

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

DEPARTAMENTO DE FISICA

DISEÑO, EXPERIMENTACION Y EVALUACION DE UN METODO  
MULTIMEDIA PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA MEDIANTE  
UNIDADES INTEGRADAS.

23

LA LAGUNA, JUNIO 1980

MEMORIA PRESENTADA POR PEDRO  
PEREZ FERNANDEZ PARA OPTAR AL  
GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS FI-  
SICAS.-

Hago constar mi agradecimiento a aquellas personas e instituciones cuya colaboración ha posibilitado la realización de esta investigación.

En primer lugar al doctor Francisco Rubio Royo, excelente propulsor en nuestro país de la investigación metodológica en la enseñanza de la Física, que se interesó constantemente en mis investigaciones y cuya crítica y juicios certeros han sido de inestimable utilidad en el planteamiento y desarrollo de este trabajo.

Al doctor Vicente Quesada Palomo, cuyos consejos en lo referente a la estrategia estadística a utilizar, me han sido de gran utilidad.

A mis colegas del Instituto de Instrumentación Didáctica del C.S.I.C., doctora M<sup>a</sup> Angeles Mata Bilbao, doctor Angel Ibarra Gimeno; titulados técnicos señores Moreno Rebollo y Taltavull Escalante, que colaboraron en la aplicación de nuestras Unidades Integradas de Física y en las correcciones de los tests utilizados. Asimismo a nuestros proyectistas señores Angel Gomis y Salvador Remón.

Mi agradecimiento al doctor Fernando Gómez Herrera, jefe del programa de Tecnología Educativa del I.N.C.I.E., por su colaboración en las películas utilizadas en nuestro trabajo.

Finalmente, mi reconocimiento para el Centro de Estudios Universitarios (C.E.U.) de Madrid al poner a mi disposición los alumnos con los que experimentamos nuestro método. Igualmente al profesor de dicho Centro D. Ramón Hernández Verduco, cuya colaboración y apoyo fue muy importante a lo largo de la investigación.

La Laguna, Junio de 1980.

## I N D I C E

RESUMEN

0-VII

<b>CAPITULO I - <u>LA INVESTIGACION EN DIDACTICA DE LAS CIENCIAS Y LA ENSEÑANZA DE LA FISICA.</u></b>	<b>1</b>
1.1- La enseñanza de la Ciencia y la Investigación Científica.	2
1.1.1- El proceso cognoscitivo en la enseñanza de la Ciencia.	4
1.2- Crítica de los métodos tradicionales de enseñanza de las Ciencias.	5
1.3- La Investigación en Didáctica de las Ciencias.	6
1.3.1- Problemática general de esta investigación.	7
1.3.1.1- Interdisciplinariedad en metodología de la enseñanza de la Ciencia.	9
1.3.2- Dinámica de la investigación.	12
1.3.2.1- Enfoque de la investigación didáctica.	12
1.3.2.2- Métodos o estrategias utilizadas en la investigación didáctica.	13
1.4- La Investigación referida al empleo de medios didácticos.	15
1.5- Tendencias modernas en la enseñanza de la Física.	18
<b>CAPITULO II - <u>LOS METODOS MULTIMEDIA.</u></b>	
2.1- Fundamento de los métodos multimedia.	23
2.2- Características de los métodos multimedia.	24
2.3- Los métodos multimedia en la enseñanza de Física: Proyectos.	26
2.3.1- Método PSSC.	28
2.3.2- Harvard Project Physics. (H.P.P.)	31
2.3.3- Proyectos Nuffield.	34
2.3.4- Proyecto Piloto UNESCO: Física de la luz.	36
2.4- Método propuesto para la enseñanza de la Física: "Unidades Integradas" (U.I).	40

2.4.1-	Supuestos psicopedagógicos del método.	41
2.4.2-	Descripción del método.	42
2.4.2.1-	Características estructurales.	42
2.4.2.2-	Contenido y dinámica de la "Unidad Integrada".	43
2.4.3-	Selección de contenidos y composición de las Unidades Integradas a aplicar en esta investigación.	46
2.4.3.1-	<u>Unidad 1</u> "Mecánica: conservación"	47
2.4.3.1.1-	Medida de pequeñas distancias.	47
2.4.3.1.2-	Velocidad y aceleración.	51
2.4.3.1.3-	Movimiento de caída libre.	54
2.4.3.1.4-	Leyes de Newton.	57
2.4.3.1.5-	Movimiento de proyectiles.	60
2.4.3.1.6-	Conservación: estudio vectorial.	64
2.4.3.2-	<u>Unidad 2</u> "Electromagnetismo".	47
2.4.3.2.1-	Experiencia de Oersted (película).	70
2.4.3.2.2-	Campo creado por conductor rectilíneo.	72
2.4.3.2.3-	Campo magnético (película).	78
2.4.3.2.4-	Campo creado por conductor cerrado.	78
2.4.3.2.5-	Campo en el interior de un solenoide.	81
2.4.3.2.6-	Determinación de la masa del electrón.	84
CAPITULO III - <u>EL METODO Y EL COMPORTAMIENTO INTELECTIVO.</u>		89
3.1-	Influencia del método sobre el intelecto de los alumnos.	90
3.1.1-	Naturaleza de la inteligencia.	91
3.1.1.1-	Evaluación de la inteligencia.	92
3.1.1.2-	Los tests de inteligencia.	92
3.1.1.3-	El test AMPE utilizado.	97
3.1.2-	Relación entre la frecuencia de las evaluaciones y el rendimiento del alumno.	98
3.1.3-	El comportamiento intelectual y el aprendizaje según la teoría de J. Piaget.	99
3.1.4-	Evaluación en este método.	103

3.2- Influencia del método sobre el pensamiento científico de los alumnos.	105
3.2.1- Taxonomía de los objetivos.	106
3.2.1.1- Taxonomías de carácter científico.	110
3.2.2- Selección de la Taxonomía utilizada en las U.I.	111
3.2.2.1- Identificación de actividades intelectivas en las U.I.	119
3.2.2.2- Contenido y distribución de las actividades intelectivas.	126
3.3- Correlación entre el desarrollo del intelecto y el pensamiento científico a través del método.	129
3.4- Aplicación del método.	129
3.4.1- Control de efectos implicados.	129
3.4.2- Grupo experimental y de control.	130
3.4.3- Aplicación de las pruebas.	132
3.5- Resultados experimentales obtenidos.	134
3.5.1- Resultados en el test AMPE.	134
3.5.2- Resultados en las Unidades Integradas.	137
<u>CAPITULO IV - ELABORACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES. (I)</u>	139
4.1- Criterios estadísticos.	140
4.2- Elaboración, análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el test AMPE.	144
4.2.1- Comparabilidad entre el grupo experimental A y el de control B.	144
4.2.2- Determinación de progresos en los resultados obtenidos por los grupos A y B en el test AMPE.	146
4.2.2.1- Determinación de diferencias de progresos entre los grupos A y B en el test AMPE <sub>1</sub> y AMPE <sub>2</sub> .	149
4.2.3- Determinación de progresos en los factores V.E.R.N.F. del AMPE para el grupo A y B.	151
4.2.4- Correlaciones entre el AMPE y la calificación final N <sub>FA</sub> y N <sub>FB</sub> del curso académico para ambos grupos A y B.	152

<b>CAPITULO V - <u>ELABORACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.</u> (II</b>	<b>158</b>
5.1- Elaboración, análisis e interpretación de los resultados obtenidos en las Unidades Integradas.	159
5.1.1- Eficacia del método en las variables taxonómicas.	159
5.1.2- Eficacia del método en las experiencias.	160
5.2- Correlaciones entre los resultados en el test AMPE y los obtenidos en las Unidades Integradas.	164
5.2.1- Correlación entre los resultados obtenidos en las Unidades Integradas y los obtenidos en el test AMPE <sub>2</sub> referidas al conjunto de alumnos del grupo A que no disminuyeron sus resultados en dicho test.	165
5.2.2- Correlaciones entre los factores V.E.R.N.F. del test AMPE <sub>1</sub> y AMPE <sub>2</sub> pasado a principio y final del curso y los resultados totales obtenidos en las Unidades Integradas.	167
<b>CAPITULO VI - <u>CONCLUSIONES Y PRINCIPALES APORTACIONES.</u></b>	<b>171</b>
6.1- Conclusiones.	172
6.2- Principales aportaciones.	174
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	176
ANEXOS.	183

## R E S U M E N

Esta investigación tiene como objetivo próximo verificar que el método de enseñanza de Física mediante "Unidades Integradas", consistente en una integración de medios, incluyendo la evaluación, contribuye positivamente el desarrollo de aptitudes mentales primarias y asimismo al pensamiento científico y aprendizaje de Física. Y como objetivo remoto contribuir al soporte teórico y práctico del desarrollo y posterior aplicación de dichas Unidades.

Nuestro trabajo se ha llevado a cabo con alumnos del curso primero de Universidad. Por ello, tanto la aplicación del método como sus resultados quedan referidos a dicho tipo de alumnos y nivel académico.

Hemos partido pues del supuesto de que el método multimedia de enseñanza de Física mediante Unidades Integradas que incluye como parte de él la evaluación instantánea (in situ), contribuye positivamente:

- a) Al desarrollo de aptitudes mentales primarias.
- b) Al incremento de la capacidad de pensamiento científico.
- c) A un mejor aprendizaje en Física.

- En lo que respecta al punto a se ha señalado la imposibilidad de evaluar la influencia que un determinado método de enseñanza de Física puede producir en el pensamiento científico del alumno, ya que ello conlleva la posterior recuperación, en el futuro, del grupo experimental, cosa inviable casi siempre. De ahí la importancia, a nuestro juicio, de contrastar los cambios significativos que el mé

## I

todo de enseñanza de Física produce en las variables de aptitudes mentales primarias del test AMPE de inteligencia , pasado a los alumnos al principio y al final del curso, ya que los cambios en el test, caso de producirse, no retrogradan con el transcurso del tiempo, al menos hasta determinadas edades.

Habiendo pasado el citado test de inteligencia al principio y al final del método constatamos que se han producido cambios positivos significativos en las puntuaciones del grupo experimental A entre las dos pruebas AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> y asimismo que en el caso del grupo de control B no se producen cambios significativos.

Como ambos grupos demostramos que son estadísticamente comparables y han tenido análogo tratamiento en las clases teóricas en el Centro de Estudios Universitarios donde cursaron sus estudios, y no siendo significativa la diferencia de medios de las notas finales del curso, atribuimos la diferencia de resultados en el test a que mientras el grupo de control B hizo sus enseñanzas experimentales clásicas, el grupo experimental A siguió durante un tiempo análogo nuestro método de enseñanza de Física.

Por otro lado habiéndose comprobado estadísticamente progresos significativos del grupo experimental A cabe preguntarse ¿Cuáles son las modificaciones producidas en los cinco factores V-E-R-N-F del test? y ¿ Son significativas dichas modificaciones?.

Referente a estas cuestiones hemos averiguado que en el grupo A tienen incrementos significativos los factores V, E y R, no encontrándose aumentos significativos en los otros factores N y F. En el caso del grupo de control B no se advierten aumentos significativos en ninguno de los factores del test. En ambos casos parece producirse,

## II

aunque más marcadamente en el grupo B, una redistribución de los valores de los factores a costa del factor numérico N y más concretamente del factor fluidez verbal F.

Nos pareció conveniente también, a fin de completar y apoyar las conclusiones anteriores, realizar un estudio de correlaciones entre los resultados de ambos grupos A y B en el test AMPE y el rendimiento académico de los alumnos a través de las calificaciones finales obtenidas en el Centro de Estudios Universitarios donde cursaron sus estudios.

Para ello calculamos los correspondientes coeficientes de correlación, cuyos valores y conclusiones se muestran a continuación:

- Correlación en el grupo experimental A entre la nota final  $N_F^A$  de curso y el resultado obtenido en el test AMPE<sub>2</sub> pasado al final del curso:  $r_{N_F^A}^{2A} = 0,42$  que representa una correlación significativa de valor moderado.
- Correlación en el grupo de control B entre la nota final  $N_F^B$  de curso y el resultado obtenido en el test AMPE<sub>2</sub> pasado al final del curso:  $r_{N_F^B}^{2B} = - 0,03$  que representa una correlación prácticamente nula.
- Correlación en el grupo experimental A entre la nota final  $N_F^A$  de curso y el resultado obtenido en el test AMPE<sub>1</sub> pasado al comienzo del curso:  $r_{N_F^A}^{1A} = 0,61$  que indica una correlación significativa bastante marcada.
- Correlación en el grupo de control B entre la nota final  $N_F^B$  de curso y el resultado obtenido en el test AMPE<sub>1</sub> pasado al principio del curso:  $r_{N_F^B}^{1B} = 0,10$  que indi-

### III

ca correlación bajísima.

Comparando los resultados obtenidos por el grupo experimental A se observa una disminución de la correlación entre el principio y final del curso.

Hemos propuesto como explicación de esta circunstancia que cuando los alumnos del grupo experimental A llegaron al final del curso académico no solo habían ido incrementando sus aptitudes mentales primarias, sino que a su vez se había ido generando un desajuste entre dichas aptitudes mentales y el método clásico de enseñanza en que fueron evaluados, siendo éste realmente el motivador del desajuste, ya que como hemos demostrado los resultados obtenidos en el test AMPE tuvieron progresos pero se mantuvo entre las dos pruebas del citado test una muy significativa correlación cuyo valor fue el  $r_{A}^{\frac{AMPE_1}{AMPE_2}} = 0,68$

Análogamente para el caso del grupo de control B encontramos para la correlación entre el test AMPE<sub>1</sub> y

$r_{B}^{\frac{AMPE_1}{AMPE_2}} = 0,73$  que comparando con el anterior valor 0,68 obtenido para el grupo experimental A y teniendo en cuenta los valores calculados para "z", deducimos que en aptitudes mentales primarias se han producido más cambios positivos en el grupo A que en el B.

- En relación con el punto b hemos interpretado la ganancia significativa de resultados por el grupo A entre las dos pruebas AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> como una ganancia significativa de aptitudes mentales primarias que debe traducirse en un incremento de la capacidad intelectual. Siendo dichas aptitudes irreversibles, inferimos que con el método multimedia de Unidades Integradas se posibilitan cambios positivos permanentes en la capacidad pensante y por tanto un

#### IV

aporte permanente a la capacidad de pensamiento científico.

Para determinar esto hemos procedido controlando en el grupo experimental la eficacia del método en la capacidad intelectual juzgada a través de la conducta taxonómica y asimilada a ella como ente operativo. Del análisis de los resultados obtenidos deducimos que el método es menos efectivo en "Habilidad de manipulación" (simple y compleja) y "Conocimiento" con el 41,38% y 42,81% de éxito respectivamente.

En el resto de las variables taxonómicas la eficacia fue superior al 61%. Concretamente:

En "Comprensión"	61,04%
"Extrapolación"	62,67%
"Análisis"	70,38%
"Síntesis"	81,80%
"Evaluación"	86,71%

Refiriéndose el porcentaje de éxito en el grupo al valor medio obtenido por el grupo en cada conducta taxonómica tomando como índice 100 la máxima puntuación posible en cada una de dichas conductas.

- En cuanto al punto c, referente a un mejor aprendizaje en Física una vez determinado el rendimiento del grupo en porcentaje referido a la puntuación máxima posible en cada experiencia durante el desarrollo de ellas, se deduce del estudio de los resultados que excepto en la primera experiencia (cuyo resultado medio de éxito por parte del grupo es del 47,61%) en los restantes resultados superaron en el grupo el 54,71%. Concretamente:

Nº Exp	1	2	3	4	5	6
Exito %	47,61	54,71	57,43	65,86	67,83	72,18
sigue						
Nº Exp	7	8	9	10	11	12
Exito %	68,72	71,96	59,68	76,33	75,94	78,62

Desde la experiencia 1 a 6 los progresos son más acentuados. De la 6 a 12, continúan aunque más estabilizados.

Examinando los resultados por alumnos: (N = 42)

Exitos %	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Nº alumnos	35	32	31	27	20	11	10	6	1

donde se contempla el número de ellos que han sobrepasado un determinado porcentaje de la puntuación máxima posible referida al resultado global de todas las experiencias.

Resulta pues que sólo 7 alumnos están por debajo del 50% de la puntuación máxima posible en el método. El resto, o sea 35 alumnos, están sobre el citado 50%. Concretamente 20 alumnos sobrepasaron el 70% de éxitos, lo cual representa que casi la mitad de ellos superaron dicha cota.

De todo lo anterior se desprende la efectividad del método en el aprendizaje de la Física.

Otro aspecto a destacar es el siguiente: Asimismo se ha realizado en este trabajo un estudio de correlaciones entre los resultados Pt obtenidos por el grupo experimental con nuestro método de enseñanza de Física y los obtenidos por el grupo en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado al principio y final del curso, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

## VI

- Correlación entre Pt y AMPE<sub>1</sub>. Se obtiene  $r_{A1}^{Pt} = 0,36$
- Correlación entre Pt y AMPE<sub>2</sub>. Se obtiene  $r_{A2}^{Pt} = 0,71$

De donde se deduce un aumento de correlación muy notable entre el método y el test, desde el principio al final del curso.

Para complementar los datos anteriores hemos llevado a cabo un estudio de correlaciones entre las puntuaciones totales Pt en el método y los valores de los factores V-E-R-N-F del test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>. De él se desprende la existencia de un incremento significativo de dichas correlaciones entre el comienzo y el final del curso, a excepción del factor R.

Ello parece mostrar una adaptación entre el método y las aptitudes mentales primarias.

Hacemos notar aquí que la correlación no significativa del factor R, entra de lleno en la problemática referente a dicho factor que cita parte de la literatura científica al destacar la baja correlación que aparece entre dicho factor y determinadas variables intelectivas o incluso con los resultados académicos. Cabe además tener presente, según se indica posteriormente, que en lo referente a la eficacia del comportamiento inteligente general, el predominio o no de una determinada aptitud intelectual puede tener relativamente poca influencia.

En el aspecto concretamente psicológico y como explicación del efecto positivo del método, creemos que éste puede ser inscrito en el modelo de desarrollo intelectual propuesto por J. Piaget, ya que al comprender una serie de secuencias de aprendizaje basadas a su vez en un conjunto sistemático de actividades del alumno reguladas por un sistema de preguntas-respuestas, ello hace que es-

## VII

tos escalones intelectivos puedan facilitar en cada acto pensante la preparación de cada estructura mental previa necesaria para que, de acuerdo con la citada teoría operativa de la inteligencia de Piaget, el estímulo (cuestión propuesta) pueda ser correctamente asimilado por la estructura mental receptora y como consecuencia se genere la respuesta correcta. Por otro lado, de acuerdo con las teorías de Piaget, el método multimedia de Unidades Integradas es un método activo que contiene elementos teóricos y experimentales (lógico-matemáticos y manipulativos) que posibilita al alumno tanto acciones de razonamiento concreto propias del estadio de estructuras mentales operacionales concretas, como asimismo acciones de razonamiento abstracto pertenecientes al estadio operacional formal, dándose estas actividades durante todo el transcurso del aprendizaje, con lo cual se ofrecen posibilidades de acción y desarrollo a ambos tipos de intelecto.

## CAPITULO I

### LA INVESTIGACION EN DIDACTICA DE LAS CIENCIAS Y LA ENSEÑANZA DE LA FISICA.

- 1.1- La enseñanza de la Ciencia y la Investigación Científica.
  - 1.1.1- El proceso cognoscitivo en la enseñanza de la Ciencia.
- 1.2- Crítica de los métodos tradicionales de enseñanza de las Ciencias.
- 1.3- La Investigación en Didáctica de las Ciencias.
  - 1.3.1- Problemática general de esta investigación
    - 1.3.1.1- Interdisciplinariedad en metodología de la enseñanza de la Ciencia.
  - 1.3.2- Dinámica de la investigación.
    - 1.3.2.1- Enfoque de la investigación didáctica.
    - 1.3.2.2- Métodos o estrategias utilizadas en la investigación didáctica.
- 1.4- La Investigación referida al empleo de medios didácticos.
- 1.5- Tendencias modernas en la enseñanza de la Física.

### 1.1- La Enseñanza de la Ciencia y la Investigación Científica.

Durante la segunda mitad del siglo XX, la situación de la Ciencia ha sido tal, que consideraciones fundamentalmente políticas y sociológicas sobre los cambios que ella estaba teniendo en su extensión y naturaleza, han venido provocando una revisión de los objetivos, métodos y medios en la enseñanza de dicha Ciencia. (1)

Además, se venía observando que el avance de la Ciencia y de la Tecnología no era acompañado por un desarrollo paralelo de la metodología y de las enseñanzas correspondientes, constatándose un claro desfase entre la Ciencia tal como la concibe el científico y la que se enseña. (2)

Por esta causa, se está en situación de concretar nuevas proposiciones psicopedagógicas y didácticas; se han propuesto, a todos los niveles, nuevas orientaciones en la enseñanza de la Física, basadas en la obtención de un mejor y más activo aprendizaje. De esta forma se pueden proporcionar, al estudiante, conocimientos más formativos, que desarrollen en él aptitudes trascendentes sobre hechos científicos verdaderamente fundamentales, sobre la comprensión de la investigación científica y, en definitiva, sobre el aspecto dinámico de la "empresa científica".

Ahora bien, esta tarea no es simple, ya que se sabe todavía muy poco del método científico y de los complejos actos de pensar y aprender (3). Hay que tener en cuenta, que la capacidad de un científico para desarrollar una investigación, no implica necesariamente que sea capaz de describir el camino intelectual que ha utilizado. Por estos motivos, se han establecido diferentes criterios sobre métodos intelectuales utilizados por los investigadores.

Hay en concreto, dos hechos fundamentales que actualmente caracterizan la Ciencia y condicionan su enseñanza:

a) La Ciencia y sus aplicaciones han llegado a tener una influencia decisiva en nuestra presente civilización. Como consecuencia, uno de los objetivos de la enseñanza de la Ciencia es la culturización científica de los ciudadanos.

b) Por otro lado, la acumulación progresiva de los conocimientos está generando lo que se ha venido en llamar "crisis de la información". Este hecho puede inscribirse en el campo de la enseñanza de la Ciencia a través de dos criterios:

- Según consideraciones estadísticas (4) el aumento de conocimientos es exponencial, y se duplica aproximadamente cada 10 o 15 años (5). Los jóvenes que ahora estudian serán adultos antes del año 2000, ¿qué conocimientos científicos estarán aún vigentes entonces? ¿Por qué no enseñar pues, aquellos conceptos y generalizaciones más trascendentes, que presenten una mayor seguridad?.
- Otro factor a considerar, es la ineficacia con que parece manifestarse la enseñanza de una información aislada, que no esté formando parte de una estructura conceptual.

Este segundo criterio, se puede ilustrar a través de las consideraciones siguientes. Investigaciones realizadas utilizando tests de recuerdo y reconocimiento, indican que pruebas rendidas por los estudiantes un año después de concluir una unidad de aprendizaje, muestran un porcentaje de olvido muy elevado (6). Por otra parte, la mayoría de las investigaciones que se ocupan del rendimiento del alumno, principalmente en lo relativo a los problemas de retención y transferencia, lo suelen hacer inmediatamente después del aprendizaje y es por ello, que se cuenta hoy con muy poca información sobre cómo son utilizadas años después las ideas que se habían adquirido (4), (7).

1.1.1- El proceso cognoscitivo en la enseñanza de la Ciencia.

Sobre la base de las investigaciones realizadas por J. Piaget y otros (8) (9) (10), sabemos que el proceso intelectual que desarrolla un muchacho de más de dieciseis años, que aprende una materia, es semejante al que desarrolla la inteligencia de un adulto. Por esta razón, determinadas consideraciones sobre la investigación científica son extrapolables a la enseñanza de la Ciencia.

La investigación científica comprende un conjunto de técnicas y de métodos, pero más bien es una forma de interpretar lo que nos rodea a través de una capacidad y de una actitud. Una vez concebida y planificada, conduce a la resolución de problemas o a la perfección en el conocimiento, pero también a la utilización de todo ello en el avance de nuestra propia investigación y de las realizadas por otras personas en diferentes materias.

Estas características nos llevan a considerar la enseñanza de la Ciencia bajo dos aspectos, según se considere el "contenido estático" (aquello que hay que aprender) o el "contenido dinámico", entendiéndolo como tal la utilización a manera de herramienta, de los conceptos aprendidos, para la resolución de nuevos problemas del conocimiento. En este caso, la inteligencia manipula la información recibida a fin de rebasarla, de tal forma que puede obtenerse que el alumno, si es guiado inteligentemente por el profesor, genere información por sí mismo.

La enseñanza debe conducir al conocimiento de los hechos, a partir de ideas conceptuales desarrolladas en el pensamiento a través de la observación, del análisis y de la síntesis. El contenido a aprender debe ser la consecuencia de la síntesis realizada por la inteligencia. Por lo tanto, la enseñanza de datos aislados difícilmente con-

ducirá a la síntesis de las ideas, siendo esta síntesis el requisito de base para que el alumno pueda construir y desarrollar modelos intelectuales que le sean útiles.

El alumno que aprende Física, debe ser enseñado con una metodología tal que se "considere un físico", siendo entonces más fácil para él aprender y pensar en ese sentido.

### 1.2- Crítica de los métodos tradicionales de enseñanza de las Ciencias.

Entre las críticas fundamentales que se hacen de los cursos tradicionales de Ciencia encontramos que:

"Tratan generalmente sólo del conocimiento científico, y se apoyan en una retórica de las conclusiones, presentando la Ciencia como un conjunto de conocimientos estáticos "comprobadamente verdaderos" (11).

"El método científico es expuesto a veces al principio del curso, pero la metodología de la Ciencia no suele reflejarse posteriormente en la presentación de los temas" (12) (13).

"No promueven la participación del estudiante en las actividades reales de la Ciencia" (14).

Como resumen de lo anterior y como justificación del bajo rendimiento docente en la enseñanza de la Ciencia, se sostiene de forma generalizada el criterio de que la causa fundamental radica en el abuso de la clase magistral, como elemento básico y operativo del modelo educativo tradicional. Actualmente se corre el riesgo de "optimizar un sistema en subdesarrollo", si no se toman decisiones encaminadas a un cambio de modelo, que esté más en consonancia con el carácter dinámico de la Ciencia moderna y las características intelectivas y psicológicas de los alumnos (15).

C.B. Chadwick (16) ha procedido, mediante un análisis de doce factores en el modelo tradicional, a sentar como una consecuencia las bases de un nuevo modelo basado en la Tecnología Educativa, entendida ésta como "una forma sistemática de diseñar, desarrollar y evaluar el proceso total de enseñanza-aprendizaje, en términos de objetivos específicos, basada en las investigaciones sobre los mecanismos de la comunicación y el aprendizaje que, aplicando una coordinación de recursos humanos, metodológicos, instrumentales y ambientales, conduzca a una educación eficaz" (17). Para ello, ha tomado esos doce factores y ha propuesto para cada uno de ellos la nueva significación que tendrían en el contexto del nuevo modelo.

### 1.3- La Investigación en Didáctica de las Ciencias.

El gran empuje a la investigación en el campo de la enseñanza de las Ciencias tiene lugar hacia el año 1950, tras el lanzamiento del primer satélite soviético. A este empuje también contribuyeron los avances paralelos de la investigación psicopedagógica.

La investigación didáctica se vale de estrategias parecidas a las utilizadas en la investigación científica, pero a causa del menor desarrollo de aquella los resultados son menos definidos.

En general, la concreción en los resultados, que es una de las características asociadas a la investigación en las Ciencias llamadas exactas, suele debilitarse mucho en las investigaciones de tipo didáctico, ya que generalmente las variables objeto de la investigación son menos concretas y difíciles de medir. Muchos experimentos en didáctica de la Ciencia finalizan sin consecuencias posteriores, ya que no son fácilmente reproducibles, bien sea por la propia naturaleza de la investigación, o bien porque no se proporciona la suficiente información como para facilitar la ulterior

reproducción del experimento y ver si realmente se obtienen resultados semejantes.

### 1.3.1- Problemática general de esta investigación.

La investigación en metodología de la enseñanza de la Física debe fundamentarse en estudios sistemáticos, que conduzcan a obtener bases y generalizaciones, que al publicarse, deben permitir a otros investigadores la verificación independiente de los resultados tal como ocurre con la investigación científica.

En el caso de las investigaciones experimentales en metodología de enseñanza de la Ciencia, la descripción del objeto a experimentar, del procedimiento experimental, de los métodos de obtención y análisis de datos, debe proporcionar información suficiente para poder realizar dicha verificación independiente.

Sin embargo, y en función de los resultados existentes, la investigación en metodología de la enseñanza de la Ciencia parece ser una actividad científica con grandes dificultades. Basta para ello señalar el informe de Tyler "Análisis de puntos fuertes y débiles en la investigación actual en Ciencia de la Educación", publicado en 1967 (18) en el que expresa "que del estudio de las investigaciones realizadas, apenas el 10% de dicha investigación es aceptable. Otro 20% es un conjunto de opiniones acerca de valores, de tópicos, objetivos, cursos, equipos y métodos de enseñanza, y no ofrecen bases generalizables. El mayor número de investigaciones, alrededor del 30%, estudian comparativamente diferentes cursos, o diferentes métodos de enseñanza. La mayor parte de estos estudios no definen claramente las variables, por lo cual no es posible hacer generalizaciones"...

"En los estudios efectuados con alumnos se utilizan generalmente variables cuya significación no está clara-

mente determinada, con relación a la Enseñanza de la Ciencia. En general las variables utilizadas son el cociente intelectual, la personalidad, el interés por la Ciencia, etc. Sólo en pocos casos había un claro desarrollo, indicando las relaciones entre las variables elegidas y la enseñanza de la Ciencia".... "Otra sería deficiencia observada, es el corto espacio de duración de las investigaciones, generalmente unos meses o uno o dos años ...."

A nuestro juicio, sin entrar en disquisiciones sobre si la denominación, muy extendida hoy, de "Ciencia de la Educación" es o no apropiada, creemos que las mayores dificultades que se encuentran al investigar en metodología de la enseñanza de la Física, provienen de tres puntos:

- a) La didáctica de la Física no constituye todavía cuerpo estructural. Sólo es aún un campo de investigación, sobre el que se intenta construir dicha disciplina.
- b) Los investigadores en este dominio suelen tener deficiencias en su formación, cosa natural debido a la amplia interdisciplinariedad del tema.
- c) Las dificultades de contar con poblaciones y muestras estables de alumnos, durante tiempo suficiente para aplicar los métodos y proceder a los ajustes necesarios, ya que generalmente dichas muestras cambian profundamente de un curso académico al siguiente.

La investigación en didáctica de la Ciencia es de naturaleza interdisciplinar, requiriendo apoyarse en los conocimientos de la Psicología, la Pedagogía, los métodos estadísticos, en ciencias de la naturaleza (Física, Química, Biología etc.) y asimismo en el contexto interdisciplinar e integrado de las propias ciencias. Es por ello, que el investigador en esta especialidad debe poseer una amplia formación en dichas materias. Sin embargo, conviene que estas in-

investigaciones sean realizadas por equipos de personas cuyas formaciones se complementen, a fin de cubrir un campo tan extenso y difícil como el citado.

Existe, además, otro detalle muy importante referente a la formación del investigador en didáctica de la Ciencia, que ha venido condicionando la producción científica, a causa del número relativamente reducido de especialistas en esta materia y de la deficiente e incompleta formación de ellos. Nos referimos a que la metodología de la enseñanza de la Ciencia, no es una disciplina regular y estructurada de la que puedan encontrarse fácilmente textos de estudio, profesores y catedráticos que la enseñen y centros universitarios que la incluyan en sus curriculum, como sucede, por ejemplo, con la Mecánica, la Electricidad, la Química orgánica, etc.

Por ello, el investigador en metodología de la enseñanza de la Física suele ser un sujeto generalmente autoformado, que debe poseer unos conocimientos y formación multidisciplinarios, que a causa del difícil campo en que se desenvuelve, del reducido número de investigadores y de investigación existente y en general de los limitados conocimientos estructurados (como ciencia) en los que apoyarse, debe por todo ello además poseer una gran intuición y un riguroso espíritu crítico.

#### 1.3.1.1- Interdisciplinariedad en metodología de la enseñanza de la Ciencia.

Parece lógico pensar, que una forma científica de proceder es a través de la colaboración interdisciplinaria entre especialistas, con miras a mejorar los métodos de enseñanza en Física. Sin embargo, no han sido frecuentes ni regulares los encuentros entre dichos especialistas y si bien encontramos grupos de trabajo que han intervenido activa y eficazmente en el desarrollo de "proyectos" en Física, como

es el caso del método P.S.S.C. del Physical Science Study Committee, la realidad es que una colaboración sistemática no ha sido lo usual.

Entre los intentos más conocidos en este sentido debemos señalar la conferencia curricular de Woods Hole (USA) en 1959, auspiciada por la National Science Foundation y el U.S. Office of Education, en la que intervinieron 60 destacados especialistas en Física, Matemática, Biología, Historia, Psicología y Educación, bajo la coordinación de Jerome S. Bruner (19). Su objetivo fundamental fue proponer direcciones de expansión para investigaciones básicas en el proceso de la educación, en íntima relación con estudios de desarrollo de nuevos cursos, curriculum y materiales didácticos. Los grupos de trabajo trataron sobre: "Secuencia de un Plan de Estudio", "Aparatos de Enseñanza", "La Motivación del Aprendizaje", "Papel de la Intuición en el Aprendizaje y el Pensamiento" y "Proceso Cognoscitivo en el Aprendizaje".

En nuestro país en el Instituto de Instrumentación Didáctica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, se celebró del 29-Noviembre al 3-Diciembre de 1976, un encuentro interdisciplinario con la participación de 15 especialistas (8 físicos y 7 psico-pedagogos), contándose con la participación de M.B. Gillet psicólogo del laboratorio de psicología diferencial del servicio de investigaciones del Instituto Nacional de Orientación Profesional (I.N.O.P.) de París, (20). El objetivo principal de las sesiones de trabajo fue poner en contacto a psicólogos, pedagogos y físicos a fin de concretar posibles campos en los que se pudiesen llevar a cabo investigaciones en equipo. Los proyectos de investigaciones conjuntas propuestos fueron:

- estudios de equipos de Física
- estudio de curriculum

- estudio del perfil psicológico del físico
- evaluación de audiovisuales en enseñanza de Física
- evaluación del rendimiento de los alumnos.

Como consecuencia de seminarios del tipo antes mencionado, se sabe con conocimiento de causa que físicos y psicopedagogos pueden sacar provecho mutuo de la reflexión en común sobre los problemas de la didáctica de la Física.

Para los psicólogos, que se interesan en las reacciones de los sujetos en situaciones de aprendizaje, y que intentan explicar los procesos que se desarrollan en la enseñanza de una determinada materia, es muy conveniente que el físico le aporte su conocimiento de dicha materia, y asimismo a su vez es el más indicado para apreciar las situaciones habituales más características en función de la Física.

Por otro lado, el físico puede encontrar en el psicólogo métodos para analizar las situaciones que en la práctica se dan en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Mas concretamente, puede mejorar su programación, diseño de instrucción y sus métodos de evaluación e incluso adquirir un mejor conocimiento de las características intelectivas y personalidad del alumno. Todo ello a través de una comprensión y evaluación, más científica y psicológica, de conceptos tales, como capacidad de abstracción, motivación, espíritu crítico, tipos de intelecto etc. Sobre todo si se considera, que los problemas didácticos están en función del contenido, pero sin embargo, están mejor definidos según sus estructuras lógicas o psicológicas, y asimismo, que el razonamiento del sujeto, que es evaluado en función de la respuesta que dá, cada vez tiende más a ser evaluado en términos funcionales, como pueden ser la capacidad de lectura e interpretación de datos, la elabo-

ración de hipótesis o de tácticas, la verificación y crítica de resultados, la capacidad de extrapolar conclusiones científicas etc.

Por tanto, la enseñanza de los fenómenos de la Física y de la resolución de problemas físicos, tiende a apoyarse en el análisis estructural del propio problema y en el razonamiento hipotético-deductivo, método este que parece contribuir eficazmente a desarrollar en el alumno la capacidad de transferir los conocimientos a otros campos y situaciones no habituales, según lo que los psicólogos conocen como "transferencias no específicas de principios y actitudes" (Bruner). En esta dirección se desenvuelven parte de las conocidas investigaciones de J. Piaget y B. Inhelder(21), que utilizan conceptos estructurales de la Física y de la Lógica en el análisis de las operaciones formales, desarrolladas por el adolescente en el descubrimiento de leyes físicas.

Asímismo, en dicha línea está la investigación objeto de esta tesis que aquí presentamos, donde estudiamos no sólo si el alumno aprende más Física, sino también fundamentalmente si su intelecto se modifica y como se distribuyen los cambios.

### 1.3.2- Dinámica de la investigación.

La investigación en didáctica de las Ciencias como proceso está condicionada por el enfoque previo de la investigación y por el método elegido para llevarla a cabo.

#### 1.3.2.1- Enfoque de la investigación didáctica.

Los estudios emprendidos para la resolución de los problemas didácticos pueden encuadrarse dentro de tres líneas o formas de concebir las investigaciones (22):

- a) la línea conductista, basada principalmente en la Psicología y en los procedimientos psicológicos. Es-

ta forma de investigación actúa, en definitiva, mediante el estudio separado de los elementos que contribuyen al proceso educativo.

- b) la línea globalizadora que estudia de forma integral los factores que intervienen en el proceso educativo.
- c) la línea mixta o estructural que en realidad es una integración de las anteriores, preconiza el estudio de los elementos mediante las relaciones operatorias entre ellos, en función del sistema, enfocando los problemas del aprendizaje a través del estudio de sus elementos dentro del contexto de la actividad en la clase.

Esta tercera línea ha sido muy defendida por J.S. Bruner (19) y J.M. Atkin (22), indicándose la conveniencia de implicar en la investigación en didáctica de las Ciencias a destacados psicólogos, pedagogos, sociólogos, matemáticos y científicos a fin de que colaboren e intercambien conocimientos y busquen los nexos entre sus disciplinas, dentro del contexto de la investigación metodológica, a fin de alcanzar soluciones generales a través de un enfoque integrador.

#### 1.3.2.2- Métodos o estrategias utilizados en la investigación didáctica.

Si admitimos que el análisis y la evaluación crítica de los principios y métodos fundamentales, que se emplean en la construcción de una Ciencia constituye la "metodología" de dicha Ciencia, creemos que una metodología, como tal, no existe todavía en el caso de la investigación metodológica. Existen estrategias y métodos que son más o menos efectivos, según la inteligencia con que se les aplique. Según Bridgham (23); "Un buen método es el que ayuda a clarificar las conexiones entre las ideas y los hechos, y que a

la vez no distorsiona a éstos. Habrá tantos buenos métodos, como grupos relevantes de circunstancias educativas e ideas valiosas, para ser utilizadas en la investigación".

Entre los métodos o estrategias utilizados en la investigación en didáctica de las Ciencias, pueden citarse los siguientes:

- a) Método de ensayo: es fundamentalmente empírico, intuitivo. Es un método de tanteo, consistente en probar formas de enseñanza, a fin de elegir las más convenientes. Al no actuar con bases teóricas, ya que no investiga variables, las soluciones obtenidas suelen ser arbitrarias y por tanto poco generalizables.
- b) Método micro: identifica determinadas variables que estudia separadamente, tales como, capacidad de abstracción, espíritu crítico, capacidad de observación etc., que se supone intervienen en la enseñanza de las Ciencias y a partir de cuyo estudio, utilizando en general análisis y técnicas estadísticas, pretende construir una teoría del aprendizaje.
- c) Método macro: estudia determinadas variables y sus relaciones dentro de un contexto, sobre la base de que el proceso enseñanza-aprendizaje es complejo, comprendiendo numerosas variables que pueden interactuar. También pretende construir una teoría del aprendizaje; asimismo se apoya en análisis y técnicas estadísticas, aunque más complejas.
- d) Método de selección: preconiza la construcción de la teoría referida a casos concretos, estudiados por una serie de investigadores independientes entre sí, que posteriormente confrontan sus criterios a fin de concluir una teoría que sea satisfactoria. Este método puede ser considerado un micrométodo referido al alum

no, puesto que al ser individualizado no utiliza grupos o muestras amplias de sujetos.

1.4- La Investigación referida al empleo de medios didácticos.

En relación con las características y utilización de medios didácticos en cursos de Ciencia, encontramos actualmente, por una parte, que los medios convencionales, textos, libros, material de laboratorio etc., están apareciendo con una nueva presentación y filosofía; por otro lado el docente tiene además ante sí nuevos medios, como las publicaciones programadas, las máquinas de enseñar, el ordenador etc., que le presentan una nueva problemática pedagógica, a veces difícil de entender o de armonizar con los puntos de vista clásicos. Incluso la investigación realizada sobre características, uso y posibilidades de los medios didácticos ofrece resultados poco concordantes.

Allen ha realizado detenidos estudios de las investigaciones llevadas a cabo en medios didácticos en general (24), (25), (26), llegando a estas conclusiones:

- a) La caracterización de cada medio conduciría a una mejor selección de éstos en función de los objetivos preestablecidos.
- b) Es conveniente proceder a determinar los efectos de la enseñanza con multimedia, durante tiempo prolongado con varios tipos de alumnos y diferentes disciplinas.
- c) Debe investigarse el aprendizaje con multimedias en función de las características del alumno.
- d) Asimismo, conviene un análisis de los efectos de colecciones completas elaboradas para enseñar un determinado concepto o materia.

En el análisis de medios didácticos en relación con su función, podemos distinguir dos tipos de análisis:

- a) Análisis e identificación de variables que conducen a determinar si un medio es o no eficaz en una situación concreta de aprendizaje (análisis-evaluación).
- b) Métodos de selección del medio más adecuado para ser utilizado en un caso concreto (análisis-plan-teamiento).

En un estudio muy completo realizado por Travers (27) concluye, después de examinar casi dos mil investigaciones, ... "que había relativamente pocas investigaciones de las características reseñadas anteriormente en (b)". Además, dichas investigaciones generalmente concluían afirmando "que era necesario un mayor estudio analítico para poder llegar a conclusiones".

Al repasar la literatura científica publicada al respecto, nos encontramos que trata fundamentalmente de investigaciones sobre la eficacia de tal o cual medio, o de comparaciones de eficacia entre ellos. Son relativamente pocas las investigaciones sobre selección de medios y su uso en situaciones concretas de aprendizaje.

Un excelente trabajo metodológico es el realizado por Briggs, Campeau, Gagné y May, publicado en 1967 bajo el título "Instructional Media" (28), en el que exponen métodos de selección de medios en función de casos concretos de aprendizaje en un curso de Ciencia. Dichos autores utilizaron el tratamiento que hace Gagné (29), en su obra "The condition of learning", referente a ocho diferentes tipos de aprendizaje identificados por él.

Debido a la incidencia del tema en nuestro trabajo, hemos creído conveniente hacer en Ciencia, y princi-

palmente en Física, un estudio complementario de medios.

Para ello, hemos utilizado la clasificación propuesta por P.L. Campeau en el trabajo anteriormente citado (28). Dicha clasificación comprende:

- a) Estudios de eficacia comparativa: consistentes en la comparación de eficacia de aprendizajes producidos por un nuevo medio y mediante métodos convencionales, o bien, comparación de eficacia entre dos o más medios entre sí.
- b) Estudios de utilización: tratan de determinar cómo un medio determinado produce un mejor aprendizaje.
- c) Estudios básicos: que relacionan los distintos medios con las variables inherentes al alumno y los métodos didácticos.

Del examen del material publicado (Anexo 1 ) se deduce que:

- a) Fundamentalmente se circunscribe al estudio del uso de medios audiovisuales.
- b) Generalmente se aplica en experiencias en las que los medios no son utilizados de forma integrada entre sí.
- c) Existe una exclusión generalizada de la evaluación considerada como método didáctico (como factor de motivación, refuerzo, síntesis, autoevaluación, etc.).
- d) No describen adecuadamente ni el tipo de aprendizaje, ni las características de los alumnos.
- e) Tratan generalmente de la adquisición de conocimientos y muy poco de la actitud y de la formación científica.

En la literatura publicada sobre investigaciones de medios no se facilitan, como ocurre con la dedicada a la investigación metodológica general, datos concretos

que permitan reproducir las mismas experiencias a otros investigadores. Pueden alegarse diversos motivos para explicar este hecho, entre ellos:

- a) Muchas experiencias se proyectan para establecer comparaciones entre medios, o entre combinaciones de medios, utilizados en temas muy concretos, no aportando suficiente información para ser utilizada en situaciones diferentes de aprendizaje.
- b) Cuando un curso, o una secuencia conteniendo diversos tipos de aprendizaje, se organiza con dos variantes, cada una utilizando un medio diferente, suele suceder al analizar ambos resultados, que no se encuentran diferencias significativas entre ellos, debido a que cada uno de los medios utilizados es más eficaz para algunos de los tipos de aprendizaje del conjunto y menos para otros, por lo cual en el contexto se equilibraban en eficacia.
- c) Falta frecuente de descripción suficientemente detallada del contenido de la instrucción, a fin de poder identificar el tipo de aprendizaje que contiene.
- d) Dificultad de distinguir entre los efectos del acierto en la elección de medios, y los efectos de la habilidad con que dichos medios fueron programados en función de los objetivos preconizados.

#### 1.5- Tendencias modernas en la enseñanza de la Física.

La característica fundamental que comparten los nuevos cursos de Física es el énfasis que ponen en la naturaleza, la estructura de la Ciencia y en los procesos de la investigación científica, sobre todo en el aspecto dinámico de la "empresa científica", considerándose la palabra "Ciencia" más bien como un verbo, "haciendo Ciencia", según la expresión propuesta por Bridgman ("sciencing") (3).

A este respecto Goodlad hace notar..." la similitud en las metas y objetivos de casi todos los nuevos proyectos de desarrollo curricular. Objetivos, que tal como son definidos en diversos documentos descriptivos, acentúan la importancia de la comprensión de la estructura de la disciplina, de los métodos, del campo, y papel que seres creativos juegan en el desarrollo de la Ciencia. Una de cuyas metas principales es que los estudiantes exploren descubran e inventen, al mismo tiempo que perciban también algunos sentimientos y satisfacciones de los investigadores, y adquieran algunas de las herramientas apropiadas al campo de la investigación" (30).

Diversos autores (31), (32) han estudiado en detalle las características de estos cursos, concluyendo que:

- a) Tratan de enfatizar la diferenciación entre observación e interpretación, y entre los datos y los esquemas conceptuales.
- b) Los "hechos" son elementos selectivamente presentados a fin de elaborar conceptos. No deben ser aprendidos como fines en sí mismos.
- c) Las conclusiones científicas poseen historia. Hoy son provisionales y pueden ser modificadas o rechazadas en el futuro, a la luz de nuevas investigaciones.
- d) Muestran el papel de los modelos conceptuales y matemáticos.
- e) Suelen organizar su contenido y actividades considerando los procesos de la investigación científica o bien sobre determinadas ideas conceptuales.
- f) Incorporan los descubrimientos recientes como una parte integral del curso.
- g) Suelen prestar notable atención a la profundidad frente a la extensión.

- h) Pretenden desarrollar la motivación, planteando los problemas tal como los enfrentan los científicos.
- i) El peso de las aplicaciones tecnológicas no es importante.
- j) Consideran, de todas formas, que un cambio en la distribución y en los contenidos no provoca en sí, que los estudiantes comprendan y aprendan mejor la Física. Es por ello, que preconizan cambios en los métodos y medios de enseñanza, incorporando lecturas científicas, películas y nuevas experiencias de laboratorio en las que participen los alumnos, ya que se espera así que comprenderán mejor la problemática y los métodos de la Física.

Dentro de las características fundamentales de los cursos modernos de Física, está la programación y definición de los objetivos que pretenden alcanzar en función de la conducta que se espera en los estudiantes. Un estudio comparativo sobre objetivos de los proyectos en la enseñanza de la Física, ha sido llevado a cabo por M. Vargas Vergara en el Centre for Science Educations, Chelsea College, Univ. de Londres 1974 (33), (34).

## CAPITULO II

### LOS METODOS MULTIMEDIA.

- 2.1- Fundamento de los métodos multimedia.
- 2.2- Características de los métodos multimedia.
- 2.3- Los métodos multimedia en la enseñanza de la Física: Proyectos.
  - 2.3.1- Método PSSC.
  - 2.3.2- Harvard Project Physics. (H.P.P.)
  - 2.3.3- Proyectos Nuffield.
  - 2.3.4- Proyecto Piloto UNESCO: Física de la Luz.
- 2.4- Método propuesto para la enseñanza de la Física: "Unidades Integradas" (U.I)
  - 2.4.1- Supuestos psicopedagógicos del método.
  - 2.4.2- Descripción del método.
    - 2.4.2.1- Características estructurales.
    - 2.4.2.2- Contenido y dinámica de la "Unidad Integrada".
  - 2.4.3- Selección de contenidos y composición de las "Unidades Integradas" a aplicar en esta investigación.
    - 2.4.3.1- Unidad 1 "Mecánica: conservación".
      - 2.4.3.1.1- Medida de pequeñas distancias.
      - 2.4.3.1.2- Velocidad y aceleración.
      - 2.4.3.1.3- Movimiento de caída libre.
      - 2.4.3.1.4- Leyes de Newton.
      - 2.4.3.1.5- Movimiento de proyectiles.
      - 2.4.3.1.6- Conservación: estudio vectorial.

2.4.3.2- Unidad 2 "Electromagnetismo".

2.4.3.2.1- Experiencia de Oersted (película).

2.4.3.2.2- Campo creado por conductor rectilíneo.

2.4.3.2.3- Campo magnético (película).

2.4.3.2.4- Campo creado por conductor cerrado.

2.4.3.2.5- Campo en el interior de un solenoide.

2.4.3.2.6- Determinación de la masa del electrón.

## LOS METODOS MULTIMEDIA

Durante bastante tiempo los medios didácticos, principalmente audiovisuales, han sido utilizados en la enseñanza de las ciencias separadamente unos de otros. Aunque fuesen acompañados a veces de determinado material impreso a manera de complemento o de guía didáctica, en realidad no era corriente encontrar métodos donde, por ejemplo, interviniesen experiencias de laboratorio, textos, emisiones de TV, películas y diapositivas etc., de forma relacionada.

Puede decirse, que el uso de la TV didáctica ha sido el más reciente medio audiovisual, en el que se pusieron grandes esperanzas de eficacia docente. Aunque las informaciones al respecto son contradictorias, sin embargo, después de múltiples aplicaciones en circunstancias diversas, parece que las expectativas de éxito con este medio no están claras en muchos casos, y además el posible aumento de rendimiento no se compensa con su costo (35).

Ha sido a partir de 1950-1960, con la aparición de los "proyectos" para enseñanza de Física, Química y Biología, cuando han surgido conjuntos de medios diversos, no ya solo audiovisuales, que de alguna forma se relacionaban entre sí. Es por ello que consideramos a dichos "proyectos" los primeros sistemas "multimedia".

### 2.1- Fundamento de los métodos multimedia.

La utilización en la enseñanza de una materia de varios medios didácticos relacionados se conoce con la denominación de "método multimedia".

Los métodos modernos de enseñanza de la Física se caracterizan entre otros aspectos por el uso de distin-

tos medios didácticos. La razón de esta utilización es que los métodos multimedia, reconocen de hecho, aunque no hagan exposición explícita de ello, la complejidad del alumno y de las materias y objetivos docentes.

Es esta problemática la que enmarca el diseño, desarrollo y aplicación de dichos métodos sobre la base de estos supuestos:

- a) Hay distintos tipos de intelectos: abstractos, concretos, dialécticos etc.
- b) Existencia de diferentes objetivos: capacidad de observación, de manipulación, de síntesis etc; cada uno de ellos demandan distintos tipos y medios de aprendizaje.
- c) Los diferentes temas a enseñar reclaman diversos medios: gráficos, teóricos, experimentales etc.
- d) Siendo compleja las situaciones de aprendizaje, parece lógico que también sean mixtas las soluciones a utilizar.
- e) Los cambios de medio pueden ayudar a mantener el interés del alumno (36).
- f) Al no existir aún una Ciencia del aprendizaje estructurada, y por tanto no contándose con métodos concretos que garanticen el éxito en alcanzar los objetivos establecidos, podría justificarse el aporte de una variedad de medios, que el propio comportamiento del alumno discriminaría.

## 2.2- Características de los métodos multimedia.

Su complejidad puede ir desde el uso de una serie de diapositivas, acompañadas de la explicación del profesor, o de una guía didáctica impresa, hasta la sofisticación de los conjuntos que forman parte de los actuales

"proyectos" constituidos por libros del alumno, del profesor, manuales de laboratorio, películas, videotapes, lecturas, tests etc., incluyendo aparatos y experiencias de laboratorio especialmente concebidos y desarrollados para el método; pudiendo distinguirse tres tipos de métodos, según grado y circunstancia de integración de sus componentes:

- a) De enriquecimiento: en este caso el método está constituido por determinados elementos fundamentales, tales como un texto y un manual de experiencias, existiendo además otros componentes opcionales tales como películas, lecturas, tests, guía para el profesor etc. El método más conocido dentro de este tipo es el método PSSC de Física, basado en el libro del alumno y el manual de laboratorio, recomendándose además determinadas lecturas y películas.
- b) Complementarios: constituidos por elementos que debe utilizar el alumno y que forman parte integral del método. Dichos elementos textos, lecturas, películas, tests, experiencias etc. son complementarios, constituyendo un conjunto muy coherente. Un método muy conocido en esta línea es el Harvard Project Physics (H.P.P.).
- c) Integrados (o programados): Este método ha sido preconizado por nosotros (37) y en él los elementos componentes son utilizados de forma organizada, según una programación de actividades preestablecida, teniendo en cuenta la materia objeto de enseñanza y las características intelectivas del alumno. Como ejemplo en esta modalidad proponemos nuestras "Unidades Integradas" (38).

