 S = Vector área de la órbita.



Además cada electrón tiene un momento magnético intrínseco asociado con su *spin* (giro sobre sí mismo): *momento magnético de spin*.

A) Cuando un átomo posee varios electrones es posible que las órbitas de estos y sus ejes estén orientados de modo que el átomo en conjunto posea un *momento magnético*. En este caso dicho átomo será *paramagnético* (se comporta igual que un pequeño imán o dipolo magnético). (El momento magnético orbital y de spin son del mismo sentido: paralelos).

B) En el caso de que la resultante de los momentos magnéticos orbitales y de spin, dentro del átomo, sea nula, el átomo no posee momento magnético permanente propio y será *diamagnético*. (El momento magnético orbital y de spin son de sentido contrario: antiparalela).



A diferencia de lo mencionado en el caso de los dipolos eléctricos, la alineación de los dipolos magnéticos paralelos a un B externo tienden a aumentar o disminuir el campo.

Podemos clasificar los materiales en tres categorías: *Paramagnéticos*, *diamagnéticos* y *ferromagnéticos*. En las sustancias para o ferromagnéticas las moléculas tienen momentos dipolares magnéticos permanentes.

En el caso del *paramagnetismo*, estos momentos están normalmente orientados al azar; en presencia de un **B** externo, los dipolos se alinean parcialmente en la dirección de **B**, produciéndose así un incremento del mismo; sin embargo, a temperaturas ordinarias y con **B** externos normales, sólo una fracción muy pequeña de las moléculas se ven alineadas debido a que el movimiento térmico tiende a desorientarlas. El aumento de **B** total es, por consiguiente, muy pequeño.

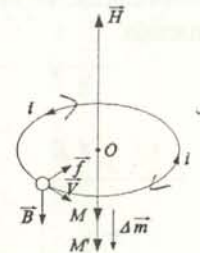
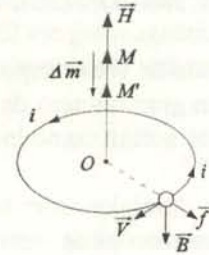
El *ferromagnetismo* es mucho más complicado; debido a una fuerte interacción entre los dipolos magnéticos vecinos, puede conseguirse un alto grado de alineación incluso con **B** externos débiles, originando así un incremento muy grande del campo total. Incluso existen materiales que pueden tener sus dipolos magnéticos alineados, en ausencia de **B** externo. Este es el caso de los imanes permanentes.

El *diamagnetismo* es el resultado de un momento magnético inducido de sentido opuesto al campo externo. Los dipolos inducidos debilitan así el B externo. Este efecto se produce en **todas** las sustancias, pero es muy pequeño.

1) INTERPRETACIÓN DEL DIAMAGNETISMO.

Supongamos un electrón girando alrededor de su órbita. Cuando aparece una excitación magnética exterior **H** normal a la órbita:

- Si el e^- gira en el sentido de las agujas del reloj, i girará en sentido contrario. Se creará un $m = OM$ y por estar el electrón en presencia de **H**, estará sometida a una fuerza **f** hacia afuera, tendiendo a aumentar el radio de la órbita; pero como la energía del electrón no puede variar, entonces disminuirá su velocidad de rotación y por tanto su **m**, el cual pasará de **OM** a **OM'**.



Luego: La reacción individual de los momentos orbitales elementales tiene lugar siempre de modo que presente un Δm opuesto al campo de excitación **H** a que se encuentran sometidos. Por esto se dice que "la materia es por su propia naturaleza *diamagnética*" o que "el diamagnetismo es una propiedad natural de la materia".

Por lo que acabamos de exponer la susceptibilidad de los cuerpos diamagnéticos es independiente de la temperatura (agitación térmica).

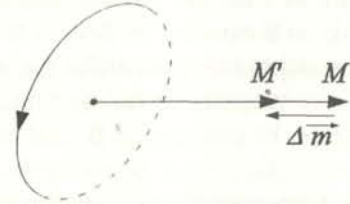
$$m_{orb} + m_{spin} = 0 \text{ (en ausencia de H).}$$

Con la acción de un **H** externo, el momento orbital disminuye y el momento total (suma del momento orbital y de spin) es distinto de cero y contrario a **H**.

2) INTERPRETACIÓN DEL PARAMAGNETISMO.

Cuando un átomo posee un m permanente (ya que no se compensan los momentos orbitales y de spin de sus electrones) equivale a un pequeño dipolo magnético. En este caso, al establecerse un B externo ocurren dos fenómenos:

1.- El átomo, comportándose como un pequeño imán, tiende a orientarse en el sentido del campo. A esta orientación se opone la temperatura.



2.- Sobre cada órbita actuará el campo de la misma forma indicada en las sustancias diamagnéticas.



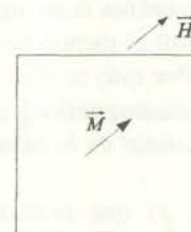
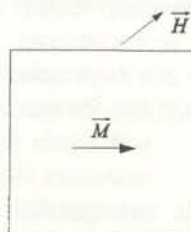
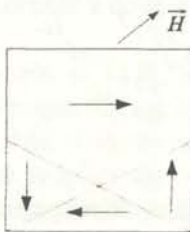
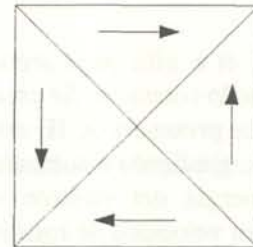
Como predomina la acción orientadora sobre el diamagnetismo, la sustancia se comportará *paramagnéticamente*.



3) INTERPRETACIÓN DEL FERROMAGNETISMO.

La teoría de Weiss supone a las sustancias ferromagnéticas divididas en un gran número de zonas o dominios elementales que individualmente actúan como imanes permanentes.

Estos dominios son muy pequeños en relación a las dimensiones macroscópicas, pero bastantes grandes en relación con el tamaño de los átomos. Esta imanación está dirigida en determinadas direcciones, de tal forma que en conjunto la sustancia aparece desimanada.



Si aplicamos un campo H , el dominio con su imanación más próxima a la dirección del vector inducción comienza a aumentar de volumen, con lo cual ya no existe compensación y la sustancia adquiere una imanación.

Si aumenta el valor de H puede ocurrir que el dominio favorecido llegue a ocupar toda la sustancia. Si H sigue aumentando la imanación llegará a la saturación, debido a la rotación de los momentos magnéticos atómicos. (m toma la misma dirección que H).

Cuando se aplica a la sustancia un campo grande y luego se anula, las fronteras que se habían desplazado no vuelven a sus posiciones primitivas, quedando, por tanto, un magnetismo remanente. Si queremos anular completamente este magnetismo tendremos que aplicarle de nuevo un campo de sentido contrario (*campo coercitivo*).

Finalmente, la existencia de una temperatura de *Curie* crítica (para cada material) demuestra que a dicha temperatura la agitación térmica desorganiza el relativo orden magnético representado por los dominios. El material se vuelve paramagnético.

A.41 Desde el descubrimiento de los primeros imanes naturales se sabe que la Tierra se comporta como un gigantesco imán, cuya interpretación no es todavía satisfactoria.

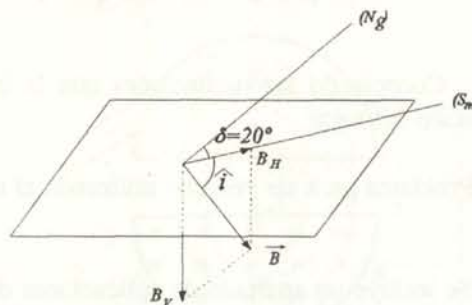
Al principio sólo se conocían sus efectos sobre la superficie terrestre; después se observaron fuertes efectos bajo la superficie terrestre, y más tarde algunos fenómenos relacionados con las auroras boreales (partículas energéticas en movimiento) y ciertos aspectos de los rayos cósmicos demostraron que el campo magnético de la Tierra se extiende hacia enormes distancias en el espacio.

La Tierra equivale a un gigantesco imán, cuyos polos están situados a unos 20° de los correspondientes al eje de rotación y algo hacia el interior de la superficie. El eje geomagnético no pasa exactamente por el centro de la Tierra, y además la intensidad de B sobre la superficie terrestre es algo mayor en el hemisferio norte que en el opuesto.

La *Declinación magnética* (δ) es el ángulo que forma el norte magnético con el geográfico. Su valor aproximado es de 20° .

La *Inclinación magnética* (i) es el ángulo que forma el campo magnético real con el plano del horizonte.

$$\operatorname{tg} i = \frac{B_V}{B_H}$$

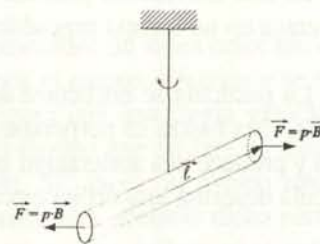


A.42 Presenta un problema práctico que permite conocer el ángulo de inclinación en cualquier punto de la superficie terrestre.

El par de fuerzas a que está sometida la brújula (barra cilíndrica) produce un momento:

$$M = l \cdot p \cdot B = pl \times B = m \times B = -m \cdot B_H \cdot \operatorname{sen} \theta \\ \approx -m \cdot B_H \cdot \theta$$

El período (para oscilaciones pequeñas) de este movimiento armónico es igual a:



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{m \cdot B_H}}$$

El momento de inercia de un cilindro respecto a un eje perpendicular respecto al eje del cilindro por su c.d.g. es: $I = (1/12) \cdot m \cdot (3R^2 + h^2)$

Luego el período es:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot m \cdot (3R^2 + h^2)}{m \cdot B_H}} = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot \rho \cdot S \cdot h \cdot (3R^2 + h^2)}{m \cdot B_H}} = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{\rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h}{12} \cdot (3R^2 + h^2)}{m \cdot B_H}}$$

Por tanto el número de oscilaciones por segundo ($\nu = 1/T$) depende del radio del cilindro (R), de la altura del cilindro (h), del momento magnético del cilindro (m) y de la componente horizontal del lugar (B_H).

Para calcular el ángulo de inclinación del lugar considerado necesitamos conocer B_V y B_H , ya que $\tan i = B_V/B_H$.

Poniendo a oscilar la barra en un plano horizontal y en otro vertical puedo averiguar las oscilaciones que da en cada plano.

Como $T_H = 2\pi\sqrt{\frac{I}{m \cdot B_H}}$ y $T_V = 2\pi\sqrt{\frac{I}{m \cdot B_V}}$ entonces $\tan i = \frac{B_V}{B_H} = \frac{T_H^2}{T_V^2} = \frac{\nu_V^2}{\nu_H^2}$

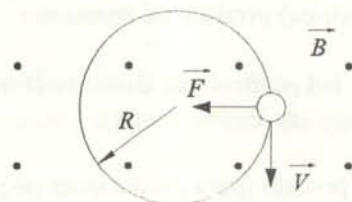
Conociendo las oscilaciones que la barra da en cada plano puedo calcular el ángulo de inclinación del lugar.

A.43 Problema para ser resuelto utilizando el modelo de resolución como investigación.

A.44 Se incluye un apartado de aplicaciones del electromagnetismo con seis actividades para poder manejar los nuevos conocimientos en diferentes situaciones y así hacer posible la profundización y afianzamiento de los mismos. Se tiene, por tanto, presentes las relaciones ciencia/técnica/sociedad que enmarcan el desarrollo científico y tecnológico. Estas actividades incentivan el interés de los alumnos hacia la ciencia y el trabajo científico.

En esta actividad se propone calcular la trayectoria que sigue una carga eléctrica en movimiento cuando entra en un campo magnético.

La partícula se encuentra sometida a una fuerza $\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$. Esta fuerza es perpendicular a la velocidad de la partícula y produce una aceleración normal, la cual hace que la partícula describa una órbita circular de radio:



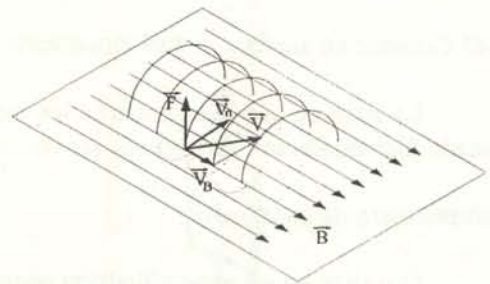
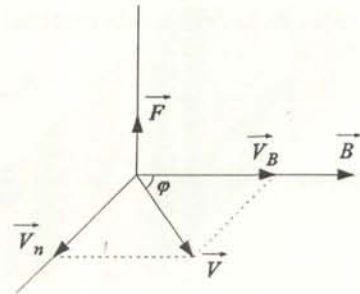
$$m \cdot a_n = m \cdot (v^2/R) = q \cdot v \cdot B \quad \Rightarrow \quad R = (m \cdot v)/(q \cdot B)$$

Es decir, el radio de la trayectoria es proporcional a la cantidad de movimiento de la partícula e inversamente proporcional a la intensidad del campo. La velocidad angular con que describirá su órbita vendrá dada por:

$$\omega = v/R = (q \cdot B \cdot R)/(m \cdot R) = (q/m)B$$

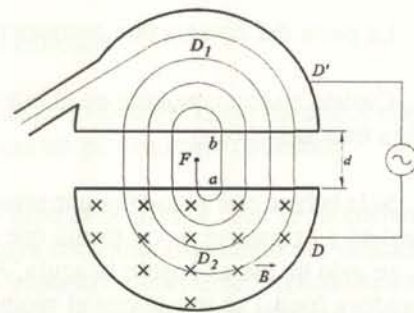
Es decir, "todas las partículas que posean la misma carga específica (q/m) girarán con la misma velocidad angular", aunque describan órbitas de radios distintos.

Si la velocidad de la partícula forma un ángulo ϕ con el campo magnético, podemos considerar dicha v descompuesta en dos, v_n y v_b ; la primera, perpendicular al campo, y la segunda, dirigida según el mismo; en virtud de v_n la partícula describirá circunferencias cuyos radios serán $R = (m \cdot v \cdot \text{sen}\phi)/(q \cdot B)$, pero cuyos planos se desplazarán con una velocidad $v_b = v \cdot \text{cos}\phi$ en la dirección del campo y, por lo tanto, en conjunto, el movimiento de la carga consistirá en la superposición de un movimiento de rotación y otro de traslación, es decir, describirá una órbita helicoidal.



A.45 Se pretende que los alumnos se informen del funcionamiento de un generador de partículas.

El ciclotrón fue ideado por los físicos americanos Lawrence y Livingston en 1931, con objeto de obtener haces de partículas cargadas, animadas de gran velocidad. Consiste fundamentalmente en un par de cámaras metálicas huecas, denominadas D por su forma, entre las que hay una pequeña separación, d , y normalmente a ellas existe un potente campo magnético creado por un gran electroimán.



Cada una de las D va unida a uno de los bornes de un circuito alterno de alta frecuencia, y de este modo la d.d.p. entre ambas cambia de sentido muchas veces por segundo. En consecuencia, el campo eléctrico en el espacio s , comprendido entre las D , está dirigido alternativamente hacia una o hacia otra. El conjunto va encerrado en un recinto metálico en el cual puede hacerse el vacío.

Cuando una carga q^+ , de masa m , es emitida por un foco o generador de iones colocado en F , en el instante en que D_2 es, por ejemplo, negativa, el ion es acelerado por el campo eléctrico y se dirige hacia D_2 , pero al penetrar en el campo magnético normal a la figura con una cierta velocidad v describirá una trayectoria circular cuyo radio es $R = (mv)/(qB)$. El tiempo que tardará en describir una semicircunferencia vendrá dado por $t = (\pi \cdot R)/v = (\pi \cdot m)/(q \cdot B)$. Si, ahora, el campo eléctrico cambia de sentido en este intervalo tendrá siempre la dirección adecuada para acelerar dicha partícula cada vez que pase de una a otra D . La trayectoria del ión será, por lo tanto, una espiral, pues cada vez que pase de una a otra D su velocidad aumentará y, por lo tanto, lo hará también el radio de su

trayectoria, hasta que finalmente el ión puede ser lanzado tangencialmente al exterior del ciclotrón animado a gran velocidad, gracias a un potencial elevado conectado a un electrodo auxiliar, A .

La máxima energía que puede comunicarse a una partícula viene limitada por el radio máximo de la D (radio de la órbita más externa). Su valor será:

$$E_{\text{máx}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{máx}}^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{m} \cdot R_{\text{máx}}^2 \cdot B^2$$

Siendo $R^2 = \frac{2 \cdot m \cdot E}{q^2 \cdot B^2}$ y $v = \frac{q \cdot B}{2\pi \cdot m}$

A.46 Pretende que los alumnos averigüen cómo midió Thomson la razón e/m en los rayos catódicos.

A.47 Consiste en analizar el funcionamiento de los aparatos de medida.

La base de la mayor parte de los medidores de corriente es un dispositivo electromagnético llamado **Galvanómetro**. Este puede ser de imán o de bobina móviles.

Galvanómetro de imán móvil:

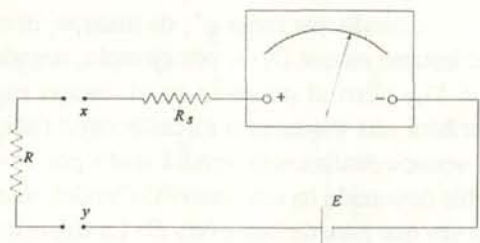
Consiste en un imán cilíndrico pequeño acoplado a una aguja indicadora; el conjunto puede girar alrededor de algún eje sobre una escala. El centro de suspensión del sistema se encuentra por encima de su c.d.g., con lo que resulta que el momento del peso es recuperador hacia la posición vertical de la aguja (cero de la escala).

La parte del sistema que corresponde al imán se introduce dentro de una bobina.

Cuando no hay corriente en la bobina, no hay fuerza magnética que tienda a orientar al imán y la aguja indicará el cero.

Si la bobina está recorrida por una corriente, aparece un campo magnético en su interior y el imán tenderá a orientarse de tal forma que queden enfrentados los polos de distinta clase entre él y la bobina, girando un cierto ángulo la aguja. Esta quedará en equilibrio cuando el momento de la fuerza recuperadora (peso) se iguale con el momento de la fuerza orientadora. Como esta última fuerza es tanto mayor cuanto mayor lo sea la intensidad de la corriente que pasa por la bobina, no permite medir la intensidad mediante la medida de la desviación de la aguja de su posición de equilibrio. La intensidad de la corriente, por estar construida la bobina con un conductor metálico, es proporcional a la diferencia de potencial; esto nos permite medir d.d.p. con este aparato, calibrándolo adecuadamente.

Si comparamos la desviación producida en la aguja cuando conectamos el instrumento a una fuente de alimentación de d.d.p. conocida, con la que le produce la misma fuente cuando la conexión se hace mediante un elemento resistor, podemos obtener una medida de la resistencia de este elemento y el aparato funcionará como un óhmetro.



Galvanómetro de bobina móvil:

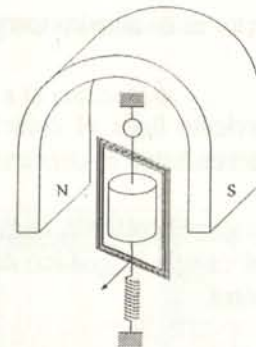
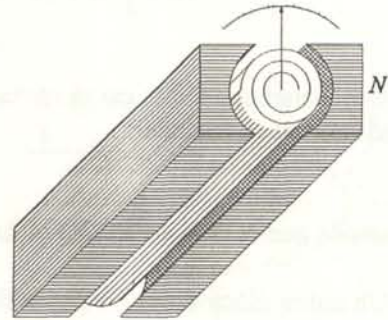
Es el dispositivo que utilizan casi todos los utensilios modernos de medidas que hacen uso del efecto electromagnético de la corriente.

El funcionamiento es análogo al galvanómetro de imán móvil. La bobina-aguja es la parte móvil y está montada sobre un eje que gira sobre dos cojinetes de zafiro. Al efecto orientador de esta bobina que gira entre los polos de un imán, se opone el efecto recuperador de dos muelles en espiral colocados a ambos lados de la bobina sobre el eje de giro en los que, cuando la bobina gira, uno se extiende y el otro se distiende, con el fin de acumular posibles efectos térmicos sobre su función.

Uno de los muelles es regulable para poder ajustar la posición de la aguja al cero de la escala cuando no hay corriente.

Los muelles sirven también para conducir la corriente eléctrica hasta la bobina.

Las características de los aparatos que utilizan el galvanómetro como dispositivo básico son distintas, según su función.

**A.48** Pretende analizar el funcionamiento de un galvanómetro balístico.

Para medir la cantidad de electricidad transportada por una corriente de corta duración, como, por ejemplo la de carga o descarga de un condensador, se utiliza un galvanómetro balístico.

Consideramos un galvanómetro de cuadro móvil con N espiras de área A , que su momento de inercia es I' y que se halla suspendido de un hilo de torsión cuya constante (momento por unidad de ángulo) es K' . Supongamos que a través del cuadro se envía un impulso de corriente. La intensidad en el instante inicial es nula, alcanza después un máximo y, finalmente, se anula de nuevo en un intervalo de tiempo tan corto que el cuadro no gira un ángulo apreciable mientras dura el impulso de corriente, sino sólo después de que este ha terminado. Durante el impulso, el momento viene dado en cualquier instante por $M = N \cdot i \cdot A \cdot B$, y el impulso angular es el de este momento integrado a lo largo del tiempo que dura el impulso de corriente. Dado que el impulso angular es igual al incremento del momento cinético, se tiene:

$$\int N \cdot i \cdot s \cdot B \cdot dt = I' \omega, \text{ siendo } \omega \text{ la velocidad angular al comienzo de la desviación del}$$

galvanómetro.

La energía cinética inicial del cuadro se convierte en energía potencial elástica del hilo de torsión, de modo que $\frac{1}{2} \cdot I' \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot K' \cdot \theta_{\text{máx}}^2$, siendo $\theta_{\text{máx}}$ el ángulo máximo de desviación.

Eliminando ω de las ecuaciones anteriores tenemos que:

$$N.A.B. \int i dt - \sqrt{k' \cdot I} \theta_{\text{máx}} - N.A.B.Q \rightarrow \theta = \frac{\sqrt{k' \cdot I}}{N.A.B.} \theta_{\text{máx}}$$

Esto demuestra que la carga enviada a través de un galvanómetro balístico es proporcional al ángulo máximo de desviación.

A.49 Pretende que el alumno analice el funcionamiento de un motor de corriente continua.

Un motor eléctrico es un dispositivo que transforma energía eléctrica en energía mecánica.

Partes del motor de c.c.:

El colector es un cilindro formado por dos láminas de cobre aisladas entre sí. Estas láminas se llaman delgas.

La corriente llega al colector mediante dos escobillas. Estas, en el motor que estamos describiendo, deben hacer el contacto con las delgas en el centro del colector.

Cuando gira el colector, cada vez que el plano de cada espira de la bobina es perpendicular a la dirección del campo magnético del estator, la delga que hacía contacto con una escobilla pasa a hacerlo con la otra.

"El colector realiza la función de un conmutador. Este efecto es esencial para el funcionamiento de un motor de corriente continua".

Funcionamiento:

La bobina está sometida a un campo magnético. Cuando circula corriente por las espiras actúan un par de fuerzas en ellas que crean un momento capaz de producir el giro. Lógicamente, según sea el sentido de la corriente, el giro será en uno u otro sentido.

$$\vec{M} = I(\vec{S} \times \vec{B})$$

Cuando la bobina alcance la posición vertical, por ella no pasará corriente; las escobillas harán contacto con el aislante entre las dos delgas y no aparecerá fuerza que haga girar el motor. Esta situación dura un tiempo brevísimo y con la inercia del giro sigue produciéndose, teniendo lugar a continuación el efecto conmutador del colector.

A.50 El concepto de flujo magnético es muy parecido al de flujo eléctrico. Como el alumno ya lo conoce puede definirlo y establecer sus unidades sin mucha dificultad.

El *Weber* es el flujo magnético a través de una superficie de un m^2 cuando el campo perpendicular a ella es igual en todos los puntos a una tesla o miriagaus.

El *Maxwell* es el flujo magnético a través de una superficie de un cm^2 cuando el campo magnético perpendicular a ella es igual en todos sus puntos a un gauss.

A.51 Conocer los conceptos de circuito magnético, fuerza magnetomotriz y reluctancia.

El campo magnético dentro del solenoide vale:

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l} = \frac{\mu' \cdot \mu_0 \cdot N \cdot I}{l}$$

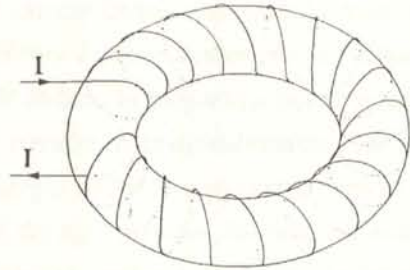
El flujo magnético a través de cualquier sección normal al solenoide será:

$$\phi = B \cdot S = \frac{\mu' \cdot \mu_0 \cdot N \cdot I}{l} \cdot S = \frac{N \cdot I}{\frac{1}{\mu' \cdot \mu_0} \cdot \frac{l}{S}} = \frac{f.m.m.}{R}$$

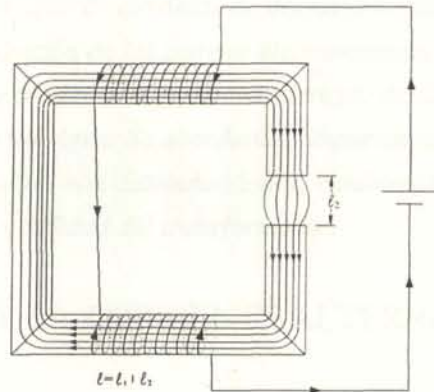
en donde:

La fuerza magnetomotriz = f.m.m. = N.I Amp.vuelta. Es Análoga a la f.e.m.

La reluctancia $R = 1/(\mu' \mu_0) \cdot (l/S)$ Amp.vuelta/weber. Es análoga a la resistencia.



A.52 Es un ejercicio de aplicación para calcular flujos magnéticos a través de circuitos magnéticos formados por diversos materiales.



$$\phi_1 = \frac{N \cdot I}{\frac{1}{\mu' \cdot \mu_0} \cdot \frac{l}{S}} = \frac{N \cdot I}{\frac{1}{\mu' \cdot \mu_0} \cdot \frac{(l_1 + l_2)}{S}} = \frac{N \cdot I}{\frac{l_1}{\mu' \cdot \mu_0 \cdot S} + \frac{l_2}{\mu' \cdot \mu_0 \cdot S}}$$

$$\phi_2 = \frac{N \cdot I}{\frac{l_1}{\mu' \cdot \mu_0 \cdot S} + \frac{l_2}{\mu_0 \cdot S}}$$

$$\Delta \phi = \phi_1 - \phi_2 = \frac{N \cdot I}{\frac{l_1}{\mu' \cdot \mu_0 \cdot S} + \frac{l_2}{\mu' \cdot \mu_0 \cdot S}} - \frac{N \cdot I}{\frac{l_1}{\mu' \cdot \mu_0 \cdot S} + \frac{l_2}{\mu_0 \cdot S}} = N \cdot I \left(\frac{\mu' \cdot \mu_0 \cdot S}{l_1 l_2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot S}{\mu'} \right) = N \cdot I \cdot \mu_0 \cdot S \left(\frac{\mu'}{l_1 l_2} - \frac{\mu'}{l_1 + \mu' \cdot l_2} \right)$$

$$\Delta \phi = N \cdot I \cdot \mu_0 \cdot \mu' \cdot S \cdot \frac{l_2 \cdot (\mu' - 1)}{(l_1 l_2) \cdot (l_1 + \mu' \cdot l_2)}$$

A.53 Para averiguar en qué grado los alumnos han construido los conceptos tratados les pedimos que elaboren uno o varios mapas conceptuales. Además esta actividad es esencial para que reflexionen sobre cómo ha evolucionado su conocimiento.

V.2.4 UNIDAD DIDÁCTICA 4: INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y CORRIENTE ALTERNA.

Alrededor de 1831 fue descubierto un fenómeno de extraordinaria importancia teórico y práctica por Michael Faraday en Inglaterra y por Joseph Henry independientemente en Estados Unidos. Ambos vieron que la acción de un campo variable de inducción magnética puede generar (inducir) una f.e.m. y hacer que circule una corriente por un circuito. Este descubrimiento abrió el camino para la conversión práctica de la energía mecánica en energía eléctrica y viceversa e inició así el gran desarrollo industrial de la electricidad en la segunda mitad del siglo pasado. Además, del mismo modo que el descubrimiento de Oersted proporcionó la ligadura esencial entre los fenómenos magnéticos y sus orígenes eléctricos, así el descubrimiento de las f.e.m.s. inducidas fue el punto de partida esencial para la comprensión de los fenómenos electromagnéticos, es decir, aquellos efectos dependientes del tiempo en los que son completamente interdependientes los campos magnéticos y eléctricos. La observación de que el magnetismo puede ser "causa" de la electricidad condujo posteriormente a James Clerk Maxwell a introducir el concepto de corriente de desplazamiento y a partir de ella pudo deducir una teoría de la luz como la radiación de los campos electromagnéticos.

En este tema analizaremos fenómenos en donde se producen corrientes eléctricas, mediante variaciones de flujo magnético, estableciendo las leyes que los rigen. Se abordará la importancia del generador de corriente alterna, se examinarán circuitos sencillos con autoinducciones, condensadores y resistencias y, por último se estudiará las características y utilidad del transformador.

LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y LA CORRIENTE ALTERNA

El índice del tema es el siguiente:

1. FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA.

- 1.1 Ley de Faraday y ley de Lenz.
- 1.2 Aplicaciones de la ley de Faraday.
- 1.3 Inducción mutua y autoinducción.
- 1.4 Energía en campos magnéticos.
- 1.5 El circuito R-L.
- 1.6 El circuito L-C.

2. CORRIENTE ALTERNA.

- 2.1 Generador de corriente alterna.
- 2.2 El circuito R-L-C.
- 2.3 Potencia en circuitos de corriente alterna.
- 2.4 El transformador.

1. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

1.1 Ley de Faraday y Ley de Lenz.

Se ha estudiado la transformación de la energía eléctrica en energía química y de la química en energía eléctrica. También hemos visto cómo se transforma la energía eléctrica en energía mecánica en los motores eléctricos. Parece necesario preguntarse: ¿podrá transformarse la energía mecánica en energía eléctrica?.

También hemos visto que una corriente eléctrica genera un campo magnético estacionario, pero ¿será posible que un campo magnético origine una corriente eléctrica estacionaria?. ¿En qué condiciones?.

A.1 Se conectan los terminales de una bobina con un galvanómetro. ¿Qué ocurre cuando se introduce y se saca rítmicamente un imán de la bobina?.

¿De qué magnitudes depende la corriente inducida en la bobina?. Emitir hipótesis, planificar experimentos y sacar conclusiones.

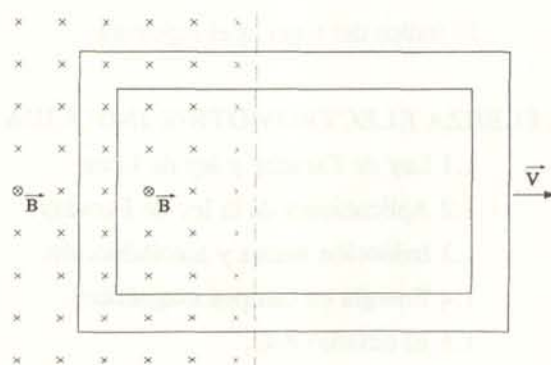
A.2 ¿Qué fuerza electromotriz se induce en una barra horizontal que cae libremente en las proximidades de la superficie terrestre?.

¿Qué f.e.m. se induce entre los extremos de una antena de radio que va colocada verticalmente en lo alto de un automóvil?.

A.3 En la figura puede verse un conductor en forma de espira rectangular sumergido parcialmente en un campo magnético y moviéndose hacia la derecha con una velocidad v .

Explicar los fenómenos que tienen lugar en el conductor.

¿Qué relación existe entre la fuerza electromotriz inducida en la espira y el flujo magnético que la atraviesa?. ¿Qué trabajo debemos realizar sobre la espira para desplazarla hacia la derecha?. ¿Qué potencia mecánica se consume?.



A.4 Exposición por el profesor de las leyes de Faraday y de Lenz.

A.5 Se dispone de un núcleo de hierro en forma de U con dos bobinas de 400 y 2000 espiras colocadas en sus ramas. La de 400 espiras se conecta a una fuente de c.c. de unos 10 V intercalando un

interruptor en el circuito. La otra bobina se la conecta a un voltímetro de 30V. Explicar, considerando las leyes de Faraday y Lenz, lo que ocurre en el voltímetro cuando:

- a) se cierra el circuito de la primera bobina.
- b) se abre.
- c) mientras está cerrado el circuito primario.

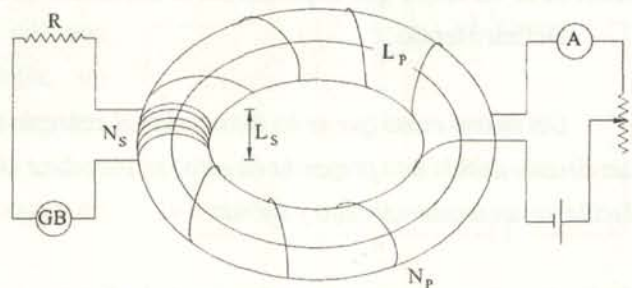
1.2 Aplicaciones de la ley de Faraday.

Mediante una bobina exploradora (bobina con espiras muy apretadas) conectada mediante cables flexibles a un galvanómetro balístico se puede medir la densidad del flujo magnético en un punto cualquiera de un campo magnético.

A.6 Indicar cómo se mide la intensidad del campo en un punto cualquiera utilizando la bobina exploradora.

La permeabilidad magnética μ de un material magnético puede medirse también mediante la ley de Faraday, utilizando un anillo de Rowland con dos bobinas, primaria y secundaria.

A.7 Calcular la permeabilidad magnética del material del anillo de la figura suponiendo que en el circuito primario la corriente varía en una cantidad I_p .

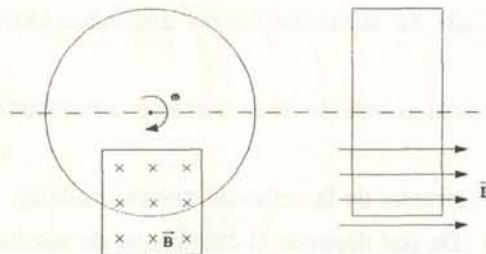


A.8 (Opcional)

Informaros sobre el funcionamiento del betatrón.

A.9 Sobre una zona del disco macizo metálico de la figura hay aplicado un campo magnético. Indicar lo que ocurre en el disco si gira alrededor de su eje según las agujas del reloj.

Tener en cuenta que el disco metálico posee cargas que pueden moverse fácilmente.



1.3 Inducción mutua y autoinducción.

Ya conocemos que siempre que el flujo magnético que atraviesa un circuito fijo varía con el tiempo, se induce en él una f.e.m. Si dicha variación la produce una corriente variable en un segundo circuito, es cómodo expresar la f.e.m. inducida en función de la intensidad variable, en lugar de hacerlo en función del flujo variable.

Se define **inducción mutua** de dos circuitos 1 y 2 como la razón entre el producto del número de espiras de 2 (N_2) por el flujo que atraviesa 2 debido 1 (Φ_{21}), y la intensidad de 1 (I_1):

$$M_{21} = \frac{N_2 \cdot \Phi_{21}}{I_1}$$

Su unidad en el sistema internacional es el **Henrio** en honor a Joseph Henry.

A.10 Expresar la f.e.m. inducida en 2 en función de la variación que experimenta la intensidad en 1.

Definir la inducción en la bobina 1 debida a 2 (M_{12}). Expresar la f.e.m. inducida en 1 en función de la variación que experimenta la intensidad en 2.

Definir Henrio.

Del mismo modo que se ha introducido el concepto de inducción mutua como la f.e.m. inducida en un circuito debido a la presencia de otro, se introduce el concepto de **autoinducción** como la f.e.m. inducida en un mismo circuito y debida a él.

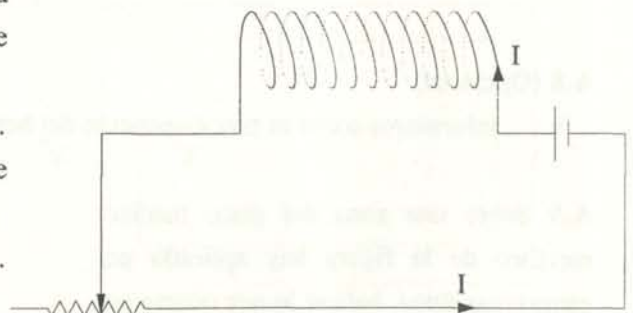
A.11 Explicar lo que ocurre en el circuito de la figura cuando se mueve el cursor del reostato rítmicamente de un lado a otro.

Definir **autoinducción**. Expresar la f.e.m. autoinducida en un circuito en función de la corriente que circula por el mismo.

¿Cuál es la unidad de la autoinducción?.

Definirla.

Indicar el sentido de la corriente autoinducida.



A.12 En el circuito de la actividad anterior indicar:

a) ¿De qué depende el coeficiente de autoinducción de la bobina?.

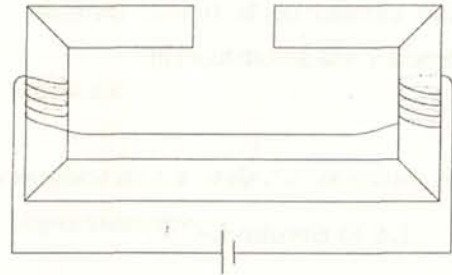
b) ¿Cuál es la energía total almacenada en la bobina?.

c) Indicar la energía almacenada en el campo magnético existente en el interior de la bobina en función de la intensidad del mismo.

A.13 ¿Cuál es el coeficiente de inducción mutua de dos bobinas concéntricas?. ¿Cuándo las f.e.m.s. inducidas en las dos bobinas son iguales?.

1.4 Energía en campos magnéticos.

A.14 ¿Qué energía hay almacenada en el electroimán de la figura. ¿Cuál es su coeficiente de autoinducción?.



A.15 ¿Cuál es la intensidad inducida en una espira circular flexible, situada en un plano perpendicular a un campo magnético, cuando se tira centrífugamente de dos puntos diametralmente opuestos?.

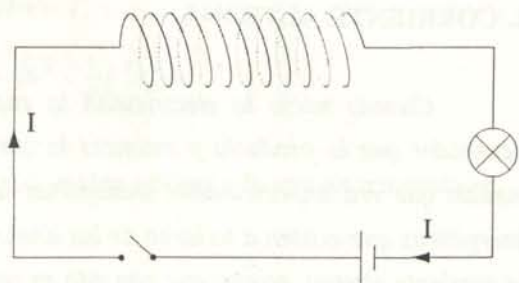
1.5 El circuito R-L.

A.16 (Opcional)

En la figura se representa un circuito, con todos los elementos asociados en serie, formado por una bobina con núcleo de hierro, una bombilla, un interruptor y una fuente de corriente continua de unos 4,5 V.

Predecir, comprobar y explicar lo que ocurre en la bombilla:

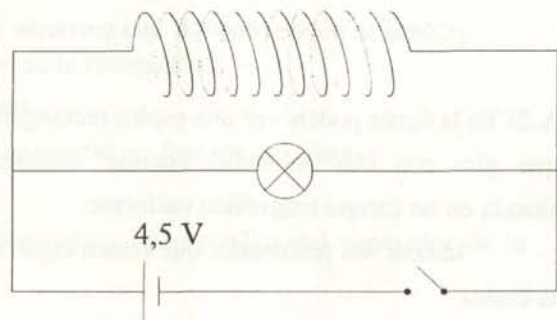
- a) Al cerrar el circuito.
- b) Cuando circula intensidad por el circuito.
- b) Al abrir el circuito.



A.17 (Opcional)

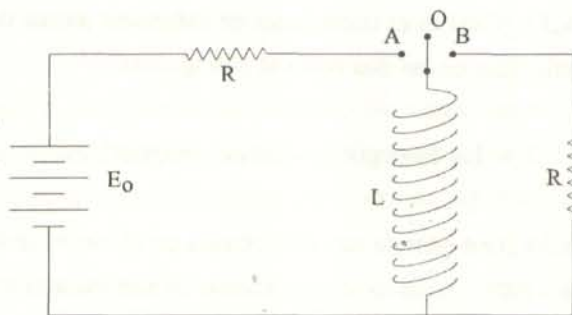
En la figura se representa un circuito con los mismos elementos que el de la actividad anterior, pero con la bobina y la bombilla en paralelo. Predecir, observar y explicar lo que ocurre en la bombilla (10 V):

- a) Al cerrar el circuito.
- b) Cuando circula intensidad por el circuito.
- c) Al abrir el circuito.



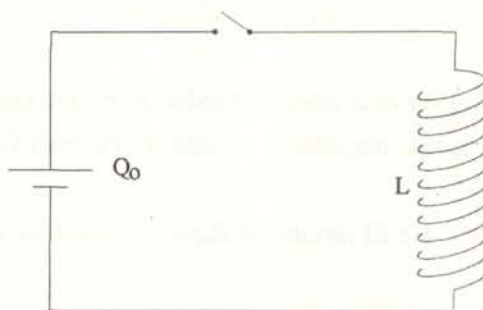
A.18 (Opcional)

Calcular la intensidad de cierre (A) y apertura (B) del circuito de la figura, formado por una resistencia y una autoinducción.



1.6 El circuito L-C.

A.19 Calcular cómo varía la carga del condensador y la intensidad que circula por el circuito de la figura formado por una autoinducción y un condensador, cuando se cierra el interruptor. Inicialmente el condensador tiene una carga Q_0 .



2. CORRIENTE ALTERNA.

Quando nació la electricidad la energía eléctrica se consumía en las proximidades del generador que la producía y entonces la corriente continua era universalmente empleada. Pero a medida que era imprescindible transportar la energía eléctrica a distancia, las grandes pérdidas energéticas que existen a lo largo de las líneas de conducción obligaron a recurrir a la utilización de la corriente alterna, puesto que con ella es posible, mediante el uso de transformadores, transportar la electricidad a elevado potencial y reducirlo luego para el consumo al potencial deseado.

2.1 El generador de corriente alterna.

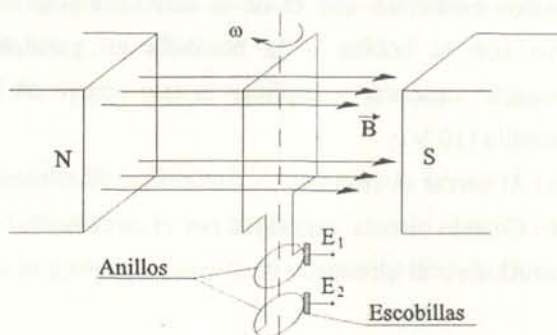
A.20 ¿Por qué al transportar la electricidad a elevado potencial disminuyen las pérdidas en la línea de conducción?

¿Cómo se puede producir una corriente alterna duradera?

A.21 En la figura podéis ver una espira rectangular que gira con una velocidad angular constante situada en un campo magnético uniforme.

Indicar los fenómenos que tienen lugar en la espira.

¿De qué depende la f.e.m. inducida en los extremos de la espira (en los anillos)? Calcularla.



El dispositivo anterior es el **alternador** o generador de corriente alterna más sencillo. Cualquier generador pequeño que utiliza un imán permanente recibe el nombre común de **magneto**, y suele utilizarse en los sistemas de encendido de los motores de combustión interna para segadoras de pasto, motocicletas y lanchas. Veamos su funcionamiento.

A.22 Analizar el funcionamiento de una magneto de c.a. y otra de c.c.

Cuando el campo magnético a que está sometido una magneto de c.a. o de c.c. es creado por un electroimán, el dispositivo se llama **alternador** o **dinamo** respectivamente.

A.23 Analizar el funcionamiento de un alternador y/o de una dinamo. Indicar las diferencias.

2.2 Circuitos sencillos de corriente alterna (R, L, C, R-L, R-C y R-L-C).

En una corriente alterna no cabe definir los valores medios de la f.e.m. e intensidad, porque al variar de forma sinusoidal a lo largo del tiempo resultan evidentemente nulos. Se definen por ellos los valores eficaces que matemáticamente corresponden a la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos a lo largo de un período T :

$$I = \sqrt{I^2} = \frac{1}{T} \int_0^T I_i^2 dt \qquad E = \sqrt{E^2} = \frac{1}{T} \int_0^T E_i^2 dt$$

La mayoría de los amperímetros y voltímetros de c.a. miden valores eficaces de intensidad y tensión.

A.24 Establecer la relación existente entre los valores eficaces y máximos de una f.e.m. y una intensidad alterna.

A.25 Sea un circuito formado por una resistencia conectada a las escobillas del generador de la actividad A.21. Contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Qué intensidad circula a través del circuito?
- ¿Cómo hallaríais experimentalmente el valor de la resistencia?
- ¿Existe desfase entre la f.e.m. y la intensidad?
- Representar de forma gráfica la f.e.m. y la intensidad en función del tiempo.

A.26 Sea un circuito formado por un condensador conectado a las escobillas del generador de la actividad A.21. Contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Qué intensidad circula a través del circuito?

- b) ¿Cómo hallaríais experimentalmente la capacidad del condensador, si la única resistencia que existe en el circuito es la **capacitancia** ($X_C = 1/C\omega$)?
- c) ¿Existe desfase entre la f.e.m. y la intensidad?
- d) Representar de forma gráfica la f.e.m. y la intensidad en función del tiempo.

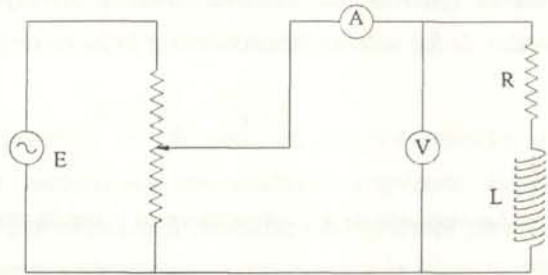
A.27 Sea un circuito formado por una bobina conectada a las escobillas del generador de la actividad

A.21. Contestar a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué intensidad circulará ahora por el circuito?
- b) ¿Cómo hallaríais experimentalmente la autoinducción de la bobina (L), sabiendo que la única resistencia que existe en el circuito es la **inductancia** ($X_L = L\omega$)?
- c) ¿Existe desfase entre la f.e.m. y la intensidad?
- d) Representar de forma gráfica la f.e.m. y la intensidad en función del tiempo.

A.28 Montar el circuito R-L de la figura donde $R=220 \Omega$ y la bobina tiene 400 espiras. Contestar a los siguientes apartados:

- a) Representar el gráfico (V,I) y calcular el valor de la **impedancia** (Z) del circuito.
- b) Medir las d.d.p.s en bornes de la resistencia (V_R), en bornes de la bobina (V_L) y la total (V) para una intensidad fija. Averiguar si $V=V_R+V_L$.
- c) Indicar el desfase entre V e I y entre V_R y V_L . ¿De qué depende?
- d) Calcular el valor de la autoinducción de la bobina.
- e) Representar el diagrama vectorial.

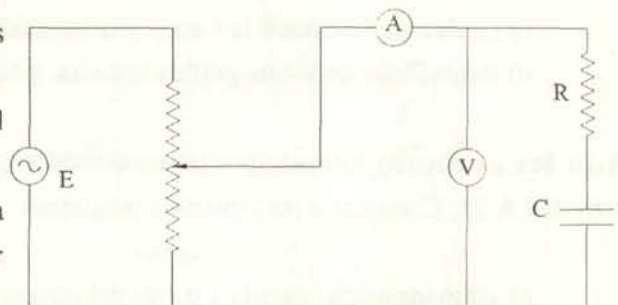


Sustituir la bobina de 400 espiras por otra de 2000 espiras y contestar nuevamente a los apartados anteriores. (Considerar que la resistencia interna de la bobina es de 40Ω).

Desplazar la armadura superior del núcleo en U y justificar el comportamiento de V_L y V_R .

A.29 En el circuito R-C de la figura $R = 1000 \Omega$ y la capacidad C es desconocida. Contestar a los siguientes apartados:

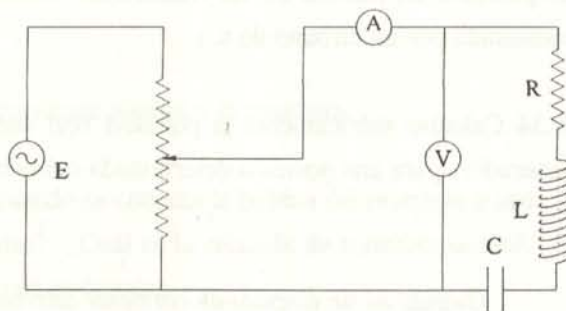
- a) Representar el gráfico (V,I) y calcular el valor de la **impedancia** (Z) del circuito.
- b) Medir las d.d.p.s. en bornes de la resistencia (V_R), en bornes del condensador



(V_C) y la total (V) para un valor fijo de la intensidad. Averiguar si $V = V_R + V_C$.

- c) Indicar el desfase entre V_R y V_C y entre V e I .
- d) Calcular el valor de la capacidad del condensador.
- e) Representar el diagrama vectorial.

A.30 En el circuito **R-L-C** de la figura $R=1000\Omega$, la bobina tiene 2000 espiras y el condensador es de $1\mu F$. Contestar a los siguientes apartados:



- a) Representar el gráfico (V, I) y calcular el valor de la **impedancia** (Z) del circuito.
- b) Averiguar si $V = V_R + V_L + V_C$.
- c) Indicar el desfase entre V_R , V_L y V_C y entre V e I .
- d) Calcular el valor de la autoinducción de la bobina.
- e) Representar de forma gráfica el diagrama vectorial.

A.31 Sea un circuito formado por los siguientes elementos asociados en serie: dos resistencias, una autoinducción y un condensador. Si el circuito está conectado a un alternador, calcular:

- a) El desfase entre la d.d.p. en bornes del alternador y la intensidad que circula por el condensador.
- b) Lo que señalaría un voltímetro de tal modo que sus bornes comprenda a la autoinducción y a una de las resistencias.

CASO PARTICULAR:

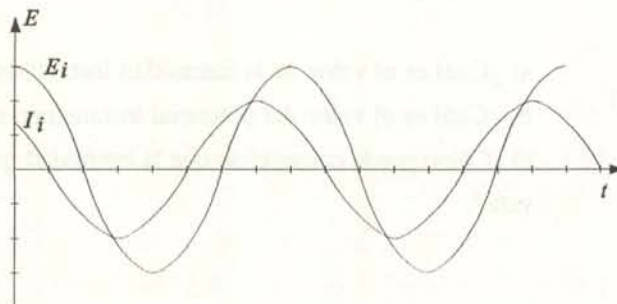
$$L = 100/\pi \text{ H} \quad R_1 = 500 \Omega \quad R_2 = 1100 \Omega \quad C = 1/\pi \mu F \quad E = 100 \text{ V} \quad f = 50 \text{ Hz}$$

2.3 Potencia en circuitos de corriente alterna.

La potencia instantánea P_i de una c.a. se obtiene multiplicando los valores instantáneos de la f.e.m. E_i y la intensidad I .

A.32 Representar la potencia instantánea en el caso de la figura adjunta donde se proporcionan los valores de la f.e.m. e intensidad a lo largo del tiempo.

Indicar el desfase existente entre las magnitudes I y E .



La potencia media suministrada por un alternador o cualquier circuito de c.a. viene dada por la expresión general: $P = E.I.\cos\phi$ donde el término $\cos\phi$ se denomina factor de potencia, siendo ϕ el ángulo de desfase entre E e I .

A.33 Obtener la expresión anterior partiendo de la definición de potencia instantánea. Expresar el factor de potencia en función de las reactancias. Indicar de todas las formas posibles la potencia media consumida por un circuito de c.a.

A.34 Calcular teóricamente la potencia real suministrada al circuito de la actividad A.30 por el generador, para una posición determinada del cursor del potenciómetro.

Cuando en un circuito de corriente alterna la intensidad que circula por él es máxima se dice que está en resonancia. Esta se consigue cambiando la pulsación del generador o bien variando la autoinducción o la capacidad del circuito, como en un receptor de radio o televisión para sintonizar la señal de una estación determinada.

A.35 Comprobar que la condición que debe darse para que un circuito cualquiera de c.a. esté en resonancia es que la frecuencia del circuito sea: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Dibujar el diagrama vectorial. Extraer conclusiones.

A.36 Diseña un experimento para hallar las características de una bobina, indicando cómo calcularías su valor.

Si conectamos una bobina a un alternador, ¿cuál es la potencia que consume? y ¿cuál debe ser la pulsación del generador para que el circuito esté en resonancia?.

A.37 Sea un circuito formado por los siguientes elementos asociados en serie: una resistencia, una autoinducción y un condensador. Si lo conectamos a una toma de c.a.:

- ¿Cuál es el valor de la intensidad instantánea cuando el potencial es nulo?.
- ¿Cuál es el valor del potencial instantáneo cuando la corriente es nula?.
- ¿Cómo puede conseguirse que la intensidad que circule por el circuito sea máxima?. ¿cuánto vale?.