Las diferencias fundamentales entre el método de "Unidades Integradas", que proponemos y los otros,

estriba en cinco aspectos:

- 1) El método se apoya en los medios didácticos utilizados por los proyectos conocidos, tales como películas, diapositivas, textos y lecturas, transparencias, la TV, las experiencias o incluso el ordenador, pero además incluye también la evaluación (autoevaluación) como un medio didáctico y elemento fundamental del método.
- 2) Cada medio didáctico es utilizado durante la enseñanza en el momento y la forma convenientes, según una programación preestablecida.
- 3) Dicha programación preestablecida lo es en función de la materia objeto de la enseñanza y de las características intelectivas de los alumnos (conocimientos y formación anteriores, nivel intelectual y tipo de intelecto).
- 4) Como consecuencia de lo anterior el método puede ser utilizado como método individualizado, aunque no necesariamente personalizado, ya que, si bien considera las características individuales, sin embargo, puede ser aplicado a grupos de alumnos.
- 5) En este método el profesor no tiene el papel clásico de conferenciante y distribuidor de la información. Su función es la de asesor y gerente del método, administrando conocimientos y tiempo.

### 2.3- Los métodos multimedia en la enseñanza de la Física: Proyectos.

Los llamados "proyectos" representan la consecuencia más relevante y característica de las experiencias llevadas a cabo en los países anglosajones, concretamente en EE, UU. y después en Inglaterra, en el dominio de la enseñanza de la Física. Algunos de ellos se han ensaya-

do en otros muchos países, en los que su filosofía ha tenido bastante influencia en los métodos de enseñanza de dicha materia, aunque según nuestro criterio, este movimiento tan importante no se ha visto acompañado de una amplia y sistemática investigación dirigida a evaluar no solo el rendimiento sino también los cambios que el método hubiere producido en el pensamiento científico del alumno (39), (40).

La dinámica de la génesis de un proyecto es en grandes líneas la siguiente: sobre la base de objetivos complejos (generalmente socio-políticos) y contando con una respetable inversión inicial (6 millones de dólares para el P.S.S.C. entre 1950-1958), un equipo multidisciplinario constituido por enseñantes de diversos niveles, científicos, psicólogos, pedagogos, expertos en medios audiovisuales, proyectistas de aparatos científicos y didácticos etc. trabajan en colaboración durante algunos años, a fin de poner a punto un nuevo método de enseñanza, que responda a determinados objetivos científicos y psicopedagógicos preestablecidos y acordes con los antes citados.

Proyectan y elaboran así textos y guías de laboratorio para el alumno, guías para el profesor, experiencias, materiales y aparatos de laboratorio estrechamente ligados a los textos, asimismo películas (cortas y largas) e incluso grabaciones para programas en TV. Todo esto constituye el soporte material del "proyecto".

Este material es a continuación experimentado en determinados centros, habiéndose preparado previamente al profesorado que ha de impartirlo en dichos ensayos. La experiencia así adquirida es evaluada cuidadosamente y utilizada para modificar y mejorar el método, procediéndose entonces a un segundo ensayo.

Luego de varios ajustes, que pueden durar años, el proyecto es considerado a punto y puede ser aplicado, teniendo siempre presente que el tipo de evaluación utilizado con los alumnos debe estar concebido y acorde con la filosofía del método. (41). Veamos a continuación las características de los proyectos más relevantes.

2.3.1- Método P.S.S.C. (Physical Science Study Committee, USA 1950-60)

Es el pionero y más conocido; es el que "ha mostrado el camino a otros proyectos". Como causa remota de su nacimiento, se considera la alarma a nivel nacional que el primer Sputnik ruso produjo en USA y que generó una gran crítica contra la Física y sus métodos de enseñanza en el país. Como causa próxima se cita la baja calidad científica y metodológica, que a principios de la década de los 50 tenían los textos de Física utilizados en la enseñanza media de los EE.UU.

Los objetivos generales del PSSC: (42), (43) eran:

- a) Presentar la Física actual como una disciplina unificada y en constante cambio.
- b) Mostrar la interacción entre la teoría y la experiencia.
- c) Enseñar los principios básicos y leyes de la Física, a través de la investigación de la naturaleza, y los límites de validez de los conocimientos.
- d) Desarrollar el espíritu crítico de los alumnos.
- e) Contribuir a la preparación de los futuros físicos.

El curso constaba de las siguientes partes:

Tema 1.- El Universo.

Tema 2.- Óptica y Ondas.

Tema 3.- Mecánica.

Tema 4.- Electricidad y Estructura Atómica.

El Material didáctico que utilizaba es de tipo multi-media y estaba constituido por:

- Texto para el alumno.
- Libro de experiencias de laboratorio.
- Libros para el profesor.
- Aparatos en forma de Kits para experiencias.
- Lecturas complementarias.
- Películas.
- Tests.

#### Desarrollo y características del curso PSSC.

En la primera parte, se hace una introducción al conocimiento y medida de conceptos que surgen directamente de la observación, como son: tiempo, espacio, materia. A partir del desplazamiento se introducen los conceptos de velocidad y aceleración. Asimismo del conocimiento de la materia que se desplaza, se introducen los de masa, conservación de la masa y el de estructura de la materia.

En la segunda parte, como consecuencia de lo que vemos, se inicia el estudio de la Óptica y de la luz, estableciéndose un modelo que explique el comportamiento de ésta, introduciéndose así el modelo corpuscular de la luz. Y, sin embargo, con este modelo aún hay fenómenos que no se explican bien, y es por ello que debe construirse un segundo modelo (ondulatorio) complementario con el anterior.

En síntesis, en esta segunda parte se muestra al alumno como se generan las hipótesis científicas y como a consecuencia de la experimentación, dichas hipótesis son confirmadas o rechazadas y aún en el primer caso cual es el campo en el que se pueden utilizar.

La tercera parte, desarrolla la Mecánica sobre la base del principio de conservación, presentando el movimiento en relación con las fuerzas y viceversa, estableciendo las leyes de Newton a partir de experiencias sencillas. Destacan aquellas situaciones en que no es posible la observación detallada del movimiento, como es el caso de los gases (teoría cinética) o en el de las hipótesis conducentes al descubrimiento del neutrón.

Finalmente en la última parte se desarrolla la Electroestática, la Magnetostática, y el Electromagnetismo, así como la naturaleza atómica de las fuerzas eléctricas y la dualidad onda-corpúsculo como concepto fundamental de la Física Moderna.

En los últimos capítulos de esta última parte, se hace una síntesis de conceptos anteriores, introduciendo la estructura del átomo, sobre la base de la experiencia de Rutherford y de aplicaciones energéticas y ondulatorias a las radiaciones que emiten los átomos excitados; asimismo se introduce de nuevo la estructura corpuscular de la luz como consecuencia del efecto fotoeléctrico; la dualidad onda-partícula de De Broglie, en la interferencia de electrones; los niveles de energía, en función del análisis espectral; y la experiencia de Franck-Hertz. Ciertos temas no son tratados por el PSSC, no debiendo esto ser considerado un defecto del método, ya que éste no tiene como objetivo "cubrir toda la Física", sino más bien presentar su estructura.

Los trabajos experimentales pretenden en el PSSC seguir el método científico, a través de interpretaciones que conduzcan a una hipótesis, teoría o modelo, que incluso pueda contradecir una hipótesis o teoría anterior, o bien coexista con ella complementándola y perfeccionándola. Todo esto muestra teórica y experimentalmente, la provisio

nalidad de las leyes y el aspecto cambiante y dinámico de la Física. (44), (45), (46), (47).

El PSSC ha desarrollado durante 1962-63 una serie de temas avanzados, compuestos de cuatro monografías para ser utilizado como ampliación del curso básico (48) siendo su temario:

- Momento cinético y su conservación.
- Procesos irreversibles.
- Entropía.
- Velocidad, energía y masa.
- Velocidad, tiempo, longitud.
- Átomos, moléculas, núcleos.
- Cambios en los átomos y los núcleos.

La filosofía PSSC se nota menos en este curso, posiblemente a causa de la mayor complejidad y abstracción de los temas y a que la base experimental es inferior. Sin embargo, debe destacarse que es más matemático y formativo en el aspecto bibliográfico ya que hace referencias a artículos de revistas principalmente del "American Journal of Physics" y del "Handbook of Chemistry and Physics".

### 2.3.2- Harvard Project Physics (H.P.P.)

Este nuevo curso de Física comenzó en USA, como un proyecto piloto financiado inicialmente por la Carnegie Corporation y supervisado por el Dr. F. James Rutherford, sobre la base del texto "Concepts and Theories in Physical Science" de Gerald Holton, profesor de Física de la Universidad de Harvard, siendo inicialmente aplicado durante el año 1963-64 en dos escuelas secundarias, una pública y otra privada.

Alentados por los resultados obtenidos y contando con nuevas ayudas, al año siguiente, un equipo de físicos y profesores procedentes de diferentes estados fueron

llegando al Jefferson Physical Laboratory de la Universidad de Harvard, y durante tres años trabajaron en la revisión y pruebas de los diferentes componentes del curso, produciendo una primera versión provisional, que fue utilizada en 1963. Durante los años 1963-66 fue sometido el método a una profunda evaluación, y consiguiente revisión y ajuste.

En 1970, se concluyó la versión que se consideró definitiva. Han intervenido en la estructuración del H.P.P. destacados especialistas, profesores, físicos, químicos, educadores, historiadores y filósofos de la Ciencia.

#### Objetivos fundamentales del H.P.P.

- a) Contrarrestar el descenso que se venía observando en U.S.A. del número de estudiantes, que a nivel medio tomaba cursos de Física (electivos), contrariamente a lo que sucedía en Biología, Química y Matemáticas, en los que iban aumentando.
- b) Ante la deshumanización de la Ciencia, presentar un nuevo curso de Física, cuyo énfasis está precisamente en destacar sus aspectos humanísticos, como obra construida resultante de la capacidad del pensamiento humano.

#### Supuestos educativos en el H.P.P.

1º) "La Física es para todos".

- a) La Física constituye la base de las Ciencias de la Naturaleza y es por ello que interesa a todos.
- b) Hay que tener un conocimiento mayor y mejor del mundo en que vivimos, principalmente del orden y regularidad de los hechos de la Naturaleza.

- c) Se necesita conocer determinados fundamentos de Física para ser un espectador inteligente, del mundo en nuestro tiempo.
  - d) Ser ignorantes en Física puede dejar impreparado para vivir en los tiempos presentes y futuros.
  - e) La Física no es un cuerpo de teorías aisladas del resto del pensamiento humano, o para una élite de adeptos o de científicos.
- 2º) "Es posible una selección coherente de tópicos dentro de la Física".
- a) Es posible presentar teórica y experimentalmente de forma científicamente correcta y a la vez sencilla, las ideas básicas de Física a diferentes tipos de alumnos (hipótesis de J.S. Bruner).
  - b) Esta selección básica de tópicos ofrece un núcleo importante de información, que puede ser útil para el estudiante que no hará estudios posteriores, y a la vez servir igualmente bien como un curso introductorio para aquellos que realizarán estudios posteriores, científicos o humanísticos.
  - c) El H.P.P. presenta ideas tan básicas y generales de los fundamentos de la Ciencia, que es de esperar aún estén vigentes en un próximo futuro.

Descripción del método.

Este nuevo curso de Física comprende seis unidades temáticas, cada una de las cuales posee su propia estructura conceptual, divididas, a su vez, en cuatro capítulos integrados.

Unidad I.      Concepto de movimiento.

Unidad II.     Movimiento en el firmamento.

Unidad III. El triunfo de la Mecánica.

Unidad IV. Luz y Electromagnetismo.

Unidad V. Modelos del átomo.

Unidad VI. El núcleo.

Cada una de las seis unidades temáticas del H.P.P. consta de cinco publicaciones: texto, libro del laboratorio para el alumno, tests, lecturas seleccionadas y guía del profesor.

Además, ha desarrollado toda una serie completa de materiales para la enseñanza de la Física; incluyendo instrucciones programadas, equipo de laboratorio, transparencias y películas.

### 2.3.3- Proyectos Nuffield (Física).

Han sido desarrollados en Inglaterra, de 1965 a 1970, bajo los auspicios de la Fundación Nuffield, siendo el objetivo general ofrecer a los alumnos la posibilidad de aprender a través de sus experiencias personales, apoyadas básicamente en las experiencias de laboratorio.

Los proyectos Nuffield de Física se desarrollan a dos niveles:

- Nivel 0 (nivel ordinario): constituido por un curso de 5 años de Física Básica para alumnos de 11 a 16 años. El coordinador ha sido E.M. Rogers, y aunque éste y su equipo no han presentado una tácita exposición de objetivos para el curso, implícitamente se deducen algunos como:

- a) se ha pretendido un curso de "Física para todos".
- b) pretende enseñar Física para que se comprenda.
- c) rehuye la memorización y la manipulación rutinaria.
- d) pretende producir cambios perdurables en el pensamiento del alumno.

- e) presentar la Física como un todo coherente y dinámico.
- f) preconiza que el alumno utilice el método heurístico y monte sus propios experimentos.

Este nivel básico comprende cinco guías para el profesor (una por año), cinco guías de experimentos y cinco libros de cuestiones, incluyendo además una guía de aparatos, una publicación sobre Óptica geométrica y un manual de tests.

Puede observarse que el curso no contiene manual para el alumno, ya que en realidad se pretende que adquiera sus conocimientos a partir del uso del manual de cuestiones y del laboratorio. Sin embargo, recientemente los organizadores parecen estar convencidos de la necesidad de proyectar un "manual de base para el alumno".

Una síntesis de este curso con reducción desde 18 a 5 libros ha sido realizada por T. Duncan en 1970 (49).

El curso contiene también una colección de películas.

- Nivel A (nivel avanzado): constituido por un curso de 2 años. Está destinado a alumnos ingleses de 16 a 18 años, que han pasado a los 16 años el General Certificate of Education.

Los organizadores, J. Ogborn y P.J. Black exponen que "han tratado de seleccionar y presentar partes de la Física que capten el interés y entusiasmo de los alumnos, y contribuyan a la comprensión de los conceptos fundamentales, a entender sus interrelaciones y a extrapolar su aplicación a nuevos problemas".

El trabajo práctico es parte fundamental; asimismo preconiza que el alumno trabaje en un proyecto.

El nivel A está constituido por 10 unidades. De ellas, las ocho primeras comprenden manuales para el alumno y guías para el profesor; las dos restantes contienen temas de reflexión para el alumno y orientaciones didácticas para el profesor.

Contiene asimismo una colección de películas y de diapositivas.

2.3.4- El Proyecto Piloto de la UNESCO: Física de la luz

El Proyecto Piloto sobre Nuevos Métodos y Técnicas en la Enseñanza de la Física, tuvo lugar de Julio de 1963 a Julio de 1964 en São Paulo, Brasil, bajo los auspicios de la UNESCO con la colaboración del Instituto Brasileño para la Educación, la Ciencia y la Cultura (IBECC) y de otras instituciones latinoamericanas. (50)

Participaron en este trabajo 26 profesores de Física de ocho países de América Latina (Argentina, Brasil, Chile, Cuba, Ecuador, Honduras, Perú y Venezuela). La orientación y coordinación del trabajo estuvieron a cargo de dos físicos contratados por la UNESCO, que contaron con la colaboración de asesores en instrucción programada y producción de películas educativas.

La finalidad principal de dicha fase del Proyecto fue la de dar, a los profesores latinoamericanos participantes, la oportunidad de analizar las tendencias y orientaciones modernas en la enseñanza de la Física, de conocer algunas técnicas educativas aparecidas recientemente, de planear un curso de contenido actualizado; y como aplicación de todo esto, dar a dichos profesores la oportunidad de aplicar ellos mismos los nuevos principios y las nuevas técnicas en la tarea de planificar, concebir, elaborar y producir un conjunto integrado de material didáctico pa-

ra una parte de un curso de Física. Se trataba de un paso más en la formación de personal docente capacitado para tomar parte activa en un proceso continuo de renovación de la enseñanza de la Física.

El tema elegido fue la Física de la Luz, y el material producido consta de un texto en cinco volúmenes, de cajas con material de experimentación para uso de los alumnos, de películas y de programas de televisión. Al cabo del año de trabajo en São Paulo, se contaba ya con 300 conjuntos completos de material y con una edición preliminar de los textos, tanto en español como en portugués. Este material, como también los textos, que ya habían sido puestos a prueba durante la etapa de elaboración, fueron distribuidos entre los profesores latinoamericanos que colaboraron en su preparación, y que pudieron así, con arreglo a las circunstancias de cada uno, continuar haciendo ensayos con alumnos y también darlos a conocer a sus colegas y analizarlos con ellos. Las sugerencias, correcciones y revisiones que surgieron de este modo, especialmente las formuladas por los participantes de la Argentina, han sido aprovechadas en la preparación de esta segunda edición de los textos y de las cajas de material.

#### Objetivo del curso.

El objetivo general de este curso es llevar al alumno a aprender Física haciendo Física. Para ello, el alumno realiza sus propios experimentos, razona sobre la base de los resultados obtenidos, descubre relaciones cuantitativas, formula leyes y, a medida que va recogiendo más resultados y avanzando en su interpretación, llega a construir una teoría o un modelo abstracto. Aprende que un modelo no sólo interpreta los conocimientos ya adquiridos, sino que también predice situaciones nuevas, y que, si el modelo no es capaz de interpretar adecuadamente los resulta-

dos de los nuevos experimentos, debe ser reformado o reemplazado por otro más adecuado. De este modo está siempre presente la interacción entre observación y razonamiento, entre experimento y teoría; se cultiva la habilidad de experimentar, la de formular hipótesis y la de razonar. Pero, además, se fomenta la actitud de razonar basándose en la realidad objetiva, y la actitud de querer experimentar para poner a prueba una hipótesis o una consecuencia de una nueva teoría. En este sentido, el objetivo específico de este curso es que los alumnos realicen estos tipos de actividad en relación con las propiedades de la luz y la interpretación de ellas.

Primero aprenden los alumnos a experimentar, a hacer gráficos, a interpretar éstos y a obtener de ellos relaciones cuantitativas (Unidad 0). Los experimentos realizados con la luz y los análisis de sus resultados, les llevan a constatar las diversas propiedades de ésta y luego a descubrir las leyes correspondientes a la reflexión y a la refracción de la luz (Unidad I). Vienen después las analogías entre el comportamiento de la luz y el de las partículas en movimiento, estudio que conduce al modelo corpuscular de la luz (Unidad II). Algunas predicciones que emanan de este modelo resultan confirmadas, pero hay otros experimentos (difracción, por ejemplo) que no pueden ser explicados satisfactoriamente por el modelo de partículas. Viene entonces el estudio paralelo del comportamiento de la luz y el de las ondas en la superficie del agua (cubeta de ondas); el alumno descubre las analogías, incluso en los experimentos de difracción y de interferencia para los cuales el modelo corpuscular resultó inadecuado, construyéndose así el modelo ondulatorio de la luz (Unidad III). Seguidamente se explora la naturaleza electromagnética de la luz, y se extiende el espectro, a ambos lados del segmento visi

ble, incluyendo las ondas de radio, la radiación infrarroja y ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma (Unidad IV). Viene después una discusión elemental del efecto fotoeléctrico y una introducción al modelo de fotones; para terminar con un resumen y una discusión de los resultados obtenidos y de las diversas interpretaciones dadas.

Los materiales didácticos preparados en São Paulo para este curso de "Física de la Luz" constan de los siguientes elementos:

(A) Un texto, en cinco volúmenes, para el alumno. Este texto se usa en combinación con el material de experimentación. En la preparación y presentación del texto se aplicaron las técnicas de la instrucción programada. Sus cinco unidades son:

- O. Experimentos y gráficos (unidad preparatoria).
- I. Algunas propiedades de la luz.
- II. Modelo corpuscular de la luz.
- III. Modelo ondulatorio de la luz.
- IV. Ondas electromagnéticas; fotones.

(B) Material de experimentación que permite al alumno realizar los experimentos, a medida que va avanzando en su estudio. Este material fue concebido conjuntamente con la elaboración del texto, y se presenta agrupado en ocho conjuntos (cada conjunto en una caja).

(C) Películas mudas de corta duración (cuatro minutos aproximadamente cada una, blanco y negro, 16 mm y también 8 mm), acompañadas de un guía para el Profesor con sugerencias relativas a su uso.

(D) Una película sonora de 30 minutos de duración (16 mm, blanco y negro) sobre el tema: "La Luz..., ¿es una onda?".

(E) Programas de televisión, de media hora cada uno, en los

cuales fueron utilizados los materiales (A) a (D), además de otros.

Con estos textos programados y las cajas de material, la naturaleza del trabajo, tanto del profesor como de los alumnos, es también muy diferente. El profesor no dá una clase magistral y la participación de los alumnos se torna esencialmente activa: cada uno de ellos realiza los experimentos por sí mismo. En efecto, con estos materiales un profesor puede atender a una clase muy numerosa, en la cual todos los alumnos trabajan mientras él presta atención individual a los que la requieran.

#### 2.4- Método propuesto para la enseñanza de la Física: "Unidades Integradas".

El método de enseñanza de la Física mediante "Unidades Integradas" es una consecuencia de la convicción de la poca eficacia general de los métodos tradicionales (poco uso o uso incorrecto de los métodos científicos, clases magistrales, experiencias aisladas o nulas y exámenes "represivos"), que no producen motivación, ni modificaciones positivas en el pensamiento científico de los alumnos; cosa que se refleja finalmente en la formación de nuestros físicos.

En lo referente a métodos más actualizados de enseñanza de Física, tales como los "proyectos", cabe decir, que si bien parece existir evidencia de su superioridad sobre los anteriores, sin embargo, pueden ser perfeccionados aumentando el grado de integración de los multimedios e incluyendo la evaluación como parte integrante y sistemática del método, siendo ésta una de las aportaciones más importantes de nuestro método de "Unidades Integradas".

A continuación expondremos los fundamentos y ca-

racterísticas del método que proponemos. La exposición se refiere a un método que podríamos llamar general o teórico, y para su implantación requeriría abundancia de recursos humanos y materiales de los que nosotros no hemos dispuesto. Por ello, para su aplicación en nuestro trabajo hemos elaborado uno, que podríamos llamar restringido o simplificado, y en el que por las causas anteriormente citadas, se adapta aquel a los medios que disponíamos al realizar la investigación.

Esta simplificación no implica la pérdida de las características fundamentales del método, especialmente las que se refieren a la evaluación.

#### 2.4.1- Supuestos psicopedagógicos del método.

- 1 - Se acepta el paralelismo entre los métodos científicos y los psico-didácticos en la enseñanza de la Física. El aprendizaje debe conducir al conocimiento de los fenómenos, a partir de ideas conceptuales desarrolladas por la mente a través de la observación, el análisis y la síntesis.
- 2 - Los hechos científicos que constituyen el contenido a aprender deben estar integrados en un sistema didáctico y científico coherente, siendo esta una condición fundamental para que el alumno pueda desarrollar métodos seguros de pensamiento.
- 3 - Hay diferentes tipos de intelecto. Por tanto los hechos científicos pueden ser enseñados de formas diversas: abstractas, concretas, dialécticas, dramatizadas y mixtas.

- 4 - Ningún medio de enseñanza: texto, exposición verbal, imagen fija o móvil, la TV etc., utilizado aisladamente es capaz de transmitir eficazmente el mensaje educativo.
- 5 - El uso integrado de dichos medios, incluyendo la evaluación sistemática como parte del sistema (Tecnología Educativa Integral), dentro de un contexto coherente de enseñanza de Física, puede ser eficaz.

#### 2.4.2- Descripción del método.

##### 2.4.2.1- Características estructurales.

- El método de enseñanza de Física mediante "Unidades Integradas" es un sistema utilizable para la instrucción personalizada o en equipo. Puede también ser aplicado en la formación permanente y el reciclaje a diversos niveles. Dichas unidades, sujetas a los cambios y ajustes pertinentes en cada caso, pueden ser válidas en enseñanzas de Física localizadas en centros o en enseñanzas a distancia.
- Cada "Unidad Integrada" puede a su vez ser integrada a otra "Unidad" o a otro sistema de enseñanza.
- En la "Unidad Integrada" se estudia un hecho fundamental, tal como la conservación de la energía mecánica, fenómenos magnetostáticos, ondulatorios etc., a través de secuencias teóricas y experimentales.

- La "Unidad Integrada" es un conjunto que integra: la teoría, las experiencias, las aplicaciones y la evaluación.
- En ella se pueden utilizar, en un contexto científico y metodológico coherente, medios diversos tales como textos científicos, publicaciones, diapositivas, transparencias, películas, la TV y el material de laboratorio y experiencias a realizar, en lo que podría denominarse Tecnología Educativa Integral.
- Las "Unidades Integradas" comprenden secuencias progresivas de aprendizaje. Dichas secuencias contienen ejercicios y problemas teóricos y experimentales que pueden ser conceptuales, de síntesis y de desarrollo.
- En este método el profesor no tiene el rol clásico de conferenciante, de distribuidor de la información. Su misión es de consejero y gerente del sistema, administrando conocimientos y tiempo.
- La distribución de los contenidos y actividades de la "Unidad Integrada" debe ser acorde, tanto en extensión como en profundidades, en función de las características y capacidades intelectivas del alumno.
- La "Unidad Integrada" debe ser un sistema dinámico, permanentemente objeto de evaluación e investigación, a fin de perfeccionar el método.

#### 2.4.2.2- Contenido y dinámica de la "Unidad Integrada"

El esquema general de la U.I. es el siguiente:

- 1 La introducción: comprende un material que en cada circunstancia debe adaptarse a las características intelectivas y personalidad del alumno. Es un material que el alumno debe examinar algunos días antes de comenzar sus actividades directas en el laboratorio. Dicho material tiene por objetivo:
- a) Presentar el hecho científico que será estudiado en la U.I.
  - b) Desarrollar motivaciones hacia el tema que estudiará en la U.I.

El contenido de este material puede ser: películas, lecturas, conferencias grabadas, diálogo con un determinado profesor, etc., todo ello presentado de forma clara, agradable e incluso dramatizada.

Se adjunta información referente al nivel de la U.I. y conocimientos básicos previos para iniciar la U.I.

Hay también una bibliografía fundamental sobre la teoría, las aplicaciones, aparatos y montajes, las experiencias y las lecturas propuestas.

- 2 El desarrollo: se realiza a través de secuencias de aprendizaje que comprenden la teoría, las experiencias, verificaciones y aplicaciones relativas al hecho científico objeto de la U.I. Dichas secuencias deben ser programadas y adaptadas en función de la personalidad y características intelectivas del alumno.

Los medios audiovisuales son utilizados en este método para reforzar aspectos de la teoría o de las experiencias, para mostrar aparatos, manipulaciones o técnicas a las cuales un alumno no puede de ordinario acceder fácilmente a causa de la dificultad, precios prohibitivos, peligrosidad o de la excesiva duración del experimento.

Las experiencias a realizar pueden comprender:

- objetivos
- fundamento teórico
- relación de material
- método operatorio
- montaje
- cálculo de incertitudes (errores)
- conclusiones
- aplicaciones

Durante el desarrollo de la U.I. hay una serie de preguntas concretas contenidas en un cuestionario de control y síntesis.

Es parte también del sistema presentar teórica y experimentalmente algunas aplicaciones que servirán de base para pedir al alumno la realización de estas dos actividades:

- a) una breve investigación tipo.
- b) un proyecto dirigido hacia alguna aplicación.

- 3 Los anexos: comprenden documentos con la descripción de características, esquema, fotografía etc., de los aparatos utilizados en la U.I. y que el alumno no haya jamás empleado o no conozca bien. También los datos necesarios (tablas, gráficas, etc.) para el desarrollo de

las actividades. Finalmente, lecturas, fundamentalmente textos originales adaptados de afamados científicos relacionados con la materia estudiada en la U.I., teniendo siempre presente los niveles posibles de comprensión del alumno.

2.4.3- Selección de contenidos y composición de las Unidades Integradas a aplicar en esta investigación.

El contenido objeto de enseñanza ha sido desarrollado durante aproximadamente 3,5 horas por sesión semanal a lo largo de 12 sesiones, lo que contabiliza un total de 42 horas equivalentes al tiempo que el grupo de alumnos de control estuvo a su vez realizando experiencias de laboratorio. Ello explica porqué se ha presentado una serie bastante limitada de hechos científicos.

Por otro lado, debe indicarse, que en esta experimentación no era objetivo mostrar a los alumnos teórica y experimentalmente toda la Física, sino únicamente algunos fenómenos representativos con los cuales experimentar nuestro método.

Las Unidades seleccionadas fueron "Mecánica: conservación" y "Electromagnetismo" toda vez que constituyen partes fundamentales de un curso clásico de Física general.

Las experiencias, doce en total (seis en cada Unidad) tienen dentro de cada Unidad una interrelación temática.

Hemos desarrollado, en parte, el material didáctico con el que se realizan las experiencias, incluidas las películas, teniendo muy en cuenta los objetivos de sencillez instrumental, clara percepción y fácil medida de los fenómenos estudiados.

La introducción y experiencias de cada Unidad son:

2.4.3.1- Unidad 1 "Mecánica: conservación  
"Galileo y el movimiento de los cuerpos". (Anexo 2)

Experiencias:

- 1 - Medida de pequeñas distancias: determinación de la longitud de la molécula de ácido oléico y cálculo del número de Avogadro.
- 2 - Velocidad y aceleración: estudio del movimiento rectilíneo con el ticógrafo.
- 3 - Movimiento de caída libre: estudio con el ticógrafo. ←
- 4 - Leyes de Newton: estudio de fuerzas, masas y aceleraciones.
- 5 - Movimiento de proyectiles: composición de movimientos.
- 6 - Conservación: estudio vectorial de conservación de cantidad de movimiento y energía cinética.

2.4.3.2- Unidad 2 "Electromagnetismo"

"En torno a la pila" (Anexo 3)

"Oersted" (Anexo 4)

Experiencias:

- 7 - Experiencia de Oersted (película) 20 min., sonorizada.
- 8 - Campo creado por un conductor rectilíneo.
- 9 - Campo magnético (película) 6 min., sonorizada, mono conceptual.
- 10 - Campo creado por un conductor cerrado.
- 11 - Campo creado en el interior de un solenoide.
- 12 - Determinación de la **masa del** electrón.

Presentamos seguidamente el desarrollo operativo de las experiencias y secuencias de cuestiones:

#### 2.4.3.1.1- Experiencia 1.

"Medida de pequeñas distancias: determinación de la longitud de la molécula de ácido oléico y cálculo del número de Avogadro".

El objetivo fundamental de esta experiencia es que el alumno aprecie cómo con medios y técnicas sencillos y a través de medidas indirectas, es posible medir pequeñas longitudes: En este caso el tamaño de la molécula de ácido oléico, donde llega a determinar valores aproximadamente de  $10^{-9}$  m.

Esta experiencia, por la simplicidad de la técnica utilizada, conlleva errores importantes. Sin embargo ello hace que el alumno tenga oportunidades de ocuparse de esta problemática de la investigación.

Fundamento de la experiencia: Algunas sustancias como el aceite y el ácido oléico puede extenderse en condiciones apropiadas en capas monomoleculares sobre líquidos con los que no son miscibles, como el agua.

Si sobre el centro de una gran superficie de agua echamos cuidadosamente un volumen  $V$  muy pequeño y conocido de oléico, éste se extenderá ocupando la máxima extensión posible, originándose una lámina monomolecular de forma aproximadamente circular cuyo espesor coincidirá con el de la longitud  $l$  de la molécula de oléico, ya que al ser hidrófoba se sitúa perpendicular a la superficie acuosa. Como se conoce el volumen  $V$  de la gota, equivalente al de la lámina y el diámetro medio  $d$  de ésta puede medirse con una regla, ello permite conocer el valor de la longitud  $l$  de la molécula de oléico.

Por otro lado, si se suponen cúbicas a las moléculas de oléico, como se conoce la densidad de éste  $\rho = 0,89 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  y el volumen de cada molécula  $l^3$ , esto permite conocer la masa  $m$  de una molécula.

Siendo 282 el peso molecular del ácido oléico entonces  $N = \frac{282}{m}$  = número de moléculas que hay en 1 mol, pudiendo compararse este valor N con el admitido en la bibliografía científica para el número de Avogadro.

Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

Las moléculas y los átomos son tan pequeños que no son visibles y por tanto medibles directamente. Sin embargo puede tenerse información del orden de magnitud de algunas moléculas utilizando métodos indirectos ¿Qué significa orden de magnitud?.

- Cuestión 2

Si situamos una pequeña cantidad de aceite sobre la superficie del agua, se extenderá formando una superficie muy delgada. El espesor de dicha película ¿Será igual, mayor o menor que el espesor de la molécula de aceite?.

- Cuestión 3

El ácido oléico es un líquido insoluble en agua, capaz de extenderse sobre ella formando capa muy delgada.

Una gota de oléico colocada sobre una gran superficie de agua tendería a extenderse y cubrirla totalmente. Sin embargo al extenderse hasta los bordes ya la película no podría hacerse más delgada. Para conseguir películas lo más delgadas posible, cuando el recipiente con agua no es muy grande, puede utilizarse una gota de una disolución diluida de oléico en alcohol. ¿Se le ocurre otro procedimiento?.

- Cuestión 4

Mida 5 ml de ácido oléico y 95 ml de alcohol etílico

en una probeta graduada. Agítese bien la mezcla. Tome 5 ml de ella y mezclese con 45 ml de alcohol etílico ¿Cuál es la concentración de esta mezcla?

- Cuestión 5

¿Cómo se prepararía una mezcla al 2%o?

- Cuestión 6

Viértase agua, preferiblemente desionizada, en una cubeta ancha, bien limpia, hasta una profundidad de aproximadamente 1 cm. Utilizando como recipiente un salero conteniendo polvos de licopodio, espolvoree ligeramente con éste desde 1 m de altura la superficie del agua a fin de hacer visible la película.

Para comprobar que la película será producida por el ácido oléico y no por el alcohol con el que está mezclado, puede verse ahora sobre la cubeta una o dos gotas de alcohol. ¿Qué deduce?

- Cuestión 7

Seguidamente, para formar la película de oléico, utilice el cuentagotas y deje caer cuidadosamente en el centro de la cubeta una sola gota de la disolución de oléico que había preparado. Determine el diámetro de la película formada.

- Cuestión 8

¿Cuánto mide el área de la película?

- Cuestión 9

¿Es esta película de oléico la más delgada que puede obtener? ¿Cómo lo averiguaría?

- Cuestión 10

¿Cómo determinaría el espesor de la película?

- Cuestión 11

¿Cómo sabría el volumen de la película?

Calcule con este dato el espesor de la molécula de oléico.

- Cuestión 12

¿Cómo calcularía la masa de la película?.

- Cuestión 13

Si suponemos que la capa es monomolecular y asimismo que las moléculas son cúbicas ¿Cuántas moléculas hay en la película y cuál es la masa de una molécula?.

- Cuestión 14

¿Qué es el número de Avogadro?.

- Cuestión 15

¿Cómo se determinaría el número de Avogadro con los datos obtenidos anteriormente?.

- Cuestión 16

Compare la diferencia entre el número de Avogadro teórico y el que ha obtenido.

¿Qué deduce?.

2.4.3.1.2- Experiencia 2

"Velocidad y aceleración: estudio del movimiento rectilíneo con el ticógrafo".

Los objetivos principales de esta experiencia son a) que el alumno aprenda teórica y experimentalmente las características de un movimiento variado mediante el análisis de las gráficas "espacio-tiempo", "velocidad-tiempo" y "aceleración-tiempo" obtenidas mediante registro de movimientos con el ticógrafo; b) que el alumno se familiarice, mediante el análisis y el uso práctico con el concepto de "unidades

de medida" como entes arbitrarios elegidos convencionalmente.

Fundamento de la experiencia: (Anexo 5 )

En primer lugar el alumno realiza un breve repaso de fundamento teórico de los fenómenos a estudiar, concretamente en los casos  $v = \text{const.}$  y  $v \neq \text{const.}$  Seguidamente procede a disponer el material necesario para estudiar movimientos rectilíneos y registrar con el ticógrafo. Del análisis de la cinta grabada obtiene la gráfica espacio-tiempo. Mediante el trazado de tangentes obtiene datos para construir la gráfica velocidad-tiempo. Valiéndose de un nuevo trazado de tangentes llega a conocer el valor de la aceleración  $a$  del movimiento. La información obtenida permite al alumno entonces caracterizar cualitativa y cuantitativamente el movimiento que ha estudiado.

Secuencia de cuestiones

- Cuestión 1

Si la velocidad  $v$  es constante

$$\text{es } v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \text{tg}$$

- Cuestión 2

Si  $v \neq \text{const.}$

$$\text{es vel. media } v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

para vel. inst<sup>a</sup>. se tiene  $t_2 - t_1 = \Delta t \rightarrow$

$$\text{y } v_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{d}{dt} = \text{tg}$$

- Cuestión 3

Si  $v \neq$

es acel. med.  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$

para acel. inst. se tiene  $t_2 - t_1 = \Delta t \rightarrow$

$$y \quad a_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = tg$$

- Cuestión 4

Táre el ticógrafo (en segundos), sabiendo que la frecuencia de la corriente eléctrica alterna de la red de Madrid es de 50 c/s.

- Cuestión 5

Disponga el patín, el ticógrafo y la cinta de registro en situación de funcionar conecte la corriente eléctrica. Seguidamente suelte rápidamente el patín y registre el movimiento.

- Cuestión 6

¿Cómo es la trayectoria?

- Cuestión 7

¿De qué tipo es el movimiento registrado?

- Cuestión 8

Con los datos del registro construya la gráfica "espacio-tiempo". ¿De qué tipo es la gráfica?

- Cuestión 9

¿Cómo averigua la velocidad  $v_i$  en cada instante dado, o en cada posición determinada?

- Cuestión 10

Construya la gráfica "velocidad-tiempo".

- Cuestión 11

¿Cómo averigua la aceleración  $a_i$  en cada instante dado?

- Cuestión 12

Construya la gráfica "aceleración-tiempo".

- Cuestión 13

¿Cómo es la línea obtenida?

- Cuestión 14

¿Cómo es la aceleración de este movimiento?

- Cuestión 15

¿Cuál es el valor encontrado en este movimiento para  $a$ ?

- Cuestión 16

¿De qué tipo ha sido el movimiento del patín?

2.4.3.1.3- Experiencia 3

"Movimiento de caída libre: estudio con el ticógrafa:"

El objetivo de esta experiencia es mostrar al alumno que la determinación experimental de la aceleración  $g$  del movimiento de caída libre puede determinarse fácilmente utilizando el mismo método experimental de los movimientos rectilíneos y asimismo que el alumno mida el valor de  $g$  a partir del análisis de la información contenida en la cinta registradora del ticógrafa.

En esta experiencia se enfatiza la matematización a partir del análisis de datos y resultados obtenidos con un montaje experimental y un método operatorio poco complicados.

El método suele dar un error inferior al 7%.

Fundamento de la experiencia: (Anexo 6 )

La medida de la aceleración  $g$  se realiza a partir de los datos grabados por el ticógrafo sobre una cinta registradora sujeta al objeto pesante objeto del ensayo.

De un primer análisis de la cinta el alumno puede averiguar cuanto mide la distancia vertical total  $ax$  recorrido por el objeto pesante, en función de la unidad  $t_1$  de tiempo que ha elegido, a partir de la expresión general

$$ax = v_0 t_1 + \frac{n^2}{2} g t_1^2 \quad \text{que ha encontrado experimentalmente.}$$

En un segundo análisis deduce la expresión general  $mn = v_0 t_1 + \frac{2n-1}{2} g t_1^2$  del desplazamiento parcial recorrido por el móvil en función de la unidad de tiempo elegida.

A continuación, mediante un análisis comparativo de expresiones matemáticas averigua el incremento de desplazamiento  $\Delta s$  en función de la unidad de tiempo y asimismo que dicho incremento es constante  $\Delta s = g t_1 = \text{const.}$

Finalmente determina el valor de  $g$  en  $\text{ms}^{-2}$  a partir de la anterior expresión, puesto que el ticógrafo estaba previamente tarado en "segundos".

Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

¿Cómo montará y utilizará el sistema plano-registrador para estudiar el movimiento de caída libre?.

- Cuestión 2

¿Cómo determinaría matemáticamente las distancias parciales recorridas  $ab, ac, ad, \text{etc.}$  registradas?.

- Cuestión 3

¿Cuál es la expresión general para determinar una distancia cualquiera ax recorrida?.

- Cuestión 4

¿Cómo determinaría matemáticamente las distancias parciales recorridas ab, bc, cd, etc....?.

- Cuestión 5

¿Cuál es la expresión general para determinar una distancia parcial recorrida mx cualquiera?.

- Cuestión 6

¿Cómo determinaría matemáticamente el incremento de longitud en cada recorrido parcial ab, bc, cd ... respecto del recorrido parcial precedente?.

- Cuestión 7

¿Cuál es la expresión general de los incrementos de longitud entre recorridos parciales bc-ab; cd-bc; de-cd ... etc.?.

- Cuestión 8

Organice un cuadro de valores con los datos anteriores obtenidos experimentalmente.

- Cuestión 9

Haga un análisis del cuadro de valores.

- Cuestión 10

¿Cuál es la expresión matemática para determinar la aceleración  $g$  de caída libre?.

- Cuestión 11

¿Cuál es el valor de  $g$  encontrado experimentalmente?.

- Cuestión 12

¿Cuál es el error relativo de  $g$ ?.

- Cuestión 13

¿Cómo modificaría el montaje experimental a fin de obtener valores más precisos de  $g$  ?.

2.4.3.1.4-

"Leyes de Newton: estudio de fuerzas, masas y aceleraciones"

El objetivo fundamental de esta experiencia es el análisis y la comprensión de las leyes del movimiento de los cuerpos (leyes de Newton) en función del equilibrio dinámico de fuerzas integrantes del sistema como forma de conservación.

Fundamento de la experiencia: (Anexo 7 )

Básicamente los ensayos consisten en el estudio de las aceleraciones producidas por fuerzas de acción constante actuando sobre una masa (patín) situada en plano horizontal o inclinado. Como fuerza de acción constante es utilizada una masa sometida a la atracción gravitatoria (peso).

En un primer análisis del esquema del montaje propuesto el alumno identifica el conjunto de fuerzas actuantes, como puede conocer la aceleración  $a$  del sistema, y la expresión matemática  $mg = (m + M)a$  que liga a fuerzas, masas y aceleraciones y que permitirá determinar en cada caso cada una de ellas cuando las otras son conocidas.

A continuación se estudia el movimiento en el caso de estar colocado el patín en un plano inclinado, considerando que en función del valor de la fuerza constante (masa colgante  $m$  sometida a la acción gravitatoria) dicho patín puede ascender, descender o quedar en reposo a lo largo del plano inclinado. En un análisis del esquema experimental propuesto (Anexo 7 ) el alumno determina cualitativamente en cada caso las relaciones de magnitud entre las fuer-

zas de tensión en el hilo y las fuerzas gravitatorias actuantes sobre las masas  $M$  y  $m$  del patín y del contrapeso respectivamente. Una vez concretado lo anterior puede proceder a establecer la ecuación general  $g (M \operatorname{sen} \alpha - m) = \pm a (M + m)$  del equilibrio dinámico de fuerzas aplicable en todos los casos.

Utilizando el citado esquema propuesto, el alumno puede determinar experimentalmente el valor de la masa  $M$  del patín y compararlo con su valor conocido (por pesada en balanza).

Finalmente se pide al alumno que analice todo lo ensayado y proponga modificaciones del método o montaje para mejorar la experiencia.

Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

Describe el principio de inercia (1ª ley de Newton).

- Cuestión 2

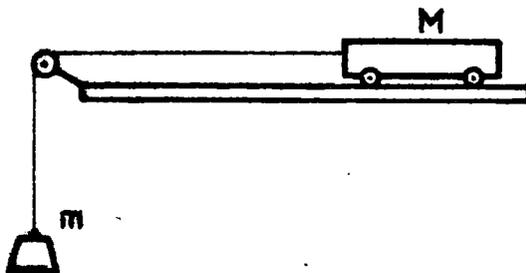
Describe la relación fundamental de la Dinámica (2ª ley de Newton).

- Cuestión 3

Describe el principio de la acción y reacción (3ª ley de Newton).

- Cuestión 4

¿Cuál es el sistema de fuerzas que actúa en el esquema propuesto?.



- Cuestión 5

¿Cómo procedería experimentalmente para determinar la aceleración  $a$  del sistema?.

- Cuestión 6

Realice el montaje propuesto.

- Cuestión 7

¿Qué valor tiene la fuerza generadora del movimiento?.

- Cuestión 8

¿De qué tipo es el movimiento producido?.

- Cuestión 9

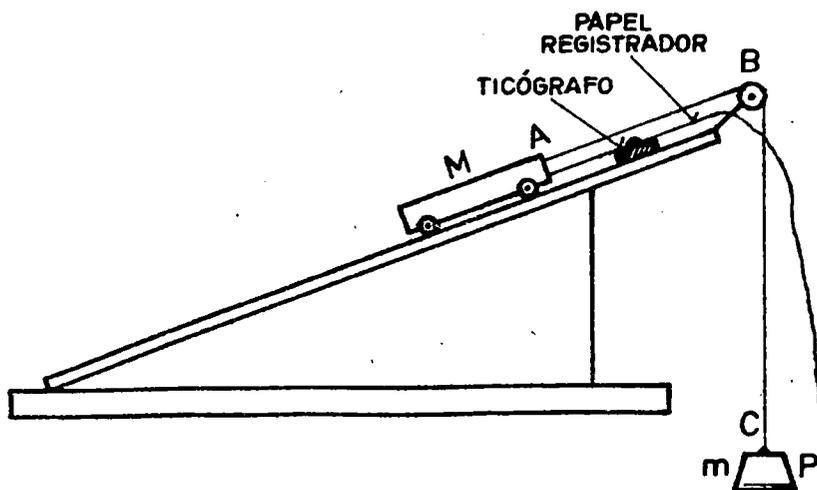
¿Qué expresión matemática utilizará?.

- Cuestión 10

¿Cuáles son los datos experimentales?.

- Cuestión 11

Si el sistema está dispuesto según el esquema adjunto ¿Qué relación hay entre la magnitud de la aceleración de la masa  $m$  y la del carrito  $M$ ?.



- Cuestión 12

Si la masa  $m$  asciende, la fuerza  $T_2$  de tensión ¿será mayor o menor que el peso de dicha masa?

- Cuestión 13

Si la tensión  $T_2$  fuese igual al peso de la masa  $m$  ¿Qué sucedería?

- Cuestión 14

Si la masa del carrito  $M$  desciende por el plano inclinado la tensión  $T_1$  ¿Será más grande o más pequeña que la fuerza  $F$  de tensión cuando está detenido?

- Cuestión 15

Si la tensión  $T_1$  fuese igual a la fuerza  $F$  ¿Qué sucedería?

- Cuestión 16

Establezca la ecuación del movimiento (Aplicable en todos los casos).

- Cuestión 17

Haga el montaje, determine experimentalmente el valor de la masa  $M$  del carrito y compárelo con su valor conocido.

- Cuestión 18

¿Cómo modificaría el método o el montaje experimental a fin de obtener mejores medidas?

2.4.3.1.5- Experiencia 5

"Movimiento de proyectiles: composición de movimientos"

En esta experiencia se pretende que el alumno investigue y conozca teórica y experimentalmente la naturaleza de la composición del movimiento rectilíneo uniforme

con rectilíneo acelerado uniforme a través de un estudio matemático de las ecuaciones implicadas y gráfico de las trayectorias obtenidas, estando el énfasis en la independencia de acción de los movimientos componentes.

Fundamento de la experiencia: (Anexo 8 )

El alumno comienza su investigación con un análisis de los movimientos implicados en el tiro de un proyectil. A través de un planteamiento vectorial y analítico obtiene la ecuación  $y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{(\operatorname{tg}^2 \alpha + 1) g x^2}{2 v_0^2}$  que liga a las variables  $x$ ,  $y$  (ecuación de la trayectoria) en función del ángulo de tiro  $\alpha$ .

Seguidamente, mediante análisis matemático obtiene la ecuación  $x = \frac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g}$  del alcance horizontal  $x$  y caso particular de ángulo  $\alpha$  de tiro conveniente para lograr el alcance máximo del proyectil. Asimismo deduce las expresiones referentes a la duración del trayecto, la altura máxima alcanzada y la posición de ésta respecto del eje  $OX$ .

A continuación averigua la expresión matemática  $\operatorname{tg}^2 \alpha - \operatorname{tg} \alpha \frac{2v_0^2}{gx} + \left(1 + \frac{2v_0^2 y}{gx^2}\right) = 0$  del ángulo de tiro necesario para alcanzar un punto cualquiera  $P$  de coordenadas conocidas. Comprueba que es una ecuación de 2º grado respecto del ángulo  $\alpha$ . Como consecuencia averigua que debido a tener dos soluciones existen dos ángulos posibles de tiro para alcanzar impacto en el punto  $P$ .

Una vez acabado este estudio matemático, el alumno procede a realizar el montaje experimental de un artificio analógico cuantitativo que le permitirá obtener dibujado sobre papel la familia de trayectorias del movi-

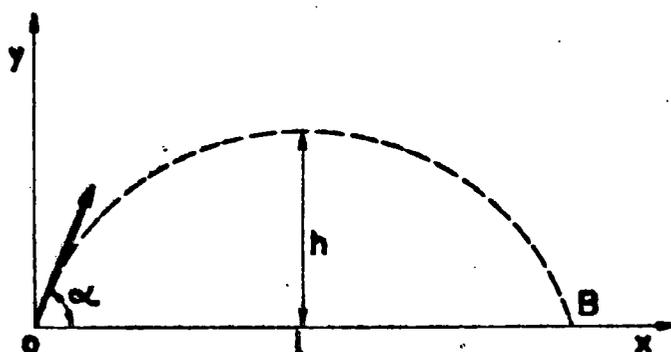
miento en función de distintos ángulos de tiro, comprobando cualitativa y cuantitativamente las conclusiones a que había llegado en el estudio matemático.

Finalmente se solicita del alumno criterios conducentes a obtener resultados experimentales más precisos.

Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

Haga un análisis de la composición de movimientos en el caso del esquema propuesto de tiro de proyectil.



- Cuestión 2

Describa vectorialmente y analíticamente los movimientos implicados.

- Cuestión 3

Obtenga la ecuación de la trayectoria.

- Cuestión 4

Según la ecuación obtenida ¿Qué tipo de línea es la trayectoria?

- Cuestión 5

¿Cuál es el valor de la ordenada en el punto B de impacto?

- Cuestión 6

Obtenga la ecuación del alcance horizontal  $\underline{x}$

- Cuestión 7

¿Cuáles son las soluciones de la ecuación del alcance horizontal?

- Cuestión 8

¿Para que ángulo  $\alpha$  de tiro es máximo el alcance  $\underline{x}$  ?.

- Cuestión 9

Deduzca la ecuación de la duración  $\underline{t}$  del trayecto.

- Cuestión 10

¿Cuál es el valor de la componente  $v_y'$  cuando el proyectil alcanza su máxima altura  $\underline{h}$  ?.

- Cuestión 11

¿Cuál es la expresión matemática de la altura máxima  $y = h$  ?.

- Cuestión 12

Completar la expresión  $\sin \alpha \cdot \cos \alpha = \underline{\hspace{2cm}}$

- Cuestión 13

¿Cuál es la expresión matemática de la posición  $\underline{x}'$  correspondiente a la altura máxima  $\underline{h}$  alcanzada?.

- Cuestión 14

¿Cuál es la relación entre la posición  $\underline{x}'$  de la altura máxima alcanzada y la distancia  $\underline{x}$  al punto B de impacto?.

- Cuestión 15

¿Cuál es la ecuación del ángulo  $\alpha$  de tiro necesario para alcanzar un punto P cualquiera de coordenadas  $(x,y)$  conocidas?.

- Cuestión 16

¿De que grado es la ecuación del ángulo  $\alpha$  de tiro?.

- Cuestión 17

Organice la ecuación del ángulo de tiro en forma ordenada de ecuación de 2º grado.

- Cuestión 18

Analice y comente sus soluciones.

- Cuestión 19

Realice el montaje experimental.

- Cuestión 20

Investigue experimentalmente todas las consideraciones propuestas.

- Cuestión 21

¿Cómo modificaría el método y el montaje experimental a fin de obtener valores más precisos?.

2.4.3.1.6- Experiencia 6

"Conservación: estudio vectorial de conservación de cantidad de movimiento y energía cinética"

Un primer objetivo fundamental de esta experiencia es que el alumno averigüe experimentalmente que la cantidad de movimiento es de naturaleza vectorial y que las sumas de cantidades de movimiento implicadas en un sistema se conservan.

Como segundo objetivo importante se pretende que el alumno descubra experimentalmente que existe una cantidad  $mv^2$ , no vectorial, que también se conserva.

En el aspecto experimental, la información se obtiene a partir de colisiones bidimensionales como sistema conservativo, ofreciéndose al alumno la posibilidad

de materializar gráficamente mediante composiciones dibujadas deducidas de los ensayos, determinadas propiedades de los vectores.

Fundamento de la experiencia: (Anexo 9 ).

En primer lugar se facilita al alumno un documento que contiene la experiencia nº 28 "Choque bidimensional" de la guía del laboratorio de la Física del P.S.S.C., del que se han suprimido algunos párrafos y se le pide que lo estudie detenidamente.

A continuación realiza el montaje experimental y determina vectorialmente la velocidad inicial de choque, que no debe tener un error superior al 2%. Por un razonamiento semejante también determina vectorialmente las velocidades después de la colisión. Las masas de las esferas son iguales en esta parte del ensayo.

Comprueba que aunque las cantidades de movimiento son constantes en el sistema, sin embargo la suma aritmética de sus módulos no lo es.

Al repetir el experimento utilizando masas distintas averigua que los "vectores-desplazamiento" que representan velocidades sobre el papel registrador ya no pueden representar cantidades de movimiento al no ser conservativa la suma vectorial de esas velocidades, pero que si multiplica dichas velocidades por sus respectivas masas entonces vuelven a conservarse las cantidades de movimiento.

A continuación el alumno compara los cuadrados de las velocidades implicadas, pudiendo apercibirse de que el cuadrado de la velocidad de choque de la esfera incidente es aproximadamente igual a la suma aritmética de los cuadrados de las velocidades de las esferas después del choque. Con lo anterior se pretende sugerir que se conserva una cierta magnitud en la que figura el cuadrado de la

velocidad.

En el caso de masas desiguales obtiene que no se conserva el cuadrado de las velocidades. Sin embargo cuando dichos cuadrados de las velocidades se multiplican por sus respectivas masas, entonces la suma de los  $mv^2$  iniciales es igual a la suma de los finales.

Finalmente, mediante razonamientos y cálculos de termina la conservación de la energía cinética antes y después del choque y pone de manifiesto como puede relacionar se la pérdida de energía cinética en este experimento en función del ángulo  $\alpha$  que forman entre sí los vectores después de la colisión, puesto que sabe experimentalmente que cuando se conserva la energía cinética y son iguales las masas, este ángulo vale  $90^\circ$ .

Como  $\vec{v}_1 = \vec{v}'_1 + \vec{v}'_2$  se tendrá para las magnitudes de esos vectores que  $v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2 - 2 v_1' v_2' \cos\alpha$  y si se conserva la energía y son iguales las masas:

$\frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m v_1'^2 + \frac{1}{2} m v_2'^2$ ; será  $v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2$  y por tanto  $\alpha = 90^\circ$  implicando ello que cualquier desviación de  $\alpha$  muestra que la energía cinética no se está conservando.

Secuencia de cuestiones:

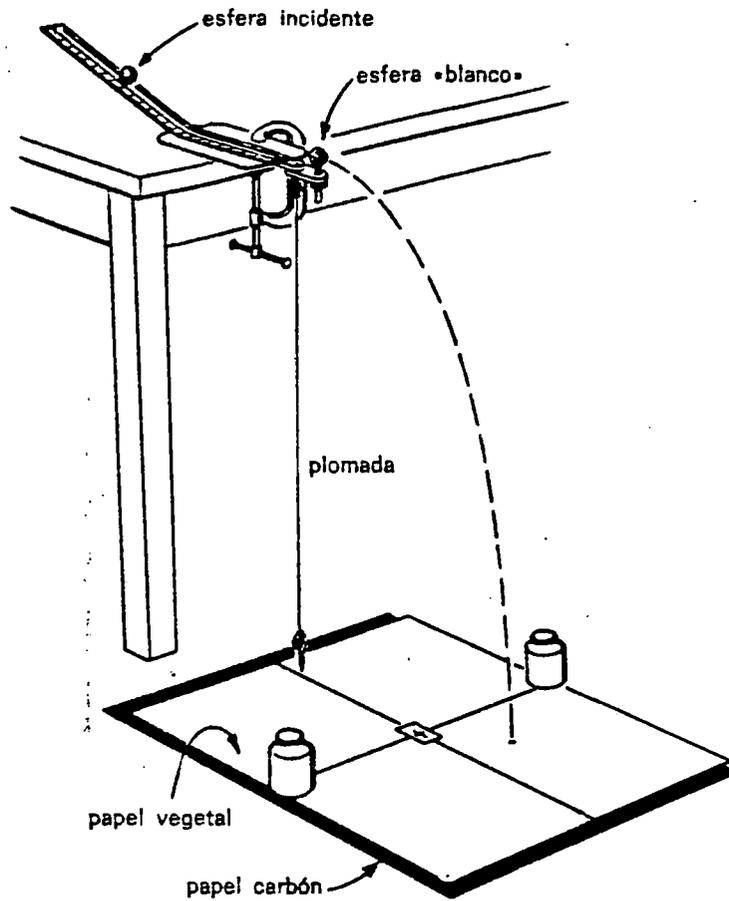
Instrucción: estudie detenidamente el documento 28 adjunto.

- Cuestión 1

¿Cómo se determina la velocidad de las esferas?.

- Cuestión 2

Disponga el experimento según el esquema adjunto



- Cuestión 3

Determine experimentalmente la velocidad inicial de choque de la esfera incidente.

- Cuestión 4

¿Cuál es el % de error de las velocidades incidentes respecto del valor medio de ellas?.

- Cuestión 5

Realice la experiencia proyectada ¿Cómo determinaría la posición inicial de las esferas en el instante del

impacto.

- Cuestión 6

¿Cómo determina vectorialmente las cantidades de movimiento iniciales y finales?

- Cuestión 7

¿Qué relación existe entre la cantidad de movimiento inicial y la suma vectorial de las cantidades de movimiento finales?

- Cuestión 8

¿Que relación existe entre la cantidad de movimiento inicial y la suma aritmética de las magnitudes de las cantidades de movimiento después del choque?

- Cuestión 9

Repita la experiencia con dos esferas de igual tamaño pero de masas diferentes ¿Cuál de ellas debe situarse como esfera incidente?

- Cuestión 10

¿Qué relación existe en este caso entre la suma vectorial de las velocidades finales respecto de la velocidad inicial?

- Cuestión 11

¿Cómo transformará los vectores velocidad en vectores cantidad de movimiento cuando las esferas no son iguales?

- Cuestión 12

¿Qué relación existe entre la suma vectorial de las cantidades de movimiento finales y la inicial?

- Cuestión 13

Compare las componentes vectoriales de las cantidades

de movimiento finales respecto de la dirección normal a la cantidad de movimiento inicial. ¿Qué resultado encuentra?.

- Cuestión 14

En el caso de esferas de masas iguales. Compare el cuadrado  $v_1^2$  de la magnitud de la velocidad incidente con la suma de los cuadrados  $v_1'^2 + v_2'^2$  de las magnitudes de las velocidades finales. ¿Qué deduce?.

- Cuestión 15

¿Le sugiere la ecuación  $v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2$  que en el choque se conserva una cierta cantidad en la que figura el cuadrado de la velocidad?.

- Cuestión 16

¿Qué le sugiere la ecuación  $v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2$  acerca del ángulo  $\alpha$  entre  $v_1'$  y  $v_2'$ ? Compruébelo experimentalmente.

- Cuestión 17

En el caso de masas desiguales ¿Se conserva el cuadrado de las velocidades?.

- Cuestión 18

En el caso de masas diferentes se encuentra que no se conserva el cuadrado de las velocidades, pero ¿Qué sucede cuando éstas se multiplican por los valores de las masas respectivas?.

- Cuestión 19

En el caso de masas iguales ¿Puede afirmarse lo siguiente?  $\frac{1}{2} mv_1^2 = \frac{1}{2} mv_1'^2 + \frac{1}{2} mv_2'^2$  ;  $Ec_1 = Ec_1' + Ec_2'$  .

- Cuestión 20

En el caso de masas diferentes ¿Cómo se expresaría

la conservación de la energía cinética?

- Cuestión 21

Cuando se conserva la energía cinética se pone de manifiesto que  $\alpha = 90^\circ$ , pero ¿Qué sucede con dicho ángulo cuando hay pérdida de energía?

- Cuestión 22

Siendo  $\vec{v}_1 = \vec{v}'_1 + \vec{v}'_2$  (cuando las masas son iguales) tendremos para los módulos  $v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2 - 2 v_1' v_2' \cos \alpha$   
Y si se conserva la energía y las masas son iguales  $v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2$  de donde resultará que  $\alpha = \dots$

- Cuestión 23

¿Cuáles son a su juicio las dos conclusiones más fundamentales que se deducen de esta experiencia?

2.4.3.2.1- Experiencia 7

"Experiencia de Oersted" (película) 20 min, sonori-  
zada.

El objetivo básico de esta experiencia es presentar al alumno mediante documento filmado una introducción al campo generado por una corriente eléctrica, a partir de la experiencia histórica de Oersted, a fin de que interprete los fenómenos implicados descritos mediante esta modalidad de presentación que es el lenguaje cinematográfico.

Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

Cuando se invierte el sentido de la corriente que atraviesa el conductor ¿Qué se observa en la brújula?

- Cuestión 2

¿De qué depende la cuantía de la desviación de la brújula?

- Cuestión 3

¿De qué depende la intensidad del campo magnético creado por el hilo conductor?.

- Cuestión 4

¿Cómo se comporta la aguja imantada según esté colocada debajo o encima del hilo conductor?.

- Cuestión 5

¿Qué deduce de lo anterior?.

- Cuestión 6

¿Cómo se comporta la aguja imantada cuando la situamos en distintos puntos en un plano horizontal atravesado perpendicularmente por un hilo conductor vertical?.

- Cuestión 7

¿Qué posición tomarían cuatro agujas imantadas colocadas en un plano horizontal, a derecha e izquierda y de lante y detrás de un hilo conductor vertical?.

- Cuestión 8

¿Cómo se comportará una aguja imantada si trasladamos su eje de suspensión horizontalmente alrededor de un hilo conductor vertical?.

- Cuestión 9

¿Qué deduce de las tres cuestiones anteriores?.

- Cuestión 10

¿Qué demuestra el experimento de las limaduras de hierro esparcidas sobre un plano horizontal atravesado perpendicularmente por un hilo conductor vertical?.

- Cuestión 11

Quando se cambia el sentido de la corriente que recorre el hilo ¿Qué sucede al campo magnético generado?.

- Cuestión 12

¿Cómo se deduce la regla del sacacorchos de los experimentos anteriores?.

- Cuestión 13

¿Qué sucede con la aguja imantada trasladada en el mismo plano alrededor del imán?.

- Cuestión 14

¿Qué muestra el experimento de las limaduras de hierro esparcidas en las proximidades del imán?.

- Cuestión 15

En las experiencias anteriores ¿Cuáles son las influencias que pueden afectar en la práctica? ¿Cómo procedería para evitarlas o reducirlas en lo posible?.

2.4.3.2.2- Experiencia 8

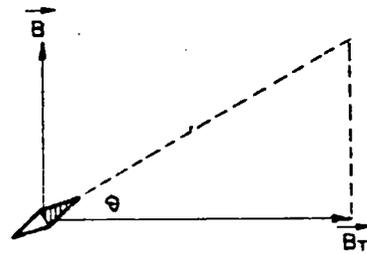
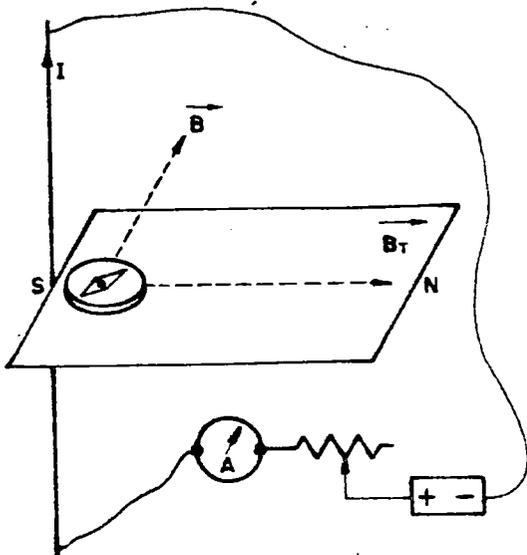
"Campo creado por un conductor rectilíneo"

En esta experiencia se pretende que el alumno investigue gráfica y experimentalmente determinadas propiedades del campo magnético generado alrededor de los conductores rectilíneos atravesados por corrientes eléctricas.

Fundamento de la experiencia:

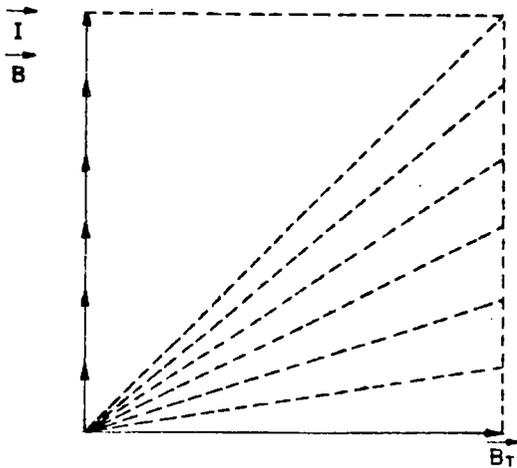
En primer lugar debe realizarse el siguiente montaje y deducir teórica y experimentalmente la dirección y sentido del campo magnético  $\vec{B}$  creado. (esquema II.a)

A continuación el alumno procede a realizar una determinación vectorial de la intensidad de dicho campo en función de la intensidad (conocida) del campo  $\vec{B}_T$  magnético terrestre. Utilizando la brújula como explorador puede observar que la intensidad  $B$  del campo magnético no es uniforme en todos los puntos que rodean al conductor. Me-



II.a

diante desplazamientos radiales  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  cada vez más alejados del hilo el alumno obtiene datos del valor del campo en función de la distancia al hilo a fin de realizar un diagrama vectorial de dichas intensidades  $B$  del campo magnético en función de las distancias al conductor, cumpliéndose en cada punto  $P$  del espacio que  $B = B_T \operatorname{tg} \theta$ .

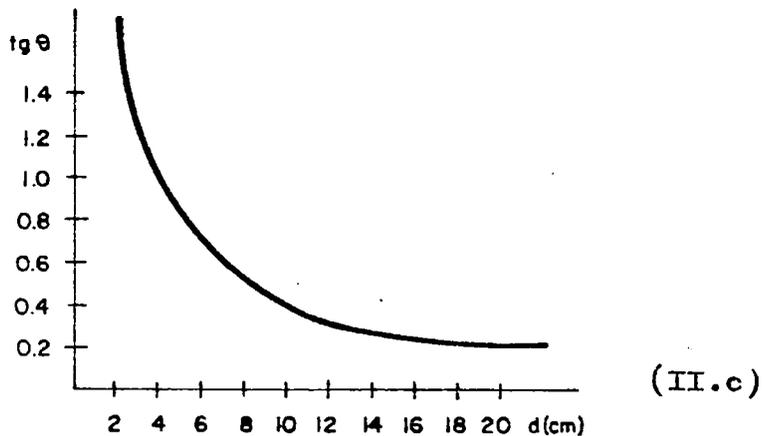


II.b

Mediante un método vectorial y trigonométrico análogo al anterior puede determinar experimentalmente como se modifica el campo en un punto dado del espacio en función de la intensidad de la corriente  $I$  que atraviesa el hilo. (II.b)

Seguidamente representa gráficamente las intensidades del campo (proporciona-

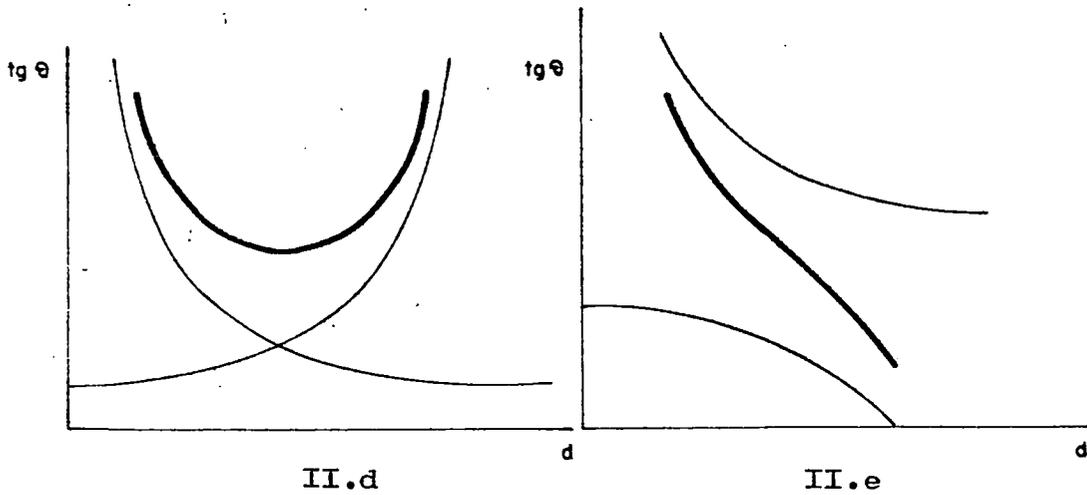
les a  $\text{tg } \theta$ ) en función de las distancias  $d$  al conductor, obteniendo una gráfica del siguiente tipo. (II.c)



Con todos los datos anteriores puede concretar de que variables depende la intensidad  $B$  del campo magnético creado alrededor del hilo.

Utilizando parecida técnica estudia a continuación el campo que se crea entre dos hilos paralelos recorridos por una corriente eléctrica, considerando que dicha corriente puede circular en el mismo o en opuesto sentido por los hilos. Así puede averiguar que los campos se superponen y en un caso el campo resultante en cada punto es consecuencia de la diferencia de los campos componentes en dichos puntos, anulándose en los puntos equidistantes entre los conductores paralelos, y asimismo que en el otro caso los campos se superponen sumativamente.

Finalmente, procede a realizar las gráficas correspondientes a las situaciones propuestas con lo cual dispone de información más concreta que le permitirá un mejor análisis y conclusiones sobre lo investigado. (II.d) (II.e)



Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

Realice el montaje propuesto e indique la dirección y sentido del campo creado alrededor del hilo conductor.

- Cuestión 2

Verifique experimentalmente el sentido y dirección del campo creado.

- Cuestión 3

¿Cómo determinaría vectorialmente la intensidad del campo magnético en función del campo terrestre?

- Cuestión 4

¿Qué sucede cuando se invierte el sentido de la corriente que atraviesa el hilo conductor?

- Cuestión 5

Compruebe lo anterior.

- Cuestión 6

¿Cómo determinaría la intensidad del campo produci-

do por la corriente en función de la distancia al conductor?.

- Cuestión 7

Realice el diagrama vectorial de intensidades del campo en función de las distancias al hilo conductor.

- Cuestión 8

¿Cuál es la relación trigonométrica entre la componente horizontal del campo terrestre y el campo creado por el conductor?.

- Cuestión 9

Represente gráficamente la relación entre  $\text{tg } \theta$  (siendo  $\theta$  el ángulo de desviación de la aguja magnética de exploración) y la intensidad de corriente que atraviesa el hilo.

- Cuestión 10

¿Qué deduce de lo anterior?.

- Cuestión 11

Haga la gráfica que relaciona la intensidad del campo en función de la distancia al hilo.

- Cuestión 12

¿Qué deduce de lo anterior?.

- Cuestión 13

¿De que variables depende la intensidad del campo magnético creado alrededor del hilo?.

- Cuestión 14

Si el hilo conductor fuese bastante más corto (por ejemplo de 20 cm) ¿Cómo varía la intensidad del campo en función de la distancia al hilo?.

- Cuestión 15

¿Cómo estudiaría la variación del campo producido entre dos hilos conductores paralelos?.

- Cuestión 16

¿Qué montaje propone para estudiar el campo entre dos hilos paralelos?.

- Cuestión 17

Haga un estudio experimental del campo entre dos hilos paralelos conductores.

- Cuestión 18

¿Es el campo entre dos hilos paralelos equivalente a la superposición del campo creado por cada hilo conductor?.

- Cuestión 19

Compare la gráfica intensidad-distancia correspondiente al campo creado entre dos hilos paralelos con la gráfica correspondiente al campo generado por cada hilo ¿Qué deduce?.

- Cuestión 20

Haga un estudio comparativo de dichas gráficas, obtenidas experimentalmente, según circule la corriente por los hilos en el mismo o en opuesto sentido ¿Qué deduce de ello?.

- Cuestión 21

¿Qué conclusiones saca de la experiencia realizada?.

- Cuestión 22

Haga una crítica de los métodos utilizados.

## 2.4.3.2.3- Experiencia 9

Campo magnético (película) 6 min; sonorizada, monoconceptual.

Objetivo de esta película es presentar al alumno de forma clara y concisa determinados conceptos y propiedades referentes al campo magnético y electroimanes a fin de que interprete los experimentos presentados mediante el lenguaje fílmico.

Secuencia de cuestiones:

## - Cuestión 1

¿Qué campos magnéticos actúan sobre la aguja imantada?

## - Cuestión 2

¿Cómo determinaríamos la resultante de la acción de los campos magnéticos sobre la aguja imantada?

## - Cuestión 3

¿En que dirección se orienta la aguja imantada?

## - Cuestión 4

Si el campo creado por la bobina es perpendicular al campo terrestre ¿Qué puede deducirse cuando el ángulo de desviación de la aguja imantada es de  $45^{\circ}$ ?

## - Cuestión 5

¿Cómo puede aumentarse la intensidad del campo magnético generado por un solenoide?

## 2.4.3.2.4- Experiencia 10

"Campo creado por un conductor cerrado".

El alumno a través de esta experiencia puede verificar que las características vectoriales asociadas al campo magnético generado por un conductor rectilíneo se

siguen conservando en el caso de un conductor cerrado, de tal forma que cuando el campo magnético es proporcional a la corriente que lo genera, la superposición de campos magnéticos cumple las propiedades de la suma vectorial.

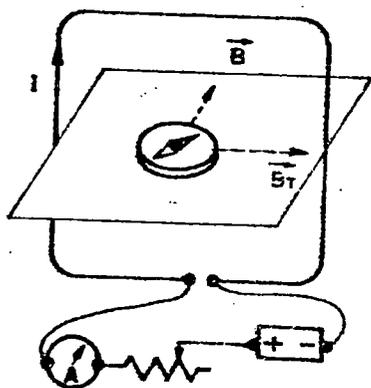
Fundamento de la experiencia:

Se utiliza una espira rectangular como conductor cerrado y como sistema de referencia conocido, el campo magnético terrestre. Con una brújula se estudia la magnitud y dirección del campo en el centro de la espira, llegando el alumno a deducir experimentalmente que los campos magnéticos se suman vectorialmente y que son proporcionales a las corrientes que los generan. (II.f)

En el caso de una o más espiras la composición vectorial dará por tanto

$B = B_T \operatorname{tg} \theta$ , siendo la intensidad  $B$  proporcional a  $\operatorname{tg} \theta$ .

Realizando la gráfica de  $\operatorname{tg} \theta$  (o de  $B$ ) en función del número de espiras, debe dar muy aproximadamente una recta. Es importante hacer notar de que si bien la intensidad de corriente que atraviese el conductor es constante, sin embargo al aumentar el número de espiras la corriente que circula por



II.f

la bobina es  $N$  veces la corriente de una sola espira, generándose así un campo  $N$  veces mayor  $B = K'NI = K \frac{NI}{r}$ . Este método permite al alumno aumentar la corriente en cantidades cuantitativamente medibles sin utilizar un amperímetro.

Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

Una espira rectangular es atravesada por una corriente eléctrica ¿Cuál es la dirección y sentido del campo magnético generado en dicha espira?.

- Cuestión 2

¿Qué efecto produce la inversión del sentido de la corriente en el sentido del campo magnético?.

- Cuestión 3

¿Cómo dispondría los componentes adjuntos para estudiar la intensidad del campo creado por una espira? (en función del campo magnético terrestre).

- Cuestión 4

Haga un diagrama de composición vectorial para determinar la intensidad del campo magnético en función del campo terrestre.

- Cuestión 5

¿Qué relación trigonométrica liga las intensidades de los dos campos?.

- Cuestión 6

¿Cómo duplicaría la intensidad de corriente que genera el campo magnético?.

- Cuestión 7

Duplique la intensidad de corriente generadora del campo añadiendo otra espira. Determine vectorialmente la intensidad del campo magnético creado.

- Cuestión 8

Siga aumentando la intensidad de corriente añadiendo nuevas espiras y determine vectorialmente la intensidad del campo magnético creado para cada nueva espira.

- Cuestión 9

¿Que relación liga a la intensidad  $B$  del campo con la corriente  $I$  de las espiras y la distancia  $l = r$  al centro de ellas?.

- Cuestión 10

¿Qué sucede si al arrollar las espiras, unas van en un sentido y otras en el contrario?.

- Cuestión 11

¿Cómo procedería para generar campos magnéticos intensos mediante espiras?.

2.4.3.2.5- Experiencia 11

"Campo magnético creado en el interior de un solenoide".

Objetivos principales de esta experiencia son que el alumno verifique la fuerza que soporta un conductor recorrido por una corriente, en el seno de un campo magnético; que determine experimentalmente la perpendicularidad vectorial (regla de la mano derecha) entre el campo magnético, la corriente y la fuerza, estableciendo asimismo experimentalmente una medida del campo magnético expresada en newton, amperios y metros.

Fundamento de la experiencia: (Anexo 10 )

En primer lugar se facilita al alumno un documento impreso correspondiente al experimento nº 42 de la Guía de Laboratorio del PSSC.; a fin de que lo estudie cuidadosamente e identifique los componentes y aparatos a emplear y más concretamente la balanza magnética y el tipo de montaje y circuito que conviene realizar.

Se pide del alumno que proponga un método operativo en que basar la sistemática de sus investigaciones.

Una vez realizado el montaje y nivelada la balanza, comprueba que al circular la corriente por el solenoide y generarse el campo magnético, el circuito impreso del balancín se desnivela advirtiéndose así la aparición de una fuerza  $F$  que puede ser medida sobre el elemento conductor.

Actuando sobre la corriente que circula por el solenoide y sobre la que pasa por el elemento conductor  $l$  del balancín puede tener distintos valores para la intensidad  $B$  del campo y para la corriente  $I$  a los que corresponderán valores de  $F$ , medibles. Al ser conocido  $l$  esto le permite determinar cuantitativamente en cada caso el campo magnético en el interior del solenoide utilizando la expresión

$$F = B I l \quad \text{de donde} \quad B = \frac{F}{I l} \quad \frac{\text{newton}}{\text{amperio} \cdot \text{metro}}$$

Secuencia de cuestiones:

- Cuestión 1

Estudie detenidamente el documento 42 y examine el instrumental citado en dicho documento, procediendo a identificar los elementos componentes.

- Cuestión 2

¿Cómo sería el montaje y el sistema de conexiones?.

- Cuestión 3

¿Qué método operatorio propone?.

- Cuestión 4

Una vez ha situado la balanza magnética sobre su soporte proceda a nivelarla cuidadosamente actuando sobre la tuerca de contrapeso.

Seguidamente genere un campo magnético en el solenoide. Al actuar sobre el variac procure que la corriente a través del solenoide sea de 4 amperios.

- Cuestión 5

¿Cómo medirá dicho campo utilizando la balanza magnética?

- Cuestión 6

Ahora para medir un campo  $\vec{B}$  actúe sobre el cursor del reostato y haga pasar una corriente de 1 amperio por el circuito impreso de la balanza. Observe su comportamiento.

¿Cómo determinará la fuerza necesaria para equilibrar la balanza?

- Cuestión 7

¿Cómo determinará el valor del peso nivelador?

- Cuestión 8

¿Qué relación existe entre la fuerza  $F$  necesaria para equilibrar la balanza y la fuerza que el campo magnético  $B$  hace sobre el conductor que se ha situado en su interior?

- Cuestión 9

¿Sobre que parte  $\underline{l}$  del circuito impreso de la balanza actúa el campo magnético?

- Cuestión 10

¿Cuál es el valor de la intensidad del campo magnético en el interior del solenoide?

- Cuestión 11

Mida a continuación la intensidad  $B$  del campo magnético para los valores diferentes de la corriente que atraviesa la balanza (¡Sin sobrepasar los 3 amperios!).

- Cuestión 12

Si  $1 \text{ amp} = 1 \text{ cul. s}^{-1} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ cargas elementales. s}^{-1}$

¿Cuál es la intensidad  $B$  del campo en  $\frac{\text{newton} \cdot \text{segundo}}{\text{carga elemental} \cdot \text{metro}}$  ?.

- Cuestión 13

Mida ahora el campo  $\vec{B}$  en el solenoide para distintos valores de la corriente que lo atraviesa (¡No sobrepasar los 5 amperios!), siendo de 1 amperio la intensidad constante que circula por la balanza.

- Cuestión 14

Haga una representación gráfica de la intensidad  $B$  del campo en función de la intensidad  $I$  de la corriente que circula por la bobina.

- Cuestión 15

¿Qué relación existe entre el campo  $\vec{B}$  en el interior del solenoide y la intensidad  $I$  de corriente que lo atraviesa?.

- Cuestión 16

¿Cuáles son a su juicio las principales fuentes de error que condicionan los resultados de esta experiencia?.

2.4.3.2.6- Experiencia 12

"Determinación de la masa del electrón".

Se pretende que el alumno investigue la desviación de una partícula cargada en un campo magnético y su aplicación a determinar la masa del electrón, considerando que la fuerza ejercida sobre una partícula cargada en movimiento en un campo magnético es un fenómeno análogo a la fuerza sobre un conductor en un campo magnético si se considera dicha fuerza como la suma de las fuerzas sobre las par

tículas elementales que constituyen la corriente.

Fundamento de la experiencia (Anexo 11 )

El alumno debe inicialmente estudiar el documento N° 43 de la Guía de Laboratorio del PSSC.

A continuación se desarrolla la relación entre un haz de partículas cargadas y una corriente de tal forma que los datos correspondientes a las partículas se sustituyen en la expresión  $F = B I l$  de la fuerza sobre un conductor en un campo magnético, obteniéndose la fuerza sobre cargas en movimiento  $F = B q v$ .

El artificio experimental empleado para generar el haz de electrones es una lámpara termoiónica de radio tipo "ojo mágico" fácil de adquirir, mostrándose en esta experiencia cómo se puede determinar la masa del electrón con un método sencillo, dentro del orden de magnitud de  $10^{-30}$  Kg,

utilizando la expresión deducida  $m = \frac{B^2 q r^2}{2V}$

Secuencia de cuestiones:

Instrucción: estudie detenidamente el documento 43.

- Cuestión 1

¿Cuál es la expresión de la energía puesta en juego por una carga eléctrica en movimiento?.

- Cuestión 2

Identifique el significado de las variables que figuran en la expresión  $qV = \frac{1}{2} m v^2$ .

- Cuestión 3

Aplice la regla de la mano en el caso del electrón descrito en el documento.

- Cuestión 4

¿Qué expresión relaciona la fuerza  $\underline{F}$  que soporta una carga eléctrica que se mueve con velocidad  $\underline{v}$  perpendicularmente a un campo magnético  $B$ ?

- Cuestión 5

Identifique el significado vectorial de las variables que figuran en la expresión  $F = Bqv$ .

- Cuestión 6

Deduzca la expresión  $m = \frac{B^2 q r^2}{2V}$

- Cuestión 7

Describe el funcionamiento del "ojo mágico" en la experiencia propuesta.

- Cuestión 8

¿Por qué los electrones se desvían en trayectoria curva entre el cátodo y el ánodo del "ojo mágico".

- Cuestión 9

¿Cómo dispondrá los componentes para realizar el montaje de la experiencia?

- Cuestión 10

Explique prácticamente como determinará la curvatura del haz de electrones.

- Cuestión 11

¿Cómo determinará matemáticamente el valor del campo magnético  $\vec{B}$  de la bobina?

- Cuestión 12

Calcule el valor de la masa del electrón.

- Cuestión 13

¿Es conveniente utilizar el campo magnético terrestre

para desviar el haz de electrones?. ¿Qué dimensiones debería tener la lámpara en este caso?.

- Cuestión 14

Indique si sería práctico determinar la masa del electrón acelerándolo mediante una ddp determinada y observando su desviación en el campo gravitatorio terrestre.

### CAPITULO III

#### APLICACION DEL METODO DE UNIDADES INTEGRADAS. SU INFLUENCIA SOBRE EL INTELLECTO Y EL PENSAMIENTO CIENTIFICO DE LOS ALUMNOS

- 3.1- Influencia del método sobre el intelecto de los alumnos.
  - 3.1.1- Breve resumen sobre la Naturaleza de la inteligencia.
    - 3.1.1.1- Evaluación de la inteligencia.
    - 3.1.1.2- Los tests de inteligencia.
    - 3.1.1.3- El test AMPE utilizado.
  - 3.1.2- Relación entre la frecuencia de las evaluaciones y el rendimiento del alumno.
  - 3.1.3- El comportamiento intelectual y el aprendizaje según la teoría de J. Piaget.
  - 3.1.4- La evaluación en este método.
- 3.2- Influencia del método de "Unidades Integradas" sobre el pensamiento científico de los alumnos.
  - 3.2.1- Taxonomía de los objetivos.
    - 3.2.1.1- Taxonomías de carácter científico.
  - 3.2.2- Selección de la Taxonomía utilizada en las U.I.
    - 3.2.2.1- Identificación de actividades intelectivas en las U.I.
    - 3.2.2.2- Contenido y distribución de las actividades intelectivas.
- 3.3- Correlación entre el desarrollo del intelecto y el pensamiento científico a través del método.
- 3.4- Aplicación del método.
  - 3.4.1- Control de efectos implicados.
  - 3.4.2- Grupo experimental y de control.
  - 3.4.3- Aplicación de las pruebas.
- 3.5- Resultados experimentales obtenidos.
  - 3.5.1- Resultados en el test AMPE.
  - 3.5.2- Resultados en las "Unidades Integradas".

## EL METODO DE UNIDADES INTEGRADAS Y EL COMPORTAMIENTO INTELECTIVO

Objetivo fundamental de la educación y de la enseñanza de la Ciencia es producir cambios duraderos en la capacidad científica del alumno. Es por ello que, incluidos en el ámbito de la evaluación, se encuentran los problemas de transferencia y retención.

Sin embargo, la mayoría de las evaluaciones y de las investigaciones en este sentido, se ocupan del rendimiento del alumno poco después del entrenamiento, y no es frecuente contar con estudios de seguimientos en años posteriores, aunque algunos realizados parecen indicar que gran parte del saber académico se pierde en uno o dos años, sobre todo, cuando el conocimiento adquirido lo ha sido sobre hechos científicos aislados y poco generales, que no están formando parte de una estructura conceptual (51).

En la práctica, es irrealizable la comprobación a posteriori de si se ha alcanzado o no, y en qué grado, el objetivo de producir cambios duraderos en el pensamiento científico de los alumnos; ya que generalmente no es factible la recuperación del grupo, años después, a fin de someterlo a nueva experimentación.

En el trabajo que aquí presentamos, además de evaluar el rendimiento en Física de los alumnos al final de la aplicación de nuestro método de enseñanza, hemos procedido a determinar si producía cambios en el intelecto de los alumnos, utilizando para ello test factorial de inteligencia.

Considerando la imposibilidad antes expuesta de controlar científicamente, mediante evaluación posterior, si se producen cambios, es importante el hecho de determinar, utilizando otro método distinto a dicha evaluación, si se producen cambios en el intelecto puesto que éstos son dura-

deros y no retrogradan, al menos directamente, en función del olvido. Por tanto, si demostramos que con nuestro método de enseñanza de Física se producen cambios positivos duraderos en el intelecto del sujeto, podemos admitir como muy probable que también se habrá beneficiado su capacidad intelectual de pensamiento científico en el campo de la Física.

Veremos más adelante que efectivamente esos cambios intelectivos se producen con nuestro método y asimismo demostraremos estadísticamente que son significativos.

### 3.1- Influencia del método sobre el intelecto de los alumnos.

Como consecuencia de lo anterior surgen dos consideraciones a tener presente:

- a) Cambios producidos en los factores intelectivos.
- b) Modificaciones en los mecanismos intelectivos, a la luz de la teoría de Piaget.

En lo que respecta a la primera consideración, demostraremos que se producen cambios positivos en el test AMPE de inteligencia utilizado.

Referente a modificaciones en los mecanismos intelectivos, interpretados según la teoría de Piaget, hemos suesto (aunque ello necesitaría otra investigación posterior) que la utilización de multimedios, tales como lecturas, películas, esquemas, montajes, manipulaciones etc., y la evaluación, como elemento del método, a través de un sistema secuencial de preguntas-respuestas, ofrece al alumno situaciones múltiples de aprendizaje y un ejercicio no discontinuo en los procesos mentales de reestructuración y equilibrio contenidos en el sistema "estimulo-acomodación-respuesta" de la teoría del desarrollo intelectual de Piaget.

### 3.1.1- Breve resumen sobre la naturaleza de la inteligencia.

Puede describirse la inteligencia como "la capacidad global y compleja del individuo para actuar en un sentido determinado, pensar de manera racional y tener contacto útil con su medio" (52). Es global porque caracteriza el comportamiento en conjunto y es compleja porque está compuesta de elementos (aptitudes) que, sin ser enteramente independientes, son diferenciables cualitativamente, de tal forma que la cuantificación de dichas aptitudes sirve de fundamento para evaluarla.

Sin embargo, dicha evaluación no consiste en la simple adición de esas aptitudes, ya que tres consideraciones deben ser tenidas en cuenta: 1º El comportamiento inteligente no solo es función del número y cuantía de las aptitudes, sino también de su distribución, o sea de su configuración. 2º Existen otros factores además de la aptitud intelectual, tales como por ejemplo, los de tendencia y estimulación, que intervienen en el comportamiento inteligente. 3º Aunque ciertos tipos de comportamiento inteligente puedan conllevar la aportación más intensiva de algunas aptitudes, sin embargo, el predominio de una determinada aptitud puede influir relativamente poco en la eficacia del comportamiento inteligente en conjunto.

En lo concerniente a la inteligencia general, parece ser, que las aptitudes intelectuales deben entrar en un mínimum necesario. Así, para actuar inteligentemente es necesario ser capaz de acordarse de detalles, es decir, tener una memoria fiel. Lo mismo sucede con la aptitud para el razonamiento. Sin embargo, más allá de determinados valores, las aptitudes, no serán de demasiada utilidad para resolver con éxito las diversas situaciones que se presenten a la acción de la inteligencia. Por ejemplo, de la excepcional capacidad de razonamiento de un matemático, no se deduce necesari-

riamente que, en conjunto, su comportamiento sea considerado como muy inteligente, en el sentido de la definición anterior de inteligencia general.

### 3.1.1.1- Evaluación de la inteligencia.

Aunque, como se ha indicado, la inteligencia no sea la simple suma de las aptitudes intelectuales, sin embargo, el único medio con que se cuenta para determinarla cuantitativamente es a través de la evaluación de los diversos aspectos de dichas aptitudes.

Conocemos la inteligencia por su aspecto operativo, "por lo que ella nos permite hacer", o sea, por sus efectos, denominados "operaciones mentales" por los psicólogos. Es por ello que, desde un punto de vista pragmático, puede admitirse la equivalencia entre la inteligencia general y la capacidad intelectual.

Se debe a Thorndike la teoría de que, la medida de la inteligencia, debe basarse en una evaluación cualitativa y cuantitativa de las operaciones mentales, considerando el número, la perfección o la rapidez con que dichas operaciones son realizadas, correspondiéndose las aptitudes con los diferentes tipos de operaciones. Así por ejemplo, la operación consistente en asociar unos hechos con otros y recordarlos separadamente, o en conjunto, en el momento deseado, se denomina aprendizaje; a la de sacar conclusiones, o deducir relaciones, entre ellos, se denomina razonar y a la de simplemente retener, la memoria.

### 3.1.1.2- Los test de inteligencia.

Se sabe, que la nota obtenida por un individuo en una evaluación de la inteligencia, depende bastante del tipo de test utilizado. En efecto, la nota obtenida en un test con un gran peso en elementos verbales, puede diferir notablemente de la obtenida en otro, conteniendo principalmente

elementos espaciales o de cálculo. Sin embargo, se ha comprobado experimentalmente que los individuos, que han obtenido una nota elevada en un determinado tipo de test, tienden a tener en otros tests diferentes, también notas altas, sucediendo lo mismo para sujetos con notas intermedias o bajas.

Esto coincide con el criterio sostenido desde hace bastante tiempo por los psicólogos, referente a la doble característica de las aptitudes mentales: de una parte la especificidad, de otra la existencia de una interdependencia entre ellas.

Desde que los psicólogos comenzaron a utilizar series de tests para la medida de la inteligencia, tuvieron la intuición sobre la existencia de un factor general común. En dichos tests de inteligencia, se pide del sujeto que realice trabajos intelectuales diferentes, tales como reproducir hechos de memoria, definir palabras, resolver problemas aritméticos, reconocer similitudes y diferencias etc.. Sin embargo, el objetivo de estas pruebas no es en si el medir la memoria, la capacidad de razonamiento o el sentido común de un individuo, sino más bien, determinar algo básico, que se espera dilucidar de la composición total de los resultados parciales obtenidos por el sujeto, o sea su "inteligencia general".

Se pueden pues, adicionar en conjunto los resultados parciales obtenidos en diferentes pruebas, relativas a aptitudes aparentemente diferentes, tales como, la repetición de cifras, la definición de palabras o la resolución de problemas aritméticos, ya que todas son, en cierto modo, semejantes, puesto que, son en realidad medidas de inteligencia general. Ello indica que todas deben tener un elemento básico común, o sea un factor común, habiendo establecido Spearman al respecto no solo que para medir, mediante test la inteligencia general, hay que admitir la existencia de un

factor común sino también que la existencia de dicho factor puede demostrarse a partir de métodos estadísticos utilizando correlaciones.

Charles Spearman (53) mostró en un artículo publicado en *American Journal of Psychology*, a partir de un estudio matemático... "que los coeficientes de correlación entre varios tests tienden a reagruparse según un orden jerárquico y asimismo que las capacidades intelectuales podían ser expresadas en función de dos factores, siendo uno "g" un factor general o común en todas las aptitudes intelectuales y el otro "s" un factor específico para cada aptitud particular, de tal forma que el resultado  $z$  obtenido por un sujeto en un test viene expresado por la ecuación  $z = ag + bs$ ; siendo  $a$  y  $b$  coeficientes que indican las saturaciones en factor general y específico, cumpliéndose que la suma de sus cuadrados valga la unidad  $a^2 + b^2 = 1$ ."

Esta es, en síntesis, la teoría de los dos factores en las aptitudes humanas, que constituye la base del análisis factorial y uno de los grandes soportes de la Psicología (54). Spearman explicó la tendencia a un orden jerárquico en los tests, suponiendo que, las correlaciones entre ellos son debidas al factor presente en cada uno, de tal forma que, el peso del factor es mayor en los tests superiores en la jerarquía y va decreciendo en ella. Dicho factor viene expresado por el citado valor "g" de Spearman, habiendo dado éste una definición algebraica sobre su naturaleza, a fin de evitar toda sugestión preconcebida sobre ella.

La naturaleza de este factor común, propuesto como un valor matemático, que puede ser separado de los tests mediante correlaciones, ha dado lugar a muchas investigaciones y controversias, sobre todo en lo referente a su posible identificación con la inteligencia general. Sin em-

bargo, aparte de un valor matemático es un elemento que aparece experimentalmente para explicar los efectos del trabajo mental. Su significado psicológico puede ser asimilado a una medida de la "energía intelectual". Mas concretamente, puede decirse de "g", que es un factor psicomatemático, cuya cuantía determina la capacidad de la mente para realizar un trabajo intelectual.

Trabajos posteriores, provenientes de diferentes fuentes, han confirmado la idea de que otros factores distintos de "g" intervienen en la medida de la inteligencia. Merecen citarse al respecto los métodos de análisis factorial desarrollados por Thurstone y los trabajos de W.P. Alexander cuya monografía "Intelligence, Concrete and Abstract" (55), es fundamental.

Alexander ha confirmado la principal afirmación de Spearman, en el sentido de que hay un solo factor común en toda medida de la inteligencia. Sin embargo, ha indicado también, que dicho factor no era suficiente por sí solo para explicar la varianza total existente entre los tests utilizados para medir la inteligencia, existiendo aparentemente otros factores importantes que, sin tener el mismo grado de generalidad que "g", se repiten, sin embargo, a menudo en un número importante de aptitudes, constituyendo sub-grupos. Alexander ha denominado "unidades funcionales" a aquellas aptitudes implicadas en aquellos tests que mostraban una función similar. Así, por ejemplo, son consideradas unidades funcionales desde este punto de vista la "aptitud verbal" y la "aptitud práctica", entre otras, conteniendo cada una un factor separado que presta su contribución respectiva a toda medida global de la inteligencia.

Sin embargo, según Alexander, aunque dichas unidades funcionales posean un factor propio, ellas están "categóricamente relacionadas" entre sí, o sea en correlación.

Así, por ejemplo, la correlación entre las aptitudes verbal y práctica llega hasta 0,50, significando ello que, aunque carecen de carácter unitario, sin embargo, no pueden ser consideradas como factores específicos, en el sentido considerado por la teoría bifactorial de Spearman, ya que los factores separados, contrariamente a los factores "s", contribuyen realmente de forma importante a las varianzas de las correlaciones de los tests en los que ellos intervienen.

Otra importante conclusión de las investigaciones realizadas por Alexander, es que para explicar toda la varianza de las intercorrelaciones encontradas en toda gran batería de tests de inteligencia, es necesario admitir la contribución de otros factores globales, además de los puramente intelectuales citados. Dichos factores, tales como por ejemplo el interés, la tenacidad, el deseo de triunfar, etc., definidos como factores del temperamento y de la personalidad, son denominados "factores no intelectivos de la inteligencia general" (56).

Wechsler sintetiza todo lo expuesto indicando que "la entidad o la cantidad que podemos medir con los tests de inteligencia no es una cantidad simple. Sin duda alguna no es una cosa expresable, mediante un solo factor único "g", considerado bien como energía mental o bien como factor intelectual. La inteligencia es todo eso y algo más aún. Es la aptitud para utilizar esta energía en todas las situaciones. Admitir esto significa reconocer que toda definición de la inteligencia debe ser esencialmente práctica" (52).

Actualmente, ningún test mide totalmente lo que constituye la inteligencia general, sin embargo lo que debe exigirse de una "escala de la inteligencia" es que mida dominios suficientes de la inteligencia para permitir utilizar sus resultados como referencias lo más fiel posible de la capacidad intelectual global de un individuo.

3.1.1.3- El test de inteligencia "AMPE" utilizado en este trabajo.

Es un test factorial de aptitudes mentales primarias equivalentes al "Primary mental abilities" PMA de Thurstone, basado en un análisis factorial de las manifestaciones de la inteligencia (57). En el AMPE se han pretendido corregir determinadas peculiaridades del test original de Thurstone o de la adaptación española del mismo (58).

El AMPE comprende cinco factores:

- factor V : comprensión verbal.
- factor E : concepción espacial.
- factor R : razonamiento.
- factor N : cálculo numérico.
- factor F : fluidez verbal.

Su fórmula para calcular el valor total T es:

$$T = 1,5 V + E + 2R + N + F$$

El test ha sido normalizado a partir de una población total de 11,105 sujetos explorados, con una gama aún más amplia que la utilizada por Thurstone para el PMA.

Siendo el AMPE un test equivalente al PMA, puede inferirse su validez de la de este último. Según Thurstone una correlación múltiple del PMA con el test standard OTIS dió un valor de 0,71, siendo los factores significativos V(0,48) y R(0,30). Con el test Kuhlman-Anderson la correlación múltiple fue de 0,63 con factores significativos V(0,52) y R(0,22).

En lo referente al valor pedagógico, afirma Thurstone, que la correlación con el éxito académico no es muy pronunciada, oscilando las correlaciones entre 0,45 y 0,75. Sin embargo, utilizando otros tests, estas correlaciones no fueron superiores. Concretamente con el OTIS se obtuvo 0,33.

Las correlaciones del AMPE con el PMA, por factores, son:

$V = 0,88$ ;  $E = 0,93$ ;  $R = 0,66$ ;  $N = 0,89$ ;  $F = 0,70$ ;  $T = 0,90$

La precisión del AMPE, ha sido calculada por el procedimiento de la doble aplicación a 65 sujetos, encontrándose los siguientes coeficientes para los factores:

$V = 0,81$ ;  $E = 0,80$ ;  $R = 0,82$ ;  $N = 0,76$ ;  $F = 0,69$ ;  $T = 0,94$

Puesto que un test debe tener mayor correlación consigo mismo que con otro, pueden seleccionarse de las dos listas anteriores, como coeficientes de fiabilidad los siguientes:

$V = 0,88$ ;  $E = 0,93$ ;  $R = 0,82$ ;  $N = 0,89$ ;  $F = 0,70$ ;  $T = 0,94$

dentro del tipo de población al que se aplicó, lo que muestra que dichos valores son suficientes para confiar en la objetividad del test.

### 3.1.2- Relación entre la frecuencia de las evaluaciones y el rendimiento del alumno.

La correlación positiva entre la evaluación frecuente y el rendimiento del alumno, ha sido puesta de manifiesto por diversos autores y experimentadores, generalmente de forma intuitiva, experimental o estadística, habiéndose utilizado como explicación (más bien como descripción operativa) el concepto de retro-alimentación, aunque sin describir dicha relación en el contexto de un determinado proceso psicológico o de una teoría psicológica del aprendizaje.

Informaciones positivas parecen deducirse del uso de algunas formas de enseñanza programada, de sistemas como el "Plan Keller" en Física (59) (60) o de estudios realizados en determinadas disciplinas (principalmente Física y Química) (61) (62), en las que la evaluación es más o menos frecuente durante la aplicación del método en cuestión. Sin

embargo, la evaluación en los métodos multimedia de enseñanza de la ciencia, suele ser un elemento ajeno al método en sí, o a lo sumo un elemento complementario, pero no parte integrante del mismo. Normalmente no se utiliza con una estrategia preestablecida, en el contexto de un método psicológico o de una teoría del aprendizaje, conjuntamente con los demás elementos componentes del propio método.

En el método de Unidades Integradas, la evaluación, conjuntamente con los demás elementos experimentales, o manipulativos y teóricos (en Piaget experiencias físicas y experiencias lógico-matemáticas) han sido inscritos, al menos parcialmente, en la teoría del aprendizaje contenida en el modelo de desarrollo intelectual de J. Piaget.

La Psicología Genética de J. Piaget y colaboradores (63) sostiene que la actividad del propio sujeto es la base del desarrollo cognoscitivo, siendo el principal estructurador de sus instrumentos intelectuales, de sus formas de organización (esquemas y estructuras), mediante las cuales los conocimientos son seleccionados y organizados. Ser "activos", según Piaget, significa por tanto actividad estructurante y organizadora, sobre lo que nos rodea y principalmente sobre las propias acciones. Es por ello que, en este supuesto, dicha actividad requiere libertad intelectual para organizar y se contrapone a seguir o ejecutar la actividad ajena de otro sujeto, siendo importante dar al alumno la posibilidad de aprender a resolver (y plantear) los problemas por sí mismo, elaborando su propia estrategia intelectual.

### 3.1.3- El comportamiento intelectual y el aprendizaje según la teoría de Piaget.

Piaget considera a la inteligencia como un instrumento dinámico, que permite al sujeto organizar sus interacciones con el medio, contribuyendo dichas interacciones a

su vez a modificar la inteligencia. Para ello postula la existencia en la mente de ciertas estructuras cognitivas dinámicas e integradoras, que representan en un momento dado toda nuestra anterior experiencia cognoscitiva, y que controlan y condicionan nuestras "operaciones intelectivas". Según Piaget, dichas operaciones, en un sentido lógico, "constituyen un proceso de transformación y adaptación mental de los datos del mundo externo para organizarlos y usarlos selectivamente en la resolución de problemas...".

El desarrollo de la inteligencia, y por tanto el perfeccionamiento del comportamiento intelectual, se produce mediante la sucesiva modificación y remodelación de dichas estructuras, a través de un constante proceso de adaptación de ellas al medio con el que interaccionan. Esta adaptación puede producirse de dos formas, que pueden ser complementarias:

- Asimilación: mediante este proceso el sujeto incorpora los estímulos externos, discrimina las nuevas situaciones interpretándolas en términos de lo que ya conoce, situándolas en el campo de las estructuras cognoscitivas que posee, generando respuestas análogas a como lo hizo en anteriores situaciones.
- Acomodación: a veces sucede que el estímulo externo o la nueva información a incorporar, es sustitutiva o contradictoria con la ya existente y está en contradicción con las estructuras mentales ya establecidas, produciéndose como consecuencia un desequilibrio, perturbándose dichas estructuras. Para que la nueva situación pueda ser asimilada, es necesario que las estructuras mentales existentes se alteren, anulando el desequilibrio y se acomoden adaptándose a la nueva situación. Como consecuencia, la estructura modificada se convierte en realidad en una nueva estructura cog-

noscitiva que contiene ahora un nuevo aprendizaje.

Por tanto, según Piaget, el desarrollo de la inteligencia se basa en la sucesiva modificación y construcción de las estructuras cognitivas, a través de un proceso de acomodación que genera nuevas estructuras más complejas y por tanto, más perfectas y útiles.

El aprendizaje contenido en una estructura es una consecuencia del cambio producido en la estructura precedente, consistiendo en una reorganización de la información, a través de una nueva experiencia, y en el desarrollo de nuevas capacidades, que hacen posible comportamientos intelectivos más complejos y perfectos.

Esta teoría del aprendizaje "estímulo-acomodación-respuesta", contenida en el modelo de desarrollo intelectual propuesto por Piaget, se diferencia de la teoría "estímulo-respuesta" en que, según Piaget, para que se produzca la respuesta no es suficiente el estímulo externo; necesitándose además la existencia previa de determinadas estructuras mentales, que posibiliten la asimilación e integración de dicho estímulo y la generación subsiguiente de la respuesta. Por tanto, un estímulo solo es operativo y significativo para el sujeto si se dan las circunstancias antes descritas. Ello explica las dificultades de los alumnos cuando no pueden asimilar determinados conceptos e ideas.

En el aspecto aprendizaje-evaluación, el método objeto de nuestra investigación comprende una serie de secuencias de aprendizaje, constituidas por un conjunto sistemático de preguntas-respuestas, tal como ya se ha expuesto. Por tanto, estos escalones intelectivos pueden facilitar de hecho, en cada acto pensante, la preparación de cada estructura previa necesaria para que el estímulo (cuestión propuesta) sea correctamente asimilado por la estructura correspondiente y se pueda generar la respuesta adecuada.