2.4 El transformador.

Ya hemos indicado que la importancia industrial de las corrientes alternas reside en la facilidad y economía con que permiten transportar energía eléctrica. La corriente alterna se produce a baja tensión, se transporta a alta (para reducir pérdidas) y en el lugar de consumo se reduce de nuevo hasta el valor normal de utilización que es, en general, de 220V. Todo esto se consigue fácilmente gracias a los transformadores.

A.38 Establecer las semejanzas y diferencias entre la corriente alterna y la continua.

A.39 Explicar el funcionamiento de un transformador cuando se conecta la bobina del primario a una fuente de c.a. ¿Por qué se producen corrientes inducidas?. ¿Cuál es la relación de transformación?. Indicar los tres tipos de pérdidas que existen y el modo de reducirlas.

A.40 Elaborar un mapa conceptual de la unidad didáctica.

INFORMACIÓN Y COMENTARIOS PARA EL PROFESOR

A.1 Propone una pequeña investigación tendente a averiguar cómo se puede producir una corriente inducida y de qué depende su valor y sentido.

Los alumnos pueden verificar fácilmente sus hipótesis, pero conviene que el profesor salga al paso de esta aparente simplicidad que podría quitar importancia al éxito que supuso, tras largos años de intentos infructuosos, la obtención por Faraday de corriente. Puede referirse así a los intentos del propio Faraday quien en 1824 (la experiencia de Oersted trata de 1820), colocó imanes en la proximidad o dentro de un circuito cerrado, consistente en una espira conectada a un amperímetro. Tras algunos intentos infructuosos abandonó el trabajo, reemprendiéndolo en 1831, esta vez con éxito.

Los alumnos realizan las siguientes observaciones:

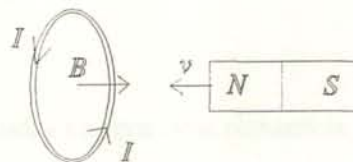
- Al introducir y sacar un imán dentro de una bobina se induce una corriente, que es detectada por un galvanómetro conectado a la bobina. El sentido de la corriente es diferente si el imán entra o sale de la bobina.
- Si el imán permanece en reposo no se detecta ninguna corriente.
- Si se introduce y saca de la bobina el imán por la otra parte la corriente cambia de sentido.

Conclusiones:

- *"Siempre que varía el número de líneas de fuerza del campo magnético a través de un circuito aparece en él una corriente inducida".*
- *"La corriente inducida tiene un sentido tal que produce unos efectos magnéticos que se oponen y tienden a contrarrestar el efecto que la produce".*

Así, cuando el imán se desplaza hacia la izquierda (como en la figura) se genera una intensidad en la espira que tiende a contrarrestar la variación de flujo que la produce (sentido de la figura).

Al mover el imán hacia la izquierda aumentan las líneas de fuerza que atraviesan la espira. Esto hace que se genere una intensidad en la misma que, a su vez, crea un campo magnético, el cual se opone a la variación de flujo producida por el imán.



Se comprueba experimentalmente que la corriente inducida aumenta:

- Al aumentar el número de espiras de la bobina.
- Al aumentar la velocidad del movimiento relativo bobina-espira.
- Utilizando un imán más potente.

Hay que tener en cuenta que al aumentar el número de espiras aumenta la resistencia del circuito y puede ocurrir que la corriente inducida disminuya, aunque la f.e.m. inducida aumente.

Conviene resaltar también las repercusiones de los trabajos de Faraday y otros investigadores desde el punto de vista teórico y práctico. Por una parte condujeron a la producción industrial de corriente eléctrica, tanto alterna como continua. Por otra parte, dichos trabajos hicieron ver la estrecha conexión entre los fenómenos eléctricos y magnéticos llegando a una visión unitaria de los mismos: el electromagnetismo, que se convirtió, junto con la mecánica newtoniana, en un segundo pilar de la Física clásica.

A.2 Propone un problema de aplicación de varios de los conceptos tratados en la unidad didáctica anterior para que los alumnos reflexionen sobre cómo se generan fuerzas electromotrices en conductores que se mueven en un campo magnético.

A.3 Después de realizar esta actividad los alumnos señalan que la corriente eléctrica se induce en un circuito cuando varía el número de las líneas de fuerza de campo magnético que lo atraviesan. Así mismo interpretan el sentido de la corriente inducida.

Sobre el lado AB de la espira, los electrones y protones están sometidos a una fuerza que produce un desplazamiento de los mismos creando una f.e.m. inducida. Veamos:

- Fuerza que actúa sobre una carga positiva:

$$F_m = q \cdot (v \cdot B) = q \cdot v \cdot B$$

- Campo electrostático creado por la fuerza magnética:

$$E_m = F/q = v \cdot B$$

En el bucle (lado AB) existe una f.e.m.:

$$\xi = \oint \vec{E}_m \cdot d\vec{s} = E_m \cdot l = v \cdot B \cdot l$$

El lado AB de la espira puede considerarse como un generador.

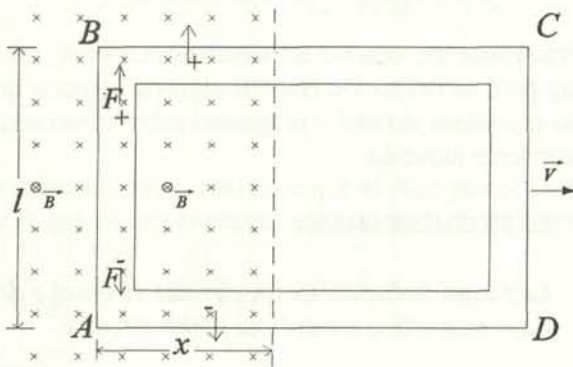
El flujo magnético que atraviesa a la espira es:

$$\Phi_{inc.} = B \cdot l \cdot x$$

$$\Phi_{fin.} = B \cdot l \cdot (x - v \cdot dt)$$

$$\Delta\Phi = \Phi_{fin.} - \Phi_{inc.} = B \cdot l \cdot (x - v \cdot dt) - B \cdot l \cdot x = - B \cdot l \cdot v \cdot dt = - \xi \cdot \Delta t$$

$$\xi = - \frac{d\Phi}{dt}$$



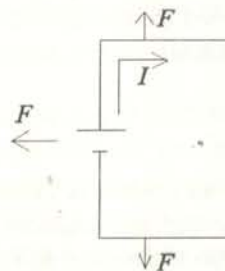
Cuando un circuito se mueve en un campo magnético la f.e.m., debida al movimiento, producida en el circuito es igual a la derivada respecto al tiempo del flujo que atraviesa el área limitada por aquél.

Al crearse una intensidad por la espira, aparece una fuerza en el lado AB igual a: $F = i.l.B$ que se opondrá al movimiento. Por tanto, habrá que realizar un trabajo para desplazar a la espira hacia la derecha venciendo la fuerza que se opone al desplazamiento. Este trabajo será:

$$dW = F.ds = I.l.B.ds = I.l.B.v.dt$$

La potencia mecánica consumida es: $P = dW/dt = I.l.B.v = I.\xi$

La potencia mecánica consumida al desplazar a la espira se transforma en energía eléctrica.



A.4 Prácticamente, con las actividades anteriores, los alumnos comprenden el significado de la ley de Faraday pero su definición engloba algunos aspectos que quizás no han sido apercibidos por el alumno. Por ello el profesor definirá y preguntará sobre consecuencias de esta ley y la de Lenz que indica el sentido de la corriente inducida.

LEY DE FARADAY:

La f.e.m. inducida en un circuito es igual y de signo contrario a la velocidad con que varía el flujo magnético a través de dicho circuito.

$$\xi = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

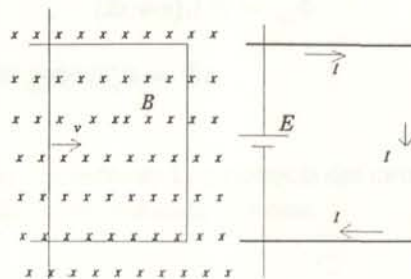
Formas de variar el flujo:

- La corriente que produce el campo, y por lo tanto el flujo, puede aumentarse o disminuirse.
- Moviendo unos imanes permanentes, acercándolos o alejándolos al circuito.
- Acercando o alejando el circuito respecto al campo magnético.
- Variando el área del circuito en un campo magnético uniforme.

LEY DE LENZ :

La dirección de la corriente (o f.e.m.) inducida es tal que por sus efectos electromagnéticos se opone a la variación del flujo que la produce.

La ley de Lenz constituye la expresión particular, en este tipo de fenómenos, de un hecho general que, en su forma más amplia, podríamos enunciar diciendo que "a toda acción se opone una reacción", y por lo tanto no es más que una consecuencia del principio de la conservación de la energía, y no de la perversidad de la naturaleza que sistemáticamente parece oponerse a cualquier alteración.



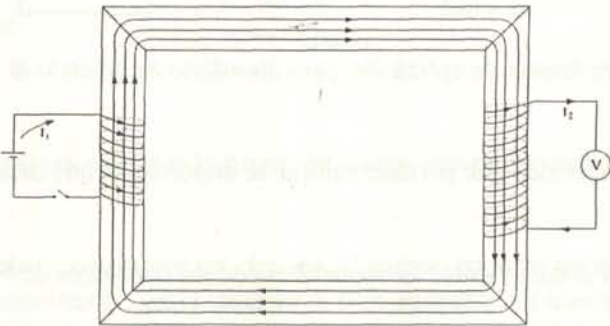
En la figura, se induce una intensidad debido a que el flujo disminuye a medida que se desplaza la barra hacia la derecha; esta corriente crea un campo magnético que hace que el flujo aumente.

A.5 Es una actividad de aplicación de las leyes de Faraday y Lenz para interpretar una situación problemática que ayudará más adelante a interpretar el funcionamiento de un transformador.

Cuando se abre o se cierra el interruptor aparece en el voltímetro una corriente debido a que el flujo magnético ha variado.

Al cerrar el interruptor: I_1 aumenta de cero a su valor máximo; esto hace que el flujo por el núcleo de hierro varíe de cero a $(\mu \cdot N \cdot I_1 / l) \cdot S$. Por lo tanto, se induce una corriente en el secundario del sentido de la figura y de valor:

$$I_2 = \frac{-\frac{d\phi}{dt}}{R_2}$$



Al abrir el circuito: I_1 disminuye de su valor máximo a cero; esto hace que el flujo por el núcleo de hierro varíe de $(\mu \cdot N \cdot I_1 / l) \cdot S$ a cero. Por lo tanto se induce una corriente en el secundario de sentido contrario al que señala la figura. Su valor será

$$I_2 = \frac{-\frac{d\phi}{dt}}{R_2}$$

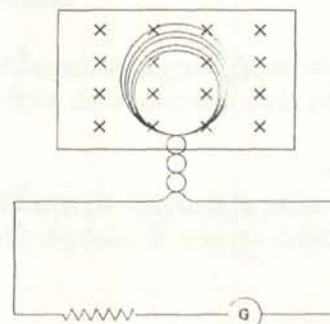
Con el interruptor cerrado no se induce ninguna intensidad en el secundario, ya que no hay variación de flujo.

A.6 Para medir la intensidad del campo magnético existente en una zona determinada se utiliza un aparato consistente en una bobina conectada a un galvanómetro balístico a través de una resistencia. Interpretar el funcionamiento de este aparato de medida ayuda a construir las leyes de Ohm, Faraday y las magnitudes: carga, intensidad, resistencia, f.e.m., etc.

En el circuito de la figura, el flujo que atraviesa la bobina o espiras será $\Phi_m = N \cdot B \cdot A$ cuando tiene una posición como la señalada en la figura.

Si la bobina gira 90° (un cuarto de vuelta) el flujo disminuirá a cero. Esta variación de flujo induce una f.e.m. en la bobina y una corriente en el circuito del galvanómetro y de la bobina de valor

$$I = \frac{\xi}{R} = \frac{1}{R} \cdot \frac{d\Phi_m}{dt}$$



La carga total que pasa a través del galvanómetro será:

$$Q = \int I \cdot dt = \frac{1}{R} \int d\phi_m = \frac{1}{R} (\phi_{inc.} - \phi_{fin.}) = \frac{N A \cdot B}{R}$$

Midiendo la carga total Q mediante el galvanómetro balístico se puede hallar el campo magnético en el lugar donde actúa la bobina

$$B = \frac{R \cdot Q}{N \cdot A}$$

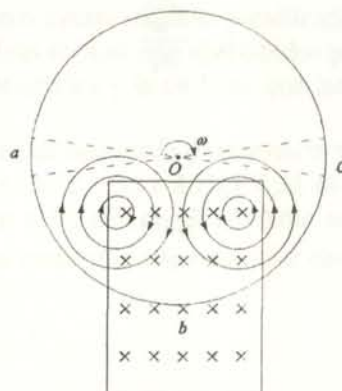
A.7 Problema de aplicación para abordarlo atendiendo al modelo de resolución como investigación.

A.8 Actividad que permite valorar la importancia que tiene la Ciencia para el desarrollo tecnológico.

A.9 Permite valorar la importancia de las corrientes de Foucault.

Las corrientes inducidas tienden siempre a oponerse a la variación de flujo que las origina; por esta razón si un cuerpo sólido metálico se mueve en un campo magnético, o se encuentra fijo en un campo variable, se originarán en su interior *corrientes en torbellino*, llamadas de Foucault, que reaccionando con el campo que las induce tenderán a oponerse a la variación del flujo en el interior del metal.

Puede ser que las f.e.m.s. inducidas sean pequeñas, pero las corrientes turbilhonarias pueden ser muy intensas, porque la resistencia óhmica del metal es muy pequeña o casi nula.



Al girar el disco de la figura, el elemento metálico OC , al pasar a situarse en OB , experimenta un aumento de flujo, el cual será contrarrestado por las corrientes turbilhonarias que se engendran; su sentido será el que figura en el gráfico. Lo contrario ocurrirá cuando el elemento OB pase a OA .

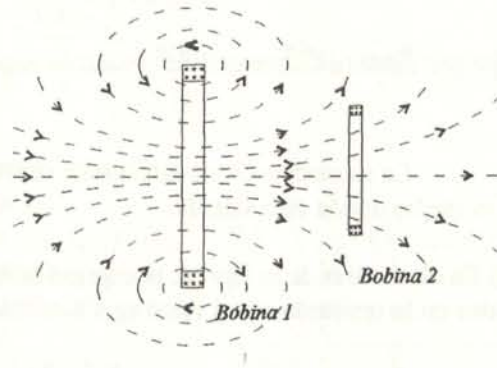
A.10 Mediante la definición de inducción mutua se solicita expresar la f.e.m. inducida en un circuito en función de la variación de intensidad que circula por otro.

$$M_{21} = \frac{N_2 \cdot \phi_{21}}{i_1} \rightarrow N_2 \cdot \phi_{21} = M_{21} \cdot i_1 \rightarrow N_2 \cdot d\phi_{21} = M_{21} \cdot \frac{di_1}{dt} \rightarrow \xi_2 = -M_{21} \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$M_{12} = \frac{N_1 \cdot \phi_{12}}{i_2} \rightarrow N_1 \cdot \phi_{12} = M_{12} \cdot i_2 \rightarrow N_1 \cdot d\phi_{12} = M_{12} \cdot \frac{di_2}{dt} \rightarrow \xi_1 = -M_{12} \cdot \frac{di_2}{dt}$$

La inducción mutua puede considerarse como la f.e.m. inducida en la bobina 2 para el valor unidad de la derivada respecto al tiempo de la intensidad que circula por la bobina 1.

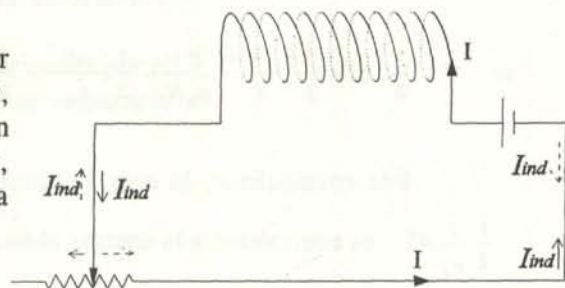
HENRIO: es la inducción entre dos circuitos de tal forma que se induce en uno de ellos 1 V de f.e.m. cuando por el otro circula una intensidad variable de un amperio cada segundo.



A.11 Actividad parecida a la anterior donde se solicita expresar la f.e.m. en un circuito en función de la corriente autoinducida.

Cuando varía la intensidad de la corriente que pasa por un circuito, el campo magnético creado por aquella sufre análogas variaciones, y, en consecuencia, varía también el flujo magnético a través del propio circuito, lo que motiva la aparición en el mismo de una f.e.m. de inducción (f.e.m. autoinducida) que, como siempre, tiende a oponerse a la causa que la produjo, es decir, a la variación del flujo a través del propio circuito. En consecuencia, nace una corriente autoinducida, cuyo sentido será el mismo que el de la corriente variable en el circuito si la intensidad disminuye, o contrario a aquélla cuando tiende a aumentar.

En el circuito de la figura, al mover el cursor hacia la izquierda, aumenta la resistencia del circuito y, por tanto, la intensidad disminuye. Esta disminución hace que el flujo en el interior de la bobina disminuya y, por tanto, se autoinduzca una intensidad que tienda a oponerse a la variación del flujo.



Se denomina *autoinducción* (L) del circuito al flujo que atraviesa el circuito por unidad de intensidad.

$$L = \frac{\Phi_{TOTAL}}{I} \rightarrow \Phi_{TOTAL} = L \cdot I \rightarrow \frac{d\Phi_{TOTAL}}{dt} = L \cdot \frac{dI}{dt} \rightarrow \xi = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

La autoinducción de un circuito puede considerarse como la f.e.m. inducida para un valor de la derivada de la intensidad respecto al tiempo igual a la unidad.

HENRIO: es la autoinducción de un circuito en donde se autoinduce una f.e.m. de un voltio cuando la intensidad que circula por el mismo varía a razón de un amperio cada segundo.

A.12 Lo mismo que un condensador es un pequeño almacén de energía debido a la existencia en su interior de un campo eléctrico, una bobina también es un pequeño depósito de energía debida, en este caso, a la existencia en su interior de un campo magnético.

$$a) \quad L = \frac{\Phi_{TOTAL}}{I} = \frac{N \cdot \Phi_{exp.}}{I} = \frac{N \cdot B \cdot S}{I} = \frac{N \cdot \frac{\mu_0 N I}{l} \cdot S}{I} = \frac{\mu_0 N^2 \cdot S}{l}$$

La autoinducción de una bobina depende del número de espiras, su sección, su longitud y el medio donde esté situada.

b) En el circuito de la figura, la energía proporcionada por la batería, parte se transforma en calor en la resistencia y el resto se almacena en la bobina.

$$E_0 \cdot I = R \cdot I^2 \cdot L \cdot \left(\frac{dI}{dt}\right) \cdot I$$

La energía almacenada en la bobina en un $dt = \xi \cdot I \cdot dt = L \cdot (dI/dt) \cdot I \cdot dt = L \cdot I \cdot dt$

La energía total suministrada a la bobina mientras la intensidad crece desde cero hasta I es:

$$W = L \int_0^I I \cdot dI = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$

c) Como $B = \frac{\mu_0 N I}{l}$ e $I = \frac{B \cdot l}{\mu_0 N}$ entonces tenemos que la energía almacenada en la bobina

$$\text{es } W = \frac{1}{2} L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 \cdot S}{l} \cdot \frac{B \cdot l}{\mu_0 N} = \frac{1}{2} \frac{S \cdot l \cdot B^2}{\mu_0} = \frac{B^2}{2 \mu_0} \cdot S \cdot l$$

Por consiguiente, la energía almacenada en un solenoide por unidad de volumen

$$\frac{1}{2} \frac{1}{\mu_0} B^2 \quad \text{es equivalente a la energía almacenada en un condensador plano } \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot E^2$$

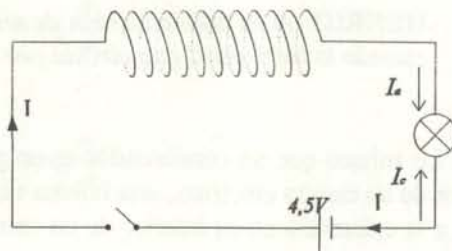
"Siempre que se establece un campo magnético en un volumen del espacio, se almacena en él energía, siendo la energía almacenada por unidad de volumen:

$$\frac{1}{2} \frac{1}{\mu_0} B^2$$

A.13, A.14 y A.15 Son problemas para afianzar y reforzar los conceptos que se pretenden construir.

A.16 y A. 17 Sirven para reflexionar sobre las extracorrentes de apertura y de cierre cuando se abren o se cierran circuitos eléctricos.

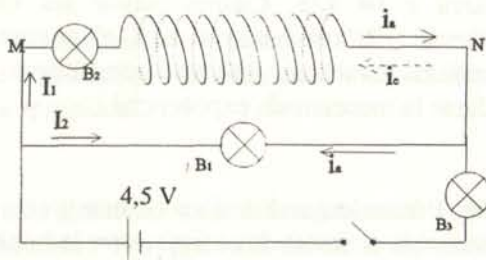
En la figura de la actividad 16 al cerrar el circuito, la intensidad aumenta bruscamente, lo cual produce una variación de flujo en la bobina que induce una intensidad en el circuito, que se opone a la que la crea. Esto hace que la intensidad en el circuito no pase instantáneamente de cero a su valor máximo, sino que tarde un tiempo. Se observa que la lámpara tarda un tiempo en adquirir su máximo brillo.



Si el interruptor permanece cerrado no ocurre nada de particular.

Al abrir el interruptor se induce un corriente que se opone a la desaparición de la intensidad. Esto hace que la lámpara tarde un rato en apagarse.

En el circuito de la actividad 17 se observa que al abrir el interruptor las bombillas B_1 y B_2 , antes de apagarse, brillan intensamente (paso de una extracorrente de apertura) e incluso pueden llegar a fundirse si el circuito se interrumpe muy rápidamente, ya que la f.e.m. de ruptura es muy elevada; en cambio, B_3 se apaga normalmente.



Por el contrario, al cerrar el circuito, las bombillas B_1 y B_3 se encienden normal e instantáneamente, mientras B_2 lo hace muy despacio, por efecto de la contracorrente de cierre (i_c) que se opone dentro del circuito MN al paso de la intensidad general I_1 procedente del generador. El tiempo que tarda en encenderse normalmente B_2 es tanto mayor cuanto más elevado sea el número de espiras del solenoide, es decir, la variación del flujo magnético inductor.

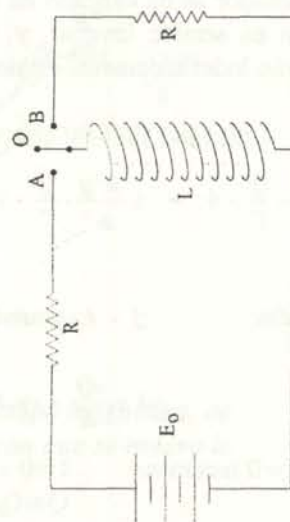
A.18 Una vez comprobada la existencia de extracorrentes de cierre y apertura en dos circuitos se solicita averiguar los factores que influyen en las mismas en un circuito R-L.

Al colocar el interruptor en A la energía proporcionada por el generador $E_0 \cdot I \cdot t$ se emplea en desprender calor en la resistencia ($R \cdot I^2 \cdot t$) y almacenarla en la bobina ($L \cdot dI/dt \cdot I \cdot dt$).

$$E_0 \cdot I \cdot t - R \cdot I^2 \cdot t + L \cdot \frac{dI}{dt} \cdot I \cdot t = E_0 - R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt} = \frac{dI}{E_0 - R \cdot I} - \frac{dt}{L} = -\frac{1}{R} \cdot \ln(E_0 - R \cdot I) - \frac{t}{L} + cte$$

Como para $t=0$, $i=0$, la constante vale $-\ln \frac{E_0}{R}$ tenemos que:

$$I = \frac{E_0}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$



Al colocar el interruptor en B la energía que tiene la bobina se pierde en su resistencia:

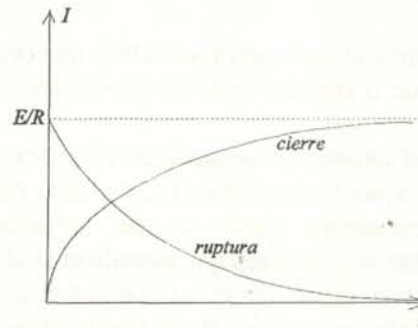
$$-L \cdot \frac{dI}{dt} - R \cdot I = \frac{dI}{I} - \frac{R}{L} \cdot dt \rightarrow \ln I = -\frac{R}{L} \cdot t + cte$$

Para $t=0$ tenemos que $I=I_0=E_0/R=cte$, y tenemos que:

$$I = \frac{E_0}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

La relación L/R se denomina constante de tiempo (τ) del circuito.

Cuanto mayor sea L o menor sea R , más tiempo se tardará en que la corriente aumente hasta su valor límite. La constante de tiempo indica o representa el tiempo necesario para que la intensidad de la corriente de ruptura se reduzca a $i = i_0/e$. Cuanto mayor sea esta corriente (...) tanto mayor será el tiempo t necesario para que prácticamente llegue a anularse la mencionada exponencial.



A.19 Pretende que los alumnos interpreten el funcionamiento de un circuito L-C donde existe un intercambio continuo de energía entre la bobina y el condensador.

En el instante de cerrar el circuito, el condensador comienza a descargarse a través de la autoinducción.

En un instante posterior el condensador se ha descargado por completo y la d.d.p. entre sus bornes (y los de la autoinducción) ha decrecido hasta cero. Mientras tanto, la corriente en la autoinducción ha creado un campo magnético en el espacio que la rodea, el cual disminuye ahora, induciendo en la bobina una f.e.m. del mismo sentido que la corriente. La corriente persiste, por consiguiente, aunque con valor decreciente, hasta que el campo magnético ha desaparecido y el condensador se ha cargado en sentido opuesto al de su polaridad inicial. El proceso se repite por sí mismo en sentido inverso, y, en ausencia de pérdidas de energía, las cargas del condensador se moverán indefinidamente en uno y otro sentido. Este proceso se denomina *oscilación eléctrica*.

Cálculos: En $t=0$ el condensador está cargado con carga Q_0

$$L \cdot \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} = 0 \rightarrow L \cdot \frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{Q}{C} = 0 \rightarrow \frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$$

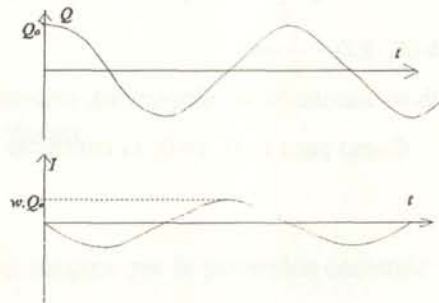
Solución: $Q = A \cdot \cos(\omega t + \delta) = Q_0 \cdot \cos(\omega t + \delta)$

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega A \cdot \sin(\omega t + \delta)$$

Para $t=0$ tenemos: $I=0 \Rightarrow I = -\omega \cdot A \cdot \sin \delta = 0 \Rightarrow \delta = 0$
 $Q = Q_0 \Rightarrow Q_0 = A \cdot \cos \delta = A$

Luego: $Q = A \cdot \cos \omega t = Q_0 \cdot \cos \omega t$
 $I = -\omega \cdot Q_0 \cdot \sin \omega t$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} = \text{PULSACIÓN NATURAL DEL CIRCUITO}$$



A.20 Pretende que se valore y se reconozca la utilidad del uso de la corriente alterna.

Para transformar una cantidad de energía de donde se produce (centrales eléctricas) hacia donde se consume (ciudades) se utilizan conductores. Esta energía puede transportarse a potenciales diferentes; para una misma cantidad de energía transportada, si el potencial es elevado quiere decir que la intensidad de la corriente eléctrica es menor y tanto menor cuanto más elevado sea el potencial a que se transmite la corriente. Esto hace que las pérdidas por efecto JOULE se reduzcan, ya que son proporcionales al cuadrado de la intensidad.

Una corriente inducida se produce cuando en un circuito existe variación de flujo. Si esta variación de flujo cambia cada cierto tiempo se induce una corriente que también cambia de sentido. Podemos, por tanto, variar de sentido **B** y **S**. ¿Cuál es más apropiado?.

A.21 Consiste en analizar el funcionamiento del alternador más elemental y en utilizar la metodología científica para averiguar de qué depende la f.e.m. inducida. Los alumnos deben comprobar experimentalmente aquellas conclusiones (hipótesis) formuladas a partir de su conocimientos.

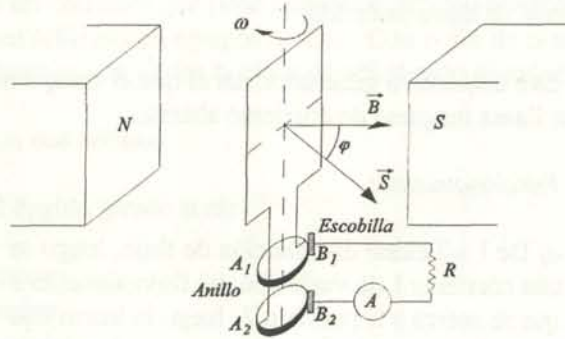
La espira gira con una velocidad angular constante. Los extremos de la espira están soldados a dos anillos A_1 y A_2 que giran con la misma, y mediante dos escobillas, B_1 y B_2 , se toma la corriente para su utilización en la resistencia R , del circuito exterior.

El flujo magnético que atraviesa la bobina (varias espiras) es $\Phi = B.S.\cos\phi.N$

Al girar la espira, entonces ϕ cambia; si el giro es a velocidad constante, entonces $\phi = \omega.t$ y el flujo cambia de forma sinusoidal. Esto hace que se induzca una corriente o f.e.m. de valor:

$$\xi = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(N.B.S.\cos \omega.t) = N.B.S.\sen \omega t = \xi_{m\acute{a}x}.\sen \omega t$$

"La f.e.m. alterna inducida depende del número de espiras, del campo magnético, de la sección de la espira. Su frecuencia dependerá de la velocidad con que se mueva la espira."

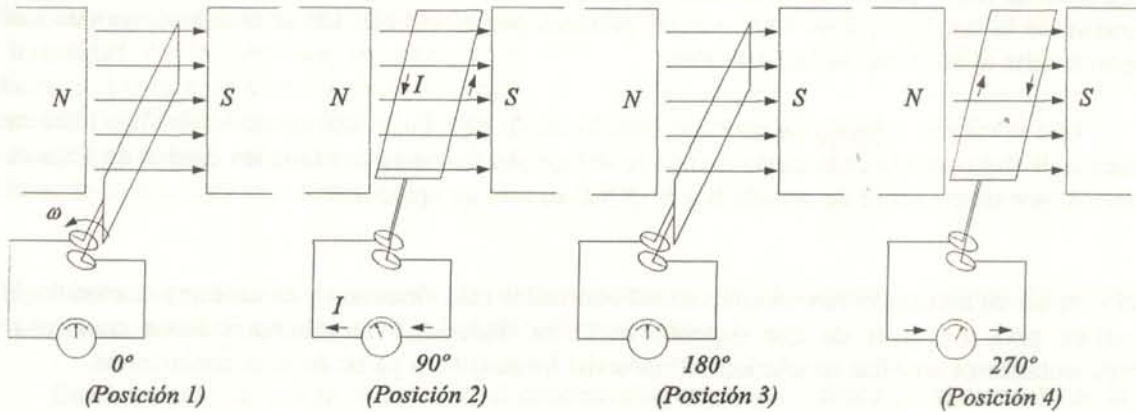


A.22 Describir e identificar las partes esenciales de los dispositivos mecánico-eléctricos que se utilizan para generar corriente eléctrica y analizar su funcionamiento.

A) Magneto de c.a.

Colocando las escobillas en los extremos del colector y girando el volante despacio se observa que la aguja del microamperímetro detecta paso de corriente.

¿Qué significado tiene el desplazamiento de la aguja a un lado y al otro del cero?. ¿En qué posiciones de la bobina se produce la desviación máxima de la aguja?. ¿En qué posiciones de la bobina la aguja pasa por el cero?. Estas son cuestiones, junto con otras, que pueden formularse a los alumnos.

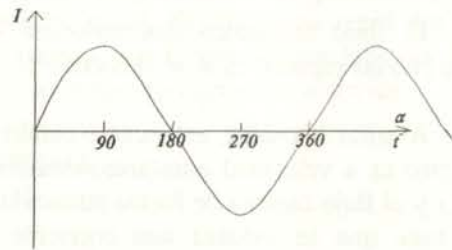


Al campo magnético creado por el imán se llama *campo inductor* y a la bobina donde se genera la corriente se llama *inducido*.

Este dispositivo generador, en el que el campo magnético inductor está proporcionado por un imán, se llama *magneto de corriente alterna*.

Funcionamiento:

a) De 1 a 2 existe disminución de flujo, luego se induce una corriente I (la variación del flujo aumenta a medida que se acerca a la posición 2, luego la intensidad va aumentando a medida que se acerca a 2, siendo máxima en este punto).



b) De 2 a 3 la variación del flujo va disminuyendo (máximo en 2 y nulo en 3).

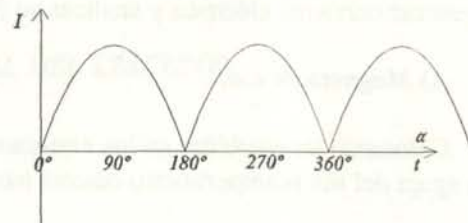
c) Cuando la espira sigue girando a partir de la posición 3, inicialmente, la velocidad de decrecimiento del número de líneas de fuerza que la atraviesan es nula, pero comienza a aumentar, hasta que se hace máxima a medida que se acerca a la posición 4.

d) Cuando pasa de 4 a 1, el ritmo de crecimiento del nº de líneas de fuerza que la atraviesan es máximo y disminuye hasta la posición 1 en que vale cero.

B) Magneto de c.c.

Colocando las escobillas haciendo contacto en el centro del colector, este funciona como conmutador en cada giro del inducido.

Cuando la corriente cambia de sentido en la espira, el colector invierte el sentido de esta, intercambiando los contactos entre los *delgas* y las escobillas.



Se observa que ahora la aguja del microamperímetro se desplaza sólo hacia un lado del cero de la escala. El lado hacia el que oscila depende del sentido de giro del inducido y del orden de las conexiones.

A.23 Analizar el funcionamiento de un alternador y/o una dinamo.

Cuando el campo magnético inductor en magnetos de c.a. o c.c. está creado por un electroimán, el dispositivo se llama alternador o dinamo respectivamente. Se utilizan estos aparatos con objeto de aumentar el valor máximo de la f.e.m. al aumentar el valor del campo magnético.

Cuando las escobillas están colocadas en los extremos del colector, la corriente obtenida es alterna y el dispositivo se llama *alternador*.

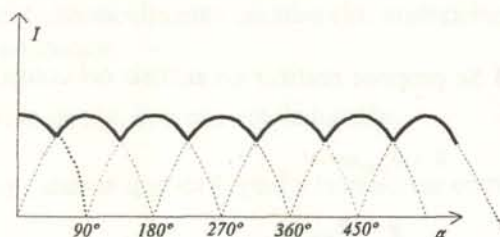
Si el colector hace de conmutador (escobillas en el centro) la corriente es continua y el dispositivo se llama *dinamo*.

La corriente continua que se obtiene en nuestro generador es pulsatoria, que varía desde valor cero hasta un valor máximo. Aunque se trata de un corriente que tiene siempre el mismo sentido, no es lo suficientemente constante para permitir que sea utilizada en equipos de c.c.. Con el fin de obtener una corriente continua más constante, se utilizan dinamos con varias bobinas constituyendo el inducido.

En la figura se representa un inducido con dos bobinas.

La intensidad de corriente en función del ángulo girado será:

En los generadores prácticos de c.c., el número de bobinas en el inducido es grande; consecuentemente, el número de delgas del colector también será elevado (dos por cada bobina). Esto hace que la corriente se aproxime mucho a la de una pila o batería y que pueda ser utilizada como corriente constante.



A.24 Obtener la relación existente entre los valores eficaces y máximos de la tensión e intensidad.

La mayoría de los voltímetros y amperímetros de corriente alterna miden valores eficaces o medios de corriente y tensión en lugar de valores máximos o de picos.

$$E^2 = \frac{1}{T} \int_0^T E_t^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T E_{máx}^2 \cdot \text{sen}^2 \omega t dt = \frac{E_{máx}^2}{T} \int_0^T (1 - \cos^2 \omega t) dt = \frac{E_{máx}^2}{T} \left(\int_0^T dt - \int_0^T \cos^2 \omega t dt \right) -$$

$$= \frac{E_{máx}^2}{T} \left(T - \int_0^T \frac{1 + \cos \frac{\omega t}{2}}{2} dt \right) = \frac{E_{máx}^2}{T} \left[T - \int_0^T \frac{1 + \cos \frac{\omega t}{2}}{2} dt \right] = \frac{E_{máx}^2}{T} \left[T - \frac{T}{2} - \int_0^T \frac{\cos \frac{\omega t}{2}}{2} dt \right] -$$

$$= \frac{E_{máx}^2}{T} \left(\frac{T}{2} - \left[\frac{1}{\omega} \text{sen} \frac{\omega t}{2} \right]_0^T \right) = \frac{E_{máx}^2}{T} \cdot \frac{T}{2} = \frac{E_{máx}^2}{2}$$

$$I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T I_i^2 \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_{máx.}^2 \cdot \text{sen}^2(\omega t + \phi) \cdot dt = \frac{I_{máx.}^2}{T} \int_0^T [1 - \cos^2(\omega t + \phi)] \cdot dt = \frac{I_{máx.}^2}{T} \left[\int_0^T dt - \int_0^T \cos^2(\omega t + \phi) \cdot dt \right] =$$

$$= \frac{I_{máx.}^2}{T} \left(T - \int_0^T \frac{1 + \cos \frac{\omega \cdot t + \phi}{2}}{2} \cdot dt \right) = \frac{I_{máx.}^2}{T} \left[T - \int_0^T \frac{1 + \cos \frac{\omega t + \phi}{2}}{2} dt \right] =$$

$$= \frac{I_{máx.}^2}{T} \left(\frac{T}{2} - \left[\frac{1}{\omega} \text{sen} \frac{\omega t + \phi}{2} \right]_0^T \right) = \frac{I_{máx.}^2}{T} \cdot \frac{T}{2} = \frac{I_{máx.}^2}{2}$$

Por lo tanto los valores eficaces y máximos están relacionados por las ecuaciones:

$$E = \frac{E_{máx.}}{\sqrt{2}} \quad I = \frac{I_{máx.}}{\sqrt{2}}$$

Físicamente estos valores tienen un significado muy sencillo:

Un circuito de corriente alterna con sólo una resistencia desarrolla una cantidad de calor $Q = R \int_0^T I_i^2 \cdot dt$ durante un período T. Como $\int_0^T I_i^2 \cdot dt = I^2 \cdot T$ entonces el calor desarrollado durante cada período T es: $Q = R \cdot I^2 \cdot t$.

Esta expresión permite definir el valor eficaz de la intensidad de una corriente alterna como "la intensidad de una corriente continua que en el mismo tiempo desarrollará el mismo efecto calorífico".

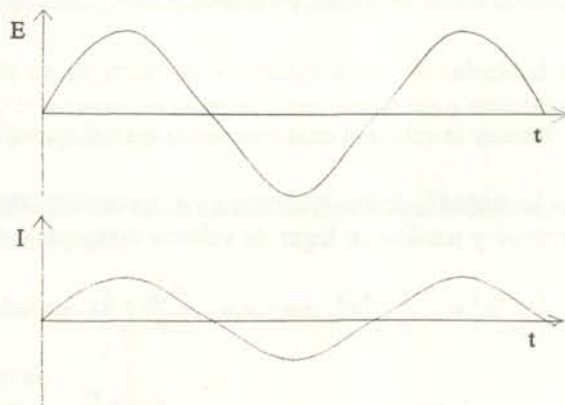
A.25 Se propone realizar un análisis del comportamiento de un circuito de c.a. con una resistencia pura.

$$E = E_{máx.} \text{sen } \omega t$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E_{máx.}}{R} \text{sen } \omega t = I_{máx.} \text{sen } \omega t$$

siendo $I_{máx.} = \frac{E_{máx.}}{R}$

Para calcular experimentalmente el valor de la resistencia R se coloca un amperímetro y un voltímetro en el circuito. La división entre lo que marque el voltímetro y lo que marque el amperímetro es el valor de R.



No existe desfase entre la f.e.m. y la intensidad.

A.26 Se propone analizar el comportamiento de un circuito de c.a. con un condensador.

El generador mantiene entre sus bornes una d.d.p. alterna que será igual a la existente entre los bornes del condensador ($=Q/C$).

$$E = E_{máx.} \cdot \text{sen } \omega t = \frac{Q}{C} \rightarrow Q = C \cdot E_{máx.} \cdot \text{sen } \omega t$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \omega \cdot E_{máx.} \cdot \cos \omega t = \frac{E_{máx.}}{\frac{1}{C \cdot \omega}} \cdot \cos \omega t$$

$$= I_{máx.} \cdot \cos \omega t = I_{máx.} \cdot \text{sen } (\omega t + 90^\circ)$$

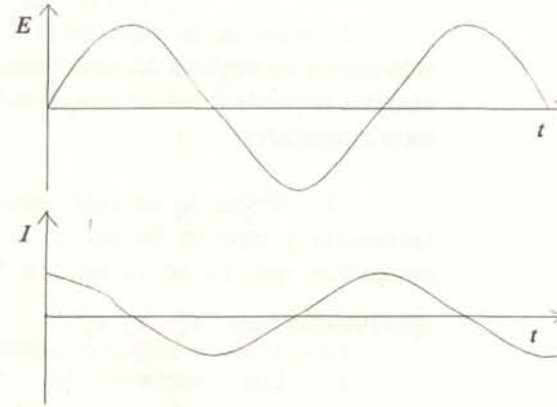
en donde: $I_{máx.} = \frac{E_{máx.}}{\frac{1}{C \cdot \omega}} = \frac{E_{máx.}}{X_C}$

$X_C = 1/C\omega = \text{CAPACITANCIA.}$

X_C se puede calcular dividiendo lo que marque el voltímetro entre lo que marque el amperímetro.

La f.e.m. y la intensidad están desfasadas 90° . La intensidad está adelantada 90° respecto a la f.e.m.

La corriente alterna consiste en una vibración, de muy pequeña amplitud, de los electrones y de período $T=2\pi/\omega$. Es decir, es un movimiento ondulatorio de electrones en el seno del metal. Pero como los efectos de la c.a. son debidos a la propagación de dicho movimiento ondulatorio, entendemos por paso de la c.a. la propagación de dicha onda por el conductor.



A.27 Se propone analizar el comportamiento de un circuito de c.a. con una autoinducción.

El generador mantiene entre sus bornes una d.d.p. alterna que será igual a la existente entre los bornes de la bobina ($= L \, dl/dt$).

$$E_{máx.} \cdot \text{sen } \omega t = L \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$I = \int \frac{E_{máx.}}{L} \cdot \text{sen } \omega t \cdot dt = -\frac{E_{máx.}}{L \cdot \omega} \cdot \cos \omega t =$$

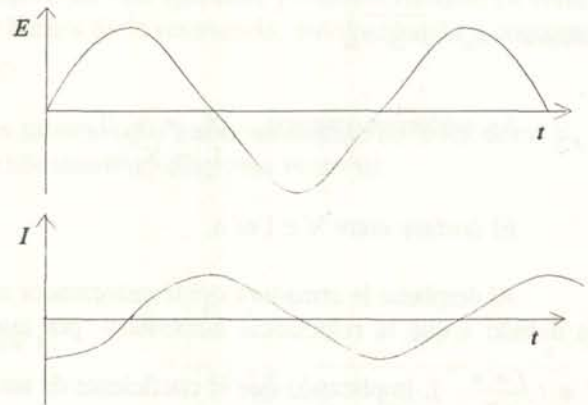
$$= \frac{E_{máx.}}{L \cdot \omega} \cdot \text{sen } (\omega t - 90^\circ) = I_{máx.} \cdot \text{sen } (\omega t - 90^\circ)$$

en donde: $I_{máx.} = \frac{E_{máx.}}{L \cdot \omega} = \frac{E_{máx.}}{X_L}$

$X_L = L \cdot \omega = \text{INDUCTANCIA}$

X_L se puede calcular dividiendo lo que marque el voltímetro entre lo que marque el amperímetro.

La f.e.m. y la intensidad están desfasadas 90° . La intensidad está retrasada 90° respecto a la f.e.m.



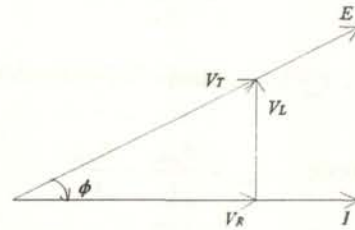
A.28 Se propone analizar el comportamiento de un circuito R-L de c.a.

a) Moviendo el cursor del potenciómetro podemos obtener varios pares de valores (V, I) con las medidas del voltímetro y el amperímetro.

El valor de la impedancia Z será la media de las divisiones (V/I) entre las medidas del voltímetro y las medidas del amperímetro para cada posición del cursor. Indudablemente con todas las medidas se puede construir una tabla (V, I, Z) y una gráfica (V, I) que nos indicará la relación entre estas magnitudes.

b) Conectando un voltímetro en bornes de la resistencia y otro en bornes de la bobina podemos comprobar que V_T no es igual a $V_R + V_L$ y sí que aproximadamente $V_T^2 = V_R^2 + V_L^2$.

c) Los vectores V_L y V_R forman aproximadamente un ángulo recto.



d) I se encuentra atrasada un ángulo φ respecto a E.

e) Como $V_T^2 = V_R^2 + V_L^2$ entonces $Z^2 I^2 = R^2 I^2 + X_L^2 I^2 \rightarrow Z^2 = R^2 + X_L^2$

$$\text{Por tanto } X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \rightarrow L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}$$

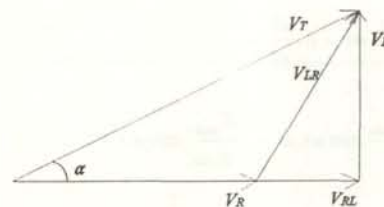
Si sustituimos la bobina de 400 espiras por otra de 2.000 espiras se observa que ahora $V_L > V_R$. La relación $V_T^2 = V_R^2 + V_L^2$ no es aquí tan exacta como en el caso anterior. Ello es debido a la mayor resistencia interna de la bobina. El nuevo diagrama vectorial es ahora el de la figura siguiente:

Conociendo $I = V_R/R$ y $V_{RL} = 40.I$ podemos

calcular $V_L = \sqrt{V_{LR}^2 - V_{RL}^2}$

Así podemos obtener: $X_L = V_L/I$
 $L = X_L/\omega$.

El desfase entre V e I es α.



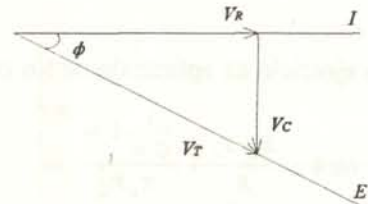
Al desplazar la armadura del transformador se observa que V_L disminuye y V_R aumenta. Esto es debido a que la reluctancia aumenta y, por tanto, el flujo a través de la armadura disminuye ($\phi = \frac{f.m.m.}{R}$), implicando que el coeficiente de autoinducción disminuya ($L = \frac{\phi}{I}$).

Si L disminuye Z disminuye e I aumenta ($I = V_T/Z$) y como R no cambia, V_R aumentará y como V_T no varía, V_L disminuirá.

A.29 Se propone analizar el comportamiento de un circuito R-C de c.a.

a) Moviendo el cursor del potenciómetro puede construirse una gráfica $V=f(I)$. Resultará una recta que pasa por el origen y que forma un ángulo α con el eje de abscisas, tal que la tangente es la división de lo que marque el voltímetro entre lo que marque el amperímetro.

b) Conectando un voltímetro en bornes del condensador y otro en bornes de la resistencia para un voltaje total dado, podemos comprobar que V_T no es igual a $V_C + V_R$, sino que se cumple $V_T^2 = V_C^2 + V_R^2$.



c) Existe un desfase de 90° entre V_R y V_C .

d) Existe un desfase ϕ de E con I; I se encuentra adelantada un ángulo ϕ respecto a E.

e) Se puede calcular el valor de la capacidad de los condensadores:

$$V_T^2 - V_C^2 = V_R^2 \rightarrow I^2 Z^2 - R^2 I^2 = X_C^2 I^2 \rightarrow Z^2 - R^2 = X_C^2 \rightarrow Z^2 - R^2 = \frac{1}{C^2 \omega^2}$$

$$C = \frac{1}{\omega^2(Z^2 - R^2)} \rightarrow C = \frac{1}{\omega \sqrt{Z^2 - R^2}}$$

o bien comprobar que: $X_C = I \cdot C$
 $X_R = I \cdot R$

A.30 Se propone analizar el comportamiento de un circuito R-L-C de c.a.

a) Moviendo el cursor del potenciómetro puede construirse la gráfica $V=f(I)$. Resultará una recta que pasa por el origen y que forma un ángulo α con el eje de abscisas, cuya tangente es la relación entre las medidas del voltímetro y las medidas del amperímetro para cada posición del cursor.

b) Quitando el amperímetro, si no se dispone de más aparatos, y transformándolo en voltímetro se mide los valores V_R , V_C y V_L al colocarlo en bornes de la resistencia, autoinducción y condensador. Se comprueba que V_T no es igual a $V_R + V_L + V_C$.

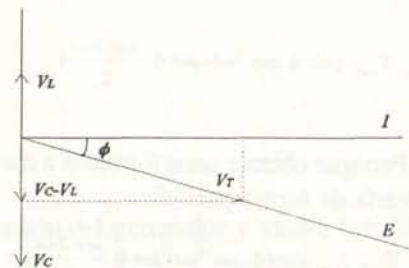
Como mediante las actividades anteriores sabemos que existe un desfase de $+90^\circ$ entre V_R y V_L y de -90° entre V_R y V_C podemos representar gráficamente el diagrama vectorial.

Se comprueba que efectivamente:

$$V_T^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$$

d) El desfase entre V e I viene dado por el ángulo ϕ :

$$\tan \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega}}{R}$$



e) El valor de la autoinducción será:

$$Z^2 I^2 - R^2 I^2 + (X_L I - X_C I)^2 \rightarrow Z^2 - R^2 + (X_L - X_C)^2$$

$$Z^2 - R^2 - (X_L - X_C)^2 = L^2 \omega^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2} - 2 \frac{L}{C}$$

Despejando L se puede calcular su valor.

A.31 Es un ejercicio de aplicación de los conceptos tratados.

$$a) \quad \text{tag } \phi = \frac{X_C - X_L}{R} = \frac{\frac{1}{C} - L \omega}{R_1 + R_2}$$

Conociendo L, C, R_1 , R_2 y ω se puede calcular el ángulo de desfase.

$$b) \quad (V_D - V_C) = I Z_{CD} = \frac{E}{Z} Z_{CD} = E \frac{\sqrt{R_2^2 + X_L^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_L - X_C)^2}} = E \frac{\sqrt{R_2^2 + L^2 \omega^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (L \omega - \frac{1}{C \omega})^2}}$$

Caso particular:

$$a) \quad \text{tag } \phi = \frac{\frac{\pi}{10^{-6} \cdot 100} - \frac{100 \cdot \pi \cdot 100}{\pi}}{1100 + 500} = 0 \quad \text{por lo tanto no hay desfase.}$$

$$b) \quad (V_D - V_C) = 100 \frac{\sqrt{1100^2 + \frac{100^2}{\pi^2} \cdot 100^2 \cdot \pi^2}}{\sqrt{1600^2 + (\frac{100}{\pi} \cdot 100 \cdot \pi - \frac{\pi}{10^{-6} \cdot 10^2 \cdot \pi})^2}} = \frac{100}{16} \cdot \sqrt{10121} \text{ V}$$

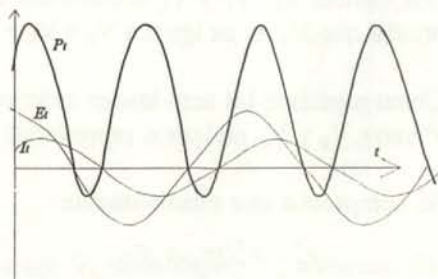
A.32 Ejercitarse en el producto de valores instantáneos.

El desfase entre E e I es de 45° . I está atrasada 45° respecto a E.

$$P = E_t I_t = E_{m \text{ dx.}} \cdot \text{sen } \omega t \cdot I_{m \text{ dx.}} \cdot \text{sen } (\omega t + \phi) =$$

$$= E_{m \text{ dx.}} \cdot I_{m \text{ dx.}} \cdot \text{sen } \omega t (\text{sen } \omega t \cdot \cos \phi + \cos \omega t \cdot \text{sen } \phi) =$$

$$= E_{m \text{ dx.}} \cdot I_{m \text{ dx.}} \cdot (\cos \phi \cdot \text{sen }^2 \omega t + \text{sen } \phi \cdot \frac{\text{sen } 2 \omega t}{2})$$



A.33 Persigue obtener unas fórmulas a partir de otras y calcular el valor medio de una magnitud cuyo valor varía de forma periódica.

$$P = E_{m \text{ dx.}} \cdot I_{m \text{ dx.}} \cdot (\cos \phi \cdot \text{sen }^2 \omega t + \text{sen } \phi \cdot \frac{\text{sen } 2 \omega t}{2})$$

$$(P)_{med.} = E_{máx.} \cdot I_{máx.} \cdot [(\cos \phi \cdot \text{sen}^2 \omega t)_{med.} + (\frac{1}{2} \text{sen} \phi \cdot \text{sen} 2\omega t)_{med.}] = E_{máx.} \cdot I_{máx.} \cdot \cos \phi \cdot [\text{sen}^2 \omega t]_{med.}$$

El valor medio del segundo sumando es nulo al serlo el valor medio de $\text{sen } 2\omega t$.