Referente al restablecimiento del equilibrio que se produce por la interacción del sujeto con el estímulo, Piaget postula la existencia de cuatro estadios en el desarrollo intelectual. (64)

<u>Estadio</u>	<u>Característica</u>	<u>Edad</u>
Senso-motriz	palpar, andar, comer etc.	0 - 2 años
Preoperacional	acción-experiencia	2 - 6 años
Operacional concreta	razonamiento concreto	6 - 12/15 "
Operacional formal	razonamiento abstracto	12 / 16 años

Siendo los dos últimos los que condicionan básicamente el comportamiento intelectual de nuestros alumnos. Debido a la edad media del grupo empleado (18 años), se supone que los sujetos poseen ya las estructuras correspondientes al estadio operacional formal, implicando ello que también poseen las estructuras correspondientes al estadio operacional concreto. Puede suceder, sin embargo, que unos tengan más desarrolladas las estructuras correspondientes a un estadio que a otro, pudiéndose dar en el grupo alumnos que habiendo desarrollado las capacidades de los estadios concreto y formal, tengan, sin embargo, una capacidad y en definitiva un comportamiento intelectual con más peso en el aspecto concreto que en el abstracto, o a la inversa.

El método que aplicamos contiene elementos experimentales y teóricos y por consiguiente, manipulativos y lógico-matemáticos, que demandan del alumno acciones de razonamiento concreto, correspondientes al estadio de estructuras mentales operacionales concretas y también acciones de razonamiento abstracto, correspondientes al estadio operacional formal, ya sea en actividades teóricas o experimentales, durante el transcurso del aprendizaje.

Así pues, se dan posibilidades a ambos tipos de alumnos.

### 3.1.4- Evaluación en este método.

Al establecer una evaluación enfocada a determinar cuantitativamente el grado de aprendizaje alcanzado por los alumnos, que siguieron nuestro método de enseñanza de Física, consideramos dos condiciones que debía cumplir:

- a) que fuese objetiva, en el sentido de evitar en lo posible la influencia personal del experimentador.
- b) que fuese lo más exacta posible, de tal forma que el valor asignado a cada respuesta no ofreciera dudas al evaluador y asimismo redujese al mínimo el riesgo de error.

Para ello, los temas o episodios de aprendizaje comprendían una secuencia de cuestiones concisas, elementales, que correspondían a una serie de hechos parciales consecutivos en que dicho episodio de aprendizaje había sido dividido, cuestiones que en general demandaban respuestas concretas. Así, por ejemplo el tema 8 "Campo magnético creado por un conductor rectilíneo", contenía 22 cuestiones consecutivas.

Mediante este procedimiento, de series de preguntas y respuestas consecutivas la evaluación es instantánea (in situ), siendo este planteamiento similar al de interrogatorios utilizado frecuentemente en sus investigaciones por Piaget y por B. Gillet en estudios sobre métodos pedagógicos utilizados en la formación de técnicos (65), en los que se da una evaluación simultánea con la acción pensante del sujeto, permitiendo conocer la dinámica del razonamiento, la génesis de las hipótesis y su control, sobre todo, considerando que en el campo de las ciencias experimentales, las fórmulas y cálculo y en general la matematización pueden enmascarar la comprensión y la forma de manifestarse

el sujeto en la evaluación.

Por otro lado, cabe destacar la similitud entre nuestro método de evaluación y el preconizado por Flander, consistente en un sistema de análisis en el aula de las interacciones entre el profesor y los alumnos. Está basado fundamentalmente en su comportamiento verbal; un conjunto de observadores anotan y clasifican sistemáticamente, cada cierto tiempo constante (ej: 5 segundos), la conducta del profesor y alumnos, dividida en diez categorías de comportamiento (66).

A nuestro juicio el hecho de utilizar no nosotros la evaluación instantánea en secuencias de aprendizaje teóricas y experimentales, incluyendo uso de textos, aparatos de laboratorio, audiovisuales etc., representa una mayor generalización y mejor adaptación a una enseñanza activa en ciencias experimentales.

En lo referente a la cuantificación de las respuestas, teniendo en cuenta la exactitud y seguridad de la evaluación, hemos utilizado la puntuación 0, 1, 2 y 3, correspondiente a los siguientes niveles de éxito en las respuestas del sujeto.

Nivel 0: El sujeto no es capaz de organizar la estructura mental en la que incluir la cuestión propuesta. Por tanto, no da la respuesta correspondiente. En términos sencillos: el sujeto no tiene ni idea de lo que se le pide.

Nivel 1: El sujeto desarrolla una estructura incompleta, bien sea porque no es capaz de relacionar entre sí determinadas variables contenidas en la pregunta, o bien porque la relación entre variables por él producida no es correcta y no corresponde a la estructura buscada. En esta situación, la respues-

ta se dá, pero incorrecta.

Nivel 2: El sujeto identifica las variables y las relaciona, desarrollando una estructura correcta respecto de la cuestión propuesta. Sin embargo, dicha estructura se conforma exclusivamente a la situación particular contenida en la pregunta. En este caso, la respuesta dada por el sujeto es correcta, pero circunscrita al problema particular objeto de la pregunta.

Nivel 3: El sujeto genera una estructura correcta y además es capaz de generalizarla a otros contextos diferentes del contenido en la pregunta, y considerar asimismo que éste es un caso particular de situaciones más amplias. Por tanto, el sujeto dá una respuesta correcta y además es capaz de extrapolarla.

Si se tiene en cuenta que en la aplicación práctica del método los alumnos intervinieron en doce temas o episodios de aprendizaje, con un total de 190 cuestiones, puede observarse que la información numérica es suficiente para proceder a un estudio estadístico y elaboración de resultados.

### 3.2- Influencia del método de Unidades Integradas sobre el pensamiento científico de los alumnos.

La idea de que el objetivo general de la enseñanza de la Ciencia es desarrollar capacidades de pensamiento científico, que conduzcan al alumno a pensar como lo hace un buen científico, no es operativa en sí, ni dicho objetivo general es evaluable, a menos que en la práctica, determinemos cómo es capaz el alumno de manifestar en casos concretos dicha capacidad. Esto conduce, por tanto, al establecimiento y aplicación de una serie de objetivos específicos correspondientes a determinadas conductas concretas, que puedan ser

controladas y evaluadas.

En nuestra investigación, hemos evaluado la influencia del método sobre el pensamiento científico, a través de las conductas específicas manifestadas por los alumnos, en cada problema con que han debido enfrentarse. Para ello utilizamos la metodología taxonómica, identificando actividades intelectivas y conductas taxonómicas como sistema que hemos considerado más seguro para nuestros fines evaluativos.

### 3.2.1- Taxonomía de los objetivos.

Las clasificaciones taxonómicas han mostrado, sobre todo en el terreno de la Biología, sus ventajas inherentes a una mejor comprensión de la organización, interrelaciones y estructura de los sistemas. La clasificación taxonómica de los objetivos de la educación pretende proporcionar una clasificación de dichos objetivos, que sea útil a los enseñantes y a los investigadores interesados en los problemas de la evaluación y programación, sobre todo en lo referente a fijar con más rigor los límites y características de los objetivos establecidos y como consecuencia de ello un más claro enfoque del aprendizaje y de la metodología a aplicar.

Históricamente la idea de crear un sistema de clasificación de tipo taxonómico surgió en una reunión de evaluadores de enseñanza superior en la Convención de la Asociación Americana de Psicología, celebrada en Boston en 1948. Se pensó que, entre otras ventajas, podría ser útil para facilitar los trabajos de investigación sobre evaluación y sobre la interconexión entre examinadores y alumnos. Actualmente, la taxonomía de los objetivos de la educación ofrece una buena base teórica y práctica en la que pueden apoyarse programas y pruebas y, asimismo, muchos trabajos de investigación (67).

El objetivo general de la taxonomía es la clasifi-

cación de los cambios provocados en el alumno, como consecuencia de los métodos y experiencias didácticas. Constituye básicamente una clasificación no arbitraria de las "conductas programadas de los alumnos, en función de los objetivos preestablecidos".

La taxonomía de Bloom y colaboradores se estructura en orden, desde las clases más elementales hasta las más complejas de la conducta, dando por supuesto que una conducta específica se integra en otra más compleja, sin que deba darse como condición que dichas "conductas programadas" deban ser explicadas por alguna teoría concreta de la personalidad y el aprendizaje, lo que parece coincidir con el criterio sostenido por Hilgard de que "cada teoría del aprendizaje explica determinados fenómenos, pero resulta inadecuada para la explicación de otros". (68).

La taxonomía propuesta por el grupo de estudio coordinado por B.S. Bloom comprende los siguientes tipos de actos:

<u>Acto</u>	<u>Notación</u>
Conocimiento	1,00
Comprensión	2,00
Aplicación	3,00
Análisis	4,00
Síntesis	5,00
Evaluación	6,00

dando por supuesto, como ya se ha indicado, que los objetivos de cada tipo inscrito en la lista utilizarán probablemente las actividades inherentes a los tipos precedentes.

A continuación, se muestran concreciones referentes a lo que, desde nuestro punto de vista, significan conceptualmente los tipos de actos antes citados:

1,00 Conocimiento: comprende aquellas acciones que se apoyan en el recuerdo, siendo la memorización el proceso psicológico principal. Pueden darse:

- a) mediante la rememoración.
- b) mediante la identificación.

En el aspecto operativo el conocimiento consiste en: reconocer, identificar, definir, distinguir, recordar... etc., datos específicos, terminologías, hechos específicos, tendencias, clasificaciones, criterios, metodologías, principios y generalizaciones, teorías y estructuras etc.

2,00 Comprensión: engloba los actos que expresan cierto entendimiento del contenido de un determinado mensaje, consistiendo en la traducción de significados, la interpretación de comunicaciones o la inferencia de consecuencias.

3,00 Aplicación: se refiere a la capacidad para resolver un problema con características y circunstancias no vistas anteriormente, generalizando principios, leyes, conclusiones, teorías, abstracciones, procedimientos etc.

4,00 Análisis: divide el problema en partes integrantes, muestra las relaciones entre ellas y estudia las características de su estructura. El análisis es un nivel superior a la comprensión ("comprensión cualificada") y a la aplicación. En unos casos tiene como único fin conocer la estructura y organización de un asunto. En otros, su fin es más trascendente y pretende ser un método para facilitar la comprensión o la evaluación.

En el aspecto operativo el análisis distingue, detecta, compara, identifica, etc., elementos, hipótesis, conclusiones, datos, argumentos, técnicas, esquemas, ideas, relaciones ..... etc.

5,00 Síntesis: este acto pretende encontrar el fundamento o principio que agrupe los elementos de un conjunto, representando un proceso de estudio y coordinación de elementos conducente a su estructuración. De hecho, la actividad mental de síntesis contribuye al desarrollo de la capacidad creadora, ya que mediante esta actividad pueden ser encontradas nuevas formas de estructura.

En el aspecto operativo la actividad de síntesis produce, modifica, combina, .... etc., modelos, estructuras, planes, diseños, operaciones, esquemas, hipótesis... etc.

6,00 Evaluación: representa una generación de juicios cualitativos y cuantitativos de valor sobre métodos, técnicas, soluciones, ideas, trabajos estrategias etc.

Operativamente la evaluación consiste en juzgar, valorar, decidir, comparar, contrastar, apreciar .... etc., precisión, fiabilidad, exactitud, utilidad, nivel, calidad, eficiencia, teorías, generalizaciones, métodos, medios.... etc.

En lo referente a las interrelaciones de los objetivos, se han realizado investigaciones, siendo de gran valor las de G.F.M. Madaus (69) y Dressel y Mathews (70), entre otros. De ellas parece deducirse que:

a) Los distintos niveles de la taxonomía de Bloom están relacionados entre sí a causa del factor intelectual común "g" presente en ellos.

b) De hecho se dan interrelaciones de tipo múltiple entre los niveles. Así, por ejemplo, entre "Comprensión" y "Análisis" existe una correlación alta y sin embargo entre "Comprensión" y "Aplicación" la correlación obtenida por Horrocks y Troyer (71) tiene un valor comprendido entre 0,31 y 0,54 .

c) Los tipos de experiencias anteriores de aprendizaje que han tenido los alumnos, pueden representar un factor influyente sobre las interrelaciones entre objetivos. Así, en unos casos aparecen correlaciones muy altas y en otros solo discretas.

d) Parece ser que una relación jerárquica, lineal, creciente, no se confirma científicamente en la taxonomía de Bloom.

e) Sin embargo, puede admitirse un carácter "acumulativo" a causa de las interrelaciones entre objetivos a través del factor "g".

De todas formas, esta taxonomía conserva su importancia y utilidad en lo concerniente a su objetivo fundamental como contribución a una estructuración de objetivos-conductas, tanto en el terreno de la evaluación, como en el de la planificación del sistema enseñanza-aprendizaje.

### 3.2.1.1- Taxonomías de carácter científico.

Las taxonomías de carácter general, como la de B.S. Bloom, antes descrita, y otras como las de R. Gagné (72) V. Gerlach y A. Sullivan (73), son de un marcado carácter psicológico, no directamente relacionado con la enseñanza de las ciencias y pueden resultar poco útiles a determinados profesores.

Entre las de directa aplicación por su carácter relacionado con las ciencias experimentales, tenemos la de L.E. Klopfer (74) y F.P. Guerrero (75). La primera comprende los siguientes grupos de tipos de conducta:

(A.0) Conocimiento y comprensión.

(B.0) Procesos de la investigación científica: (I) Observación y medición.

- (C.O) Proceso de la investigación científica: (II) Descubrimiento de problemas y búsqueda de soluciones.
- (D.O) Proceso de la investigación científica: (III) Interpretación de los datos y formulación de generalizaciones.
- (E.O) Proceso de la investigación científica: (IV) Construcción, prueba y revisión de un modelo teórico.
- (F.O) Aplicación de conocimientos y métodos científicos.
- (G.O) Destrezas manuales.
- (H.O) Actitudes e intereses.
- (I.O) Orientación.

### 3.2.2- Selección de la Taxonomía utilizada en las U.I.

La investigación metodológica suele proceder identificando variables de un problema y estudiándolas separadamente o en conjuntos reducidos, a fin de determinar lo que sucede en ciertas circunstancias, frecuentemente en condiciones artificiales de laboratorio. A veces, estos estudios pueden ser coordinados en una explicación teórica, que a su vez puede ser traducida en procedimientos educativos prácticos. Sin embargo, el investigador debe reunir pruebas sobre el terreno, en la clase, a fin de juzgar si la situación experimental es parecida y equiparable a la situación práctica de aprendizaje.

Es frecuente que las conductas cognoscitivas sean estudiadas, en circunstancias tales, que los problemas y las condiciones en que son situados los sujetos, son generalmente particulares y hacen difícil toda generalización de los resultados obtenidos, siendo esta conclusión a la que pare-

ce llegar P. Olerón en una revisión de la problemática referente al estudio de las actividades intelectuales (76). Asimismo, los trabajos de J. Piaget y colaboradores, dedicados a la investigación de las conductas cognoscitivas, se fundamentan en estudios de situaciones también particulares, que no se encuentran como tales en la realidad (8).

Sin embargo, parece ser, que los estudios de conductas cognoscitivas en situaciones reales presentan notables ventajas, según afirman M. Reuchlin (77) y J. Leplat (78) en trabajos referentes a la experimentación fuera del laboratorio.

Es por ello que hemos pretendido inscribir esta investigación en el modelo de estudios de conductas cognoscitivas de sujetos en situación real de aprendizaje, y en la objetivación de las secuencias contenidas en dicha investigación, se ha procurado que la situación experimental esté próxima a una situación real, a fin de que los resultados obtenidos sean ciertamente generalizables.

La experiencia muestra, que la conducta cognoscitiva en el aula o en el laboratorio, comprende una amplia gama de actividades intelectivas diferentes, que el alumno pone en juego en función de la problemática a la que se enfrenta. Así, a lo largo del desarrollo de un episodio de aprendizaje en Física, el alumno suele realizar actividades de manipulación, rememoración de conocimientos, comprensión de nueva información, extrapolación de conceptos, análisis de elementos y situaciones, deducción de conclusiones, juicios y decisiones valorativos etc.. y ello en un orden, distribución y cuantía de aparición de cada actividad, que depende de la naturaleza y organización del propio episodio de aprendizaje. Por tanto, el acto de aprender en la clase, en el laboratorio, mediante textos, imágenes etc.. enfrenta a la mente

con situaciones concretas, que creemos deben ser investigadas, tal como ellas se presentan en la práctica, sobre todo si se considera que en el proceso intelectual, en casos reales, las variables no están separadas, y que es dudosa la utilidad del estudio aislado de ellas fuera del contexto en que se encuentran insertas.

En lo que respecta a la investigación propuesta, se ha indicado que cada secuencia de aprendizaje está constituida por una serie progresiva de cuestiones y respuestas, cada una de las cuales se apoya en un acto pensante o ejercicio intelectual, que se espera contribuirá a mejorar una determinada capacidad. Como consecuencia, pueden formularse objetivos en función de las conductas atribuibles a los alumnos.

Las cuestiones que se proponen se refieren a problemas muy concretos, que conllevan respuestas de la misma naturaleza, dándose tanto concisión en el problema, como limitada duración del desarrollo del conjunto pregunta-respuesta. Por ello, para objetivar cada conjunto de pregunta-respuesta, es conveniente elegir una clasificación taxonómica fácil y segura en su utilización. Fácil en el sentido de que no comprenda demasiadas modalidades de conductas, y así el enseñante las pueda retener y aplicar en cada momento, sin pensar demasiado ni consultar documentos. De segura utilización en el sentido de fiabilidad, de tal forma que las conductas estén netamente definidas y los objetivos puedan ser clasificados inequívocamente en cada momento.

Como consecuencia, hemos utilizado la taxonomía básica de Bloom, modificada por nosotros, en el sentido de incluir como actividad primaria la "habilidad de manipulación" (simple y compleja) por considerarla necesaria al tratarse de una ciencia experimental como es la Física, teniendo presente además que en este estudio los alumnos

realizan importantes actividades en el laboratorio. Nuestra clasificación taxonómica, utilizada en las U.I., queda así:

Taxonomía utilizada en las U.I.

1.- Habilidades.

1.1.- Habilidades de manipulación simple (aparatos).

1.2.- Habilidades de manipulación compleja (técnicas).

2.- Conocimiento.

2.1.- Conocimiento de datos previos.

2.2.- Conocimiento de metodologías.

2.3.- Conocimiento de estructuras.

3.- Comprensión.

4.- Extrapolación.

5.- Análisis.

5.1.- Análisis de elementos simples.

5.2.- Análisis de elementos complejos.

6.- Síntesis.

6.1.- Producción de un plan o conjunto de operaciones.

6.2.- Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.

7.- Evaluación.

7.1.- Juicios de hechos en sí.

7.2.- Juicios de hechos en relación con su contexto.

Se expone a continuación con que denominación, significados y funciones han sido utilizadas las categorías y subcategorías incluídas en nuestra taxonomía:

- 1.- Habilidades de manipulación: se refiere a destrezas "inteligentes" en lo concerniente al trabajo práctico en el laboratorio. No se circunscribe exclusivamente a las "destrezas manuales" (categoría G.0 en la taxonomía de

Klopfer) o al solo "conocimiento de técnicas y procedimientos científicos" (subcategoría A.7 en Klopfer).

Hemos distinguido como subcategoría (1.1) la "manipulación simple", referida a trabajos de laboratorio muy localizados, como es en general el uso inteligente de aparatos aislados o de técnicas simples que no demanden un ejercicio intelectual-manual de nivel superior, como es por ejemplo, utilizar con conocimiento de causa un mechero de gas, un termómetro, efectuar lecturas de aparatos (buretas, amperímetros, nonius, etc...).

Como subcategoría (1.2) consideramos la "manipulación compleja" en el sentido de trabajos de laboratorio más complejos y sofisticados, referidos principalmente a técnicas y montajes que exigen un ejercicio intelectual más superior, que conlleva una mayor capacidad y formación científicas e incluso mejor capacidad espacial (en el sentido de este factor de la inteligencia). Dentro de esta subcategoría se pueden considerar actividades de laboratorio, tales como, la puesta a punto y uso de la balanza de precisión en cada caso, el tarado de determinados instrumentos, uso de técnicas, como la destilación fraccionada, la realización de medidas con el aparato de Millikan, disponer los componentes para la medida correcta del campo magnético generado por un conductor eléctrico, etc..

2.- Conocimiento: entendido en el sentido del mismo nombre en la categoría 1.00 de Bloom.

Como subcategorías hemos utilizado:

2.1.- Conocimiento de datos previos: comprende los elementos básicos de la información, necesarios para facilitar la "Comprensión" y categorías siguientes. Son básicos y necesarios para conocer una materia o resolver un pro

blema. Por ejemplo, conocer la terminología y definiciones necesarias en un tema, saber determinadas fórmulas matemáticas, físicas o químicas, conocer las propiedades de los sistemas etc..

2.2.- Conocimiento de metodologías: se refiere al conocimiento de medios, métodos, procedimientos y sistematizaciones necesarios en una materia o problema determinado. Actividades de este tipo son, por ejemplo, el conocimiento de funciones del sistema periódico, separaciones electrolíticas en función de potenciales, técnicas y procedimientos científicos en general, convencionalismos establecidos en el estudio de la Óptica geométrica o instrumental, convencionalismos utilizados en el Electromagnetismo, etc..

2.3.- Conocimiento de estructuras: se refiere al conocimiento de las teorías y estructuras que subyacen en los problemas o que constituyen el fundamento organizativo y existencial de una disciplina, incluyendo los principios y generalizaciones. El conocimiento del principio de conservación de la energía, de Le Chatelier, de superposición sin deformación en las ondas, de mínima energía potencial almacenada en los sistemas, etc. son algunos ejemplos. Asimismo, el conocimiento de la dualidad onda-materia, equivalencia materia-energía, concepto de campo, teoría de la relatividad, concepto de circulación, teoría cinética de los gases, etc..

3.- Comprensión: categoría utilizada por nosotros en el mismo sentido que figura en la taxonomía de Bloom (2.00).

4.- Extrapolación: hemos incluido la capacidad de extrapolación como categoría, en el sentido de capacidad de utilización de los conocimientos en situaciones nuevas, en general, considerando las implicaciones y consecuencias respecto a coyunturas inéditas, tanto de la materia tra-

tada como de otras materias. Así, por ejemplo: un alumno que ha aprendido el ciclo de Carnot ha sido luego capaz de determinar el rendimiento de una máquina térmica (misma materia) o ha sido capaz de aplicarlo a las reacciones químicas (otras materias).

- 5.- Análisis: entendido en los mismos términos de la categoría análoga (4.00) de la taxonomía de Bloom. Como subcategoría (5.1) de nuestra taxonomía hemos incluido "Análisis de elementos simples" refiriéndonos a un tipo de análisis de elementos del tema que sea concreto y no exija un ejercicio intelectual superior, como por ejemplo determinar de que factores depende la velocidad de salida de un líquido por un orificio; indicar qué aparato puede utilizarse para detectar ondas electromagnéticas de  $10^6$  Hz; razonar si la presión es magnitud de naturaleza escalar o vectorial, etc.. Como subcategoría (5.2) hemos incluido en nuestra taxonomía el "Análisis de elementos complejos", considerando el estudio de interrelaciones entre variables, características estructurales y funcionales de un sistema y, en general, situaciones de análisis más complejas que demanden un ejercicio intelectual de nivel más superior.

Ejemplos de esta categoría pueden ser: el establecimiento de muchos "significados físicos", la explicación de "impedancia reflejada" en un transformador, la identificación de variables y su influencia en el cálculo de errores de un experimento, el análisis de los factores y condicionamientos relacionados con la elección de un método experimental.

- 6.- Síntesis: hemos utilizado esta categoría en sentido análogo al de la de igual denominación en la taxonomía de Bloom (categoría 5.00 en Bloom).

Como subcategoría (6.1) aplicamos la "produc-

ción de un plan o conjunto de operaciones". Tal es el caso de la estrategia a adoptar en la realización de una experiencia. Esta subcategoría es análoga a la (5.20) de la taxonomía de Bloom.

Como subcategoría (6.2) hemos utilizado la "producción de un conjunto de relaciones abstractas", siendo la característica de esta subcategoría la deducción de relaciones abstractas, como consecuencia de un análisis. Así por ejemplo, es el caso del establecimiento de analogías entre determinados fenómenos mecánicos y electromagnéticos (analogías energéticas  $E = \frac{1}{2} ax^2$ , resonancia, etc.), deducción de fundamentos comunes entre distintos campos de la Física, establecimiento de analógicos, etc.. Esta subcategoría tiene el mismo significado que la (5.30) en la taxonomía de Bloom.

7.- Evaluación: utilizada en el mismo sentido de la categoría (6.00) de igual denominación en la taxonomía de Bloom.

Como subcategoría (7.1) se ha utilizado "juicio de hechos en sí", considerando la problemática en sentido absoluto. Tal es el caso de la evaluación de un experimento concreto, como por ejemplo la determinación de la densidad de un líquido, de una resistencia eléctrica, o la eficacia de una teoría física dentro de unos límites.

Se ha considerado asimismo como subcategoría (7.2) los "juicios de hechos en relación con su contexto", teniendo presente la validez relativa. Citamos como ejemplos, el estudio comparativo de métodos para determinar densidades de líquidos en función de la rapidez operatoria, de métodos para medir la resistencia eléctrica considerando la precisión de resultados, o el juicio comparativo de varias teorías en la explicación

de una problemática.

3.2.2.1- Identificación de actividades intelectivas en las Unidades Integradas.

Siguiendo los criterios antes expuestos, referentes a la taxonomía utilizada, se han identificado las actividades intelectivas correspondiente a las cuestiones de las secuencias de aprendizaje, tal como se describen seguidamente:

Experiencia 1. "Medida de pequeñas distancias: determinación de la longitud de la molécula de ácido oléico y cálculo del número de Avogadro".

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	2.1	Conocimiento de datos previos.
2	5.1	Análisis de elementos simples.
3	4	Extrapolación.
4	1.1	Habilidad de manipulación simple.
5	4	Extrapolación.
6	1.1	Habilidad de manipulación simple.
7	1.1	Habilidad de manipulación simple.
8	4	Extrapolación.
9	7.2	(Evaluación) Juicio de hechos en relación con su contexto.
10	5.2	Análisis de elementos complejos.
11	5.2	Análisis de elementos complejos.
12	4	Extrapolación.
13	5.2	Análisis de elementos complejos.
14	2.3	Conocimiento de estructuras.
15	5.2	Análisis de elementos complejos.
16	7.2	(Evaluación) Juicio de hechos en relación con su contexto.

Experiencia 2. "Velocidad y aceleración: estudio del movimiento rectilíneo con el ticógrafo".

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	2.3	Conocimiento de estructuras.
2	4	Extrapolación.
3	4	Extrapolación.
4	4	Extrapolación.
5	1.1	Habilidad de manipulación simple.
6	5.1	Análisis de elementos simples.
7	5.1	Análisis de elementos simples.
8	2.1	Conocimiento de datos previos.
9	4	Extrapolación.
10	4	Extrapolación.
11	4	Extrapolación.
12	4	Extrapolación.
13	2.1	Conocimiento de datos previos.
14	5.2	Análisis de elementos complejos.
15	5.2	Análisis de elementos complejos.
16	7.2	(Evaluación). Juicio de hechos en relación con su contexto.

Experiencia 3. "Movimiento de caída libre: estudio con el ticógrafo".

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	1.2	Habilidad de manipulación compleja.
2	4	Extrapolación.
3	6.2	Síntesis. Derivación de conjunto de relaciones abstractas.
4	4	Extrapolación.
5	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.
6	4	Extrapolación.
7	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.
8	5.2	Análisis de elementos complejos.
9	5.2	Análisis de elementos complejos.
10	5.2	Análisis de elementos complejos.
11	4	Extrapolación.

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
12	4	Extrapolación.
13	7.2	(Evaluación). Juicio de hechos en relación con su contexto.

Experiencia 4. "Leyes de Newton: estudio de fuerzas, masas y aceleraciones".

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	2.3	Conocimiento de estructuras.
2	2.3	Conocimiento de estructuras.
3	2.3	Conocimiento de estructuras.
4	4	Extrapolación.
5	7.2	(Evaluación). Juicio de hechos en relación con su contexto.
6	1.2	Habilidad de manipulación compleja.
7	4	Extrapolación.
8	5.1	Análisis de elementos simples.
9	4	Extrapolación.
10	5.2	Análisis de elementos complejos.
11	4	Extrapolación.
12	5.1	Análisis de elementos simples.
13	5.2	Análisis de elementos complejos.
14	5.1	Análisis de elementos simples.
15	5.2	Análisis de elementos complejos.
16	6.2	Síntesis. Derivación de conjunto de relaciones abstractas.
17	6.1	Síntesis. Producción de conjunto de operaciones.
18	7.1	(Evaluación). Juicio de hechos en sí.

Experiencia 5. "Movimiento de proyectiles: composición de movimientos".

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	2.1	Conocimiento de datos previos.
2	3	Comprensión.
3	5.2	Análisis de elementos complejos.
4	4	Extrapolación.

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
5	4	Extrapolación.
6	4	Extrapolación.
7	4	Extrapolación.
8	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones.
9	5.2	Análisis de elementos complejos.
10	4	Extrapolación.
11	5.2	Análisis de elementos complejos.
12	4	Extrapolación.
13	5.2	Análisis de elementos complejos.
14	5.2	Análisis de elementos complejos.
15	5.1	Análisis de elementos simples.
16	4	Extrapolación.
17	5.1	Análisis de elementos simples.
18	5.2	Análisis de elementos complejos.
19	5.2	Análisis de elementos complejos.
20	4	Extrapolación.
21	5.1	Análisis de elementos simples.
22	4	Extrapolación.
23	7.1	(Evaluación). Juicio de hechos en sí.

Experiencia 7. "Experiencia de Oersted" (película)

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	5.1	Análisis de elementos simples.
2	5.2	Análisis de elementos complejos.
3	3	Comprensión.
4	5.1	Análisis de elementos simples.
5	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
6	5.2	Análisis de elementos complejos.
7	5.2	Análisis de elementos complejos.
8	5.2	Análisis de elementos complejos.
9	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
10	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
11	5.2	Análisis de elementos complejos.
12	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.
13	5.1	Análisis de elementos simples.
14	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.
15	7.2	(Evaluación). Juicio de hechos en relación con su contexto.

Experiencia 8. "Campo creado por un conductor rectilíneo"

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	4	Extrapolación.
2	4	Extrapolación.
3	4	Extrapolación.
4	4	Extrapolación.
5	1.1	Habilidad de manipulación simple.
6	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
7	4	Extrapolación.
8	4	Extrapolación.
9	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
10	7.1	(Evaluación). Juicio de hechos en sí.
11	4	Extrapolación.
12	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
13	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.
14	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
15	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
16	4	Extrapolación.
17	1.2	Habilidad de manipulación compleja.

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
18	5.1	Análisis de elementos simples.
19	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
20	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
21	7.2	(Evaluación). Juicio de hechos en relación con su contexto.
22	7.2	(Evaluación). Juicio de hechos en relación con su contexto.

Experiencia 9. "Campo magnético" (película)

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	5.1	Análisis de elementos simples.
2	4	Extrapolación.
3	5.2	Análisis de elementos complejos.
4	5.2	Análisis de elementos complejos.
5	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.

Experiencia 10. "Campo creado por un conductor cerrado"

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	4	Extrapolación.
2	4	Extrapolación.
3	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
4	4	Extrapolación.
5	4	Extrapolación.
6	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
7	4	Extrapolación.
8	4	Extrapolación.
9	4	Extrapolación.
10	5.2	Análisis de elementos complejos.
11	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.

Experiencia 11. "Campo magnético creado en el interior de un solenoide"

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	3	Comprensión.
2	3	Comprensión.
3	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
4	1.2	Habilidad de manipulación compleja.
5	4	Extrapolación.
6	4	Extrapolación.
7	4	Extrapolación.
8	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
9	4	Extrapolación.
10	4	Extrapolación.
11	1.2	Habilidad de manipulación compleja.
12	4	Extrapolación.
13	1.2	Habilidad de manipulación compleja.
14	4	Extrapolación.
15	6.1	Síntesis. Producción de un plan o conjunto de operaciones.
16	7.1	(Evaluación). Juicio de hechos en sí.

Experiencia 12. "Determinación de la masa del electrón"

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
1	2.1	Conocimiento de datos previos.
2	3	Comprensión.
3	4	Extrapolación.
4	2.1	Conocimiento de datos previos.
5	3	Comprensión.
6	4	Extrapolación.
7	3	Comprensión.
8	4	Extrapolación.
9	3	Comprensión.
10	3	Comprensión.

<u>Cuestión</u>	<u>Actividad</u>	<u>Descripción de la actividad</u>
11	5.1	Análisis de elementos simples.
12	4	Extrapolación.
13	6.2	Síntesis. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.
14	7.1	(Evaluación). Juicio de hechos en sí.

3.2.2.2- Contenido y distribución de las actividades intelectivas.

A partir de las cuestiones elaboradas para que los alumnos se pronuncien sobre ellas, hemos identificado y cuantificado información sobre las actividades intelectivas (conductas taxonómicas) que se describen en la tabla III.1. Para su mejor comprensión, haremos un breve comentario sobre la misma.

- La columna  $T_i$  contiene las veces que se dan individualmente las conductas taxonómicas: "Habilidad de manipulación" (14); "Conocimiento" (14); "Comprensión" (9); "Extrapolación" (64); "Análisis" (47); "Síntesis" (27); "Evaluación" (15); Total = 190.
- Referente a "Habilidad de manipulación" debe tenerse en cuenta que el hecho de figurar 14 veces no indica que en el método solo se "manipule" esas veces, ya que en la mayoría de los casos al solicitarse del alumno la realización de un montaje o experimento ello significa taxonómicamente una sola "conducta" pero cuya actividad puede ocupar le un tiempo considerable, siendo esto particularmente cierto en la "Manipulación compleja".
- La conducta "Conocimiento" figura 14 veces individualmente, indicando esto que el método no es memorístico.
- Las otras conductas taxonómicas en la práctica son ejercidas por el alumno muchas más veces de lo que muestra el

Exp. Act.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	N <sub>a</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>a</sub>
1.1	3	1				1		1					6		
1.2			1	1	1	1		1			3		8	14	14
2.1	1	2			2							2	7		
2.2					1	1							2	14	14
2.3	1	1		3									5		
3					1		1				2	5	9	9	167
4	4	7	5	4	9	8		8	1	7	7	4	64	64	138
5.1	1	2		3	2	4	3	1	1			1	18	47	47
5.2	4	2	3	3	2	7	5		2	1			29		
6.1				1	1		2	7		2	3		16	27	27
6.2			3	1	1		3	1	1			1	11		
7.1				1		1		1		1	1	1	6	15	15
7.2	2	1	1	1	1		1	2					9		
A <sub>e</sub>	16	16	13	18	21	23	15	22	5	11	16	14		190	422

A<sub>e</sub> actividades intelectivas en cada experiencia

N<sub>a</sub> número de actividades de cada tipo

T<sub>i</sub> número de actividades individuales y su total

T<sub>a</sub> número total de actividades (individuales + acumuladas)

cómputo individual, ya que si bien la clasificación taxonómica no parece tener un carácter jerárquico integral, como se ha indicado, sin embargo de las investigaciones antes citadas de G.F. Madaus (68), (69) y otros, hemos aceptado que hay una estructura jerárquica entre "Comprensión"- "Extrapolación"- "Análisis" y asimismo correlación importante entre "Comprensión"- "Análisis" y entre "Extrapolación"- "Síntesis". Admitimos pues que, al menos, se dan las "acumulaciones" que aparecen en el siguiente esquema:

$T_i$  = número de actividades individuales.

$c_a$  = conductas acumuladas.

$T_a$  = total de actividades.

Actividad	$T_i$	Correlación	$c_a$	$T_a$
1 Manipulación	14			14
2 Conocimiento	14			14
3 Comprensión	9		$9 + 64 + 47 + 47 =$	167
4 Extrapolación	64		$64 + 47 + 27 =$	138
5 Análisis	47			47
6 Síntesis	27			27
7 Evaluación	15			15

Las acumulaciones incrementan notablemente las frecuencias de "Comprensión" y "Extrapolación", figurando 167 y 138 veces, respectivamente.

El peso de la conducta "Análisis" sigue en importancia a los anteriores, figurando 47 veces.

Las actividades "Síntesis" y "Evaluación" aparecen 27 y 15 veces respectivamente, lo que puede suponerse normal ya que dichas actividades suelen proponerse, en general, al final de una secuencia o episodio de aprendizaje. Asimismo es muy probable, aunque no hemos revisado la literatura científica referida a este caso concreto, que en ellas se acumulen numerosas experiencias de aprendizaje previas al me-

nos en lo referente al factor "g".

3.3- Correlación entre el desarrollo del intelecto y el pensamiento científico a través del método.

Habiendo considerado antes los puntos siguientes:

- 2.1 Influencia del método sobre el intelecto de los alumnos.
- 2.2 Influencia del método sobre el pensamiento científico de los alumnos.

y puesto que en nuestro criterio ambos fenómenos están relacionados, hemos procedido a determinar si se daba correlación estadística significativa entre ellos, teniendo presente que aunque esta correlación no tiene porqué indicar relación de causalidad, sin embargo la falta de correlación estadística es indicio negativo respecto de dicha relación de causalidad.

Determinamos para ello los correspondientes coeficientes de correlación de Pearson-Bravais entre los resultados globales obtenidos en el test AMPE y los totales obtenidos en las Unidades Integradas y asimismo, respecto de los factores del test y las variables taxonómicas de las secuencias de aprendizaje, obteniendo como se verá después valores altamente significativos en el primer planteamiento y aceptables en el segundo, que al menos estadísticamente no se oponen a nuestra hipótesis.

3.4- Aplicación del método.

3.4.1- Control de efectos implicados.

Tanto para las aplicaciones del test como para sus correcciones se cumplieron minuciosamente las condiciones requeridas de simultaneidad, correcto cronometraje y, en definitiva, igualdad de situación para los dos grupos.

En el aspecto de cómputos, aplicación de métodos estadísticos e interpretación de resultados se ha procura-

do restringir las suposiciones a aquellas que pudiesen ser sustentadas por bibliografía científica o por nuestros resultados parciales.

Los cálculos han sido revisados minuciosamente varias veces.

Se ha intentado siempre que nuestro trabajo no se viese afectado por el "efecto Rosenthal" (79), (80) referente a la influencia inconsciente del experimentador sobre los resultados de su trabajo. Concretamente los cálculos han sido realizados en bloques independientes sin interconexión de resultados siempre que ello era posible. Sin embargo es evidente que no hemos podido eludir el interrelacionarlos operando, interpretando y estableciendo conclusiones.

#### 3.4.2- Grupo experimental y de control.

El método desarrollado se ha experimentado con alumnos de 1<sup>er</sup> curso de Universidad. Con objeto de que en los alumnos no existiese una motivación específica hacia la Física, se buscó una licenciatura que no fuese de Ciencias Físicas, y que en dicho nivel estuviese la disciplina objeto de nuestro interés.

Se eligió, por diferentes motivos que no son significativos, el primer curso de la carrera de Medicina. Los alumnos pertenecían al Centro de Estudios Universitarios (C.E.U.) de Madrid.

Inicialmente se contaba con 47 alumnos elegidos aleatoriamente para el grupo experimental y 36 para el de control. Sin embargo, se produjeron algunas ausencias durante el curso, bien en la aplicación final de los tests o bien durante algunas experiencias. Como consecuencia el número real de alumnos fue de 42 para el grupo experimenu

tal (grupo A) y de 31 para el de control (grupo B).

Las características de ambos grupos se contienen en el siguiente cuadro:

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS

	<u>GRUPO A</u>	<u>GRUPO B</u>	<u>RELACION</u>
Nº alumnos	42	31	1,35
Chicas	22	16	1,37
Chicos	20	15	1,33
Edad	17 18 19 20	17 18 19 20	17 18
Nº alumnos	19 21 1 1	12 15 4 0	1,58 1,4
Edad media	18,02 años	17,74 años	1,01
Madrid	35	27	1,29
Provincia	7	4	1,75

Observándose que:

- a) la relación  $\frac{42}{31} = 1,35$  se mantiene aproximadamente entre ambos grupos, siendo parecido el número de chicos y chicas dentro de cada uno de ellos.
- b) la edad media en ambos grupos es muy semejante (alrededor de 18 años) y la repartición por edades es relativamente equilibrada, principalmente en los 17 y 18 años, teniendo en cuenta la cuantía de los grupos.
- c) La distribución por procedencias entre ambos grupos es en relación 1,29, para alumnos de Madrid, no muy diferente de 1,35. Para alumnos procedentes de provincias es 1,75, no siendo estimable debido al pequeño número de sujetos, 7 en A y 4 en B.

Por tanto, de este primer examen puede pensarse que, en lo referente a los criterios de clasificación antes indicados, los dos grupos son parecidos.

Hubieseamos preferido grupos más numerosos a fin de aumentar la contrastación de resultados, sin embargo ello no nos fue posible. Asimismo, extender nuestro trabajo a un período más largo de dos cursos académicos. Estas suelen ser, como ya se ha indicado, dificultades con las que se enfrenta la investigación didáctica, dentro del contexto de la problemática de la constancia y control de las variables que inciden en trabajos de este tipo.

Referente al tratamiento académico en el Centro de Estudios Universitarios ambos grupos recibieron las mismas enseñanzas de Física a cargo del mismo profesor. La homogeneidad del grupo al comienzo del curso fue probada, según se muestra posteriormente, mediante la prueba estadística de la "t" de Student. La misma prueba aplicada a las notas finales de curso de ambos grupos indica asimismo que no hay diferencias significativas entre las medias ( $\bar{x}_{NFA} - \bar{x}_{NFB}$ ) de dichas notas finales:

$$t_{NFB}^{NFA} = \frac{\bar{x}_{NFA} - \bar{x}_{NFB}}{\sqrt{V_B^A \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B} \right)}} = \frac{5,39 - 5,35}{\sqrt{1,39 \cdot 0,0560}} = 0,143$$

Como en la tabla de Fisher y Yates de la "t" de Student es "t" = 2,00 para  $N_A + N_B - 2 = 71$  y  $p = 0,05$ . Al ser

$t_{NFA}^{NFA} = 0,14 < 2,00$  se admite que la diferencia de medias entre las notas finales de dichos grupos A y B no es significativa.

### 3.4.3- Aplicación de las pruebas.

En este trabajo se pretende averiguar si el método multimedia de enseñanza de Física mediante "Unidades In-

tegradas" influye:

- a) En el intelecto.
- b) En el pensamiento científico y aprendizaje de la Física.
- c) Si existe correlación significativa entre a y b .

Para ello:

- Referente al punto a, se pasó el test factorial de inteligencia A.M.P.E. al grupo experimental (A) y al grupo (B) de control a principios del curso académico (Noviembre) y posteriormente de nuevo a ambos grupos al final de dicho curso (Julio), a fin de determinar estadísticamente si se habían producido cambios significativos dentro de cada grupo y también entre ambos, sirviendo ésto a su vez para determinar si ambos grupos eran comparables.

- Referente al punto b

Los alumnos del grupo experimental (A) realizaron las "Unidades Integradas" (forma reducida) basadas en doce experiencias, incluyendo como elementos fundamentales ensayos, documentos, evaluación, películas, tal como ya se indicó. Hubo de excluirse la TV, imagen fija (diapositivas) y otros materiales, ya que no se pudo contar con estos medios. Por otro lado, debe indicarse que el método de "Unidades Integradas" no implica en sí de forma preceptiva el uso de todos los medios conocidos, si no más bien el uso coherente de los que se dispongan, sin excluir jamás eso sí la evaluación (auto evaluación) "in situ", ya descrita.

Los resultados obtenidos fueron evaluados según el método indicado, completando lo anterior un estudio estadístico sobre validez e implicaciones.

- En lo que respecta al punto c

Se procedió a un estudio estadístico de corre-

laciones entre los resultados del test factorial y las evaluaciones obtenidas en las "Unidades Integradas".

### 3.5- Resultados experimentales obtenidos.

#### 3.5.1- Resultados en el test AMPE.

Los resultados obtenidos por ambos grupos en las dos pruebas AMPE<sub>1</sub> (Noviembre) y AMPE<sub>2</sub> (Julio) del test AMPE están contenidos en las tablas III.2 y III.3. En ellas se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

N<sub>FA</sub> = Nota final de curso. Evaluación realizada en el C.E.U.

V<sub>1</sub> = Factor verbal del AMPE<sub>1</sub>

E<sub>1</sub> = Factor espacial del AMPE<sub>1</sub>

R<sub>1</sub> = Factor de razonamiento del AMPE<sub>1</sub>

N<sub>1</sub> = Factor numérico del AMPE<sub>1</sub>

F<sub>1</sub> = Factor de fluidez verbal del AMPE<sub>1</sub>

T<sub>1</sub> = Valor total de los factores del AMPE<sub>1</sub>

V<sub>2</sub> E<sub>2</sub> R<sub>2</sub> N<sub>2</sub> F<sub>2</sub> T<sub>2</sub>. Mismo significado para 2ª prueba AMPE<sub>2</sub>

La interpretación y utilización de dichos resultados se realiza en los capítulos siguientes.

Resultados obtenidos por los alumnos del grupo experimental A en las pruebas del test AMPE<sub>1</sub> (Noviembre) y AMPE<sub>2</sub> (Julio)

N	N <sub>f</sub>	V <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>
1	5.5	43.5	48.0	44.0	31.0	61.0	227.5	54.0	50.0	66.0	24.0	53.0	247.0
2	5.0	40.5	29.0	38.0	19.0	51.0	177.5	49.5	40.0	48.0	21.0	58.0	216.5
3	5.0	37.5	50.0	50.0	29.0	56.0	222.5	36.0	65.0	48.0	32.0	43.0	224.0
4	5.0	40.5	56.0	44.0	26.0	61.0	227.5	37.5	58.0	48.0	28.0	42.0	213.5
5	4.0	45.0	25.0	52.0	41.0	45.0	208.0	57.0	30.0	62.0	48.0	48.0	245.0
6	5.0	54.0	49.0	44.0	24.0	48.0	219.0	67.5	55.0	40.0	32.0	60.0	254.5
7	7.0	43.5	48.0	44.0	20.0	49.0	204.5	60.0	67.0	48.0	22.0	51.0	248.0
8	3.5	28.5	22.0	48.0	25.0	44.0	167.5	36.0	35.0	50.0	18.0	33.0	172.0
9	7.0	45.0	64.0	48.0	32.0	42.0	231.0	43.5	78.0	50.0	29.0	51.0	251.5
10	5.0	45.0	41.0	46.0	21.0	66.0	219.0	54.0	54.0	62.0	26.0	68.0	264.0
11	6.0	42.0	40.0	64.0	36.0	54.0	236.0	61.5	61.0	68.0	56.0	54.0	300.5
12	5.0	30.0	34.0	48.0	36.0	55.0	203.0	36.0	48.0	50.0	44.0	48.0	226.0
13	7.0	40.5	58.0	50.0	33.0	56.0	237.5	46.5	71.0	52.0	38.0	53.0	260.5
14	5.0	55.5	61.0	58.0	33.0	57.0	264.5	54.0	73.0	56.0	34.0	51.0	268.0
15	7.0	57.0	60.0	46.0	34.0	51.0	248.0	57.0	72.0	54.0	27.0	56.0	266.0
16	6.0	43.5	60.0	46.0	27.0	69.0	245.5	43.5	73.0	52.0	25.0	63.0	262.5
17	6.0	19.5	39.0	44.0	18.0	46.0	166.5	30.0	46.0	46.0	20.0	44.0	186.0
18	4.0	31.5	25.0	36.0	42.0	43.0	177.5	37.5	34.0	42.0	44.0	30.0	187.5
19	6.0	72.0	27.0	50.0	47.0	53.0	249.0	58.5	23.0	48.0	50.0	47.0	226.5
20	5.5	43.5	24.0	58.0	58.0	71.0	254.5	49.5	37.0	48.0	74.0	38.0	266.5
21	3.0	39.0	47.0	42.0	22.0	38.0	188.0	42.0	40.0	46.0	17.0	44.0	189.0
22	3.5	39.0	43.0	42.0	25.0	54.0	203.0	45.0	57.0	48.0	22.0	38.0	210.0
23	5.0	33.0	60.0	48.0	27.0	40.0	208.0	40.5	57.0	50.0	23.0	54.0	224.5
24	5.0	46.5	22.0	44.0	39.0	57.0	208.5	30.0	28.0	38.0	44.0	43.0	183.0
25	5.0	39.0	52.0	40.0	26.0	60.0	216.0	45.0	72.0	46.0	22.0	55.0	240.0
26	5.5	39.0	46.0	52.0	35.0	48.0	220.0	46.5	55.0	50.0	37.0	57.0	245.5
27	3.0	25.5	39.0	44.0	22.0	40.0	170.5	31.5	48.0	46.0	22.0	48.0	195.5
28	4.0	34.5	34.0	50.0	30.0	52.0	200.5	48.0	38.0	46.0	32.0	47.0	211.0
29	5.0	42.0	40.0	48.0	28.0	66.0	224.0	57.0	51.0	46.0	40.0	55.0	249.0
30	5.5	49.5	48.0	44.0	28.0	72.0	241.5	61.5	54.0	50.0	32.0	78.0	275.5
31	9.0	49.5	60.0	66.0	39.0	62.0	276.5	51.0	76.0	52.0	31.0	47.0	257.0
32	5.0	42.0	47.0	48.0	22.0	63.0	222.0	43.5	64.0	46.0	24.0	57.0	234.5
33	5.5	39.0	42.0	46.0	28.0	52.0	207.0	42.0	46.0	50.0	24.0	69.0	231.0
34	5.0	27.0	39.0	50.0	19.0	59.0	194.0	36.0	49.0	48.0	21.0	59.0	213.0
35	6.0	49.5	21.0	52.0	30.0	48.0	200.5	58.5	43.0	56.0	28.0	39.0	224.5
36	5.0	49.5	51.0	40.0	33.0	62.0	235.5	49.5	55.0	52.0	39.0	53.0	248.5
37	6.0	45.0	42.0	50.0	25.0	62.0	224.0	54.0	51.0	50.0	29.0	46.0	225.0
38	8.0	60.0	32.0	54.0	29.0	66.0	241.0	60.0	23.0	62.0	22.0	50.0	217.0
39	7.5	42.0	47.0	54.0	25.0	66.0	234.0	40.5	46.0	52.0	20.0	55.0	213.5
40	7.0	36.0	41.0	44.0	28.0	65.0	214.0	58.5	60.0	54.0	30.0	52.0	257.5
41	4.0	39.0	1.0	46.0	40.0	61.0	187.0	48.0	39.0	46.0	43.0	61.0	237.0
42	5.0	55.5	59.0	52.0	35.0	33.0	234.5	63.0	63.0	58.0	36.0	32.0	252.0

Resultados obtenidos por los alumnos del grupo experimental B en las pruebas del test AMPE<sub>1</sub> (Noviembre) y AMPE<sub>2</sub> (Julio)

<u>N</u>	<u>N<sub>f</sub></u>	<u>V<sub>1</sub></u>	<u>E<sub>1</sub></u>	<u>R<sub>1</sub></u>	<u>N<sub>1</sub></u>	<u>F<sub>1</sub></u>	<u>T<sub>1</sub></u>	<u>V<sub>2</sub></u>	<u>E<sub>2</sub></u>	<u>R<sub>2</sub></u>	<u>N<sub>2</sub></u>	<u>F<sub>2</sub></u>	<u>T<sub>2</sub></u>
1	5.0	39.0	44.0	46.0	20.0	49.0	198.0	36.0	46.0	44.0	18.0	39.0	183.0
2	5.0	42.0	46.0	52.0	30.0	56.0	226.0	39.0	52.0	60.0	27.0	61.0	239.0
3	7.0	43.5	25.0	44.0	27.0	47.0	186.5	52.5	31.0	50.0	24.0	48.0	205.5
4	6.0	39.0	47.0	46.0	53.0	60.0	245.0	42.0	50.0	42.0	51.0	46.0	231.0
5	5.0	60.0	47.0	66.0	28.0	55.0	256.0	67.5	51.0	62.0	32.0	54.0	266.5
6	5.0	64.5	44.0	40.0	21.0	51.0	220.5	54.0	46.0	46.0	28.0	60.0	234.0
7	5.5	54.0	50.0	44.0	39.0	67.0	254.0	51.0	58.0	46.0	40.0	63.0	258.0
8	6.0	57.0	42.0	50.0	42.0	72.0	263.0	63.0	59.0	66.0	48.0	59.0	295.0
9	5.0	45.0	49.0	52.0	26.0	62.0	234.0	61.5	72.0	62.0	26.0	63.0	284.5
10	3.5	40.5	15.0	46.0	33.0	62.0	196.5	45.0	25.0	52.0	29.0	55.0	206.0
11	5.5	36.0	35.0	52.0	30.0	68.0	221.0	43.5	47.0	56.0	35.0	51.0	232.5
12	4.0	40.5	52.0	68.0	29.0	53.0	242.5	34.5	62.0	70.0	27.0	48.0	241.5
13	5.0	36.0	42.0	58.0	28.0	39.0	223.0	39.0	52.0	54.0	25.0	48.0	218.0
14	5.0	37.5	60.0	50.0	22.0	39.0	208.5	39.0	69.0	58.0	23.0	34.0	223.0
15	5.0	34.5	42.0	46.0	26.0	68.0	216.5	34.5	45.0	46.0	15.0	53.0	193.5
16	5.0	52.5	34.0	48.0	30.0	47.0	211.5	51.0	37.0	44.0	31.0	39.0	202.0
17	5.0	39.0	28.0	44.0	25.0	39.0	175.0	42.0	27.0	46.0	24.0	35.0	174.0
18	5.0	54.0	38.0	46.0	22.0	57.0	217.0	63.0	56.0	54.0	23.0	50.0	246.0
19	7.5	60.0	76.0	60.0	26.0	46.0	268.0	39.0	39.0	52.0	24.0	37.0	191.0
20	4.0	39.0	43.0	44.0	21.0	48.0	195.0	43.5	51.0	46.0	22.0	48.0	210.5
21	7.0	37.5	43.0	46.0	40.0	55.0	221.5	55.5	54.0	50.0	35.0	48.0	242.5
22	6.0	37.5	47.0	44.0	24.0	51.0	203.5	40.5	50.0	52.0	18.0	46.0	206.5
23	7.0	39.0	43.0	58.0	21.0	65.0	226.0	52.5	47.0	64.0	21.0	34.0	218.5
24	7.0	43.5	19.0	46.0	36.0	65.0	209.5	51.0	37.0	50.0	39.0	63.0	240.0
25	5.0	60.0	43.0	42.0	42.0	60.0	247.0	54.0	52.0	52.0	35.0	62.0	255.0
26	5.0	30.0	25.0	44.0	26.0	58.0	183.0	37.5	21.0	46.0	28.0	42.0	174.5
27	3.5	31.5	27.0	48.0	20.0	55.0	181.5	48.0	31.0	50.0	28.0	55.0	212.0
28	5.5	36.0	44.0	68.0	38.0	53.0	239.0	39.0	49.0	72.0	35.0	48.0	243.0
29	4.0	55.5	52.0	40.0	24.0	68.0	239.5	60.0	54.0	44.0	13.0	47.0	218.0
30	5.0	43.5	73.0	64.0	48.0	66.0	294.5	54.0	82.0	64.0	44.0	63.0	307.0
31	7.0	34.5	32.0	42.0	16.0	47.0	171.5	42.0	44.0	46.0	7.0	50.0	189.0

III.3

3.5.2- Resultados del grupo A en las Unidades Integradas.