El valor medio de $\text{sen}^2 \omega t$ será igual a:

$$(1 - \cos^2 \omega t)_{med.} = [1 - (\frac{1}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{2})_{med.}] = \frac{1}{2} - (\frac{1}{2} \cos 2\omega t)_{med.} = \frac{1}{2}$$

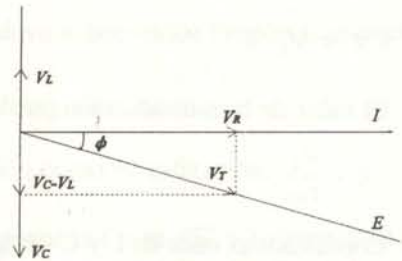
Por lo tanto, al ser $E_{máx.} = \sqrt{2} E_{ef}$ y $I_{máx.} = \sqrt{2} I_{ef}$ tenemos

que: $(P)_{med.} = E_{máx.} \cdot I_{máx.} \cdot \cos \phi \cdot \frac{1}{2} = E_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \phi$

Como: $\cos \phi = V_R / V_T = (R \cdot I) / (Z \cdot I) = R / Z$
 $Z = E / I$

Tenemos que:

$$P_m = E \cdot I \cdot \cos \phi = E \cdot I \cdot \frac{R}{Z} = R \cdot I^2 = E^2 \cdot \frac{R}{Z^2}$$



A.34 Pequeña investigación para obtener la potencia consumida por un circuito R-L-C de modo experimental.

Para una posición del cursor dada, medimos, utilizando un amperímetro y un voltímetro, los valores de: V, I, VR, VC y VL. Estos valores se midieron en la actividad A.30.

Se calcula $P_{med} = E \cdot I \cdot (V_R / V_T)$.

De modo teórico lo podemos calcular a partir de $P_{med} = E^2 \cdot (R / Z^2)$, ya que conocemos R, L, C, ω y E.

A.35 Analizar un circuito en resonancia.

a) Para que un circuito de c.a. esté en resonancia debe circular por él la intensidad máxima posible. Como $I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$ para que I sea máxima, el denominador debe ser mínimo y esto

ocurrirá cuando $X_L - X_C = 0$, es decir, cuando

$$L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega} = 0, \text{ o bien cuando } \omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

Si $X_L = X_C$ entonces la intensidad está en fase con la tensión del generador y valdrá $I = E / R$.

b) Montando el circuito R-L-C que se indica y midiendo mediante un voltímetro y un amperímetro, los valores de V, I, V_R, V_C y V_L para una posición dada del cursor, se puede comprobar que:

- $Z = V/I$ tiene que ser igual a R (considerar además la resistencia de la bobina = 40 Ω).

- $V_C = V_L$ (ya que $X_C \cdot I = X_L \cdot I \rightarrow X_C = X_L$).

- $V = V_R$

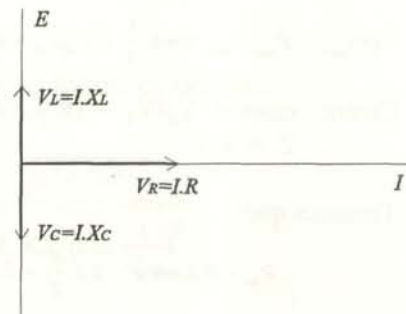
El valor de la autoinducción puede obtenerse mediante $V_L = I \cdot X_L = I \cdot L \cdot \omega$

$$L = \frac{V_L}{I \cdot \omega}$$

Conociendo el valor de L y C comprobamos que:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} = \text{frecuencia de resonancia.}$$

El diagrama vectorial corresponde al representado en la figura adjunta.



A.36 Pequeña investigación para medir las características de una bobina y calcular la potencia que consume cuando está conectada a un alternador.

Análisis del problema: Las características de una bobina son su resistencia y autoinducción. Suele olvidarse la primera. La potencia que consume es la energía perdida en forma de calor en la resistencia. El circuito nunca puede estar en resonancia, ya que no hay ningún condensador y la reactancia (X) en este caso la inductancia (X_L), nunca puede ser nula.

Emisión de hipótesis:

- 1) R y L no dependen de nada ya que son las magnitudes que caracterizan a la bobina.
- 2) La potencia que consume depende de: R, E, L y ω.
- 3) La resonancia depende de w.

Solución:

a) Para hallar sus características conectaremos la bobina a una toma de corriente cuya f.e.m. conozcamos (y si no, conectamos un voltímetro) y colocaremos un amperímetro según se indica en la figura. La resistencia puede medirse mediante un ohnímetro.

$$Z = \frac{V}{I} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} \quad L = \frac{Z^2 - R^2}{\omega^2} = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}$$

Conociendo ω del alternador o de la toma de corriente alterna se puede averiguar el valor de L.

b) $P_m = R \cdot I_2$

$$P_m = V \cdot I \cdot \cos \phi = E \cdot I \cdot \frac{R}{Z} = E \cdot \frac{E}{Z} \cdot \frac{R}{Z} = E^2 \cdot \frac{R}{Z^2} = E^2 \cdot \frac{R}{R^2 + L^2 \omega^2}$$

Si no hubiera considerado la resistencia de la bobina entonces $\phi = -90^\circ$ y $\cos \phi = 0$; por lo tanto la potencia media es nula.

Esto quiere decir que durante el semiperíodo positivo el alternador proporciona energía a la bobina y en el siguiente semiperíodo ocurre lo contrario.

A.37 Problema para abordarlo siguiendo el modelo de resolución como investigación.

a) Normalmente en todo circuito R-L-C existe desfase entre la f.e.m. (E) y la intensidad (I); este desfase depende de los valores de la resistencia, autoinducción y capacidad del circuito. Solamente cuando $X_L = X_C$ el circuito está en resonancia y la f.e.m. y la intensidad están en fase.

Si el potencial es nulo quiere decir que $E = E_{máx} \cdot \text{sen } \omega t = 0$, $\text{sen } \omega t = 0$, $\omega t = 0 + k\pi$.

Si $\omega t = 0 + k\pi$ la intensidad será: $I = I_{máx} \cdot \text{sen } (\omega t + \phi) = I_{máx} \cdot \text{sen } [(0 + k\pi) + \phi] = I_{máx} \cdot \text{sen } (k\pi + \phi)$

$$\text{tg } \phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

$$I_{máx} = \frac{E_{máx}}{R} = \frac{E_{ef} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{E_{ef} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}}$$

b) $I = I_{máx} \cdot \text{sen } (\omega t + \phi) = 0 \rightarrow \text{sen } (\omega t + \phi) = 0 \rightarrow \omega t + \phi = 0 + k\pi \rightarrow \omega t = -\phi + k\pi$

$$E = E_{máx} \cdot \text{sen } \omega t \rightarrow E = \sqrt{2} E_{ef} \cdot \text{sen } (-\phi + k\pi) = \sqrt{2} E_{ef} \cdot \text{sen } (-\text{arc. tg. } \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} + k\pi)$$

$$E_{máx} = Z \cdot I_{máx}$$

c) Para que la intensidad que circule por el circuito sea máxima, debe estar en resonancia, es decir, debe ser $X_L = X_C$. Esto se puede conseguir:

1.- Variando la frecuencia hasta que $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

2.- Cambiando el condensador hasta que $C = \frac{1}{L\omega^2}$, o bien añadiendo otro condensador en serie o en paralelo dependiendo de los valores de L y ω .

3.- Cambiando la bobina hasta que $L - \frac{1}{C\omega^2}$ o bien añadiendo otra bobina, en serie o en paralelo dependiendo de los valores de C y ω .

A.38 Actividad de revisión que permite comparar la corriente alterna con la continua.

- La intensidad de la corriente alterna, en general, no viene dada simplemente por el cociente entre la f.e.m. y la resistencia, como ocurre en un circuito de corriente continua. En un circuito de corriente alterna influyen otros factores debido a la capacidad de los condensadores y a la autoinducción de las bobinas.
- En general, la f.e.m. alterna (o d.d.p. entre los extremos de un circuito) y la intensidad de corriente que determina, no están en fase, ya que esta depende de la capacidad, autoinducción y frecuencia.
- Las corrientes alternas pueden "pasar" a través del dieléctrico de un condensador, contrariamente a lo que sucede con la continua, para la cual un condensador equivale a una resistencia infinita (salvo en el instante de carga o descarga del mismo).
- La intensidad de la corriente alterna no significa, como en la corriente continua, el flujo o paso de electrones siempre en el mismo sentido a través de una sección del conductor. Por el contrario, la corriente alterna consiste en una vibración de muy pequeña amplitud de los electrones (período = $2\pi/\omega$), es decir, se trata de un movimiento ondulatorio de los electrones en el seno del metal. Sin embargo, dado que los efectos de la c.a. son debidos a la propagación de dicho movimiento ondulatorio, entendemos por paso de la c.a. la propagación de dicha onda por el conductor.
- En los circuitos que contienen capacidades y autoinducciones, la suma algebraica de las d.d.p. entre las diversas partes del circuito puede ser distinta de la f.e.m. alterna aplicada; sin embargo, cuando en lugar de los valores eficaces se consideran los instantáneos, dicha suma es en todo momento igual a la f.e.m. instantánea aplicada.
- Si las corrientes alternas son de elevada frecuencia pueden pasar a través del organismo humano sin producir otro efecto que el calorífico, ya que tanto el sistema nervioso como el muscular presentan demasiada inercia de alta frecuencia. Por idéntico motivo no producen efectos electrolíticos.

A.39 Permite analizar las partes, funcionamiento, relación de transformación y pérdidas de los transformadores.

Los transformadores consisten esencialmente en dos arrollamientos de hilo conductor que con frecuencia están devanados sobre un mismo núcleo de hierro y aislados entre sí. Cuando se aplica una f.e.m. (E) al circuito primario (P), la corriente que pasa por él produce la imantación del hierro y el flujo magnético cortado por las espiras de P, que es proporcional al número de vueltas y a la superficie de cada espira, producirá en él una f.e.m. E_p ($\approx E$), de modo que apenas circula corriente por dicha bobina.

$$E_p = -N_p \frac{d\phi_{esp}}{dt} \quad \text{siendo} \quad \phi_{esp} = B \cdot S = \frac{\mu NI}{l} \cdot S$$

Debido a la gran permeabilidad del hierro el mismo flujo que pasa a través de P lo hace también a través del secundario S, en donde inducirá una f.e.m. E_s que será proporcional al número de espiras existentes en dicha bobina; por lo tanto:

$$E_p = -N_p \frac{d\phi_{esp}}{dt} \quad \text{y} \quad E_s = -N_s \frac{d\phi_{esp}}{dt} \quad \text{con lo cual:}$$

$$\boxed{\frac{E_s}{E_p} = \frac{N_s}{N_p}}$$

Claro está que ahora, si los bornes A y B del secundario se unen a través de un circuito de utilización, por dicho circuito pasa una corriente, y por lo tanto, habrá un consumo de energía que únicamente puede ser suministrada por el generador G, y que es transferida al secundario gracias a las interacciones magnéticas que tienen lugar a través del núcleo del transformador.

Aplicando el principio de conservación de la energía - y despreciando pérdidas por histéresis en el núcleo - tendremos que entre los valores instantáneos de las f.e.m. e intensidades existirá la siguiente relación: $e_p \cdot i_p = e_s \cdot i_s$.

$$\text{También se cumplirá que } E_p \cdot I_p \cdot \cos\phi = E_s \cdot I_s \cdot \cos\phi'$$

Si consideramos que para un transformador ideal $R \ll L$ sucede que $\phi = \phi'$ y entonces resulta

que $\boxed{\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}}$

Es decir: *"los valores eficaces de las intensidades en el primario y secundario están en razón inversa al número de espiras respectivas".*

Las tres pérdidas más importantes existentes en un transformador son:

- 1.- Pérdidas por efecto Joule debido a la resistencia de las bobinas ($R \cdot I^2$).
- 2.- Pérdidas de histéresis en el núcleo. Se reducen utilizando un material con ciclo de histéresis estrecho, como el del hierro dulce.
- 3.- Pérdidas por corrientes de Foucault. Se reducen laminando el transformador.

A.40 Para que los mismos alumnos y el profesor vean el progreso de la red conceptual existente en la mente del sujeto se trabaja en la elaboración de uno o varios mapas conceptuales con las ideas trabajadas en la unidad didáctica.

CAPÍTULO VI: EXPERIMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS Y APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS.

En los dos capítulos anteriores explicamos todo el proceso de elaboración de los materiales didácticos diseñados para poner en práctica la metodología con enfoque constructivista cuyo estudio es el objeto de esta investigación. Siguiendo el desarrollo de la misma, en este capítulo expondremos cómo transcurrió la experimentación de dichos materiales y la aplicación de las diferentes pruebas.

VI.1 EXPERIMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS.

Durante el segundo cuatrimestre del curso 1994-95 se realizó la experiencia piloto. Uno de los profesores que imparten la asignatura de Física General en primero de Ciencias Químicas desarrolló con sus alumnos las unidades didácticas previamente elaboradas atendiendo a la metodología constructivista. Este profesor había sido preparado con anterioridad en el uso de los materiales didácticos (programas-guía).

Todos los días, después de los períodos de enseñanza/aprendizaje, el profesor apuntaba las incidencias ocurridas en el aula, relativas al desarrollo de las actividades. Con todas estas anotaciones el profesor instructor y el autor de este trabajo, de forma regular, fueron reformulando los materiales didácticos, haciéndolos más motivadores a los alumnos.

La investigación previa anterior resultó bastante útil ya que permitió que:

- se modificaran algunos problemas por otros que causaran en los alumnos un interés mayor sobre la temática de estudio.
- se incorporaran más actividades exploratorias para que los alumnos explicitaran sus ideas y fueran conscientes de las mismas.
- se añadieran más actividades de aplicación y consolidación de lo aprendido y, sobre todo actividades de autoevaluación para que el alumno fuera consciente de su aprendizaje.

- el profesor, coordinador y facilitador del aprendizaje del alumno, se familiarizara con la metodología, el programa de actividades y los debates existentes en el aula.

Después de la experiencia piloto que permitió perfeccionar y ajustar los materiales didácticos, se decidió realizar la experiencia definitiva en el primer cuatrimestre del curso 1995-96.

La muestra, tal y como estaba prevista, quedó establecida de la siguiente forma:

Metodología expositiva habitual: sesenta estudiantes matriculados por primera vez en la asignatura de Física General del plan de estudios de la licenciatura de Ciencias Químicas que se imparte en la Universidad de Burgos. El grupo contaba con treinta y cuatro alumnos más que repetían dicha asignatura, pero que no se han tenido en cuenta; estos alumnos apenas asistieron a clase por encontrarse matriculados en otras asignaturas de segundo curso.

Metodología experimental con enfoque constructivista: cuarenta estudiantes matriculados por primera vez en la asignatura de Física General del plan de estudios de la licenciatura de Ciencias Químicas que se imparte en la Universidad de Burgos.

Durante la primera semana del curso se procedió a la asignación de los alumnos en cada grupo. Se efectuó al azar, pero para mayor seguridad se estudió la homogeneidad de los grupos respecto a las variables ya mencionadas en el apartado III.3.

Para ello los alumnos realizaron tres pruebas, durante esa primera semana del curso: a) el test de razonamiento mecánico de la batería DAT, b) el test de factor "g", en su escala 3, de Cattell y c) la primera parte de la prueba comentada en el apartado IV.1.2, elaborada "ad hoc", para averiguar las concepciones previas sobre el tema de estudio. Además los alumnos contestaron tres preguntas encaminadas a averiguar si habían o no cursado la asignatura de Física en el Curso de Orientación Universitaria y a conocer los estudios y la profesión de sus padres. Estos dos últimos datos se contrastaron con los datos del impreso de matrícula.

Durante la semana siguiente se procesaron los datos obtenidos, cuyo resultado (expresado en el punto III.4.1) indica que no se apreciaron diferencias significativas entre los dos grupos respecto de las variables analizadas.

El profesor que dirigió el proceso de enseñanza/aprendizaje fue el mismo para los dos grupos. Conoce ambas metodologías: tiene amplia experiencia en la *tradicional* ya que lleva impartiendo la Física General, y por tanto el electromagnetismo, en el nivel universitario durante veinte años y en la *experimental* pues se preparó para ello y además la puso en práctica durante la experiencia piloto realizada en el curso anterior.

A pesar de que ninguno de los alumnos había trabajado con estrategias instructivas de este tipo es de destacar el gran interés que mostraron en aprender con este nuevo método. Trabajaron, durante muchos períodos de tiempo, en grupos de cuatro, que ellos mismos constituyeron. Se ayudaron mutuamente, repartiéndose el trabajo cuando era necesario, y se adaptaron perfectamente a la nueva metodología. A veces las actividades se extendían más de lo previsto y los debates se alargaban demasiado, así que el profesor tenía que estar muy atento para regular el proceso secuencial a lo que estaba programado.

El período instructivo se desarrolló con normalidad. El grupo de control tuvo sesenta y cinco sesiones de cincuenta minutos en el aula y cuatro sesiones de tres horas en el laboratorio. El grupo experimental trabajó durante treinta y seis sesiones de cien minutos y cinco sesiones de cincuenta minutos, todas ellas en el laboratorio. El tiempo para el desarrollo de los contenidos fue idéntico aunque la fecha de finalización tuvo que retrasarse seis días pues no se impartieron varias sesiones en las fechas previstas por problemas puntuales muy típicos en la enseñanza universitaria.

En los resultados de esta investigación, por no estar previsto, no se muestran algunos datos que señalan el interés y aceptación que los alumnos del grupo experimental tuvieron hacia la metodología experimental. Es de destacar el cuaderno personal del alumno donde desarrollan el trabajo realizado durante el proceso instructivo en y fuera del aula. Al compararse este cuaderno personal con los apuntes tradicionales se observa una mayor preocupación por aclarar y relacionar conceptos, establecer conclusiones, encontrar aplicaciones, etc.

VI.2 APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Una vez finalizado el estudio de las dos primeras unidades didácticas (electrostática y electrocinética), para valorar el primer bloque de variables dependientes (apartado III.4.2), los

alumnos realizaron las primeras pruebas (PEC1, PRP1, PTP1 y PPR1) que nos sirvieron para medir los rendimientos en los campos señalados en las Hipótesis (apartado III.1).

Las segundas pruebas (PEC2, PRP2, PTP2 y PPR2) se realizaron en febrero una vez concluido el proceso de enseñanza/aprendizaje del resto de las unidades didácticas (electromagnetismo e inducción electromagnética y corriente alterna). El resultado final para cada uno de los dominios se obtiene como suma de las calificaciones obtenidas en las pruebas realizadas a la mitad y al final de la experimentación.

A continuación, analizamos cada una de las pruebas detalladamente:

VI.2.1 PRUEBAS SOBRE HECHOS, CONCEPTOS Y PRINCIPIOS.

Las dos pruebas realizadas miden el *Rendimiento* del aprendizaje de hechos, conceptos, estructuras conceptuales y principios que pueden expresarse verbalmente y que, generalmente pueden transmitirse de ese modo. Ambas pruebas tienen la misma estructura; consisten en un cuestionario con veinte items de respuestas múltiples, con cuatro opciones.

Su validez de contenido es aceptable ya que abarca a una amplia y diversificada representación de los hechos, conceptos y principios tratados en las unidades didácticas desarrolladas durante el período instructivo. La finalidad de cada uno de los items consiste en averiguar si el alumno tiene conocimiento sobre los siguientes hechos, conceptos y principios:

Primera prueba (PEC1):

Los items diseñados pretenden averiguar si los alumnos saben:

ITEM1: Comprender cómo se cargan las sustancias y reconocer que todas ellas tienen cargas, estando o no cargadas.

ITEM2: Conocer el concepto de líneas de fuerza.

ITEM3: Conocer que todos los cuerpos se cargan por frotamiento al pasar los electrones de una sustancia a la otra e interpretar fenómenos de frotamiento.

ITEM4: Conocer y aplicar la ley de Coulomb.

ITEM5: Conocer cómo son las interacciones entre cargas eléctricas y entre masas.

ITEM6: Conocer el principio de conservación de la carga.

ITEM 7: Comprender el concepto de campo eléctrico.

ITEM8: Conocer el concepto de energía potencial eléctrica.

ITEM9: Conocer el fenómeno de inducción eléctrica.

ITEM10: Comprender el concepto de intensidad de campo eléctrico.

ITEM11: Comprender el concepto de potencial eléctrico.

ITEM12: Relacionar los conceptos de resistencia eléctrica, intensidad de corriente y energía consumida.

ITEM13: Comprender la ley de Ohm.

ITEM14: Comprender el concepto de energía eléctrica.

ITEM15: Saber calcular la resistencia equivalente a dos asociadas en paralelo.

ITEM16: Conocer y diferenciar elementos que consumen y proporcionan energía.

ITEM17: Comprender la función de una pila o generador en un circuito.

ITEM18: Comprender el concepto de intensidad de corriente.

ITEM19: Conocer el concepto de potencia eléctrica disipada en una resistencia.

ITEM20: Conocer la ley de Joule.

CUESTIONARIO PEC1

Contesta al siguiente cuestionario que se refiere al conocimiento de hechos, conceptos, principios y estructuras conceptuales relacionados con la electrostática y electrocinética.

Todas las cuestiones constan de cuatro opciones, siendo sólo una válida. Cuando no se indica lo contrario sólo una de las cuatro afirmaciones es **verdadera**. Rodea con un círculo la opción correcta.

1) ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es falsa?:

- a) Los átomos neutros contienen cargas eléctricas.
- b) Un cuerpo cargado positivamente no contiene electrones.
- c) Si un átomo pierde electrones queda cargado positivamente.
- d) Los átomos con carga negativa han ganado electrones de otro átomo.

2) Una de las siguientes afirmaciones referentes a las líneas de fuerza es falsa:

- a) Las líneas de fuerza indican el camino que seguirán las cargas eléctricas positivas libres.
- b) Las líneas de fuerza salen de las cargas positivas y se dirigen hacia las negativas.
- c) En las zonas donde el campo es más intenso, las líneas de fuerza están más próximas entre sí.
- d) Las líneas de fuerza indican la dirección del potencial eléctrico.

3) ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?:

- a) Al poner en contacto un cuerpo cargado positivamente con otro neutro pasan protones del primero al segundo quedando cargado positivamente.
- b) Al coger una barra de hierro con la mano y frotarla con piel de gato queda cargada negativamente.
- c) Todos los cuerpos pueden ser cargados por frotamiento.
- d) Todas las respuestas son falsas.

4) Dos cargas q_1 y q_2 se encuentran en el aire separadas d metros, existiendo entre ellas una fuerza de atracción de F newtons. Señala cuál de las siguientes afirmaciones es falsa:

- a) Si la distancia se hace doble ($2d$), la fuerza se hace la cuarta parte.
- b) Si cada una de las cargas se triplica, la fuerza también se triplica.
- c) La fuerza se altera, si en lugar de estar en el aire, las cargas estuvieran en el agua.
- d) La fuerza F depende directamente del valor de las cargas q_1 y q_2 .

5) Una de las siguientes afirmaciones es verdadera:

- a) Dos cuerpos cargados negativamente se atraen.
- b) Dos cuerpos cargados positivamente se repelen.
- c) Un cuerpo cargado positivamente y otro negativamente se repelen.
- d) Las cargas, como las masas, siempre se atraen.

6) Con un cuerpo A cargado positivamente pretendemos electrizar otro cuerpo B . Si la electrización se realiza por contacto:

- a) El cuerpo B adquiere la mitad de la carga del cuerpo A .
- b) La suma total de la carga de A y B después del contacto es igual a la carga inicial de A .
- c) El cuerpo B queda cargado negativamente.
- d) La carga total del cuerpo B es siempre cero.

7) El campo eléctrico producido por una carga puntual Q situada en el vacío:

- a) Depende de una carga puntual q que situemos a su alrededor.
- b) Se pone de manifiesto cuando coloquemos una carga q a su alrededor.
- c) No se modifica si el medio es otro en lugar del vacío.
- d) Es un campo escalar.

8) Si para trasladar una carga $+q$ de un punto A de un campo eléctrico a otro B tenemos que realizar un cierto trabajo, podemos asegurar que la carga q :

- a) Tiene en A más energía potencial eléctrica que en B .
- b) Su energía potencial eléctrica permanece constante.
- c) Tiene en B más energía potencial eléctrica que en A .
- d) Ha gastado su energía para ir de A a B .

9) Una de las siguientes afirmaciones es falsa:

- a) Un cuerpo electrizado ejerce una fuerza atractiva sobre cualquier cuerpo neutro.
- b) Un cuerpo electrizado interactúa con otro cuerpo electrizado.
- c) Un cuerpo neutro se puede cargar sin contactar con un cuerpo electrizado.
- d) Si dos cuerpos se atraen, necesariamente tienen carga de diferente tipo.

10) Una de las siguientes afirmaciones es falsa:

- a) La intensidad del campo eléctrico creado por una carga puntual depende del medio donde esté situada la carga.
- b) La intensidad del campo eléctrico creado por una carga varía inversamente proporcional con la distancia.
- c) La intensidad del campo eléctrico creado por una carga puntual es igual en todos los puntos equidistantes de la carga.
- d) La intensidad del campo eléctrico tiene por unidad el Newton/Culombio.

11) En un campo eléctrico el punto A se encuentra a un potencial de $6V$ y el B a otro de $10V$. Indica cuál de las siguientes afirmaciones es falsa:

- a) Para trasladar una carga puntual de un culombio de A a B es necesario realizar un trabajo de $4V$.
- b) Las cargas positivas tienen más energía potencial en B que en A .
- c) Las cargas positivas se mueven espontáneamente de A hacia B .
- d) El campo eléctrico es mayor en B que en A .

12) Indica cuál de las siguientes afirmaciones referentes al significado físico de resistencia de un conductor es falsa:

- a) Los cuerpos aislantes tienen resistencia, pero los conductores no.
- b) Para obtener corriente eléctrica de igual intensidad, cuanto mayor sea la resistencia del hilo conductor, mayor habrá de ser la f.e.m. del generador empleado.
- c) Cuanto mayor sea la resistencia del hilo metálico, mayor cantidad de energía consume una carga eléctrica para pasar por él.
- d) Cuanto mayor sea la resistencia del hilo, menor intensidad de corriente circulará a través de él, conectado a la misma pila.

13) Una de las siguientes afirmaciones es falsa. La ley de Ohm expresa:

- a) Una proporcionalidad directa entre la d.d.p. de los extremos de un conductor y la intensidad de corriente que lo atraviesa.
- b) Cómo cambia la resistencia de un conductor cuando se modifica la intensidad que circula por él.
- c) La relación entre la diferencia de potencial entre los extremos de un conductor y la resistencia del mismo.
- d) La intensidad que circula por un conductor para cada d.d.p. que se aplique entre sus extremos.

14) Un circuito eléctrico está formado por una pila o generador y dos resistencias situadas consecutivamente. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es falsa?

- a) La f.e.m. de la pila indica la energía que ésta comunica a cada culombio de carga que la atraviesa.
- b) La energía que reciben las cargas en la pila la pierde al recorrer el circuito.
- c) La energía que pierde la unidad de carga que pasa por cada resistencia es igual al producto de $R \cdot I$.
- d) La energía que pierde las cargas en una resistencia no depende de la f.e.m. de la pila.

15) Dos resistencias de 4Ω y 2Ω se conectan en paralelo. La resistencia equivalente a este agrupamiento es de:

- a) 6Ω
- b) $3/4\Omega$
- c) $4/3\Omega$
- d) 3Ω

16) Indica cuál de las siguientes afirmaciones, referidas a un circuito eléctrico, es falsa:

- a) Una bombilla consume energía.
- b) Un motor consume energía.
- c) Una pila consume energía.
- d) Un conductor consume energía.

17) El papel de la pila o generador en un circuito eléctrico es:

- a) Proporcionar al circuito las cargas que se van consumiendo en las resistencias.
- b) Proporcionar a las cargas eléctricas un medio conductor por el que moverse.
- c) Reponer a las cargas eléctricas la energía que pierden al recorrer el circuito.
- d) Proporcionar al circuito las cargas que constituyen la energía eléctrica.

18) El hecho de que por un circuito pase una corriente de 3A quiere decir que:

- a) Cada segundo circula por el circuito tres culombios.
- b) Cada segundo pasa por una sección del conductor tres culombios.
- c) Cada tres segundos pasa por una sección del conductor un culombio.
- d) Cada tres segundos circula por el circuito un culombio.

19) Sólo una de las siguientes expresiones muestra correctamente la potencia eléctrica disipada en una resistencia. Señálala:

- a) $R.I$
- b) $V.I^2$
- c) $R.I^2$
- d) $R.I^2.t$

20) La energía disipada en forma de calor en una resistencia eléctrica es:

- a) $R.I.t$
- b) $V.I^2.t$
- c) $V.I.t$
- d) $R^2.I.t$

Los estudiantes dispusieron de media hora para contestar a este cuestionario. Su corrección se realizó introduciendo las respuestas en los campos del paquete estadístico SPSSPC+. Para el establecimiento de la puntuación se empleó la fórmula:

$\frac{10}{20} \times (\text{aciertos} - \frac{\text{errores}}{3})$ por tratarse de cuestiones con cuatro opciones. Las puntuaciones

fluctuaron, por tanto, entre cero y diez puntos. La fiabilidad medida con la fórmula 20 de Kuder y Richardson (Rodríguez Diéguez, 1980, p 345) resultó ser $KR_{20} = 0,6663$; fiabilidad no muy alta pero aceptable.

Segunda prueba (PEC2):

Los items diseñados pretenden averiguar si los alumnos saben:

ITEM21: Identificar la existencia de fuerzas electromagnéticas.

ITEM22: Interpretar el experimento de Oersted.

- ITEM23: Conocer que una corriente eléctrica se comporta como un imán e interacciona con él.
- ITEM24: Interpretar el funcionamiento de un galvanómetro.
- ITEM25: Conocer el fenómeno de inducción magnética.
- ITEM26: Conocer propiedades magnéticas.
- ITEM27: Conocer el origen del magnetismo.
- ITEM 28: Interpretar la ley de Laplace.
- ITEM29: Conocer para qué sirve un galvanómetro.
- ITEM30: Conocer las magnitudes que intervienen en la interacción existente entre dos corrientes paralelas.
- ITEM31: Conocer la ley de Lenz.
- ITEM32: Conocer la ley de Faraday.
- ITEM33: Saber identificar las líneas de fuerza producidas por espiras y solenoides.
- ITEM34: Interpretar el funcionamiento de una dinamo.
- ITEM35: Conocer el comportamiento de las diferentes sustancias en un campo magnético.
- ITEM36: Conocer cuándo es máxima la intensidad en un circuito R-L-C.
- ITEM37: Interpretar el concepto de impedancia en circuitos de corriente alterna.
- ITEM38: Conocer el concepto de potencia media en circuitos de corriente alterna.

ITEM39: Identificar el desfase que existe entre la intensidad y la fuerza electromotriz en circuitos de corriente alterna.

ITEM40: Interpretar el funcionamiento de un transformador.

CUESTIONARIO PEC2

Contesta al siguiente cuestionario que se refiere al conocimiento de hechos, conceptos, principios y estructuras conceptuales relacionados con el electromagnetismo y la inducción electromagnética y corriente alterna .

Todas las cuestiones constan de cuatro opciones, siendo sólo una válida. Cuando no se indica lo contrario sólo una de las cuatro afirmaciones es **verdadera**. Rodea con un círculo la opción correcta.

21) Las fuerzas electromagnéticas existen:

- a) Entre cargas eléctricas en reposo.
- b) Entre un imán y una carga eléctrica en reposo.
- c) Entre dos cargas eléctricas en movimiento.
- d) Entre un imán y una masa gravitatoria en movimiento.

22) El fenómeno que se manifiesta en el experimento de Oersted se debe a:

- a) Las fuerzas magnéticas que sufren los conductores.
- b) Las fuerzas magnéticas que ejercen las corrientes eléctricas.
- c) Los campos magnéticos que producen los imanes y su influencia sobre las corrientes eléctricas.
- d) La producción de corriente eléctrica por los campos magnéticos.

23) La fuerza entre un imán y una corriente es debida a que:

- a) Las cargas eléctricas de la corriente atraen eléctricamente a las cargas del imán.
- b) Las masas de ambos cuerpos interaccionan gravitatoriamente.
- c) Las corrientes eléctricas se comportan como imanes.
- d) Los imanes son capaces de atraer el metal del conductor.

24) El amperímetro como aparato de medida se fundamenta en:

- a) El fenómeno de la inducción electromagnética.
- b) La transformación de energía mecánica en eléctrica.
- c) La aparición de fuerzas magnéticas debidas a corrientes eléctricas.
- d) La aparición de fuerzas magnéticas entre dos imanes permanentes, uno recto y otro de herradura.

25) El fenómeno de inducción magnética consiste, en esencia, en:

- a) La producción de corriente eléctrica por una pila.
- b) La aparición de corriente eléctrica por variaciones de tipo magnético.
- c) La aparición de magnetismo por efecto de corrientes eléctricas.
- d) La existencia de fuerzas magnéticas entre cargas en movimiento.

26)Cuál de las siguientes afirmaciones es falsa:

- a) El magnetismo consiste en la propiedad que presentan los imanes de atraer a cualquier objeto metálico.
- b) Las fuerzas entre imanes son fuerzas a distancia.
- c) La propiedad magnética es responsable de que los imanes atraigan a otros imanes.
- d) Las fuerzas magnéticas son mutuas.

27) Una de las siguientes afirmaciones referentes al magnetismo de la materia es verdadera. Señálala:

- a) Las sustancias que no son imanes no poseen electrones en movimiento.
- b) Todas las sustancias se comportan como pequeños imanes.
- c) Todos los electrones de todos los átomos dan lugar a pequeñas corrientes eléctricas, por lo que crean campos eléctricos.
- d) En presencia de un campo magnético todas las sustancias se imantan débil o fuertemente.

28) Una de las siguientes afirmaciones es falsa. Señálala:

- a) Las corrientes eléctricas en un campo magnético sufren fuerzas que provocan un desplazamiento.
- b) Las fuerzas magnéticas sobre corrientes eléctricas actúan en una dirección que es perpendicular a la dirección de la corriente.
- c) Las fuerzas magnéticas sobre corrientes eléctricas actúan en una dirección que es perpendicular a la dirección del campo magnético (de sus líneas de fuerza).
- d) Las corrientes eléctricas y las fuerzas magnéticas que actúan sobre ellas tienen direcciones y sentidos paralelos.

29) Un galvanómetro es un aparato que sirve para detectar:

- a) La presencia de cargas eléctricas.
- b) La presencia de imanes.
- c) La existencia de corriente eléctrica.
- d) El movimiento de imanes.

30) Entre dos corrientes paralelas existen fuerzas mutuas que dependen de varios factores. Uno de ellos es falso. Indícalo:

- a) La distancia entre los dos hilos conductores.
- b) La f.e.m. de la pila que alimenta la corriente.
- c) El medio que existe entre los dos hilos conductores.
- d) Del campo eléctrico existente en el medio donde se encuentran los conductores.

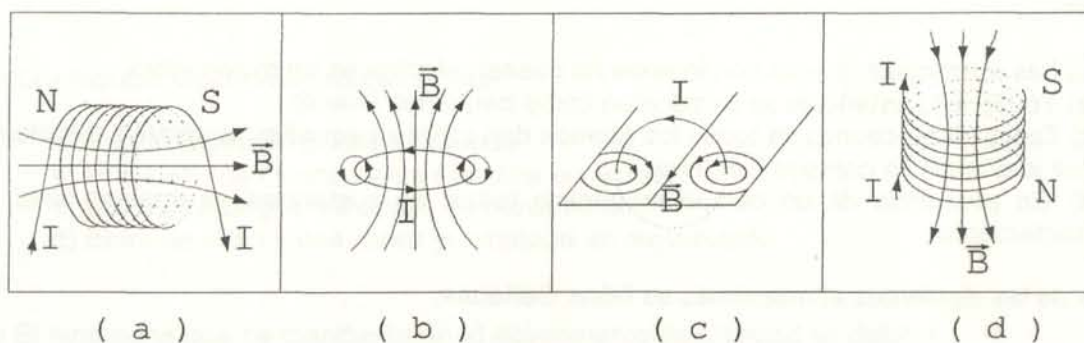
31) La ley de Lenz dice que el sentido de la corriente inducida en una espira por un imán es tal que tiende a:

- a) Oponerse a la variación que originó la corriente inducida propia.
- b) Aumentar la intensidad del campo magnético externo.
- c) Disminuir la intensidad del campo magnético externo.
- d) Oponerse a la variación del campo eléctrico empleado en producirla.

32) La intensidad de la corriente inducida en una espira depende únicamente de:

- La intensidad del campo magnético creado por un imán situado próximo a la espira.
- El tamaño de la espira.
- La posición relativa de la espira y el imán.
- La rapidez con la que cambia el flujo magnético en el circuito.

33) En una de las siguientes figuras se ha deslizado un error, señálalo:



34) El fundamento de una dinamo consisten en esencia, en:

- Mover conductores en el campo magnético creado por un imán.
- Mover imanes en un campo eléctrico.
- Hacer pasar corrientes variables por un conductor.
- Mover corrientes eléctricas en un campo magnético.

35) Sólo una de las siguientes afirmaciones es correcta. Señálala:

- Las sustancias diamagnéticas tienen una susceptibilidad alta.
- Si una sustancia paramagnética se introduce en un campo magnético tiende a debilitarlo.
- La susceptibilidad de un material paramagnético es una constante normalmente grande comparada con la unidad.
- Todas las sustancias sometidas a un campo magnético se imantan, unas débilmente y otras fuertemente.

36) Señala cuál de las siguientes afirmaciones relacionadas con un circuito R-L-C es falsa:

- La intensidad depende de la frecuencia de oscilación.
- La intensidad máxima ocurre cuando el circuito está en resonancia.
- La intensidad es máxima cuando $\omega = \frac{1}{\sqrt{L.C}}$
- La intensidad máxima varía sinusoidalmente con el tiempo.

37) Indica cuál de las siguientes afirmaciones relacionadas con el significado de impedancia es verdadera:

- a) La impedancia en un circuito R-L-C es máxima a la frecuencia de resonancia.
- b) La impedancia en un circuito R-L-C es mínima cuando la capacitancia coincide con la inductancia.
- c) La impedancia es nula si la resistencia es nula.
- d) La impedancia normalmente está desfasada con respecto a la intensidad.

38) Señala cuál de las siguientes afirmaciones relacionadas con la potencia media es falsa:

- a) La potencia media disipada en una inductancia pura es cero.
- b) La potencia media disipada en una capacitancia pura es cero.
- c) La potencia media disipada en una resistencia pura es cero.
- d) La potencia media disipada en un circuito de c.a. depende del factor de potencia.

39) Señala cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- a) En un circuito de c.a. con una resistencia pura la intensidad de corriente está desfasada 90° con respecto a la f.e.m. aplicada.
- b) En un circuito de c.a. con una capacitancia pura la intensidad de corriente está retrasada 90° con respecto a la f.e.m. aplicada.
- c) En un circuito de c.a. con una inductancia pura la intensidad de corriente está adelantada 90° con respecto a la f.e.m. aplicada.
- d) En un circuito de c.a. R-L la intensidad de corriente está retrasada respecto a la f.e.m. aplicada.

40) Un transformador cuyo primario tiene diez veces más vueltas que el secundario proporciona:

- a) Una corriente de salida diez veces mayor que la de entrada.
- b) Una tensión de salida diez veces mayor que la de entrada.
- c) Una potencia de salida diez veces mayor que la de entrada.
- d) Una energía de salida diez veces mayor que la de entrada.

El tiempo para contestar a este cuestionario fue de treinta minutos. Su corrección y puntuación se realizó del mismo modo que en la primera prueba. La fiabilidad, en este caso, resultó mejor que la del primer cuestionario, con un coeficiente $KR_{20} = 0,7116$. La fiabilidad de la prueba total resulta muy alta con un coeficiente $KR_{20} = 0,9165$.

VI.2.2 PRUEBAS SOBRE HABILIDADES INTELECTUALES EN EL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.

Miden el rendimiento en el aprendizaje de habilidades y capacidades necesarias para tomar parte en los procesos de las ciencias. La primera prueba (PRP1) se realizó aproximadamente en la mitad de la experimentación y la segunda (PRP2) al final de la misma. Cada una de las pruebas tiene siete preguntas seleccionadas atendiendo a los siguientes procedimientos específicos y habilidades propias del ámbito de la investigación científica:

PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS

PE₁: Representar gráficamente una serie de datos.

PE₂: *Medir* magnitudes físicas con instrumentos sencillos.

PE₃: Sumar algebraica y gráficamente magnitudes vectoriales.

PE₄: Interpretar y representar gráficamente los tres vectores que intervienen en un producto vectorial.

PE₅: Realizar un montaje eléctrico conociendo el esquema del circuito, y viceversa, teniendo el montaje del circuito realizar el esquema eléctrico.

HABILIDADES EN LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

HI₁: Desarrollar la capacidad de *observación* para recoger, expresar y registrar datos en términos cualitativos y/o cuantitativos.

HI₂: Desarrollar la capacidad de *reconocer y establecer semejanzas y diferencias* entre los objetos, fenómenos, leyes, modelos y teorías.

HI₃: Desarrollar la capacidad para *identificar* objetos, fenómenos y posiciones.

- HI₄: Desarrollar la capacidad de *clasificación* de objetos y datos atendiendo a una o varias propiedades, y ser capaces de deducir los criterios de clasificación que se han empleado en una dada.
- HI₅: Desarrollar la capacidad para *cuantificar* una magnitud física en una observación compleja.
- HI₆: Desarrollar la capacidad de *interpretación* de datos. Por ejemplo: fenómenos naturales como aplicación inmediata de conceptos, tablas, gráficas, etc.
- HI₇: Desarrollar la habilidad para *predecir* un acontecimiento basándose en observaciones y conocimientos previos.
- HI₈: Desarrollar la capacidad para *verificar o comprobar* una predicción y el grado de precisión de la misma.
- HI₉: Desarrollar la capacidad de *formular hipótesis*.
- HI₁₀: Desarrollar la capacidad para *controlar* variables e *identificar* las variables dependientes, independientes e intervinientes que influyen en un fenómeno.
- HI₁₁: Desarrollar la capacidad para *reconocer y plantear un problema*.
- HI₁₂: Desarrollar la capacidad para *planificar y diseñar* un experimento.
- HI₁₃: Desarrollar la capacidad para establecer *conclusiones* dando respuesta al problema planteado.
- HI₁₄: Desarrollar la capacidad para aplicar las leyes, principios y teorías en la resolución de problemas y aplicaciones técnicas

PRIMERA PRUEBA SOBRE HABILIDADES EN EL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA (PRP1)

1) Dos cargas eléctricas de $4 \mu\text{C}$ y 1 mC situadas en el vacío y distantes un metro entre sí se atraen con una fuerza de 36 N . Si están separadas 2 m la fuerza de atracción es de 9 N . Si se encuentran a 3 m entre sí, la fuerza es de 4 N . Si la distancia entre ambas es de $0,5 \text{ m}$ se atraen con una fuerza de 144 N . Y si se encuentran a 6 m entre sí la fuerza es de 1 N . Se pide:

a) Representar los valores en una gráfica, indicar el tipo de línea que resulta y dar la expresión matemática correspondiente.

b) Calcular la fuerza con que se atraen las dos cargas anteriores si se encuentran a una distancia de $1,5 \text{ m}$.

2) Sean tres cargas eléctricas q_1 , q_2 y q .

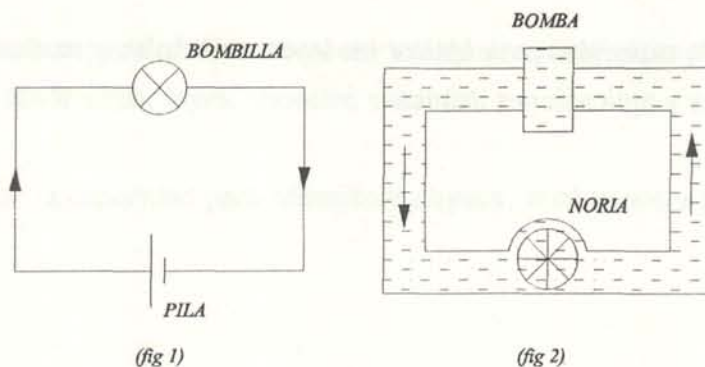
a) Calcular la fuerza total aplicada sobre la carga q sabiendo que la fuerza que ejerce q_1 sobre q es de 5 N (horizontal y hacia la derecha) y la fuerza que ejerce q_2 sobre q es de 8 N (vertical y hacia abajo).

b) Representar las cargas en una figura.

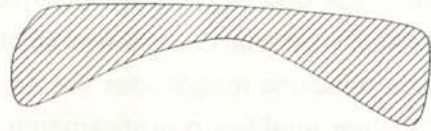
c) ¿De qué tipo (positivas o negativas) son las cargas?

3) Realiza el esquema del circuito eléctrico de un coche de juguete que cuando se da el interruptor rueda sólo y se encienden las lamparas de los faros delanteros y traseros.

4) En la figura 1 se representa un circuito eléctrico y en la fig. 2 un circuito hidráulico análogo al anterior. Señala las semejanzas y diferencias entre uno y otro. ¿Cuáles son las magnitudes físicas de cada circuito que son análogas entre sí?. ¿Qué función desempeñan cada uno de los elementos que conforman los circuitos y cuáles son semejantes entre sí?.



5) Diseña un experimento sencillo para averiguar si la sustancia de la figura es buena conductora de la electricidad. Explicalo detenidamente e indica en base a qué criterio afirmarías que la sustancia es o no conductora.



6) Se disponen de las cinco esferas metálicas de la figura sostenidas por sendos hilos de seda. Se considera únicamente que esferas cargadas con el mismo tipo de cargas se repelen y con distinto tipo se atraen. Contestar con verdadero (V) o falso (F).

Las bolas I y III se atraen. Las bolas I y II se repelen. Las bolas III y V se repelen y las bolas I y IV se atraen. Si la bola III está cargada negativamente:

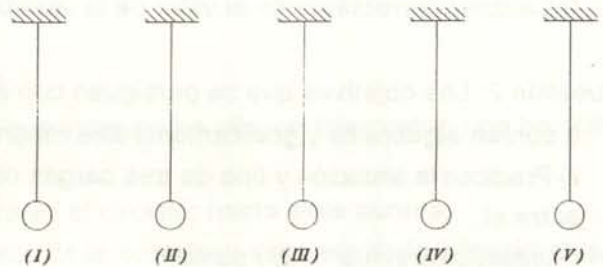
a) La bola V tiene carga negativa ().

b) La bola II tiene carga negativa ().

c) La bola III tiene carga positiva ().

d) La bola I tiene carga positiva ().

e) Las bolas IV y V se repelen ().



7) Se ha averiguado que la intensidad de corriente que circula por un hilo (cable) depende de la d.d.p. que se aplique entre sus extremos y de la resistencia del conductor. ¿De qué factores dependerá la resistencia?. Razónalo y escribe una ecuación que los relacione. Haz un diseño experimental para contrastar la hipótesis anterior.

CRITERIOS DE VALORACIÓN DEL CUESTIONARIO

Cuestión 1: Los objetivos del ejercicio planteado consisten en:

- i) Obtener, mediante una representación gráfica, la expresión o ecuación matemática de una ley que relaciona magnitudes físicas, a partir de una serie de datos.
- ii) Calcular analítica o gráficamente el valor de una magnitud conociendo la gráfica o la expresión matemática que relaciona dos magnitudes.

(Puntuación máxima: seis puntos)

Los pasos que se valorarán para interpretar los datos serán:

- a) Hacer correctamente las escalas de los ejes (F,d) del sistema de coordenadas: un punto.
- b) Fijar correctamente en la gráfica los puntos correspondientes a una serie de pares de valores de dos magnitudes: un punto.
- c) Indicar el tipo de línea que sale en la gráfica: un punto.
- d) Dar la expresión matemática de la línea sin especificar la constante: un punto.
- e) Dar la expresión matemática de la línea especificando el valor de la constante: un punto.
- f) Calcular correctamente el valor de la variable incógnita: un punto.

Cuestión 2: Los objetivos que se persiguen con este ejercicio son averiguar si:

- i) suman algebraica y gráficamente dos magnitudes vectoriales.
- ii) Predicen la situación y tipo de tres cargas conociendo las interacciones que se producen entre sí.

(Puntuación máxima: cuatro puntos)

Los pasos que se valorarán para resolver el ejercicio son:

- a) Representar en un sistema de ejes de coordenadas los dos vectores de forma correcta: un punto.
- b) Representar el vector resultante: medio punto.
- c) Calcular el módulo del vector resultante: medio punto.
- d) Calcular la dirección y sentido del vector resultante: un punto.
- e) Señalar diferentes posibilidades de situaciones y tipos de cargas: un punto.

Cuestión 3: Con esta cuestión se pretende averiguar si se conoce el circuito eléctrico de un aparato eléctrico familiar.

(Puntuación máxima: ocho puntos)

Se valorarán los siguientes aspectos en la representación del circuito:

- a) Si se incluyen todos los elementos (la pila, las bombillas, el motor y el interruptor): hasta tres puntos.
- b) Si además se conectan todos los elementos en serie: hasta cinco puntos.
- c) Si además se conectan todos los elementos en paralelo, excepto el interruptor: hasta ocho puntos.

Cuestión 4: Los objetivos del ejercicio consisten en averiguar si:

- i) comprenden el funcionamiento de un circuito eléctrico sencillo comparándolo con otro hidráulico análogo.
 - ii) identifican los elementos que cumplen la misma función en cada uno de los circuitos.
- (Puntuación máxima: ocho puntos)

Se valorarán los siguientes aspectos relacionados con el reconocimiento de los circuitos:

- a) Si identifican las magnitudes físicas de cada circuito: hasta dos puntos.
- b) Si además realizan correctamente la correspondencia entre magnitudes análogas: hasta cuatro puntos.
- c) Si explican la función de los elementos que constituyen los circuitos: hasta dos puntos.
- d) Si además establecen correctamente la analogía entre los elementos de cada circuito: hasta cuatro puntos.

Cuestión 5: Con esta cuestión se pretende averiguar la capacidad para diseñar experiencias encaminadas a conocer si una sustancia es o no conductora de la electricidad.

(Puntuación máxima: ocho puntos)

En la propuesta de planificación se valorará:

- a) el diseño de un circuito eléctrico en serie que incluya una pila, un interruptor, una bombilla y la sustancia: hasta seis puntos.
- b) Si además se introduce un amperímetro en el circuito: hasta siete puntos.
- c) Si además se señala que la conductancia de la sustancia depende de la intensidad que detecte el amperímetro: hasta ocho puntos.

Cuestión 6: Pretende averiguar la capacidad para interpretar observaciones relacionadas con las interacciones entre cuerpos cargados.

(Puntuación máxima: cuatro puntos)

Se valorará con ocho décimas de punto la contestación correcta a cada una de las cinco preguntas que se formulan.

Cuestión 7: Pretende averiguar la capacidad para formular hipótesis y planificar diseños experimentales para contrastar si las hipótesis emitidas son o no correctas.

(Puntuación máxima: ocho puntos)

Se valorará con la siguiente puntuación las respuestas que:

- a) Formulen hipótesis razonadas: hasta tres puntos.
- b) Establezcan además diseños adecuados para poner a prueba las hipótesis: hasta siete puntos.
- c) Adelanten posibles conclusiones: un punto adicional.

SEGUNDA PRUEBA SOBRE HABILIDADES EN EL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA (PRP2)

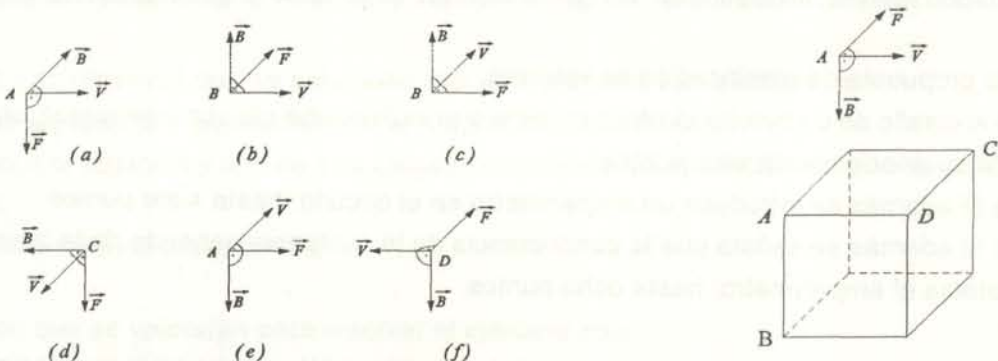
8) El amperímetro de la figura tiene 50 divisiones y su aguja marca la división 34. Qué intensidad de corriente señala y cuál es su sensibilidad si la última división indica:

- a) 5 A *Intensidad:*.....
 Sensibilidad:.....
- b) 500 mA *Intensidad:*.....
 Sensibilidad:.....
- c) 1 A *Intensidad:*.....
 Sensibilidad:.....
- d) 100 mA *Intensidad:*.....
 Sensibilidad:.....

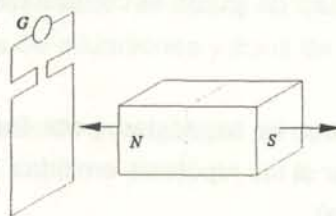


9) La ley de Lorentz indica la fuerza que actúa sobre una carga móvil situada en un campo magnético. Su expresión matemática es $\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

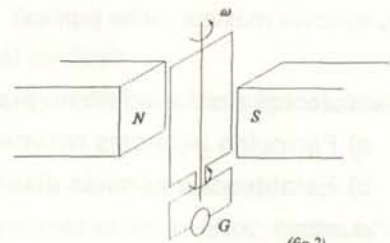
Señala cuál o cuales de las siguientes gráficas indican correctamente la dirección y el sentido del vector fuerza.



10) En la figura 1 se representa una espira cuadrada conectada a un galvanómetro (amperímetro muy sensible) y un imán móvil. En la figura 2 se encuentra una espira cuadrada también conectada a un galvanómetro entre los polos de un imán fijo. Cuando el imán de la figura 1 está en movimiento (hacia adelante o hacia atrás) el galvanómetro detecta paso de corriente eléctrica (en un sentido y en el otro, cambiando conforme lo hace el movimiento del imán) y si está en reposo el galvanómetro no señala nada. Algo parecido ocurre en la figura 2, si la espira gira alrededor del eje pintado en la figura el galvanómetro detecta paso de corriente (cada media vuelta cambia de sentido) y si se encuentra en reposo no señala nada. ¿Qué conclusiones se pueden extraer de las observaciones anteriores?



(fig 1)



(fig 2)

11) Un investigador quiere averiguar los factores que influyen en la fuerza con que se atraen dos conductores rectilíneos paralelos. Las hipótesis iniciales son que la fuerza de atracción depende de: la intensidad que circula por el hilo 1, la intensidad que circula por el hilo 2 y la distancia entre ambos. Para comprobarlas realiza el montaje adecuado y toma varias medidas. Los resultados están expresados en la tabla siguiente:

Medida	Fuerza (Dinas)	Intensidad por el hilo 1 (A)	Intensidad por el hilo 2 (A)	Distancia entre hilos (cm)
1	60	1	1	40
2	70	1	1	50
3	60	0,5	1	20
4	60	1	2	40
5	70	1	3	50

Con las medidas realizadas y los resultados obtenidos contesta a las siguientes cuestiones:

- a) La fuerza de atracción depende de la intensidad que circula por el hilo 1:
- SI NO No se sabe
-

En caso afirmativo, depende:

(directamente o inversamente)

¿Por qué?:

.....

- b) La fuerza de atracción depende de la intensidad que circula por el hilo 2:
- SI NO No se sabe
-

En caso afirmativo, depende:

(directamente o inversamente)

¿Por qué?:

.....

- c) La fuerza de atracción depende de la distancia entre los hilos:
- SI NO No se sabe
-

En caso afirmativo, depende:

(directamente o inversamente)

¿Por qué?:

.....

12) Relata un fenómeno cotidiano donde se ponga de manifiesto la relación que existe entre la electricidad y el magnetismo.

13) Diseña un circuito de corriente alterna para averiguar el coeficiente de autoinducción de una bobina. Indica detenidamente cómo lo hallarías.

14) Señala semejanzas y diferencias entre la corriente continua y la corriente alterna.

CRITERIOS DE VALORACIÓN DEL CUESTIONARIO

Cuestión 8: Pretende averiguar si el alumno sabe dar el valor de la medida que señala un instrumento (amperímetro) medidor de intensidad de corriente eléctrica, indicando la precisión. (Puntuación máxima: cuatro puntos)

Se valorará la respuesta atendiendo a la siguiente puntuación:

- a) Si da correctamente la cantidad de la magnitud: dos puntos.
- b) Si da correctamente la precisión de la medida: un punto y medio.
- c) Si indica la unidad de la magnitud medida: medio punto.

Cuestión 9: Pretende averiguar si el alumno reconoce la representación gráfica correcta de las tres magnitudes de un producto vectorial. (Puntuación máxima: cuatro puntos)

Se valorará la respuesta atendiendo al siguiente criterio:

- a) Si señalan correctamente cuatro opciones: un punto.
- b) Si señalan correctamente cinco opciones: dos puntos.
- c) Si señalan correctamente las seis opciones: cuatro puntos.

Cuestión 10: Pretende averiguar si el alumno sabe interpretar observaciones sobre dos fenómenos concretos, estableciendo las conclusiones adecuadas para llegar a formular de forma precisa una ley física. (Puntuación máxima: ocho puntos).

Se valorará la respuesta atendiendo al siguiente criterio:

- a) Si se indica que en la figura 1 el galvanómetro detecta corriente porque al moverse el imán cambia el campo magnético en la espira: dos puntos.
- b) Si se indica que en la figura 2 el galvanómetro detecta corriente porque al girar la espira cambia el campo magnético en la misma: dos puntos.
- c) Si se indica que el flujo magnético que atraviesa la espira de la figura 1 cambia al moverse el imán: un punto y medio.
- d) Si se indica que el flujo magnético que atraviesa la espira de la figura 2 cambia cuando gira: un punto y medio.
- e) Si se señala el sentido de la corriente inducida en función del aumento o disminución del flujo: un punto.

Cuestión 11: Se pretende averiguar si los alumnos saben controlar variables, identificar magnitudes dependientes e independientes y obtener conclusiones.

(Puntuación máxima: seis puntos).

Se valorará la respuesta atendiendo al siguiente criterio:

- a) Si la contestación es correcta señalando la dependencia: un punto por cada uno de los tres apartados.
- b) Si la explicación de la respuesta es válida: un punto por cada una de las tres contestaciones.

Cuestión 12: Se pretende averiguar si los alumnos saben identificar fenómenos y establecer semejanzas y diferencias entre dos campos importantes de la física.

(Puntuación máxima: ocho puntos)

Se valorará las contestaciones que señalen los siguientes aspectos:

- a) Indicar algún fenómeno o situación que relacione la electricidad con el magnetismo: hasta cuatro puntos.
- b) Si además se describe correctamente el fenómeno señalando dónde se encuentra la relación: hasta seis puntos.
- c) Si además se interpreta correctamente el fenómeno: hasta ocho puntos.

Cuestión 13: Se pretende averiguar si el alumno sabe reconocer un problema, diseñar un experimento y señalar cómo se obtiene la magnitud física incógnita.

(Puntuación máxima: ocho puntos)

Se valorarán las respuestas atendiendo al siguiente criterio:

- a) Si se reconoce el problema precisándolo: hasta dos puntos.
- b) Si además se indica la ley en la que se basa la resolución: hasta cuatro puntos.
- c) Si además se realiza un diseño experimental apropiado, señalando el proceso, materiales, aparatos de medida, etc: hasta ocho puntos.

Cuestión 14: Averiguar si los alumnos saben establecer semejanzas y diferencias entre dos conceptos ampliamente tratados en el aula.

(Puntuación máxima: ocho puntos)

Se valorarán las respuestas atendiendo al siguiente criterio:

- a) Si se formulan dos semejanzas y dos diferencias: hasta cuatro puntos.
- b) Si se formulan tres semejanzas y tres diferencias: hasta ocho puntos.

La validez de contenido de las pruebas se recoge en la siguiente tabla que señala la correspondencia entre las habilidades anteriores y las cuestiones de las pruebas.

<i>Habilidades</i>	<i>PE₁</i>	<i>PE₂</i>	<i>PE₃</i>	<i>PE₄</i>	<i>PE₅</i>	<i>HI₁</i>	<i>HI₂</i>	<i>HI₃</i>	<i>HI₄</i>	<i>HI₅</i>
Cuestiones	1	8	2	9	3	9,6,10,12	4,12,14	4,10,12	8,11	8
<i>Habilidades</i>	<i>HI₆</i>	<i>HI₇</i>	<i>HI₈</i>	<i>HI₉</i>	<i>HI₁₀</i>	<i>HI₁₁</i>	<i>HI₁₂</i>	<i>HI₁₃</i>	<i>HI₁₄</i>	
Cuestiones	1,11,10	6,2	5,13	7	11	3,13	5,7,13	2,7,10	13	

Los estudiantes dispusieron de sesenta minutos para contestar a cada una de las pruebas. Su corrección se realizó por dos profesores diferentes atendiendo a los criterios de valoración que se han señalado después de cada cuestionario. En general coincidieron en las calificaciones; sin embargo, cuando hubo alguna discrepancia, (en ningún caso superior a dos puntos) se reflejó la media.

Las preguntas que figuran en los cuestionarios ya fueron propuestas en la prueba piloto realizada el curso anterior. Algunas de ellas fueron reformuladas de nuevo, al detectarse alguna anomalía en su redacción.

Las dos pruebas tienen una puntuación máxima de cuarenta y seis puntos. La calificación definitiva de las dos pruebas se trasladaron a las acostumbradas de cero a diez puntos, estableciendo las proporcionalidades adecuadas.

VI.2.3 PRUEBAS SOBRE ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.

Las estrategias cognitivas son capacidades que gobiernan el aprendizaje del individuo, su retentiva y su conducta de pensar (Gagné, citado por Rodríguez Diéguez, 1980, p.60). Su campo de acción no está vinculado a ningún conocimiento específico pues se trata de procedimientos generales de aprendizaje.

Las pruebas pretenden medir el *Rendimiento* en la resolución de problemas. Las estrategias heurísticas que se han pretendido potenciar con los problemas programados durante el proceso de enseñanza y aprendizaje han sido los siguientes:

A) Capacidades relacionadas con la comprensión del problema.

EC₁: Realizar un *análisis* cualitativo de una situación problemática planteada. Por ejemplo: reformular un problema con más precisión o de forma diferente.

EC₂: *Extraer* de un problema los datos conocidos, los desconocidos, las condiciones, etc. *concretando* la magnitud física que se pretende determinar.

EC₃: *Representar esquemática, simbólica o gráficamente* un problema.

B) Capacidades relacionadas con el plan de resolución.

EC₄: *Emitir hipótesis* sobre las variables que influyen en la magnitud física incógnita.

EC₅: *Profundizar* en las hipótesis indicando casos límites de fácil solución y con significación física clara.

EC₆: *Considerar* resuelto un problema y *utilizar* esa información.

EC₇: *Planificar* una o varias vías para resolver el problema.

EC₈: *Indicar* un problema análogo más sencillo o familiar y *utilizarlo* en la resolución del propuesto.

EC₉: *Señalar* los conceptos o principios que rigen las relaciones entre las magnitudes del problema.

EC₁₀: *Subdividir* el problema: restringiendo o ampliando las condiciones, reduciendo las variables que intervienen, etc.

C) Capacidades relacionadas con la "evaluación" de la solución y del proceso resolutivo.

EC₁₁: *Interpretar, analizar y explicar* los resultados. Comprobar las hipótesis emitidas.

EC₁₂: *Particularizar* los resultados a situaciones concretas, pensando en posibles aplicaciones del problema.

EC₁₃: *Analizar* si puede haber otras soluciones.

La validez de contenido de las pruebas se recoge en la siguiente tabla que indica las estrategias tenidas en cuenta, de la relación anterior, para la valoración de cada uno de los problemas.

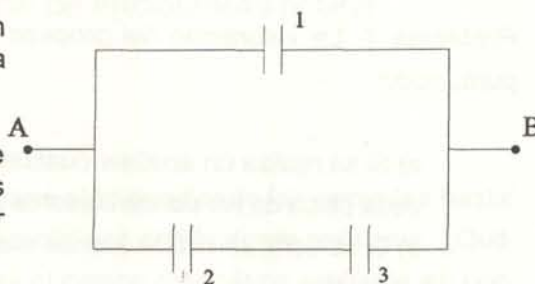
<i>Estrategia</i>	EC ₁	EC ₂	EC ₃	EC ₄	EC ₅	EC ₆	EC ₇
Problema	1,3	1,2,3,4	1,3	1,3	1,3		1,3
<i>Estrategia</i>	EC ₈	EC ₉	EC ₁₀	EC ₁₁	EC ₁₂	EC ₁₃	
Problema	1,2	1,2,3,4	2,4	1,2,3	1,3,4	1,3	

PRIMERA PRUEBA SOBRE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (PTP1)

PROBLEMA 1

Los condensadores 1, 2 y 3 de la figura son iguales y se cargan conectando los bornes A y B a una fuente de alimentación.

Una vez cargados del modo anterior se desconectan y se unen las armaduras positivas de los condensadores 1 y 3 por un lado y las negativas por otro lado.



Se pide:

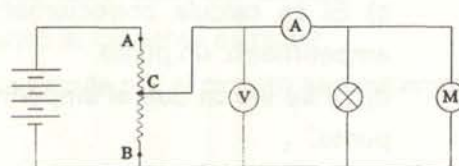
- La carga final de los condensadores 1 y 3.
- La d.d.p. que existirá entre las armaduras de los condensadores 1 y 3.
- La carga del condensador 2.

Resolver el problema atendiendo a los pasos siguientes:

- Analiza la situación planteada y operativiza el problema.
- Formula hipótesis razonadas e imagina situaciones sencillas donde sea posible predecir el resultado.
- Indica la o las estrategias que se pueden seguir para resolver el problema.
- Realiza la resolución y analiza los resultados.
- Fija unos valores concretos a los elementos que componen el circuito y resuelve el problema.

PROBLEMA 2

En el circuito de la figura el generador es una batería de 30 elementos dispuestos en serie, cada uno de los cuales posee una f.e.m. de 2V y una resistencia nula. Cuando el cursor del potenciómetro está en el punto C el voltímetro señala 30V y la bombilla consume 50W. Sabiendo que el motor posee una resistencia interna de 1Ω y una f.c.e.m. de 25V. Calcular:



- La tensión que marcará el voltímetro y la intensidad que circula por la bombilla cuando el cursor está en A.
- La intensidad que marcará el amperímetro cuando el cursor está en B.
- La intensidad que marcará el amperímetro, la potencia que desarrolla el motor y el rendimiento del mismo cuando el cursor está en el punto C.

CRITERIOS DE VALORACIÓN DE LA PRIMERA PRUEBA

Problema 1: La valoración del proceso de resolución se realizará atendiendo a la siguiente puntuación:

- a) Si se realiza un análisis cualitativo del problema y se representa el tipo de cargas en cada placa de los condensadores y en las dos situaciones que se mencionan: un punto.
- b) Si se señalan cuáles son las magnitudes incógnitas, las conocidas y las intervinientes: un punto.
- c) Si se emiten hipótesis sobre la dependencia de las magnitudes incógnitas: un punto.
- d) Si se señalan situaciones límite indicando la solución correcta: medio punto.
- e) Si se indica una o varias estrategias de resolución: hasta dos puntos.
- f) Si se resuelve el problema atendiendo a la estrategia prevista: hasta dos puntos.
- g) Si se da correctamente el resultado final: medio punto.
- h) Si se interpreta la solución, comprobando si las hipótesis emitidas eran o no correctas: un punto.
- i) Si se particulariza a una situación concreta: un punto.

Problema 2: La valoración del proceso de resolución se realizará atendiendo a la siguiente puntuación:

- a) Si se señala que la d.d.p. que marca el voltímetro (estando el cursor en A) coincide con la d.d.p. entre los bornes de la batería: un punto.
- b) Si se calcula correctamente la resistencia de la bombilla: un punto.
- c) Si se calcula correctamente la intensidad (con el cursor en A) que marca el amperímetro: un punto.
- d) Si se indica que el amperímetro (estando el cursor en B) no detecta corriente: un punto.
- e) Si se indica que el voltímetro (estando el cursor en B) no detecta d.d.p.: un punto.
- f) Si se calcula la intensidad que circula por la bombilla (con el cursor en C): un punto.
- g) Si se calcula la intensidad que circula por el motor (con el cursor en C): un punto.
- h) Si se calcula la intensidad que marca el amperímetro (con el cursor en C): un punto.
- i) Si se da correctamente la potencia del motor (con el cursor en C): un punto.
- j) Si se da correctamente el rendimiento del motor (con el cursor en C): un punto.

SEGUNDA PRUEBA SOBRE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (PTP2)**PROBLEMA 1**

En las líneas de alta tensión que distribuye energía eléctrica desde las centrales hasta las viviendas y fábricas puede observarse tres cables metálicos conductores paralelos. ¿Qué fuerza se ejercen entre sí estos conductores?. ¿Cuál es el campo magnético existente en uno de los conductores?.

- Realiza un estudio cualitativo de la situación planteada y operativiza el problema.
- Formula hipótesis e imagina situaciones sencillas donde sea posible predecir el resultado.
- Elabora estrategias de resolución.
- Realiza la resolución.
- Analiza los resultados.
- Resuelve el problema para un caso particular. Elige los datos que necesites.

PROBLEMA 2

Sea un circuito formado por los siguientes elementos asociados en serie: una resistencia, una autoinducción y un condensador. Si lo conectamos a una toma de c.a.:

- ¿Cuál es el valor de la intensidad instantánea cuando el potencial es nulo?.
- ¿Cuál es el valor del potencial instantáneo cuando la corriente es nula?.
- ¿Cómo puede conseguirse que la intensidad que circule por el circuito sea máxima?.
¿Cuánto vale?.

Caso particular

$R=10\Omega$

$L=1H$

$C=10\mu F$

$E_{ef}=60V$

$f=50\text{ Hz}$

CRITERIOS DE VALORACIÓN DE LA SEGUNDA PRUEBA

Problema 1: La valoración del proceso de resolución se realizará atendiendo a la siguiente puntuación:

- a) Si se realiza un análisis cualitativo del problema y se representan en una gráfica los tres conductores en triángulo con el sentido de las intensidades: un punto.
- b) Si se señalan cuáles son las magnitudes incógnitas, las conocidas y las intervinientes: un punto.
- c) Si se emiten hipótesis sobre la dependencia de las magnitudes incógnitas y se señalan situaciones extremas correctas: hasta un punto y medio.
- d) Si se indican una o varias estrategias de resolución: hasta dos puntos.
- e) Si se resuelve el problema atendiendo a una de las estrategias previstas: hasta dos puntos.
- f) Si se da el resultado final correctamente: medio punto.
- g) Si se interpreta la solución, comprobando si las hipótesis emitidas eran o no correctas: un punto.
- h) Si se particulariza a una situación concreta: un punto.

Problema 2: La valoración del proceso de resolución se realizará atendiendo a la siguiente puntuación:

- a) Si al ser el potencial nulo se señala que $\omega.t = k.\pi$: un punto.
- b) Si siendo el potencial nulo se calcula correctamente el desfase: un punto.
- c) Si siendo el potencial nulo se calcula la impedancia: un punto.
- d) Si siendo el potencial nulo se calcula el valor de la intensidad máxima: un punto.
- e) Si al ser la corriente nula se señala que $\omega.t = -\phi + k.\pi$: un punto.
- f) Si siendo la corriente nula se calcula el valor del potencial máximo: un punto.
- g) Si siendo la corriente nula se calcula el valor del potencial instantáneo: un punto.
- h) Si se indica que para que la intensidad sea máxima el circuito debe estar en resonancia, siendo entonces la inductancia igual a la capacitancia: un punto.
- i) Si se indica cómo se puede conseguir: un punto.
- j) Si se señala el valor de la intensidad con el circuito en resonancia: un punto.

Los estudiantes dispusieron de noventa minutos para contestar a cada una de las pruebas. Su corrección se realizó por dos profesores diferentes atendiendo a los criterios de valoración, establecidos para cada problema, que se acaban de indicar. Las calificaciones de los profesores tuvieron una desviación máxima de un punto en cada problema, dándose el valor medio si no coincidían..

Las dos pruebas fueron valoradas con una puntuación máxima de veinte puntos (diez puntos cada problema). La calificación definitiva de ambas pruebas se trasladaron a las acostumbradas de cero a diez puntos, dividiéndose por dos las puntuaciones obtenidas atendiendo al criterio de valoración establecido.

Los datos de la variable *Rendimiento en el aprendizaje global al acabar la experiencia* se obtuvieron sumando las puntuaciones de las tres pruebas puesto que, desde un punto de vista de formación integral, los tres campos evaluados nos parecen igualmente importantes.

De este modo obtuvimos para cada alumno ocho puntuaciones, cuatro en la mitad de la experimentación y otras cuatro al final, correspondientes a las cuatro variables dependientes que figuran en la hipótesis uno.

VI.2.4 PRUEBAS SOBRE CONCEPCIONES ALTERNATIVAS.

Con objeto de comparar el nivel de superación de las concepciones previas erróneas entre los grupos experimental y control se pasó a los alumnos el cuestionario que aparece en el punto IV.1.2 en dos momentos diferentes.

La primera prueba (PPR1) se realizó después del tema de electrocinética. Consta de 140 items verdadero/falso y se corresponden con los grupos de cuestiones: del uno al diecinueve inclusive y del veintidós al treinta y cuatro inclusive. Los estudiantes dispusieron de setenta minutos para contestar al cuestionario. Su corrección se realizó introduciendo las respuestas en los campos del paquete estadístico SPSSPC+. Se estableció la puntuación final atendiendo a la fórmula: $\frac{10}{140} \times (\text{aciertos} - \text{errores})$ por tratarse de items con dos opciones.

La segunda prueba (PPR2) se realizó después de finalizar el último tema, al acabar la experimentación. Consta de 38 items, también verdadero/falso, y se corresponden con los grupos de cuestiones veinte, veintiuno y del treinta y cuatro al cuarenta. Los alumnos tuvieron treinta minutos para contestar al cuestionario. Su corrección también se realizó con el mismo paquete estadístico anterior. En este caso la fórmula que se utilizó fue: $\frac{10}{38} \times (\text{aciertos} - \text{errores})$

para que -igual que en la primera prueba- las puntuaciones fluctuaran entre las clásicas de cero a diez puntos.

La fiabilidad medida con la fórmula 20 de Kuder y Richardson resultó ser buena, con un valor de 0,9654 para el cuestionario global y valores de 0,9259 y 0,8621 para cada uno de los cuestionarios individuales.

CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE LOS DATOS Y EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES

En primer lugar se realiza el análisis de los datos de modo que se pueda obtener una idea clara de ellos con el fin de ser capaces de hacer un análisis de los mismos. En el capítulo se va a estudiar los métodos de análisis de los datos y los tipos de análisis que se pueden hacer. Se va a estudiar los métodos de análisis de los datos y los tipos de análisis que se pueden hacer. Se va a estudiar los métodos de análisis de los datos y los tipos de análisis que se pueden hacer.

TERCERA PARTE

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

En esta parte se va a estudiar los métodos de análisis de los datos y los tipos de análisis que se pueden hacer. Se va a estudiar los métodos de análisis de los datos y los tipos de análisis que se pueden hacer. Se va a estudiar los métodos de análisis de los datos y los tipos de análisis que se pueden hacer.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

En esta parte se va a estudiar los resultados de la investigación.

Variable	Valor	Porcentaje	Valor	Porcentaje
Variable 1	10,00	20,00	Variable 2	20,00
Variable 1	20,00	40,00	Variable 2	30,00
Variable 1	30,00	30,00	Variable 2	40,00
Variable 1	40,00	10,00	Variable 2	10,00

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE LOS DATOS Y ELABORACIÓN DE CONCLUSIONES.

En la primera parte expusimos el diseño de nuestra investigación educativa cuyo desarrollo fue descrito con detalle en la segunda. En el capítulo seis se presentaron las pruebas que realizaron los alumnos y que dieron lugar a los datos correspondientes a cada una de las variables dependientes. Ahora nos ocuparemos de su análisis y, como consecuencia, elaboraremos las conclusiones pertinentes en relación con las hipótesis formuladas en el diseño de la investigación.

VII.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.

Para analizar los datos obtenidos en todas las variables dependientes relacionadas con el rendimiento, así como el nivel de superación de las concepciones previas al acabar la experiencia, se introdujeron en un ordenador y se procesaron con el paquete estadístico SPSS para windows.

Efectuamos, en primer lugar, una *estadística descriptiva* cuyos resultados se exponen a continuación.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

VARIABLE: Factor "g" (en centiles)

Media: 65,330	Error Tip.: 2,726	Mediana: 73	Moda: 77
Desv. Tip.: 27,265	Varianza: 743,375	Curtosis: -0,843	SEKurt: 0,478
Skewness: -0,564	SESkew: 0,241	Rango: 98	N: 100
Mínimo: 1	Máximo: 99	Suma: 6533	# Perdidos: 0

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	40,000	25,00	40,000	40,00	60,000
50,00	73,000	60,00	77,000	75,00	88,750
80,00	92,000				

VARIABLE: Razonamiento Mecánico:

Media: 32,620	Error Típ.: 2,297	Mediana: 25	Moda: 23
Desv. Típ.: 22,972	Varianza: 527,693	Curtosis: -0,590	SEKurt: 0,478
Skewness: 0,672	SESkew: 0,241	Rango: 88	N: 100
Mínimo: 1	Máximo: 89	Suma: 3262	# Perdidos: 0

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	11,000	25,00	15,000	40,00	23,000
50,00	25,000	60,00	33,000	75,00	53,750
80,00	59,000				

VARIABLE: Hechos, conceptos y estructuras conceptuales "Primera prueba":

Media: 524,232	Error Típ.: 20,410	Mediana: 533	Moda: 467
Desv. Típ.: 203,074	Varianza: 41239,078	Curtosis: -0,143	SEKurt: 0,481
Skewness: -0,367	SESkew: 0,243	Rango: 933	N: 99
Mínimo: 0	Máximo: 933	Suma: 51899	# Perdidos: 1

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	350,000	25,00	400,000	40,00	467,000
50,00	533,000	60,00	600,000	75,00	667,000
80,00	733,000				

VARIABLE: Hechos conceptos y estructuras conceptuales "segunda prueba":

Media: 590,769	Error Típ.: 25,238	Mediana: 600	Moda: 733
Desv. Típ.: 222,900	Varianza: 49684,517	Curtosis: -0,710	SEKurt: 0,538
Skewness: -0,165	SESkew: 0,272	Rango: 882	N: 78
Mínimo: 117	Máximo: 999	Suma: 46080	# Perdidos: 22

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	390,000	25,00	467,000	40,00	533,000
50,00	600,000	60,00	667,000	75,00	733,000
80,00	800,000				

VARIABLE: Hechos, conceptos y estructuras conceptuales "Prueba total (primera prueba + segunda prueba)":

Media: 571,870	Error Típ.: 20,074	Mediana: 542	Moda: 533
Desv. Típ.: 176,151	Varianza: 31029,114	Curtosis: -0,650	SEKurt: 0,541
Skewness: 0,045	SESkew: 0,274	Rango: 775	N: 77
Mínimo: 158	Máximo: 933	Suma: 44034	# Perdidos: 23

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	404,800	25,00	425,000	40,00	533,000
50,00	542,000	60,00	628,000	75,00	716,500
80,00	733,000				

VARIABLE: Concepciones previas "pretest"

Media: 79,340	Error Típ.: 10,199	Mediana: 31	Moda: 0
Desv. Típ.: 101,989	Varianza: 10401,782	Curtosis: 1,088	SEKurt: 0,478
Skewness: 1,341	SESkew: 0,241	Rango: 416	N: 100
Mínimo: 0	Máximo: 416	Suma: 7934	# Perdidos: 0

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	,000	25,00	,000	40,00	2,400
50,00	31,000	60,00	72,200	75,00	140,750
80,00	166,600				

VARIABLE: Concepciones previas (Postest) "Primera prueba":

Media: 324,626	Error Típ.: 22,069	Mediana: 314	Moda: 0
Desv. Típ.: 219,588	Varianza: 48218,747	Curtosis: -0,736	SEKurt: 0,481
Skewness: 0,333	SESkew: 0,243	Rango: 843	N: 99
Mínimo: 0	Máximo: 843	Suma: 32138	# Perdidos: 1

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	100,000	25,00	129,000	40,00	243,000
50,00	314,000	60,00	386,000	75,00	486,000
80,00	536,000				

VARIABLE: Concepciones previas (Postest) "Segunda prueba"

Media: 465,256	Error Típ.: 31,337	Mediana: 447,5	Moda: 421
Desv. Típ.: 276,762	Varianza: 76597,388	Curtosis: -1,136	SEKurt: 0,538
Skewness: 0,059	SESkew: 0,272	Rango: 999	N: 78
Mínimo: 0	Máximo: 999	Suma: 36290	# Perdidos: 22

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	211,000	25,00	211,000	40,00	399,800
50,00	447,500	60,00	526,000	75,00	737,000
80,00	747,400				

VARIABLE: Concepciones previas (Postest) "Total (primera prueba + segunda prueba)"

Media: 387,305	Error Típ.: 24,503	Mediana: 393,562	Moda: 112,382
Desv. Típ.: 215,011	Varianza: 46229,708	Curtosis: -0,790	SEKurt: 0,541
Skewness: 0,133	SESkew: 0,274	Rango: 831,472	N: 77
Mínimo: 11,315	Máximo: 842,787	Suma: 29822,472	#Perdidos: 23

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	157,274	25,00	205,146	40,00	328,184
50,00	393,562	60,00	456,065	75,00	561,652
80,00	584,180				

VARIABLE: Habilidades intelectuales en los procesos investigativos "primera prueba":

Media: 517,030	Error Típ.: 25,412	Mediana: 500	Moda: 826
Desv. Típ.: 252,844	Varianza: 63930,234	Curtosis: -1,220	SEKurt: 0,481
Skewness: 0,029	SESkew: 0,243	Rango: 935	N: 99
Mínimo: 0	Máximo: 935	Suma: 51186	# Perdidos: 1

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	272,000	25,00	326,000	40,00	391,000
50,00	500,000	60,00	576,000	75,00	772,000
80,00	826,000				

VARIABLE: Habilidades intelectuales en los procesos investigativos "segunda prueba":

Media: 442,038	Error Típ.: 25,290	Mediana: 446	Moda: 304
Desv. Típ.: 223,357	Varianza: 49888,245	Curtosis: -0,465	SEKurt: 0,538
Skewness: 0,110	SESkew: 0,272	Rango: 913	N: 78
Mínimo: 0	Máximo: 913	Suma: 34479	# Perdidos: 22

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	261,000	25,00	301,250	40,00	387,000
50,00	446,000	60,00	504,400	75,00	587,000
80,00	609,000				

Habilidades intelectuales en los procesos investigativos "Total (primera prueba + segunda prueba)":

Media: 506,987	Error Típ.: 23,308	Mediana: 543,5	Moda: 337
Desv. Típ.: 204,528	Varianza: 41831,802	Curtosis: -0,700	SEKurt: 0,541
Skewness: -0,296	SESkew: 0,274	Rango: 918,5	N: 77
Mínimo: 0	Máximo: 918,5	Suma: 39038	# Perdidos: 23

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	300,100	25,00	337,000	40,00	456,600
50,00	543,500	60,00	596,500	75,00	674,000
80,00	692,200				

Estrategias cognitivas en la resolución de problemas "primera prueba"

Media: 423,737	Error Típ.: 19,717	Mediana: 400	Moda: 200
Desv. Típ.: 196,181	Varianza: 38486,910	Curtosis: 0,370	SEKurt: 0,481
Skewness: 0,993	SESkew: 0,243	Rango: 750	N: 99
Mínimo: 200	Máximo: 950	Suma: 41950	# Perdidos: 1

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	250,000	25,00	250,000	40,00	300,000
50,00	400,000	60,00	425,000	75,00	525,000
80,00	600,000				

VARIABLE: Estrategias cognitivas en la resolución de problemas "segunda prueba"

Media: 499,615	Error Típ.: 27,116	Mediana: 425	Moda: 800
Desv. Típ.: 239,485	Varianza: 57353,097	Curtosis: -1,161	SEKurt: 0,538
Skewness: 0,507	SESkew: 0,272	Rango: 815	N: 78
Mínimo: 175	Máximo: 990	Suma: 38970	# Perdidos: 22

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	270,000	25,00	300,000	40,00	365,000
50,00	425,000	60,00	500,000	75,00	750,000
80,00	800,000				

VARIABLE: Estrategias cognitivas en la resolución de problemas "Total (primera + segunda prueba)"

Media: 478,377	Error Típ.: 22,225	Mediana: 425	Moda: 350
Desv. Típ.: 195,024	Varianza: 38034,337	Curtosis: -0,658	SEKurt: 0,541
Skewness: 0,638	SESkew: 0,274	Rango: 757,5	N: 77
Mínimo: 212,5	Máximo: 970	Suma: 36835	# Perdidos: 23

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	300,000	25,00	325,000	40,00	377,500
50,00	425,000	60,00	475,000	75,00	643,750
80,00	687,500				

VARIABLE: Rendimiento global (media de rendimientos en conceptos, habilidades intelectuales en los procesos investigativos y estrategias cognitivas en la resolución de problemas):

Media: 519,078	Error Típ.: 18,211	Mediana: 508,833	Moda: 177,667
Desv. Típ.: 159,803	Varianza: 25537,076	Curtosis: -0,599	SEKurt: 0,541
Skewness: 0,130	SESkew: 0,274	Rango: 682,667	N: 77
Mínimo: 177,667	Máximo: 860,333	Suma: 39969	# Perdidos: 23

Percentil	Valor	Percentil	Valor	Percentil	Valor
20,00	375,300	25,00	397,000	40,00	472,333
50,00	508,833	60,00	548,533	75,00	645,500
80,00	672,000				

VII.2 COMPARACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS A LA MITAD Y AL FINAL DEL PERÍODO INSTRUCTIVO.

Se trata de contrastar la *Hipótesis uno* formulada en el apartado III.1 que dice:

Después del período instructivo existirá un mayor rendimiento en los alumnos que recibieron sus clases con la metodología con enfoque constructivista, y orientada al cambio conceptual y metodológico, diseñada en el capítulo II que los que la recibieron con la metodología expositiva tradicional, respecto a las siguientes variables:

- a) *Aprendizaje de hechos, conceptos y principios.*
- b) *Aprendizaje de habilidades intelectuales: procedimientos específicos y habilidades en la metodología de la investigación científica.*
- c) *Aprendizaje de estrategias cognitivas en la resolución de problemas.*
- d) *Aprendizaje global.*

Para ello utilizamos, como habíamos previsto en el diseño de la investigación, el *análisis de la varianza*, tomando como factor las metodologías (grupos) y como variables dependientes los rendimientos en los campos de aprendizaje señalados en los apartados "a", "b", "c" y "d" de la hipótesis uno. Los resultados obtenidos aparecen en las páginas siguientes.:

En el anexo I se incluyen las respuestas y los resultados correspondientes a cada una de las dos pruebas sobre:

- Hechos, conceptos, principios y estructuras conceptuales.
- Habilidades en el ámbito de los procesos de la investigación científica.
- Estrategias cognitivas en la resolución de problemas.

Así mismo, al final del anexo I, se incluye un cuadro resumen general con los datos identificativos de los alumnos y los resultados finales que han obtenido en cada una de las pruebas.

HECHOS, CONCEPTOS, PRINCIPIOS Y ESTRUCTURAS CONCEPTUALES**Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Primera prueba"**

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	92097,5121	92097,5121	Test-F = 2,262
Dentro grupos	97	3949332,144	40714,7644	Prob. = 0,1358
Total	98	4041429,657		

ANOVA un factor. Conceptos y estructuras conceptuales. Primera prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	59	499,1186	202,7286	26,3930
EXPERIMENTAL	40	561,2750	200,3584	31,6794
TOTAL	99	524,2323	203,0741	20,4097

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Segunda prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	176840,0835	176840,0835	Test-F = 3,6833
Dentro grupos	76	3648867,763	48011,4179	Prob. = 0,0587
Total	77	3825707,846		

ANOVA un factor. Conceptos y estructuras conceptuales. Segunda prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	41	545,5366	222,1566	34,6950
EXPERIMENTAL	37	640,8919	215,6853	35,4584
TOTAL	78	590,7692	222,9002	25,2385

HECHOS, CONCEPTOS, PRINCIPIOS Y ESTRUCTURAS CONCEPTUALES

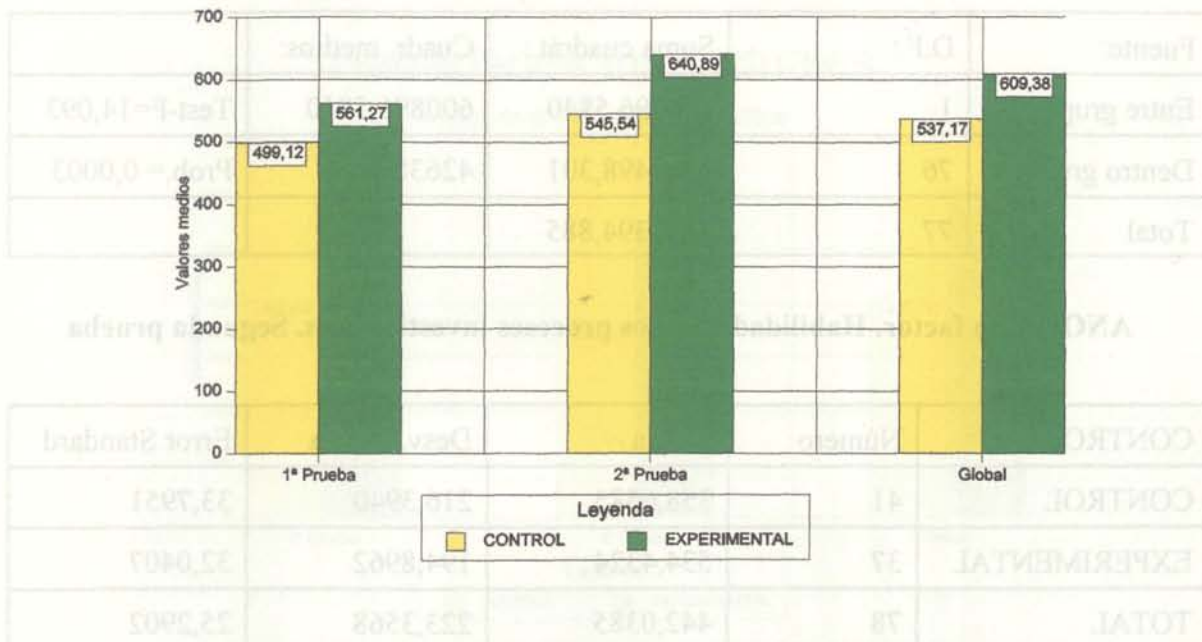
Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "TOTAL pruebas"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	100204,2236	100204,2236	Test-F=3,3283
Dentro grupos	75	2258008,478	30106,7797	Prob.= 0,0721
Total	76	2358212,701		

ANOVA un factor. Conceptos y estructuras conceptuales. Primera+Segunda pruebas

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	40	537,1750	169,5287	26,8048
EXPERIMENTAL	37	609,3784	177,7286	29,2184
TOTAL	77	571,8701	176,1508	20,0742

Hechos, conceptos y principios



HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Primera prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	1713830,626	1713830,626	Test-F=36,526
Dentro grupos	97	4551332,283	46920,9514	Prob.= 0,0001
Total	98	6265162,909		

ANOVA un factor. Habilidades en los procesos investigativos. Primera prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	59	408,6949	221,0392	28,7769
EXPERIMENTAL	40	676,8250	209,8565	33,1812
TOTAL	99	517,0303	252,8443	25,4118

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Segunda prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	600896,5840	600896,5840	Test-F=14,093
Dentro grupos	76	3240498,301	42638,1355	Prob.= 0,0003
Total	77	3841394,885		

ANOVA un factor. Habilidades en los procesos investigativos. Segunda prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	41	358,6585	216,3940	33,7951
EXPERIMENTAL	37	534,4324	194,8962	32,0407
TOTAL	78	442,0385	223,3568	25,2902

HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "TOTAL pruebas"

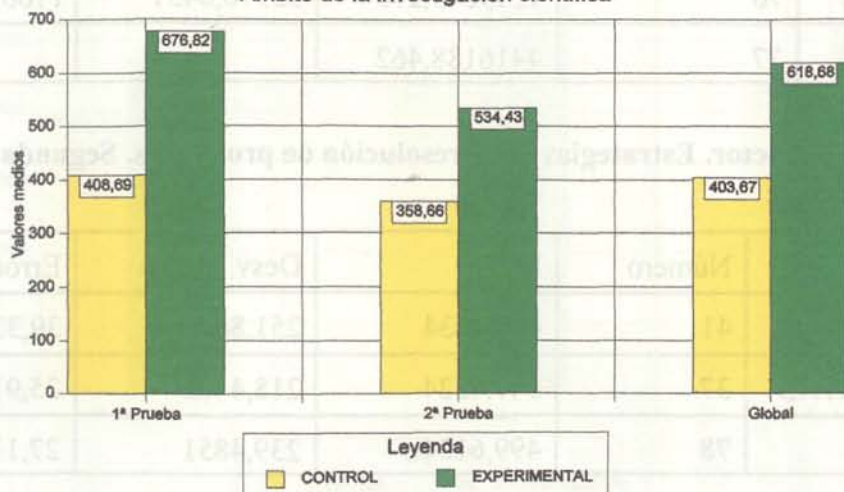
Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	888486,1039	888486,1039	Test-F=29,089
Dentro grupos	75	2290730,883	30543,0784	Prob.= 0,0001
Total	76	3179216,987		

ANOVA un factor. Habilidades en los procesos investigativos. Primera+Segunda pruebas

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	40	403,6750	192,3068	30,4064
EXPERIMENTAL	37	618,6757	153,5177	25,2382
TOTAL	77	506,9870	204,5282	23,3082

Habilidades Intelectuales

Ámbito de la investigación científica



ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Primera prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	155529,4069	155529,4069	Test-F=4,1719
Dentro grupos	97	3616187,765	37280,2862	Prob.= 0,0438
Total	98	3771717,172		

ANOVA un factor. Estrategias en la resolución de problemas. Primera prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	59	391,1017	180,2036	23,4605
EXPERIMENTAL	40	471,8750	210,7821	33,3276
TOTAL	99	423,7374	196,1808	19,7169

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Segunda prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	160945,1853	160945,1853	Test-F=2,8745
Dentro grupos	76	4255243,276	55990,0431	Prob.= 0,0941
Total	77	4416188,462		

ANOVA un factor. Estrategias en la resolución de problemas. Segunda prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	41	456,4634	251,8661	39,3349
EXPERIMENTAL	37	547,4324	218,4402	35,9114
TOTAL	78	499,6154	239,4851	27,1163

ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "TOTAL pruebas"

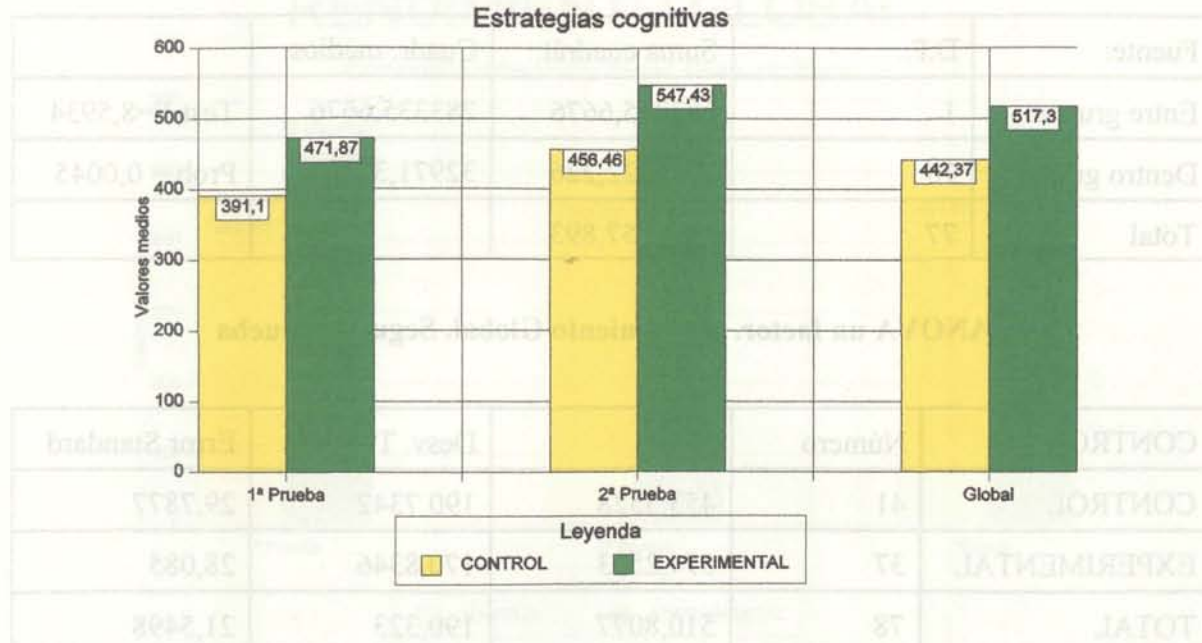
Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	107892,9732	107892,9732	Test-F=2,9079
Dentro grupos	75	2782716,605	37102,8881	Prob.= 0,0923
Total	76	2890609,578		

ANOVA un factor. Estrategias en la resolución de problemas. Primera+Segunda pruebas

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	40	442,3750	196,8624	31,1267
EXPERIMENTAL	37	517,2973	187,9184	30,8936
TOTAL	77	478,3766	195,0239	22,2250

Resolución de problemas

Estrategias cognitivas



**RENDIMIENTO GLOBAL: HECHOS, CONCEPTOS Y PRINCIPIOS +
HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS INVESTIGATIVOS +
ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Primera prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	447552,7165	447552,7165	Test-F=19,805
Dentro grupos	97	2191942,395	22597,3443	Prob.= 0,0001
Total	98	2639495,111		

ANOVA un factor. Rendimiento Global. Primera prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	59	432,9718	149,9882	19,5268
EXPERIMENTAL	40	569,9917	150,8223	23,8471
TOTAL	99	488,3333	164,1147	16,4941

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Segunda prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	283335,6676	283335,6676	Test-F=8,5934
Dentro grupos	76	2505822,226	32971,3451	Prob.= 0,0045
Total	77	2789157,893		

ANOVA un factor. Rendimiento Global. Segunda prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	41	453,5528	190,7342	29,7877
EXPERIMENTAL	37	574,2523	170,8346	28,085
TOTAL	78	510,8077	190,323	21,5498

RENDIMIENTO GLOBAL: HECHOS, CONCEPTOS Y PRINCIPIOS + HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS INVESTIGATIVOS + ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "TOTAL pruebas"

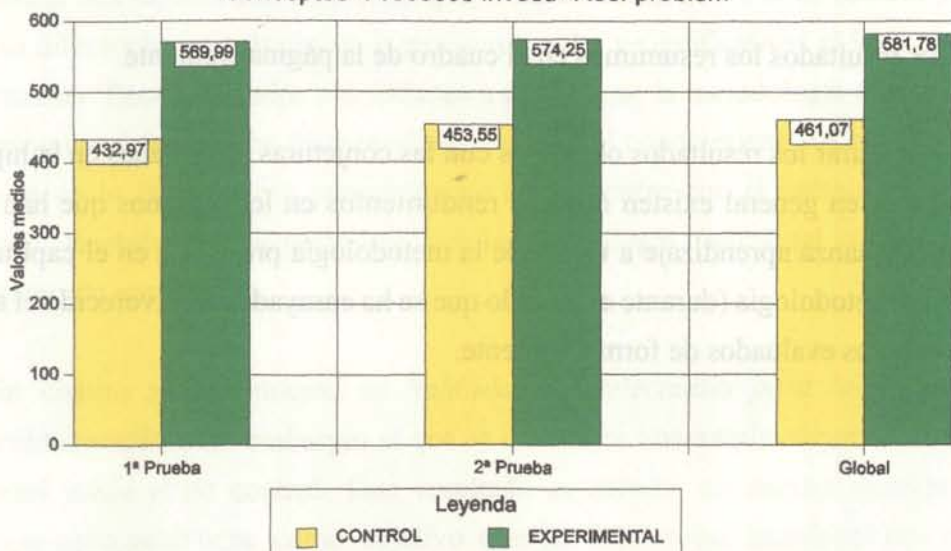
Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	280058,4872	280048,4872	Test-F=12,647
Dentro grupos	75	1660759,323	22143,4576	Prob.= 0,0007
Total	76	1940817,810		

ANOVA un factor. Rendimiento Global. Primera+Segunda pruebas

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	40	461,0750	155,7236	24,6221
EXPERIMENTAL	37	581,7838	140,9310	23,1689
TOTAL	77	519,0779	159,8032	18,2113

RENDIMIENTO GLOBAL

Conceptos+Procesos invest.+Res. problem



Los resultados obtenidos en las tablas anteriores reflejan diferencias significativas al 95% a favor del grupo experimental entre las medias de las siguientes variables:

- Rendimiento en el aprendizaje de las habilidades intelectuales que caracterizan los procesos de la investigación científica a la mitad y al final de la experimentación.
- Rendimiento en el aprendizaje de estrategias cognitivas en la resolución de problemas a la mitad de la experimentación.
- Rendimiento en el aprendizaje global a la mitad y al final de la experimentación.

Las diferencias son significativas al 90% a favor de la metodología experimental entre las medias de las variables:

- Rendimiento en el aprendizaje de hechos, conceptos, principios y estructuras conceptuales en la segunda prueba y en el total de la experimentación.
- Rendimiento en el aprendizaje de estrategias cognitivas en la resolución de problemas en la segunda prueba y en el total de la experimentación.

Por último existen diferencias muestrales a favor de la metodología con enfoque constructivista entre las medias de la variable: rendimiento en el aprendizaje de hechos, conceptos, principios y estructuras conceptuales a la mitad de la investigación.

Estos resultados los resumimos en el cuadro de la página siguiente.

Al comparar los resultados obtenidos con las conjeturas formuladas en la hipótesis uno observamos que en general existen mejores rendimientos en los alumnos que han seguido el proceso de enseñanza/aprendizaje a través de la metodología propuesta en el capítulo dos. Sin embargo, esta metodología (durante el período que se ha ensayado) ha favorecido el aprendizaje de los tres campos evaluados de forma diferente.

COMPARACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS OBTENIDOS ENTRE LOS GRUPOS

	Difer.signif al 95 %	Difer.signif. al 90 %	Diferencia muestral
Aprend. de Hechos, conceptos y princip. (1ª prueba)			*
Aprend. de Hechos, conceptos y princip. (2ª prueba)		*	
Aprend. de Hechos, conceptos y princip. (Final)		*	
Aprendizaje de habilid. en procesos invest. (1ª prueba)	*		
Aprendizaje de habilid. en procesos invest. (2ª prueba)	*		
Aprendizaje de habilid. en procesos invest. (Final)	*		
Aprendizaje de estrat. en resol. de probl. (1ª prueba)	*		
Aprendizaje de estrat. en resol. de probl. (2ª prueba)		*	
Aprendizaje de estrat. en resol. de probl. (Final)		*	
Aprendizaje GLOBAL (1ª prueba)	*		
Aprendizaje GLOBAL (2ª prueba)	*		
Aprendizaje GLOBAL (Final)	*		

NOTA: el signo "*" significa que existen diferencias significativas del tipo que se indica en la cabecera a favor del grupo experimental, que ha seguido la metodología con enfoque constructivista.

Sobre el rendimiento en *hechos, conceptos, principios y estructuras conceptuales* no se experimenta una superioridad amplia del grupo experimental sobre el de control ya que sólo se aprecian diferencias muestrales en la primera prueba y significativas al 90% al final de la experimentación. Estos resultados nos inducen a pensar que la metodología ensayada, aunque mejora ligeramente este campo de aprendizaje relativo al conocimiento de hechos, conceptos y principios no lo favorece tan especialmente como ocurre con el campo que hablamos a continuación. También hay que mencionar que la metodología tradicional incide directamente en este campo de aprendizaje.

En cuanto al rendimiento en *habilidades intelectuales para los procesos de la investigación científica*, sin embargo, sí que se corrobora una amplia superioridad del grupo experimental sobre el de control. Este resultado es debido, en nuestra opinión, a que la metodología propuesta tiene como objetivo abordar situaciones problemáticas tratándolas

científicamente, permitiendo que los alumnos superen las dificultades procedimentales. Es decir, con la metodología ensayada se tratan inicialmente los problemas de modo cualitativo, se emiten hipótesis, se considera la realización de diseños y contrastaciones experimentales, se detiene en el tratamiento de los resultados y en la elaboración de las conclusiones, etc. Estos procesos, por contra, apenas se tienen en cuenta en la metodología expositiva-habitual. Algunos de ellos sólo se tratan en las prácticas de laboratorio que suelen enfocarse demasiado estructuradas y en donde se indica al alumno lo que debe hacer en todo momento, privándole de la labor creativa que requiere toda investigación científica.

En *resolución de problemas* creemos que se confirma la hipótesis. Se ha apreciado diferencias significativas ($\alpha=0,05$) en la primera prueba a favor del grupo experimental y sólo al 90% en la segunda. Creemos que esto es debido a que en el grupo de control también se trabajaron algunos problemas siguiendo el modelo de resolución como investigación (Martínez Torregrosa, 1987) que propone la metodología ensayada.