Las puntuaciones del grupo A correspondientes a las respuestas de las 190 cuestiones contenidas en las secuencias de aprendizaje de las Unidades Integradas en Física están relacionadas a continuación, en la tabla III.4. En la que se han utilizado los siguientes parámetros:

- $N_e$  = Número de orden de la experiencia.
- $N_c$  = Número de orden de cada cuestión en cada experiencia.
- $N$  = Número de orden de cada alumno en la lista.
- $C_T$  = Clasificación taxonómica de cada cuestión.
- $P'_t$  = Puntuación total de cada alumno en cada experiencia.
- $P_t$  = Puntuación total de cada alumno en el total de las experiencias.

La interpretación y utilización de estos resultados se realiza en el capítulo V.

Ne	( 1 )																
Nc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
CT	2	5	4	1	4	1	1	4	7	5	5	4	5	2	5	7	
<u>N</u>																	<u>Pt</u>
1	1	0	1	0	1	1	1	1	3	1	2	1	1	1	2	2	19
2	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	14
3	0	1	1	0	2	1	0	1	2	1	2	1	1	0	1	2	16
4	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	2	8
5	1	0	2	0	2	1	3	1	2	2	1	3	2	2	3	2	27
6	0	1	0	1	0	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	3	18
7	0	0	2	2	1	1	2	3	3	2	3	3	1	3	3	2	23
8	0	1	0	0	1	0	0	1	2	1	0	1	1	0	1	2	11
9	0	1	1	1	2	3	0	2	3	2	3	3	3	2	2	3	31
10	1	2	1	2	3	1	1	2	3	2	3	2	3	3	3	3	35
11	3	2	2	1	2	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	41
12	0	1	1	0	1	0	0	1	3	1	1	1	2	1	1	2	16
13	2	2	1	1	2	1	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	35
14	2	2	1	1	2	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	36
15	1	0	1	0	1	1	1	1	3	1	1	2	1	2	2	3	21
16	0	1	1	0	2	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	2	32
17	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	2	11
18	0	1	0	0	1	1	0	1	3	2	3	1	2	1	2	3	21
19	2	1	2	2	2	2	1	3	3	2	3	3	2	3	3	3	37
20	1	0	1	1	2	1	2	1	3	2	3	3	3	2	3	2	30
21	0	1	0	0	1	0	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	12
22	0	1	1	0	1	0	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	17
23	0	1	0	1	0	1	2	1	3	1	1	2	1	1	2	2	19
24	1	1	1	0	1	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	2	15
25	1	2	0	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	2	20
26	1	1	2	1	3	0	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	34
27	0	1	0	0	1	0	0	1	1	2	1	1	2	1	1	3	15
28	0	1	0	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	15
29	0	0	3	1	2	1	2	1	2	3	3	2	1	2	2	1	26
30	2	1	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	38
31	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	15
32	1	0	1	0	2	1	0	1	1	2	1	1	2	2	3	3	21
33	1	2	1	1	2	0	1	1	1	1	1	2	2	3	1	3	23
34	0	2	0	1	0	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	20
35	1	1	1	0	2	1	1	2	3	2	2	2	1	2	1	3	25
36	0	0	2	2	1	1	1	2	2	1	3	2	1	1	3	2	24
37	1	1	1	0	1	1	2	1	1	3	2	2	2	1	2	2	23
38	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	2	11
39	0	0	1	0	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	1	2	13
40	0	2	2	1	3	2	1	2	3	2	3	3	3	1	3	2	33
41	1	1	2	0	2	1	2	2	3	1	3	2	3	2	2	2	29
42	2	2	1	1	2	0	1	2	2	2	2	3	3	1	3	3	30

( 2 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Pt
2	4	4	4	1	5	5	2	4	4	4	4	2	5	5	7	
1	1	1	2	1	2	3	1	1	2	2	3	1	2	3	3	29
0	1	1	1	0	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	22
0	0	1	1	0	1	2	0	1	1	1	3	1	2	2	2	18
0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	9
1	1	1	1	2	3	2	1	2	2	2	2	2	3	3	2	30
1	0	1	0	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	3	22
0	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	3	3	3	2	28
0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	3	12
1	1	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	1	2	3	3	32
2	1	2	2	1	3	2	1	2	3	3	2	2	3	3	3	35
2	2	1	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	42
0	1	0	1	0	2	2	0	1	1	2	2	1	2	2	2	19
1	2	2	2	2	2	3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	38
1	2	2	2	2	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	37
1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	3	2	2	2	27
2	1	1	3	1	3	2	1	1	2	3	3	2	3	3	3	34
0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	2	2	13
1	0	1	1	2	0	2	1	2	3	3	3	2	2	1	3	27
2	2	1	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	39
0	1	1	2	1	3	2	1	3	3	3	2	1	3	2	3	31
0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	2	2	2	13
0	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	23
1	1	1	2	1	1	1	2	3	2	2	2	3	1	3	2	28
2	0	1	0	1	2	1	1	2	2	1	1	0	1	2	3	20
0	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	3	1	3	1	3	29
1	1	2	3	1	3	1	1	2	3	3	2	3	2	3	3	34
0	1	0	1	0	2	2	0	1	2	1	1	0	2	2	2	17
0	1	1	1	0	2	2	1	1	1	2	2	1	3	2	3	23
1	1	0	2	0	1	2	1	2	3	2	3	3	2	2	3	28
2	1	1	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	38
2	2	1	1	0	1	1	0	1	0	2	1	0	2	2	3	19
1	1	1	2	1	2	0	1	1	1	2	3	2	2	3	2	25
1	2	2	2	0	3	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	27
2	1	1	2	2	2	1	0	2	3	3	2	1	2	2	3	29
1	0	0	1	1	1	2	1	2	3	3	3	3	1	2	2	26
0	1	1	2	0	2	1	2	2	2	1	3	3	3	2	3	28
1	0	0	1	1	2	1	1	1	2	1	2	3	2	3	3	24
0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	2	0	1	1	2	13
0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	14
1	1	2	2	1	2	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	35
0	1	1	1	2	3	3	1	2	3	3	3	2	2	2	3	32
1	1	2	2	1	2	3	2	3	2	3	3	1	3	3	2	34

( 3 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Pt
1	4	6	4	6	4	6	5	5	5	4	4	7	
1	0	1	1	2	2	1	2	2	2	3	1	2	20
0	0	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	3	19
0	1	2	0	2	1	3	1	1	2	1	1	2	17
0	0	2	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2	9
0	1	2	1	3	2	3	3	3	3	2	2	3	28
1	0	2	1	2	0	3	2	2	2	1	2	2	20
1	2	2	2	2	1	2	3	3	3	2	1	3	27
0	0	1	0	2	0	2	1	1	1	0	1	2	11
2	0	3	1	3	2	3	3	3	3	1	3	2	29
1	1	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	30
3	2	2	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3	34
0	0	1	0	3	1	3	1	2	2	1	1	2	17
1	2	2	2	2	1	2	3	2	3	3	3	3	29
2	3	2	2	2	3	2	1	3	3	2	3	3	31
1	2	2	0	3	1	1	1	2	3	2	2	3	23
0	1	3	2	3	0	3	3	3	3	2	3	3	28
0	0	0	1	1	1	2	0	1	1	1	2	3	13
2	0	3	0	2	1	2	2	3	3	1	1	2	22
2	2	3	2	3	2	2	2	3	1	2	3	3	30
1	1	3	1	2	2	3	3	3	3	1	3	3	29
0	0	1	0	1	1	1	1	1	2	1	2	3	14
0	0	2	1	2	1	2	1	1	1	3	3	2	19
0	3	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	3	22
1	0	2	0	2	1	2	2	2	1	1	2	2	18
1	0	3	2	2	2	1	1	1	2	1	1	3	20
1	1	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	30
0	0	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	16
0	0	1	1	2	1	3	1	3	2	1	2	3	20
1	1	2	0	3	2	3	3	2	3	1	1	3	25
2	2	1	2	3	2	2	3	2	3	3	3	2	32
2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	0	1	3	17
1	0	1	1	1	2	3	2	3	3	1	3	3	24
0	0	2	2	3	1	2	2	2	3	2	1	2	22
2	1	3	1	2	1	2	2	1	3	1	2	3	24
0	0	2	0	3	1	3	2	1	2	3	1	3	21
1	1	1	2	2	1	3	2	3	3	1	2	3	25
0	1	1	1	2	1	3	1	3	3	2	3	2	23
2	0	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	2	14
0	1	1	0	2	1	2	1	1	2	1	1	3	16
1	1	3	1	3	2	3	2	3	3	1	2	3	28
0	1	2	1	3	1	3	2	2	2	2	2	3	24
1	1	3	1	3	2	3	2	1	3	2	2	2	26

( 4 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Pt
2	2	2	4	7	1	4	5	4	5	4	5	5	5	5	6	6	7	
0	1	1	1	3	2	2	3	3	2	2	3	2	3	3	3	2	2	38
1	1	0	1	3	1	1	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	35
0	1	0	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	27
0	0	0	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2	1	2	13
1	1	1	1	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	40
2	1	1	0	2	1	2	2	2	2	1	2	3	2	2	3	3	3	34
1	0	1	2	2	2	1	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	38
0	0	0	1	2	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	2	15
1	2	2	3	3	1	1	3	3	3	2	3	3	3	3	1	3	3	43
2	1	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	46
2	2	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	49
0	1	0	0	3	0	1	2	1	2	1	2	3	2	1	3	3	2	27
1	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	45
1	1	2	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	41
1	1	1	1	3	1	3	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2	3	38
2	1	3	3	3	1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	45
0	1	0	1	2	0	1	1	1	1	2	3	2	2	2	2	2	3	26
1	3	2	1	3	1	3	0	1	2	1	3	3	2	2	3	3	3	37
2	1	2	2	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	46
1	1	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	44
0	1	0	1	2	0	1	1	1	3	1	2	2	2	2	3	3	2	27
0	1	1	1	2	1	2	2	2	3	1	2	2	2	2	3	3	3	33
1	1	1	2	2	2	1	2	3	2	3	2	2	3	3	2	3	3	38
2	3	3	1	2	1	1	3	0	2	3	1	2	1	1	1	2	3	32
1	1	0	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	3	2	37
1	2	3	2	3	2	2	3	3	3	1	3	3	3	2	3	3	3	45
0	1	1	1	2	0	1	1	0	1	1	2	1	1	1	3	2	3	22
0	1	1	2	3	1	2	3	2	2	1	1	2	2	3	3	3	3	35
1	0	2	3	3	2	2	1	2	3	3	3	3	2	3	3	2	2	40
2	3	2	1	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	46
1	0	0	1	2	0	2	3	1	2	1	2	2	2	1	3	3	2	28
0	2	0	2	2	1	1	2	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3	37
1	1	1	2	3	0	2	2	3	2	1	3	3	2	3	3	2	3	37
2	2	3	1	2	1	1	3	1	1	2	3	2	2	3	3	3	3	38
1	1	2	2	3	2	1	1	3	2	3	3	2	2	3	2	2	2	37
2	1	1	2	1	2	1	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	39
1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	3	3	2	3	3	2	3	3	37
0	1	0	0	2	0	1	1	0	2	1	1	1	1	1	2	2	2	18
1	0	0	1	3	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	2	2	3	19
1	1	1	2	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	42
2	0	1	2	3	1	2	3	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	40
1	1	1	2	2	0	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	40

( 5 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Pt
2	3	5	4	4	4	4	6	4	4	4	2	4	5	4	5	2	5	1	6	7	
0	1	2	2	3	2	3	3	1	2	2	1	3	3	2	3	1	3	2	3	3	45
1	0	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	3	2	3	2	3	1	3	3	38
0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	1	0	1	2	2	3	1	2	1	2	2	28
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2	1	1	0	1	0	1	2	13
1	0	2	1	3	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	49
0	0	1	1	1	2	1	3	2	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2	2	41
1	1	1	0	2	3	3	2	2	3	3	1	3	3	3	3	2	3	2	3	3	47
0	0	1	1	0	0	1	2	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	2	2	17
1	1	1	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	53
1	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	56
3	3	2	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	58
0	1	2	1	1	1	1	3	2	1	1	0	1	3	1	2	1	2	1	2	2	29
2	2	2	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	56
2	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	1	3	3	2	3	3	3	3	53
0	1	1	2	3	1	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2	2	2	3	44
1	1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	56
1	0	1	0	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	3	1	2	2	2	3	30
0	2	3	2	2	2	1	2	3	3	2	2	2	0	3	3	3	2	2	3	2	44
1	3	3	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	56
1	2	1	2	3	2	2	3	3	3	3	1	3	3	3	2	2	3	3	3	3	51
0	0	1	1	1	1	1	2	1	1	2	0	1	3	2	3	1	2	2	3	3	31
2	0	2	0	1	2	1	3	1	1	2	2	3	3	2	3	2	2	2	3	3	40
0	2	1	2	2	2	3	3	1	2	3	1	3	3	3	3	3	2	1	2	3	45
2	1	3	0	1	1	2	3	2	2	3	1	2	2	2	2	1	1	2	3	3	39
1	0	3	2	2	2	3	3	2	1	1	2	2	3	3	3	2	3	1	2	2	43
2	1	2	3	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	56
1	0	1	1	0	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	3	28
0	0	2	1	1	2	2	3	2	2	2	1	2	3	3	3	1	3	2	3	3	41
2	1	1	3	3	2	1	2	2	2	1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	49
3	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	55
2	1	0	0	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	3	1	2	1	3	3	30
1	1	0	2	3	1	2	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	2	1	3	45
1	0	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	2	3	1	2	3	46
2	1	3	0	1	3	2	3	1	3	3	0	3	3	1	2	2	3	3	2	2	43
1	0	2	1	1	1	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	1	2	2	44
0	1	1	2	0	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	1	2	3	46
1	1	1	0	2	2	2	1	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	46
2	3	1	0	1	0	1	2	1	1	1	0	1	2	1	2	0	1	0	3	2	25
0	0	2	1	1	1	1	3	1	1	1	0	1	1	1	2	1	2	1	2	3	26
1	1	3	2	3	2	3	3	3	3	3	1	2	3	3	3	2	3	2	3	3	52
1	1	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	2	2	1	3	3	49
1	1	3	2	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	1	3	2	3	3	52

( 6 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Pt
2	1	1	5	5	4	4	4	5	4	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	4	7	
1	2	1	1	3	1	2	3	3	3	2	2	3	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3	53
1	1	1	2	2	1	2	2	2	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	1	2	2	2	47
0	1	0	2	2	1	1	0	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	3	32
0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	2	1	1	0	1	1	0	1	0	2	14
1	1	1	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	56
0	1	2	1	2	2	1	2	3	2	2	3	1	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	48
1	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	55
0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	1	0	2	1	2	19
1	1	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	60
2	1	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	63
3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	65
0	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	3	2	3	2	2	34
2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	63
1	2	3	3	2	2	3	3	3	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3	58
1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	1	3	3	51
1	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	63
0	1	0	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	35
1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	3	2	3	52
3	2	3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	64
0	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	61
0	1	0	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	2	36
1	1	0	2	3	1	1	2	2	2	3	2	3	3	3	1	3	3	3	2	3	3	3	50
1	2	1	1	2	2	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	2	1	2	52
2	1	3	2	2	2	3	2	2	1	2	1	3	3	3	1	2	2	2	1	2	2	3	47
1	1	1	3	2	3	2	2	3	2	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	3	1	3	53
2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	63
0	1	0	1	2	0	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	3	2	3	33
1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	3	1	3	49
0	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2	57
2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	63
3	0	1	2	2	0	2	0	3	1	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	38
1	1	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	60
1	2	3	1	2	2	1	2	3	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	2	54
2	2	1	2	2	3	3	1	2	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	1	2	1	3	52
1	1	0	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	2	1	3	1	3	3	51
3	2	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	59
1	2	2	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	59
2	0	0	2	1	1	1	1	2	1	1	1	0	2	1	1	2	1	1	2	1	1	3	28
0	1	0	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	0	1	0	2	23
1	1	2	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	59
1	2	1	2	3	2	2	3	3	2	3	2	2	3	3	1	3	3	3	2	3	3	3	55
2	2	1	3	3	1	2	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	58

( 7 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	<u>Pt</u>
5	5	3	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	7	
0	1	1	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	2	2	33
1	1	0	1	3	1	2	2	3	3	2	3	2	3	3	30
0	1	0	0	2	1	1	1	2	3	1	3	1	3	2	21
1	0	0	0	1	0	0	1	2	1	1	2	1	2	1	13
1	1	1	2	3	1	2	3	3	3	3	3	2	2	3	33
2	0	2	2	3	2	3	3	3	2	2	1	1	2	3	31
0	2	2	1	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	34
0	1	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	16
1	2	0	2	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	36
2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	40
3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	42
1	1	0	1	3	1	1	1	2	3	2	3	1	3	2	25
3	2	1	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	40
1	2	2	2	3	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	36
0	1	3	1	2	2	3	3	2	3	3	2	2	3	3	33
3	2	2	2	3	2	3	1	3	3	3	3	3	3	3	39
0	1	0	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	19
2	3	0	2	3	1	0	3	3	1	3	2	3	3	3	32
3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	39
1	1	1	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	35
0	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	3	19
1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	2	30
0	1	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	33
2	2	0	2	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	2	28
1	2	2	2	2	1	2	3	3	3	2	3	2	3	3	34
2	3	2	1	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	39
0	2	0	1	2	1	1	2	2	3	2	3	3	3	2	27
1	1	1	2	3	1	2	2	3	3	2	2	2	3	3	31
1	1	0	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	32
2	1	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	40
3	3	1	0	2	1	1	1	3	2	1	2	2	2	2	26
1	1	2	1	1	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	33
2	0	2	1	2	2	3	3	2	3	3	3	2	2	2	32
0	2	3	2	3	3	2	1	2	3	1	2	2	2	3	31
1	2	1	2	2	2	3	3	3	3	3	2	1	2	3	33
0	2	0	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	31
1	1	1	2	1	2	2	2	2	3	1	2	2	3	3	30
2	1	0	1	2	0	1	1	2	2	1	2	1	2	2	20
1	1	0	1	2	1	1	1	3	2	1	2	1	2	3	22
2	2	1	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	37
1	2	1	1	2	2	2	2	3	3	2	3	2	3	3	32
1	1	0	1	3	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Pt
4	4	4	4	1	6	4	4	6	7	4	6	6	6	6	4	1	5	6	6	7	7	
0	1	1	2	1	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	50
1	1	1	1	1	2	1	1	3	3	1	2	3	3	3	2	2	3	2	3	3	3	45
1	1	1	1	0	2	1	1	2	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	35
0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	2	14
2	2	1	3	1	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	55
1	1	1	2	1	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	3	3	1	3	3	3	2	48
0	2	2	3	2	2	3	3	3	2	2	3	1	3	3	3	2	3	3	3	3	3	54
0	0	1	1	0	1	0	0	1	2	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	2	2	16
1	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	58
2	3	3	3	1	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	61
3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	63
0	1	1	1	0	2	1	1	3	3	1	3	2	2	3	0	0	1	3	3	3	2	36
2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	61
2	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	58
2	0	2	2	1	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3	49
3	3	3	3	1	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	60
1	1	1	1	0	1	1	1	1	2	0	2	1	2	2	1	0	1	2	2	3	3	29
1	2	2	2	1	2	3	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	54
3	1	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	61
1	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	59
0	1	1	1	0	1	1	1	1	3	1	2	1	2	2	1	0	1	2	3	3	2	30
2	0	1	2	1	2	2	3	2	3	1	2	2	3	3	2	1	2	3	3	3	3	46
1	1	2	2	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	2	2	3	50
0	2	1	2	2	3	2	1	2	3	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	3	2	40
1	3	2	1	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	3	1	3	2	52
3	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	61
0	1	1	1	0	2	0	1	2	2	1	1	1	2	1	0	1	2	2	3	3	3	30
1	0	1	1	1	3	2	1	1	3	1	2	3	3	3	2	1	3	3	2	3	3	43
0	2	3	3	1	3	0	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	55
3	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	60
2	0	1	0	1	3	0	1	1	1	1	3	2	3	3	1	2	1	2	2	3	2	35
1	2	2	2	1	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	54
2	1	2	2	2	3	2	3	3	3	3	1	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	54
1	2	2	3	2	2	1	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	1	2	1	3	49
0	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	1	3	2	3	3	52
1	1	2	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	55
1	0	1	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	54
2	2	2	1	0	1	0	1	2	2	1	1	1	1	2	1	0	1	1	2	2	2	28
0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1	1	2	1	0	0	1	1	1	1	1	17
2	2	3	2	1	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	58
1	1	2	3	1	2	1	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	52
1	2	2	1	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	1	3	2	3	3	3	54

( 9 )

1	2	3	4	5
5	4	5	5	6

P't

1	1	2	2	3	9
1	0	2	2	2	7
0	0	2	3	3	8
0	0	0	1	1	2
1	1	2	3	3	10
1	1	1	3	2	8
1	2	3	2	3	11
0	0	1	1	1	3
1	2	2	3	3	11
3	2	3	3	3	14
3	3	3	3	3	15
0	1	3	1	2	7
2	2	3	3	3	13
2	3	2	3	3	13
1	2	1	3	2	9
2	1	2	3	3	11
1	0	1	2	3	7
0	2	2	3	3	10
2	3	3	3	3	14
1	3	2	3	3	12
0	1	1	2	2	6
1	1	1	2	3	8
2	1	2	2	2	9
1	1	2	2	1	7
0	2	3	3	2	10
1	2	3	3	3	12
0	1	1	2	3	7
1	1	1	2	2	7
2	1	1	2	3	9
3	2	3	3	3	14
1	0	1	2	2	6
1	1	1	3	3	9
1	2	2	3	2	10
1	1	1	2	2	7
0	1	2	3	2	8
1	2	1	2	3	9
1	1	2	2	2	8
1	1	2	1	1	6
1	0	1	1	1	4
2	1	2	2	3	10
1	1	2	3	2	9
1	1	1	1	3	7

( 10 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	4	6	4	4	6	4	4	4	5	7

P't

0	2	3	3	2	2	3	3	3	3	2	26
1	1	2	1	2	3	2	3	3	3	3	24
2	0	2	1	2	3	2	3	3	3	2	23
0	1	2	1	1	1	0	0	0	1	2	9
1	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	28
0	1	3	2	1	2	3	3	3	2	3	23
1	2	2	1	3	3	3	2	3	3	3	26
0	0	2	0	1	2	1	1	1	1	2	11
2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	30
2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	29
2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	31
2	1	3	1	2	3	2	3	3	3	2	25
3	1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	30
2	1	2	2	3	3	2	3	2	3	3	26
1	1	3	2	2	3	2	3	3	3	2	25
3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	32
0	1	2	1	1	2	2	2	3	3	2	19
1	0	3	2	3	3	2	3	3	2	3	25
2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	30
1	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	29
0	1	2	1	1	2	2	2	3	3	2	19
0	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	24
2	1	2	1	2	3	3	3	3	2	3	25
3	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2	28
1	2	2	3	2	3	3	2	3	3	2	26
3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	32
1	1	3	1	2	3	2	2	2	3	3	23
2	2	3	2	2	2	2	2	3	3	3	26
1	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	29
1	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	29
2	2	3	2	1	3	1	3	2	3	2	24
3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	32
0	1	2	3	3	2	3	3	2	3	3	25
1	2	2	3	3	2	3	1	3	2	2	24
1	2	3	3	2	3	2	3	2	2	3	26
3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	31
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	32
2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	17
0	0	2	1	0	2	1	1	1	2	3	13
1	1	3	2	2	3	2	3	3	3	3	26
1	1	2	1	1	3	2	2	3	3	3	22
1	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Pt
3	3	6	1	4	4	4	6	4	4	1	4	1	4	6	7	
1	1	3	2	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	2	3	40
2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	3	2	3	3	35
1	1	3	1	1	2	1	3	3	2	3	2	3	2	3	2	33
0	0	2	0	1	0	1	2	1	1	0	1	0	1	2	2	14
1	1	3	1	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	38
2	1	2	1	2	3	3	3	3	2	1	3	3	3	2	2	36
2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	42
0	0	1	0	1	1	1	2	1	1	0	1	0	1	3	2	15
1	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	40
2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	43
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	47
0	1	3	1	1	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2	2	33
1	2	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	43
2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	43
0	2	3	2	1	3	2	3	2	2	3	3	3	2	3	3	37
2	1	3	1	2	2	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	41
0	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	3	3	2	24
2	2	3	2	3	2	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	41
3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	44
1	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	40
0	1	2	0	1	1	1	2	1	2	1	2	1	3	3	2	23
1	3	3	1	2	1	2	3	2	3	1	3	3	3	3	3	37
2	2	2	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	1	3	3	39
3	2	2	3	3	3	3	2	1	1	1	2	1	2	2	2	33
1	2	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	40
1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	43
0	2	3	1	2	2	2	3	2	2	1	3	1	2	3	2	31
1	1	3	2	2	2	3	3	2	2	1	2	2	3	3	3	35
2	1	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	39
3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45
1	2	3	3	1	1	2	3	2	2	3	1	3	1	2	2	32
2	3	3	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	42
3	2	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	41
2	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	3	1	3	1	2	38
2	1	2	2	3	2	3	2	3	2	3	3	3	3	2	3	39
1	3	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	40
1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45
0	0	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	0	1	2	2	20
1	0	3	1	1	1	1	3	1	1	0	2	0	1	2	3	21
2	1	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	42
1	1	3	1	3	2	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	38
2	2	2	1	2	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	39

( 12 )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	<u>Pt</u>	<u>Pt</u>
2	3	4	2	3	4	3	4	3	3	5	4	6	7		
1	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	36	398
2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	34	350
0	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	1	3	2	31	289
0	0	1	2	1	2	0	1	0	0	1	1	2	2	13	131
1	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	37	431
2	1	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	2	32	361
2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	36	416
0	0	2	0	1	2	1	1	0	0	1	2	3	2	15	161
2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	39	462
3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	40	492
3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	41	528
1	1	2	1	1	2	3	2	3	3	3	3	3	2	30	298
2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	40	493
2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	37	450
1	1	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2	34	391
1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	39	480
0	1	2	1	1	2	1	2	2	0	3	1	2	3	21	247
2	2	2	1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	36	401
3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	40	499
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	39	460
0	1	1	1	1	2	1	2	1	1	3	2	3	2	21	251
1	1	2	2	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	33	360
1	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	35	395
1	2	2	3	3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	32	339
2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	1	3	3	36	400
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	41	490
1	1	2	1	1	3	3	3	2	2	3	2	3	2	29	278
1	1	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	34	359
1	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	36	425
2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	40	500
2	2	3	2	3	3	2	3	2	2	1	2	2	2	31	301
2	3	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3	2	3	36	420
1	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	36	407
3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	1	3	1	2	34	389
2	2	1	2	3	1	3	3	2	3	3	3	2	3	33	395
2	1	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	35	422
1	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	37	418
0	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	18	218
1	1	1	0	0	2	0	1	0	1	3	2	1	2	15	203
2	1	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	36	458
1	1	3	2	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	35	417
1	2	3	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	34	430

CAPITULO IV

ELABORACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES. (I)

- 4.1- Criterios estadísticos.
- 4.2- Elaboración, análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el test AMPE.
  - 4.2.1- Comparabilidad entre el grupo experimental A y el de control B.
  - 4.2.2- Determinación de progresos en los resultados obtenidos por los grupos A y B en el test AMPE.
    - 4.2.2.1- Determinación de diferencias de progresos entre los grupos A y B en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>.
  - 4.2.3- Determinación de progresos en los factores VERNF del AMPE para el grupo A y B.
  - 4.2.4- Correlaciones entre el AMPE y la calificación final  $N_{FA}$  y  $N_{FB}$  del curso académico para ambos grupos A y B.

#### 4.1- Criterios estadísticos.

Puesto que hemos realizado nuestro estudio utilizando dos grupos A y B, que no han sido muestreados de una población más amplia, indicamos que los resultados obtenidos solo son válidos y representativos para dichos grupos y condiciones de trabajo.

Hemos utilizado los procedimientos estadísticos normales en este tipo de estudios. Sin embargo, consideramos específicamente algunos temas estadísticos estableciendo al respecto los correspondientes criterios.

En la investigación es usual establecer diferencias entre variables. En contrastes estadísticos, diferencias entre estadígrafos, planteándose la necesidad de determinar si estas diferencias son reales o si pueden ser atribuidas al azar o fluctuaciones estadísticas.

Puede establecerse, inicialmente como hipótesis que no existe diferencia entre las medias de dos muestras (hipótesis nula)  $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ . Sin embargo, generalmente sabemos en la práctica que las medias de dos muestras suelen ser distintas y en realidad lo que se trata es de determinar si esas diferencias no son debidas al azar, o sea si son significativas y como consecuencia ésto puede utilizarse para apoyar alguna afirmación.

En caso de aceptarse la hipótesis nula, se afirma que la diferencia entre medias no es significativa.

Sin embargo, antes de contrastar una hipótesis, hay que establecer el nivel de probabilidad o significación respecto del cual se piensa realizar dicho contraste. En las aplicaciones estadísticas, es usual adoptar el nivel de probabilidad o significación  $p = 0,01$  (1%) y más frecuentemente el  $p = 0,05$  (5%). En el primer caso al rechazar la hipótesis nula se hace con un riesgo de 1 posibilidad so-

bre 100 de que la hipótesis sea cierta; en el segundo caso el riesgo es de 5 posibilidades sobre 100.

Esta posibilidad de error, conocida como "error de tipo I" o "riesgo de 1ª especie" suele ser la que más preocupa a los investigadores. Sin embargo, debe indicarse que al reducirse excesivamente las posibilidades de cometer un error de tipo I se aumentan simultáneamente las de cometer un "error de tipo II" o "riesgo de segunda especie", consistente éste en la posibilidad de aceptar la hipótesis nula cuando es falsa. Por tanto, al disminuirse un riesgo se aumenta el otro.

En la práctica, como se indicó, los investigadores prefieren ser más precavidos con el riesgo I y suelen utilizar el nivel  $p = 0,05$  (5%). Nosotros utilizamos aquí también ese nivel, en la generalidad de los casos.

Sin embargo, viene observándose, sobre todo en el campo de las investigaciones que se ocupan del hombre, una cierta tendencia a justificar en casos concretos el uso de un nivel más flexible de significación.

"El hecho de que un investigador al rechazar una hipótesis siempre tenga una cierta probabilidad de equivocarse, le conduce a ser extremadamente conservador en las conclusiones que se refieren a resultados significativos. Lo último que deberá hacer es repetir el experimento. Existen muchas publicaciones cuyos resultados experimentales no pueden realizarse de nuevo. Quizá no sería una mala idea que los editores de revistas científicas solo aceptaran informes de experimentos que hayan sido repetidos" (81).

En este sentido, Mc Nemar (81) indica "que los psicólogos que adoptan y defienden el nivel 0,05 citan a Fisher como autoridad en la materia, pero olvidan decir que todos los trabajos de Fisher pertenecen a la Agricultu

ra o la Biología, en donde el muestreo se controla mucho mejor que en las ciencias sociales".

Según Escudero Escorza (62) p. 25) "la tendencia a establecer en los trabajos experimentales el nivel de significación estadística de una forma mecánica a  $p = 0,05$  ha supuesto posiblemente la paralización de vías de trabajo que pudieran haber sido prometedoras. Este nivel de riesgo, aceptable para estudios de drogas, resistencia de materiales, etc. pudiera no ser necesariamente lógico para el estudio de innovaciones didácticas. Hay que tener presente que en el proceso educativo intervienen muchas variables, condicionando y modelando el comportamiento del discente durante períodos largos de su vida. Por ello, es difícil encontrar factores aislados que al manipularlos por períodos relativamente cortos, la duración de un tratamiento suele variar entre varias semanas y un curso académico, van a afectar al comportamiento de los alumnos o sujetos base del estudio de forma significativa a un nivel de riesgo muy bajo".

"Una mayor flexibilidad en los niveles de riesgo aumentaría la capacidad y audacia de los experimentadores didácticos. A veces, los hallazgos experimentales se producen por casualidad y parece necesario incrementar, sin perder el rigor excesivamente, la probabilidad de que la casualidad del hallazgo se produzca".

Sin embargo, creemos que decisiones de este tipo deben ser consideradas con un carácter extremadamente selectivo, que requiere del investigador conocimientos amplios y mucha experiencia estadística, para juzgar cuando se justifica una tal alternativa.

Por otro lado, no hemos realizado un estudio de literatura científica referida al problema. Esta circunstancia y el hecho de no haber encontrado en nuestra investigación motivos especiales nos han inducido a utilizar general-

mente el nivel usual de probabilidad 0,05.

- En los cálculos de coeficientes  $r$  de correlación, nuestras muestras  $N_A = 42$  y  $N_B = 31$ , están poco alejados del valor de distribución normal para grandes muestras.

Sin embargo, en el caso de determinaciones de progresos, homogeneidad de muestras, etc. en los que calculamos la "t" de Student, teniendo como grados de libertad máximos en nuestro caso  $n_A^A = 2N_A - 2 = 82$ ;  $n_B^A = N_A + N_B - 2 = 71$  y  $n_B^B = 2N_B - 2 = 60$ , se comprueba en la tabla de Fisher y Yates de la "t" de Student, que nuestros valores están muy próximos a la zona de distribución normal en la que para  $p = 0,05$  se tiene  $z = 1,96$ .

La prueba de la "t" de Student es la conveniente para determinar contrastes de medias en el caso de muestras pequeñas ( $N < 30$ ) y datos no correlacionados ( $r = 0$ ) siendo

la expresión usual utilizada  $t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{V_2^1 \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}}$  en la

que  $V_2^1$  es la combinación de varianzas de las dos muestras y  $N_1$  y  $N_2 =$  número de sujetos de dichas muestras.

La expresión "t" de Student es semejante a una puntuación "z" ya que corresponden a una desviación dividida por una desviación típica. La desviación es la diferencia de medias  $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$  y la desviación típica es el error típico de la diferencia de medias.

$$\sigma_{D\bar{X}} = \sqrt{\sigma_{\bar{X}_1}^2 + \sigma_{\bar{X}_2}^2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}$$

En el caso de datos correlacionados ( $r \neq 0$ ), calculamos para el contraste de medias el valor de la "z" correspondiente según la expresión

$$z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\sigma_{\bar{X}_1}^2 + \sigma_{\bar{X}_2}^2 - 2r \sigma_{\bar{X}_1} \sigma_{\bar{X}_2}}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2} - 2r \frac{\sigma_1}{\sqrt{N_1}} \frac{\sigma_2}{\sqrt{N_2}}}}$$

Diversos autores (82), (83) han estudiado las características de la prueba de la "t" de Student, coincidiendo en su fuerte contraste que generalmente no es muy afectado por el incumplimiento de algunas de las condiciones bajo las cuales debe aplicarse. Concretamente hemos verificado en nuestra investigación que los resultados siguen siendo válidos si en los cálculos realizados, relacionados con el contraste de medias de datos correlacionados, no hubiesemos distinguido entre datos correlacionados y no correlacionados y hubiesemos aplicado la expresión usual de la "t" de Student en el caso de suponer  $r \neq 0$ .

#### 4.2- Elaboración, análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el test AMPE.

##### 4.2.1- Comparabilidad entre el grupo experimental A y el grupo de control B.

La comparabilidad entre los grupos se refiere a la determinación estadística de si ambos pertenecen a la misma población.

Para ello, procedimos utilizando los resultados obtenidos por los alumnos de dichos grupos A y B en el test AMPE<sub>1</sub>, pasado a todos a principio del curso, aplicando a esos resultados la prueba de la "t" de Student, a fin de determinar si la diferencia entre la media de los resultados de cada grupo  $\bar{X}_{1A} - \bar{X}_{1B}$  es significativa.

Al ser A y B dos grupos diferentes y  $N_A \neq N_B$ ,

de tamaños distintos, se les ha considerado no correlacionados. Como en la expresión matemática de la "t" de Student figura, en este caso, la combinación de varianzas  $v_{1B}^{1A}$  de ambos grupos, es necesario conocer previamente la homogeneidad de dichas varianzas utilizando para ello la distribución "F" de Snedecor, estableciendo:

Hipótesis nula: no hay diferencias significativas entre las varianzas.

$$\text{Aplicando } F = \frac{\sigma_{1B}^2}{\sigma_{1A}^2} = \frac{28,72^2}{25,57^2} = 1,26$$

En la tabla de la distribución F de Snedecor para  $N_B - 1 = 30$  y  $N_A - 1 = 41$  se tiene:  $\begin{cases} 1,74 & 5\% \\ 2,20 & 1\% \end{cases}$

Al ser  $1,26 < 1,74$  se acepta la hipótesis nula y por tanto la posibilidad de combinar las varianzas.

Aplicando ahora la expresión de "t" de Student, estableciendo:

Hipótesis nula: la diferencia de medias no es significativa

$$t_{1B}^{1A} = \frac{|\bar{x}_{1A} - \bar{x}_{1B}|}{\sqrt{v_{1B}^{1A} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}\right)}} = \frac{221,74 - 217,52}{\sqrt{725,82 \left(\frac{1}{42} + \frac{1}{31}\right)}} = 0,66$$

Como en la tabla de Fisher y Yates de la distribución "t" de Student se tiene para  $n = N_A + N_B - 2 = 71$  y  $P = 0,05$  que "t" = 2,00.

Al ser  $t_{1B}^{1A} = 0,66 < 2,00$ , se acepta la hipótesis nula y por tanto la diferencia de medias no es significativa, siendo comparables los dos grupos.

4.2.2- Determinación de progresos en los resultados obtenidos por el grupo A y B en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>

- Caso del grupo experimental A:

Comparando los valores medios de los resultados obtenidos por el grupo experimental A en el test AMPE pasado al principio y final del curso:

$$\Delta_A^A = \bar{x}_{2A} - \bar{x}_{1A} = 233,79 - 217,52 = 16,27$$

se tiene la ganancia en valor absoluto del grupo experimental A, referida a la puntuación de dicho grupo obtenida en el test AMPE<sub>2</sub> y AMPE<sub>1</sub>.

El incremento en porcentaje (tomando como referencia  $\bar{x}_{2A} \sim 100\%$ ) es  $\Delta_A^A \% = 6,96\%$

Para determinar si esta ganancia del grupo A es estadísticamente significativa, o sea si hay significación de la diferencia de medias para el grupo A en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y al final del curso, calculamos el valor de "z", ya que los grupos se consideran correlacionados por ser  $r_{2A}^{1A} = 0,68$ . Al ser  $N_A = 42$  calculamos el correspondiente valor de "z", estableciendo:

Hipótesis nula: la diferencia de medias no es significativa.

$$z_{2A}^{1A} = \frac{|\bar{x}_{1A} - \bar{x}_{2A}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{1A}^2}{N_A} + \frac{\sigma_{2A}^2}{N_A} - 2r_{2A}^{1A} \frac{\sigma_{1A}}{\sqrt{N_A}} \frac{\sigma_{2A}}{\sqrt{N_A}}}}$$

$$z_{2A}^{1A} = \frac{233,79 - 217,52}{\sqrt{\frac{25,57^2}{42} + \frac{27,99^2}{42} - 2 \cdot 0,68 \frac{25,57}{\sqrt{42}} \frac{27,99}{\sqrt{42}}}} = 4,90$$

cuyo valor es altamente significativo. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que ha habido cambios positivos significativos en las puntuaciones del grupo A, entre las dos pruebas  $AMPE_1$  y  $AMPE_2$ .

- Caso del grupo de control B:

Se sigue el mismo método que con el grupo A, consistente en comparar los valores medios de los resultados obtenidos por el grupo B de control en el test AMPE pasado al principio y al final del curso:

$$\Delta_B^A = \bar{x}_{2B} - \bar{x}_{1B} = 227,11 - 221,74 = 5,37$$

Valor que representa la ganancia absoluta de puntuación del grupo de control B, obtenida en el test  $AMPE_2$  y  $AMPE_1$ .

El incremento en porcentaje (tomando como referencia

$$\bar{x}_{2B} \sim 100\%) \text{ es } \Delta_B^A \% = 2,36\%$$

Para determinar estadísticamente el grado de significación de esta ganancia, o sea si hay significación de la diferencia de medias para el grupo B en el test  $AMPE_1$  y  $AMPE_2$ , pasado a principio y al final del curso, calculamos el valor de "z", ya que los dos grupos se considerarán correlacionados por ser  $r_{2B}^{1B} = 0,73$ . Al ser  $N_B = 31$ , calculamos el valor correspondiente de "z", estableciendo:

Hipótesis nula: la diferencia de medias no es significativa

$$z_{2B}^{1B} = \frac{|\bar{x}_{1B} - \bar{x}_{2B}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{1B}^2}{N_B} + \frac{\sigma_{2B}^2}{N_B} - 2r_{2B}^{1B} \frac{\sigma_{1B}}{\sqrt{N_B}} \frac{\sigma_{2B}}{\sqrt{N_B}}}}$$

$$z_{2B}^{1B} = \frac{227,11 - 221,74}{\sqrt{\frac{28,71^2}{31} + \frac{32,71^2}{31} - 2 \cdot 0,73 \frac{28,71}{\sqrt{31}} \frac{32,71}{\sqrt{31}}}} = 1,30$$

para  $p = 0,0968$ ;  $9,7\%$  (en prueba de una cola, siendo  $> 5\%$ ). Por tanto al ser  $z = 1,30$  un valor de baja significación, se admite la hipótesis nula y se afirma que no ha habido cambios significativos en las puntuaciones del grupo B, entre las dos pruebas  $AMPE_1$  y  $AMPE_2$ .

Se ha comprobado pues estadísticamente que en el caso del grupo experimental A los cambios producidos son significativos, pudiendo ser utilizados como tales y que en cambio en el grupo de control B los cambios no son significativos.

- Puesto que ambos grupos han tenido el mismo tratamiento en las clases teóricas, en el Centro de Estudios Universitarios, atribuimos la diferencia de resultados en el test AMPE a que mientras el grupo B hizo sus enseñanzas experimentales clásicas, el grupo A siguió nuestro método experimental.

- Asimismo, interpretamos la ganancia significativa de resultados entre las dos pruebas  $AMPE_1$  y  $AMPE_2$ , como una ganancia significativa de aptitudes mentales primarias

que debe traducirse en un incremento de la capacidad intelectual.

Al ser dichas aptitudes irreversibles, esto nos permite inferir que con la aplicación del método se producen cambios positivos permanentes en la capacidad pensante y, por tanto, un aporte permanente a la capacidad de pensamiento científico.

4.2.2.1- Determinación de diferencias de progresos entre los grupos A y B en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>.

Aún cuando hemos establecido nuestro trabajo al nivel  $p = 0,05$  (5%), encontramos en los cálculos anteriores, al ser  $z_{2B}^{1B} = 1,30$ , que a partir del límite 19,4% la diferencia de medias es significativa. Ello nos induce a preguntarnos: Si dicha diferencia de medias, cuyo valor es  $\bar{X}_{1B} - \bar{X}_{2B} = 5,37$ , la admitiésemos como significativa. ¿Se manifestaría diferencia significativa de progresos entre ambos grupos A y B en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y final del curso?.

Para ello la diferencia de medias de los incrementos medios  $(\bar{X}_{\Delta A} - \bar{X}_{\Delta B}) = (\bar{X}_{2A} - \bar{X}_{1A}) - (\bar{X}_{2B} - \bar{X}_{1B})$  debe ser significativa.

La diferencia de progresos entre ambos grupos en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>, viene dada en valor absoluto por

$$\Delta_{AB}^A = \Delta_A^A - \Delta_B^A = 16,27 - 5,37 = 10,90$$

siendo en porcentaje dicha diferencia  $\Delta_{AB}^A \% = 4,60\%$

Al ser A y B dos grupos diferentes y  $N_A \neq N_B$  se les considera no correlacionados.

Por tanto, para determinar estadísticamente el grado de significación de dicha ganancia, aplicamos la "t" de

Student, estableciendo:

Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias de progresos de los grupos A y B en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>.

La determinación de homogeneidad de varianzas mediante el estadígrafo F de Snedecor nos da

$$F = \frac{\sigma_{\Delta B}^2}{\sigma_{\Delta A}^2} = \frac{22,34^2}{20,31^2} = 1,21. \text{ Como en la tabla de la distribu}$$

ción F de Snedecor para  $N_B - 1 = 30$  y  $N_A - 1 = 41$  se tiene

$$\begin{cases} 1,74 & 5\% \\ 2,20 & 1\% \end{cases} \text{ al ser } 1,21 < \begin{cases} 1,7 \\ 2,20 \end{cases} \text{ se acepta la posibili}$$

dad de combinar las varianzas.

$$t_{\Delta B}^{\Delta A} = \frac{|\bar{x}_{\Delta A} - \bar{x}_{\Delta B}|}{\sqrt{v_{\Delta B} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B} \right)}} = \frac{16,27 - 5,37}{\sqrt{449,1 \cdot 0,0560}} = 2,17$$

para  $n = N_A + N_B - 2 = 71$  y  $p = 0,05$  es " $t$ " = 2,00

Al ser  $t_{\Delta B}^{\Delta A} (2,17) > t (2,00)$  se rechaza la hipótesis nula, afirmándose que la diferencia de progresos entre los grupos A y B en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> es significativa.

Examinando ahora los progresos antes estudiados de los grupos A y B, en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasados a principio y final del curso, se observa que:

- a) El grupo experimental A ha tenido entre el test AMPE<sub>1</sub> pasado al principio del curso y el AMPE<sub>2</sub> pasado al final del curso, una ganancia significativa de

16,27 puntos en valor absoluto y en porcentaje del 6,96%.

- b) El grupo de control B ha obtenido, entre el test AMPE<sub>1</sub> pasado al principio del curso, y el AMPE<sub>2</sub> pasado al final del curso una ganancia no significativa de 5,37 puntos y 2,36% en porcentaje.
- c) El grupo A ha obtenido respecto del B una ganancia significativa de 10.90 puntos en valor absoluto (4,60%) en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y final del curso, aún admitiendo que la ganancia del grupo B sea computada como significativa.

4.2.3- Determinación de progresos en los resultados obtenidos por los grupos A y B en los factores VERNF del test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y final del curso.

Se ha visto antes que en el grupo experimental A se produce un aumento significativo en las puntuaciones totales del test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y final del curso. Análogamente, se ha comprobado que en el caso del grupo B no se producía ganancia significativa.

- ¿Cuáles son pues las modificaciones producidas en ambos casos en los cinco factores V-E-R-N-F del test? ¿Son significativas dichas modificaciones?

Referente a estas dos cuestiones hemos obtenidos los siguientes valores:

Factor	AMPE <sub>1</sub> <sup>A</sup>	AMPE <sub>2</sub> <sup>A</sup>	$\Delta\%$ A	$\Delta S_A$		AMPE <sub>1</sub> <sup>B</sup>	AMPE <sub>2</sub> <sup>B</sup>	$\Delta\%$ B	$\Delta S_B$	
V	42.35	48.11	6.40	2.73	si	43.93	47.32	3.76	1.41	no
E	42.21	52.02	11.41	3.20	si	42.16	48.26	7.09	1.83	no
R	47.95	50.71	3.45	2.06	si	49.80	53.09	4.11	1.60	no
N	30.16	31.66	2.00	0.69	no	29.45	28.22	-1.64	-	no
F	54.85	50.71	-5.75	-	no	56.38	49.96	-8.91	-	no

Siendo  $\Delta\%$  = cambios en % .

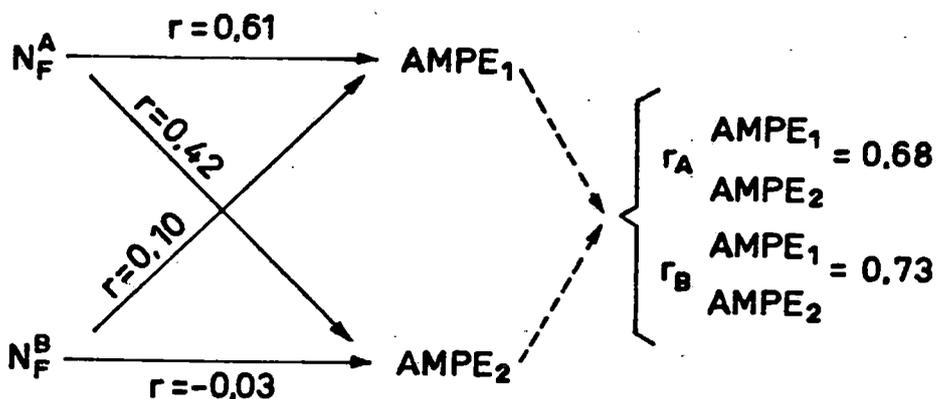
Se comprueba que en el grupo A tienen incrementos significativos  $\Delta S_A$  los factores V, E y R. No se constatan aumentos en los factores N y F. En el grupo B, en ninguno de los factores se encuentran incrementos  $\Delta S_B$  significativos. En ambos grupos, aunque más marcadamente en el B, parece producirse en los resultados del test una redistribución de los valores de los factores, a costa del factor "numérico" N y más concretamente del factor "fluidez verbal" F.

4.2.4- Correlación en el grupo experimental A y de control B entre los resultados en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principios y final de curso y el rendimiento académico (nota final  $N_F^A$  y  $N_F^B$ ) de ambos grupos en el Centro de Estudios Universitarios

En diversos trabajos (84) se informa de la discreta correlación encontrada ( $0,40 < r < 0,60$  con media de  $r = 0,50$ ) entre las aptitudes académicas y el nivel intelectual. Por otro lado, se han investigado también correlaciones bajas entre el nivel de inteligencia y ciertas aptitudes cognoscitivas, como son por ejemplo las capacidades de juicio y conocimiento crítico (67; p.34) abstracción y otras (85; p. 26-30). Además otros autores (86), (87) informan a su vez de la débil correlación entre el éxito en los estudios y factores intelectivos, tales como razonamiento y concepción espacial.

Nosotros hemos realizado un estudio de correlaciones entre las notas finales  $N_F^A$  y  $N_F^B$  de los grupos A y B y los resultados obtenidos por dichos grupos en el test factorial de inteligencia AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>, pasado a ambos a principio y final del curso.

El sistema de correlaciones, así como los valores calculados para los distintos coeficientes de correlación, se muestran en el siguiente esquema.



Para la determinación de coeficientes de correlación "r" hemos utilizado la expresión de Pearson-Bravais

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{\left[ \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N} \right] \left[ \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N} \right]}} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{N \sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

- Correlación en el grupo experimental A entre la nota final  $N_F^A$  y el resultado del test  $AMPE_2$  pasado al final de curso:

Utilizando la expresión de Pearson-Bravais y sustituyendo datos se tiene:

$$r_{N_F^A, AMPE_2}^{2A} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{N \cdot \sigma_{NF} \cdot \sigma_{2A}} = \frac{53589,7 - 52955,2}{1498,9} = 0,42$$

Que representa correlación significativa de valor moderado.

Siendo el grado de libertad  $n = N_A - 2 = 40$ , deducimos de la tabla de Fisher y Yates que la fiabilidad del

anterior coeficiente es del orden del 99%.

- Correlación en el grupo de control B entre la nota final  $N_F^B$  y el resultado del test  $AMPE_2$  pasado al final del curso:

Substituyendo datos en la expresión de Pearson-Bra<sub>v</sub>ais:

$$r_{N_F^B}^{2B} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{N \cdot \sigma_{NF} \cdot \sigma_{2B}} = \frac{37673,2 - 37700,7}{1055,7} = - 0,03$$

Por tanto la correlación es prácticamente nula.

- Correlación en el grupo experimental A entre la nota final  $N_F^A$  y el resultado en el test  $AMPE_1$  pasado al principio del curso:

$$r_{N_F^A}^{1A} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{N \cdot \sigma_{NF} \cdot \sigma_{1A}} = \frac{50105,0 - 49269,7}{1363,3} = 0,61$$

que indica una correlación marcada.

Al ser  $n = N - 2 = 40$  se tiene para este coeficiente una significación del orden del 99%.

- Correlación en el grupo de control B entre la nota final  $N_F^B$  y el test  $AMPE_1$  pasado al principio del curso:

$$r_{N_F^B}^{1B} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{N \cdot \sigma_{NF} \cdot \sigma_{1B}} = \frac{36904,5 - 36809,7}{926,8} = 0,10$$

que indica correlación prácticamente nula.