En contraposición con la metodología tradicional de resolución de problemas que plantea más bien la solución a ejercicios standard, en donde los alumnos los resuelven (si han realizado alguno parecido) de forma muy operativa y superficial, la metodología con enfoque constructivista propuesta en esta investigación aborda la solución a los problemas llamados de lápiz y papel como una actividad de investigación. Presenta auténticos problemas, en donde se han quitado los datos, y trata de resolverlos siguiendo los siguientes pasos: a) se comienza con un estudio cualitativo de la situación, acotando y definiendo de manera precisa el problema, explicando las condiciones que se consideran reinantes, b) se emiten hipótesis fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esa dependencia, c) se elaboran y explicitan posibles estrategias de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error, d) se realiza la resolución verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando operativismos carentes de significación física, e) se analizan cuidadosamente los resultados a la luz de las hipótesis elaboradas, y f) se particulariza (aportando datos) a situaciones concretas y se plantean nuevas situaciones problemáticas de complejidad mayor.

Desde el primer momento el profesor propuso a los alumnos del grupo experimental la resolución de los problemas siguiendo el proceso descrito en el párrafo anterior, con lo cual todos los problemas fueron abordados de la misma forma. Sin embargo, aunque en el grupo de control debería haberse planteado y resuelto todos los problemas como viene haciéndose

habitualmente, se programó enseñar a los alumnos a que abordaran algunos problemas como se hacía con el grupo experimental. Quizás, y así lo creemos, las menores diferencias entre los grupos en la segunda prueba se deba a que los alumnos del grupo de control tardaron más tiempo en familiarizarse con el modelo de resolución como investigación. Cuando adquirieron capacidades para abordar los problemas siguiendo los procesos señalados obtuvieron mejores resultados acortando las diferencias con los alumnos del grupo experimental. Ambos grupos a medida que transcurre el tiempo obtienen puntuaciones más altas, mejorando sus rendimientos.

Como consecuencia de los resultados obtenidos en los tres campos de aprendizaje evaluados, en el *rendimiento global* se corrobora la Hipótesis uno, obteniéndose diferencias significativas al 99% a favor del grupo experimental.

VII.3 INTERACCIÓN ENTRE LAS METODOLOGÍAS Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ALUMNOS.

Para estudiar las interacciones entre las metodologías y los diferentes tipos de alumnos según su sexo, estudios de Física en C.O.U., inteligencia general y grado de razonamiento mecánico realizamos varios *análisis de varianza* de dos factores, tomando como primer factor los grupos (metodologías) y como segundo factor la variable correspondiente, codificando las cuantitativas en tres categorías de acuerdo con el siguiente criterio:

Inteligencia general y grado de razonamiento mecánico:

Baja: Puntuación menor o igual a cuarenta centiles.

Media: puntuación entre cuarenta y setenta centiles.

Alta: puntuación superior a setenta centiles.

Se tomaron como variables dependientes las que se refieren a los rendimientos en los cuatro campo (conceptual, procesual, resolución de problemas y global) y el relativo a las concepciones erróneas, tanto en la primera y segunda prueba como en el total (suma de las dos pruebas). Se realizaron, por tanto, sesenta análisis de la varianza.

En el anexo II se incluyen todos estos análisis, reflejando en tablas y gráficas los valores medios comparativos de los diferentes aprendizajes, tanto en las dos pruebas como en el total.

Los resultados de las tablas y el análisis de los gráficos permiten formular las siguientes inferencias:

A) Sexo

No hay interacciones con la variables sexo. Por tanto, ninguna de las dos metodologías favorece especialmente el aprendizaje de chicos y chicas.

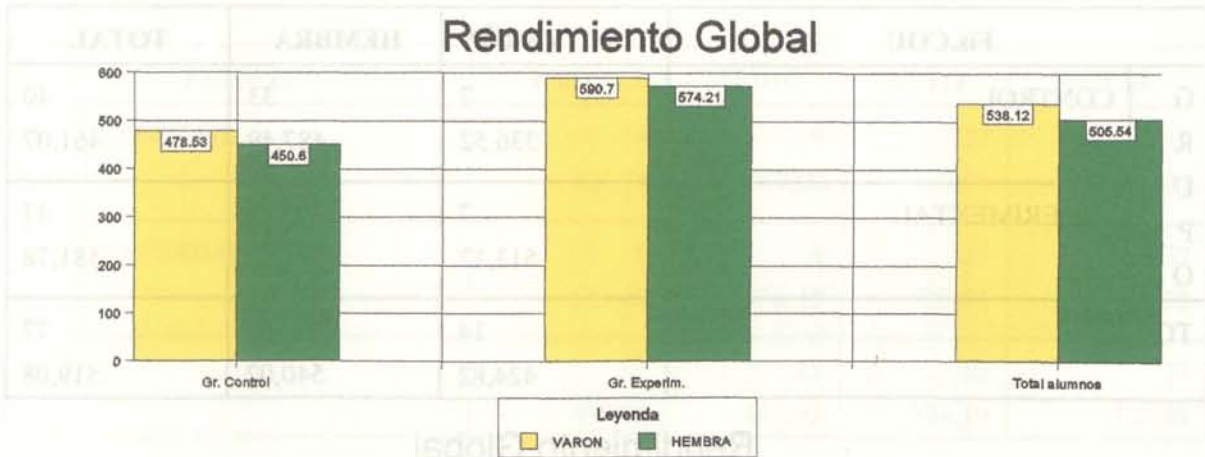
RENDIMIENTO GLOBAL (CONCEPTOS + PROCESOS + PROBLEMAS)

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza. Total pruebas por grupo y sexo

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	269409,678	269409,678	11,913	0,001
SEXO	1	19853,970	19853,970	0,878	0,352
GRUPO/SEXO	1	607,923	607,923	0,027	0,870
Error	73	1650946,239	22615,702		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "Total pruebas"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARÓN	HEMBRA	TOTAL
GRUPO	CONTROL	15 478,53	25 450,60	40 461,07
	EXPERIMENTAL	17 590,70	20 574,21	37 581,78
TOTAL		32 538,12	45 505,54	77 519,08



En general se detecta un ligero mayor rendimiento de los varones de los dos grupos sobre las mujeres en el aprendizaje global, siendo esta diferencia más amplia a favor de los chicos del grupo experimental en el aprendizaje de habilidades características de los procesos de la investigación científica.

B) Estudios previos de Física en C.O.U.

No hay interacciones con la variable estudios de Física en COU. Sin embargo, aunque no hay diferencias significativas, el aprendizaje en todos los ámbitos del aprendizaje evaluados es mayor en los estudiantes de ambos grupos que cursaron la Física de COU que en los que no la cursaron. Parece que la metodología ensayada tiende a reducir estas diferencias favoreciendo, por tanto, a los alumnos que no cursaron la Física en COU.

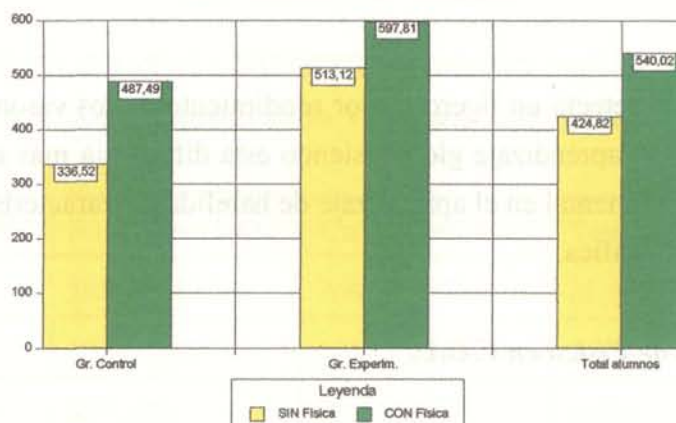
RENDIMIENTO GLOBAL (CONCEPTOS + PROCESOS + PROBLEMAS)

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	280058,487	280058,487	13,735	0,001
Fís.CO.U	1	159753,658	159753,658	7,835	0,007
GRUPO/Fís.CO.U	1	12576,626	12576,626	0,617	0,435
Error	73	1488429,040	20389,439		

Resultados de la variable Rendimiento Global "Total pruebas" por Grupo y Fís.CO.U.

Fís.CO.U		VARÓN	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	7 336,52	33 487,49	40 461,07
	EXPERIMENTAL	7 513,12	30 597,81	37 581,78
TOTAL		14 424,82	63 540,02	77 519,08

Rendimiento Global**C) Inteligencia general**

No se ha obtenido interacción con la variable "Factor g", pero se vislumbra que la metodología experimental tiende a favorecer más que la tradicional a los sujetos de inteligencia media especialmente en el aprendizaje de habilidades intelectuales en los procesos investigativos y en estrategias cognitivas para la resolución de problemas.

RENDIMIENTO GLOBAL (CONCEPTOS + PROCESOS + PROBLEMAS)

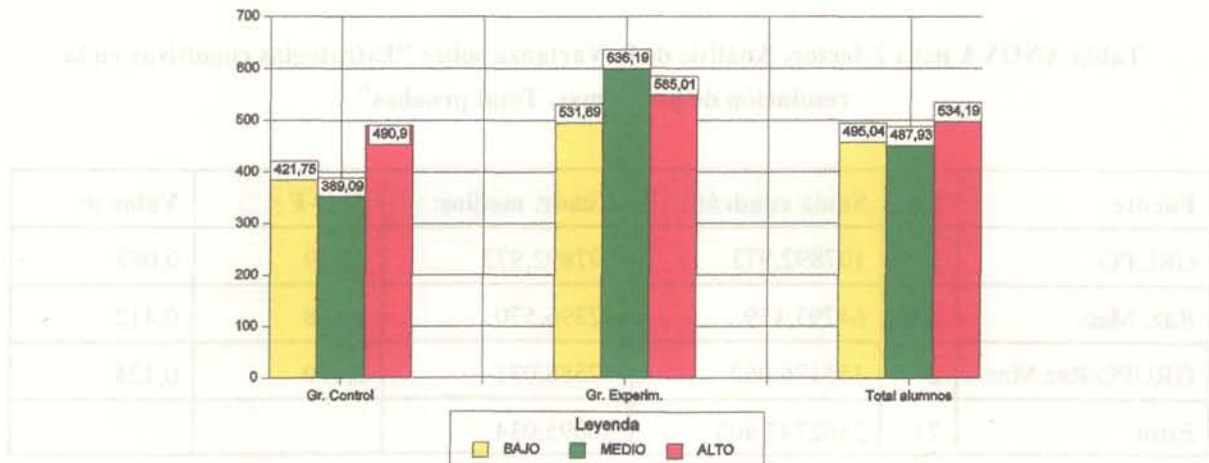
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre. Rendimiento global. Totalpruebas

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO (A)	1	280058,487	280058,487	12,863	0,001
Factor G (B)	2	48801,404	24400,702	1,121	0,332
GRUPO/Factor G	2	66107,278	33053,639	1,518	0,226
Error	71	1545850,640	21772,544		

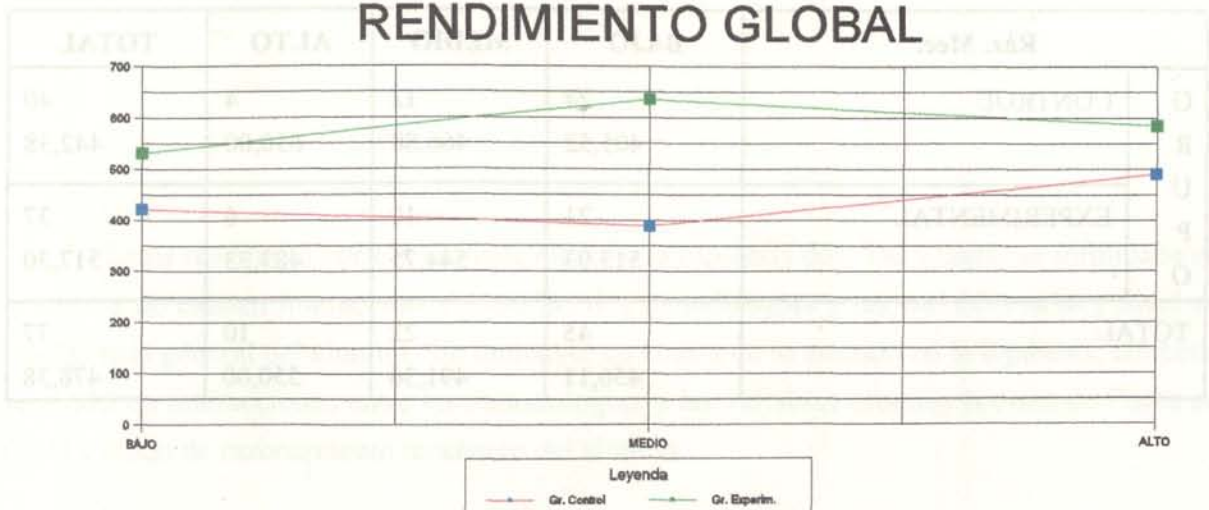
Resultados de la variable Rendimiento Global "Total pruebas" por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	4 421,75	9 389,09	27 490,90	40 461,07
	EXPERIMENTAL	8 531,69	6 636,19	23 585,01	37 581,78
TOTAL		12 495,04	15 487,93	50 534,19	77 519,08

RENDIMIENTO GLOBAL



RENDIMIENTO GLOBAL



D) Razonamiento mecánico.

Aunque no se observan interacciones entre el razonamiento mecánico y los dominios del aprendizaje tratados, sí se vislumbra que los alumnos con una capacidad de razonamiento alta les favorece más la metodología tradicional que la propuesta en todos los aprendizajes, especialmente en resolución de problemas.

Así mismo parece que la metodología con enfoque constructivista produce mejores rendimientos en los alumnos con una capacidad media de razonamiento.

ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

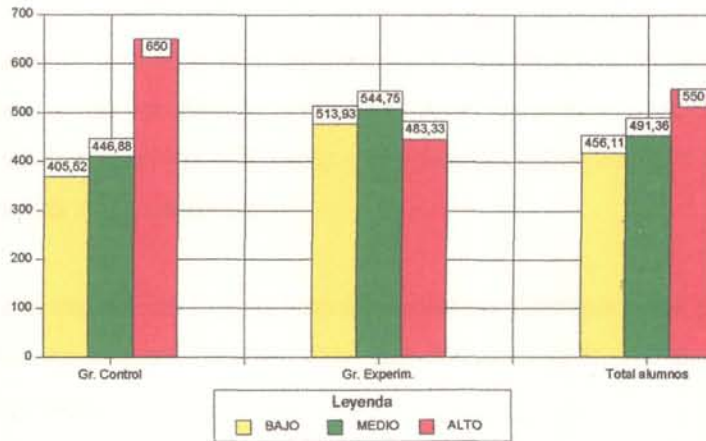
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	107892,973	107892,973	2,989	0,088
Raz. Mec.	2	64793,139	32396,570	0,898	0,412
GRUPO/Raz.Mec.	2	155176,062	77588,031	2,150	0,124
Error	71	2562747,403	36095,034		

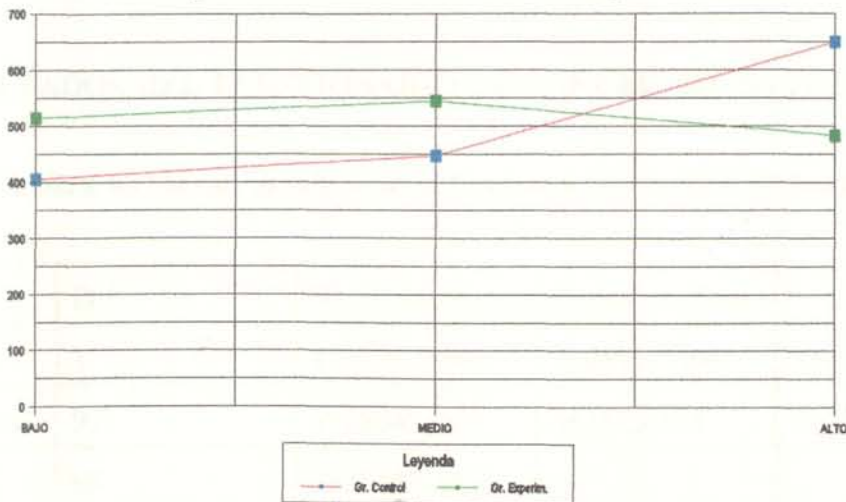
Resultados de la variable. *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "Total pruebas"* por Grupo y Raz. Mec.

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 405,52	12 466,88	4 650,00	40 442,38
	EXPERIMENTAL	21 513,93	10 544,75	6 483,33	37 517,30
TOTAL		45 456,11	22 491,36	10 550,00	77 478,38

Estrategias cognit. en resolución probl



Estrategias en la resoluc. de problemas



Estos resultados corroboran parcialmente la hipótesis dos. Tal y como se formulaba en la misma no existen interacciones entre las dos metodologías y las variables sexo y nivel de inteligencia general del alumno. Sin embargo, en contra de lo emitido en la hipótesis, tampoco se producen interacciones entre las metodologías y las variables estudios previos de Física en COU y grado de razonamiento mecánico del alumno.

VII.4 COMPARACIÓN DEL NIVEL DE SUPERACIÓN DE LAS CONCEPCIONES ERRÓNEAS.

Para contrastar la hipótesis tres utilizamos el análisis de la varianza, tomando como factor la metodología y como variable dependiente el nivel de cambio conceptual medido como frecuencia de aciertos/errores en los 178 items de la prueba sobre concepciones diseñada para evaluar las ideas previas de los alumnos.

Las contestaciones de los estudiantes aparecen en el anexo I, así como el número de items correctos, en blanco y la calificación final que obtienen cada uno de los alumnos en las dos pruebas y en el global.

Las tablas con los resultados finales que comparan las dos metodologías se presentan a continuación. El análisis de la varianza refleja diferencias significativas al 95 % a favor del grupo experimental, tanto a la mitad como al final de la experimentación. Estos resultados corroboran la hipótesis tres.

RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE CONCEPCIONES PREVIAS

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Primera prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	219591,7696	219591,7696	Test-F=4,7273
Dentro grupos	97	4505845,402	46452,0145	Prob. = 0,0321
Total	98	4725437,172		

ANOVA un factor. Concepciones previas. Primera prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	59	285,8475	206,2540	26,8520
EXPERIMENTAL	40	381,8250	228,6237	36,1486
TOTAL	99	324,6263	219,5877	22,0694

Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "Segunda prueba"

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	756802,1019	756802,1019	Test-F=11,187
Dentro grupos	76	5141196,770	67647,3259	Prob. = 0,0013
Total	77	5897998,872		

ANOVA un factor. Concepciones previas. Segunda prueba

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	41	371,6829	259,3208	40,4991
EXPERIMENTAL	37	568,9459	260,9441	42,8989
TOTAL	78	465,2564	276,7623	31,3372

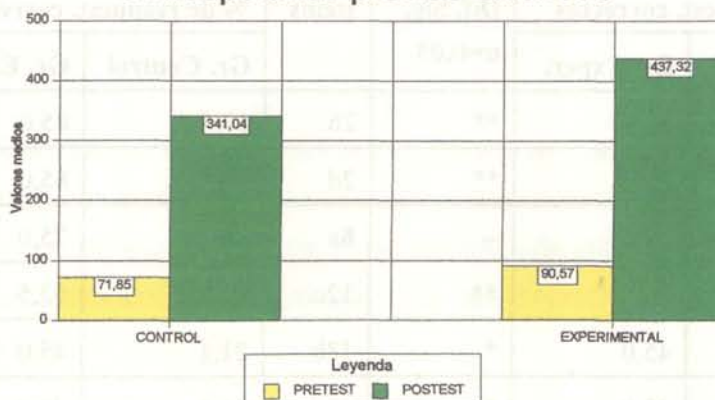
RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE CONCEPCIONES PREVIAS**Tabla ANOVA para un factor. Análisis de la Varianza. POSTEST "TOTAL pruebas"**

Fuente:	D.F.:	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	
Entre grupos	1	178179,7384	178179,7384	Test-F=4,0067
Dentro grupos	75	3335278,097	44470,3746	Prob. = 0,0489
Total	76	3513457,835		

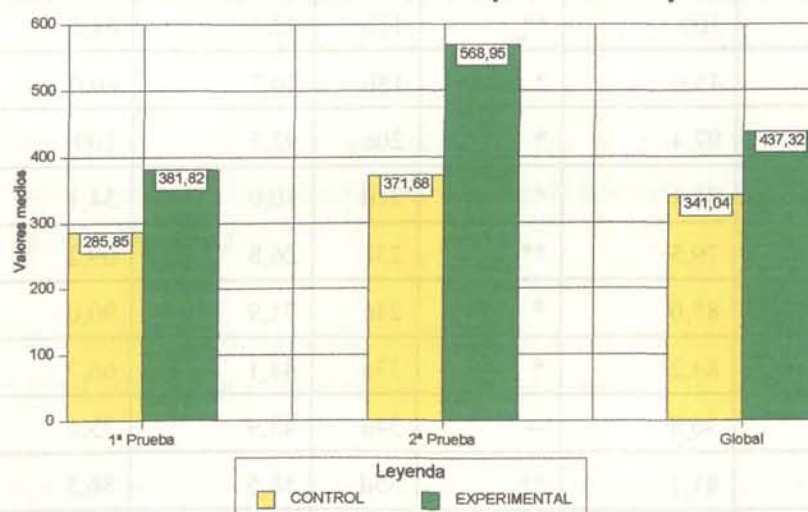
ANOVA un factor. Concepciones previas. Primera+Segunda pruebas

CONTROL	Número	Media	Desv. Típica	Error Standard
CONTROL	40	341,0396	209,5293	33,1295
EXPERIMENTAL	37	437,3213	212,3336	34,9074
TOTAL	77	387,3048	215,0109	24,5028

Nivel de superación de las Concepciones previas erróneas



Evolución de las concepciones previas



Las concepciones previas de los alumnos han evolucionado hacia las aceptadas científicamente en los dos grupos (ver gráfico superior); sin embargo aún se mantienen concepciones erróneas en los alumnos de ambos grupos, habiendo superado mayor número los estudiantes que siguieron la metodología con enfoque constructivista.

Para comparar los niveles de superación de las concepciones erróneas entre los grupos para cada uno de los ítems utilizamos la prueba "ji-cuadrado" tomando como variable la frecuencia de aciertos en las respuestas dadas a cada ítem por los alumnos de cada uno de los grupos. Un resumen con el porcentaje de respuestas correctas para cada uno de los ítems se muestra en el anexo II.

COMPARACIÓN DEL NIVEL DE SUPERACIÓN DE LAS CONCEPCIONES ERRÓNEAS

Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$	Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$
	Gr. Control	Gr. Exper.			Gr. Control	Gr. Exper.	
2a	69,5	85,0	**	2b	69,5	85,0	**
2c	69,5	85,0	**	2d	69,5	85,0	**
3d	84,7	60,0	--	8a	55,2	75,0	*
12b	27,1	45,0	**	12c	28,8	52,5	*
13a	21,1	45,0	*	13b	21,1	45,0	*
13c	21,1	45,0	*	13d	21,1	45,0	*
14a	74,6	90,0	**	14b	93,2	100	**
14d	91,5	100	**	17b	42,1	61,5	**
18a	24,1	45,0	*	18b	20,7	40,0	*
19b	84,7	97,4	*	20c	92,5	100	**
21a	45,0	81,1	*	21d	30,0	54,1	*
23k	62,5	79,5	**	23l	26,8	69,2	*
24c	59,6	85,0	*	24e	71,9	90,0	*
32b	59,6	84,2	*	33a	44,1	66,7	*
33b	50,0	30,8	--	34a	43,9	73,0	*
34c	63,4	81,1	**	35d	58,5	86,5	*
35e	58,5	81,1	*	37b	43,9	62,2	**
38a	41,0	64,9	*	38b	71,8	94,6	*
38c	65,8	83,8	**	38d	65,8	86,5	*
40d	100	89,2	--				

- NOTA:**
- Primera y quinta columna: indica el número de ítem del cuestionario sobre concepciones previas.
 - Segunda y sexta columna: indica el porcentaje de aciertos en cada ítem para el grupo de control.
 - Tercera y séptima columna: indica el porcentaje de aciertos en cada ítem para el grupo experimental.
 - Cuarta y octava columna:
 - El símbolo * indica que existe una diferencia significativa al 95% a favor del grupo experimental.
 - El símbolo ** indica que existe una diferencia significativa al 90% a favor del grupo experimental.
 - El símbolo -- indica que existe una diferencia significativa al 90% a favor del grupo de control.

Los items que presentan diferencias significativas entre los grupos aparecen en la página anterior. Los signos * y ** indican que existen diferencias significativas $\alpha=0,05$ y $\alpha=0,10$ respectivamente a favor del grupo experimental. El signo -- señala que existen diferencias significativas $\alpha=0,10$ a favor del grupo de control.

Un análisis minucioso de los resultados obtenidos en cada uno de los items permite extraer algunos otros resultados interesantes. El número de concepciones erróneas ha disminuido sensiblemente en una buena parte de los alumnos de ambos grupos, especialmente en los del grupo experimental. Las ideas que más han evolucionado hacia las aceptadas científicamente han sido las siguientes:

- La explicación de los fenómenos de electrización mediante la existencia de un fluido eléctrico (concepción sustancialista) apenas ya es utilizada por los alumnos. Ahora creen que se debe al movimiento de electrones de uno sólo de los cuerpos frotados al otro.

- Se mantiene en un 40% de los alumnos de ambos grupos un modelo similar al de Gilbert ("efecto halo") para explicar la atracción que ejercen los cuerpos cargados sobre los ligeros situados en su proximidad.

- Asumir el principio de conservación de la carga. La concepción "creacionista" de la carga evoluciona hacia la existencia de la misma en la naturaleza.

- Identificar el movimiento de las cargas con la existencia de una diferencia de potencial. El 68% del grupo experimental así lo hace, frente al 60% del grupo de control. El resto sigue utilizando el modelo "hidrostático".

- Un 84,2% de los alumnos del grupo experimental (frente a un 59,6% del grupo de control) considera correctamente que la existencia de un campo eléctrico en una zona se detecta colocando una carga eléctrica y observando si se mueve con aceleración constante.

- Considerar a la pila como un elemento que proporciona energía a los electrones y no como un almacén o fuente de carga eléctrica que suministra al circuito.

- Entender que una bombilla (o resistencia) no consume corriente eléctrica o electrones sino una parte de su energía.

- Comprender que la diferencia de potencial es como una forma de energía.
- Comprender que la diferencia de potencial y la intensidad no siempre se presentan juntos. Puede haber diferencia de potencial sin que exista corriente eléctrica pero no al revés. Mejora mucho la utilización correcta de la ley de Ohm entendiendo que la magnitud independiente es la diferencia de potencial y la dependiente la intensidad.
- Razonar no sólo en términos de intensidad de corriente sino también considerando la diferencia de potencial.
- Los modelos erróneos para interpretar la circulación de la corriente eléctrica por un circuito se han superado en una buena parte. El modelo unipolar no aparece en ningún alumno del grupo experimental y sólo en un 2,4% del grupo de control. El modelo de atenuación aparece en un 17,5% de los alumnos del grupo experimental y en un 31% de los del grupo de control. El modelo de participación o reparto aparece en iguales proporciones que el anterior. El modelo científico ha sido formado prácticamente por un 82% de los alumnos del grupo experimental y en un 69% de los del grupo de control.
- Comprender que el potencial eléctrico en un circuito va disminuyendo a medida que los electrones pierden energía en los elementos resistivos.
- Saber interpretar circuitos con posiciones y conexiones muy diferentes de los elementos que lo componen. En el grupo experimental se reduce muy especialmente el efecto "topológico".
- Identificar el brillo de una bombilla con la existencia de diferencia de potencial entre sus extremos e interpretar correctamente si existe o no esa diferencia de potencial para diferentes posicionamientos y modos de conexión de la bombilla en el circuito.
- Identificar a un imán como un metal cargado. Esta concepción prevalece aún en un 59% de los alumnos del grupo de control y en un 35% del grupo experimental.
- Asumir que la Tierra es un gran imán con el polo Sur magnético situado próximo al Norte geográfico y con el polo Norte magnético cercano al Sur geográfico.

- Entender que un imán no interacciona fuertemente con todos los cuerpos cargados. Así lo indica el 85 % de los alumnos del grupo de control y el 95 % del grupo experimental.

- La explicación, debido a la inducción magnética, del fenómeno de atracción que ejerce un imán sobre el hierro, superando la interpretación mediante inducción eléctrica, es realizada después de la instrucción por un 30% de los alumnos del grupo de control y un 54,1% de los del grupo experimental.

- El efecto correcto de la interacción mutua que se ejercen un imán y una corriente eléctrica ha sido construido por el 87% de ambos grupos.

- La interpretación correcta del efecto que produce la corriente eléctrica sobre el núcleo de un electroimán ha sido construida por el 70% de los alumnos del grupo de control y por el 90% del grupo experimental. Aún persisten en el grupo de control explicaciones mediante inducción eléctrica.

- La explicación de la inducción de una corriente eléctrica debida a la variación del flujo magnético que experimenta un circuito eléctrico ha sido construida por el 47,4% de los alumnos del grupo de control y por el 56,8% del grupo experimental.

Las concepciones que menos han evolucionado hacia las aceptadas científicamente han sido las siguientes:

- Considerar la pila como un generador de corriente constante.

- Entender que la pila entrega a las cargas igual energía eléctrica cualquiera que sea el circuito.

- Considerar que la corriente eléctrica es una forma de energía.

- Interpretación errónea del brillo de las bombillas al compararse el circuito con una bombilla, el circuito con dos bombillas en serie y el circuito con dos bombillas en paralelo.

- El razonamiento secuencial es superado en su nivel uno de complejidad (ver apartado IV.1.2.m) por aproximadamente un 72% de los alumnos de ambos grupos y en el nivel dos

por un 21,1% de los alumnos del grupo de control y un 45% de los alumnos del grupo experimental.

- La no explicación de situaciones problemáticas entendidas como complejas mediante el fenómeno de polarización.

VII.5 CONCLUSIONES GENERALES.

El trabajo presentado pretende contribuir a la mejora de la enseñanza de la Física en el nivel universitario. Se inserta en una línea de investigación constructivista que intenta superar el modelo de enseñanza-aprendizaje por transmisión-asimilación, muy habitual en las aulas de las Facultades.

Resumimos a continuación las principales aportaciones y conclusiones proporcionadas por el trabajo que con detalle hemos ido exponiendo en las páginas precedentes.

En primer lugar, esta investigación aporta una revisión de la literatura sobre metodologías y estrategias didácticas fundamentadas principalmente en orientaciones constructivistas del proceso de enseñanza-aprendizaje que han sido ensayadas y evaluadas durante los últimos doce años (apartado I.3). Así mismo se presenta una amplia relación con las concepciones erróneas en el campo del electromagnetismo que habitualmente tienen los alumnos que acceden a la Universidad, obtenida de los resultados alcanzados por muchos estudios que existen sobre esta línea de investigación (apartado I.4).

En segundo lugar, presenta una revisión profunda de los principales modelos de enseñanza destinados a facilitar un aprendizaje significativo y aporta un detallado diseño de un modelo didáctico constructivista para la enseñanza superior orientado principalmente a la resolución de problemas que tiene en cuenta también estrategias de cambio conceptual. En el modelo se explicitan los objetivos que pretende, los principios didácticos en los que se basa, la sintaxis de las fases que deben seguirse en el proceso de enseñanza-aprendizaje para la optimización del aprendizaje significativo que persigue y las características que debe reunir el material didáctico que se utiliza en el aula (capítulo 2).

En tercer lugar, proporciona un conjunto de materiales didácticos sobre la enseñanza del electromagnetismo, para el alumno y para el profesor, que ejemplifican una aplicación de este modelo en el contexto de la enseñanza universitaria habitual (capítulo 5).

En cuarto lugar, este trabajo aporta los resultados obtenidos en la experimentación de esta metodología que permiten compararla con la metodología expositivo habitual (capítulo 7) y cuyo resumen es el siguiente:

A) Comparación de los rendimientos en el aprendizaje.

1. La metodología experimental con enfoque constructivista produjo mejor rendimiento que la tradicional en el aprendizaje de las habilidades intelectuales propias de los procesos de la investigación científica ($\alpha=0,01$). Era de esperar este resultado, así lo entendemos, porque mediante esta metodología se resuelven continuamente situaciones problemáticas, más o menos complejas, utilizando para ello una amplia gama de procedimientos. Se formulan hipótesis, se planifican y diseñan experimentos, se controlan variables, se interpretan datos, se predicen resultados, se clasifican objetos, se establecen conclusiones, etc.

2. La metodología ensayada produjo mejor rendimiento que la tradicional en el aprendizaje de las estrategias cognitivas que caracterizan la resolución de problemas ($\alpha=0,05$ a la mitad de la experimentación y $\alpha=0,10$ al final de la misma).

Aunque las diferencias sólo son significativas al 90% hay que considerar dos aspectos que tenidos en cuenta harían aumentar estas diferencias aún más.

El primero se refiere al mayor porcentaje de abandono de la asignatura por parte de los alumnos que siguieron la enseñanza tradicional sobre los que siguieron la experimental. En efecto, hasta la mitad de la experimentación sólo abandonó un alumno del grupo de control, pero en la segunda mitad abandonaron tres estudiantes del grupo experimental y dieciocho del grupo de control.

El segundo aspecto que interesa resaltar es que los alumnos que siguieron la enseñanza tradicional también resolvieron varios problemas siguiendo el mismo modelo de resolución basado en la investigación que se utiliza constantemente en el grupo experimental.

3. La metodología ensayada produjo mejor rendimiento que la tradicional en el aprendizaje de hechos, conceptos y principios, pero sólo con diferencias muestrales a la mitad de la experimentación y al 90% al final de la misma.

Estos datos, por una parte señalan que este campo de aprendizaje es el menos favorecido, pero por otra parece indican que aumentando el período de instrucción los rendimientos mejorarían.

4. Como consecuencia de los resultados obtenidos en los tres campos de aprendizaje evaluados, el rendimiento global, considerado como suma de todos ellos, fue significativamente superior ($\alpha=0,01$) en los alumnos que siguieron la metodología con enfoque constructivista que en los que tuvieron la expositiva-habitual.

B) Interacción entre metodologías y características de los alumnos.

5. No existen interacciones entre las metodologías y las variables sexo, estudios previos de la Física de COU, nivel de inteligencia general y grado de razonamiento mecánico del alumno.

6. En general se detecta un ligero mayor rendimiento de los varones sobre las mujeres, siendo esta diferencia más amplia a favor de los chicos del grupo experimental en el aprendizaje de habilidades características de los procesos de la investigación científica.

7. Los estudiantes de ambos grupos que cursaron la Física de COU obtuvieron mejores resultados que los que no la cursaron. La metodología ensayada tiende a reducir estas diferencias favoreciendo a los alumnos que cursan la Física en COU.

8. La metodología experimental tiende a favorecer más que la tradicional a los sujetos de inteligencia media especialmente en el aprendizaje de habilidades intelectuales en los procesos investigativos y en estrategias cognitivas para la resolución de problemas.

9. La metodología experimental tiende a favorecer más que la tradicional a los sujetos con una capacidad de razonamiento alta en todos los aprendizajes, especialmente en resolución de problemas. La metodología con enfoque constructivista produjo mejores rendimientos en los alumnos con una capacidad media de razonamiento.

C) Comparación del nivel de cambio conceptual

10. El grupo que siguió la metodología experimental presentó un nivel de superación de las concepciones erróneas significativamente superior ($\alpha=0,05$) al que presentó el grupo que utilizó la metodología expositiva tradicional.

A pesar de que han evolucionado muchas de las concepciones previas erróneas hacia las aceptadas científicamente, incluso en alumnos que siguieron la metodología con enfoque constructivista, persisten errores conceptuales. Los más destacados son los siguientes: considerar a la pila como un generador de corriente constante, entender que la corriente eléctrica es una forma de energía, pensar que una pila entrega a las cargas igual energía eléctrica con independencia del circuito, utilizar el razonamiento secuencial para la interpretación de una modificación realizada en un circuito y no considerar el fenómeno de polarización en las sustancias dieléctricas sometidas a un campo eléctrico.

Todos estos resultados muestran que el modelo didáctico constructivista que hemos presentado en este trabajo para la enseñanza de la Física, basado en el tratamiento de situaciones problemáticas, es más eficaz que el modelo expositivo-habitual que se utiliza mayoritariamente en las aulas universitarias. Sin embargo, las estrechas diferencias obtenidas en el campo conceptual del aprendizaje y la persistencia de errores conceptuales indican que deben mejorarse tanto el modelo didáctico ensayado como los materiales diseñados para la enseñanza del electromagnetismo. Reiteramos el carácter de *propuesta* de este trabajo, propuesta abierta a remodelaciones en función de las reflexiones y aportaciones de la experiencia.

Creemos pues, como conclusión general, que el modelo didáctico propuesto en esta investigación, enmarcado en el paradigma constructivista de enseñanza-aprendizaje de la Física en la Universidad, favorece el aprendizaje significativo de los alumnos, al mismo tiempo que fomenta actitudes y métodos científicos y, en última instancia, constituye una herramienta fundamental para la renovación de la enseñanza universitaria.

Sin embargo, somos conscientes de que cualquier estudio que aborde un problema tan complejo como la enseñanza de la Física, tiene muchas lagunas y errores que corregir. En línea con lo dicho anteriormente sobre el carácter de *propuesta* de este trabajo, queremos

finalizar mencionando algunas reflexiones en torno a ciertos puntos que será necesario revisar y profundizar en futuras investigaciones.

1. Creemos que es preciso profundizar mucho más en el desarrollo histórico de los conceptos electromagnéticos introducidos, con vistas a organizar mejor los contenidos, de tal forma que los alumnos aprecien las diferentes formulaciones conceptuales y saltos cualitativos que se dieron en el desarrollo de la teoría electromagnética. De esta forma se rompe, aún más, con una visión acumulativa lineal en la presentación y desarrollo en clase de esta construcción teórica.

2. Dado que nuestro modelo es abierto y en constante revisión, sería imprescindible realizar pruebas a más largo plazo como instrumento para diagnosticar el logro de aprendizajes significativos, ya que las pruebas a corto plazo poseen muchas limitaciones.

3. Las conclusiones obtenidas de la experimentación del modelo ensayado en el aula nos parece un primer paso en la validación del mismo, pero además creemos que se debería hacer un seguimiento mayor de esta estrategia de enseñanza-aprendizaje en las aulas con objeto de observar las características que adquiere en su aplicación cotidiana y comprobar su grado de utilización.

CAPÍTULO VIII: RELACIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, M., GIL, D. Y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992). Los exámenes de Física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 127-138.

ANDERSSON, B.R. (1986). The experimental gestalt of causation: A common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8, 155-171.

ANDRÉS, M.M. (1990). Evaluación de un plan instruccional dirigido hacia la evolución de las concepciones de los estudiantes acerca de circuitos eléctricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 231-237.

ARNOL, M. y MILLAR, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal of Science Education*, vol 9, pp 553-563.

ASTOLFI, J.P. y DEVELAY, M. (1989), *La Didáctica des Sciences* (PUF:París).

AUSUBEL, D.P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. (Grune and Stratton: New York).

AUSUBEL, D.P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. (Holt, Rinehart and Winston: New York).

AUSUBEL, D.P. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).

AUSUBEL, D.; NOVAK, J.D. y HANESIAN, H. (1983). *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).

BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique* (Urin: París).

BACHELARD, G. (1986). *La formation de l'esprit scientifique* (13a. ed.) (PUF.: París).

- BARNES, D. (1976): *Lenguaje, the Learner and the School*. (Penguin Books: Hammondswoth, Inglaterra).
- BELENDEZ VAZQUEZ, AUGUSTO (1996). Algunas consideraciones en torno al proceso de enseñanza/aprendizaje de la Física en la Universidad. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 27, 189-203.
- BENNETT, G.K.; SEASHORE, H.G. y WESMAN, A.G. (1972): DAT. *Test de Aptitudes Diferenciales*. (T.E.A.: Madrid).
- BENSEGHIR, A. y CLOSSET, J.L. (1996). The electrostatics-electrokinetics transition: historical and educational difficulties. *European Journal of Science Education*, vol. 18, pp. 179-191.
- BLAKE, A. y NORDLAND, F. (1978). Science Instruction and Cognitive Growth in College Student. *Journal of Research in Science Teaching*, 15 (5), 413-419.
- BRAGHIROLI, C. (1993). Conceptual or methodological defficiency?. A case study showing a theory in action. III *Seminario Internacional sobre concepciones alternativas y estrategias educacionales en ciencias y matemáticas*. Cornell University. USA.
- BROWN, D. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (1), 13-34.
- BRUNER, J. (1960). *The Process of Educación*. (Vintage Books: New York).
- BUNGE, M. (1981). *La investigación científica*. (Ariel: Barcelona).
- CABALLERO, C. y MENESES, J.A. (1991): "Una propuesta metodológica para la enseñanza de la física a nivel universitario", *XXIII Reunión Bienal de Física, R.S.E.F.*, Valladolid.
- CAILLOT, M. y DUMAS-CARRE, A. (1987). PROPHY: Un enseignement de une méthodologie de résolution de problèmes de Physique. En *Résolution de problèmes en mathématique et en physique. Rapports de recherches* (12), 199-244, Paris INPR editors.

CALATAYUD, M.L.; FURIO, C. et al (1980): *Los trabajos prácticos de química como pequeñas investigaciones*. I.C.E. de la Universidad de Valencia.

CALATAYUD, M.L.; GIL, C. et al (1980): *Los trabajos prácticos de física como pequeñas investigaciones*. I.C.E. de la Universidad de Valencia.

CAMPBELL, D. y STANLEY, J. (1973). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*, (Aморrortu).

CAÑAL, P. (1987): "Un enfoque curricular basado en la investigación". *Investigación en la escuela*, 1, 43-50.

CARRASCOSA, J. (1985). Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 230-234.

CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1985): "La 'metodología de la superficialidad' y el aprendizaje de las ciencias". *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 113-120.

CATTEL, R.B. y CATTELL, A.K.S. (1977). *Test de factor "g", escalas 2 y 3*. (T.E.A.: Madrid).

CHALDRAN, S., TREAGUST, D.F. y TOBIN, K. (1987). The role of cognitive factors in chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching* 24 (2), 145-160

CHAMPAGNE, A. y otros (1983). Effecting changes in cognitive structures amongst physics students. Actas del simposium, *Stability and Change in conceptual Understanding*, Montreal, American Association.

CHEUNG, K. y TAYLOR, R. (1991). Towards a humanistic constructivist model of science learning: changing perspectives and research implications. *J. Curriculum Studies*, 23 (1), 21-40.

CHI, M., FELTOVICH, P.J. y GLASER, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.

CLAXTON, G. (1984). *Live and Learn*. Harper and Row.

CLOSSET, J.L. (1983). Sequential reasoning in electricity. (*Actes du premier atelier international sur didactique de la physique*, Les Londes les Maures).

COHEN, R., EYLON, B. y GANIEL, U. (1982). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of student's concepts. *American Journal of Physics*, 51, 407-412.

COLL, C. (1987). *Psicología y curriculum*. (Paidós Mexicana: México).

COLOMBO DE GUDMANI, L. y FONTDEVILLA, P.A. (1990). Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 215-222.

COLOMBO DE GUDMANI, L., PESA DE DANON, M. y SALINAS DE SANDOVAL, J. (1986). La realimentación en la evaluación en un curso de laboratorio de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 122-128.

CUDMANI, L.C. DE, SALINAS DE SANDOVAL, L.J. y PESA DE DANÓN, M. (1991). La generación autónoma de "conflictos cognitivos" para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3),

DEHART HURD, PAUL (1969). *Nuevas direcciones en la enseñanza de la ciencia de nivel universitario*. (Rand McNally: Chicago).

DEWEY, J. (1925). *Comment nous persons* (Trad. cast. Decroly), (En est Flammarion, Editeur: París).

DEWEY, J. (1938). *Experience and Education*. (Collier Books: New York).

DEWEY, J. (1945). Methods in Science Teaching. *Science Educación*, 29, 119-123.

DREYFUS, A. y JUNGWIRTH, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctionnal concepts about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, 21 (3), 23 (1), 49-55.

DREYFUS, A.; JUNGWIRTH, E. y ELIOVITCH, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change-some implications, difficulties, and problems. *Science Education*, 74 (5), 555-569.

DRIVER, R. (1983). An approach to documenting the understanding of 15 years old british children about the particulate theory of matter. *Research on Physics Education*, 340-346 (Editions du C.N.R.S.: París).

DRIVER, R. (1985). Cognitive Psychology and Pupils' Frameworks in Mechanics, *The many Faces of Teaching and Learning Mechanics*, 171-198.

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 109-120.

DRIVER, R. y BELL, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: a constructivist view. *School Science Review*, marzo, 443-455.

DRIVER, R. y ERICKSON, G. (1983). Theories-in action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, 37-60

DRIVER, R. y OLDHAM. (1986). A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122

DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1988), *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*, (Ed. Diada: Sevilla).

DUIT, R. (1993). Research on student's conceptions-developments and trends, paper presented at the "Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics". Cornell. Ithaca.

DUPIN, J.J. y JOHSUA, S. 1986. La electrocinética del colegio a la universidad: evolución de las representaciones de los alumnos, y el impacto de la enseñanza sobre las representaciones. *Bulletin de L'union des Physiciens*, nº 683.

DUSCHL, R.A. y GITOMER, D.H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for education practice, *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858.

ERICKSON, G.L. (1979): "Children's conceptions of heat and temperature". *Science Education*, 63, 221-230.

ESCUADERO, T. (1985). Las actitudes en la enseñanza de las ciencias: un panorama complejo. *Revista de Educación*, 278, 5-25.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, JOSÉ (1977). ¿Qué idea se tiene de la ciencia desde los modelos didácticos?. *Alambique*, 12, 87-99.

FEYERABEND, P.K. (1987). *Contra el método*. (Ariel: Barcelona).

FORTEZA, A. y otros (1993). *La construcción de conocimientos de Ciencias Físicas en el ciclo 12-16*. Diez años de investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias (CIDE: Madrid).

FRANKESTEIN, C. (1970). *Impaired intelligence*, (Gordon and Breach: New York).

FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1981). Student conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, 18, 194-198.

FREYBERG, P.S. y OSBORNE, R.T. (1982). Who structures the curriculum: teacher or learner? *N.Z.C.E.R.*, 2.

FURIO, C. y otros (1987). Parallels between adolescent' conception of gases and the history of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64, 7, 617-618.

FURIO, C. y GIL, D. (1978). *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química en el Bachillerato*. I.C.E. de la Universidad de Valencia.

FURIO, C. y GUIASOLA, G. (1993). ¿Puede ayudar la Historia de la Ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos?. *Revista Española de Física*, 7 (3), 46-50.

FURIO, C. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, 7, 7-17.

FURIO, C. y GIL, D. (1978). *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la física y química en el bachillerato*. ICE de la Universidad de Valencia.

GAGLIARDI, R. (1988). ¿Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 291-296.

GAGLIARDI, R. y GIORDAN, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), 253-258.

GAGNÉ, E.D. (1985). *The cognitive psychology of school learning*. Glenview: Scott and Foresman. Trad. al castellano de P. Linares: *La psicología cognitiva del aprendizaje escolar*. (Visor: Madrid). 1991.

GARCÍA, J.J., PRO, A. y SAURA, O. (1995). Planificación de una unidad didáctica: el estudio del movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 211-226.

GARCÍA, J.J. y CAÑAL, P. (1995). ¿Cómo enseñar?. Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la Escuela*, 25, 5-16.

GARCIA, J.E. y GARCIA, F.F. (1989): *Aprender investigando*. (Diada Editoras: Sevilla).

GARCÍA VALCARCEL, A. (1991). *Incidencia de los modelos didácticos en la Universidad de Cantabria*. Catálogo de Investigaciones Educativas 1989-90 (CIDE: Madrid).

GARCÍA VALCARCEL, ANA (1993). Análisis de los modelos de enseñanza empleados en el ámbito universitario. *Revista Española de Pedagogía*, 194, 27-53.

GENÉ, A. y GIL, D. (1982). Enseñanza de las Ciencias Naturales por Descubrimiento. *Cuadernos de Pedagogía*, 94, 64-66.

GILBERT, J.K. y SWIFT, D.J. (1985). Towards a lakatosian analysis of the piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education*, 69 (5), 681-696.

GIL PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.

GIL PÉREZ, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 111-121.

GIL PÉREZ, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 69-77.

GIL PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.

GIL PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.

GIL PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1990). What to do about science misconceptions?. *Science Education*, 74 (4).

GIL PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1982a). *Un modelo de resolución de problemas acorde con la metodología científica*. Comunicación presentada a las I Jornadas de la Investigación Didáctica de la Física y Química, ICE de la Universidad de Valencia.

GIL PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1982b). *La resolución de problemas: análisis de su didáctica*. Comunicación presentada a las I Jornadas de la Investigación Didáctica de la Física y Química, ICE de la Universidad de Valencia.

- GIL PÉREZ, D. y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5 (4), 447-455.
- GIL PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J y SENENT PÉREZ, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de Física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 131-146.
- GIMENO SACRISTÁN y PÉREZ GÓMEZ (1989). *Teoría y práctica de la enseñanza*, (Akal: Madrid).
- GINZBURG, H. (1972). *The myth of the deprived child*, (Prentice Hall: New Jersey).
- GIORDAN, A. (1982). *La enseñanza de ciencias*. (Pablo del Río: Madrid).
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G. (1988). *Los orígenes del saber* (Diada Editoras: Sevilla).
- GOWIN, D.B. (1981). *Educating*. Cornell University Press (Ithaca: New York).
- GUISASOLA, G. (1996). *Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el Bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista*. Tesis Doctoral. Universidad País Vasco.
- GUISASOLA, G. y FURIO, C. (1991). Dificultades en el aprendizaje significativo de algunos conceptos de electrostática. I Congreso Ibérico de Enseñanza de la Física. Valladolid.
- GUISASOLA, G. y FURIO, C. (1994). Dificultades en el aprendizaje significativo de algunos conceptos de electrostática. *Investigación en la Escuela*, 23, 103-114.
- HARLEN, W. (1983). Basic concepts and the primary-secondary interfase. *European Journal of Science Education*, 5 (1), 25-34.
- HARLEN, W. (1989). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. (Morata: Madrid).
- HASHWEH, M.Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Teaching*, 8 (3), 229-249.

HELLER, P.M. y FINLEY, F.N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: a case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (3), 259-275.

HELM, H. y NOVAK, J.D. (1983), *Proceedings of the international seminar misconceptions in science and mathematics*, (Cornell University: New York).

HEWSON, P.W. y THORLEY, R. (1989). The condition of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11 (5), 541-553.

HIERREZUELO, M.J. y MONTERO, A. (1989), *La Ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. (Laia-MEC: Madrid).

HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna*. (Reverté: Barcelona).

HOST, V. (1982). El lugar de los procedimientos de aprendizaje "espontáneos" en la formación científica. *Infancia y Aprendizaje*, nº 19-20, 8-20.

HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

JIMENEZ ALEIXANDRE, M.P. (1991). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*. Resúmenes de premios nacionales de investigación e innovaciones educativas (MEC/CIDE: Madrid).

JIMÉNEZ GÓMEZ, E. y MARÍN MARTÍNEZ, N. (1996). ¿Cuándo un contenido académico tiene significado para el alumno?. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), 323-330.

JOMNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA, Harvard University Press.

KARPLUS, R. (1977): *Science Teaching and the Development of Reasoning*. University of California. (Berkeley: California).

KELLY, G.A. (1963). *A theory of personality. The psychology of personal constructs.* (W.W. Norton: New York).

KOYRE, A. (1981). *Estudios galileanos* (Siglo XXI: México).

KRAMERS-PALS, H. y PILOT, A. (1988). Solving quantitative problems guidelines for teaching derived from research. *International Journal in Science Education*, 10 (5), 511-521.

KUHN, TH.S. (1971): *La estructura de las revoluciones científicas.* (Fondo de Cultura Económica: México).

LARKIN, J. y RAINARD, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching* 21 (3), 235-254.

LAKATOS, I (1975). "La falsación y la metodología de los programas de investigación científica". en Lakatos, I. y Musgrave, A.: *La crítica y el desarrollo del conocimiento.* (Grijalbo: Barcelona), pp-203-243.

LARKIN, J.H. y REIF, F. (1979). Understanding and Teaching Problem-solving in Physics. *European Journal of Science Education*, 1 (2), 191-203.

LAWSON, A.E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Education*, 22 (7), 569-617.

LINN, M.C. (1986). Issues in cognitive psychology and instruction: Science. In R.F. Dillon and R.J. Sternberg (Eds.). *Cognition and instruction*, 155-204. San Diego: Academic Press.

LINN, M.C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations, *Journal of Research in Science Teaching* 24 (3), 191-216.

LLORENS, J.A., DE JAIME, M.C. y LLOPIS, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 111-119.

LOCK, R. (1990). Open-ended, problem-solving, investigations- What do we mean and can we use them?. *School Science Review*, 71 (256), 63-72.

LOCK, R. (1991). Open-ended, problem-solving, investigations-getting started. *School Science Review*, 72 (261), 67-73.

LOPES, B. y COSTA, N. (1993a). Modelo de ensino-aprendizagem de Física centrado na resolução de problemas: conceitos chave, princípios e estrutura global, Comunicación Presentada en el Simposium "Novas Perspectivas no Ensino das Ciências e da Matemática" Libro de resúmenes, pp 17, Lisboa.

LOPES, B. y COSTA, N. (1993b). Modelo de ensino-aprendizagem centrado na resolução de problemas: apresentação e discussão da sua operacionalidade. Poster presentado en el *IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. Barcelona.

LOPES, B. y COSTA, N. (1993c). A formação de professores de Física com base num modelo de ensino-aprendizagem centrado na resolução de problemas. Comunicación presentado en el *IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. Barcelona.

LOPES, B. y COSTA, N. (1996). Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas: fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), 45-61.

LÓPEZ RUPEREZ, F. (1991). *Organización del conocimiento y resolución de problemas en Física*. (CIDE: Madrid).

MACÍAS, A., MATURANO, C.I. y CASTRO, J.I. (1997). Evaluación de una experiencia de aula con un diseño basado en la teoría de la elaboración. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), 131-140.

MAICHLE, U. (1981). Representation of knowledge in basic electricity and its use in problem solving. En *Proceedings of the international Workshop on Problems Concerning Students' Representations of Physics and Chemistry Knowledge*. Ludwigsburg. Alemania Federal.

MARCO, B, et al (1987). *La enseñanza de las ciencias experimentales* (Narcea: Madrid).

MARTIN DIAZ, M.J. y KEMPA, R.F. (1991): "Los alumnos prefieren diferentes estrategias didácticas de la enseñanza de las ciencias en función de sus características motivacionales" *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 59-68.

MARTÍN RODRÍGUEZ, E. (1977). *Investigación pedagógica experimental*. (UNED: Madrid).

MARTÍNEZ AZNAR, M.M. y VARELA NIETO, M.P. (1996). De la resolución de problemas al cambio conceptual. *Investigación en la Escuela*, 28, 59-68.

MATHEWS, M.R. (1990). History, Philosophy and Science Teaching: a rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, 25-51.

McCLELLAND (1984). Alternative frameworks: interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, 6, 1-6.

MENESES, J.A. y GARCÍA, J.L. (1990). Ideas previas sobre electricidad en circuitos eléctricos sencillos. *Panel*, 8, 21-28.

MILLAR, R. y KING, T. (1993). Students' understanding of voltage in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, 15 (3), 339-349.

MORTIMER, E.F. (1993). Conceptual evolution as epistemological profile's change. *III Seminario Internacional sobre concepciones alternativas y estrategias educacionales en ciencias y matemáticas*. (Cornell University: USA).

MORTIMER, E.F. (1995). Conceptual change or Conceptual profile change, *Science Education*, 4, 267-285.

MOREIRA, M.A. (1994). Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *II Simposio sobre Investigación en Educación en Física*. Buenos Aires. Argentina.

- MOREIRA, M.A. (1997). Aprendizaje significativo: un aprendizaje subyacente. *Actas del Encuentro Internacional sobre el aprendizaje significativo*. Burgos. España.
- MULOPO, M.M. y SEYMOUR FOWLER, H. (1987). Effects of traditional and discovery instructional approaches on learning outcomes for learners of different intellectual development: a study of chemistry students in Zambia. *Journ. of Research in Scien. Teach.* 24 (3), 217-227
- NEEDHAM, R. (1977): "Teaching strategies for development understanding in science". *Children's Learning in Science Project*. University of Leeds.
- NEWEL y SIMON (1972). *Human Problem Solving*. (Prentice Hall: New Jersey).
- NIAK, M. (1988a). The information-processing demand of chemistry problems and its relation to Pascual-Leonés functional M-capacity. *Intern. Journal of Science Education* 10 (2), 231-238.
- NIAK, M. (1988b). Manipulation of M demand of chemistry problems and its effect on student performance: a neo-piagetian study. *Journal of Research in Science Teaching* 25 (8), 643-657.
- NIAK, M. (1989). Relation between Pascual-Leone's structural and functional M-space and its effect on problem solving in chemistry. *Intern. Journal of Science Education* 11 (1), 93-99.
- NOVAK, J.D. (1979). The reception learning paradigm. *Journal of Research in Science Teaching*, 16, 481-488.
- NOVAK, J.D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223.
- NOVAK, J.D. y GOWIN, D.B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. (Martínez Roca: Barcelona).
- NOVAK, J.D.; GOWIN, D.B. y JOHANSEN, G.T. (1983). The use of Concept Mapping and Knowledge mapping with junior High School Science Students. *Science Education*, 67 (5), 625-645.

NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, 530-540.

NUSSBAUM, J. y NOVICK, S. (1981): "Brain storming in the classroom to invent a model: a case study". *School Science Review*, 62, 221, 771-778.

NUSSBAUM, J. y NOVICK, S. (1982): *A study of conceptual change in the classroom*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Lake Geneva near Chicago.

OSBORNE, R.J. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Journal of Research in Science and Technological Education*, 1, 73-82.

OSBORNE, R.J., BELL, B.F. y GILBERT, J.K. (1983). Science Teaching and children's view of the world. *European Journal of Science Education*, 5, 1-14.

OSBORNE, R.J. y FREYBERG, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's Science*, Heinemann, London. Trad. cast. El aprendizaje de las ciencias (1991). (Narcea: Madrid).

OSBORNE, R.J. y GILBERT, J.K. (1980). A method for investigation of concept understanding in science. *European Journal of Science Education*, 2 (3), 311-321.

OSBORNE, R.J. y WITTRICK, M.C. (1983). Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67 (4), págs. 489-508.

OSBORNE, R.L. y WITTRICK, M.C. (1985). The Generative Learning Model and its implications for Science Education. *Studies in Science Education* 12, 59-87.

OSBORNE, J.R. et al (1983): "Science Teaching and children's views of the world", *Eur. Jour. of Science Educ.*, 5, 1, 1-14.

PAEZ, D. y otros (1987). *Pensamiento, individuo y sociedad. Cognición y representación social*. Madrid. Fundamentos, en Pozo y otros (1991). Conocimientos previos y aprendizaje escolar. *Cuadernos de Pedagogía*, 188.

PALACIOS ESTREMER, D. (1991). *Investigaciones sobre el método indagatorio de las técnicas de trabajo de campo aplicada a la didáctica de la geografía*. Catalogo de Investigaciones Educativas 1989-90 (CIDE: Madrid).

PALACIOS GÓMEZ, C., MUÑOZ NAVAS, P. y GÓMEZ MARTÍN, J.C. (1987). Dos metodologías activas comparadas en el estudio de conceptos químicos en 8º de EGB. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 220-224.

PAYA, J. (1990): "Los trabajos prácticos de Física y Química: una revisión bibliográfica". *Enseñanza de las ciencias* 8 (2), 151-185.

PEREZ, A. (1985): *Paradigmas contemporáneos de investigación didáctica. La enseñanza, su teoría y su práctica*. (Akal: Madrid).

PÉREZ DE EULATE, M.L. (1992). *Utilización de los conceptos previos de los alumnos en la enseñanza-aprendizaje de conocimientos en Biología. La nutrición humana una propuesta de cambio conceptual*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.

PETERS, P.C. (1982), Even honor's student have conceptual difficulties with physics. *American Journal of Physics*, 50, 501-508.

PIAGET, J. (1971). *La epistemología genética*. (Redondo: Barcelona).

PONTES, A.; GAMERO, A. y ROSADO, L. (1991). Una investigación sobre los preconceptos del electromagnetismo al inicio de la enseñanza universitaria. *Actas de la XXIII Reunión Bienal de la R.S.E.F.*, 62-63.

POPE, M.L. y GILBERT, J. (1983). Personal experience and the construction of knowledge in science. *Science Educación*, 67 (2), 193-203, trad. Cast. En Porlan et al (comp.) *Constructivismo y enseñanza de las ciencias* (Diada: Sevilla), 1988.

POSNER, G. (1983). A model of conceptual change: present status and prospect, en Novak, J. y Helm, H. (eds.). *Proceedings of the misconceptions in science and mathematics*. (Univ. Cornell Ithaca: N.Y.), 71-75.

PRO BUENO, A. y SAURA LLAMAS, O. (1996). Una propuesta metodológica para la enseñanza y el aprendizaje de la Electricidad y el Magnetismo en Educación Secundaria. *Investigación en la escuela*, 28, 79-94.

PUYOL BALCELLS, J. y FONS MARTIN, J.L. (1981). *Los métodos en la enseñanza universitaria*. Eunsa. Navarra

PUEY, M.L., ESCUDERO, T. y CASAS, J. (1993). *Alternativas en la introducción de conceptos de óptica en BUP y COU*. Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias (CIDE: Madrid).

RAMIREZ, J.L.; GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1994). *La resolución de problemas de Física y Química como investigación*. (MEC/CIDE: Madrid).

RAMOS FERNÁNDEZ, F. (1993). *Estudio experimental basado en la teoría de Lakatos acerca del proceso de la Ciencia y sus implicaciones didácticas*. Diez años de investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias. (MEC/CIDE: Madrid).

REIF, F. y HELLER, J.I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17 (2), 102-127.

RENNER, J. (1982): "The power of purpose". *Science Education*, 66 (5), 709-716.

REYES, V. (1991). *La resolución de problemas de Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio conceptual*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad del País Vasco.

RHÖNECK, C. von (1981). Student conceptions of the electric circuit before physics instruction. En *Proceedings of the International Workshop on Problems Concerning Student's Representations of Physics and Chemistry Knowledge*. (Ludwigsburg: Alemania Federal).

RHÖNECK, C. von (1983). Semantic structures Describing the electric circuit before and After instruction (*Actes du premier atelier international sur didactique de la physique*, Les Londes les Maures).

RILEY, M.S., BEE, N.V. y MOKWA, J.J. (1981). Representations in early learning: the acquisition of problem-solving strategies in basic electricity/electronics. En *Proceedings of the International Workshop on Problems Concerning Student's Representations of Physics and Chemistry Knowledge*. Ludwigsbug. Alemania Federal.

RÍO SÁNCHEZ, J. y otros (1991). *Aprendizaje de las matemáticas por descubrimiento. Estudio comparado de dos metodologías*. Catálogo de investigaciones educativas 1989-90 (CIDE: Madrid).

ROWELL, J.A. y DAWSON, C.J. (1983): "Laboratory counter examples and the growth of understanding in science". *European Journal of Science Education* 5(2), 203-215.

RUMELHART, D.E. y NORMAN, D.A. (1981). Analogical processes in learning. In J.R. Anderson (Ed). *Cognitive skills and their acquisition*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.

SALINAS DE SANDOVAL, J., CUDMANI, L.C. DE y PESA DE DANÓN, M. (1993). Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. VIII Reunión Nacional de Educación en la Física, Rosario, Argentina.

SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los alumnos?. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 137-144.

SÁNCHEZ BLANCO, G., DE PRO BUENO, A. y VALCARCEL PÉREZ, M.V. (1997). La utilización de un modelo de planificación de unidades didácticas: el estudio de las disoluciones en la educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*.

SÁNCHEZ, G. y VALCARCEL, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 33-44.

SATIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 137-144.

SCHUSTER, D. (1993). From misconceptions to rich-conceptions. *III Seminario Internacional sobre concepciones alternativas y estrategias educacionales en ciencias y matemáticas*. Cornell University, USA.

SEBASTIÁ, J.M. (1989). Cognitive constraints and spontaneous interpretations in physics, *International Journal of Science Education*, 11 (4), 363-369.

SEBASTIÁ, J.M. (1993). ¿Cuál brilla más?. Predicciones y reflexiones acerca del brillo de las bombillas. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 45-50.

SELVERATNAM, M. (1990). Problem-solving-a model approach. *Education in Chemistry*, 27 (6), 163-165.

SEMINARIO PERMANENTE DE FÍSICA Y QUÍMICA "VEGAS ALTAS DEL GUADIANA" (1987), Método activo en Química de COU. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 225-230.

SERRANO, T. (1990). *¿Qué es una enseñanza constructivista?*. Documentos IEPS nº 9. Madrid.

SHAYER, M. y ADEY, P. (1984). *La ciencia de enseñar ciencias*. (Madrid: Narcea).

SHIPSTONE, D.M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple D.C. circuits. *European Journal of Science Education*, vol. 6, pp. 185-198.

SHIPSTONE, D.M. (1985). Electricity in simple circuits. *Children's Ideas in Science*, Open University.

SHIPSTONE, D.M. (1988). Pupils understanding of simple electrical circuits, some implication for instruction. *Physics Education*, vol 23, pp. 92-96.

SHIPSTONE, D. y otros. (1989). *Ideas científicas en la infancia y adolescencia*. (Morata: Madrid).

SHIPSTONE, D., von RHÖNECK, C.V., JUNG, W., DUPIN, J.J. and LIGHT, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10 (3), 303-316.

SMITH, E.L.; BLAKESLEE, T.D. y ANDERSON, C.W. (1993). Teaching strategies associated with conceptual change learning in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (2), 111-126.

SOLVES, J. y MARTÍN, J. (1991). Análisis de la introducción del concepto de campo. *Revista Española de Física*, 5 (3), 34-39.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1989). Interacciones ciencia-tecnología-sociedad: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20.

SOLOMON, J. (1987): "Social Influences on the Construction of pupil's understanding of science". *Studies in Science Education*, 14, 63-82.

STEPHANS, J.; DICHE, S. y BEISWENGER, R. (1988). The effect of two instructional models in bringing about a conceptual change in the understanding of science concepts by perspective elementary teachers. *Science Education*, 70 (4), 413-425.

STEWART, J. (1985). Cognitive science and science Education. *European Journal of Science Education*, 7 (1), 1-17.

STEWART, J. y HAFNER, R. (1991). Extending the conception of "problem" in problem-solving research. *Science Education*, 75 (1), 105-120.

STHENHOUSE, L. (1975): *An introduction to curriculum research development*. (Heinemann: London).

STHENHOUSE, L. (1982). *Investigación y desarrollo del curriculum*. (Morata: Madrid).

STINNER, A. (1990). Philosophy, thought experiment and large context problems in the secondary School physics course. *International Journal of Science Education*, 12 (3), 244-257.

TALLER DE CIENCIAS ARQUÍMEDES (1984). El aprendizaje experimental de las Ciencias en el ciclo superior de EGB. El aire y el agua elementos básicos.

TALLER DE CIENCIAS ARQUÍMEDES (1985). Un proyecto experimental de Ciencias en el ciclo superior de EGB. La Química desde el agua.

TIBERGHIEU, A. y DELACOTE, G., 1976. Manipulations et representations de circuits électriques simples par des enfants de 7 a 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, vol. 34, pp. 32-44.

TIBERGHIEU, A. 1983. Critical review on the research aimed at elucidating the sense that the notions of electric circuits have for students aged 8 to 20 years. In *Research in Physics Educations: Proceedings of the First International. Workshop* (pp. 109-123). Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.

TIBERGHIEU, A., 1988. Revue critique sur les recherches visant a elucider le sens des notions de circuits électriques pour les élèves de 8 a 20 ans. *Actas du premier atelier international en didactique de la Physique*, Le Londe les Maures.

TOULMIN, S. (1972). *Human understanding I: The Collective use and evolution of concepts*, Princeton University Press (Trad. al español en Editorial Alianza 1977).

TUCKMAN, B. (1972): *Conducting Educational Research*. (Harcourt Brace Jovanovich, Inc.: Nueva York).

VALCARCEL, M.V. y otros (1990). *Problemática didáctica del aprendizaje de las ciencias experimentales*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

VALCARCEL, M.V. y SÁNCHEZ, G. (1990). Ideas de los alumnos de diferentes niveles educativos sobre el proceso de disolución. *Investigación en la Escuela*, 11, 51-60.

VIENNOT, L. (1976). *Le raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*, Tesis Doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: París).

VIGOTSKY, L.S. (1973). *Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar*. (Psicología y Pedagogía, Akal: Madrid).

VIGOTSKY, L.S. (1989). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. (Edit. Crítica: Barcelona).

WANDERSEE, J.H. (1983). Student' Misconceptions about Photosynthesis: a Cross-Age study, In Helm y Novak (eds), *Pro. 1. st. Int. Sem. Misconceptions in Science and Mathematics*, 1993, 441-446.

WANDERSEE, J.H.; MINTZES, J.J. y NOVAK, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in Science. *Handbook of research on Science teaching and learning* (McMillan Publishing Company: New York).

WATTS, M. (1991). *The science of problem-solving. A practical guide for science teacher*. (Cassell: Londres).

YAGER, R.E. y PENICH, J.E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, 463-469.

YAGER, R.E. y PENICK, J.E. (1986), Perception of four groups towards science classes, teachers and value of science. *Science Education*, 70 (4), 335-363.

ANEXO I

RESPUESTAS Y PUNTUACIONES OBTENIDAS EN LAS PRUEBAS

RESPUESTAS A LAS PRUEBAS SOBRE HECHOS, CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

N°	Primera prueba	Segunda prueba
1	24412311242144324233	
2	23422222133123333131	32332144121443442332
3	24322223223123343233	32332144341411442341
4	24422221121113343234	32123444341114112332
5	24422223121123333233	32332444341411342341
6	24322223213323333234	32342244341411442341
7	24422423121129343299	32342244341413442341
8	24422213133123343233	32333124341441442341
9	24422223433123333233	32332144341441312312
10	24422221433122393233	32334144341411442341
11	24122223113123324133	32113242342414442341
12	24422223413123233233	33313124321414342331
13	24312331231133233242	34313123321241399932
14	24322224343112324132	34334144321144412123
15	21422321133121333234	34313131344414442342
16	34134343334214234233	32333444341441432341
17	24122214134113233233	32312144341412141342
18	21422424341134133231	32332144341211434332
19	24422291331142341131	33332434324413442444
20	24422311143124333232	34313114311442442213
21	24322122141113343234	33322144341411432341
22	24422223431143333233	
23	24422223123124323234	33312134321413312343
24	24112229243194343132	32332444331131433144
25	24422223121124323233	32333414341414132343
26	21422221134112343133	
27	21222223421123334234	32333444341441432341
28	24922223123123343233	33332144321411442341
29	24422323123143333233	32332134321414442342
30	24422324239923343333	32334144321243444332
31	24422123321121333133	33312423321443244241
32	24322223121122334233	32334144341413442342
33	24322223121123333233	
34	24322223123111443234	32332144321443411341
35	44434124223144234233	
36	21422221142113333233	
37	24422223132122323233	32333144341441442341
38	24122211323124331233	31333144341441422341

39 34422423323123343234
40 24422223121123343233 32332144341411442341
41 24422223423123343233 32312344341113442342
42 21112224343121334233 34313144324111311331
43 21312211143141134239 23434239341411442342
44 24322221141123333134 34324134331213342192
45 14132221143129333239
46 21422224133143233233
47 21422223143123343233 34313434344414443342
48 24422223323124343233 32333144341141442342
49 44422123124124333234 32312332341344342341
50 24112222223133324231
51 24323324342144324234 32334434144131242444
52 24422223123123313233 32334124341341342342
53 24322223434123333234
54 24322221311133243234
55 24122123441123333133 33333114342394234323
56 24122221333124343131
57 24422223223323343233 33212144321411442342
58 24122333334143333233 34342234144434993332
59 24422223123323333233 32312334344434414434
60 24422223324124333234 32332144321214442342
61 21422321334434344122 32332444341442432341
62 24132314133124332233 33314434341411442342
63 24422243124134233143 33312134341411342341
64 24422441421143333233 33312434341413442242
65 24322321141122321134
66 21322143141111234133 32333144333411213343
67 24232224113144411112 32344134341113342342
68 24122221131132324233
69 24122322323213332233 32332434321114312322
70 24422221143124333244 32313134341411333332
71 24222221333123313233 32313144341311212241
72 21332221941194233243 33332144342141231212
73 24122223233123333233 32334134341441432341
74 41342342342132244132 32333134341444432341
75 24422321133119343234
76 24322221323123343233 32312144321111442344
77 24422223423124333233 32312144341411442342
78 24422223423124333233 32312144341411442342
79 24122223323124333234 32312144341411442341
80 21422221323324233239 32313134341412342342

81	21432321142132244443		
82	24122212122122334234	23333431344113243313	
83	24122341334423334133	34132431321242191343	
84	21132223321113343233	32332124331411442342	
85	24392223334124244223	32334124343311344342	
86	21432343333423343232		
87	24422223133114323233	32332134321442244423	
88	21312221123123343234	31312444341443491341	
89	21322421413139344222	32332114341411242341	
90	23332221321223324234		
91	23432224333413233242		
92	21412313133121224423		
93	24112223143123233233	32332434341112442321	
94	24422223423123333233	34334434341443444341	
95	24322223423114343233	32332144341411442341	
96		32333134341143433441	
97	24322223121144343933	32312144341411442349	
98	24332224321112344233	32142444324394442443	
99	24122223123123243233		
100	23422314331124333233	33132432344111442342	

NOTA:

- Las tres primeras columnas indican el número del alumno.
- Las columnas cinco a veinticinco indican la contestación de los alumnos a los items de la primera prueba (la quinta columna corresponde al item uno y la columna veinticinco al item veinte).
- Las columnas veintisiete a cuarenta y siete indican la contestación de los alumnos a los items de la segunda prueba (la columna veintisiete corresponde al item veintiuno y la columna cuarenta y siete al item cuarenta).

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS SOBRE HECHOS, CONCEPTOS Y ESTRUCTURAS CONCEPTUALES

<i>Número</i>	<i>Grupo</i>	<i>CI</i>	<i>C2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>CONCI</i>	<i>CONC2</i>	<i>CONCTT</i>
1	1	9	,	0	,	267	,	,
2	1	12	14	0	0	467	600	533
3	1	17	20	0	0	800	1000	900
4	0	12	10	0	0	467	333	400
5	0	16	18	0	0	733	867	800
6	1	15	18	0	0	667	867	767
7	1	12	17	3	0	517	800	658
8	1	14	17	0	0	600	800	700
9	1	17	15	0	0	800	667	733
10	0	15	19	1	0	683	933	808
11	0	13	13	0	0	533	533	533
12	0	16	12	0	0	733	467	600
13	0	8	6	0	3	200	117	158
14	1	11	10	0	0	400	333	367
15	1	12	12	0	0	467	467	467
16	0	7	16	0	0	133	733	433
17	1	11	15	0	0	400	667	533
18	0	10	15	0	0	333	667	500
19	1	8	12	0	1	200	483	342
20	0	13	10	0	0	533	333	433
21	0	11	17	0	0	400	800	600
22	0	15	,	0	,	667	,	,
23	1	16	12	0	0	733	467	600
24	1	11	12	2	0	433	467	450
25	1	16	13	0	0	733	533	633
26	0	10	,	0	,	333	,	,
27	0	14	16	0	0	600	733	667
28	0	16	18	0	0	733	867	800
29	1	15	16	0	0	667	733	700
30	1	10	12	2	0	367	467	417

<i>Número</i>	<i>Grupo</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>CONC1</i>	<i>CONC2</i>	<i>CONCTT</i>
31	0	14	9	0	0	600	267	433
32	1	16	17	0	0	733	800	767
33	0	17	,	0	,	800	,	,
34	0	14	15	0	0	600	667	633
35	0	10		,	,	333	,	,
36	0	12		,	,	467	,	,
37	1	14	18	0	0	600	867	733
38	1	15	16	0	0	667	733	700
39	0	13	,	0	,	533	,	,
40	1	15	20	0	0	667	1000	833
41	1	17	15	0	0	800	667	733
42	0	12	10	0	0	467	333	400
43	0	9	12	1	1	283	483	383
44	0	13	9	0	1	533	283	408
45	0	12	,	2	,	500	,	,
46	0	12	,	0	,	467	,	,
47	0	14	11	0	0	600	400	500
48	0	17	16	0	0	800	733	767
49	0	14	12	0	0	600	467	533
50	0	11	,	0	,	400	,	,
51	1	10	10	0	0	333	333	333
52	1	16	14	0	0	733	600	667
53	0	16	,	0	,	733	,	,
54	0	11	,	0	,	400	,	,
55	0	14	8	0	1	600	217	408
56	0	13	,	0	,	533	,	,
57	0	15	15	0	0	667	667	667
58	0	12	7	0	2	467	167	317
59	0	16	9	0	0	733	267	500
60	0	16	16	0	0	733	733	733
61	1	6	16	0	0	67	733	400
62	0	12	14	0	0	467	600	533
63	1	12	16	0	0	467	733	600

<i>Número</i>	<i>Grupo</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>CONC1</i>	<i>CONC2</i>	<i>CONCTT</i>
64	1	13	13	0	0	533	533	533
65	0	10	,	0	,	533	,	,
66	0	9	13	0	0	267	533	400
67	0	8	13	0	0	200	533	367
68	0	11	,	0	,	400	,	,
69	0	12	11	0	0	467	400	433
70	1	14	12	0	0	600	467	533
71	0	14	14	0	0	600	600	600
72	1	11	10	2	0	433	333	383
73	1	16	16	0	0	733	733	733
74	0	4	15	0	0	-67	667	300
75	0	11	,	1	,	417	,	,
76	0	16	16	0	0	733	733	733
77	0	19	18	0	0	933	867	900
78	1	19	18	0	0	933	867	900
79	1	17	19	0	0	800	933	867
80	0	13	14	1	0	550	600	575
81	0	5	,	0	,	0	,	,
82	1	12	7	0	0	467	133	300
83	0	9	7	0	1	267	150	208
84	0	12	17	0	0	467	800	633
85	1	12	13	1	0	483	533	508
86	0	9	,	0	,	267	,	,
87	0	15	11	0	0	667	400	533
88	0	13	13	0	1	533	550	542
89	0	10	18	1	0	350	867	608
90	0	10	,	0	,	333	,	,
91	0	8	,	0	,	200	,	,
92	1	7	,	0	,	133	,	,
93	1	14	15	0	0	600	667	633
94	0	18	13	0	0	867	533	700
95	1	18	20	0	0	867	1000	933
96	0		12	,	0	,	467	,

<i>Número</i>	<i>Grupo</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>CONC1</i>	<i>CONC2</i>	<i>CONCTT</i>
97	1	15	18	1	1	683	883	783
98	1	12	10	0	1	467	350	408
99	1	15	,	0	,	667	,	,
100	1	2	12	0	0	467	467	467

NOTA:

- Primera columna: número del alumno.
- Segunda columna: grupo (0=control; 1=experimental)
- Tercera columna (C1): número de items correctos de la primera prueba.
- Cuarta columna (C2): número de items correctos de la segunda prueba.
- Quinta columna (B1): número de items en blanco de la primera prueba.
- Sexta columna (B2): número de items en blanco de la segunda prueba.
- Séptima columna (CONC1): puntuación (sobre mil) de la primera prueba (aciertos-errores/3).
- Octava columna (CONC2): puntuación (sobre mil) de la segunda prueba (aciertos-errores/3)..
- Novena columna (CONCTT): puntuación (sobre mil) de ambas pruebas (aciertos-errores/3).

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE HABILIDADES EN EL ÁMBITO DE LOS PROCESOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Núm.	Grupo	Cuest. 1	Cuest. 2	Cuest. 3	Cuest. 4	Cuest. 5	Cuest. 6	Cuest. 7	Cuest. 8	Cuest. 9	Cuest. 10	Cuest. 11	Cuest. 12	Cuest. 13	Cuest. 14	Total 1ª Prueba	Total 2ª Prueba	Total Pruebas
1	1	30	20	60	20	60	40	0	,	,	,	,	,	,	,	500	,	,
2	1	40	20	50	60	30	30	30	25	25	40	30	50	60	30	565	565	565
3	1	55	40	70	70	80	40	70	40	40	60	60	80	80	60	924	913	918
4	0	10	10	20	15	0	20	35	0	20	30	0	10	70	30	239	348	293
5	0	60	40	60	60	60	40	60	25	40	20	60	40	70	60	826	685	755
6	1	50	40	60	80	80	40	70	0	0	0	60	80	40	30	913	457	685
7	1	60	40	55	50	60	40	75	30	0	20	60	60	80	20	826	587	707
8	1	50	40	40	55	70	30	70	40	40	50	60	70	70	70	772	870	821
9	1	50	40	70	65	80	40	70	40	20	0	60	30	30	20	902	435	668
10	0	0	40	80	80	80	40	0	40	20	60	60	40	20	40	696	609	652
11	0	10	10	5	15	20	20	0	40	20	30	15	35	30	20	174	413	293
12	0	10	30	0	80	40	0	10	40	40	40	0	30	20	20	370	413	391
13	0	20	10	30	40	40	0	50	0	10	0	0	0	0	0	413	22	217
14	1	30	10	40	30	10	40	30	40	0	30	0	0	20	30	413	261	337
15	1	50	40	60	55	45	40	80	15	0	20	40	0	40	20	804	293	549
16	0	10	40	50	0	30	10	20	0	20	0	0	20	0	0	348	87	217
17	1	0	40	70	80	0	30	0	15	0	10	60	80	10	20	478	424	451
18	0	20	10	80	40	60	0	20	0	0	0	0	60	30	20	500	239	370
19	1	60	40	70	65	50	40	60	0	20	10	30	15	45	20	837	304	571
20	0	25	40	15	25	0	40	20	40	10	10	10	60	0	0	359	283	321
21	0	25	20	0	15	20	0	0	0	20	10	10	30	10	60	174	304	239
22	0	0	20	15	0	25	25	40	,	,	,	,	,	,	,	272	,	,
23	1	30	40	10	30	40	30	80	40	10	0	60	40	10	0	565	348	457
24	1	10	20	30	25	0	30	0	0	20	50	60	0	10	0	250	304	277
25	1	20	40	60	80	60	40	80	15	40	30	60	80	0	20	826	533	679
26	0	0	40	0	0	20	0	20	,	,	,	,	,	,	,	174	,	,
27	0	40	40	35	15	55	30	0	40	40	30	50	30	0	80	467	587	527
28	0	20	30	30	0	40	0	35	40	40	60	60	80	80	20	337	826	582
29	1	25	10	80	80	60	30	60	40	0	20	0	60	60	20	750	435	592
30	1	60	40	60	60	80	30	80	0	40	0	60	20	20	0	891	304	598

Núm.	Grupo	Cuest. 1	Cuest. 2	Cuest. 3	Cuest. 4	Cuest. 5	Cuest. 6	Cuest. 7	Cuest. 8	Cuest. 9	Cuest. 10	Cuest. 11	Cuest. 12	Cuest. 13	Cuest. 14	Total 1ª Prueba	Total 2ª Prueba	Total Pruebas
31	0	60	40	35	70	40	40	25	40	10	40	0	0	80	20	674	413	543
32	1	30	40	20	60	60	0	20	30	0	60	60	80	40	80	500	761	630
33	0	10	20	0	0	20	0	0	,	,	,	,	,	,	,	109	,	,
34	0	60	40	45	75	80	40	45	40	40	60	60	80	30	30	837	739	788
35	0	0	20	0	20	0	15	0	,	,	,	,	,	,	,	120	,	,
36	0	10	20	20	0	0	0	15	,	,	,	,	,	,	,	141	,	,
37	1	60	40	70	50	60	40	60	40	30	20	20	60	40	20	826	500	663
38	1	40	20	50	50	60	0	70	0	0	40	60	60	60	60	630	609	620
39	0	60	40	70	80	60	40	35	,	,	,	,	,	,	,	837	,	,
40	1	60	40	50	75	60	30	30	20	40	40	60	60	30	40	750	630	690
41	1	60	40	65	70	80	30	70	30	10	10	60	60	20	0	902	413	658
42	0	0	0	70	30	20	40	0	40	0	10	0	80	0	20	348	326	337
43	0	0	0	25	35	0	0	0	0	15	15	30	10	0	0	130	152	141
44	0	25	40	25	0	40	20	80	20	0	30	0	0	0	0	500	109	304
45	0	30	20	0	30	20	0	20	,	,	,	,	,	,	,	261	,	,
46	0	0	40	30	0	40	30	20	,	,	,	,	,	,	,	348	,	,
47	0	15	0	0	10	20	5	0	20	0	15	0	0	30	0	109	141	125
48	0	0	40	0	20	60	10	30	0	20	30	10	40	0	0	348	217	283
49	0	50	40	60	40	80	40	60	40	0	20	40	60	40	60	804	565	685
50	0	30	20	10	60	40	20	80	,	,	,	,	,	,	,	565	,	,
51	1	60	40	80	70	40	40	35	30	20	0	0	40	20	20	793	283	538
52	1	60	40	50	50	80	40	60	40	40	20	60	80	0	60	826	652	739
53	0	30	40	20	20	80	0	20	,	,	,	,	,	,	,	457	,	,
54	0	0	20	40	0	20	0	0	,	,	,	,	,	,	,	174	,	,
55	0	30	40	80	80	60	40	20	0	10	60	0	0	0	0	761	152	457
56	0	0	0	30	40	0	40	40	,	,	,	,	,	,	,	326	,	,
57	0	40	40	60	60	80	20	80	40	40	0	60	20	80	40	826	609	717
58	0	60	40	15	15	20	40	25	0	40	0	0	0	0	0	467	87	277
59	0	10	40	45	45	60	40	30	0	0	10	0	0	30	0	587	87	337
60	0	40	20	0	0	50	20	30	20	0	20	25	45	30	0	348	304	326
61	1	0	30	40	80	0	30	0	0	40	10	60	60	0	20	391	413	402
62	0	20	30	0	20	0	0	10	0	10	0	0	0	0	10	174	43	109

Núm.	Grupo	Cuest. 1	Cuest. 2	Cuest. 3	Cuest. 4	Cuest. 5	Cuest. 6	Cuest. 7	Cuest. 8	Cuest. 9	Cuest. 10	Cuest. 11	Cuest. 12	Cuest. 13	Cuest. 14	Total 1ª Prueba	Total 2ª Prueba	Total Pruebas
63	1	60	40	40	30	80	20	60	0	10	10	60	80	40	80	717	609	663
64	1	50	0	40	50	60	30	80	0	0	20	60	60	60	40	674	522	598
65	0	0	0	70	80	0	0	0	,	,	,	,	,	,	,	326	,	,
66	0	0	40	15	0	15	35	20	35	40	40	20	0	60	40	272	511	391
67	0	40	40	80	80	80	40	70	20	20	60	20	20	80	20	935	522	728
68	0	40	40	0	40	30	0	20	,	,	,	,	,	,	,	370	,	,
69	0	20	20	80	0	40	20	0	0	10	0	20	0	20	20	391	152	272
70	1	40	0	80	80	60	40	80	40	0	40	60	80	20	40	826	609	717
71	0	20	40	0	80	20	40	30	20	40	20	60	20	60	10	500	500	500
72	1	10	0	80	20	80	30	30	40	40	30	20	80	20	40	543	587	565
73	1	50	40	50	60	50	40	25	0	20	30	60	30	50	80	685	587	636
74	0	20	40	0	20	0	20	15	0	20	0	20	20	0	0	250	130	190
75	0	40	20	20	0	20	25	0	,	,	,	,	,	,	,	272	,	,
76	0	30	40	50	30	20	40	30	30	20	10	60	80	0	30	522	500	511
77	0	60	40	50	50	20	0	30	20	40	20	60	80	0	40	543	565	554
78	1	60	40	60	40	80	40	60	40	40	40	60	60	80	50	826	804	815
79	1	30	40	50	50	60	30	30	40	40	60	60	80	80	60	630	913	772
80	0	25	10	30	0	80	0	25	20	20	40	20	20	0	30	370	326	348
81	0	40	40	0	50	0	35	0	,	,	,	,	,	,	,	359	,	,
82	1	60	40	20	80	80	40	30	0	40	10	60	40	60	0	761	457	609
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	0	0	20	60	0	40	0	20	20	40	40	30	80	80	20	304	674	489
85	1	60	40	40	40	80	40	80	20	40	20	60	80	0	40	826	565	696
86	0	40	20	0	0	60	20	0	,	,	,	,	,	,	,	304	,	,
87	0	0	40	30	0	20	40	80	20	0	20	60	20	10	80	457	457	457
88	0	0	20	0	80	20	20	20	0	0	0	60	80	0	20	348	348	348
89	0	60	40	40	80	45	40	55	35	40	60	0	20	35	30	783	478	630
90	0	0	40	0	40	0	0	0	,	,	,	,	,	,	,	174	,	,
91	0	40	40	40	0	50	40	0	,	,	,	,	,	,	,	457	,	,
92	1	20	0	30	0	40	0	30	,	,	,	,	,	,	,	261	,	,
93	1	45	40	70	70	80	40	80	20	0	0	60	80	40	40	924	522	723
94	0	60	25	80	0	0	20	80	0	40	0	40	40	0	20	576	304	440

Núm.	Grupo	Cuest. 1	Cuest. 2	Cuest. 3	Cuest. 4	Cuest. 5	Cuest. 6	Cuest. 7	Cuest. 8	Cuest. 9	Cuest. 10	Cuest. 11	Cuest. 12	Cuest. 13	Cuest. 14	Total 1ª Prueba	Total 2ª Prueba	Total Pruebas
95	1	30	40	55	0	30	40	70	40	10	60	60	80	80	60	576	848	712
96	0	,	,	,	,	,	,	,	20	20	60	60	20	0	40	,	478	,
97	1	35	40	60	75	80	40	70	40	40	60	60	80	80	40	870	870	870
98	1	20	40	55	45	60	40	60	0	0	10	0	60	40	40	696	326	511
99	1	0	20	40	0	60	0	20	,	,	,	,	,	,	,	304	,	,
100	1	0	40	5	10	0	0	0	0	20	20	40	0	20	20	120	261	190

NOTA:

- Primera columna: Número del alumno
- Segunda columna: Grupo (1:experimental; 0=control)
- De la columna tercera a la novena: puntuaciones obtenidas por los alumnos en las cuestiones 1 a 7 de la primera prueba (están multiplicadas por diez).
- De la columna décima a la dieciseis: puntuaciones obtenidas por los alumnos en las cuestiones 8 a 14 de la segunda prueba (están multiplicadas por diez).
- Columna diecisiete: puntuación total (sobre mil) de la primera prueba.
- Columna dieciocho: puntuación total (sobre mil) de la segunda prueba.
- Columna diecinueve: puntuación total (sobre mil) de ambas pruebas.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS SOBRE ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.

Número	Grupo	Problema 1 1ª Prueba	Problema 2 1ª Prueba	Problema 1 2ª Prueba	Problema 2 2ª Prueba	TOTAL 1ª Prueba	TOTAL 2ª Prueba	TOTAL Pruebas
1	1	30	10	,	,	20,0	,	,
2	1	60	50	40	30	55,0	35,0	45,00
3	1	95	90	70	50	92,5	60,0	76,25
4	0	50	30	60	70	40,0	65,0	52,50
5	0	95	70	90	90	82,5	90,0	86,25
6	1	90	80	99	80	85,0	89,5	87,25
7	1	65	20	80	80	42,5	80,0	61,25
8	1	95	95	99	99	95,0	99,0	97,00
9	1	65	10	45	30	37,5	37,5	37,50
10	0	35	60	90	90	47,5	90,0	68,75
11	0	50	70	90	70	60,0	80,0	70,00
12	0	30	50	80	80	40,0	80,0	60,00
13	0	20	40	45	0	30,0	22,5	26,25
14	1	95	80	40	20	87,5	30,0	58,75
15	1	65	20	90	70	42,5	80,0	61,25
16	0	30	20	35	10	25,0	22,5	23,75
17	1	70	30	35	20	50,0	27,5	38,75
18	0	80	60	80	80	70,0	80,0	75,00
19	1	75	50	90	80	62,5	85,0	73,75
20	0	20	30	25	10	25,0	17,5	21,25
21	0	40	50	50	20	45,0	35,0	40,00
22	0	95	90	,	,	92,5	,	,
23	1	65	30	50	40	47,5	45,0	46,25
24	1	30	50	70	50	40,0	60,0	50,00
25	1	55	70	60	40	62,5	50,0	56,25
26	0	25	30	,	,	27,5	,	,
27	0	60	20	60	20	40,0	40,0	40,00
28	0	90	90	99	80	90,0	89,5	89,75
29	1	65	70	60	80	67,5	70,0	68,75
30	1	50	30	40	40	40,0	40,0	40,00

Número	Grupo	Problema 1 1ª Prueba	Problema 2 1ª Prueba	Problema 1 2ª Prueba	Problema 2 2ª Prueba	TOTAL 1ª Prueba	TOTAL 2ª Prueba	TOTAL Pruebas
31	0	80	40	25	30	60,0	27,5	43,75
32	1	65	60	60	90	62,5	75,0	68,75
33	0	20	40	,	,	30,0	,	,
34	0	40	20	25	40	30,0	32,5	31,25
35	0	40	0	,	,	20,0	,	,
36	0	25	30	,	,	27,5	,	,
37	1	75	70	99	90	72,5	94,5	83,50
38	1	60	20	60	50	40,0	55,0	47,50
39	0	60	40	,	,	50,0	,	,
40	1	40	0	35	60	20,0	47,5	33,75
41	1	50	10	40	40	30,0	40,0	35,00
42	0	20	40	50	40	30,0	45,0	37,50
43	0	30	20	30	10	25,0	20,0	22,50
44	0	30	30	20	40	30,0	30,0	30,00
45	0	40	20	,	,	30,0	,	,
46	0	45	50	,	,	47,5	,	,
47	0	40	20	50	30	30,0	40,0	35,00
48	0	65	50	90	70	57,5	80,0	68,75
49	0	50	30	40	0	40,0	20,0	30,00
50	0	30	10	,	,	20,0	,	,
51	1	15	30	20	40	22,5	30,0	26,25
52	1	50	40	90	70	45,0	80,0	62,50
53	0	30	10	,	,	20,0	,	,
54	0	20	30	,	,	25,0	,	,
55	0	50	10	20	30	30,0	25,0	27,50
56	0	60	50	,	,	55,0	,	,
57	0	80	50	90	70	65,0	80,0	72,50
58	0	40	10	20	40	25,0	30,0	27,50
59	0	60	20	30	20	40,0	25,0	32,50
60	0	80	50	70	70	65,0	70,0	67,50
61	1	45	30	20	30	37,5	25,0	31,25

Número	Grupo	Problema 1 1ª Prueba	Problema 2 1ª Prueba	Problema 1 2ª Prueba	Problema 2 2ª Prueba	TOTAL 1ª Prueba	TOTAL 2ª Prueba	TOTAL Pruebas
62	0	50	10	30	10	30,0	20,0	25,00
63	1	25	50	60	40	37,5	50,0	43,75
64	1	60	30	40	30	45,0	35,0	40,00
65	0	20	20	,	,	20,0	,	,
66	0	30	20	40	10	25,0	25,0	25,00
67	0	60	50	40	40	55,0	40,0	47,50
68	0	30	30	,	,	30,0	,	,
69	0	30	50	30	50	40,0	40,0	40,00
70	1	30	10	30	40	20,0	35,0	27,50
71	0	10	30	50	40	20,0	45,0	32,50
72	1	10	30	60	40	20,0	50,0	35,00
73	1	40	60	70	60	50,0	65,0	57,50
74	0	10	30	10	40	20,0	25,0	22,50
75	0	20	20	,	,	20,0	,	,
76	0	35	60	99	80	47,5	89,5	68,50
77	0	50	70	90	90	60,0	90,0	75,00
78	1	80	90	90	60	85,0	75,0	80,00
79	1	35	70	80	70	52,5	75,0	63,75
80	0	20	40	10	30	30,0	20,0	25,00
81	0	40	20	,	,	30,0	,	,
82	1	10	30	30	50	20,0	40,0	30,00
83	0	30	40	30	30	35,0	30,0	32,50
84	0	30	20	40	50	25,0	45,0	35,00
85	1	20	30	10	40	25,0	25,0	25,00
86	0	10	30	,	,	20,0	,	,
87	0	30	50	50	40	40,0	45,0	42,50
88	0	15	70	50	20	42,5	35,0	38,75
89	0	50	80	20	30	65,0	25,0	45,00
90	0	40	10	,	,	25,0	,	,
91	0	40	10	,	,	25,0	,	,
92	1	40	0	,	,	20,0	,	,

Número	Grupo	Problema 1 1ª Prueba	Problema 2 1ª Prueba	Problema 1 2ª Prueba	Problema 2 2ª Prueba	TOTAL 1ª Prueba	TOTAL 2ª Prueba	TOTAL Pruebas
93	1	60	40	90	70	50,0	80,0	65,00
94	0	30	40	50	20	35,0	35,0	35,00
95	1	40	50	40	60	45,0	50,0	47,50
96	0	,	,	20	30	,	25,0	,
97	1	30	40	40	60	35,0	50,0	42,50
98	1	50	20	40	20	35,0	30,0	32,50
99	1	30	60	,	,	45,0	,	,
100	1	70	20	40	20	45,0	30,0	37,50

NOTA:

Primera columna: Número del alumno

Segunda columna: Grupo (1:experimental; 0=control)

Tercera columna: puntuación (sobre cien) del primer problema de la primera prueba.

Cuarta columna: puntuación (sobre cien) del segundo problema de la primera prueba.

Quinta columna: puntuación (sobre cien) del primer problema de la segunda prueba.

Sexta columna: puntuación (sobre cien) del segundo problema de la segunda prueba.

Séptima columna: puntuación total (sobre cien) de la primera prueba.

Octava columna: puntuación total (sobre cien) de la segunda prueba.

Novena columna: puntuación total (sobre cien) de ambas pruebas.

RESPUESTAS A LAS PRUEBAS SOBRE CONCEPCIONES PREVIAS (POSTEST)

001101011100101111001001101010010000101101010001100111000110111000100001000100
,,,,,,00111101010101000011101111100001010010110101101000001990101100101
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

002100000010101101101011101100001000100090110001100000100110101001110101000101
00001011000111010100101010101011111100011000110011001001000001100101001010
10100111011100010110100011100

003101100010101101101010010000101000101101110001100000100110101011001110011101
00011001100111010100101010101011011100000110001019100101000001100101000000
00100010011100010010010001110

004101000010101101101010010000110000101010111001000111000110101011010000000101
00011001101011011110101000101101111100011000110001100001001110100110001101
01001100111111010111010011100

005101100010101101101910010000101000111091110001100000110110101011110101011101
00011001100111010100101010101001111100000110001010001001000001100101101011
00100010011100010010011001110

006100100010101101101010010010001000100001110001100111000110101011010111001101
00010000100111010100101010101011111100000110001000100001000001010110001001
01101010000100110010010001110

00710100001010010110101001000010100010100111000111111000110111001110110100101
00011001100111010000101010011001111100010100010011100101000001101001000000
00100010011110110010010001110

00810110001010110110101110101000010010110111000111111000110111011010010000100
00001001100111010100101010101011011100000110001010010001001110100101001001
01100010111110010010010001110

009101100010101101101010010000101000101001110001100000100110101011110110011101
00001001000111010100101010101011111100001010000010001001000001101001000010
00100100011110010010010001111

010100111100101101101011101000010001000000110010111000100110101011110100011100
00001100001011010110110101001011100010110001001100101000001100110000010
000000000111001100100100011100

0111010000111001011010111010100010111010011100011000001001101109111101000001110001110000011100111010101010101101111000001001110100101010011101001010110011101101100111001011010001110

0121011000101111011010100100001100001011911110011101110001101111011101110001100001001100110101001010100110011110000100100001010010100111011101110110100110011011010010110100011100

013101100010101101101010010100001010101011110001111110101101000110101010001010010011000111010100101010011001111000010100010101000010011101000101000101100010110111001099999999999999

014101100011110100000010010010001011001190111001000000100110100101010011010100010101000111010100101000011111100101001110000110100101001110010111011011010101100011101101111011000001

0151011000101001011010100100100010111011111100011100001001101010010011100111010000100000011101010010101010101101110001011000000110010100111010010110001110100010001110010010010001100

01610011110111111000001101100010011111111111110111100011011111110000010100001010001,.....,9999999999999991000101011110100999901990101111100100010099990110999999999999

017101100011101010000101101100001001010091100001111110001101110110101010001000001100000111010100101000011111100110000110111001000101111109910011110111001100010010001110010001000

0181011111001011011010111010010010101010011100011111100011010101111010000010001010001010001110101001010101001111100001110000110010101001110100110000011110110111100110110001100

019101100011101111010101101100000101001111110011111100011911011111010100010000110011001110101011010101011111100000100111011100101001110100101101001001011101111110111010011110

020101011100101111010011101100010001009190110001111110101101010111101000001010101010010100001001101001011011110000111100000101001010011100110010001010100111011010010110111001000

02111100001010110110101110100100101110119101000111111010110101091010100900100000110100011100111101001010000111100109010101011010000100111001011100101110011011111010101011101000

022101000010101101101011101000101000101001110001100111000110101011110101000101
.....,00111010100101010101001111100010010000010100101001110100101000010
.....

023100100010101101101010010001010000100091111001111000100110101011001110011101
000010001001110101001010101011011100001110010010100110110001100111000011
00100000001100010011011001110

02410101110010010110999110100100101110010011100111111010110111011001999910100
00011001001011099990110199999991110000099910011010110099999999990110100101
01101110011010110111010101110

025101100010100101101010010000101000101121111001111000100110101011110100011101
00001000100111001110101010101001111100011010010010100001001110100100000010
01101100111110010110010101100

026100100010101110000001101000010011000091110001111111000110112010110111000100
.....,00111010110101010101001111100000110001010100101000001100101000001
.....

027101000011101101101100010001001001101001110001111111010110101101110,01011101
9999999990011901010010100010111111100010110010010100110110001100101000101
10000010011110010010010001100

028101100010101101101910010000100100101001111001100000110110111011110110000101
00011001100111010100101010011001011100000110000010100101001110101001000010
00100010011100110010010001190

0291011000101011011011100100100010101010110010100111000110101011010110000100
00001001100111000110101010101011111100000110100101100101001110100101100001
00101011011110110010011001110

030110011100000101000100010001001010100000110001000000100110101011110111011101
00001001000111010100110110101011111100010101000100100110111110100101000101
00100110001100010111000011100

03110110001011110110101110100011001120111011101010011100011011101111011101110
00001101000111010100101010101011111100000110000010001101000001100101001100
10100101000110110011011001100

032100100010101101101010010000101010101011110010100000100110101011001100011101
00011001100111010100101010101011100110109910000010001101000001100101000001
00100010001100010010000011110

03310100001010110111010001000010100010000111000111111000110101011010110011100
,,,,,,00111000100101010101001111100000100100100100101001110100101000100
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

034101100010100101101010010100010010101000110001111000100110101001100000000101
00001001000111010000101010101011011100010010001000100010110001100101000000
10101010011110010010010001110

0351111000111111101001001010001001110112111000111111000110111111201111000110
,,,,,,01010010100110100101101111100011010011010100101001110101010011111
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

03610011110010111101010110110001001010102010100111111000110101011001010010101
,,,,,,01010010101010110101001111001011010000010100101001110100110101001
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

037101011100101199101010010000101000011001110001110111000110101011110110000199
00010001100111010100101010101011111100011010001101100001000001100101000000
01101110011110110000010001000

038101100011101101101010010000110011101000111001000111010110199991010101000101
00001001000111001110101010101019911100001010001000100101001110100111010111
00100000101110010010010000001

03910101110010110110101001001001000100100111000111111000110111011110101000100
,,,,,,00111010101001010101001011100001100101010100101001110100110010011
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

040101000010100101101010010010001000101111010001111000100110101001010110011100
00010001000111010000101010101011111100001110000010110110111110010101100100
00100010011110010010010001110

041101000010101101101010010000100100011020110001111000100010101001110110011100
00011001100111110100101010011001011100019010001010100101001110010101000001
01001100011010110100010001110

04210100001110110110101110100011001101011111000011111000110111011010100011101
01001100001010010100110101101101111100011101000011110101001110011001101011
10000100000110110110011001110

043110000011100101009991101010110001019100101001100111000110111101100110000100
00011000001011011100110100011101111001011010091101110001001110011010011101
01001111101010100111001101110

05510011110010110110101110101001000010910101000111111010000110011102100000110
00001001000111010100101010101001011001010110010010100010110001100110011000
00101000101110100001000101000

056100000011101001110001101000001100100001011100100999900110102111010001000101
.....,0001100011010101010100111001100101010010190109999999010101010110
.....

057101000010101101101010010001001010101101110001111000110110101011010011000101
00001000100011010010101010101001111001001110001010001101000001100111000100
00100010011100010010010001100

05810011110010110110101110101001000100100011001111111001110101011110101000100
00010101000111010110101010101011111100010110000010100110110001011001000110
10100101101010101100110001010

059111100010101101101010010000101010101011110001111111000110111011110101000101
00001000100111001010110110101001111100000101000010100101000001100110000110
01001010011110110101000011000

060101100010101101101011101000101000101001111001111000100110101011100000011101
00001100000111010100101010011001010010110001001000001001000001010110000100
01000011091910010010011001100

06111110001111011101010110100011000010100101000110011100011011111100110000100
00001010000110010100101010101011011100000000100001001001001110011011101001
10000011001010010110010001110

0621111110110011101010110101000101120101121100111111010100110211010101000100
01010101000111010100101010101011110000011001011001011110111110011010001110
10000010001100110110110100100

063101000010100101101010010010001001011001111001100111000110101011010110000110
00001001000111010100101010101011011100001110010101100101000001101011000101
01101100111110101111011000001

064101100010100101101010010001010011001100110001100000100110100011000000011100
00001000101010010100110100011101011110010110000010100110110001100101000011
00100010001100010010010001100

065101011101000001101011101001010010100001110001111111000001101101110100000100
.....,00111010110101010100101111001001110000010010101001110101011001100
.....