Del examen de las anteriores correlaciones, hemos interpretado:

a) En el grupo experimental A las correlaciones

$$r_{N_F^A}^{2A} = 0,42 \quad \text{y} \quad r_{N_F^A}^{1A} = 0,61 \quad \text{entre el test factorial de in}$$

teligencia  $AMPE_1$  y  $AMPE_2$ , pasado a principio y final de curso, y la nota final  $N_F^A$  del curso académico, obtenida por dicho grupo de alumnos en el C.E.U., concuerdan con los resultados publicados en la literatura científica referida a este tema.

b) En el grupo de control B se da correlación nula entre los resultados obtenidos en el test  $AMPE_1$  y  $AMPE_2$  y la nota final  $N_F^B$  del curso académico, obtenida por dichos alumnos en el C.E.U. Recordamos aquí a este respecto que la media de las notas finales del curso en el C.E.U. de ambos grupos de alumnos A y B es muy parecida:

$$\bar{X}_{NFA} = 5,39 \quad \text{y} \quad \bar{X}_{NFB} = 5,35, \quad \text{no siendo significativa la diferencia de medias.}$$

Por tanto, este resultado en el caso del grupo B no concuerda con lo contenido en la literatura científica antes citada.

c) Comparando en el grupo A la correlación  $r_{N_F^A}^{2A} = 0,42$  entre

el test  $AMPE_2$  pasado al final del curso y la nota final  $N_F^A$ , con la correlación  $r_{N_F^A}^{1A} = 0,61$  entre el test

$AMPE_1$  pasado al principio del curso y la citada nota final  $N_F^A$ , vemos que hay una disminución de correlación. La explicación que proponemos es esta:

Se sabe que en un sistema de enseñanza-aprendizaje el tipo de evaluación debe ser coherente con el modelo de enseñanza impartido. Es conocido el desajuste que se da cuando a alumnos que aprendieron con el método

PSSC se les evalúa de la misma forma que con un método clásico. Dicho desajuste puede venir de dos fuentes principales

- a - diferencia entre contenidos de los métodos
- b - falta de adaptación del alumno a contenidos que se le presentan de forma distinta (indirectamente a través de la evaluación no habitual)".

Se ha indicado también, como explicación a la modesta correlación entre el rendimiento académico y ciertos factores de la inteligencia, como por ejemplo la capacidad de razonamiento que, generalmente, los métodos usuales de enseñanza enfatizan directa o indirectamente el conocimiento y aspectos repetitivos o memorísticos (88; p.18) (67; p. 40-49) en detrimento de dichos factores.

En nuestro caso, creemos que cuando los alumnos del grupo A llegaron al final del curso académico, no solo habían ido incrementando sus aptitudes mentales primarias sino que también, paralelamente, se habría ido produciendo un cierto desajuste entre dichas aptitudes y el método clásico de enseñanza en el que tuvieron la citada evaluación final. Ambas cosas, probablemente, como una consecuencia de nuestro método de enseñanza de Física.

Más concretamente, creemos que en realidad es el método de enseñanza en que luego fueron examinados el que había ido desajustándose respecto de las capacidades intelectivas de los alumnos, ya que si bien, como hemos indicado, éstas se habían modificado positivamente, sin embargo, como seguidamente veremos, se mantuvo una correlación muy significativa entre el test AMPE<sub>1</sub> pasado al grupo A al principio del curso y el test AMPE<sub>2</sub> pasado al final del curso:

$$r_{\frac{AMPE_1}{AMPE_2}}^A = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N_A}}{N_A \cdot \sigma_{1A} \cdot \sigma_{2A}} = \frac{2156564,5 - 2135998,4}{30059,6} = 0,68$$

Calculando a su vez en el grupo B la correlación entre el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>, hemos obtenido

$$r_{\frac{AMPE_1}{AMPE_2}}^B = 0,73.$$

Comparando esta correlación con la anterior ( $r = 0,68$ ) y teniendo en cuenta los valores obtenidos para "z", se deduce que en aptitudes mentales primarias se han producido más cambios (positivos) en el grupo A que en B.

Mas adelante, se presentará un estudio de correlaciones entre los resultados del grupo A en el test AMPE y las puntuaciones obtenidas por dicho grupo con nuestro método de enseñanza de Física.

CAPITULO V

ELABORACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS  
EXPERIMENTALES. (II)

- 5.1- Elaboración, análisis e interpretación de los resultados obtenidos en las Unidades Integradas.
  - 5.1.1- Eficacia del método en las variables taxonómicas.
  - 5.1.2- Eficacia del método en las experiencias.
- 5.2- Correlaciones entre los resultados en el test AMPE y los obtenidos en las Unidades Integradas.
  - 5.2.1- Correlación entre los resultados obtenidos en las Unidades Integradas y los obtenidos en el test AMPE<sub>2</sub> referidas al conjunto de alumnos del grupo A que no disminuyeron sus resultados en dicho test
  - 5.2.2- Correlaciones entre los factores V.E.R.N.F. del test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y final del curso y los resultados totales obtenidos en las Unidades Integradas.

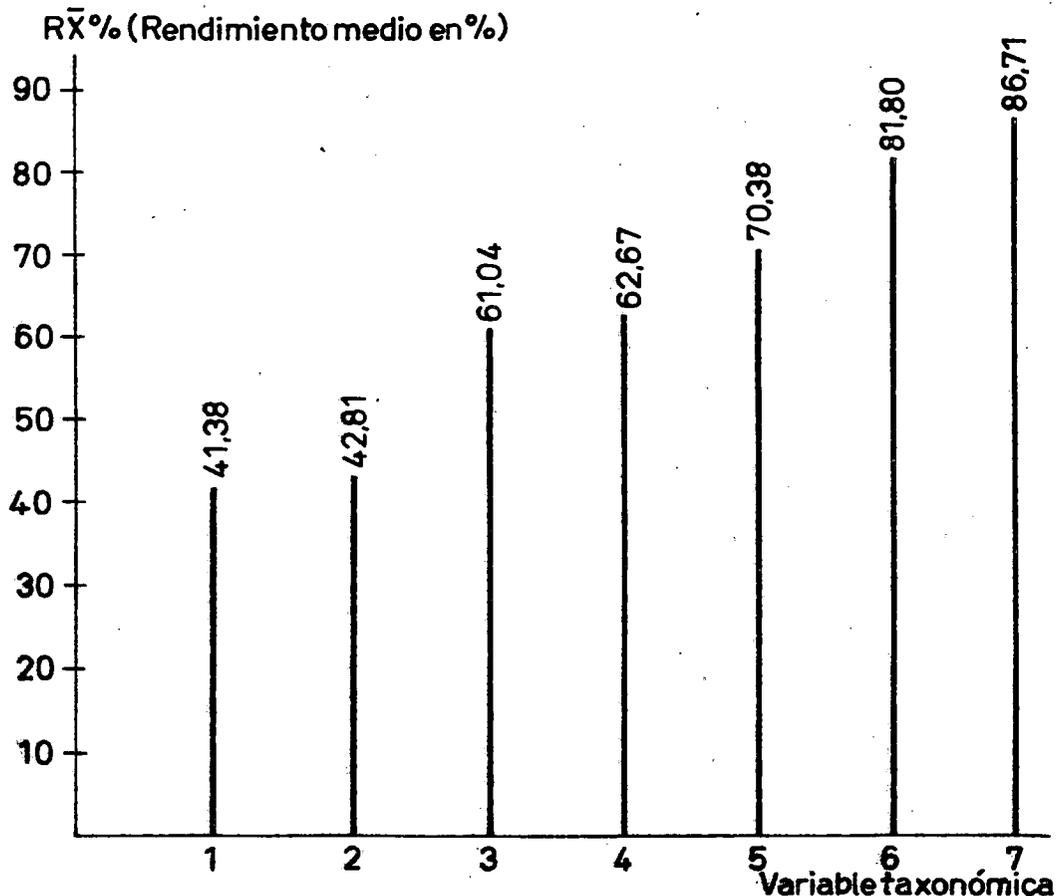
5.1- Elaboración, análisis e interpretación de los resultados obtenidos en las Unidades Integradas.

5.1.1- Eficacia del método en las variables taxonómicas.

Para conocer el resultado del método en cada una de las siete variables taxonómicas se ha partido de la tabla general de datos de las experiencias. (III.4; pág.138)

Previamente se determinaron los resultados totales obtenidos por cada alumno en cada variable. (Anexo 12)

A partir de lo anterior se obtuvo para cada variable el rendimiento medio en porcentaje  $R\bar{X}\%$  del grupo mediante los respectivos cocientes  $R\bar{X}\% = \frac{\bar{X} \cdot 100}{MPP}$  entre la media  $\bar{X}$  de los resultados del grupo en cada variable taxonómica y la máxima puntuación posible MPP en cada una de ellas. Los resultados se muestran en el siguiente gráfico V.1



Interpretamos que en cuanto a eficacia en las variables taxonómicas el método es menos efectivo en "1- Habilidad de manipulación" (41,38% de éxito) y "2- Conocimiento" (42,81%).

En el resto de las variables la eficacia es superior al 61%.

Concretamente: "3- Comprensión" 61,04%; "4- Extrapolación" 62,67%; "5- Análisis" 70,38%; "6- Síntesis" 81,80%; "7- Evaluación" 86,71%. Este orden creciente en porcentaje de eficacia podría explicarse en el sentido de que la experiencia acumulada a lo largo de cada secuencia de aprendizaje beneficia más a las variables taxonómicas que figuran en las cuestiones planteadas al final de cada secuencia, generalmente las variables 7; 6; 5 y 4. Sin embargo éste es un problema que puede ser objeto de un estudio específico más detenido.

### 5.1.2- Eficacia del método en las experiencias de Física.

Para determinar los resultados obtenidos por los alumnos del grupo experimental en las experiencias se utilizaron los datos de la tabla general. (III.4; pág. 138)

A partir de ellos se organizó el cuadro que se adjunta V.2

Las columnas numeradas de 1 a 12 contienen los resultados de los alumnos en una experiencia determinada, en valor absoluto (puntuación total  $P_t$ ) y en porcentaje

$P_t\% = \frac{P_t \cdot 100}{M_{pp}}$ , referido a la máxima puntuación posible  $M_{pp}$  en la experiencia.

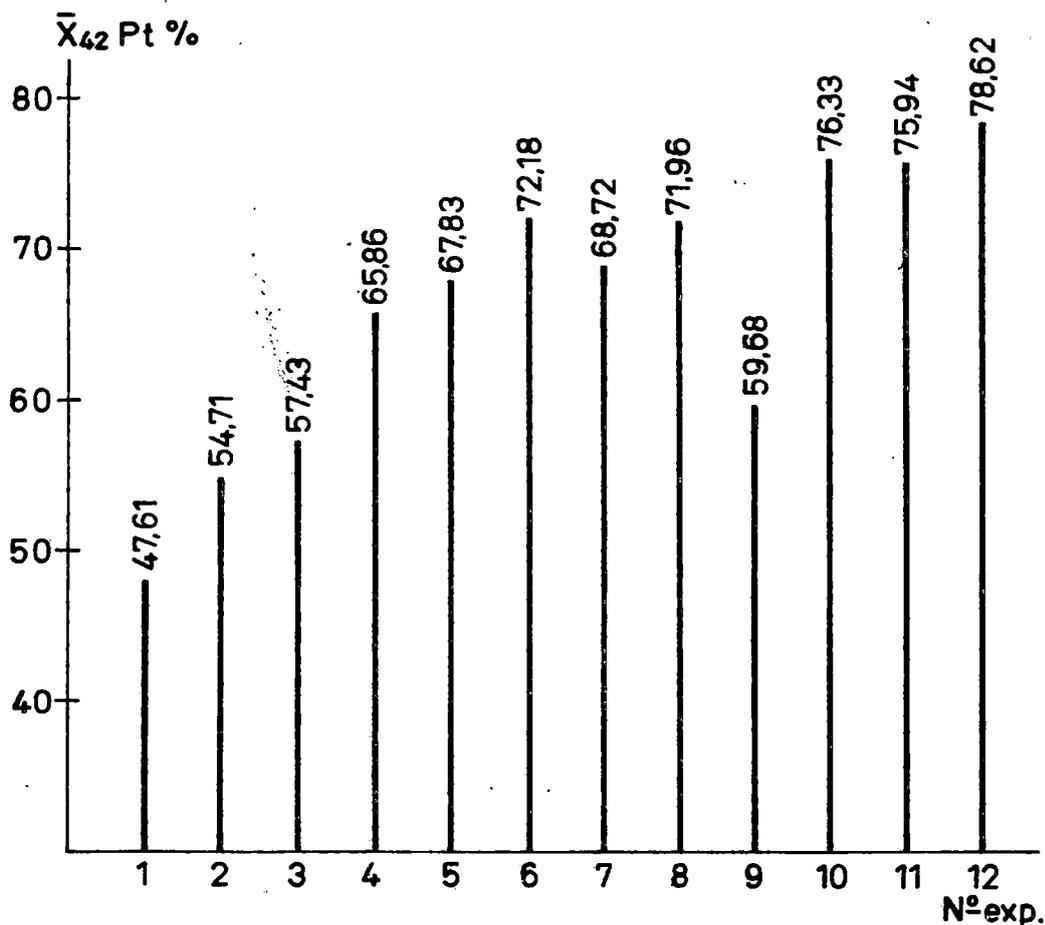
La columna 13 comprende el resultado medio en porcentaje  $\bar{X}_{12} P_t\%$  de cada alumno en el conjunto de las doce experiencias.

Eficacia del método en las experiencias

Ne	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		$\bar{X}_{12}$	Pt%
	Punt	Pt	Pt%	Pt	Pt%	Pt	Pt%	Pt	Pt%																	
1	19	39.58	29	60.41	20	51.28	38	70.37	45	71.42	53	76.81	33	73.33	50	75.75	9	60.00	26	78.78	40	83.33	36	85.71	68.90	
2	14	29.16	22	45.83	19	48.71	35	64.81	38	60.31	47	68.11	30	66.66	45	68.18	7	46.66	24	72.72	35	72.91	34	80.95	60.42	
3	16	33.33	18	37.50	17	43.58	27	50.00	28	44.44	32	46.37	21	46.66	35	53.03	8	53.33	23	69.69	33	68.75	31	73.80	51.71	
4	8	16.66	9	18.75	9	23.07	13	24.07	13	20.63	14	20.28	13	28.88	14	21.21	2	13.33	9	27.27	14	29.16	13	30.95	22.85	
5	27	56.25	30	62.50	28	71.79	40	74.07	49	77.77	56	81.15	33	73.33	55	83.33	10	66.66	28	84.84	38	79.16	37	88.09	74.91	
6	18	37.50	22	45.83	20	51.28	34	62.96	41	65.07	48	69.56	31	68.88	48	72.72	8	53.33	23	69.69	36	75.00	32	76.19	62.33	
7	23	47.91	28	58.33	22	56.41	38	70.37	47	74.60	55	79.71	34	75.55	54	81.81	11	73.33	26	78.78	42	87.50	36	85.71	72.50	
8	11	22.91	12	25.00	11	28.20	15	27.77	17	26.98	19	27.53	16	35.55	16	24.24	3	20.00	11	33.33	15	31.25	15	35.71	28.16	
9	31	64.58	32	66.66	29	74.35	43	79.62	53	84.12	60	86.95	36	80.00	58	87.87	11	73.33	30	90.90	40	83.33	39	92.85	80.38	
10	35	72.91	35	72.91	30	76.92	46	85.18	56	88.88	63	91.30	40	88.88	61	92.42	14	93.33	29	87.87	43	89.58	40	95.23	86.28	
11	41	85.41	42	87.50	34	87.17	49	90.74	58	92.06	65	94.20	42	93.33	63	95.45	15	100.00	31	93.93	47	97.91	41	97.62	92.94	
12	16	33.33	19	39.58	17	43.58	27	50.00	29	46.03	34	49.27	25	55.55	36	54.54	7	46.66	25	75.75	33	68.75	30	71.42	52.87	
13	35	72.91	38	79.16	29	74.35	45	83.33	56	88.88	63	91.30	40	88.88	61	92.42	13	86.66	30	90.90	43	89.58	40	95.23	86.13	
14	36	75.00	37	77.08	31	79.48	41	75.92	53	84.12	58	84.05	36	80.00	58	87.87	13	86.66	26	78.78	43	89.58	37	88.09	82.22	
15	21	43.75	27	56.25	23	58.97	38	70.37	44	69.84	51	73.91	33	73.33	49	74.24	9	60.00	25	75.75	37	77.08	34	80.95	67.87	
16	32	66.66	34	70.83	28	71.79	47	87.00	56	88.88	63	91.30	39	86.66	60	90.90	11	73.33	32	96.96	41	85.41	39	92.85	83.24	
17	11	22.91	13	27.08	13	33.33	26	48.14	30	47.61	35	50.72	19	42.22	29	43.93	7	46.66	19	57.57	24	50.00	21	50.00	43.34	
18	21	43.75	27	56.25	22	56.41	37	68.51	44	69.84	52	75.36	32	71.11	54	81.81	10	66.66	25	75.75	41	85.41	36	85.71	69.71	
19	37	77.08	39	81.25	30	76.92	46	85.18	56	88.88	64	92.75	39	86.66	61	92.42	14	93.33	30	90.90	44	91.66	40	95.23	87.69	
20	30	62.50	31	64.58	29	74.35	44	81.48	51	80.95	61	88.40	35	77.77	59	89.39	12	80.00	29	87.87	40	83.33	39	92.85	80.29	
21	12	25.00	13	27.08	14	35.89	27	50.00	31	49.20	36	52.17	19	42.22	30	45.45	6	40.00	19	57.57	23	47.91	21	50.00	43.54	
22	17	35.41	23	47.91	19	48.71	33	61.11	40	63.49	50	72.46	30	66.66	46	69.69	8	53.33	24	72.72	37	77.08	33	78.57	62.26	
23	19	39.58	28	58.33	22	56.41	38	70.37	45	71.42	52	75.36	33	73.33	50	75.75	9	60.00	25	75.75	39	81.25	35	83.33	68.41	
24	15	31.25	20	41.66	18	46.15	32	59.25	39	61.90	47	68.11	28	62.22	40	60.60	7	46.66	28	84.84	33	68.75	32	76.19	58.96	
25	20	41.66	29	60.41	20	51.28	37	68.51	43	68.25	53	76.81	34	75.55	52	78.78	10	66.66	26	78.78	40	83.33	36	85.71	69.64	
26	34	70.83	24	70.83	30	76.92	45	83.33	56	88.88	63	91.30	39	86.66	61	92.42	12	80.00	32	96.96	43	89.58	41	97.62	85.44	
27	15	31.25	17	35.41	16	41.02	22	40.74	28	44.44	33	47.82	27	60.00	30	45.45	7	46.66	23	69.69	31	64.58	29	69.04	49.67	
28	15	31.25	23	47.91	20	51.28	35	64.81	41	65.07	49	71.01	31	68.88	43	65.15	7	46.66	26	78.78	35	72.91	34	80.95	62.05	
29	26	54.16	28	58.33	25	64.10	40	74.07	49	77.77	57	82.60	32	71.11	55	83.33	9	60.00	29	87.87	39	81.25	36	85.71	73.35	
30	38	79.16	38	79.16	32	82.05	46	85.18	55	87.30	63	91.30	40	88.88	60	90.90	14	93.33	29	87.87	45	93.75	40	95.23	87.84	
31	15	31.25	19	39.58	17	43.58	28	51.85	30	47.61	38	55.07	26	57.77	35	53.03	6	40.00	24	72.72	32	66.66	31	73.80	52.74	
32	21	43.75	25	52.08	24	61.53	37	68.51	45	71.42	60	86.95	33	73.33	54	81.81	9	60.00	32	96.96	42	87.50	36	85.71	72.46	
33	23	47.91	27	56.25	22	56.41	37	68.51	46	73.01	54	78.26	32	71.11	54	81.81	10	66.66	25	75.75	41	85.41	36	85.71	70.57	
34	20	41.66	29	60.41	24	61.53	38	70.37	43	68.25	52	75.36	31	68.88	49	74.24	7	46.66	24	72.72	38	79.16	34	80.95	66.68	
35	25	52.08	26	54.16	21	53.84	37	68.51	44	69.84	51	73.91	33	73.33	52	78.78	8	53.33	26	78.78	39	81.25	33	78.57	68.03	
36	24	50.00	28	58.33	25	64.10	39	72.22	46	73.01	59	85.50	31	68.88	55	83.33	9	60.00	31	93.93	40	83.33	35	83.33	73.00	
37	23	47.91	24	50.00	23	58.97	37	68.51	46	73.01	59	85.50	30	66.66	54	81.81	8	53.33	32	96.96	45	93.75	37	88.09	72.04	
38	11	22.91	13	27.08	14	35.89	18	33.33	25	39.68	28	40.57	20	44.44	28	42.42	6	40.00	17	51.51	20	41.66	18	42.85	38.53	
39	13	27.08	14	29.16	16	41.02	19	35.18	26	41.26	23	33.33	22	48.88	17	25.75	4	26.66	13	39.39	21	43.75	15	35.71	35.60	
40	33	68.75	35	72.91	28	71.79	42	77.77	52	82.53	59	85.50	37	82.22	58	87.87	10	66.66	26	78.78	42	87.50	36	85.71	79.00	
41	29	60.41	32	66.66	24	61.53	40	74.07	49	77.77	55	79.71	32	71.11	52	78.78	9	60.60	22	66.66	38	79.16	35	83.33	71.60	
42	30	62.50	34	70.83	26	66.66	40	74.07	52	82.53	58	84.05	32	71.11	54	81.81	7	46.66	24	72.72	39	81.25	34	80.95	72.93	
$\bar{X}_{12}$		47.61		54.71		57.43		65.86		67.83		72.18		68.72		71.96		59.68		76.33		75.94		78.62		
Mpp	48		48		39		54		63		69		45		66		15		33		48		42			

Las filas numeradas de 1 a 42 contienen, como ya se indicó en las columnas de 1 a 12, los resultados, en valor absoluto y en porcentaje, de cada alumno en cada una de las doce experiencias.

Las dos últimas filas incluyen respectivamente: los resultados medios en porcentaje del grupo de 42 alumnos en cada experiencia  $\bar{X}_{42} \text{Pt}\%$ , según se muestra en el gráfico siguiente V.3



y los valores de la máxima puntuación posible  $M_{pp}$  en cada experiencia.

Examinando el gráfico se observa que solo en la experiencia 1 el grupo obtuvo un resultado medio del 47,61%, inferior al 50%.

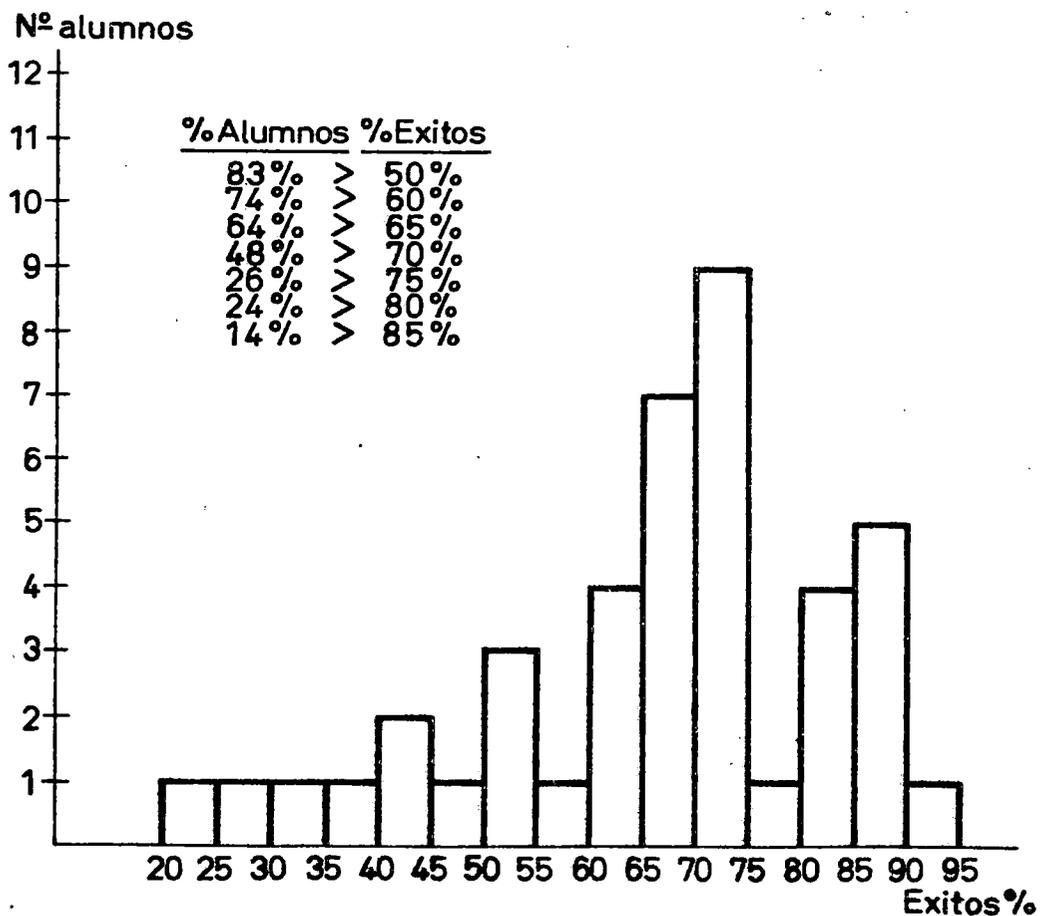
De la experiencia 1 a la 6 los progresos del grupo son más acentuados, obteniéndose una desviación típica del valor medio de dichas seis experiencias  $\sigma_{1-6} = 8,43$ .

A partir de la experiencia 6 hasta la 12 los progresos continúan, aunque más discretamente, calculándose una desviación típica  $\sigma_{7-12} = 6,33$ .

Los resultados correspondientes a la experiencia 9 (59,68%) indican, posiblemente, que las cuestiones incluidas en la secuencia de aprendizaje estaban algo desajustadas.

Examinando la columna 13 se comprueba que del total de 42 alumnos solo 7 están por debajo del 50% de éxito. Por tanto 35 alumnos (aprox. 83%) han realizado con éxito el 50% de las pruebas.

Con los datos de la columna 13 se obtiene la siguiente distribución: V.4



5.2- Correlaciones en el grupo A entre las puntuaciones totales Pt obtenida en las Unidades Integradas y los resultados obtenidos en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado al principio y final del curso.

Antes se ha comprobado para el grupo experimental A las correlaciones existentes entre la nota final del curso académico en el C.E.U. y los resultados obtenidos en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>, pasado a principio y final de dicho curso, explicándose, a nuestro criterio, la causa de la disminución de correlación entre los resultados académicos y el test de aptitudes mentales AMPE<sub>2</sub> pasado al final de dicho curso.

Ahora se trata de saber qué tipo de correlación se da entre dicho test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> y las puntuaciones totales Pt obtenidas en el método de Unidades Integradas.

- Correlación entre Pt y el test AMPE<sub>1</sub>

$$r_{A_1}^{Pt} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{N \cdot \sigma_{Pt} \cdot \sigma_{A_1}} = \frac{351953\frac{1}{2} - 3483209}{101619} = 0,36$$

Correlación no muy pronunciada, aunque significativa mejor del 95%.

- Correlación entre Pt y el test AMPE<sub>2</sub>:

$$r_{A_2}^{Pt} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{N \cdot \sigma_{Pt} \cdot \sigma_{A_2}} = \frac{3822791 - 3743801}{111280} = 0,71$$

Que representa una correlación muy pronunciada, siendo significativa mejor del 91%.

De la comparación de ambos resultados se deduce una mejor correlación entre el test AMPE<sub>2</sub> pasado al final de nuestra investigación y los resultados obtenidos en las Unidades Integradas por los alumnos del grupo A, que entre dichos resultados y el test AMPE<sub>1</sub> pasado al principio del curso.

Comparando a su vez estos resultados con los obtenidos en las correlaciones ya estudiadas referentes a las calificaciones académicas de dicho grupo en el CEU, se deduce lo siguiente:

- a) Entre el principio y el final del curso académico en el CEU hay una disminución de correlación, por tanto un desajuste, entre los resultados de los alumnos del grupo A en el test factorial de inteligencia y las calificaciones finales asignadas en dicho centro a los alumnos.
- b) Entre el principio y el final del experimento con las Unidades Integradas hay un aumento notable de correlación, por tanto una mayor concordancia, entre los resultados de los alumnos en el test factorial de inteligencia y las puntuaciones globales obtenidas por ellos en las Unidades Integradas.

5.2.1- Correlación entre las puntuaciones totales Pt en las Unidades Integradas y los resultados obtenidos en el test AMPE<sub>2</sub> pasado al final del curso, referidas al conjunto de alumnos del grupo A que han visto incrementado sus resultados en el test factorial ( $\Delta A > 0$ ). Distribución de dicha correlación.

Habiéndose comprobado anteriormente una marcada correlación  $r_{A_2}^{Pt} = 0,71$  entre las puntuaciones totales del grupo A en las Unidades Integradas y los resultados en el test AMPE<sub>2</sub> pasado al final del curso, parece intere-

sante averiguar cómo se distribuye dicha correlación cuando son considerados solamente los alumnos que han aumentado sus resultados en el test AMPE.

- Suprimiendo los sujetos para los que  $\Delta A \leq 0$  resulta un grupo de 36 sujetos ( $N'_A = 36$ ).

- Para conocer la citada distribución de correlaciones, ordenamos el grupo según rangos decrecientes respecto de las puntuaciones obtenidas en las Unidades Integradas. Dicha ordenación la consideramos a su vez subdividida en cuatro grupos ( $N' = 9$ ) consecutivos en jerarquía de rangos. Calculando los cuatro coeficientes de correlación se obtuvo:

$$r_{1A'_2}^{Pt'} = \frac{\sum X - \frac{\sum X \sum Y}{N'}}{N' \cdot \sigma_{1Pt} \cdot \sigma_{1A'_2}} = \frac{1019478 - 1009552}{11639} = 0,85$$

$$r_{2A'_2}^{Pt'} = \frac{\sum X - \frac{\sum X \sum Y}{N'}}{N' \cdot \sigma_{2Pt} \cdot \sigma_{2A'_2}} = \frac{871131 - 860725}{11809} = 0,88$$

$$r_{3A'_2}^{Pt'} = \frac{\sum X - \frac{\sum X \sum Y}{N'}}{N' \cdot \sigma_{3Pt} \cdot \sigma_{3A'_2}} = \frac{857505 - 846961}{12954} = 0,81$$

$$r_{4A'_2}^{Pt'} = \frac{\sum X - \frac{\sum X \sum Y}{N'}}{N' \cdot \sigma_{4Pt} \cdot \sigma_{4A'_2}} = \frac{673858 - 649047}{30753} = 0,81$$

Valores que muestran una marcada correlación y asimismo al ser parecidos los anteriores coeficientes de correlación, ello parece indicar una distribución proporcional de las posibilidades del método, en el sentido de no ser selectivo en beneficio de los alumnos mejor o peor dotados intelectualmente. Cada sujeto se beneficia en función de sus aptitudes intelectivas.

5.2.2- Correlaciones en el grupo A entre las puntuaciones totales Pt obtenidas en las Unidades Integradas y los valores de los factores VERNF del test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y final de curso.

Antes se ha visto la correlación existente entre las puntuaciones totales Pt en las Unidades Integradas y los resultados globales obtenidos en el test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principios y final del curso, siendo éstas respectivamente  $r = 0,36$  y  $r = 0,71$ .

Cabe ahora preguntarse ¿Qué correlaciones se dan entre las citadas puntuaciones Pt de las Unidades Integradas y los cinco factores V-E-R-N-F del test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> pasado a principio y final del curso?. ¿Hay incremento significativo entre las correlaciones?.

Los valores calculados se muestran en el cuadro siguiente:

<u>Factor</u>	<u>Correl. <math>r_{A_1}^{Pt}</math></u>	<u>signif.</u>	<u>Correl. <math>r_{A_2}^{Pt}</math></u>	<u>signif.</u>
V	0.32	si	0.50	si
E	0.09	no	0.27	si (90%)
R	0.11	no	0.24	no
N	0.33	si	0.45	si
F	0.15	no	0.40	si

Parece haber pues un incremento general de correlación entre las puntuaciones Pt y los factores VERNF del AMPE<sub>2</sub> respecto del AMPE<sub>1</sub>.

Sin embargo es necesario determinar si dichos incrementos son significativos.

Para ello se procede a contrastar diferencias de coeficientes de correlación en el caso de datos correlacionados, puesto que las mediciones proceden de la misma muestra. En efecto suponemos que la variable Pt correlaciona con las variables VERNF del AMPE<sub>1</sub> y también con las VERNF del AMPE<sub>2</sub> y asimismo estas VERNF del AMPE<sub>1</sub> correlacionan con las respectivas del AMPE<sub>2</sub>, según los siguientes coeficientes:

FACTOR V	$r_{V_2}^{V_1}$	= 0,70
FACTOR E	$r_{E_2}^{E_1}$	= 0,82
FACTOR R	$r_{R_2}^{R_1}$	= 0,46
FACTOR N	$r_{N_2}^{N_1}$	= 0,87
FACTOR F	$r_{F_2}^{F_1}$	= 0,43

Para realizar el citado contraste de coeficientes de correlación correlacionados, hemos aplicado la prueba de la "t" de Student para este caso, utilizando la expresión:

$$t = \frac{(r_{12} - r_{13})\sqrt{(N - 3)(1 + r_{23})}}{\sqrt{2(1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 - 2r_{12}r_{13}r_{23})}}$$

interpretando el valor de "t" mediante la tabla de distribución de Student para grados de libertad  $n = N - 3 = 39$

Los resultados obtenidos son:

- Para factor V: diferencia entre  $r_{12}=0,32$  y  $r_{13}=0,50$ , siendo  $r_{23} = 0,70$

$$t = \frac{0,50 - 0,32 \sqrt{39(1 + 0,70)}}{\sqrt{2(1-0,25-0,102-0,496+0,225)}} = 1,684$$

Al ser en tablas "t" = 1,684 para  $p = 90\%$ , se tiene  $t = "t"$

Por tanto se acepta la diferencia significativa entre los coeficientes de correlación del factor V.

- Para factor E: diferencia entre  $r_{12}=0,09$  y  $r_{13}=0,27$ ;  $r_{23}=0,82$

$$t = \frac{0,27 - 0,09 \sqrt{39(1 + 0,82)}}{\sqrt{2(1-0,073-0,0081-0,671+0,040)}} = 2,00$$

Al ser en tablas "t" = 2,021 para  $p = 95\%$ , se tiene  $t = "t"$

Se acepta por tanto la diferencia significativa entre los anteriores coeficientes.

- Para factor R: diferencia entre  $r_{12}=0,11$  y  $r_{13}=0,24$ ;  $r_{23}=0,46$

$$t = \frac{0,24 - 0,11 \sqrt{39(1 + 0,46)}}{\sqrt{2(1-0,05-0,012-0,211+0,024)}} = 0,80$$

Por tanto no se acepta diferencia significativa entre los coeficientes.

- Para factor N: diferencia entre  $r_{12}=0,33$  y  $r_{13}=0,45$ ;  $r_{23}=0,87$

$$t = \frac{0,45 - 0,33 \sqrt{39(1 + 0,87)}}{\sqrt{2(1-0,202-0,109-0,765+0,260)}} = 1,690$$

al ser  $t = 1,684$  para  $p = 90\%$ , se tiene  $t > t_{\alpha}$

Se acepta pues la diferencia significativa entre coeficientes.

- Para factor F: diferencia entre  $r_{12}=0,15$  y  $r_{13}=0,40; r_{23}=0,43$

$$t = \frac{0,40 - 0,15 \sqrt{39(1 + 0,43)}}{\sqrt{2(1-0,160-0,022-0,185+0,051)}} = 2,17$$

al ser  $t = 2,021$  para  $p = 95\%$ , se tiene  $t \approx t_{\alpha}$  y por tanto se acepta la diferencia significativa entre coeficientes.

De todo lo anterior se deduce:

- a) Hay un aumento general significativo de correlación entre los resultados de las puntuaciones totales Pt en las Unidades Integradas y los diferentes factores V-E-R-N-F del AMPE<sub>2</sub> respecto del AMPE<sub>1</sub>, excepto en el caso del factor "Razonamiento". Ello parece indicar una adaptación entre este método de Física y las Aptitudes Mentales Primarias, a excepción del citado factor R.
- b) La correlación no significativa del factor R (en AMPE<sub>2</sub> y Pt es  $r = 0,24$ ) y asimismo su incremento no significativo entra en la problemática que cita parte de la literatura científica (85; p. 27-33) (88; p. 18) referente a la decepcionante, y no bien explicada, baja correlación entre dicho factor y determinadas variables intelectivas de orden superior o incluso con los resultados académicos.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y PRINCIPALES APORTACIONES.

6.1- Conclusiones.

6.2- Principales aportaciones del trabajo.

### 6.1- Conclusiones.

- 1- Se ha verificado que el método de enseñanza de Física mediante Unidades Integradas es significativamente positivo, en lo que se refiere al grupo experimental de alumnos utilizado.
- 2- En lo referente a la eficacia del método en el desarrollo de aptitudes mentales primarias, hemos constatado estadísticamente que se han producido cambios positivos significativos en las puntuaciones del grupo experimental A en el test factorial de inteligencia AMPE, y que en el grupo de control B no se muestran cambios significativos.
- 3- En los cinco factores que integran el test AMPE se comprueba para el grupo experimental A incrementos significativos en tres de ellos, concretamente en factor "verbal", "espacial" y "razonamiento". No aparecen cambios significativos en factor "numérico" y "fluidez verbal".

En el grupo de control B no hemos constatado aumentos significativos en ninguno de los factores del test.
- 4- El estudio de correlaciones entre los resultados del grupo experimental A en el test AMPE<sub>1</sub>, pasado al principio del curso, y el rendimiento académico (notas finales de curso) dió para dicho grupo  $r = 0,61$  lo que muestra una correlación bastante marcada. Para el test AMPE<sub>2</sub>, pasado al final del curso, se obtuvo una correlación  $r = 0,42$ . Hemos interpretado dicha disminución de correlación, como un desajuste entre las aptitudes mentales primarias y el método clásico en que los alumnos fueron evaluados. Los mismos cálculos para el grupo B han mos-

trado entre las calificaciones académicas y el test, al principio y final del curso, correlaciones respectivas  $r = 0,1$  y  $r = -0,03$ , que muestra la primera un valor no significativo y la segunda prácticamente nulo.

- 5- Comparando los valores obtenidos por el grupo experimental A y el de control B, en las dos pruebas AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub> del test  $r_A = 0,68$  y  $r_B = 0,73$ , y teniendo en cuenta los valores encontrados para "z", deducimos que en el primer grupo se han producido más cambios positivos en las aptitudes mentales primarias.
- 6- En cuanto a la eficacia del método en pensamiento científico en Física, encontramos que en el desarrollo de capacidades intelectivas, juzgadas a través de las diferentes conductas taxonómicas, los resultados son positivos en las capacidades de "Comprensión" 61,04%; "Extrapolación" 62,67%; "Análisis" 70,38%; "Síntesis" 81,80%; "Evaluación" 86,71% y menos positivos en "Habilidad de manipulación" 41,38% y "Conocimiento" 42,81%. Por tanto, puede concluirse que el método contribuye más positivamente al desarrollo de las anteriores cinco conductas intelectivas.
- 7- Respecto del aprendizaje en Física en sí, hemos encontrado que excepto en la primera secuencia de aprendizaje (47,61% de éxito), en las once siguientes los resultados son satisfactorios en orden creciente, en general, durante el desarrollo y aplicación del método.
- 8- Hemos encontrado también una correlación significativa y creciente,  $r = 0,36$  y  $r = 0,71$ , entre las puntuaciones totales obtenidas por el grupo experimental en las Unidades Integradas y el test factorial de inteligencia AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>, pasado al principio y al final del curso.

9- Finalmente, del estudio de correlaciones entre las puntuaciones totales en el método de Unidades Integradas y los valores de los factores V.E.R.N.F. del test AMPE<sub>1</sub> y AMPE<sub>2</sub>, pasado a principio y final del curso, se deduce un aumento significativo de dichas correlaciones (excepto en el factor R), lo que parece indicar una adaptación entre el método y las aptitudes mentales primarias.

#### 6.2- Principales aportaciones del trabajo.

- 1- Se aporta un estudio sobre la metodología de la enseñanza de la Física y el uso de multimedios en dicha enseñanza. Asimismo, se clasifican y organizan de forma coherente y prospectiva los parámetros en que se inscribe esta problemática.
- 2- Se ha desarrollado material didáctico con características originales bien sea, por su concepción en sí, o por el planteamiento y desarrollo de las experiencias en que se integran.
- 3- Inscribe al método de enseñanza de Física mediante U.I., en el modelo de desarrollo intelectual propuesto por Piaget basado en el sistema dinámico "estímulo-acomodación-respuesta".
- 4- Aporta bases para suponer que la inclusión de cuestiones y experiencias secuenciadas y de la correspondiente evaluación in situ como parte del método, acorde con la teoría de la inteligencia operativa de Piaget, es fundamental para la formación científica a través de las transformaciones producidas en los mecanismos intelectivos del alumno, como consecuencia de modificaciones de las estructuras cognoscitivas.
- 5- Aporta la idea de una nueva técnica exploratoria y de evaluación en el campo de la investigación del efecto producido por un determinado método de enseñanza de Fi-

sica en el pensamiento científico a través del control de variables intelectivas no reversibles que puedan ser modificadas por el método.

- 6- Muestra la conveniencia de investigaciones utilizando técnicas similares a las aquí empleadas, conducentes a determinar la eficacia del método respecto de variables taxonómicas no estudiadas en este trabajo; concretamente las variables denominadas afectivas, como la motivación y el espíritu crítico, muy importantes en el campo científico.
- 7- Esta investigación confirma la problemática del factor R "Razonamiento" en lo referente a su poca correlación con otras variables intelectivas o conductas taxonómicas y asimismo con los resultados académicos.
- 8- Presenta el contenido a aprender bajo el aspecto de pequeñas investigaciones a realizar por el alumno, ya que éste maneja aparatos, realiza experiencias, lee documentos y va sacando sus propias conclusiones. Es por tanto, un método eminentemente activo, lo que conlleva, en lo que al alumno se refiere, la supresión de su habitual función de espectador y receptor pasivo de la información.
- 9- Otra aportación es la nueva función que en el método se asigna al profesor. Desaparece aquí el papel clásico de conferenciante y distribuidor de la información, adquiriendo a cambio el rol de consejero y administrador del sistema.
- 10- Aporta bases teóricas y prácticas para el desarrollo y aplicación de nuevas Unidades Integradas más complejas.

REFERENCIAS.

1. Cronbach L.J. and Suppes P.- "Research for Tomorrow's Schools". Mac Millan, N.Y. 1969.
2. Kimball M.E.- "Understanding the nature of Science: A comparison of scientists and science teachers". Journal of Research in Science Teaching 5 (2) pág. 110-120, 1967-1968.
3. Bridgman P.W.- "The Logic of Modern Physics". Mac Millan N.Y. 1961.
4. López Piñero J.M.- "El análisis estadístico y sociométrico de la literatura científica". Centro de documentación e Información Médica, Valencia 1972.
5. Price D.J.S.- "Little Science, big Science". Columbia University Press, New York 1963.  
En español: "Hacia una Ciencia de la Ciencia". Edit. Ariel, Barcelona 1973.
6. Cronbach Lee J.- "Educational Psychology" Harcourt, Brace and World Inc. N.Y. 1963.
7. Cronbach Lee J.- "Bases Psicológicas para la Experimentación Curricular" pág. 8-11. Documento presentado por el autor a la Conferencia Nacional sobre Experimentación Curricular, Minnesota 1961.  
Traducido para distribución limitada por el Instituto de Instrumentación Didáctica del C.S.I.C.
8. Piaget J. et Inhelder B.- "De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent", coll. BPC. Presses Universitaires de France, 1955.
9. Collea F.P. and Karplus R.- "Workshop on Physics Teaching and the Development of Reasoning" (American Association of Physics Teachers: Stony Brook. N.Y., 1975.
10. Kubli F.- "Piaget's Cognitive Psychology and its Consequences for the Teaching of Science". European Journal of Science Education. Vol.1 (1) pág. 5-20, 1979.
11. Schwab J.J. and Brandwein P.F.- "The Teaching of Science", Harvard University Press, Cambridge, Mass pág. 1-103, 1962.
12. Brandwein P.F., Watson F.G., Blackwood P.E.- "Teaching High School Science: A Book of Methods", Harcourt Brace, New York, 1958.

13. Pérez de Landazábal M.C.- "Análisis General de Libros de Texto en Física y Química de BUP". Simposio de Didáctica de la Física y la Química. pág. 9-10. Instituto Nacional de Ciencias de la Educación, Madrid 1978.
14. Marshall J.S., Burkman E.- "Current Trends in Science Education". Center for Applied Research in Education. New York, 1966.
15. Silver K.H.- "The Educational". Reviews Series, I-131 Ed. Tech. Publications. USA 1973.
16. Chadwick C.B.- "Revista de Tecnología Educativa" O.E.A. Santiago Chile, pág. 2-4, 1976.
17. Gómez Herrera F.- "Evolución de la Tecnología Educativa y el Modelo Tecnológico". Simposio sobre Didáctica de la Física y la Química. INCIE, Madrid, pág.13-17, 1978.
18. Tyler R.W.- "Analysis of strengths and weaknesses in current research in science education". Journal of Research in Science Teaching, (5) pág. 52-63, 1967.
19. Bruner J.S.- "El Proceso de la Educación", pág. 29-30, Edit. UTEHA, Mexico 1963.
20. Gillet B.- "Rappor de la mission effectuée au Centre L. Torres Quevedo". Service de Recherches de l'INOP Paris, 1977.
21. Piaget J.- "Logique et connaissance scientifique", Edit. Gallimard, Paris, 1967.
22. Atkin J.M.- "Journal of Research in Science Teaching", (5) pág. 335, 1967-68.
23. Bridgham R.G.- "Journal of Research in Science Teaching" (11), pág. 169, 1974.
24. Allen W.H.- "Research on new educational media: Summary and problems". Communication Review, 7, pág. 83-96, 1959.
25. Allen W.H.- "Research on film use: Student participation" Communication Review, 5, pág. 423-450, 1957.
26. Allen W.H.- "Audiovisual communication research". En C.W. Harris (ed. Encyclopedia of Educational Research 3ª ed.)McMillan. New York. pág. 115-137, 1960.

27. Travers R.M.V.-"Research and theory related to audiovisual information transmission".University of Utah, 1964.
28. Briggs L.J., Campeau P.L., Gagné R.M. and May M.A.-"Instructional Media". A procedure for the design of multi-media instruction, a critical review of research, and suggestions for future research. American Institute for Research 1967. Traducción en español: edit. Guadalupe. Buenos Aires 1973.
29. Gagné R.M.- "The conditions of learning". Edit. Holt, Rinehart and Winston Inc. New York, 1965.
30. Goodlad J.I.- "Scholl Curricular Reform in the United States". Fund for the Advancement in Education, pág. 54, New York, 1964.
31. Lockard J.D.- "Report of the International Clearinghouse on Science and Mathematics Curriculum Developments". American Association for the Advancement of Science, Washington D.C. 1967.
32. Marshall J.S. and Burkman E.- "Current Trends in Science Education". Centre for Applied Research in Education, New York, 1966.
33. Vargas Vergara M.- "The elements of the curriculum in conventional and News Physics course". Centre for Science Education, Chelsea College, Univ. Londres 1976.
34. Vargas Vergara M.- "La programación en los proyectos de enseñanza de la Física". Revista de Electrónica y Física Aplicada del CSIC, Vol.19, nº1, Madrid, 1976.
35. Simposio sobre "Aplicaciones de la Tecnología Educativa en la Enseñanza de la Ciencia". UNESCO-París, 1973.
36. Campbell V.N.- "Studies of bypassing as a way of adapting self-instruction programs to individual differences". American Institute for Research, San Mateo, California, 1962.
37. Pérez Fernández P.- "La methode d'enseignement par postes de travail". Departement des Sciences. Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Polytechnique (Oran, Algérie) Mai 1972.

39. Booth N.- "The impact of science teaching projects on secondary education". Education in Science. 63, June, pág. 27-30, 1975.
40. Nicodemus R.B.- "Discrepacies in measuring adoption of new curriculum projects". Education in Science. 65, November, pág. 26-28, 1975.
41. Lewis J.- "Teaching School Physics". UNESCO and Penguin Books, pág. 99-100, París-London, 1972.
42. "Physical Science Study Committee. A Planning Conference Report". Physics Today, Vol. 10, nº 3, pág. 28-29, Marzo, 1957.
43. Elbert P. Little.- "From these Beginning"; Francis L. Friedman.- "A Blue print"; Zacharias J.R.- "Into the Laboratory"; Finlay G.C.- "What are the question?", The Science Teacher, 24, pág. 316-327, Noviembre, 1957.
44. "A Symposium. The Physical Science Study Committee". Harvard Educational Review, 29, pág. 1-36, 1959.
45. Ferris F.L.- "Testing for Physics Achievement". The American Journal of Physics, 28, pág. 269-278, 1960.
46. Finlay G.C.- "The Physical Science Studies Committee". The School Review, 70, pág. 63-81, 1962.
47. "Educational Services Incorporated". Quaterly Repport, 1964.
48. PSSC "Suplemento de temas avanzados". Edit. Reverté, 1973.
49. Duncan T.- "Exploring Physics". Edit. John Murray London, 1970.
50. UNESCO - IBECC "Proyecto piloto para la enseñanza de la Física. Física de la luz". Edit. Empresa Nacional de Optica ENOSA, Madrid, 1967.
51. Cronbach L.J.- "Sicologia Educativa". Edit. Pax-Mexico, pág. 365, Mexico 1 DF, 1965.
52. Wechsler D.- "La Mesure de l'Intelligence de l'Adulte". P.U.F. Vol. 2, París, 1973.
53. Spearman C.- "General Intelligence objectively Determined and measured". A.J.P., 15, pág. 93-201, 1904.

54. Thomson G.H.- "The Factorial Analysis of Human Ability". University of London Press. Ltd., 1948.
55. Alexander W.P.- "Intelligence, Concrete and Abstracts". Brit. Journ. Psychol, 1935.
56. Wechsler D.- "The non intellectual factors in general intelligence", Abnorm. and Soc. Psychol (38),pág.100-104, 1943.
57. Thurstone L.L.- "The Isolation of Seven Primary Abilitics" Psychol. Bull (33), pág. 780-781, 1936.
  - "A new Conception of Intelligence". Educ. Rec. Pág.441-450, 1936.
  - "Manual of Instructions for the PMA Test". American Council of Education. Washington D.C., 1939.
  - "Primary Mental Abilitics". Monogr. nº 1, Univ. of Chicago Press. 1939.
  - "Factorial Studies of Intelligence". Monogr. nº 2, Univ. of Chicago Press, 1941.
  - "Multiple-Factor Analysis". Univ. of Chicago Press. 1947.
58. Secadas F.- "El test de inteligencia AMPE".Rev.de Psicología General y Aplicada,(30-31),pág. 289-304,1954.
59. Keller F.S.- "Goodbye, teacher....". Journal of Applied Behavioural Analysis, Vol. 1, pág. 78, 1968.
60. Casanova J., Casanova C., Fernández L. and Villamanan M.A.- "Teaching Thermodynamics to Physics Students using the Keller Plan". European Journal of Science Education. Vol. 1, nº 1, pág. 65-69, 1979.
61. Martín R.R. and Srikaneswaran K.- "Correlation between Frequent Testing and Student Performance". Journal of Chemical Education. Vol.51, nº 7, pág.485-486, 1974.
62. Escudero Escorza T.- "La Evaluación Didáctica como Estimulo Didáctico. Enseñanza de la Física en la Universidad". Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza, Fac. de Ciencias, 1977.
63. Piaget J.- "Introduction à l'epistemologie génétique" Vol. 1: La pensèe mathématique; Vol. 2: La pensèe Physique; Edit. P.U.F. París, 1950.
64. Piaget J.- "La Psychologie de l'Intelligence". Edit. A. Colin, París, 1956.

65. Gillet B.- "Analyse d'un type de conduite cognitive, le raisonnement technique". Bulletin de Psychologie; Groupe d'Études de Psychologie de l'Université de Paris. (10-13), pág. 498-507; 1976-1977.
66. Flanders N.A.- "Teacher influence on pupil attitudes and achievement". Cooperative Research Programme Project N. 397. Univ. of Minnesota, 1960.
67. Bloom B.S.- "Taxonomy of Educational Objectives". Edit. David McKay Co. N.Y.; edición en español: "Taxonomía de los Objetivos de la Educación", pág. 13-28, Edit. Marfil, Alcoy, 1975.
68. Hilgard E.R.- "Theories of Learning". Century Psychology Series; Appleton-Century-Crofts. New York, 1948.
69. Madaus G.F. et al.- "A causal model analysis of Bloom's Taxonomy". American Educational Research Journal, Vol. 10, nº 4, pág. 253-262, 1973.
70. Dressel P.L. and Mathews L.B.- "General Education: Explorations in Evaluation"; (C.A.E.) pág. 249-253, Washington DC, 1954.
71. Horrocks J.E.- "Journal of Applied Psychology"; (30) pág. 501-507, 1946.
72. Gagné R.- "The implications of instructional objectives for learning". Univ. of Pittsburgh Press, 1964.
73. Gerlach V. and Sullivan A.- "Constructing Statements of Outcomes". Southwest Regional Laboratory for Educational Research and Development Inglewood. California, 1967.
74. Klopfer L.E.- "Evaluación del Aprendizaje en Ciencia" Cap. XVIII de Evaluación del Aprendizaje, de Bloom Hastings y Madaus (Tomo III), Edit. Troquel Buenos Aires, 1975. Original edición "Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning", Edit. McGraw-Hill, New York, 1971.
75. Guerrero F.P.- "Una taxonomía de objetivos didácticos para las ciencias experimentales". Simposio de Didáctica de la Física y la Química, Instituto Nacional de Ciencias de la Educación (I.N.C.I.E.) Madrid Octubre, 1978.

76. Oleron P.- "Les activités intellectuelles in Fraise(P), Piaget (J)" Traité de Psychologie expérimentale; Tome II; chap XII; pág. 1-69; P.U.F., 1969.
77. Reuchlin M.- "L'expérimentation hors du laboratoire". Communication à la Société Française de Psychologie, Nanterre 15 mars 1975.
78. Leplat J.- "L'épreuve des hypothèses dans des situations non conçues par l'expérimentateur"; document ronéoté, 13 pág., 1975.
79. Rosenthal R. and Jacobson L.- "Pygmalion in the classroom", Holt Rinehart and Winston, New York, 1968.
80. Desportes J.P.- "Les effets de la présence de l'expérimentateur dans les sciences du comportement", éditions du C.N.R.S. (n. 31), Paris, 1975.
81. McNemaz Q.- "Psychological Statistics", Wiley 3<sup>a</sup> edic., New York, 1962.
82. Boneau C.A.- "The effects of violating of assumptions underlying the "t" test". Psychological Bulletin, (57) pág. 49-64, 1960.
83. Edwards A.L.- "Statistical Methods for the Behavioral Sciences". Holt, Rinehart and Winston, 2<sup>a</sup> edit. New York, 1967.
84. Downie N.M. and Heath R.W.- "Basic Statistical Methods" edit. Harper and Row, New York, 1970. Edición en español "Métodos Estadísticos Aplicados" pág.267-269, Madrid, 1977.
85. Fernández Navarro L.- "Aportaciones a la Autodidáctica de la Física". Tesis doctoral. Fac. de Ciencias.Univ. de Valladolid, 1975.
86. Shannser W.M.- "Primary Mental Abilities and Academic Achievement", Univ. of Chicago, 1944.
87. Shaw D.C.- "A Study of the Relations hips between Thurstone Primary Mental Abilities and High School Achievement". Journal of Educ. Psychology (40) pág. 239-240, 1949.
88. Secadas F.- "El test AMPE. Manual del examinador".pág. 18, Madrid, 1961.

A N E X O S

## (Anexo 1)

BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL SOBRE MAV EN ENSEÑANZA DE LA CIANCIA

1. Vander-Meer A.W.- "Relative effectiveness of instruction by films exclusively, films plus study guides, and standard lecture methods". (Specific contributions of films to science-teaching). Pennsylvania State University. Instructional Film Research Program, New York, 1950.
2. Miller J., Levine S. and Kanner J.- "A study of the effects of different types of review and of structuring subtitles on the amount learned from a training film". Human Resources Research Laboratories. Bolling Air Force Base, Washington D.C. 1953.
3. Mc Tavish C.L.- "Effect of repetitive film representations on learning". Abstracts of Doctoral Dissertations, Vol. 16, pág. 33-338, Pennsylvania State College, 1954.
4. Huffman S.A.- "A comparative analysis of four instructional methods in eight-grade science". (tesis doctoral). University of Virginia, 1958.
5. Champa V.A.- "Its effectiveness in ninth-grade science teaching". A.V. Communication Review, pág. 200-203, 6 (3) 1958.
6. Champa V.A.- "TV:Its effectiveness in ninth-grade science teaching AV". Communication Review, pág. 200-203, 6(3), 1958.
7. Carpenter C.R. and Greenhill L.P.- "Instructional television research (chemistry), Report n. 2". Pennsylvania State University Park, Pennsylvania, 1958.
8. Allen W.H.- "Research on new educational media: Summary and problems". A.V. Communication Review, pág. 83-96, 7(2), 1959.
9. Bailey H.S.- "Teaching physics on closed circuit TV". (tesis doctoral), Syracuse University, 1958.
10. Jacobs J.N., Bollembacher and Joan K.- "An experimental study of the effectiveness of television versus classroom instruction in sixth-grade science in the Cincinnati Public Schools". Journal of Educational Research, pág. 184-189, 55(5), 1959.
11. Curry R.P.- "Report of three experiments in the use of television in instruction". Cincinnati Public Schools. Cincinnati, Julio 1959 (offset).

12. Klaus D.J. and Lumsdaine A.A.- "An experimental field test of the value of self-tutoring materials in high-school physics". American Institute for Research. Pittsburgh, Pennsylvania, 1960.
13. Klaus D.J. and Lumsdaine A.A.- "An experimental field test of the value of self-tutoring materials in high-school physics". American Institute of Research Pittsburgh, 1960.
14. Jacobs J.N. and Bollenbacher, Joan K.- "Teaching ninth-grade biology by TV". AV. Communication Review, pág. 176-191, 8(4), 1960.
15. Enders D.E.- "Academic achievement in grade six science resulting from supplementary instruction by open circuit TV". (tesis doctoral). Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, 1960.
16. Popham W.J. and Sadnavitch J.M.- "The effectiveness of filmed science courses in public secondary schools". Department of Education and Psychology, Kansas State College of Pittsburg, 1960.
17. Gropper G.L. and Lumsdaine A.A.- "An experimental comparison of a conventional TV lesson with a programmed TV lesson requiring active student response". (Studies in Televised Instruction, report 2). Metropolitan Pittsburgh Educational TV Stations and American Institutes for Research. Pittsburgh, Pennsylvania, 1961.
18. Gropper G.L. and Lumsdaine A.A.- "An experimental evaluation of the contribution of sequencing, pretesting, and active student responses to the effectiveness of "programmed" TV instruction". (Studies in TV Instruction, report 3) Metropolitan Pittsburgh Educational TV Stations and American Institutes for Research. Pittsburgh Pennsylvania. 1961.
19. Alexander F.D.- "An experiment in teaching mathematics at the college level by closed circuit TV". (tesis doctoral) George Peabody College for Teachers, Nashville 1961.
20. Bryan E.F.- "A comparative study in the teaching of high school chemistry and physics" Oklahoma State Department of Education, Spber 1961. Communication Review, 10 pág. 74-75, 1962.
21. Berger E.J.- "An investigation of the effectiveness of televised presentation of self-contained TV-adapted lessons on enrichment topics in mathematics". (tesis doctoral) Univ. of Minnesota, Minneapolis, 1962.

22. Travers R.M.W.- "Research and theory related to audiovisual information transmission". University of Utah, 1964.
23. Schram W.S.- "Research on programmed instruction: An annotated bibliography, US. Government, Printing Office Washington DC, pág. 114, 1964.
24. Lumsdaine A.A. and May M.A.- "Mass communication and educational media". Annual Review of Psychology, pág.475-534, (16), 1965.
25. Hernández Verdusco R. y Arés Escobar L.- "Diseño y valoración de un curso parcial de Física con ayuda de medios audiovisuales". (comunicación). Simposio de Didáctica de la Física y la Química, pág. 308, Instituto Nacional de Ciencias de la Educación. Madrid, 1978.
26. Balbuena Castellanos L.- "Las Matemáticas y los Medios Audiovisuales: Una Experiencia". Revista de Bachillerato; Dirección General de Enseñanza Media, nº 9, pág. 70-72, Madrid, Enero 1979.

(Anexo 2 )

Documento de introducción correspondiente  
a la primera Unidad Integrada

"GALILEO Y EL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS"

El historiador Herbert Butterfield expresa en su obra "The origins of modern science", ...."que de todas las barreras con que la mente humana ha debido enfrentarse en los últimos 1500 años, la que parece haber sido más sombrosa en carácter, y más formidable, en vista de sus consecuencias, es la relativa al problema del movimiento....".

Sin embargo, los conceptos de velocidad, aceleración y características del movimiento, que hoy nos parecen intrínsecamente evidentes, adquirieron su carácter de inteligibilidad a lo largo de los siglos y mediante las aportaciones de inteligencias privilegiadas.

La extensa historia del conocimiento del movimiento alcanza su momento crucial en el siglo XVII con la obra del genio Galileo Galilei, padre de la Física moderna y de

la metodología de la Ciencia, concretado esto último en su famosa estrategia del "experimento idealizado".

Su primera formación científica fue escolástica, siendo un estudioso de Arquímedes, Aristóteles y Euclides. A la edad de 26 años fue designado para la cátedra de Matemáticas en Pisa, mostrando ya desde entonces poseer en alto grado características fun-



damentales en la ética del hombre de ciencia de todos los tiempos: riguroso espíritu crítico e independencia en la investigación.

Debido a este carácter se vió obligado a abandonar Pisa, trasladándose a la república de Venecia, donde comenzó estudios de Astronomía. Sus conclusiones científicas en este dominio, inteligentemente defendidas por él, confirman sus ideas copernicanas, y le proporcionaron enemigos y sinsabores. En 1632 produjo el trabajo de Astronomía "Diálogos sobre los dos grandes sistemas del Mundo", en cuyo prólogo declara aprobar el decreto de la Inquisición que condenó a Copérnico, y en el resto de la obra demuestra lo contrario.

Obtiene en principio la autorización de Roma para su publicación, pero la Inquisición le prohíbe enseñar sus nuevas ideas en este tema, viéndose obligado a rectificar. A este respecto, se cree que la anécdota del "sin embargo se mueve", es probablemente imaginaria. A causa de ello se dedicó al estudio de la Mecánica, produciendo en 1638 su famosa obra "Dos nuevas ciencias" ("Discurso y demostraciones matemáticas relativas a dos nuevas ciencias pertenecientes a la mecánica y al movimiento"),

**DIALOGO**  
 DI  
**GALILEO GALILEI LINCEO**  
 MATEMATICO SOPRAORDINARIO  
 DELLO STUDIO DI PISA.  
*E Filosofo, e Matematico primario del*  
 SERENISSIMO  
**GR.DVCA DI TOSCANA.**  
 Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre  
 sopra i due  
**MASSIMI SISTEMI DEL MONDO**  
 TOLEMAICO, E COPERNICANO;  
*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali  
 tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*



CON PRI VILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio: Batista Landini MDCXXXII.  
 CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Portada del libro de Galileo *Diálogo sobre los grandes sistemas del mundo* (1632). (De la copia de la Colección de DeGolyer.)



Página titular de la obra de Galileo: *Dos nuevas ciencias*, de 1638 (de una copia de De Golyer, de la librería universitaria de Oklahoma).

trapola ciertas predicciones para las cuales propone pruebas experimentales. Finalmente, al demostrar que las pruebas están de acuerdo con las predicciones, confirma la hipótesis principal, o sea la aceleración constante en el movimiento de caída libre.

### Cómo presenta Galileo el problema.

Veamos como el propio Galileo expone su estrategia:

Mi objeto es establecer una ciencia muy nueva que trata de una materia muy antigua. Quizá no exista en la Naturaleza nada más viejo que el movimiento, con relación al cual los libros escritos por los filósofos no son ni pocos ni pequeños; sin embargo, yo he descubierto algunas propiedades de él que son de reconocido valor y que hasta ahora no habían sido ni observadas ni demostradas. Se habían hecho algunas observaciones superficiales como, por ejemplo, que el movimiento natural de la caída de un cuerpo pesado era continuamente acelerado; pero no había sido establecida hasta aquel punto que esta aceleración se ajusta a la realidad; por lo que yo conozco, ninguno había puesto de manifiesto que las distancias recorridas en iguales intervalos de tiempo por un cuerpo que cae desde el reposo, están en la misma razón que los números impares comenzando por la unidad (a saber, 1: 3: 5: 7...).

obra trascendental que tuvo como efecto histórico el inicio de la decadencia de la Mecánica escolástico-aristotélica.

En "Dos nuevas ciencias" Galileo llega a una descripción matemática rigurosa y a una teoría satisfactoria del movimiento de los cuerpos sometidos a caída libre. En primer lugar presenta la matematización del movimiento con aceleración constante. Seguidamente establece la hipótesis de que éste, es el tipo de movimiento que tiene un cuerpo pesado que cae libremente. Del establecimiento de dicha hipótesis ex

Se había observado que los proyectiles y las armas arrojadas describen una trayectoria curva; sin embargo, ninguno había puesto de manifiesto el hecho de que esta trayectoria es una parábola; pero yo he tenido éxito al demostrar éstos y otros hechos, no pocos en número ni menos de reconocido valor, y, lo que *yo considero más importante*, se ha abierto el camino, del cual mi trabajo es simplemente el comienzo, a esta vasta y excelente ciencia, por el cual otras mentes más agudas que la mía explorarán sus rincones.

Esta discusión se divide en tres partes: la primera, trata del movimiento que es uniforme o estacionario; la segunda, de movimientos que encuentro como acelerados en la naturaleza; la tercera, de los movimientos llamados violentos y de los proyectiles.

Consideraremos ahora el movimiento naturalmente acelerado tal como se presenta en los cuerpos en su caída...

Ante todo, es de desear encontrar una definición que se ajuste, lo mejor posible, a los fenómenos naturales. Aunque es totalmente permisible inventar un tipo arbitrario de movimiento y estudiar su desarrollo (así han propuesto algunos, hélices y concoides como trayectorias descritas en ciertos movimientos —aunque sabiendo que no se presentan en la Naturaleza— y han discutido de una manera loable sus propiedades a partir de su definición), sin embargo, nosotros hemos decidido considerar los fenómenos de la caída libre de los cuerpos pesados con una aceleración *tal como la que tiene lugar en la Naturaleza*; y dar nuestra definición del movimiento acelerado con las características esenciales de este tipo de movimiento, natural acelerado. Y tenemos la esperanza de haberlo conseguido al fin, después de repetidos esfuerzos; nos hemos confirmado en esta creencia principalmente por la consideración de que los resultados experimentales están de acuerdo y corresponden exactamente con aquellas propiedades que hemos descrito.

Finalmente, la investigación del movimiento naturalmente acelerado nos ha conducido, como de la mano, al modo de comportarse la misma Naturaleza en todas sus otras acciones, en las cuales acostumbra siempre a emplear los medios más fáciles y simples.

Por esto, cuando observo una piedra inicialmente en reposo, cayendo desde una posición elevada y adquiriendo de un modo continuo incrementos en su velocidad, ¿por qué no había yo de creer que tales incrementos se realizan de la manera más simple y fácil para todo cuerpo? Si ahora examinamos la materia cuidadosamente no encontramos adición o incremento más simple que aquella que se repite asimismo del mismo modo. Podemos comprender esto fácilmente cuando consideramos la última relación entre tiempo y movimiento, pues justamente el movimiento uniforme se define y se piensa en términos de intervalos iguales de tiempo e iguales distancias (así, llamamos movimiento uniforme cuando las distancias recorridas en iguales intervalos de tiempo son iguales), así también podemos, de una manera similar, pensar que los incrementos de velocidad son iguales para intervalos iguales de tiempo sin complicaciones...

Y así, la definición del movimiento que vamos a discutir puede establecerse como sigue:

*Un cuerpo se dice que está uniformemente acelerado cuando partiendo del reposo adquiere incrementos iguales de velocidad en iguales intervalos de tiempo.*

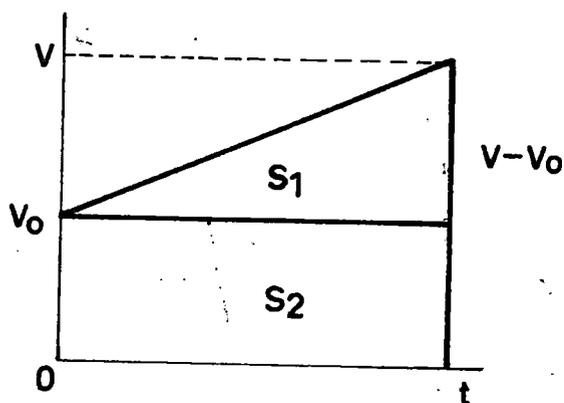
### Cómo Galileo demuestra experimentalmente su hipótesis

Parte, pues, de la hipótesis de que en la caída libre la velocidad  $v$  adquirida por el cuerpo es proporcional al tiempo  $t$  empleado en el recorrido, o sea  $v - v_0 = at$ , infiriéndose pues, que  $a$  es constante en este movimiento.

Para demostrar esta hipótesis Galileo podía haber dejado caer desde distintas alturas un cuerpo provisto siempre de la misma velocidad inicial  $v_0$  (por ejemplo  $v_0 = 0$ ) y determinar para cada caso el tiempo  $t$  y la velocidad  $v$  con que llega al suelo, pero, sin embargo, en esa época no se dis

ponía de relojes capaces de medir tiempos tan pequeños.

Esta dificultad fue superada por Galileo volviendo a la herramienta matemática. Para ello "matematizó" su hipótesis a fin de obtener una nueva relación en la que apareciera alguna variable que fuese susceptible de medida directa mediante algún procedimiento asequible. El método utilizado por él, es análogo a este que aparece hoy en muchos textos de Física:



$$\text{Desplazamiento } s = S_1 + S_2$$

$$s = \left( \frac{v - v_0}{2} \right) t + v_0 t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\text{siendo } s = \frac{1}{2} a t^2 \text{ si } v_0 = 0$$

Poniendo  $\frac{1}{2} a = \frac{s}{t^2}$ , si al medir para un cuerpo en caída libre  $\frac{s}{t^2}$  vemos que, pa

ra distintas alturas, dicho valor es siempre el mismo, ello indica que  $a = \text{const.}$

Aunque en esta nueva expresión es fácil medir el desplazamiento  $s$ , sin embargo, subsiste el problema de la medida del tiempo  $t$ .

En esta situación, Galileo tiene la intuición de un procedimiento para "ralentizar" el experimento, sin que éste se desvirtúe. Para ello supone que si un cuerpo que cae libremente lo hace con aceleración constante, también un cuerpo perfectamente esférico, que rodase por un plano inclinado bien pulido, poseerá a su vez una aceleración constante, aunque menor que en el caso anterior.

Utilizando este artificio experimental encontró, que las distancias recorridas  $s_1$   $s_2$   $s_3$  etc., estaban relacionadas con sus respectivos tiempos  $t_1$   $t_2$   $t_3$  etc., de esta forma:

$$\text{ma: } \frac{s_1}{t_1^2} = \frac{s_2}{t_2^2} = \frac{s_3}{t_3^2} = \text{const; tal como había supuesto.}$$

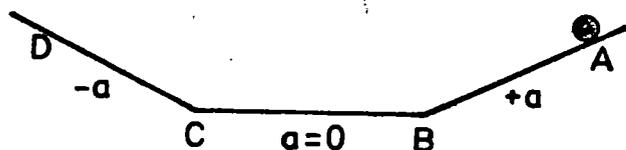
Modificando el ángulo del plano repitió el experimento encontrado, siempre, que la relación  $\frac{s}{t^2}$ , y por tanto la aceleración, se mantenía constante dentro de las medidas realizadas para cada nuevo ángulo, aunque por supuesto el movimiento tenía aceleraciones distintas para cada nueva inclinación del plano.

De ello pensó Galileo, que si dicho cociente  $\frac{s}{t^2}$  se mantenía constante en los experimentos en los que era posible medir el tiempo, también debería suceder esto en los casos en los que, al aumentar la inclinación del plano, no era posible realizar dichas medidas, como cuando el ángulo es de  $90^\circ$  y la caída es libre; en cuyo caso, se puede aplicar también a ella la afirmación de que  $\frac{s}{t^2} = \text{const.}$

Asimismo, del estudio de movimientos descendentes y ascendentes en planos inclinados, infirió la característica de aceleración nula en el movimiento uniforme, y viceversa, ya que si en el tramo AB el movimiento tiene aceleración constante positiva  $+a$  y en el CD es  $-a$ , al cambiar dicha aceleración de positiva a negativa, puede suponerse que, en el recorrido horizontal BC la aceleración será nula, y en ese tramo el movimiento es uniforme.

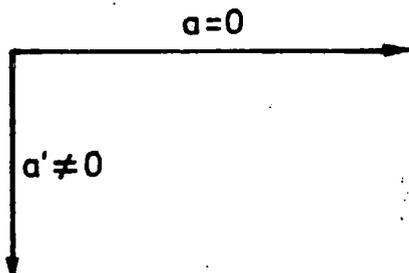
Una vez examinado todo lo anterior surgen dos preguntas: ¿qué procedimiento utilizó Galileo para medir el tiempo  $t$ ? y ¿fueron sus medidas lo suficientemente precisas para confiar en la constancia de la relación  $\frac{s}{t^2}$ ? Estas dudas las resolvió el mismo Galileo con esta descripción que él hace de su montaje experimental:

Para la medida del tiempo empleamos una gran vasija de agua colocada en una posición elevada; en la parte baja de esta vasija colocamos un tubo de vidrio de pequeño diámetro para formar un delgado chorro de agua que recogemos en una copa durante el tiempo de cada descenso; si para la total longitud del canal, o para una parte de la misma, el agua así recogida se pesa en una balanza de gran precisión, las diferencias y razones de estos pesos nos darán las diferencias y razones de los intervalos de tiempo, y esto con tal precisión que aunque la operación fuese repetida una y otra vez no se obtendrían discrepancias apreciables en los resultados.



### Descripción de Galileo en el movimiento de proyectiles.

Galileo supone, que la trayectoria de un proyectil lanzado horizontalmente es curva, y se debe a que dicho movimiento es el resultado de la acción combinada y simultánea de



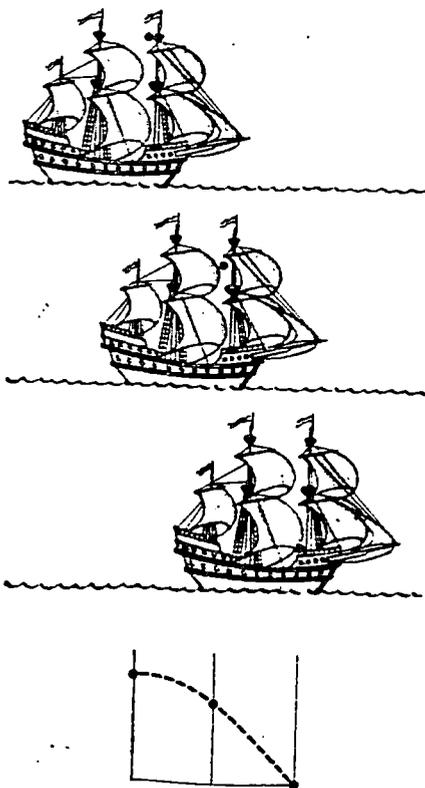
dos movimientos independientes en sí. Un movimiento actúa horizontalmente, sin aceleración, y el otro lo hace verticalmente, con aceleración constante, rigiéndose éste por las leyes de la caída libre.

Este principio de independencia aparece en su "Diálogo sobre los dos grandes sistemas del Mundo", de 1632.

Galileo, padre del "experimento idealizado", propone dos experimentos que describen muy claramente este tipo de movimiento y su trayectoria curva.

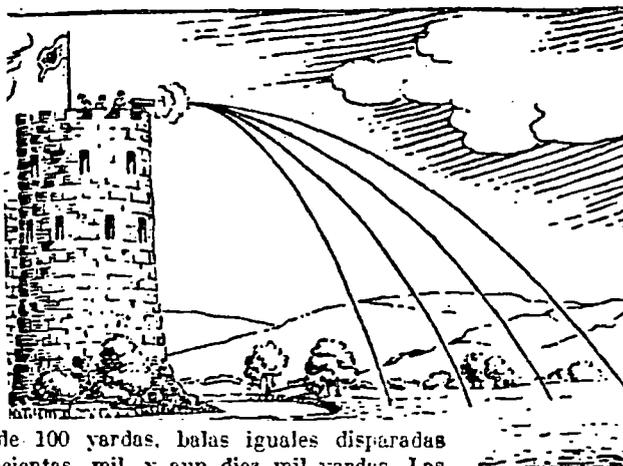
En el primero se refiere al movimiento de una piedra dejada caer desde el mástil de una embarcación en movimiento. Como la piedra ya antes de ser arrojada, se estaba desplazando horizontalmente, seguirá con esa tendencia, mientras cae.

Si es cierto que el ímpetu con que se mueve la embarcación queda indeleblemente impreso en la piedra cuando comienza a caer desde el mástil, y si además este movimiento no sirve de impedimento ni retarda el movimiento natural de la piedra hacia abajo, debería producirse un efecto realmente asombroso. Supongamos la embarcación en reposo y que el tiempo que invierte la piedra en caer desde lo alto del mástil hasta la cubierta, es de dos pulsaciones. Si ahora la embarcación comienza a moverse por la acción de las velas, y dejamos caer la piedra desde el mismo lugar, la piedra invertirá el mismo tiempo de dos pulsaciones, en su caída, de acuerdo con la premisa establecida, y en este tiempo la embarcación ha podido avanzar, digamos, veinte yardas. El verdadero movimiento de la piedra será según una línea transversal (esto es, según una línea curva en un plano vertical) (fig. 3.1) considerablemente más larga que la primera, que era según la vertical desde lo alto del mástil a cubierta; sin embargo, el tiempo invertido por la piedra en recorrerla será el mismo. Aumentando la velocidad de la embarcación tanto como queramos, la línea transversal que recorre la piedra será cada vez mayor, pero el tiempo que invertirá en recorrerla será siempre el mismo, de dos pulsaciones.



En el segundo experimento  
expone que:

Si elevásemos un cañón a lo alto de una torre y disparásemos desde allí horizontalmente contra un blanco, según fuera la carga, el proyectil caería a tierra, unas veces a mil yardas, otras a cuatro mil, otras a diez, etc., pero siempre invertiría el mismo tiempo en llegar al suelo, el mismo que tardaría en caer la bala desde la boca de la pieza al suelo si, falta de impulso, lo hiciese según la vertical. Parece, pues, cosa admirable, que en el mismo intervalo de tiempo invertido en la caída perpendicular a tierra desde una altura, digamos, de 100 yardas, balas iguales disparadas violentamente serían capaces de recorrer cuatrocientas, mil, y aun diez mil yardas. Las balas, en todos estos disparos horizontales, permanecen en el aire el mismo tiempo



Su gran obra "Dos nuevas ciencias" fue publicada clandestinamente en Holanda en 1638, siendo prisionero de la Inquisición. Desde esa fecha hasta su muerte acaecida a la edad de 78 años, en 1642, mantuvo altivo su espíritu y clara su mente siendo reconocido aún en esa época de su vida su estilo directo y ameno.

(Anexo 3)

# EN TORNO A LA PILA LA ELECTRICIDAD SE INCORPORA AL MAGNETISMO



Alejandro Volta



Andrés María Ampère.

**DURANTE** toda la prehistoria del Electromagnetismo, desde el Renacimiento hasta el fin del siglo XVIII, fueron por lo general los mismos hombres los que se ocuparon del magnetismo y de la electricidad, siguiendo métodos análogos. Así fue como Gilbert describió sus experiencias sobre la electricidad en su libro *De Magneté* (1600). Y la mayor parte de sus sucesores hicieron como él.

¿Se sospechaba ya un lazo profundo entre los dos grandes grupos de fenómenos? O bien ¿se trataba solamente de acciones a distancia entre los dos tipos, de una analogía formal que permitía el empleo de los mismos métodos experimentales y de teorías mecánicas semejantes? La cuestión fue ya vivamente discutida por Jérôme Cardan en 1551, y después por el mismo Gilbert, que insistieron ambos en las diferencias existentes entre fenómenos eléctricos y magnéticos.

Charles-Augustin Coulomb precisó estos puntos de vista en 1785: demostró por experimentos rigurosos que las atracciones y repulsiones eléctricas y magnéticas obedecen todas a la ley del cuadrado de las distancias, pero que existe entre cargas eléctricas y polos magnéticos una diferencia esencial: las primeras son perfectamente móviles en relación unas con otras, mientras que dos polos magnéticos, positivo y negativo, de la misma fuerza permanecen indisolublemente ligados en el seno de una misma molécula material.

**NO OBSTANTE**, a partir del año 1660, en que Otto von Guericke inventó su máquina eléctrica, que permitía una producción continua de «fluido», las experiencias sobre la electricidad comenzaron a tomar un carácter un poco más dinámico.

Guericke mismo observó que la propiedad eléctrica se propaga a distancia a lo largo de un hilo; de 1727 a 1729, Stephen Gray redescubrió el fenómeno y distinguió los cuerpos conductores de los aislantes (o malos conductores).

Después que Dufay hubo descubierto las dos electricidades, llamadas desde Franklin positiva y negativa, y que von Kleist y Musschenbroëk hubieron inventado la botella de Leiden, el interés se dirigió

preferentemente a la chispa eléctrica y a todos los efectos del «conflicto entre las dos electricidades», es decir, de la corriente eléctrica, y en particular a sus efectos luminosos y térmicos.

Entonces fue cuando Priestley y, sobre todo, Cavendish, tuvieron la idea de medir cuantitativamente la conductividad de las diversas sustancias y obtuvieron cifras bastante exactas.

Pero las observaciones apenas podían ir más lejos en aquella época: el suministro de corriente de la máquina de Guericke era demasiado débil. Se encuentra, es verdad, en algunas obras la mención de posibles efectos del rayo sobre la imantación de una barra de hierro, pero éstas no son más que indicaciones vagas y poco seguras.

TODO iba a ser modificado por el descubrimiento de la pila. Son conocidos los experimentos de Galvani (1790): cuando se pone en comunicación un nervio con un músculo de rana por medio de un «arco» metálico, el músculo se contrae como si recibiera una descarga eléctrica. Volta tuvo el genio de comprender el alcance exacto de esta observación: «Nadie duda, escribió en 1797, que los efectos galvánicos deben ser atribuidos al fluido eléctrico que pasa de una parte a otra a través del arco conductor.»

Se pregunta entonces Volta dónde está el foco de la fuerza electromotriz que produce este desplazamiento. Galvani se había contentado con una explicación verbal: atribuía este fenómeno a la electricidad animal. Volta hace experimentos: observa que los sobresaltos del músculo de rana son más violentos cuando el arco está constituido por dos metales soldados. Y así es conducido a su teoría del contacto: en la superficie de contacto entre dos metales diferentes y, con más generalidad, entre dos cuerpos diferentes, es donde la electricidad sufre la fuerza o impulsión que la pone en movimiento.

EN el curso de sus experimentos, suscitados en parte por una larga polémica con Galvani, estudia Volta el contacto entre metales y líquidos conductores. Su descubrimiento madura. El 20 de marzo de 1800, envía a la Royal Society de Londres una carta en la que describe su pila, columna de discos de cobre y zinc ordenados alternativamente y separados por rodajas de paño empapadas en ácido sulfúrico.

Este aparato, que se comparaba en aquella época a una botella de Leiden que se recargaba espontáneamente, era una fuente de corriente continua de baja tensión, pero de una intensidad superior a toda la que habían dado las máquinas electrostáticas más fuertes.

Las primeras investigaciones hechas con este poderoso instrumento son de orden químico. El 30 de abril de 1800, aparece en la Royal Society el descubrimiento accidental y resonante de Carlisle y Nicholson: la descomposición del agua por la corriente eléctrica.

Inmediatamente después, H. Davy intenta las «electrólisis» más diversas. Descompone por medio de la corriente la sosa y la potasa fundidas y descubre los metales alcalinos. Comprende la importancia de estos efectos extraños, de esta interacción profunda entre electricidad y materia: «Si la descomposición del agua y de otras sustancias es un hecho, escribe, al mismo tiempo es un enigma total, y para comprenderlo serían precisos puntos de vista enteramente nuevos sobre las acciones corpusculares.» Parece prever que el fenómeno descubierto casualmente por Carlisle y Nicholson iba a ser el origen de la teoría eléctrica de la materia y de la teoría atómica de la electricidad.

Sólo veinte años más tarde, en julio de 1820, el danés Ørsted, con sus «Experimentos relativos al efecto del conflicto eléctrico sobre la aguja imantada», establece el enlace definitivo entre la electricidad y el magnetismo.

*Las ideas de Ørsted se relacionan netamente con la teoría cartesiana de los torbellinos. Observa que las desviaciones de la aguja imantada son de sentido inverso cuando se encuentra situada debajo del hilo recorrido por la corriente o encima del mismo, y concluye de aquí «que el conflicto eléctrico no está circunscrito al hilo conductor, sino que tiene a su alrededor una esfera de actividad bastante extensa... este conflicto forma un torbellino alrededor del hilo...»*

*«Todos los efectos observados..., se explican fácilmente si se supone que la fuerza, o materia eléctrica negativa describe una espiral de izquierda a derecha y no actúa más que sobre el polo norte y no sobre el polo sur... y que la materia eléctrica positiva posee un movimiento de sentido contrario y la propiedad de actuar sobre el polo sur sin obrar sobre el polo norte.»*

*Algunos años más tarde, Wollaston reemplaza este doble torbellino por un torbellino único, y esta hipótesis, que sorprendió mucho al espíritu de Faraday, parece ser el origen de sus investigaciones sobre las líneas de fuerza magnética.*

*VEMOS aquí una especie de filiación directa de Descartes a Faraday y a Maxwell, pasando por Ørsted y Wollaston. Pero Faraday había de sustituir los torbellinos de materia hipotética por líneas de fuerza circular, imagen geométrica y dinámica, mucho más flexible y abstracta.*

*En los meses que siguen a la publicación de Ørsted aparecen los primeros descubrimientos de Ampère, de Arago, de Biot y Savart, y de Faraday.*

*Nada más interesante que comparar las concepciones de estos físicos. Los primeros habían de permanecer como newtonianos convencidos. Faraday iba a depurar las ideas cartesianas.*

*Biot y Savart, ayudados por Laplace, determinan mediante medidas precisas la ley de acción de un «elemento de corriente» sobre un polo magnético. Muestran, como Ørsted, que estas fuerzas son «transversales», es decir, perpendiculares a la recta que une el polo al elemento. Pero no se atreven a creer que exista una acción directa de la corriente sobre los imanes. Habitados a manejar imanes, atribuyen los efectos que observan a una «imantación producida en los metales por la electricidad en movimiento». Concepción tan vaga como timorata, compartida por muchos de sus contemporáneos.*

*Ampère es más atrevido. Va de golpe al corazón de la cuestión. Demuestra experimentalmente que las corrientes actúan sobre las corrientes. Este es el descubrimiento de la Electrodinámica. En seguida saca de él todas las consecuencias: los polos magnéticos no existen; la imantación de un cuerpo cerradas sobre sí mismas. Esta hipótesis de las corrientes moleculares, violentamente atacada en aquella época, ya no es considerada hoy como una hipótesis, sino como un hecho incontestable.*

*Por otra parte, Ampère no es cartesiano, sino newtoniano, y trata de reducir la Electrodinámica «a fuerzas (instantáneas) que actúan siempre entre dos partículas materiales según la recta que las une» y que obedecen al principio de la igualdad de acción y reacción. Llega a esto de un modo bastante artificial. Esa parte de su obra, a despecho de un admirable análisis experimental y teórico, está ya rebasada. Hoy seguimos las huellas de Faraday. Sin embargo, las ideas de Ampère permanecieron dominantes durante todo el siglo XIX. Su sucesor más célebre, Wilhelm Weber, deseando corregir la teoría de Ampère, condensa en una sola ley de acción entre partículas electrizadas, las de las fuerzas electrostáticas, electrodinámicas y aún de los fenómenos de inducción (1846). El único interés actual de esta fórmula de Weber es que presenta por primera vez de manera explícita las corrientes como movimientos de convección de partículas eléctricas.*

*Faraday, en su ignorancia de autodidacta, aborda francamente los hechos, sin ideas preconcebidas. Los movimientos de un polo de imán alrededor de una corriente le inspiran la imagen de las líneas de fuerza «que hacen girar el polo en un círculo sin fin, que dura tanto como la acción de la batería» (1821). Se aproxima así a Ørsted y se separa de Ampère.*

*Desde el momento en que se demostró que una corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético, se buscó el fenómeno inverso: producción de la corriente por los imanes. Ampère, Arago y otros se habían esforzado en ello. Incluso habían observado efectos positivos que no supieron analizar. No pensaron que el fenómeno pudiera ser temporal y esencialmente dinámico.*

*HASTA 1831, no logró Faraday observar las corrientes inducidas, y esto después de repetidos intentos. La idea de las líneas de fuerza le permite muy pronto analizar por completo el fenómeno y demostrar — en términos diferentes, por cierto, y que debían parecer bastante oscuros a sus contemporáneos — que la fuerza electromotriz de inducción en un circuito es igual a la velocidad de variación del número de líneas de fuerza magnética (o más bien de inducción) que abarca el circuito.*

*Enunciados tales como éste: «La inducción de corrientes eléctricas se efectúa de manera circular por una resultante magnética, o eje de fuerza, como las acciones magnéticas circulares son producidas por una corriente eléctrica» contienen en germen los dos sistemas de ecuaciones de Maxwell, con sus propiedades de simetría.*

*Bastó en efecto a Maxwell traducir al lenguaje matemático las leyes de Faraday y precisarlas en ciertos puntos para dar al Electromagnetismo su forma actual.*

E. BAUER

*Profesor honorario en la Sorbona  
Paris*

(Anexo 4)



# OERSTED

1777-1851

DESCUBRE LA ACCIÓN MAGNÉTICA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

**H**ANS CHRISTIAN ØRSTED, uno de los espíritus más armoniosos de la cultura danesa, que descubrió el electromagnetismo y fundó la Escuela politecnica de Dinamarca, nació en Rudkøbing, pequeña ciudad danesa, el 14 de agosto de 1777. Su padre era farmacéutico. Su hermano, Anders Sandøe Ørsted, sería un célebre jurisconsulto y hombre de Estado; Christian mantuvo con él durante toda su vida estrechas relaciones, que fueron muy provechosas para ambos. Desde muy temprano, los dos hermanos dieron señales de gran inteligencia y se propusieron alcanzar objetivos muy elevados. Ayudados por varias personas, e instruyéndose mutuamente, lograron adquirir conocimientos tan notables que pudieron ir a Copenhague en 1793, y en 1794 obtener su bachillerato, para el cual se habían preparado por sí mismos.

Todavía niño, Ørsted trabajó en la farmacia de su padre, lo cual fue de gran importancia para la orientación futura de sus estudios. Así logró extensos conocimientos en química y nada le resultó más natural que elegir la carrera de farmacia en la Universidad de Copenhague, que entonces no ofrecía otras posibilidades de estudios de física y de química. Ya en 1797 fue aprobado con mención especial en el examen de farmacia después de haber, durante dos años sucesivos (1796 y 1797), conseguido los premios dados por la universidad a sus memorias presentadas en los concursos respectivos de estética y de medicina. Si se añade a esto que fue admitido como doctor en letras por una tesis sobre la filosofía de Kant, se comprenderá el interés que mostró desde su adolescencia por los dominios más extensos. Gracias a este interés universal, pudo más tarde hacer valer su influencia sobre la cultura danesa en aspectos muy distintos, pero, por otro lado, es innegable que un interés tan múltiple le impidió proseguir hasta el final un trabajo científico profundo.

Después de haber regido temporalmente una farmacia, pasó una temporada de estudios en Alemania y Francia, lo que fue de gran importancia para su desarrollo intelectual, y después fue agregado a la Universidad de Copenhague, donde se le nombró profesor, puesto que conservó hasta su muerte.

Infatigable en su entusiasmo y siempre cuidadoso de la enseñanza superior, elevó durante estos años los estudios de física y química desde un nivel menos que mediano hasta una altura eminente, que les permitió adquirir un rango propio y conservarlo hasta la hora actual.

Los trabajos de juventud de H. C. Ørsted son en su mayor parte de carácter especulativo y aparecen marcados con el signo de la filosofía natural del romanticismo. Como investigador, merece no obstante un puesto aparte en la historia de las ciencias. Dotado de una imaginación opulenta, tuvo al mismo tiempo disposiciones extraordinarias para la investigación experimental, y así es como había de ejercer una influencia muy grande sobre el desarrollo de la física por el descubrimiento del electromagnetismo. Pero lo que hay de especulativo en su obra y que distingue sobre todo sus trabajos de juventud, es de otro carácter muy distinto al corriente en físicos y químicos, aun de los más notables. Le faltaba, en efecto, hasta cierto punto, este espíritu que suele manifestarse en la descripción matemática de los fenómenos de la física y de la química, y sus reflexiones sobre el problema de las ciencias exactas tienen a nuestro parecer algo insólito, que muchas veces recuerda más bien la poesía que la ciencia rigurosa. Hay que reconocer, sin embargo, que por esto mismo obtuvo resul-

tados importantes y ahí radica precisamente lo que le es peculiar: la filosofía natural y el romanticismo; ambas tendencias, no fueron para él solamente una inspiración, sino al mismo tiempo una manera muy fructífera de concebir los fenómenos, que sustituía al razonamiento exacto. Pero aunque pertenezca al romanticismo y conserve siempre sus huellas, trabaja no obstante los pensamientos y las ideas de una manera personal, y, sin dejar de separarse cada vez más de las especulaciones inmatriciales, subraya de un modo explícito que hay que tomar el punto de partida en la realidad. De este modo se da cuenta, durante una estancia en Alemania — cuando emprendió su segundo viaje importante por el extranjero (1812-1813)— de que no le es posible tener un intercambio de ideas fructíferas con hombres como Fichte y Schleiermacher.

Cuando Volta, precisamente al principio del nuevo siglo, construyó su pila galvánica, se abrió una nueva era en la historia de la física. Esta invención preocupó vivamente a Ersted, que construyó también una batería de pilas voltaicas, y las describió en una revista alemana, lo que contribuyó a atraer la atención hacia su nombre. Pero no fue hasta mucho más tarde, en 1820, cuando su estudio de estos fenómenos le condujo al descubrimiento del electromagnetismo, al cual ha quedado unido su nombre para siempre.

Desde el principio, se dio cuenta de la relación necesariamente existente entre la electricidad y el magnetismo, pero todavía se trataba de suposiciones mal fundadas sobre una base puramente especulativa. Estas especulaciones fueron publicadas en 1812: *Ansichten der chemischen Naturgesetze* (Aspectos de las leyes químicas). En 1820, en el mes de abril, se le ocurrió ya la idea — con motivo de una conferencia que iba a pronunciar — de hacer entrar un hilo de platino en el circuito conductor entre los polos de la batería y ponerlo incandescente al paso de la corriente eléctrica, sosteniéndolo paralelamente sobre una pequeña aguja imantada. No obstante, no tuvo tiempo para ensayar su idea antes de la conferencia, pero durante ella se convenció de su valor, e hizo el experimento en seguida; comprobó que la aguja giraba, y que giraba en sentido inverso si se invertía el sentido de la corriente, y que, por último, no tenía efecto si se mantenía el hilo perpendicularmente a la aguja. Como la corriente era débil, y su efecto por lo tanto muy pequeño, el experimento causó poca impresión en el auditorio, pero Ersted comprendió en seguida la gran importancia de este resultado. Sin embargo, tuvo que esperar tres meses hasta tener tiempo para confirmarlo por experimentos complementarios y hasta julio no pudo comenzar sus investigaciones, muy extensas y cuyos detalles no podemos seguir aquí, en las notas que dejó sobre ellas. Algunas de las cuestiones que se planteó nos muestran que su atención estaba atraída por numerosas circunstancias: examina, por ejemplo, si el efecto será debido al calor. Pero al final, queda persuadido de la verdad del fenómeno, y publica en latín los resultados de sus investigaciones en un pequeño escrito de cuatro páginas, que pronto fue traducido a todas las grandes lenguas europeas e impreso en todas las revistas de física importantes.

En francés, fue publicado el discurso en los *Annales de chimie et de physique* (tomo XIV, p. 417-25, París, 1820) con el título «Experiencias sobre el efecto del conflicto eléctrico sobre la aguja imantada», y acompañado por la nota siguiente: «Los lectores de los *Anales* habrán observado que no acogemos, por lo general, demasiado a la ligera, los anuncios de descubrimientos extraordinarios, y hasta ahora tenemos que aplaudirnos por esta reserva; pero en el caso de la memoria de M. Ersted, los resultados que contiene, por singulares que puedan parecer, van acompañados de bastantes detalles para no dar lugar a ninguna sospecha de error.» El discurso de Ersted causó sensación y tuvo una gran importancia para el desarrollo de la física. En todos los países se repitió el experimento y se obtuvieron resultados que, en su mayor parte, habían sido ya encontrados por Ersted y publicados en su discurso aunque muy sumariamente. En Francia, el descubrimiento de Ersted fue descrito durante una sesión de la Academia francesa el 11 de septiembre de 1820, por Arago, que regresaba de un viaje por el extranjero, y el 30 de octubre, los dos físicos, Jean-Baptiste Biot (1774-1820) y Felix Savart (1791-1841) presentaron a los miembros de la Academia un resultado muy importante, conocido hoy por el nombre de ley de Biot y de Savart, y en el que se indican las relaciones entre la dirección y la cantidad de la fuerza observada, y la dirección y la cantidad de corriente que influye en la aguja imantada. Una formulación matemática, muy bella y sencilla, fue dada por Ampère, que publicó en 1825 sus resultados en la forma de una teoría acabada, que comprende también la interpretación de los efectos electromagnéticos entre corrientes eléctricas.

El progreso esencial que sigue, en la historia del electromagnetismo, fue el descubrimiento

de las corrientes de inducción, hecho por Faraday en 1831, y con ello tuvo ya Maxwell el camino libre para su exposición de conjunto de los fenómenos electromagnéticos y de su teoría correspondiente sobre la naturaleza de la luz.

Preocupado como estaba desde su primera juventud, con el pensamiento de *la unidad en la naturaleza*, Ørsted tuvo felizmente el privilegio de llegar a determinar la relación entre la electricidad y el magnetismo. Con su método personal había reflexionado mucho sobre los problemas relativos al magnetismo y a la electricidad, y había trabajado obstinadamente sobre los fenómenos del galvanismo en su laboratorio, de suerte que bien había merecido hacer su gran descubrimiento, aun si hubiera que reconocer que la resolución de muchas otras importantes investigaciones científicas resulta bastante más laboriosa que en su caso.

Su descubrimiento le proporcionó un sentimiento profundo de reconocimiento y una fe fortalecida en la unidad de la naturaleza y en la importancia del estudio de las ciencias para el progreso feliz de la humanidad. En 1822, realizó su tercer gran viaje al extranjero. Visitó Alemania, Inglaterra y Francia, y en todas partes le fueron tributados homenajes por su descubrimiento del electromagnetismo. En ese período, Francia es el país que le atrae principalmente y, en una carta dirigida a los suyos, hace la crítica de la vida intelectual en Alemania y de su estado de espíritu. Durante este viaje se ocupó de una idea, que tuvo como efecto desviarle más y más del trabajo puramente científico, para hacerle aplicarse a problemas de un carácter más bien organizador y social, a saber: a ejemplo de Inglaterra, la fundación de una sociedad de vulgarización científica y para el progreso de estos estudios.

En el invierno de 1824-1825, esta sociedad celebró su primera sesión, y fue, desde entonces, una institución de fundamental importancia para la ciencia danesa. Ørsted administró por sí mismo la sociedad hasta su muerte y le consagró mucha energía e interés, aun cuando no logró realizar todos los proyectos que había imaginado. Puso las bases de muchas instituciones: primero de «Den politekniske Laereanstalt» o, como ahora se llama: «Danmarks tekniske Højskole». Esta escuela politécnica fue fundada por Ørsted, que la dirigió desde 1829, e hizo desde entonces rápidos progresos. Todas sus empresas prosperaron de una manera verdaderamente milagrosa y su pensamiento estaba siempre abierto hacia nuevas posibilidades.

De la Escuela politécnica salieron otras escuelas: la Escuela de farmacia, la Escuela de agricultura y asimismo instituciones tales como la Oficina meteorológica; y todas estas escuelas e instituciones llevaron el sello de la viva comprensión que tenía Ørsted de las posibilidades futuras de la ciencia y de la técnica. La Escuela politécnica danesa se basó en el modelo de la Escuela politécnica francesa, que Ørsted conociera bien durante sus viajes por ese país.

El trabajo científico de Ørsted se demoraba, como hemos dicho, cada vez más, a medida que sus cargos administrativos iban ocupándole progresivamente. Tuvo tiempo, a pesar de ello, para realizar algunas investigaciones experimentales importantes. Preparó cloruro de aluminio y quizá también aluminio puro, pero el honor de haber aislado este metal le corresponde al químico alemán Wöhler, que reconoce no obstante, haberse inspirado en el estudio de Ørsted sobre la producción del cloruro de aluminio. Realizó, además, sirviéndose de un aparato construido por sí mismo, el piezómetro de Ørsted, una serie de investigaciones, comenzadas en 1817, sobre la compresibilidad de los líquidos; se distinguen entre sus obras por el espíritu de método con que fueron llevadas a cabo. A pesar de sus abrumadoras tareas, Ørsted produjo igualmente extensas publicaciones en forma de cursos y de tratados de carácter instructivo filosófico y estético.

Agrupó una parte de sus tratados filosóficos, discursos y diálogos en una obra conocida: *El Alma en la Naturaleza*, que fue traducida a varias lenguas. Esta obra es un especial testimonio de su filosofía, en la cual las leyes de la ciencia y el ideal del cristianismo aparecen inseparables.

Tan profundamente religioso como fue, sus puntos de vista no concordaban en modo alguno con las ideas tradicionales de sus contemporáneos, y tropezaron con la oposición de la Iglesia. Expuso, no obstante, sus concepciones de una forma tan moderada, que siempre se evitó una ruptura abierta con la Iglesia, a pesar de su radicalismo evidente, que se manifiesta en la crítica que hace de los teólogos y en su manera de interpretar las palabras de la Biblia, y por otra parte, en su afirmación de la supremacía de la ciencia.

El interés de Ørsted por las bellas letras se reveló por un lado en una producción literaria (que

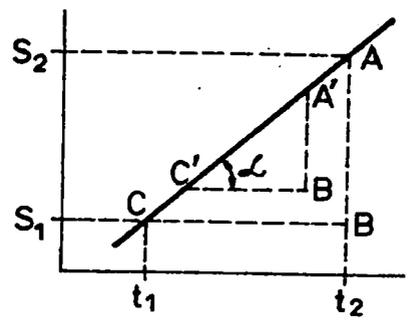


(Anexo 5)

Experiencia 2.

"VELOCIDAD Y ACELERACION: ESTUDIO DEL MOVIMIENTO RECTILINEO CON EL TICOGRAFO"

1 Teoría (repaso)



Si la velocidad  $\underline{v}$  es constante:

$$v = \frac{AB}{CB} = \frac{A'B'}{C'B'} = \text{tg } \alpha$$

Si la velocidad  $\underline{v}$  es variable:  
velocidad media

$$v = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S}{t}$$

velocidad instantánea: es  $\Delta t \rightarrow 0$

$$v_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt} = \text{tg } \alpha$$

Si  $\vec{v} = \text{const.}$  el movimiento es rectilíneo y uniforme, siendo  $\vec{a} = 0$

Si  $\vec{v} \neq \text{const.}$ , es  $\vec{a} \neq 0$

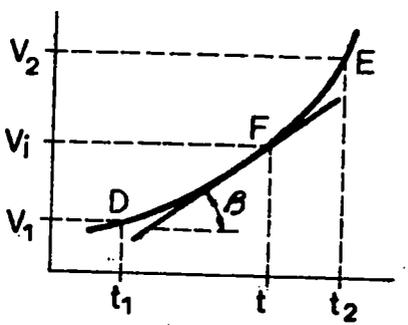
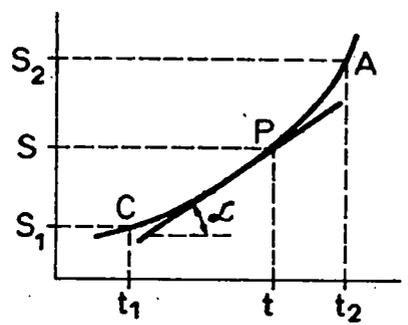
Entonces:

$$\text{Aceleración media } a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Aceleración instant. se tiene  $\Delta t \rightarrow 0$

$$a_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \text{tg } \beta$$

$$a_i = \frac{dv}{dt} = \frac{d\left(\frac{ds}{dt}\right)}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$



## 2 Método experimental

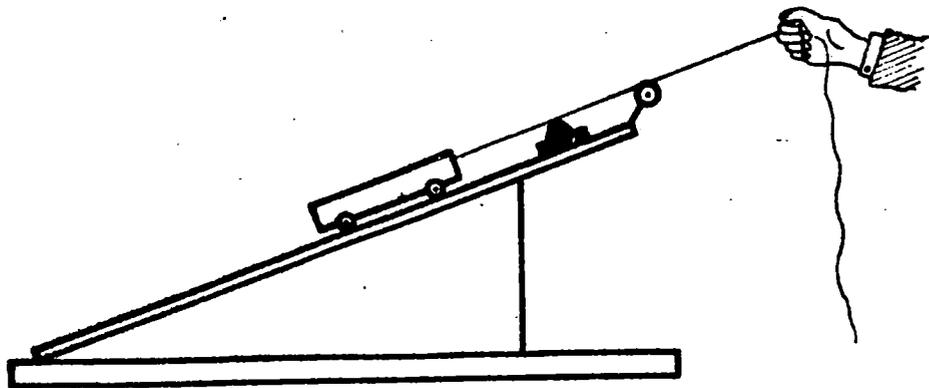
- Las experiencias serán realizadas mediante el plano inclinado y carrito que se suministra.
- Para determinar el tiempo se usa el ticógrafo.

## 3 Material

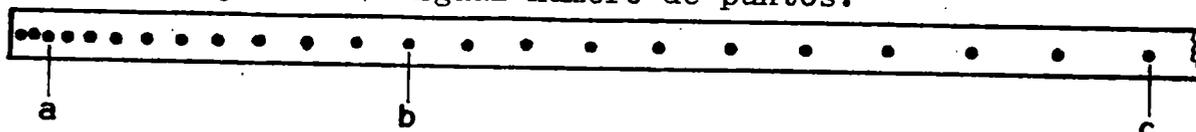
- Plano inclinado.
- Carrito.
- Ticógrafo.
- Estroboscopio (opcional)
- Papel impresor.
- Regla milimetrada.