066101000011101199101011101000100011000101111001100111000110100101110010000100
00001101001011011100110110101001111100000100101011110101000001101001100010
10000100010110010010010001010

06710100001010011001010110100000100001001101000111111000110100011110101000100
0000110100011101011010100001110111100000010001010100101001110100110100010
1110111111111110001011001110

0681001111011010100100011011000010101001011100111111001110111001010100000100
,,,,,,00111001110101001100101110011001010000011101001001110011010101001
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

06910110001011111101010110110001000010112111000111111101011011101,,1010,000,01
0000000010011100110011010001110111100011100110011100001000001010101011011
01101100111110110110111001110

07011100001010110110101110100011000100111111000111111000110111011110010000100
00000001100111010100101000101101111100011110001010100110111110100101000011
00100000011100010010010001100

071101100010101101101010010100001010100001110001111111010110111011100100100101
00010101000111010100101001011011011000010000011010100101001110101001011001
11001010011110010110010001100

072101000010100111010001101000101011001011111001100111000110111011001010000100
00001100001001111100110010101001111100000110001010100101000001100101000110
10000100001100110010111000100

073101000010101100010100010000101000100100110001100111000110111011010011010100
00001101000111010100101010101011111100000110091010110101001110100110011001
10100010011111010010010001110

07410010001110101100001110100101000101100111100111111001000110011001000010100
00100001101011010111000111010119911001011110010110110001001110011010011001
00100010001010000101110001110

07510111110010110001001110110009100100102111100111111000110101011001101000100
,,,,,,010110101101010101001110011011010011000000110119999011001011001
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

076101100010101101101010010000101001101011110001100000100110101011110110011100
000110010001110101001010101111111100010110000010001001001110100101000001
01101010011100110010010001110

077100100010101101101010010000101000101001110001111000100110101011001010011101
00001000100111010100101010101011111100010110001011000001000001100101001101
00100010011100010010010001100

078101100010101101101010010000101000101001110001111000100110101011001110011101
00010000100111010100101010101011011100000110011010001001000001010101000000
00100010011110010010010001100

079101000010101199101011101001000101001011110001111000100110101011110101000100
00011000100111010100110110101011111100010101000010100001000001101001000001
00100010011110010010010001110

08010911110010011100010001010000100010101010100111111000110111011010111010100
00001110001011010100110010101001110090190010001001100101000001011099991111
11001101001000010110110001100

08111110001111001101010110110000000100110011000111111000010111001010110000100
.....01011001100101000101101110010011000100001110010111110100101011011
.....

08210110001111111101010110100000101910110111100111111010110110111110111000101
01011101001010010190110100101101011100000010110110100110111110100111001101
11100111111111001110110001110

08310011110110110110101110101011001100919111000111111000110111211100101000100
00001101000111010110101000101101111100000110110001010010111110100110101101
1010111111111110100111001100

084101111100101101101010010100001000100011110001100111000110111011010011000101
00001101000011010100101010101001111001001110000100100101001110100101001101
1000000011111010111010001110

0851110000111011110101111011000010001011911100011111100011012111110100000100
0000100110011901010010100010111111100000110001010001101000001101001100101
00100000001110010010010001110

08611110001010111000001110110001000001109111101011111000110110011101100000110
.....00111001110101010101011911001011010000111010010111110999910100011
.....

087101100010101199101010010000101000101110110100100111000110111011110110000101
0000110100011101010010100010111111100000110001010110001000001100110001101
10100101011110110100010001000

088100100010101101101011101010010010101021010001111999910111101011010099999111
01000000101111001990101110101001111001001110000011100110111110101001111911
01101001111010110119910001100

08910101110010110110101110100011001120001111000111111000110101011011101001101
00001101001111001110110110011101110000001110001011100101000001011010011101
10100101111010101111110000110

090101100010101101101010010000101002010021110001111000110110101011001110001100
,,,,,,,,,,00111001010101010101011011100010111000109100101001110100111101100
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

091101111100101101101011101001010011001090100001111111000100119010110090000100
,,,,,,,,,,1000111001111009999999111100101110101001011010100000101100100010,
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

09210110001010010110101110110001001100101011100111111000110110111101001000100
,,,,,,,,,,00111001100101011101001110001111001010111110101009999010111011001
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

093101100010101101101011101001010000101011110001100111000110100011110010011100
00001001100111010100101010101001111100010110100011110001000001101011001001
00100010011110110110000011010

09410000001010110110101110100010101010100111000111111000110101001110110000101
00001001000111010100101010101011111100000010000010100001000001101001000010
00100010011110110110010001110

095100000010100101101011101001000100110100010001100000100110101011110110111101
00001001000111010101010110101011011100001110001000001101000001010101000010
00100010001110010010011001110

096,,,
011001001,,,
00010101111010100100110001110

097100100010101101101010010000110000100011110001100000100110100011110100011100
00000000100111000110101010101011111001001110000111001101000001010101100001
01100010011100110010010001110

098100111101101111010101101101001010101110111001110111000110101211010111000100
00011110001010001110110110100001110001001010011100110199999999011010010101
11010111011111010110110100100

099100111100100101101011101000101001000001110001111000100110000011010101000100
.....,00111010000101010101011111100,.....
.....

100101100010110111010101101100001011021101111001111111010110110021010101000100
0000110000011101010010100010111111100010111000110110001000001011001011101
10000110101100110010101001000

NOTA

Tres primeras columnas: corresponde al número de alumno.
Resto de columnas: corresponden a los 178 items de las pruebas.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS SOBRE CONCEPCIONES PREVIAS (POSTEST)

Número	Grupo	Not1	Not2	B1	B2	Nota1	Nota2	Notatt
1	1	84	,	2	0	214	,	,
2	1	110	27	1	0	579	421	545
3	1	125	38	1	0	793	1000	837
4	0	94	26	0	0	343	368	348
5	0	115	37	2	0	657	947	719
6	1	110	31	0	0	571	632	584
7	1	103	36	0	0	471	895	562
8	1	100	33	0	0	429	737	494
9	1	126	32	0	0	800	684	775
10	0	92	30	0	0	314	579	371
11	0	90	21	1	0	293	105	253
12	0	94	27	1	0	350	421	365
13	0	99	13	0	12	414	0	326
14	1	90	19	1	0	293	0	230
15	1	111	31	0	0	586	632	596
16	0	50	18	20	16	0	368	79
17	1	69	20	3	0	7	53	17
18	0	94	22	0	0	343	158	303
19	1	76	29	1	0	93	526	185
20	0	73	24	2	0	57	263	101
21	0	75	22	4	0	100	158	112
22	0	105	,	0	0	500	,	,
23	1	115	32	1	0	650	684	657
24	1	61	28	11	0	0	474	101
25	1	108	27	0	0	543	421	517
26	0	91	,	1	0	307	,	,
27	0	98	25	1	9	407	553	438
28	0	107	36	1	1	536	921	618
29	1	98	32	0	0	400	684	461
30	1	90	29	0	0	286	526	337
31	0	102	24	0	0	457	263	416

Número	Grupo	Not1	Not2	B1	B2	Nota1	Nota2	Notatt
32	1	128	35	2	0	843	842	843
33	0	103	,	0	,	471	,	,
34	0	108	33	0	0	543	737	584
35	0	78	,	0	,	114	,	,
36	0	79	,	0	,	129	,	,
37	1	104	29	4	0	514	526	517
38	1	94	28	6	0	386	474	404
39	0	88	,	0	,	257	,	,
40	1	105	35	0	0	500	842	573
41	1	103	28	1	0	479	474	478
42	0	76	23	0	0	86	211	112
43	0	67	20	5	0	0	53	11
44	0	93	22	1	3	336	237	315
45	0	64	,	21	,	64	,	,
46	0	64	,	27	,	107	,	,
47	0	116	30	0	0	657	579	640
48	0	113	27	0	0	614	421	573
49	0	95	23	0	0	357	211	326
50	0	81	,	4	,	186	,	,
51	1	79	29	0	0	129	526	213
52	1	91	35	0	0	300	842	416
53	0	76	,	0	,	86	,	,
54	0	83	,	0	,	186	,	,
55	0	84	23	1	0	207	211	208
56	0	83	,	13	,	279	,	,
57	0	109	35	0	0	557	842	618
58	0	87	20	0	0	243	53	202
59	0	98	24	0	0	400	263	371
60	0	112	26	0	2	600	421	562
61	1	87	27	0	0	243	421	281
62	0	65	25	0	0	0	316	67
63	1	104	20	0	0	486	53	393
64	1	97	34	0	0	386	789	472

Número	Grupo	Not1	Not2	B1	B2	Nota1	Nota2	Notatt
65	0	80	,	0	,	143	,	,
66	0	85	28	2	0	229	474	281
67	0	79	23	0	0	129	211	146
68	0	75	,	0	,	71	,	,
69	0	74	25	0	0	57	316	112
70	1	87	34	0	0	243	789	360
71	0	93	28	0	0	329	474	360
72	1	94	24	0	0	343	263	326
73	1	94	32	1	0	350	684	421
74	0	67	27	2	0	0	421	90
75	0	78	,	5	,	150	,	,
76	0	116	34	0	0	657	789	685
77	0	123	35	0	0	757	842	775
78	1	125	34	0	0	786	789	787
79	1	95	36	2	0	371	895	483
80	0	83	21	7	0	236	105	208
81	0	73	,	0	,	43	,	,
82	1	74	24	2	0	71	263	112
83	0	76	22	2	0	100	158	112
84	0	98	27	0	0	400	421	404
85	1	91	34	2	0	314	789	416
86	0	72	,	6	,	71	,	,
87	0	104	25	2	0	500	316	461
88	0	77	22	12	2	186	211	191
89	0	82	21	0	0	171	105	157
90	0	103	,	1	,	479	,	,
91	0	66	,	10	,	14	,	,
92	1	77	,	4	,	129	,	,
93	1	99	31	0	0	414	632	461
94	0	111	33	0	0	586	737	618
95	1	103	33	0	0	471	737	528
96	0	,	19	,	0	,	0	,
97	1	111	33	0	0	586	737	618

Número	Grupo	Not1	Not2	B1	B2	Nota1	Nota2	Notatt
98	1	64	21	8	0	0	105	22
99	1	75	,	0	,	71	,	,
100	1	80	23	0	0	143	211	157

NOTA:

Primera columna (NÚMERO): número de alumno.

Segunda columna (GRUPO): grupo (0=control; 1=experimental)

Tercera columna (NOT1): número de items correctos de la primera prueba.

Cuarta columna (NOT2): número de items correctos de la segunda prueba.

Quinta columna (B1): número de items en blanco de la primera columna.

Sexta columna (B2): número de items en blanco de la segunda prueba.

Séptima columna (NOTA1): puntuación (sobre mil) de la primera prueba (aciertos-errores).

Octava columna (NOTA2): puntuación (sobre mil) de la segunda prueba (aciertos-errores).

Novena columna (NOTATT): puntuación (sobre mil) de ambas pruebas.

COMPARACIÓN DEL NIVEL DE SUPERACIÓN DE LAS CONCEPCIONES ERRÓNEAS

Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$	Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$
	Gr. Control	Gr. Exper.			Gr. Control	Gr. Exper.	
1a	100	100		1b	84,7	87,5	
1c	25,9	22,5		1d	62,7	60,0	
2a	69,5	85,0	**	2b	69,5	85,0	**
2c	69,5	85,0	**	2d	69,5	85,0	**
3a	72,9	77,5		3b	71,2	77,5	
3c	89,8	90,0		3d	84,7	60,0	--
3e	88,1	95,0		4a	71,9	71,1	
4b	91,2	91,2		4c	71,2	67,5	
5a	76,3	80,0		5b	67,2	69,2	
5c	82,1	71,8		5d	75,9	71,8	
6a	37,3	50,0		6b	37,3	50,0	
6c	37,3	50,0		6d	37,3	50,0	
7a	72,9	82,5		7b	84,7	77,5	
7c	83,1	77,5		7d	39,0	37,5	
8a	55,2	75,0	*	8b	49,2	62,5	
8c	94,9	87,5		8d	55,9	65,0	
9a	60,3	61,5		9b	67,9	65,0	
9c	81,4	87,2		9d	72,2	72,5	
10a	69,5	55,0		10b	62,8	60,0	
10c	77,6	65,0		10d	91,4	87,5	
10e	93,2	97,5		11a	67,8	70,0	
11b	94,9	100		11c	88,1	95,0	
11d	88,1	95,0		12a	98,3	92,5	
12b	27,1	45,0	**	12c	28,8	52,5	*
13a	21,1	45,0	*	13b	21,1	45,0	*

Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$	Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$
	Gr. Control	Gr. Exper.			Gr. Control	Gr. Exper.	
13c	21,1	45,0	*	13d	21,1	45,0	*
14a	74,6	90,0	**	14b	93,2	100	**
14c	93,2	97,5		14d	91,5	100	**
14e	96,6	100,0		14f	100,0	97,5	
15a	52,5	64,9		15b	83,9	76,9	
15c	83,9	84,2		15d	17,2	21,6	
16a	94,8	97,5		16b	38,6	55,0	
16c	23,7	27,5		16d	15,5	20,0	
17a	77,6	74,4		17b	42,1	61,5	**
17c	57,9	59,0		17d	98,2	94,9	
18a	24,1	45,0	*	18b	20,7	40,0	*
19a	100	100		19b	84,7	97,4	*
19c	47,5	38,5		20a	97,5	100	
20b	85,0	94,6		20c	92,5	100	**
20d	30,0	37,8		20e	75,0	81,1	
21a	45,0	81,1	*	21b	95,0	91,9	
21c	65,0	64,9		21d	30,0	54,1	*
22a	98,3	100,0		22b	70,7	82,5	
22c	69,0	82,5		22d	98,3	97,5	
22e	91,2	89,7		22f	96,6	92,5	
22g	74,1	82,1		22h	74,1	84,6	
22i	86,0	89,7		22j	59,6	81,6	
23a	87,9	95,0		23b	89,7	97,5	
23c	70,7	75,0		23d	69,0	75,0	
23e	77,6	82,5		23f	71,4	79,5	
23g	89,3	97,4		23h	80,4	84,6	
23i	78,6	84,6		23j	91,1	97,4	

Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$	Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$
	Gr. Control	Gr. Exper.			Gr. Control	Gr. Exper.	
23k	62,5	79,5	**	23l	26,8	69,2	*
23m	100	100		23n	16,4	28,2	
24a	0	2,5		24b	14,0	15,0	
24c	59,6	85,0	*	24d	8,9	10,0	
24e	71,9	90,0	*	24f	3,5	7,7	
24g	56,4	60,5		24h	47,4	41,7	
24i	41,1	32,4		25a	70,7	79,5	
25b	84,5	82,1		25c	82,8	84,6	
25d	71,9	65,8		26a	55,2	56,4	
26b	81,0	71,8		26c	72,4	71,8	
26d	66,7	68,4		27a	24,6	25,6	
27b	72,4	76,9		27c	17,2	23,1	
27d	34,5	35,9		28a	78,9	78,4	
28b	78,9	78,4		28c	78,9	78,4	
28d	78,9	81,1		29a	40,7	57,1	
29b	40,7	54,3		29c	40,7	54,3	
29d	40,7	57,1		30a	64,9	63,9	
30b	63,2	66,7		31a	59,6	66,7	
31b	57,9	66,7		32a	52,6	64,1	
32b	59,6	84,2	*	32c	73,7	71,8	
32d	73,7	82,1		33a	44,1	66,7	*
33b	50,0	30,8	--	33c	55,9	69,2	
33d	37,9	25,6		34a	43,9	73,0	*
34b	63,4	67,6		34c	63,4	81,1	**
34d	95,1	97,3		35a	63,4	70,3	
35b	46,3	59,5		35c	53,7	67,6	
35d	58,5	86,5	*	35e	58,5	81,1	*

Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$	Items	% de respuest. correctas		Dif. Sig. $\alpha=0,05$
	Gr. Control	Gr. Exper.			Gr. Control	Gr. Exper.	
36a	71,1	62,2		36b	84,6	94,6	
36c	78,9	89,2		36d	27,5	37,8	
37a	85,4	83,8		37b	43,9	62,2	**
37c	82,9	89,2		37d	92,7	89,2	
38a	41,0	64,9	*	38b	71,8	94,6	*
38c	65,8	83,8	**	38d	65,8	86,5	*
39a	87,2	86,5		39b	74,4	81,1	
39c	87,2	89,2		39d	87,2	86,5	
40a	92,3	86,5		40b	82,1	78,4	
40c	47,4	56,8		40d	100	89,2	--

NOTA:

- Primera y quinta columna: indica el número de ítem del cuestionario sobre concepciones previas.
- Segunda y sexta columna: indica el porcentaje de aciertos en cada ítem para el grupo de control.
- Tercera y séptima columna: indica el porcentaje de aciertos en cada ítem para el grupo experimental.
- Cuarta y octava columna: El símbolo * indica que existe una diferencia significativa al 95% a favor del grupo experimental.
El símbolo ** indica que existe una diferencia significativa al 90% a favor del grupo experimental.
El símbolo -- indica que existe una diferencia significativa al 90% a favor del grupo de control.

DATOS Y RESULTADOS TOTALES DE CADA UNA DE LAS VARIABLES

N°	Gr.	Sexo	COU	Est. padr	Prof. padr.	Fact. "g"	Raz. Mec.	Conc. "1"	Conc. "2"	Conc. "Total"	Proc. "1"	Proc. "2"	Proc. "Total"	Prob. "1"	Prob. "2"	Prob. "Total"	Concep. Pretest	Concep. post "1"	Concep. post "2"	Comcep. "Total"	Global "1"	Global "2"	Global "Total"
1	1	2	1	2	3	76	23	267	,	,	500	,	,	200	,	,	0	214	,	,	322	,	,
2	1	2	1	3	3	40	35	467	600	533	565	565	565	550	350	450	90	579	421	545	527	505	516
3	1	2	1	2	4	96	60	800	999	900	924	913	919	925	600	763	371	793	999	837	883	837	860
4	0	1	1	2	3	70	25	467	333	400	239	348	294	400	650	525	180	343	368	348	369	444	406
5	0	2	1	2	3	84	80	733	867	800	826	685	756	825	900	863	230	657	947	719	795	817	806
6	1	2	1	5	1	76	50	667	867	767	913	457	685	850	895	873	0	571	632	584	810	740	775
7	1	1	1	3	3	96	18	517	800	658	826	587	707	425	800	613	264	471	895	562	589	729	659
8	1	1	1	5	2	40	15	600	800	700	772	870	821	950	990	970	124	429	737	495	774	887	830
9	1	1	1	3	3	89	50	800	667	733	902	435	669	375	375	375	416	800	684	775	692	492	592
10	0	1	1	4	2	77	18	683	933	808	696	609	653	475	900	688	79	314	579	371	618	814	716
11	0	1	1	2	2	40	23	533	533	533	174	413	294	600	800	700	146	293	105	253	436	582	509
12	0	1	1	1	4	99	45	733	467	600	370	413	392	400	800	600	0	350	421	365	501	560	531
13	0	1	1	3	2	60	9	200	117	158	413	22	218	300	225	263	141	414	0	326	304	121	213
14	1	2	1	4	2	84	11	400	333	367	413	261	337	875	300	588	0	293	0	230	563	298	431
15	1	1	1	4	2	24	23	467	467	467	804	293	549	425	800	613	0	586	632	596	565	520	543
16	0	1	0	3	2	84	20	133	733	433	348	87	218	250	225	238	0	0	368	79	244	348	296
17	1	1	1	4	3	77	11	400	667	533	478	424	451	500	275	388	0	7	53	17	459	455	457

Nº	Gr.	Sexo	COU	Est. padr	Prof padr	Fact. "g"	Raz. Mec.	Conc. "1"	Conc. "2"	Conc. "Total"	Proc. "1"	Proc. "2"	Proc. "Total"	Prob. "1"	Prob. "2"	Prob. "Total"	Concep. Pretest	Concep. post "1"	Concep. post "2"	Comcep. "Total"	Global "1"	Global "2"	Global "Total"
18	0	2	1	4	3	60	70	333	667	500	500	239	370	700	800	750	51	343	158	30	511	569	540
19	1	1	0	4	2	50	25	200	483	342	837	304	571	625	850	738	0	93	526	18	554	546	550
20	0	1	1	3	2	50	3	533	333	433	359	283	321	250	175	213	0	57	263	10	381	264	322
21	0	2	0	3	3	24	60	400	800	600	174	304	239	450	350	400	0	100	158	112	341	485	413
22	0	1	1	5	1	60	23	667	,	,	272	,	,	925	,	,	169	500	,	,	621	,	,
23	1	2	1	3	3	77	65	733	467	600	565	348	457	475	450	463	79	650	684	657	591	422	506
24	1	2	1	2	3	70	35	433	467	450	250	304	277	400	600	500	73	0	474	101	361	457	409
25	1	1	1	3	3	88	20	733	533	633	826	533	680	625	500	563	0	543	421	517	728	522	625
26	0	2	1	1	4	77	60	333	,	,	174	,	,	275	,	,	71	307	,	,	261	,	,
27	0	1	1	5	2	98	35	600	733	667	467	587	527	400	400	400	109	407	553	438	489	573	531
28	0	1	1	5	1	99	25	733	867	808	337	826	582	900	895	898	258	536	921	618	657	863	762
29	1	2	1	2	3	92	85	667	733	700	750	435	593	675	700	688	101	400	684	461	697	623	660
30	1	2	1	2	3	30	10	367	467	417	891	304	598	400	400	400	0	286	526	337	553	390	472
31	0	2	1	2	3	70	20	600	267	433	674	413	544	600	275	438	157	457	263	416	625	318	471
32	1	2	1	4	2	11	25	733	800	767	500	761	631	625	750	688	208	843	842	843	619	770	695
33	0	1	1	4	2	50	1	800	,	,	109	,	,	300	,	,	242	471	,	,	403	,	,
34	0	2	1	4	3	60	50	600	667	633	837	739	788	300	325	313	0	543	737	584	579	577	578
35	0	1	0	4	3	40	23	333	,	,	120	,	,	200	,	,	17	114	,	,	218	,	,
36	0	2	1	4	3	7	15	467	,	,	141	,	,	275	,	,	21	129	,	,	294	,	,

N°	Gr.	Sexo	COU	Est. padr	Prof padr.	Fact. "g"	Raz. Mec.	Conc. "1"	Conc. "2"	Conc. "Total"	Proc. "1"	Proc. "2"	Proc. "Total"	Prob. "1"	Prob. "2"	Prob. "Total"	Concep. Pretest	Concep. post "1"	Concep. post "2"	Comcep. "Total"	Global "1"	Global "2"	Global "Total"
37	1	2	1	2	3	50	30	600	867	733	826	500	663	725	945	835	84	514	526	517	717	771	744
38	1	2	1	2	3	77	15	667	733	700	630	609	620	400	550	475	34	386	474	405	566	631	598
39	0	1	1	2	3	99	40	533	,	,	837	,	,	500	,	,	17	257	,	,	623	,	,
40	1	2	1	6	1	84	23	667	999	833	750	630	690	200	475	338	0	500	842	573	539	701	620
41	1	1	1	3	3	17	13	800	667	733	902	413	658	300	400	350	101	479	474	478	667	493	580
42	0	1	0	5	1	70	25	467	333	400	348	326	337	300	450	375	11	86	211	113	372	370	371
43	0	2	1	1	4	30	10	283	483	383	130	152	141	250	200	225	0	0	53	11	221	278	250
44	0	2	1	4	3	92	65	533	283	408	500	109	305	300	300	300	0	336	237	315	444	231	338
45	0	1	1	4	3	30	5	500	,	,	261	,	,	300	,	,	0	64	,	,	354	,	,
46	0	2	1	1	4	98	75	467	,	,	348	,	,	475	,	,	180	107	,	,	430	,	,
47	0	2	1	5	2	60	60	600	400	500	109	141	125	300	400	350	326	657	579	640	336	314	325
48	0	2	1	3	3	93	89	800	733	767	348	217	283	575	800	688	39	614	421	573	574	583	579
49	0	2	1	5	2	88	25	600	467	533	804	565	685	400	200	300	0	357	211	326	601	411	506
50	0	2	1	1	4	30	15	400	,	,	565	,	,	200	,	,	90	186	,	,	388	,	,
51	1	1	0	2	3	24	11	333	333	333	793	283	538	225	300	263	0	129	526	214	450	305	378
52	1	1	0	4	3	88	82	733	600	667	826	652	739	450	800	625	140	300	842	416	670	684	677
53	0	1	1	6	2	60	18	733	,	,	457	,	,	200	,	,	0	86	,	,	463	,	,
54	0	2	1	2	2	76	20	400	,	,	174	,	,	250	,	,	6	186	,	,	275	,	,
55	0	2	1	2	4	98	20	600	217	408	761	152	457	300	250	275	73	207	211	208	554	206	380

N°	Gr.	Sexo	COU	Est. padr	Prof padr.	Fact. "g"	Raz. Mec.	Conc. "1"	Conc. "2"	Conc. "Total"	Proc. "1"	Proc. "2"	Proc. "Total"	Prob. "1"	Prob. "2"	Prob. "Total"	Concep. Pretest	Concep. post "1"	Concep. post "2"	Comcep. "Total"	Global "1"	Global "2"	Global "Total"
56	0	1	1	3	2	24	18	533	,	,	326	,	,	550	,	,	34	279	,	,	470	,	,
57	0	2	4	96	50	667		667	667	826	609	718	650	800	725	0	557	842	618	714	692	703	
58	0	2	1	5	2	1	55	467	167	317	467	87	277	250	300	275	22	243	53	202	395	185	290
59	0	2	1	5	2	70	20	733	267	500	587	87	337	400	250	325	0	400	263	371	573	201	387
60	0	2	1	5	2	93	55	733	733	733	348	304	326	650	700	675	118	600	421	562	577	579	578
61	1	2	1	3	3	4	1	67	733	400	391	413	402	375	250	313	11	243	421	281	278	465	372
62	0	2	0	1	3	96	30	467	600	533	174	43	109	300	200	250	0	0	316	67	314	281	297
63	1	1	1	2	3	24	60	467	733	600	717	609	663	375	500	438	118	486	53	394	520	614	567
64	1	2	0	4	3	77	23	533	533	533	674	522	598	450	350	400	180	386	789	472	552	468	510
65	0	2	0	9	9	84	35	533	,	,	326	,	,	200	,	,	180	143	,	,	353	,	,
66	0	1	1	3	3	40	11	267	533	400	272	511	392	250	250	250	45	229	474	281	263	431	347
67	0	2	1	4	2	84	60	200	533	367	935	522	729	550	400	475	96	129	211	147	562	485	524
68	0	2	1	3	3	60	65	400	,	,	370	,	,	300	,	,	0	71	,	,	357	,	,
69	0	2	1	2	3	70	60	467	400	433	391	152	272	400	400	400	0	57	316	112	419	317	368
70	1	1	1	3	3	40	80	600	467	533	826	609	718	200	350	275	213	243	789	360	542	475	509
71	0	2	1	4	2	76	8	600	600	600	500	500	500	200	450	325	242	329	474	360	433	517	475
72	1	1	1	4	2	70	11	433	333	383	543	587	565	200	500	350	45	343	263	326	392	473	433
73	1	2	0	2	3	20	40	733	733	733	685	587	636	500	650	575	0	350	684	421	639	657	648
74	0	2	0	5	1	77	11	0	667	300	250	130	190	200	250	225	0	0	421	90	150	349	238

N°	Gr.	Sexo	COU	Est. padr	Prof padr.	Fact. "g"	Raz. Mec.	Conc. "1"	Conc. "2"	Conc. "Total"	Proc. "1"	Proc. "2"	Proc. "Total"	Prob. "1"	Prob. "2"	Prob. "Total"	Concep. Pretest	Concep. post "1"	Concep. post "2"	Comcep. "Total"	Global "1"	Global "2"	Global "Total"
75	0	2	1	2	3	50	30	417	,	,	272	,	,	200	,	,	45	150	,	,	296	,	,
76	0	1	1	1	4	88	11	733	733	733	522	500	511	475	895	685	0	657	789	685	577	709	643
77	0	2	1	1	3	30	11	933	867	900	543	565	554	600	900	750	28	757	842	775	692	777	735
78	1	2	1	2	3	84	55	933	867	900	826	804	815	850	750	800	360	786	789	787	870	807	838
79	1	1	1	4	3	98	3	800	933	867	630	913	772	525	750	638	157	371	895	483	652	865	759
80	0	2	1	4	2	89	8	550	600	575	370	326	348	300	200	250	0	236	105	208	407	375	391
81	0	2	1	2	3	89	55	0	,	,	359	,	,	300	,	,	0	43	,	,	220	,	,
82	1	2	1	5	2	98	3	467	133	300	761	457	609	200	400	300	67	71	263	112	476	330	403
83	0	2	0	4	2	50	55	267	150	208	0	0	0	350	300	325	0	100	158	112	206	150	178
84	0	2	1	2	2	50	2	467	800	633	304	674	489	250	450	350	0	400	421	404	340	641	491
85	1	1	0	3	3	99	35	483	533	508	826	565	696	250	250	250	22	314	789	415	520	449	485
86	0	2	1	4	3	30	3	267	,	,	304	,	,	200	,	,	0	71	,	,	257	,	,
87	0	1	1	2	3	96	35	667	400	533	457	457	457	400	450	425	157	500	316	461	508	436	472
88	0	2	1	2	3	70	30	533	550	542	348	348	348	425	350	388	0	186	211	191	435	416	426
89	0	1	0	5	2	98	25	350	867	608	783	478	631	650	250	450	0	171	105	157	594	532	563
90	0	2	1	5	3	40	23	333	,	,	174	,	,	250	,	,	309	479	,	,	252	,	,
91	0	2	1	6	2	30	30	200	,	,	457	,	,	250	,	,	0	14	,	,	302	,	,
92	1	1	0	6	2	40	15	133	,	,	261	,	,	200	,	,	17	129	,	,	198	,	,
93	1	2	1	3	3	60	2	600	667	633	924	522	723	500	800	650	0	414	632	461	675	663	669

N°	Gr.	Sexo	COU	Est. padr	Prof padr.	Fact. "g"	Raz. Mec.	Conc. "1"	Conc. "2"	Conc. "Total"	Proc. "1"	Proc. "2"	Proc. "Total"	Prob. "1"	Prob. "2"	Prob. "Total"	Concep. Pretest	Concep. post "1"	Concep. post "2"	Comcep. "Total"	Global "1"	Global "2"	Global "Total"
94	0	1	1	2	3	77	23	867	533	700	576	304	440	350	350	350	225	586	737	618	598	396	497
95	1	1	1	4	3	89	75	867	999	933	576	848	712	450	500	475	281	471	737	528	631	782	707
96	0	2	0	2	3	30	40	,	467	,	,	478	,	,	250	,	197	,	0	,	,	398	,
97	1	1	1	2	3	84	40	683	883	783	870	870	870	350	500	425	0	586	737	618	634	751	693
98	1	2	1	1	3	96	23	467	350	408	696	326	511	350	300	325	0	0	105	22	504	325	415
99	1	2	1	5	2	96	65	667	,	,	304	,	,	450	,	,	67	71	,	,	474	,	,
100	1	2	0	2	3	77	65	467	467	467	120	261	191	450	300	375	0	143	211	158	346	343	344

NOTA:

- Primera columna: Número del alumno.
- Segunda columna: Grupo (1:experimental; 0: control).
- Tercera columna: Sexo (1: Varón; 2: Hembra).
- Cuarta columna: Física de COU (1: sí cursó la Física en COU; 2: no cursó la Física en COU).
- Quinta columna: Estudios del padre (1: ninguno; 2: primarios; 3: bachiller elemental; 4: bachiller superior; 5: diplomatura; 6: licenciatura).
- Sexta columna: Profesión del padre (1: alta; 2: media/alta; 3: media/baja; 4: baja).
- Séptima columna: Factor "g" de inteligencia general en centiles.
- Octava columna: Nivel de razonamiento mecánico en centiles.
- Resto de columnas: puntuación sobre mil obtenida en cada una de las pruebas.

ANEXO II

INTERACCIÓN ENTRE LAS METODOLOGÍAS Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ALUMNOS:

TABLAS Y GRÁFICAS

HECHOS, CONCEPTOS, PRINCIPIOS Y ESTRUCTURAS CONCEPTUALES**Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "1ª prueba"**

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	81937,621	81937,621	2,015	0,159
SEXO	1	54968,251	54968,251	1,352	0,248
GRUPO/SEXO	1	40716,816	40716,816	1,001	0,320
Error	95	3863806,969	40671,652		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "1ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	22 548,41	37 469,81	59 499,12
	EXPERIMENTAL	18 558,28	22 563,73	40 561,28
TOTAL		40 552,85	59 504,83	99 524,23

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	170351,249	170351,249	3,462	0,067
SEXO	1	10323,362	10323,362	0,210	0,648
GRUPO/SEXO	1	3546,259	3546,259	0,072	0,789
Error	74	3641486,976	49209,283		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "2ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 563,20	26 535,35	41 545,54
	EXPERIMENTAL	17 641,06	20 640,75	37 640,89
TOTAL		32 604,56	46 581,17	78 590,77

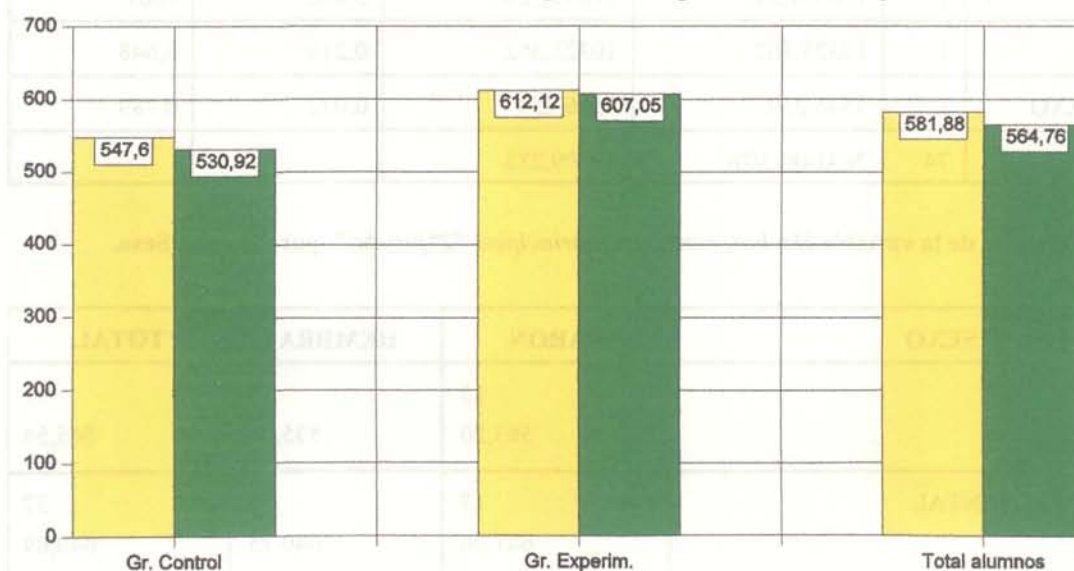
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	96941,889	96941,889	3,138	0,081
SEXO	1	5480,890	5480,890	0,177	0,675
GRUPO/SEXO	1	625,767	625,767	0,020	0,887
Error	73	2255164,155	30892,660		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "Total pruebas"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 547,60	25 530,92	40 537,17
	EXPERIMENTAL	17 612,12	20 607,05	37 609,38
TOTAL		32 581,88	45 564,76	77 571,87

Hechos, Conceptos y Principios



Leyenda

VARON HEMBRA

HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	1671375,073	1671375,073	35,767	0,000
SEXO	1	68384,975	68384,975	1,463	0,229
GRUPO/SEXO	1	86148,305	86148,305	1,844	0,178
Error	95	4439254,555	46728,995		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "1ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	22 397,41	37 415,41	59 408,69
	EXPERIMENTAL	18 734,17	22 629,91	40 676,83
TOTAL		40 548,95	59 495,39	99 517,03

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	545889,854	545889,854	12,943	0,001
SEXO	1	174321,459	174321,459	4,133	0,046
GRUPO/SEXO	1	126,717	126,717	0,003	0,956
Error	74	3121056,854	42176,444		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "2ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 410,93	26 328,50	41 358,66
	EXPERIMENTAL	17 576,18	20 498,95	37 534,43
TOTAL		32 498,72	46 402,61	78 442,04

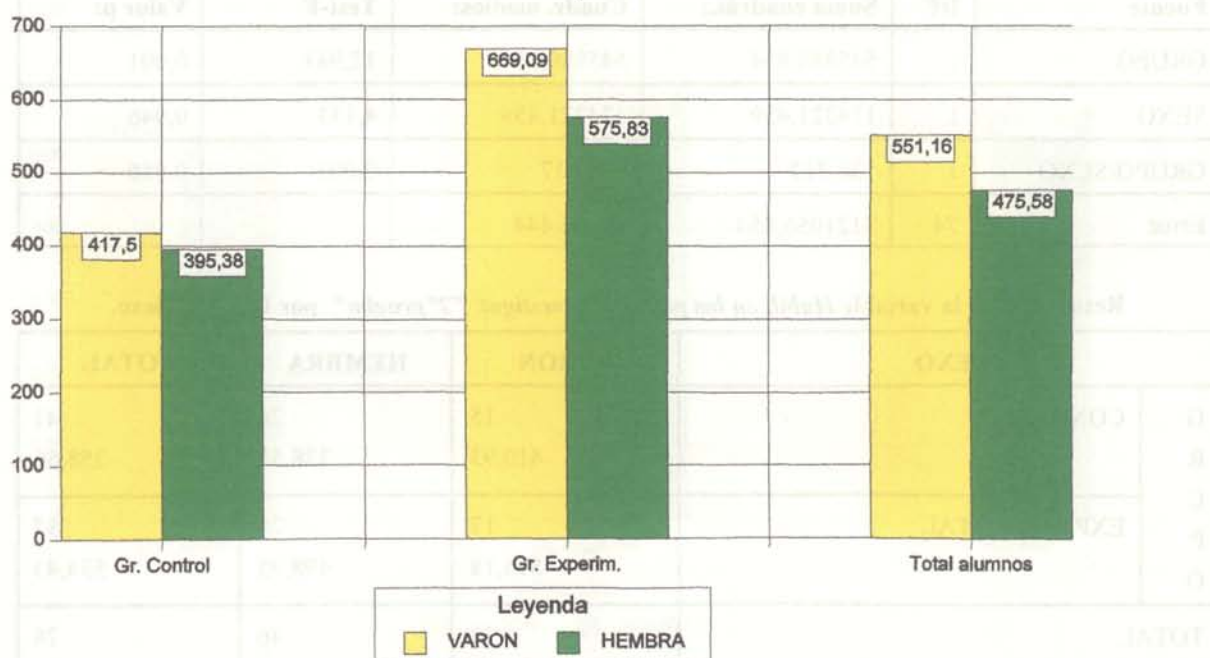
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	842689,644	842689,644	27,883	0,000
SEXO	1	106823,790	106823,790	3,535	0,064
GRUPO/SEXO	1	23487,658	23487,658	0,777	0,381
Error	73	2206215,895	30222,136		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "Total pruebas"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 417,50	25 395,38	40 403,68
	EXPERIMENTAL	17 669,09	20 575,83	37 618,68
TOTAL		32 551,16	45 475,58	77 506,99

Habil. Intel. en los procesos invest.



ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	158024,078	158024,078	4,335	0,040
SEXO	1	650,170	650,170	0,018	0,894
GRUPO/SEXO	1	149956,486	149956,486	4,114	0,450
Error	95	3463086,439	36453,541		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "1ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	22 426,14	37 370,27	59 391,10
	EXPERIMENTAL	18 413,89	22 519,32	40 471,88
TOTAL		40 420,63	59 425,85	99 423,74

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	142395,473	142395,473	2,524	0,116
SEXO	1	72203,373	72203,373	1,280	0,262
GRUPO/SEXO	1	27505,156	27505,156	0,488	0,487
Error	74	4174084,459	56406,547		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "1ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 514,33	26 423,08	41 456,46
	EXPERIMENTAL	17 555,29	20 540,75	37 547,43
TOTAL		32 536,09	46 474,24	78 499,62

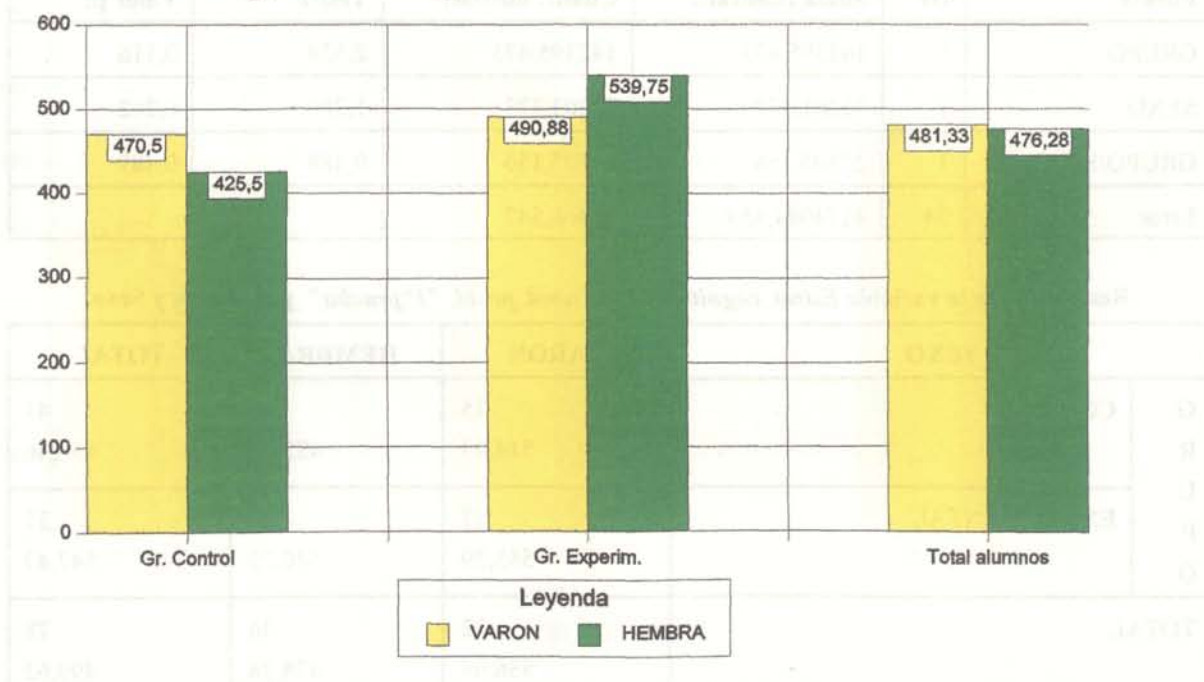
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	107455,769	107455,769	2,861	0,095
SEXO	1	476,995	476,995	0,013	0,911
GRUPO/SEXO	1	40888,798	40888,798	1,089	0,300
Error	73	2741788,015	37558,740		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "1ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 470,50	25 425,50	40 442,38
	EXPERIMENTAL	17 490,88	20 539,75	37 517,30
TOTAL		32 481,33	45 476,28	77 478,38

Estrategias cognit. en resolución probl



RENDIMIENTO GLOBAL (CONCEPTOS + PROCESOS + PROBLEMAS)

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	434099,410	434099,410	18,995	0,000
SEXO	1	24592,500	24592,500	1,076	0,302
GRUPO/SEXO	1	9703,295	9703,295	0,425	0,516
Error	95	2171099,906	22853,683		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "1ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	22 457,32	37 418,50	59 432,97
	EXPERIMENTAL	18 568,78	22 570,98	40 569,99
TOTAL		40 507,47	59 475,36	99 488,33

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	259737,392	259737,392	7,832	0,007
SEXO	1	68963,840	68963,840	2,079	0,154
GRUPO/SEXO	1	6222,798	6222,798	0,188	0,666
Error	74	2454233,863	33165,322		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "2ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 496,16	26 428,97	41 453,55
	EXPERIMENTAL	17 590,84	20 560,15	37 574,25
TOTAL		32 546,46	46 486,01	78 510,81

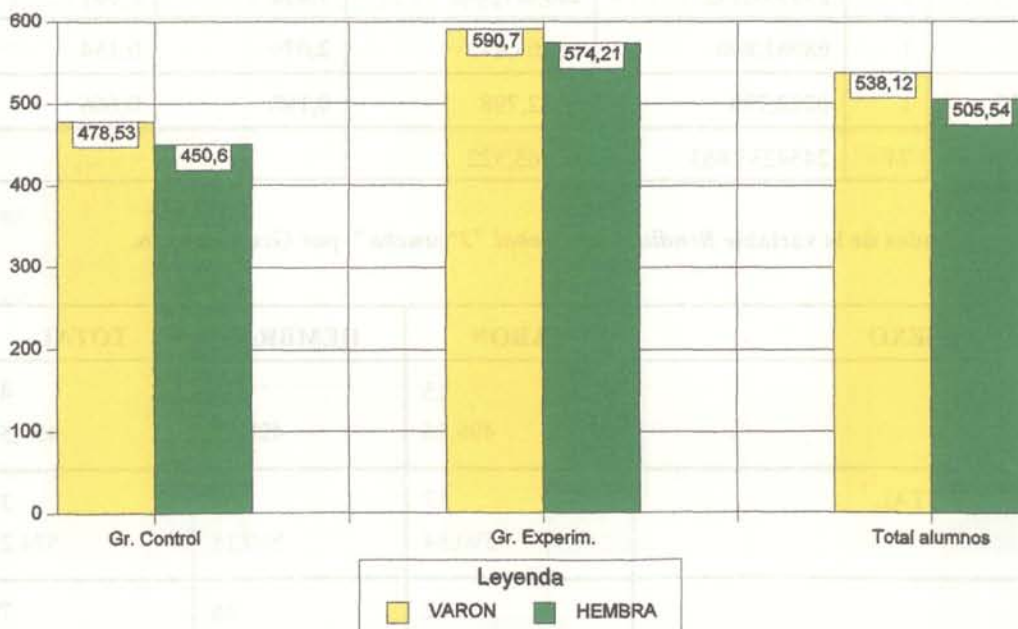
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	269409,678	269409,678	11,913	0,001
SEXO	1	19853,970	19853,970	0,878	0,352
GRUPO/SEXO	1	607,923	607,923	0,027	0,870
Error	73	1650946,239	22615,702		

Resultados de la variable Rendimiento Global "Total pruebas" por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 478,53	25 450,60	40 461,07
	EXPERIMENTAL	17 590,70	20 574,21	37 581,78
TOTAL		32 538,12	45 505,54	77 519,08

Rendimiento Global



CONCEPCIONES PREVIAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	213391,352	213391,352	4,513	0,036
SEXO	1	10866,072	10866,072	0,230	0,633
GRUPO/SEXO	1	9319,088	9319,088	0,197	0,658
Error	95	4491860,660	47282,744		

Resultados de la variable *Concepciones previas "1ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	22 305,18	37 274,35	59 285,85
	EXPERIMENTAL	18 376,67	22 386,05	40 381,83
TOTAL		40 337,35	59 316,00	99 324,63

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	711810,880	711810,880	10,363	0,002
SEXO	1	100152,686	100152,686	1,458	0,231
GRUPO/SEXO	1	2986,508	2986,508	0,043	0,835
Error	74	5083048,798	68689,849		

Resultados de la variable *Concepciones previas "2ª prueba"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 414,00	26 347,27	41 371,68
	EXPERIMENTAL	17 591,35	20 549,90	37 568,95
TOTAL		32 508,22	46 435,37	78 465,26

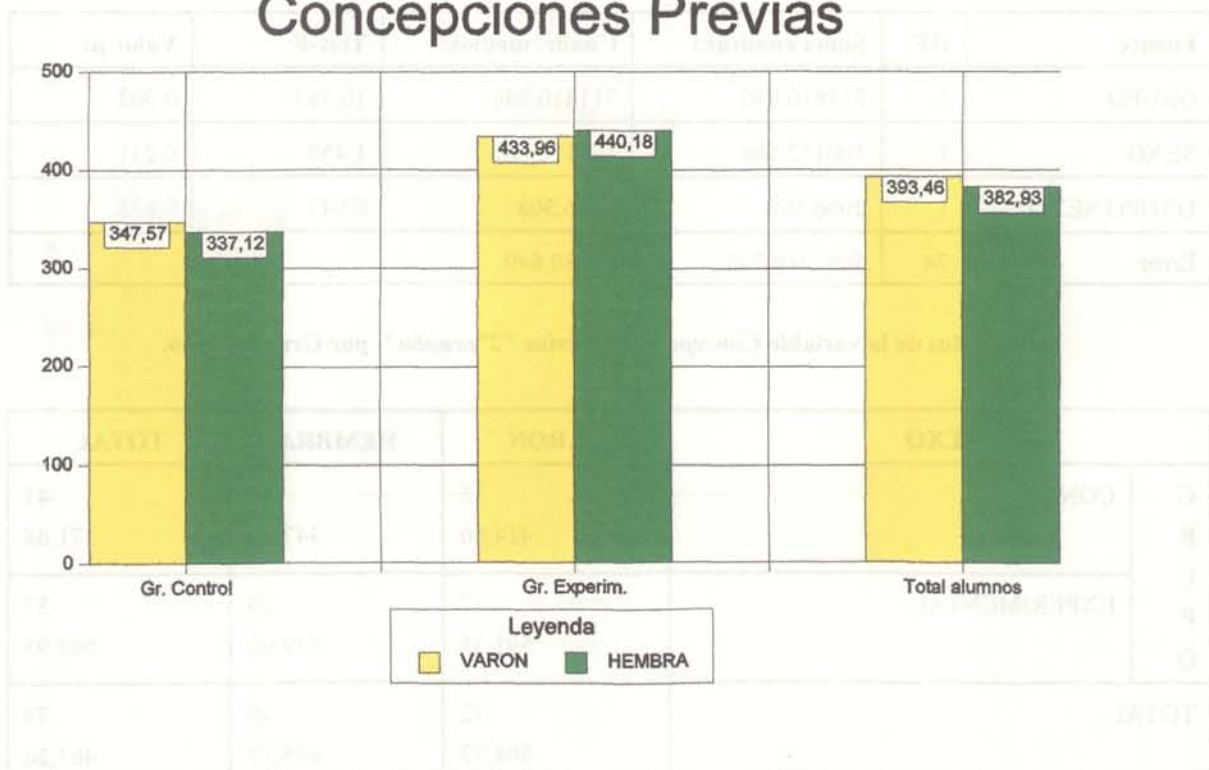
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	176193,788	176193,788	3,858	0,053
SEXO	1	2075,167	2075,167	0,045	0,832
GRUPO/SEXO	1	1288,848	1288,848	0,028	0,867
Error	73	3333900,032	45669,863		

Resultados de la variable *Concepciones previas "Total pruebas"* por Grupo y Sexo.

SEXO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	15 347,57	25 337,12	40 341,04
	EXPERIMENTAL	17 433,96	20 440,18	37 437,32
TOTAL		32 393,46	45 382,93	77 387,30

Concepciones Previas



HECHOS, CONCEPTOS, PRINCIPIOS Y ESTRUCTURAS CONCEPTUALES

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	92097,512	92097,512	2,487	0,118
Fís. COU	1	416563,355	416563,355	11,249	0,001
GRUPO/Fís.CO	1	14898,939	14898,939	0,402	0,527
Error	95	3517869,851	37030,209		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "1ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.

Fís.CO		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	9 327,78	50 529,96	59 499,12
	EXPERIMENTAL	8 451,88	32 588,63	40 561,28
TOTAL		17 386,18	82 552,85	99 524,23

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	176840,083	176840,083	3,712	0,058
Fís. COU	1	25109,320	25109,320	0,527	0,470
GRUPO/Fís.CO	1	98769,753	98769,753	2,073	0,154
Error	74	3524988,690	47634,982		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "2ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.

Fís.CO		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	8 577,13	33 537,88	41 545,54
	EXPERIMENTAL	7 526,00	30 667,70	37 640,89
TOTAL		15 553,27	63 599,70	78 590,77

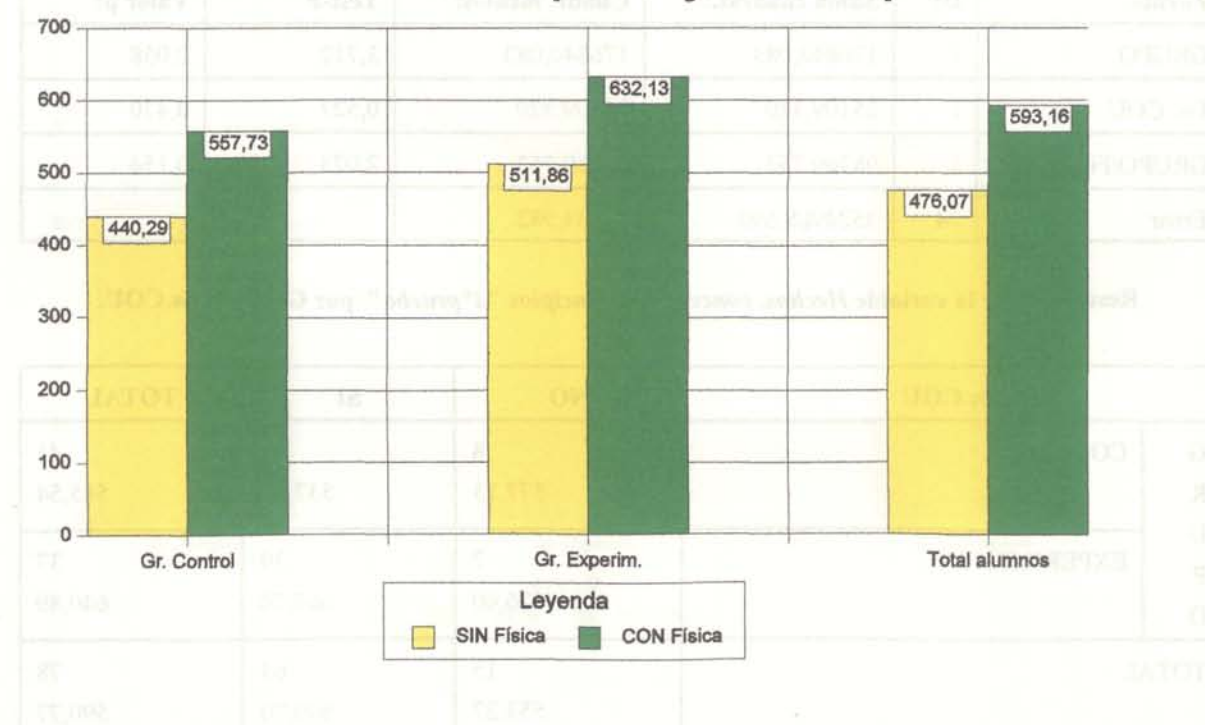
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	100204,224	100204,224	3,490	0,066
Fís. COU	1	161735,180	161735,18	5,632	0,020
GRUPO/Fís.CO	1	23,000	23,000	0,001	0,977
Error	73	2096250,298	28715,758		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "Total pruebas"* por Grupo y Fís.CO.

Fís.CO		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	7 440,29	33 557,73	40 537,17
	EXPERIMENTAL	7 511,86	30 632,13	37 609,38
TOTAL		14 476,07	63 593,16	77 571,87

Hechos, Conceptos y Principios



HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 1ª prueba"**

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	1713830,626	1713830,626	37,409	0,000
Fís. COU	1	170801,488	170801,488	3,728	0,056
GRUPO/Fís.COU	1	28264,577	28264,577	0,617	0,434
Error	95	4352266,690	45813,329		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "1ª prueba"* por Grupo y Fís.COU.

Fís.COU		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	9 280,33	50 431,80	59 408,69
	EXPERIMENTAL	8 627,75	32 689,09	40 676,83
TOTAL		17 433,82	82 532,21	99 517,03

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	600896,584	600896,584	14,718	0,001
Fís.COU	1	208757,888	208757,888	5,113	0,027
GRUPO/Fís.COU	1	10505,198	10505,198	0,257	0,613
Error	74	3021235,214	40827,503		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "2ª prueba"* por Grupo y Fís.COU.

Fís.COU		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	8 230,75	33 389,67	41 358,66
	EXPERIMENTAL	7 453,43	30 553,33	37 534,43
TOTAL		15 334,67	63 467,60	78 442,04

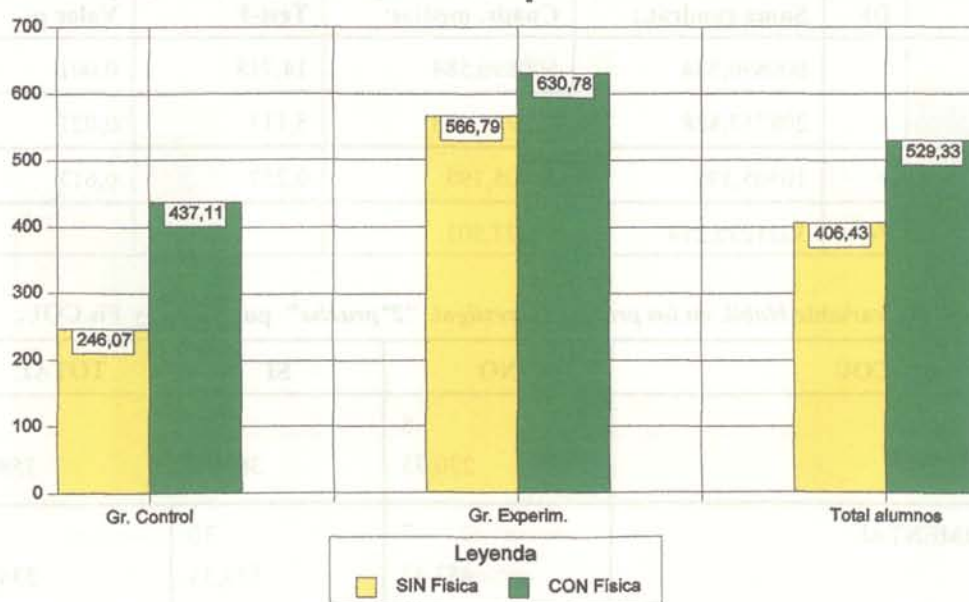
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	888486,104	888586,104	31,535	0,000
Fis.CO.U	1	187804,592	187804,592	6,666	0,012
GRUPO/Fis.CO.U	1	46195,428	46195,428	1,640	0,204
Error	73	2056730,863	28174,395		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "Total pruebas"* por Grupo y Fis.CO.U.

Fis.CO.U		NO	SI	TOTAL
GRUPO	CONTROL	7 246,07	33 437,11	40 403,68
	EXPERIMENTAL	7 566,79	30 630,78	37 618,68
TOTAL		14 406,43	63 529,33	77 506,99

Habil. Intel. en los procesos invest.



ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	155529,407	155529,407	4,216	0,043
Fís.CO.U	1	110486,981	110486,981	2,995	0,087
GRUPO/Fís.CO.U	1	933,510	933,510	0,025	0,874
Error	95	3504767,274	36892,287		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "1ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.U.

Fís.CO.U		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	9 322,22	50 403,50	59 391,10
	EXPERIMENTAL	8 393,75	32 491,41	40 471,88
TOTAL		17 355,88	82 437,80	99 423,74

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	160945,185	160945,185	3,022	0,086
Fís.CO.U	1	241010,759	241010,759	4,525	0,037
GRUPO/Fís.CO.U	1	72762,233	72762,233	1,366	0,246
Error	74	3941470,284	53263,112		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "2ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.U.

Fís.CO.U		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	8 284,38	33 498,18	41 456,46
	EXPERIMENTAL	7 500,00	30 558,50	37 547,43
TOTAL		15 385,00	63 526,90	78 499,62

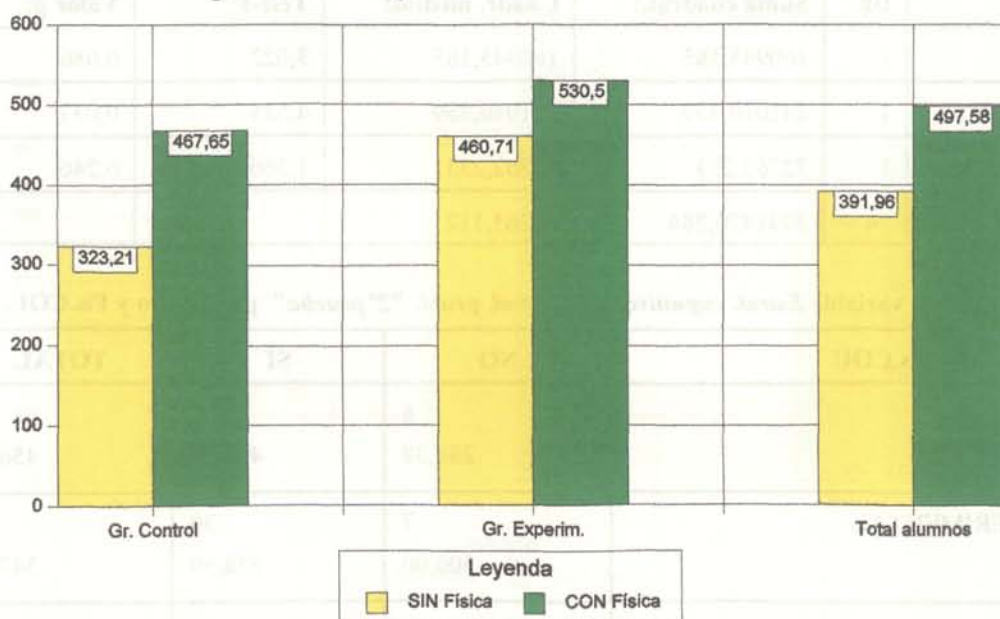
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	107892,973	107892,973	2,990	0,088
Fis.CO.U	1	132167,485	132167,485	3,662	0,060
GRUPO/Fis.CO.U	1	15952,020	15952,020	0,442	0,508
Error	73	2634597,100	36090,371		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "Total pruebas"* por Grupo y Fis.CO.U.

Fis.CO.U		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	7 323,21	33 467,65	40 442,38
	EXPERIMENTAL	7 460,71	30 530,50	37 517,30
TOTAL		14 391,96	63 497,58	77 478,38

Estrategias cognit. en resolución probl



RENDIMIENTO GLOBAL (CONCEPTOS + PROCESOS + PROBLEMAS)

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	447552,717	447552,717	21,589	0,000
Fís.CO.U	1	215015,953	215015,953	10,372	0,002
GRUPO/Fís.CO.U	1	7489,664	7489,664	0,361	0,549
Error	95	1969436,777	20730,913		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "1ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.U.

Fís.CO.U		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	9 310,11	50 455,09	59 432,97
	EXPERIMENTAL	8 491,13	32 589,71	40 569,99
TOTAL		17 395,29	82 507,62	99 488,33

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	283335,668	283335,668	8,849	0,004
Fís.CO.U	1	135985,899	135985,899	4,247	0,043
GRUPO/Fís.CO.U	1	373,302	373,302	0,012	0,914
Error	74	2369463,025	32019,771		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "2ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.U.

Fís.CO.U		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	8 364,08	33 475,24	41 453,55
	EXPERIMENTAL	7 493,14	30 593,18	37 574,25
TOTAL		15 424,31	63 531,40	78 510,81

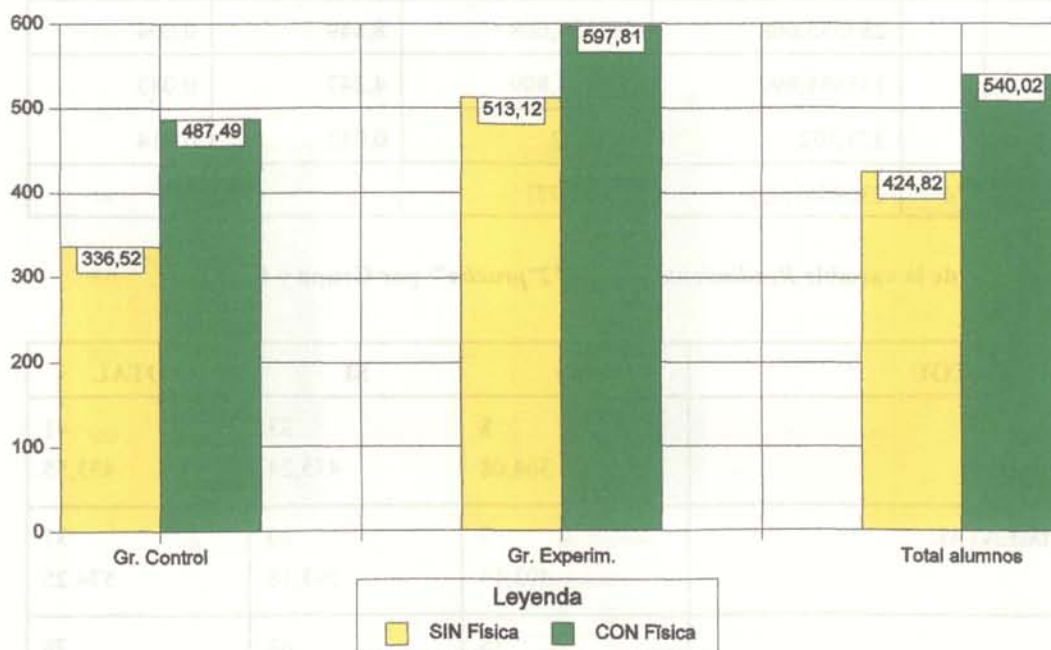
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	280058,487	280058,487	13,735	0,001
Fís.CO	1	159753,658	159753,658	7,835	0,007
GRUPO/Fís.CO	1	12576,626	12576,626	0,617	0,435
Error	73	1488429,040	20389,439		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "Total pruebas"* por Grupo y Fís.CO.

Fís.CO		VARON	HEMBRA	TOTAL
G R U P O	CONTROL	7 336,52	33 487,49	40 461,07
	EXPERIMENTAL	7 513,12	30 597,81	37 581,78
TOTAL		14 424,82	63 540,02	77 519,08

Rendimiento Global



CONCEPCIONES PREVIAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	219591,770	219591,770	5,455	0,022
Fís.CO.U	1	671567,365	671567,365	16,684	0,000
GRUPO/Fís.CO.U	1	10347,838	10347,838	0,257	0,613
Error	95	3823930,199	40251,897		

Resultados de la variable *Concepciones previas "1ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.U.

Fís.CO.U		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	9 79,33	50 323,02	59 285,85
	EXPERIMENTAL	8 230,50	32 419,66	40 381,83
TOTAL		17 150,47	82 360,73	99 324,63

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	756802,102	756802,102	11,481	0,001
Fís.CO.U	1	59931,233	59931,233	0,909	0,343
GRUPO/Fís.CO.U	1	203534,096	203534,096	3,088	0,083
Error	74	4877731,441	65915,290		

Resultados de la variable *Concepciones previas "2ª prueba"* por Grupo y Fís.CO.U.

Fís.CO.U		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	8 217,13	33 409,15	41 371,68
	EXPERIMENTAL	7 623,86	30 556,13	37 568,95
TOTAL		15 406,93	63 479,14	78 465,26

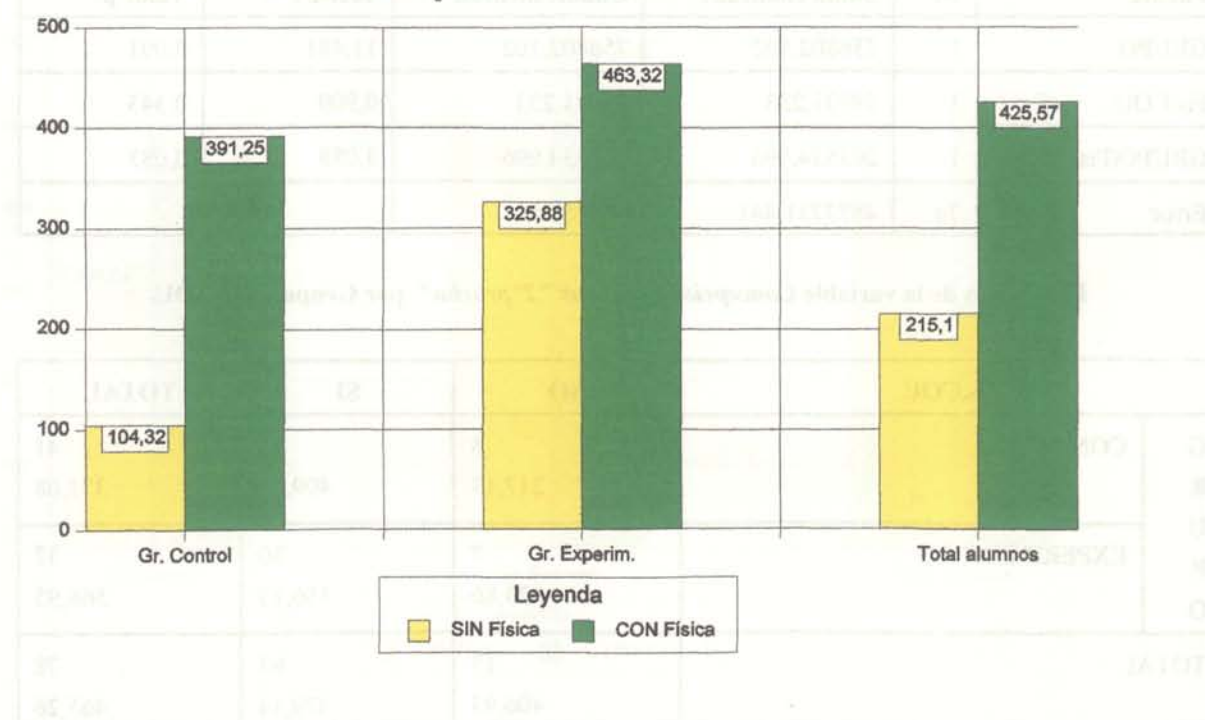
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. Total prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	178179,738	178179,738	4,725	0,033
Fís.CO	1	518703,691	518703,691	13,756	0,000
GRUPO/Fís.CO	1	63963,660	63963,660	1,696	0,197
Error	73	2752610,746	37706,997		

Resultados de la variable Rendimiento Global "Total pruebas" por Grupo y Fís.CO.

Fís.CO		NO	SI	TOTAL
G R U P O	CONTROL	7 104,32	33 391,25	40 341,04
	EXPERIMENTAL	7 325,88	30 463,32	37 437,32
TOTAL		14 215,10	63 425,57	77 387,30

Concepciones Previas



HECHOS, CONCEPTOS, PRINCIPIOS Y ESTRUCTURAS CONCEPTUALES

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	92097,512	92097,512	2,316	0,131
Factor G	2	220673,900	110336,950	2,775	0,068
GRUPO/Factor G	2	30289,254	15144,627	0,381	0,684
Error	93	3698368,990	39767,408		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "1ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	10 445,00	16 467,69	33 530,76	59 499,12
	EXPERIMENTAL	8 495,88	7 457,14	25 611,36	40 561,28
TOTAL		18 467,61	23 464,48	58 565,50	99 524,23

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	176840,083	176840,083	3,566	0,063
Factor G	2	44601,487	22300,743	0,450	0,640
GRUPO/Factor G	2	33845,865	16922,933	0,341	0,712
Error	72	3570420,411	49589,172		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "2ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	5 556,80	9 466,67	27 569,74	41 545,54
	EXPERIMENTAL	8 616,63	6 647,33	23 647,65	37 640,89
TOTAL		13 593,62	15 538,93	50 605,58	78 590,73

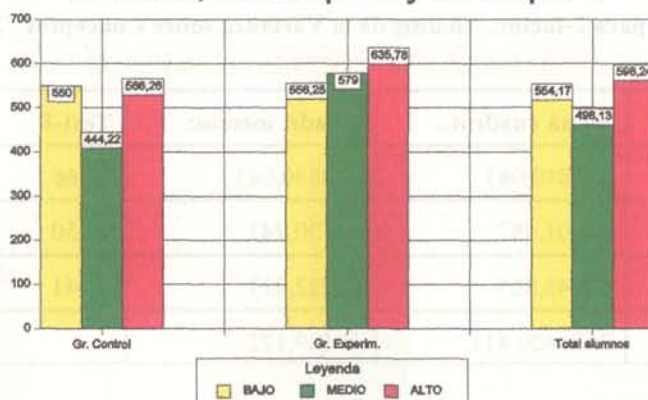
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	100204,224	100204,224	3,368	0,071
Factor G	2	119641,404	59820,702	2,010	0,141
GRUPO/Factor G	2	25770,920	12885,460	0,433	0,650
Error	71	2112596,154	29754,875		

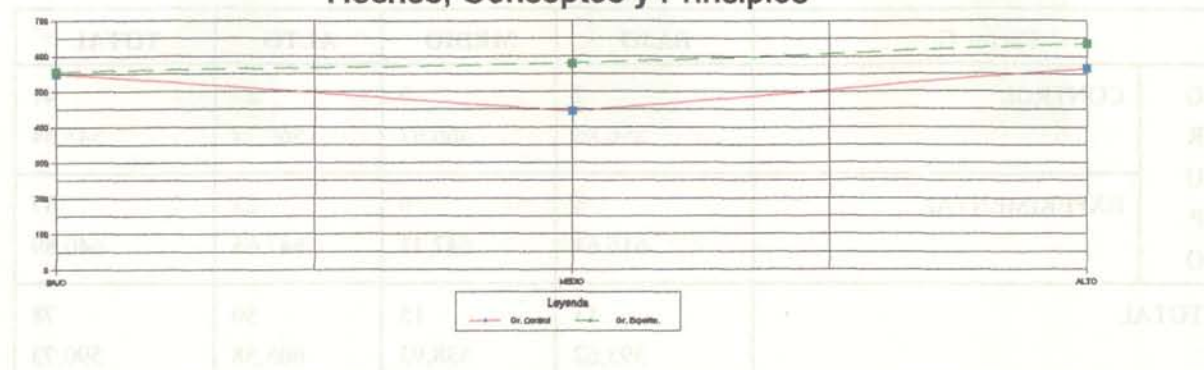
Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios* "Total pruebas" por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
GRUPO	CONTROL	4 550,00	9 444,22	27 566,26	40 537,17
	EXPERIMENTAL	8 556,25	6 579,00	23 635,78	37 598,24
TOTAL		12 554,17	15 498,13	50 598,24	77 571,87

Hechos, Conceptos y Principios



Hechos, Conceptos y Principios



HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 1ª prueba"**

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	1713830,626	1713830,626	39,117	0,000
Factor G	2	180945,030	90472,515	2,065	0,133
GRUPO/Factor G	2	295835,932	147917,966	3,376	0,038
Error	93	4074551,321	43812,380		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "1ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	10 336,80	16 296,38	33 484,94	59 408,69
	EXPERIMENTAL	8 710,38	7 715,86	25 655,16	40 676,83
TOTAL		18 502,83	23 424,04	58 558,31	99 517,03

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	600896,584	600896,584	13,688	0,001
Factor G	2	67498,579	33749,289	0,769	0,467
GRUPO/Factor G	2	12237,239	6118,619	0,139	0,870
Error	72	3160762,483	43899,479		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "2ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	5 317,20	9 335,78	27 373,96	41 358,66
	EXPERIMENTAL	8 457,88	6 561,67	23 553,96	37 534,43
TOTAL		13 403,77	15 426,13	50 456,76	78 442,04

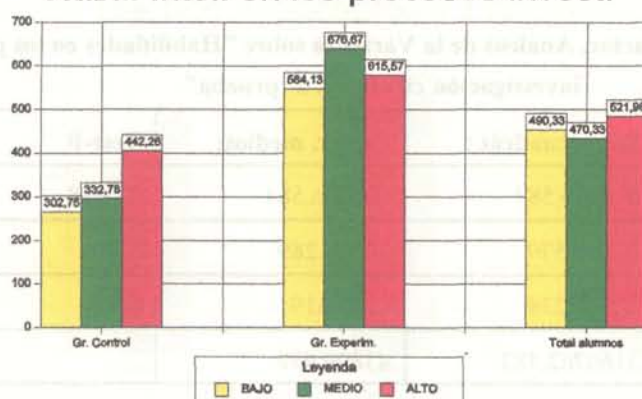
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	888486,104	888486,104	29,552	0,000
Factor G	2	63795,592	31897,7960	1,061	0,352
GRUPO/Factor G	2	92331,940	46165,970	1,536	0,222
Error	71	2134603,351	30064,836		

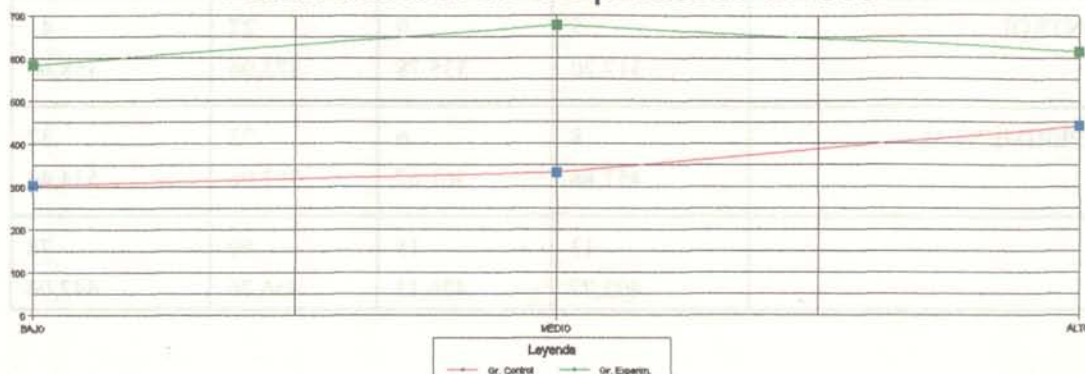
Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "Total pruebas"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	4 302,75	9 332,78	27 442,26	40 403,68
	EXPERIMENTAL	8 584,13	6 676,67	23 615,57	37 618,68
TOTAL		12 490,33	15 470,33	50 521,98	77 506,99

Habil. Intel. en los procesos invest.



Habil. Intelec. en los procesos invest.



ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	155529,407	155529,407	4,190	0,043
Factor G	2	100383,918	50191,959	1,352	0,264
GRUPO/Factor G	2	63325,363	31662,682	0,853	0,429
Error	93	3452478,483	37123,425		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "1ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
GRUPO	CONTROL	10 332,50	16 354,69	33 426,52	59 391,10
	EXPERIMENTAL	8 403,13	7 535,71	25 476,00	40 471,88
TOTAL		18 363,89	23 409,78	58 447,84	99 423,74

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	160945,185	160945,185	2,892	0,093
Factor G	2	55102,921	27551,460	0,495	0,612
GRUPO/Factor G	2	193496,032	96748,016	1,739	0,183
Error	72	4006644,324	55647,838		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "2ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
GRUPO	CONTROL	5 400,00	9 413,89	27 481,11	41 456,46
	EXPERIMENTAL	8 506,25	6 714,17	23 518,26	37 547,43
TOTAL		13 465,38	15 534,00	50 498,20	78 499,62

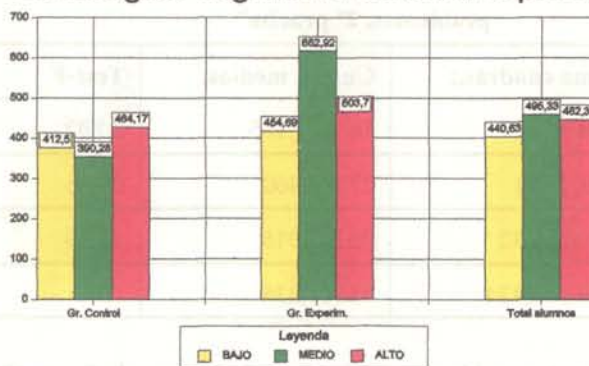
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	107892,973	107892,973	2,951	0,090
Factor G	2	42705,061	21352,530	0,584	0,560
GRUPO/Factor G	2	144084,442	72042,221	1,970	0,147
Error	71	2595927,102	36562,354		

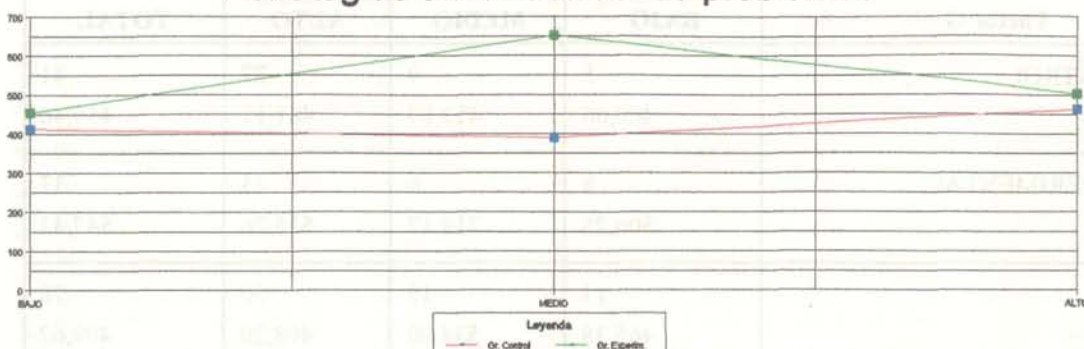
Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. prob. "Total pruebas"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
GRUPO	CONTROL	5 400,00	9 413,89	27 481,11	41 456,46
	EXPERIMENTAL	8 506,25	6 714,17	23 518,26	37 547,43
TOTAL		13 465,38	15 534,00	50 498,20	78 499,62

Estrategias cognit. en resolución probl



Estrategias en la resoluc. de problemas



RENDIMIENTO GLOBAL (CONCEPTOS + PROCESOS + PROBLEMAS)

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	447552,717	447552,717	20,717	0,000
Factor G	2	143133,289	71566,645	3,313	0,041
GRUPO/Factor G	2	39672,865	19836,433	0,918	0,403
Error	93	2009136,240	21603,615		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "1ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	10 371,43	16 372,92	33 480,84	59 432,97
	EXPERIMENTAL	8 536,46	7 569,57	25 580,84	40 569,99
TOTAL		18 444,78	23 432,77	58 523,89	99 488,33

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	283335,668	283335,668	8,417	0,005
Factor G	2	27615,200	13807,600	0,410	0,665
GRUPO/Factor G	2	54457,357	27228,678	0,809	0,449
Error	72	2423749,668	33663,190		

Resultados de la variable *Rendimiento Global "2ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	5 424,67	9 405,44	27 474,94	41 453,55
	EXPERIMENTAL	8 526,92	6 641,06	23 573,29	37 574,25
TOTAL		13 487,59	15 499,69	50 520,18	78 510,81

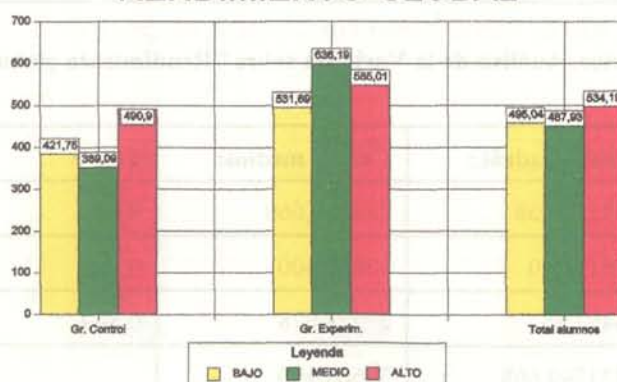
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO (A)	1	280058,487	280058,487	12,863	0,001
Factor G (B)	2	48801,404	24400,702	1,121	0,332
GRUPO/Factor G	2	66107,278	33053,639	1,518	0,226
Error	71	1545850,640	21772,544		

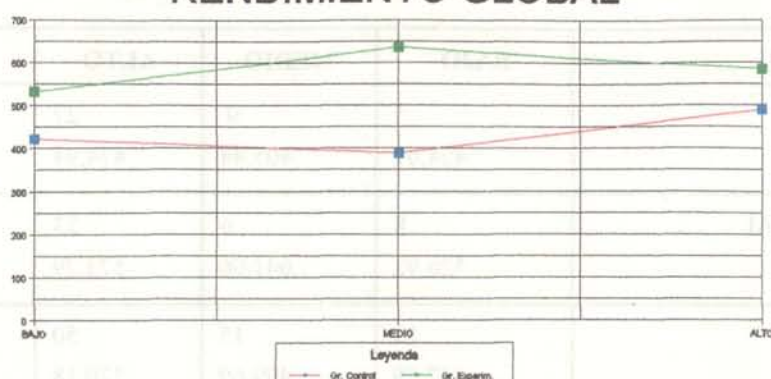
Resultados de la variable Rendimiento Global "Total pruebas" por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	4 421,75	9 389,09	27 490,90	40 461,07
	EXPERIMENTAL	8 531,69	6 636,19	23 585,01	37 581,78
TOTAL		12 495,04	15 487,93	50 534,19	77 519,08

RENDIMIENTO GLOBAL



RENDIMIENTO GLOBAL



CONCEPCIONES PREVIAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	219591,770	219591,770	4,688	0,033
Factor G	2	31313,243	15656,621	0,334	0,717
GRUPO/Factor G	2	118716,879	59358,440	1,267	0,286
Error	93	4355815,280	46836,723		

Resultados de la variable *Concepciones previas "1ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	10 184,30	16 306,69	33 306,52	59 285,85
	EXPERIMENTAL	8 425,25	7 343,00	25 378,80	40 381,83
TOTAL		18 291,39	23 317,74	58 337,67	99 324,63

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	756802,102	756802,102	11,068	0,001
Factor G	2	144067,021	72033,510	1,053	0,354
GRUPO/Factor G	2	73818,471	36909,236	0,540	0,585
Error	72	4923311,278	68379,323		

Resultados de la variable *Concepciones previas "2ª prueba"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	5 221,20	9 321,67	27 416,22	41 371,68
	EXPERIMENTAL	8 519,75	6 605,17	23 576,61	37 568,95
TOTAL		13 404,92	15 435,07	50 490,00	78 465,26

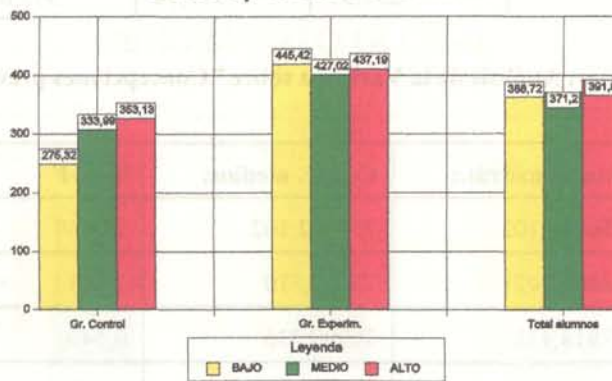
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO (A)	1	178179,738	178179,738	3,819	0,055
Factor G (B)	2	6465,256	3232,628	0,069	0,933
GRUPO/Factor G	2	16364,840	8182,420	0,175	0,839
Error	71	3312448,001	46654,197		

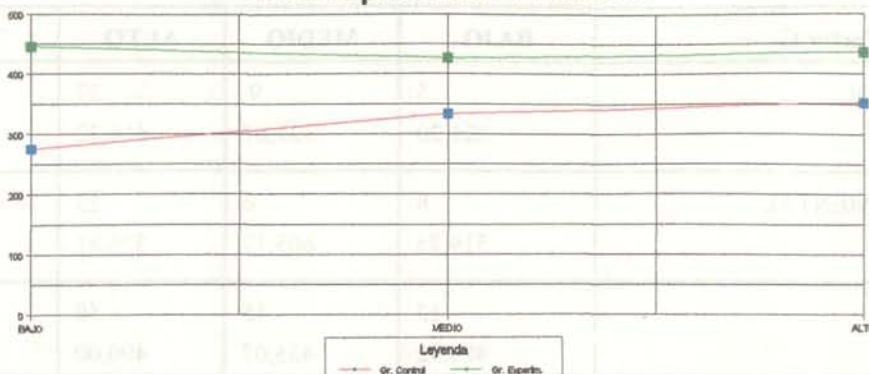
Resultados de la variable *Concepciones previas "Total pruebas"* por Grupo y Factor G.

Factor G		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
GRUPO	CONTROL	4 275,32	9 333,99	27 353,13	40 341,04
	EXPERIMENTAL	8 445,42	6 427,02	23 437,19	37 437,32
TOTAL		12 388,72	15 371,20	50 391,80	77 387,30

Concepciones Previas



Concepciones Previas



HECHOS, CONCEPTOS, PRINCIPIOS Y ESTRUCTURAS CONCEPTUALES**Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "1ª prueba"**

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	92097,512	92097,512	2,347	0,129
Raz. Mec.	2	158119,805	79059,902	2,015	0,139
GRUPO/Raz.Mec.	2	141466,198	70733,099	1,802	0,171
Error	93	3649746,142	39244,582		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "1ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	37 496,81	16 487,50	6 544,33	59 499,12
	EXPERIMENTAL	23 489,17	10 646,60	7 676,29	40 561,28
TOTAL		60 493,88	26 548,69	13 615,38	99 524,23

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	176840,083	176840,083	3,668	0,059
Raz. Mec.	2	25174,341	12587,171	0,261	0,771
GRUPO/Raz.Mec.	2	152426,594	76213,297	1,581	0,213
Error	72	3471266,827	48212,039		

Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios "2ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 551,38	13 506,46	4 637,50	41 545,54
	EXPERIMENTAL	21 601,48	10 734,90	6 622,17	37 640,89
TOTAL		45 574,76	23 605,78	10 628,30	78 590,73

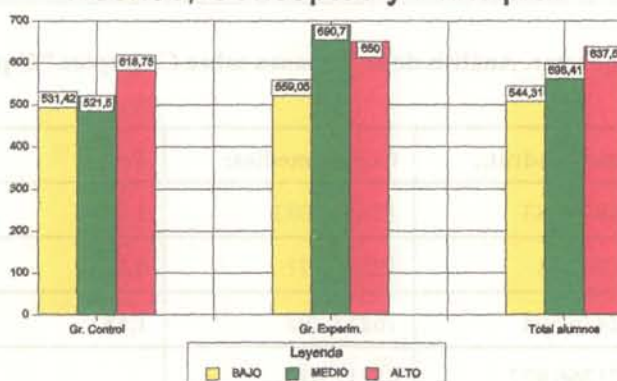
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre Conceptos "Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	100204,224	100204,224	3,390	0,070
Raz. Mec.	2	82243,043	41121,522	1,391	0,255
GRUPO/Raz.Mec.	2	77348,799	38674,399	1,309	0,277
Error	71	2098416,636	29555,164		

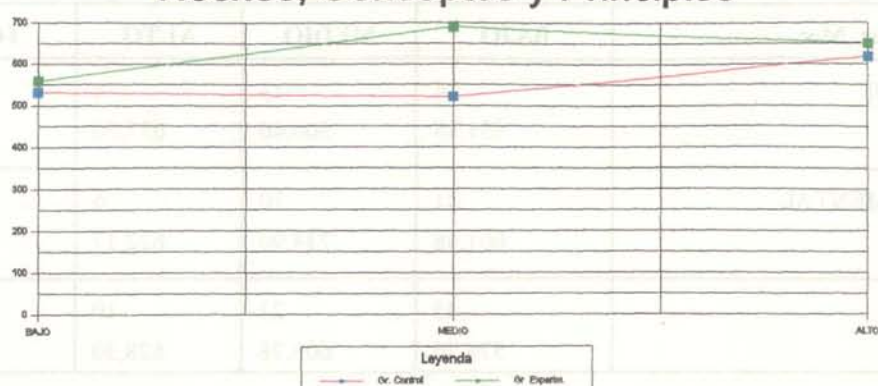
Resultados de la variable *Hechos, conceptos y principios* "Total pruebas" por Grupo y Raz. Mec.

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 531,42	12 521,50	4 618,75	40 537,17
	EXPERIMENTAL	21 559,05	10 690,70	6 650,00	37 609,38
TOTAL		45 544,31	22 598,41	10 637,50	77 571,87

Hechos, Conceptos y Principios



Hechos, Conceptos y Principios



HABILIDADES INTELECTUALES EN LOS PROCESOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	1713830,626	1713830,626	36,727	0,000
Raz. Mec.	2	82403,778	41201,889	0,883	0,417
GRUPO/Raz.Mec.	2	129163,003	64581,502	1,384	0,256
Error	93	4339765,502	46664,145		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "1ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	37 382,27	16 442,31	6 482,00	59 408,69
	EXPERIMENTAL	23 679,48	10 747,80	7 566,71	40 676,83
TOTAL		60 496,20	26 559,81	13 527,62	99 517,03

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	600896,584	600896,584	13,746	0,000
Raz. Mec.	2	50289,155	25144,577	0,575	0,565
GRUPO/Raz.Mec.	2	43694,001	21347,000	0,488	0,616
Error	72	3147515,145	43715,488		

Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "2ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 360,92	13 368,69	4 312,50	41 358,66
	EXPERIMENTAL	21 500,57	10 610,90	6 525,50	37 534,43
TOTAL		45 426,09	23 474,00	10 440,30	78 442,04

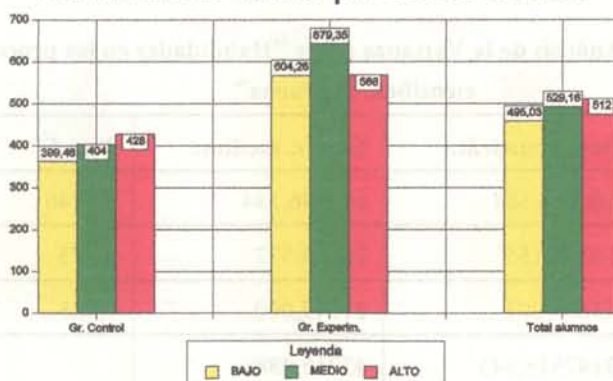
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Habilidades en los procesos de la investigación científica. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	888486,104	888486,104	28,271	0,000
Raz. Mec.	2	24913,258	12456,6290	0,396	0,674
GRUPO/Raz.Mec.	2	34466,333	17233,166	0,548	0,580
Error	71	2231351,293	31427,483		

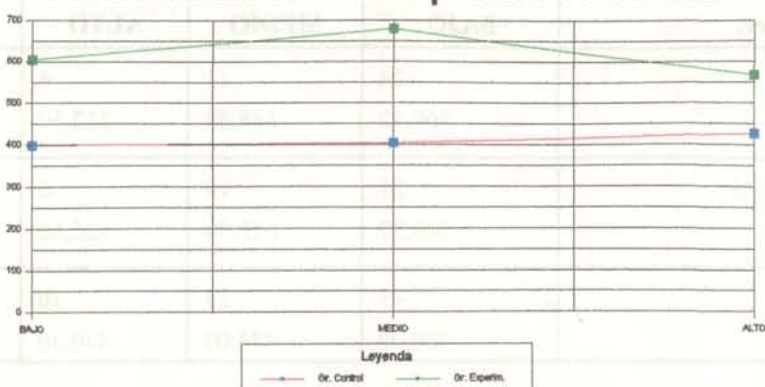
Resultados de la variable *Habil. en los procesos investigat. "Total pruebas"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 399,46	12 404,00	4 428,00	40 403,68
	EXPERIMENTAL	21 604,26	10 679,35	6 568,00	37 618,68
TOTAL		45 495,03	22 529,16	10 512,00	77 506,99

Habil. Intel. en los procesos invest.



Habil. Intelec. en los procesos invest.



ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	155529,407	155529,407	4,241	0,042
Raz. Mec.	2	99085,582	49542,791	1,351	0,264
GRUPO/Raz.Mec.	2	106852,582	53426,209	1,457	0,238
Error	93	3410249,764	36669,352		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "1ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	37 365,54	16 398,44	6 529,17	59 391,10
	EXPERIMENTAL	23 447,83	10 542,50	7 450,00	40 471,88
TOTAL		60 397,08	26 453,85	13 486,54	99 423,74

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	160945,185	160945,185	2,915	0,092
Raz. Mec.	2	74830,981	37415,490	0,678	0,511
GRUPO/Raz.Mec.	2	204951,563	102475,781	1,856	0,164
Error	72	3975460,733	55214,732		

Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "2ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 418,33	13 451,92	4 700,00	41 456,46
	EXPERIMENTAL	21 556,43	10 547,00	6 516,67	37 547,43
TOTAL		45 482,78	23 493,26	10 590,00	78 499,62

ESTRATEGIAS COGNITIVAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

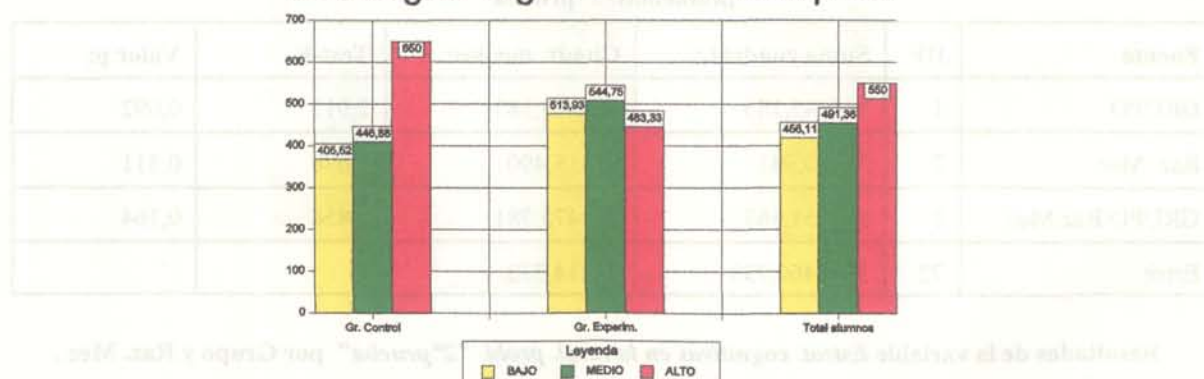
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Estrategias cognitivas en la resolución de problemas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	107892,973	107892,973	2,989	0,088
Raz. Mec.	2	64793,139	32396,570	0,898	0,412
GRUPO/Raz.Mec.	2	155176,062	77588,031	2,150	0,124
Error	71	2562747,403	36095,034		

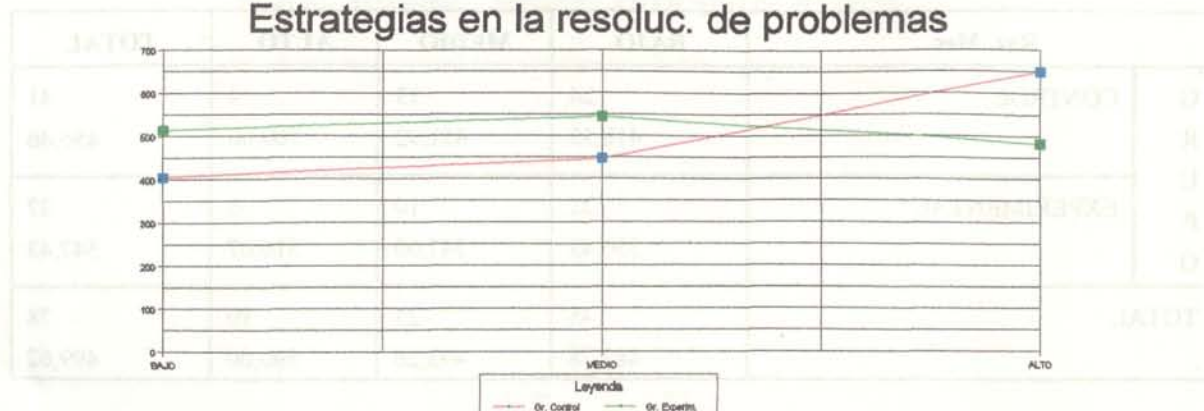
Resultados de la variable *Estrat. cognitivas en la resol. probl. "Total pruebas"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
GRUPO	CONTROL	24 405,52	12 466,88	4 650,00	40 442,38
	EXPERIMENTAL	21 513,93	10 544,75	6 483,33	37 517,30
TOTAL		45 456,11	22 491,36	10 550,00	77 478,38

Estrategias cognit. en resolución probl



Estrategias en la resoluc. de problemas



RENDIMIENTO GLOBAL (CONCEPTOS + PROCESOS + PROBLEMAS)**Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 1ª prueba"**

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	447552,717	447552,717	20,258	0,000
Raz. Mec.	2	81574,706	40787,353	1,846	0,164
GRUPO/Raz.Mec.	2	55744,818	27872,409	1,262	0,288
Error	93	2054622,871	22092,719		

Resultados de la variable Rendimiento Global "1ª prueba" por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	37 414,87	16 442,75	6 518,50	59 432,97
	EXPERIMENTAL	23 538,83	10 645,63	7 564,33	40 569,99
TOTAL		60 462,39	26 520,78	13 543,18	99 488,33

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global. 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	283335,668	283335,668	8,428	0,005
Raz. Mec.	2	25562,984	12781,914	0,888	0,416
GRUPO/Raz.Mec.	2	59723,828	29861,914	0,380	0,685
Error	72	2420535,413	33618,547		

Resultados de la variable Rendimiento Global "2ª prueba" por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 443,54	13 442,36	4 550,00	41 453,55
	EXPERIMENTAL	21 552,83	10 630,93	6 554,78	37 574,25
TOTAL		45 494,54	23 524,35	10 552,87	78 510,81

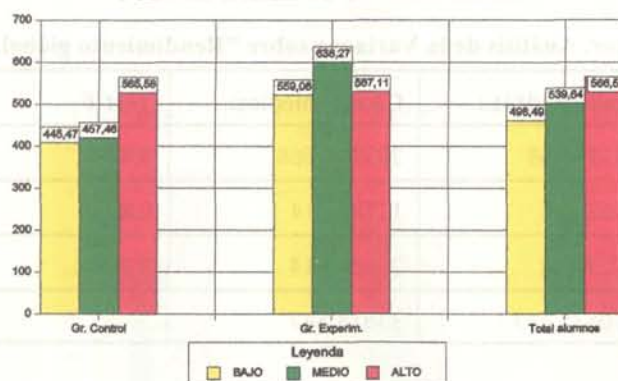
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Rendimiento global.Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	280058,487	280058,487	12,689	0,001
Raz. Mec.	2	39432,353	19716,177	0,893	0,414
GRUPO/Raz.Mec.	2	54280,687	27140,343	3,387	0,008
Error	71	1567046,283	22071,074		

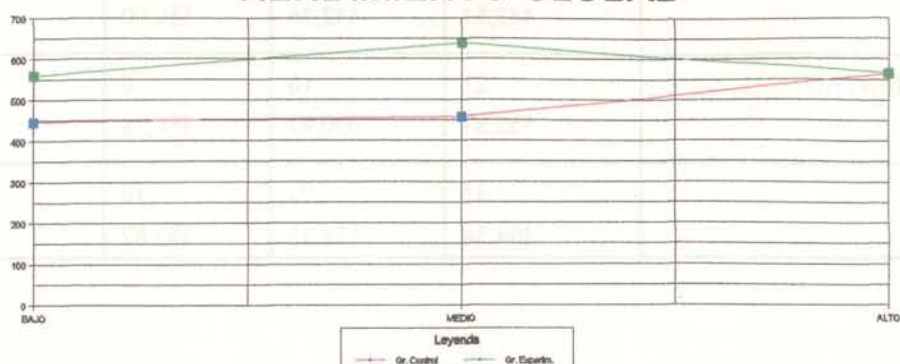
Resultados de la variable *Rendimiento Global "Total pruebas"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 445,47	12 457,46	4 565,58	40 461,07
	EXPERIMENTAL	21 559,08	10 638,27	6 567,11	37 581,78
TOTAL		45 498,49	22 539,64	10 566,50	77 519,08

RENDIMIENTO GLOBAL



RENDIMIENTO GLOBAL



CONCEPCIONES PREVIAS

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. 1ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	219591,770	219591,770	4,900	0,029
Raz. Mec.	2	193153,603	96576,802	2,155	0,122
GRUPO/Raz.Mec.	2	144671,055	72335,528	1,614	0,205
Error	93	4168020,744	44817,427		

Resultados de la variable *Concepciones previas "1ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	37 263,35	16 312,06	6 354,67	59 285,85
	EXPERIMENTAL	23 336,09	10 526,50	7 325,43	40 381,83
TOTAL		60 291,23	26 394,54	13 338,92	99 324,63

Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas 2ª prueba"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	756802,102	756802,102	10,938	0,001
Raz. Mec.	2	115541,258	57770,629	0,835	0,438
GRUPO/Raz.Mec.	2	44131,854	22065,927	0,319	0,728
Error	72	4981523,658	69187,829		

Resultados de la variable *Concepciones previas "2ª prueba"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 362,96	13 366,54	4 440,75	41 371,68
	EXPERIMENTAL	21 516,29	10 626,20	6 657,83	37 568,95
TOTAL		45 434,51	23 479,43	10 571,00	78 465,26

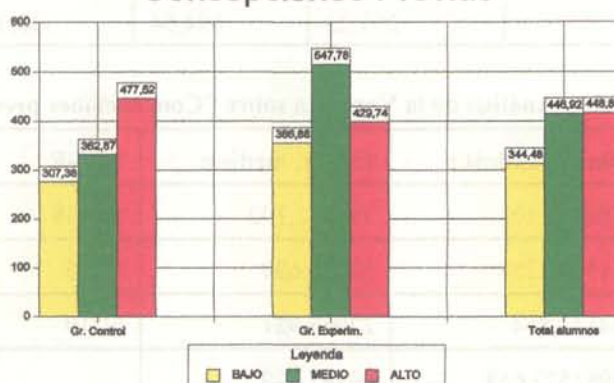
Tabla ANOVA para 2-factor. Análisis de la Varianza sobre "Concepciones previas. Total pruebas"

Fuente	DF	Suma cuadrát.:	Cuadr. medios:	Test-F	Valor p:
GRUPO	1	178179,738	178179,738	4,145	0,045
Raz. Mec.	2	187530,765	93765,382	2,181	0,120
GRUPO/Raz.Mec.	2	95675,493	47837,746	1,113	0,334
Error	71	3052071,839	42986,927		

Resultados de la variable *Concepciones previas "Total pruebas"* por Grupo y Raz. Mec..

Raz. Mec.		BAJO	MEDIO	ALTO	TOTAL
G R U P O	CONTROL	24 307,38	12 362,87	4 477,52	40 341,04
	EXPERIMENTAL	21 386,88	10 547,78	6 429,74	37 437,32
TOTAL		45 344,48	22 446,92	10 448,85	77 387,30

Concepciones Previas



Concepciones Previas