## 4 Método operatorio

- 4.1. Tarado del ticógrafo: utilizar si se considera necesario un estroboscopio.
- 4.2. Determinación de la gráfica "espacio-tiempo":
  - Instalar el plano inclinado y accesorios según figura.
  - Fijar al extremo del carrito una tira de unos 2 m de cinta registradora. Pasar la tira a través de la guía del registrador. Sostener detenido el carrito sujetando la cinta registradora.



- Conectar el ticógrafo dejándolo funcionar unos segundos. Liberar entonces el carrito. Este descenderá por el plano inclinado deteniéndose finalmente en el parachoques. Sepárese la cinta registrada.
- Utilizando un lápiz divídase la cinta punteada en trayectos de igual número de puntos.



- Puede designarse como "unidad de tiempo UT" el tiempo transcurrido cada cuatro puntos, o sea  $1 \text{ UT} = 4 \text{ p.}$
- Puede calcularse la equivalencia entre la unidad UT y el segundo.
- Construyase la gráfica espacio-tiempo utilizando los datos del cuadro de valores siguientes:

<u>distancias</u>	<u>longitudes (cm)</u>	<u>tiempos UT</u>
AB	-	-
BC	-	-
CD	-	-
.	.	.
.	.	.
.	.	.

- Para encontrar la velocidad en un instante dado (velocidad instantánea) hay que trazar una tangente a la curva en el punto considerado. A continuación, tomando dos puntos cualesquiera de la tangente, determinar la pendiente. El valor de dicha pendiente es la velocidad instantánea buscada.
- Utilizando el método anterior trazar seis o siete tangentes a puntos elegidos.
- ¿Cuál es la velocidad del carrito al final de cada uno de los trayectos AB, BC, CD etc.?

#### 4.3. Determinación de la gráfica "velocidad-tiempo"

- Inscribir en el cuadro siguiente los valores obtenidos

tiempo UT	0	1	2	3	4	5	6	7
veloc. $\frac{\text{cm}}{\text{UT}}$								

- Construir la gráfica "velocidad-tiempo"

#### 4.4. Determinación de la gráfica "aceleración-tiempo":

- Utilizando la gráfica "velocidad-tiempo", determinar la aceleración instantánea para los seis o siete tiempos antes elegidos, trazando las correspondientes tangentes según dichos puntos.

Situar los valores obtenidos según el siguiente cuadro

tiempos UT	0	1	2	3	4	5	6	7
aceler. $\frac{\text{cm}}{\text{UT}^2}$								

Construir la gráfica "aceleración-tiempo"

Indicar como es la aceleración, cual es el valor encontrado y describir el tipo de movimiento.

Experiencia 3

"MOVIMIENTO DE CAIDA LIBRE: ESTUDIO CON EL TICOGRAFO"

1 Método experimental.

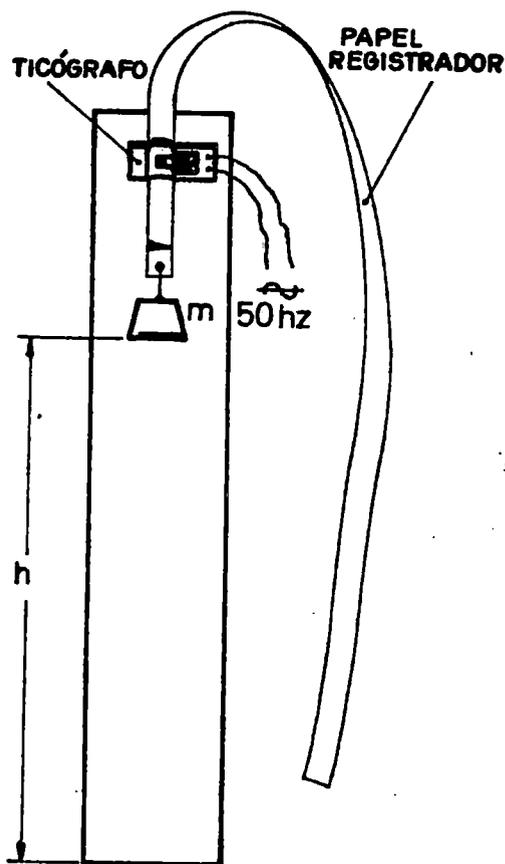
La medida de la aceleración  $g$  se realiza a partir del estudio del registro realizado por el ticógrafo sobre una cinta impresora sujeta al cuerpo pesante objeto de la experiencia.

2 Material.

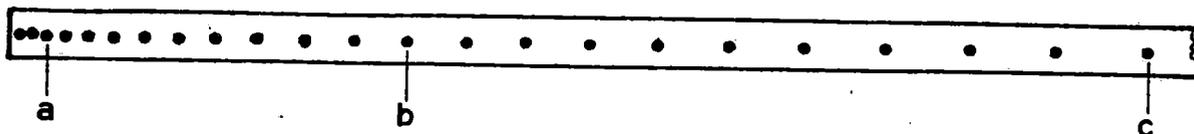
- Base de plano inclinado.
- Ticógrafo.
- Cinta impresora.
- Regla milimetrada (1 m).
- Peso de 200 gr.

3 Método operatorio.

- Montese el material según el esquema.
- Tomar unos 3 m de cinta impresora, y sujetar a uno de sus extremos el peso de 200 gr.
- Sujetar la cinta impresora de forma que el peso quede suspendido a 2 m de altura.
- Hacer funcionar el ticógrafo durante unos segundos y soltar rápidamente la cinta a fin de que el peso caiga libremente.



La cinta que ha registrado el movimiento se divide en recorridos  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$  ... etc., que comprendan por ejemplo 10 puntos cada uno.



En el punto a la velocidad es  $v_0$ . Desde a hasta b el tiempo transcurrido es  $t_1$ . Por tanto  $ab = v_0 t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2$

Para recorrer ac el tiempo será  $2t_1$ . Será pues:

$$ac = v_0(2t_1) + \frac{1}{2} g(2t_1)^2 = 2v_0 t_1 + \frac{4}{2} g t_1^2$$

$$ad = v_0(3t_1) + \frac{1}{2} g(3t_1)^2 = 3v_0 t_1 + \frac{9}{2} g t_1^2$$

$$\text{Y en general para } ax = n v_0 t_1 + \frac{n^2}{2} g t_1^2$$

Para conocer las distancias  $ab, bc, cd, \dots$  etc. será:

$$ab = v_0 t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2$$

$$bc = ac - ab = (2v_0 t_1 + \frac{4}{2} g t_1^2) - (v_0 t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2) = v_0 t_1 + \frac{3}{2} g t_1^2$$

$$cd = ad - ac = (3v_0 t_1 + \frac{9}{2} g t_1^2) - (2v_0 t_1 + \frac{4}{2} g t_1^2) = v_0 t_1 + \frac{5}{2} g t_1^2$$

$$\text{Y en general } mn = v_0 t_1 + \frac{2n-1}{2} g t_1^2$$

Calcúlese el aumento de longitud en cada desplazamiento, o sea  $bc - ab; cd - bc; de - cd$ , etc.

$$\text{Comprobar si es } \Delta S = \text{const.} = g t_1^2$$

Determinese el valor medio de  $\Delta S = \frac{\sum \Delta S}{n}$  y calcúlese  $g = \frac{\Delta S}{t^2}$  en  $\frac{\text{cm}}{\text{UT}^2}$  y en  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Experiencia 4

"LEYES DE NEWTON: ESTUDIO DE FUERZAS, MASAS Y ACELERACIONES"

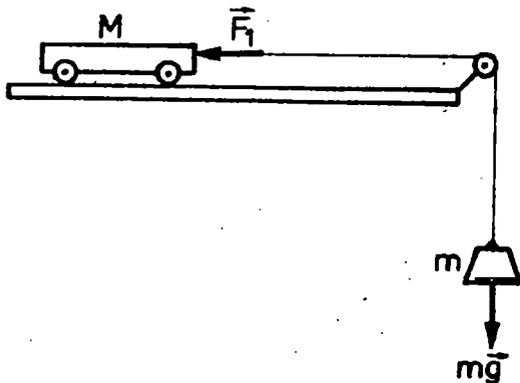
1. Teoría (repaso)

- Principio de la inercia.

- Relación fundamental de la Dinámica  $\vec{F} = Kma$

- Principio de acción y reacción  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

- Fuerzas de inercia: si  $\vec{a}$  es la aceleración de M la



fuerza de inercia  $\vec{F}_1$  del carrito es  $\vec{F}_1 = Ma$

La fuerza que genera el movimiento es  $m\vec{g} = (m + M) \vec{a}$

Por tanto para la fuerza de inercia se tiene:  $\vec{F}_1 = \frac{Mm\vec{g}}{m+M}$

2. Método experimental

Las experiencias se realizan utilizando plano inclinado provisto de polea, carrito y contrapesos.

Para determinar el tiempo se utiliza el ticógrafo.

3. Material

Plano inclinado

Carrito

Ticógrafo

Cinta impresora

Regla milimetrada (1 m)

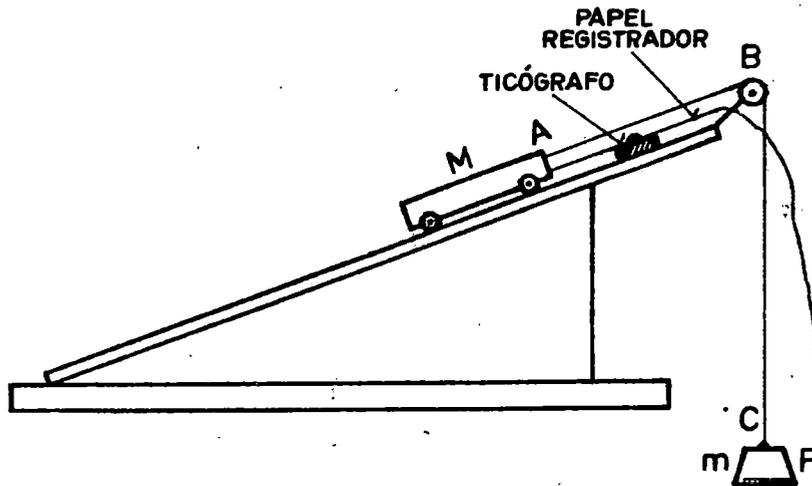
Pesos

Dinamómetro (opcional)

4. Método operatorio

4.1. Determinación de la aceleración del sistema: Montar los elementos según el esquema siguiente, teniendo en cuenta

que el carrito puede subir o descender, según sean los valores de  $M$  y  $m$  y la inclinación del plano.



Determinar las masas  $M$  y  $m$  utilizando una balanza.

Sujetar el hilo a fin de mantener detenido el carrito.

Determinar experimentalmente la fuerza  $F$  de tensión del hilo.

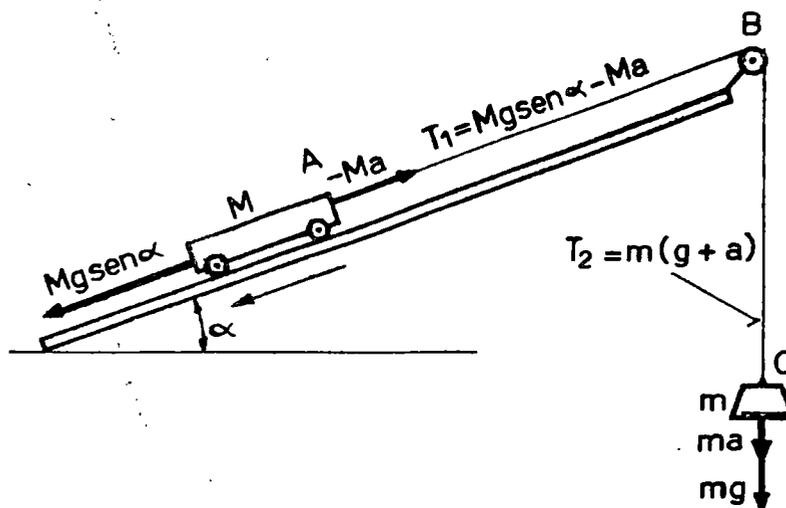
Liberar el hilo a fin de que el sistema de masas se pona en movimiento. ¿Cuál es la expresión matemática de la aceleración  $\underline{a}$  del sistema? ¿Cuales son los datos experimentales necesarios para incluir en la citada expresión de  $\underline{a}$ ?

Determinar experimentalmente dichos datos y calcular el valor de la aceleración  $\underline{a}$ .

Calcular también dicha aceleración utilizando el registro del ticógrafo. Comparar ambos valores.

4.2. Ecuación general del movimiento:

El conjunto de fuerzas concurrentes sobre el sistema puede establecerse según el siguiente esquema (en el caso de que el carrito descienda)



Tensión sobre la zona AB del hilo:  $T_1 = Mg \operatorname{sen} \alpha - Ma$

Tensión sobre la zona BC del hilo:  $T_2 = mg + ma$

Siendo  $T_1 = T_2$ ;  $Mg \operatorname{sen} \alpha - Ma = mg + ma$

Puede también razonarse así: las fuerzas de acción que actúan a lo largo del hilo son

$$Mg \operatorname{sen} \alpha (\text{sobre } M) - mg (\text{sobre } m)$$

La resultante de ellas tiene como efecto que las masas  $(M + m)$  sufren una aceleración  $\underline{a}$

$$Mg \operatorname{sen} \alpha - mg = (M + m) a$$

Determinar el valor de la masa  $\underline{M}$  del carrito utilizando para la aceleración  $\underline{a}$  el valor deducido ticográficamente. Comparar esta medida de  $M$  con la obtenida con la balanza.

Repetir la experiencia utilizando otros contrapesos  $\underline{m}$  y determinar de nuevo el valor  $M$  en cada caso

¿Qué conclusiones se obtienen?.

## (Anexo 8)

## Experiencia 5

MOVIMIENTO DE PROYECTILES: COMPOSICION DE MOVIMIENTOS1. Teoría

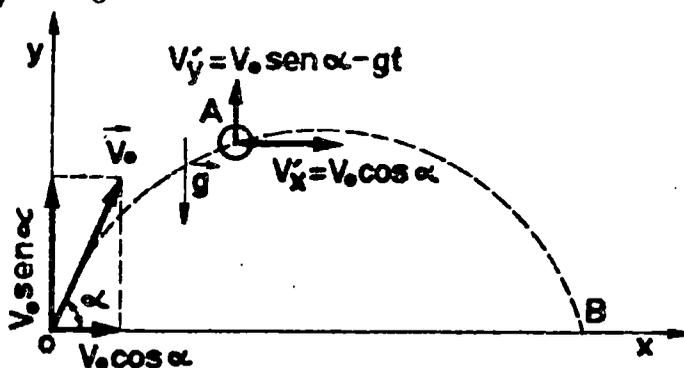
La figura representa bajo forma de diagrama el tiro de un proyectil (no considerando la resistencia del aire).

El proyectil abandona la boca O del arma con una velocidad inicial  $\vec{v}_0$  y ángulo  $\alpha$ . Desde ese instante se considera la atracción gravitatoria.

Los componentes de la velocidad  $\vec{v}_0$  son:

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$v_y = v_0 \operatorname{sen} \alpha$$



La única aceleración sobre el proyectil es la gravitatoria  $\vec{g}$

La proyección del movimiento sobre el eje OX es un movimiento uniforme de ecuación:  $x = v_0 t \cos \alpha$  (a)

Sobre el eje OY la ecuación es:  $y = v_0 t \operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{2} g t^2$  (b)

El movimiento resultante viene de la composición de los anteriores movimientos.

Los componentes de la velocidad en un punto A son:

$$v'_x = v_0 \cos \alpha \quad v'_y = v_0 \operatorname{sen} \alpha - g t$$

## 1.1.- Trayectoria:

Para obtener la ecuación de la trayectoria, o sea la relación entre  $\underline{x}$  e  $\underline{y}$  basta eliminar  $\underline{t}$  entre las ecuaciones

anteriores (a) (b)

$$\text{obteniéndose: } y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g(\operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{2v_0^2} x^2$$

que es la ecuación de una parábola

### 1.2. Alcance horizontal:

Es la distancia  $x$  desde el punto de lanzamiento  $O$  al de caída  $B$ . Siendo  $y = 0$  la ordenada en  $B$ , se tiene:

$$0 = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \text{ de donde } \begin{cases} x_1 = 0 \\ x_2 = \frac{2v_0^2 \cos^2 \alpha \operatorname{tg} \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g} \end{cases}$$

ecuación con dos soluciones

1.3. Alcance máximo horizontal: se dá si  $\operatorname{sen} 2\alpha = 1$ ; para  $\alpha = 45^\circ$  de ángulo de tiro

1.4. Duración del trayecto del proyectil:

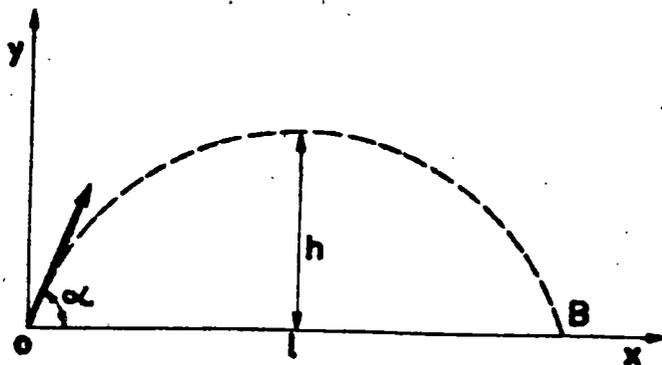
$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} = \frac{2v_0 \cos^2 \alpha \operatorname{tg} \alpha}{g \cos \alpha} = \frac{2v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g}$$

1.5. Altura máxima alcanzada (h):

En la ecuación  $v'_y = v_0 \operatorname{sen} \alpha - gt$  será  $v'_y = 0$ ;  $v_0 = \frac{gt}{\operatorname{sen} \alpha}$

$$y \quad t = \frac{v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g}$$

de donde  $y = h = v_0 t \operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{2} gt^2 = gt^2 - \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g}$



1.6. Posición (1) de la altura máxima (h):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Siendo } v'_y = 0 \\ v_o = \frac{gt}{\text{sen } \alpha} \end{array} \right\} x = v_o t \text{ sen } \alpha = \frac{v_o^2 \text{ sen } \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_o^2 \text{ sen } 2\alpha}{2g}$$

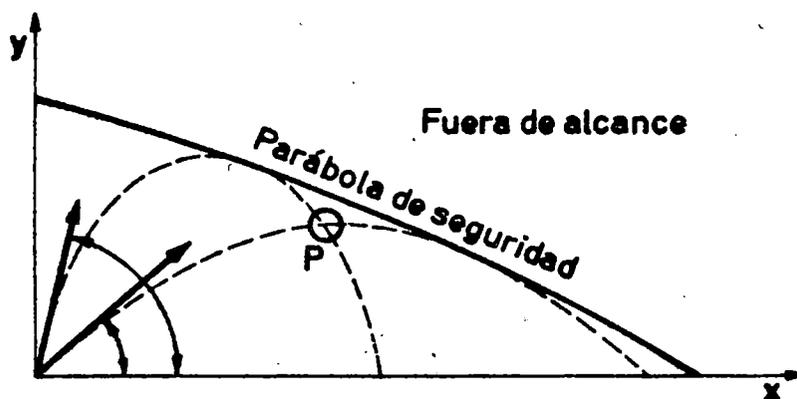
1.7. Angulo de tiro  $\alpha$  para alcanzar un punto P de coordenadas (x y):

Siendo la ecuación de la trayectoria  $y = x \text{tg } \alpha - \frac{g(\text{tg}^2 \alpha + 1)}{2v_o^2} x^2$

organizándola en forma de ecuación de segundo grado (en  $\text{tg}^2 \alpha$ ) (forma general  $ax^2 + bx + c = 0$ )

$$\text{resulta: } \text{tg}^2 \alpha - \text{tg } \alpha \frac{2v_o^2}{gx} + \left(1 + \frac{2v_o^2 y}{gx^2}\right) = 0$$

Siendo esta una ecuación de segundo grado, admite dos soluciones para el ángulo de tiro  $\alpha$  para alcanzar un objetivo P(x,y).



Un punto P solo puede ser alcanzado si se encuentra bajo una parábola (parábola de seguridad) a la cual son tangentes todas las trayectorias.

## 2. Método experimental.

El estudio experimental se realiza mediante una experiencia analógica utilizando una superficie de ensayo cuyo ángulo  $\theta$  de inclinación puede ser variado. El "proyectil" sufre una aceleración  $a = g \text{ sen } \theta$  según muestra la Fig. 2.

### 3. Material

Tabla de ensayo de proyectiles.

Plano inclinado pequeño.

Esfera de acero.

Papel carbón.

Papel de blanco (90 x 70).

Regla milimetrada 1 m.

Cronómetro.

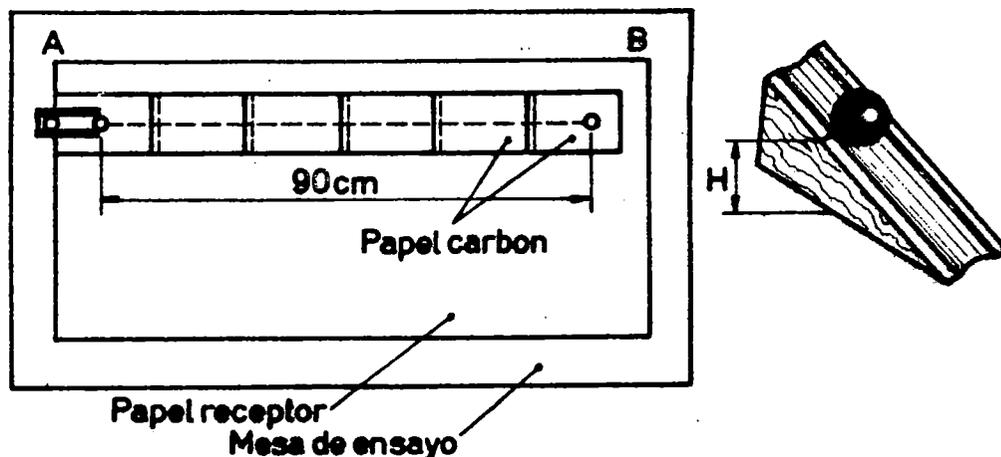
### 4. Método operatorio

4.1. Determinación de la velocidad inicial  $v_0$  del proyectil:

Situar la tabla de ensayo en posición horizontal ( $\theta = 0$ )

Colocar el papel blanco receptor, los papeles carbón y el plano inclinado lanzador según indica la Fig. 1.

Sujetar la bola de acero sobre el plano inclinado lanzador en una cierta posición  $H$  que debe ser anotada.



Dejar rodar libremente la esfera desde la cota  $H$  y cronometrar el tiempo que emplea en recorrer la distancia  $AB$ . Repetir y hallar la media. Suponiendo el movimiento uniforme en el trayecto  $AB$ , calcúlese la velocidad constante  $v_0$ .

4.2. Determinación del alcance horizontal en función del ángulo de tiro :

La mesa de ensayo y los accesorios deben ser colocados según muestra la Fig. 2

Se determinará experimentalmente el alcance para  $\alpha = 15^\circ; 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ; 75^\circ$  y  $90^\circ$  girando convenientemente el plano inclinado lanzador.

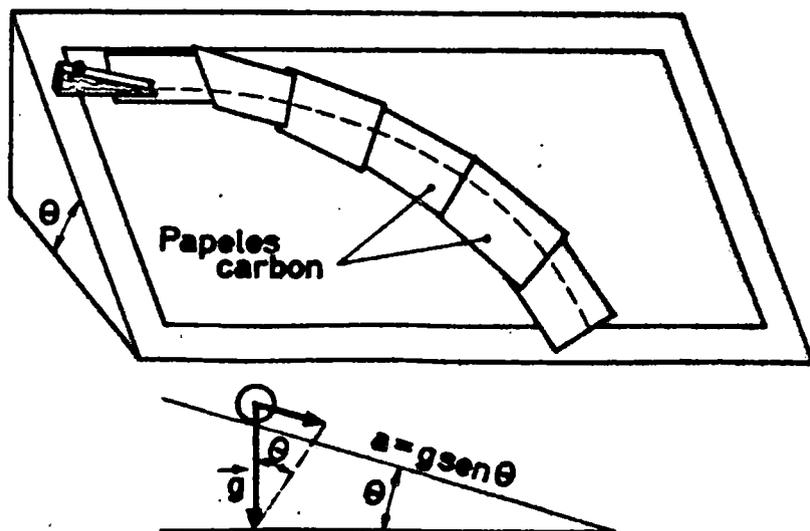
La esfera de acero debe descender siempre de la misma cota  $H$  para la que se calculó la velocidad inicial  $\underline{v_0}$ . La aceleración será  $a = g \sin \theta$

Comparar los valores experimentales con los teóricos obtenidos para dichos ángulos mediante la correspondiente expresión matemática.

Determinar el valor teórico y el experimental de la duración  $\underline{t}$  del trayecto para un ángulo de  $45^\circ$  ¿Cuál es el error relativo?.

Determinar el valor teórico y el experimental de la altura máxima  $\underline{h}$  para  $\alpha = 45^\circ$

Determinar teóricamente el valor del ángulo de tiro para alcanzar un punto  $P$  de coordenadas  $x = 30 \text{ cm}$  y  $y = 9 \text{ cm}$ . Comparar con el valor experimental del ángulo necesario para alcanzar el mismo punto.



(Anexo 9)

## 28. Choque bidimensional

Anteriormente hemos investigado las cantidades de movimiento de los cuerpos que chocan a lo largo de una simple línea recta. ¿Qué sucede cuando los dos

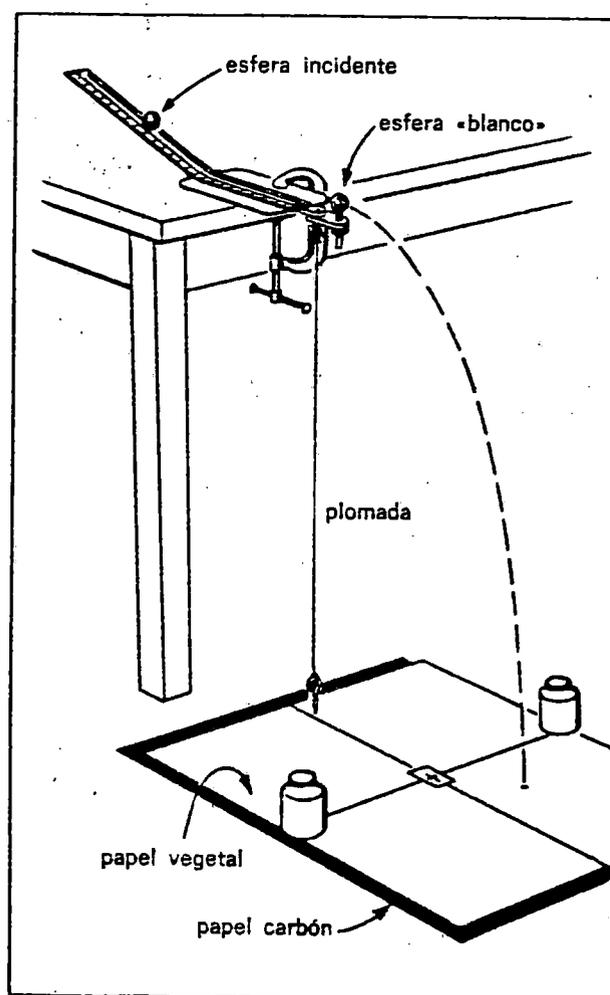


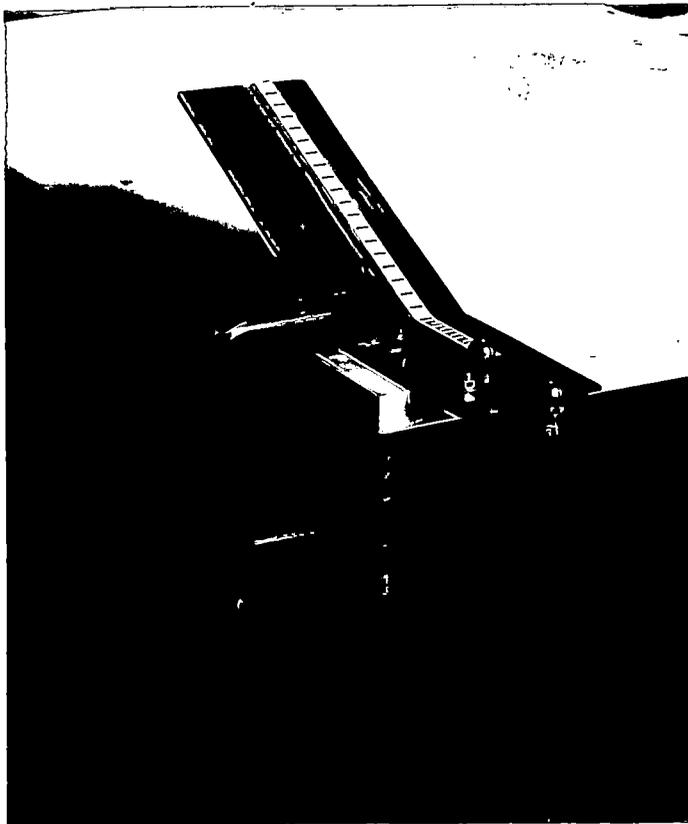
Figura 1

cuerpos salen en diferentes direcciones después del choque? Para determinarlo, dejemos caer una bola de acero por una pendiente, de tal modo que realice una colisión rasante sobre otra bola de acero del mismo tamaño, lanzándola fuera de un soporte próximo al borde de la mesa (fig. 1). Entonces calcularemos las cantidades de movimiento de cada una a partir de sus masas y velocidades.

Para determinar las velocidades de las esferas haremos uso de los conocimientos adquiridos sobre el movimiento de proyectiles (véase texto, sección 12-3). Sabemos que los objetos proyectados con diferentes velocidades horizontales desde el borde de una mesa tardan el mismo tiempo en caer al suelo, despreciando la resistencia del aire. La componente horizontal de su velocidad permanece invariable y, por tanto, la distancia que recorren horizontalmente es proporcional a su velocidad horizontal. Este hecho puede utilizarse para medir las velocidades de las esferas después del choque.

Todo lo que necesitamos hacer es comparar los desplazamientos horizontales de las bolas.

Para dar una velocidad inicial a una de las esferas dejémosla resbalar sobre la regla curvada (fig. 2). La esfera que constituye el blanco descansa sobre la ligera depresión de la parte superior de un tornillo.



Ajustar la altura del tornillo de modo que la bola apoyada en él esté a la misma altura que una bola situada en el extremo inferior de la rampa.

Pegar con cinta adhesiva cuatro hojas de papel vegetal o papel cebolla para formar una hoja mayor, teniendo cuidado de que no se solapen. Hacer lo mismo con cuatro hojas de papel carbón. Colocar con cuidado en el suelo el papel carbón, con la superficie de carbón hacia arriba, y encima colocar el papel vegetal. La masa de la plomada debe pender justamente sobre la mitad del lado más corto (fig. 1). Marcar este punto sobre el papel y colocar unas pesas para que éste quede fijo.

Déjese libre una bolita de acero a 25 cm del extremo inferior de la regla diez o quince veces y trázese una circunferencia que encierre todos los puntos en el papel. ¿Hasta qué grado puede considerarse que la velocidad inicial es la misma?

Con una bolita de acero en equilibrio sobre el tornillo, intentar diversas colisiones, dejando en libertad a la bola incidente desde el mismo punto de la regla que antes. Para cambiar el punto de choque, gírese el brazo que soporta la bola «blanco» un pequeño ángulo. Si trazamos un pequeño círculo numerado que rodee a cada impacto, identificaremos con mayor facilidad las marcas sobre el papel.

Dibujar sobre el papel los vectores que representan las velocidades de las esferas después del choque. La posición de la esfera incidente en el instante del impacto puede determinarse con ayuda de la figura 3.

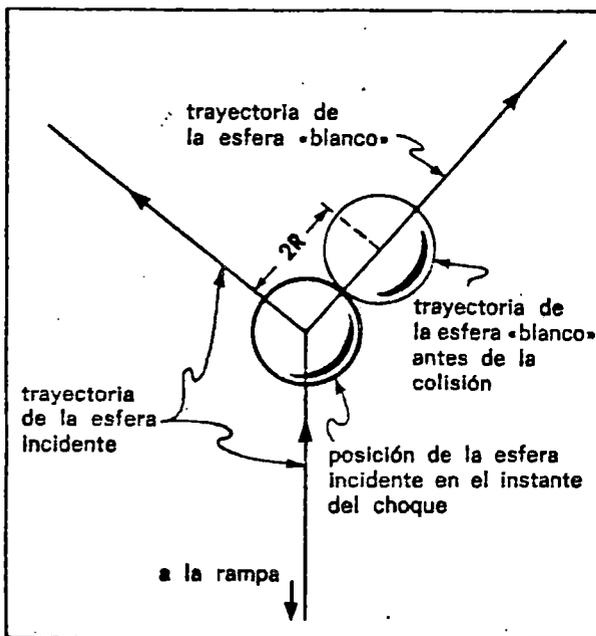


Figura 3

Como las masas de las esferas son iguales, los vectores de velocidad representan también las cantidades de movimiento de las bolas. Sumar gráficamente los dos vectores correspondientes, situando el extremo del que corresponde a la bola «blanco» sobre la flecha del correspondiente a la bola incidente.

¿Qué relación existe entre la suma vectorial de las dos cantidades de movimiento finales y la cantidad de movimiento inicial de la bola incidente? ¿Se conserva la cantidad de movimiento en estas interacciones? ¿Y qué relación hay entre la suma aritmética de las dos magnitudes de la cantidad de movimiento después de la colisión y la que corresponde a la cantidad de movimiento inicial de la bola incidente?

Repítase la experiencia con dos esferas de masas desiguales, pero de igual tamaño. ¿Cuál debe usarse como esfera incidente? ¿En qué relación se encuentra la suma vectorial de las velocidades comparada con la velocidad inicial? ¿Cómo se convertirán los vectores velocidad en vectores cantidad de movimiento en este caso en que las masas de las dos esferas no son iguales? ¿Qué relación existe entre la suma vectorial de las cantidades de movimiento finales y la cantidad de movimiento inicial?

Compárense las componentes vectoriales de las cantidades de movimiento finales de las dos esferas en dirección normal a la cantidad de movimiento inicial. ¿Qué resultado se encuentra?

Al estudiar los choques en dos dimensiones (Experimento 28), sólo nos ocupábamos de comparar cantidades de movimiento antes y después del choque. Sin embargo, los registros de estos choques pueden servir también para comparar la energía cinética de las bolas antes y después de la colisión.

Consideremos primero las dos bolas de acero de masas iguales. Su energía cinética antes del choque es  $\frac{1}{2}mv_1^2$ ; después del choque vale  $\frac{1}{2}mv_1'^2 + \frac{1}{2}mv_2'^2$ . Si en el choque se conserva la energía cinética, es decir, si el choque es elástico, se tiene

$$v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2.$$

¿Qué nos dice esta ecuación acerca del ángulo que forman los vectores velocidad  $v_1'$  y  $v_2'$ ? Medir estos ángulos en las experiencias realizadas en el experimento anterior. ¿Qué conclusiones se sacan sobre la elasticidad de los choques?

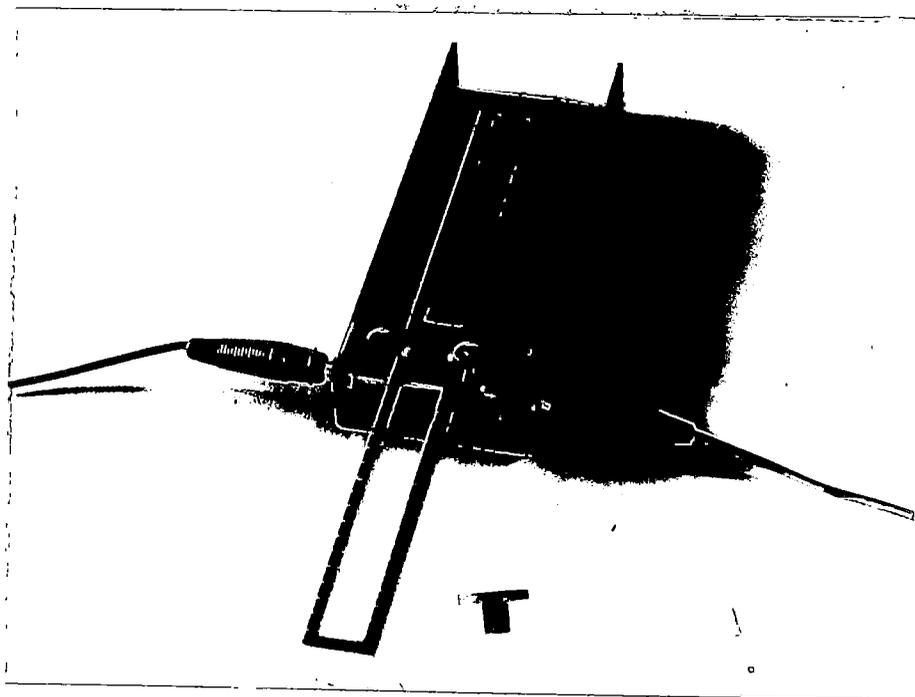
Cuando las bolas que chocan tienen masas diferentes, la elasticidad del choque ya no puede determinarse a partir del examen a la medida de un ángulo. Para reducir la cantidad de cálculos necesarios para comprobar la relación  $\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$ , se puede dividir primeramente ambos miembros por  $\frac{1}{2}m_1$ . A partir de los datos obtenidos en los choques entre bolas de acero y vidrio, ¿qué conclusión se obtiene sobre la elasticidad de los choques?

(Anexo 10)

## 42. Medida de un campo magnético en unidades fundamentales

En experiencias anteriores medimos la intensidad del campo en función de la componente horizontal del campo magnético terrestre. En esta experiencia mediremos campos magnéticos en unidades más fundamentales, utilizando la fuerza que un campo ejerce sobre un alambre que transporta una corriente. Si medimos la fuerza  $F$  en newtons, la corriente  $I$  en amperes y la longitud del alambre  $L$  en metros, la intensidad del campo  $B$  en  $\frac{\text{newtons}}{\text{ampere-metro}}$  viene dada por

$$B = \frac{F}{IL}$$



siempre que el alambre sea perpendicular a la dirección del campo.

La figura 1 muestra una balanza sensible que puede utilizarse para determinar la fuerza que se ejerce sobre un alambre de corta longitud introducido en un campo magnético. Si la balanza está orientada de tal modo que el extremo de la espira metálica en forma de U (A en la figura 1) es perpendicular al campo, mientras que los brazos de la U son paralelos al mismo, la fuerza ejercida por el campo sólo actuará sobre dicho extremo y podrá medirse equilibrando la balanza con un peso conocido que cuelga del otro extremo.

En esta experiencia determinaremos la magnitud del campo magnético en el centro de un carrete alargado (un solenoide) de alambre que transporta una corriente. Conectar la balanza, el carrete, las resistencias variables y los amperímetros a una fuente de corriente como la indicada en la figura 2. Asegurémonos de que todos los bornes están limpios y bruñidos para que los contactos eléctricos sean buenos.

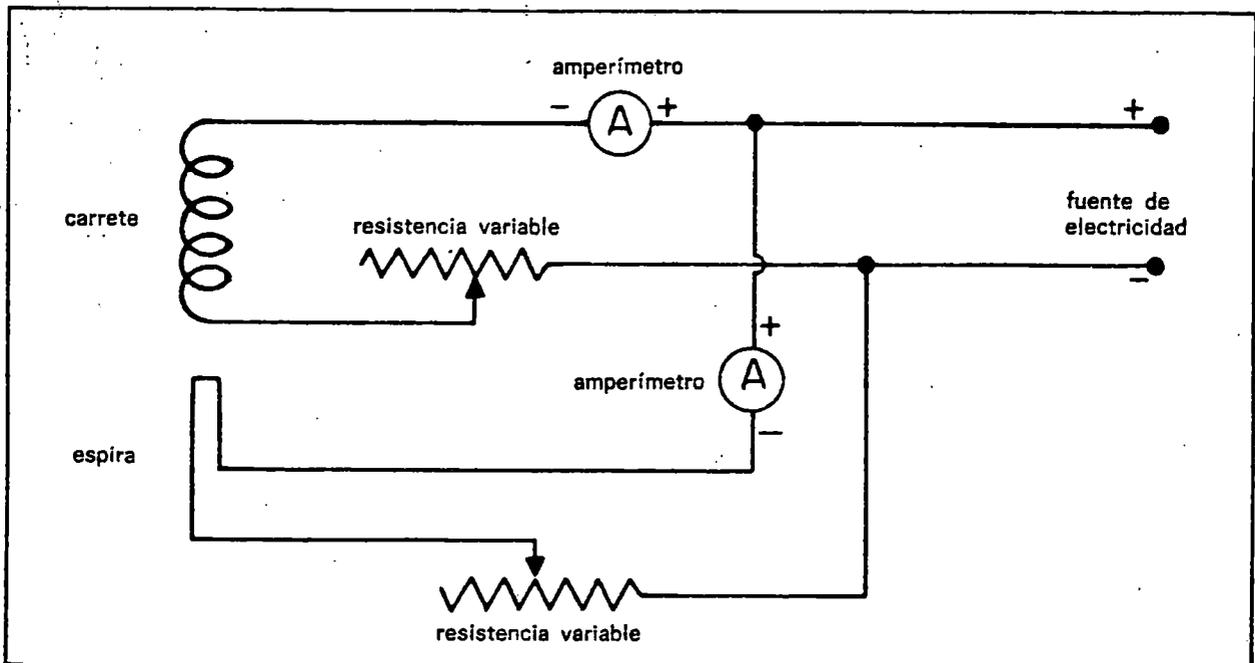


Figura 2

Sin corriente en el aparato, colocar el extremo de la espira metálica de la balanza en el centro del carrete (fig. 3). Nivelar la balanza ajustando la posición de la tuerca. Entonces hacer circular una corriente de unos 4 amperes, estableciendo así un campo magnético en el centro del carrete. Este campo puede medirse haciendo pasar una corriente de 1 ampere a través de la espira de la balanza y determinando la fuerza necesaria para equilibrarlo. Equilibrar aproximadamente la espira con un pedazo corto de cuerda y después nivelar exactamente

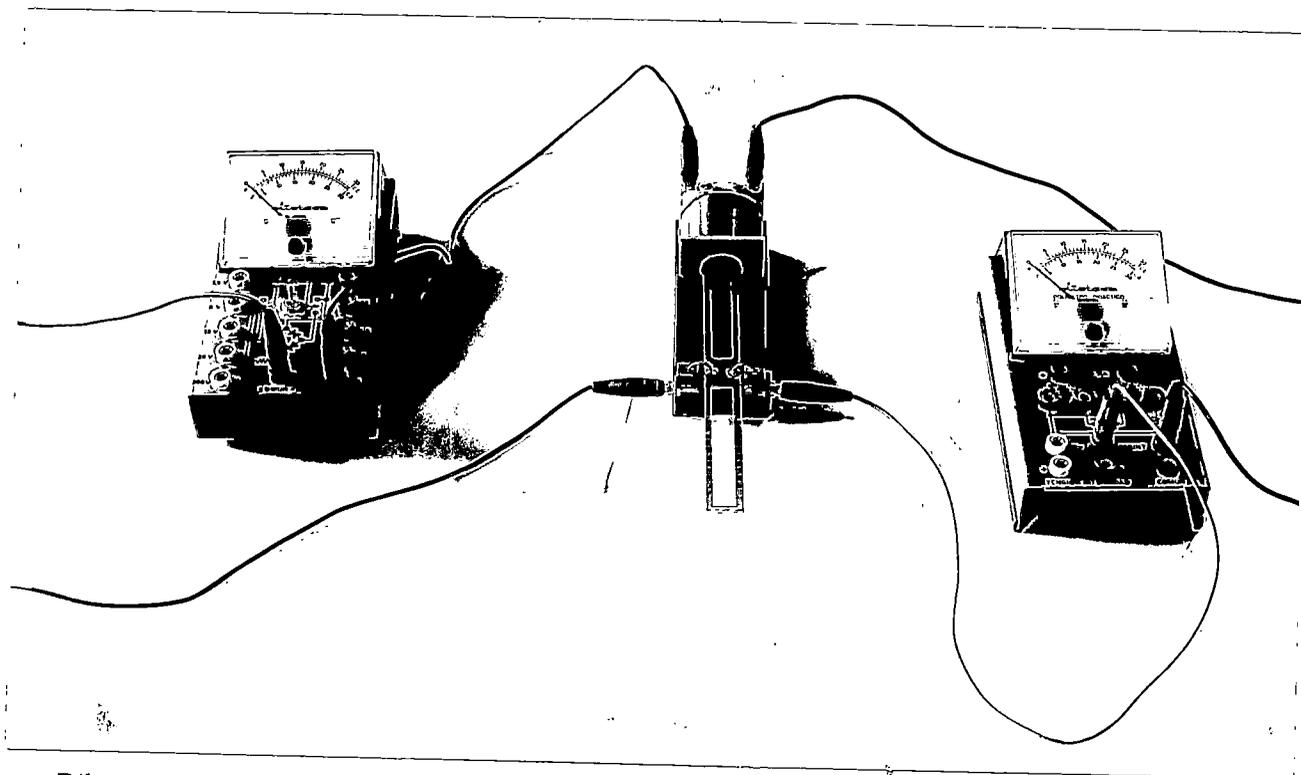
ajustando la corriente que lo atraviesa. (Si la corriente de la espira fluctúa mucho cuando la balanza está oscilando es porque los contactos están corroídos o sucios.)

Encontrar el peso de hilo necesario para equilibrar diversos valores de la corriente en la espira. (La corriente en la espira no debe sobrepasar los 5 amperes o los contactos se corroerán.) ¿Cuál es la intensidad del campo en el centro de la bobina en  $\frac{\text{newtons}}{\text{ampere-m}}$ ? ¿Cuál es la intensidad del campo en newton-seg por

carga elemental y por metro? ( $1 \text{ ampere} = 6,25 \cdot 10^{18}$  cargas elementales/seg.)

Medir en la bobina el campo que se obtiene cuando existen otros valores de la corriente en la espira. (Cinco amperes es la máxima corriente que puede circular por la bobina sin sobrecalentarse.)

¿Demuestran estas medidas que el campo dentro de la bobina es proporcional a la corriente que fluye por ella?



Dibujar un gráfico de la intensidad del campo en función de la corriente que pasa por la bobina. Si todas las bobinas utilizadas por la clase son iguales, reunir todos los datos obtenidos en un histograma y a partir de él determinar el mejor valor de la pendiente de la gráfica.

¿Podría utilizarse este aparato para medir el campo cercano a un pequeño imán permanente? ¿Puede utilizarse para medir directamente el campo magnético terrestre?

¿Por qué no se utiliza hierro para la espira de la balanza?

(Anexo 11)

## 43. La masa del electrón

Un electrón, inicialmente en reposo, se acelera en un campo eléctrico y adquiere una energía cinética igual al producto de su carga por la diferencia de potencial a través de la cual se mueve;  $\frac{mv^2}{2} = qV$ . Si el electrón de velocidad  $v$  se mueve dentro un campo magnético uniforme perpendicular a su dirección de movimiento, el campo ejerce una fuerza centrípeta perpendicular al movimiento del electrón y a la dirección del campo. Esta fuerza depende de la intensidad del campo magnético  $B$ , de la carga del electrón y de su velocidad;  $F = Bqv$ . El electrón seguirá una trayectoria circular de radio  $R$  dada por

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

Igualando las dos expresiones de la fuerza magnética,  $F = Bqv$  y  $F = \frac{mv^2}{R}$ , resulta

$$v = \frac{BqR}{m}$$

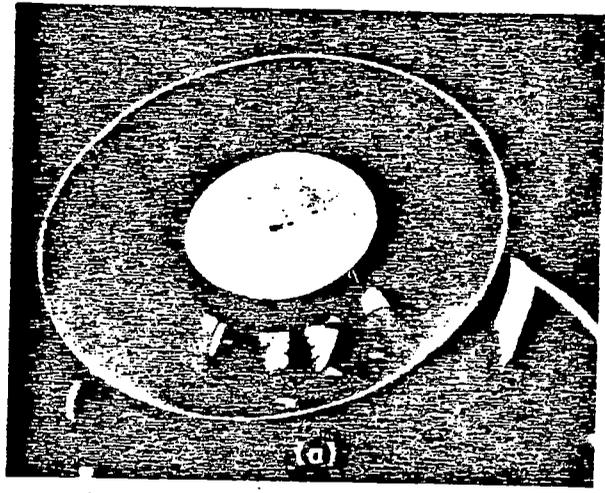
o sea

$$v^2 = \frac{B^2q^2R^2}{m^2}$$

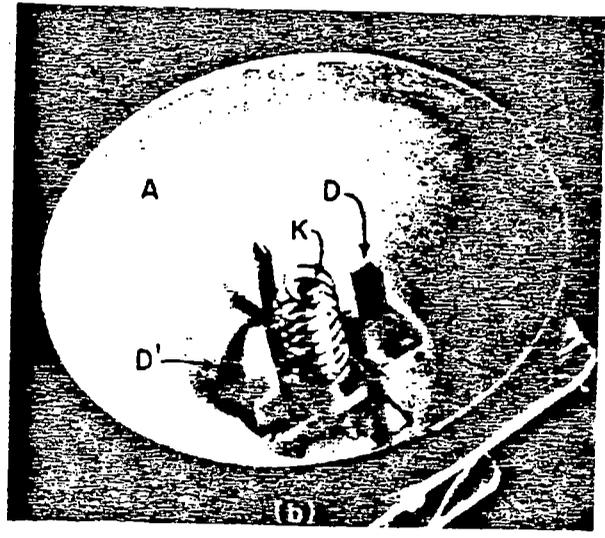
Sustituyendo esta expresión de  $v^2$  en la ecuación  $\frac{mv^2}{2} = qV$ , resulta

$$m = \frac{B^2qR^2}{2V}$$

En lugar de usar el aparato descrito en el texto para acelerar y desviar electrones, utilizaremos una lámpara comercial de radio. La figura 1 muestra la construcción de esta lámpara. Los electrones emitidos por el cátodo son acele-



**Figura 1 (a)**  
Lámpara electrónica a la que se ha quitado la envoltura de vidrio (ojo mágico).

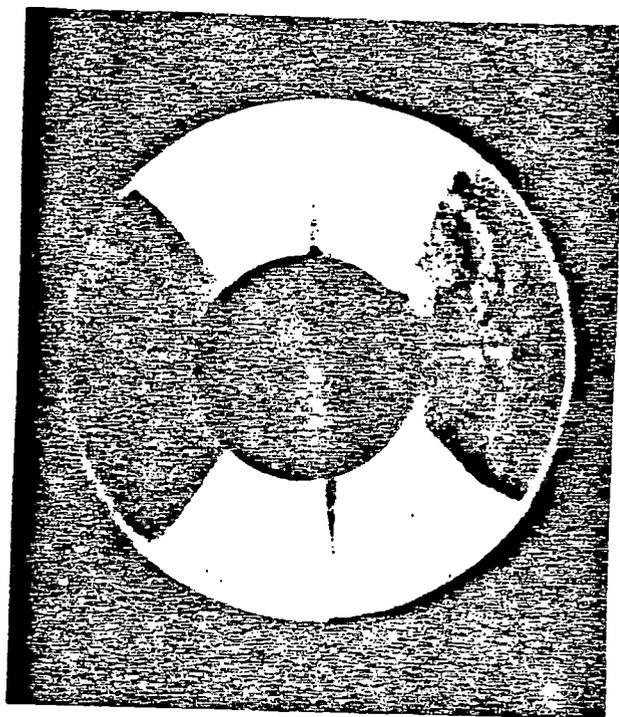
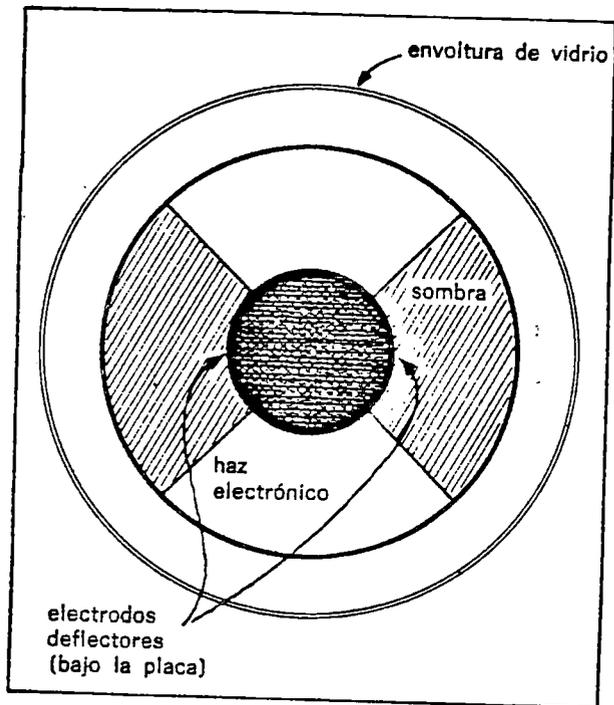


**Figura 1 (b)**  
La placa metálica central antes indicada en (a) ha sido removida de sus soportes metálicos, revelándose las partes importantes de la estructura de la lámpara. K es el cátodo emisor de electrones, D y D' son los electrodos deflectores que originan la sombra, y A es el ánodo sobre el que se ha depositado un material fluorescente.

radados por la diferencia de potencial existente entre el cátodo y el ánodo y se desplazan radialmente hacia el exterior en un haz en forma de abanico; su máxima velocidad se alcanza en el momento que emergen por detrás de la placa metálica

negra que cubre el centro del tubo. Su velocidad es aproximadamente constante en el resto de su trayectoria al ánodo.

El ánodo se recubre con un material fluorescente que emite luz cuando los electrones chocan contra él. Como su forma es cónica es posible ver la trayectoria que los electrones siguen en su movimiento desde que son emitidos por el



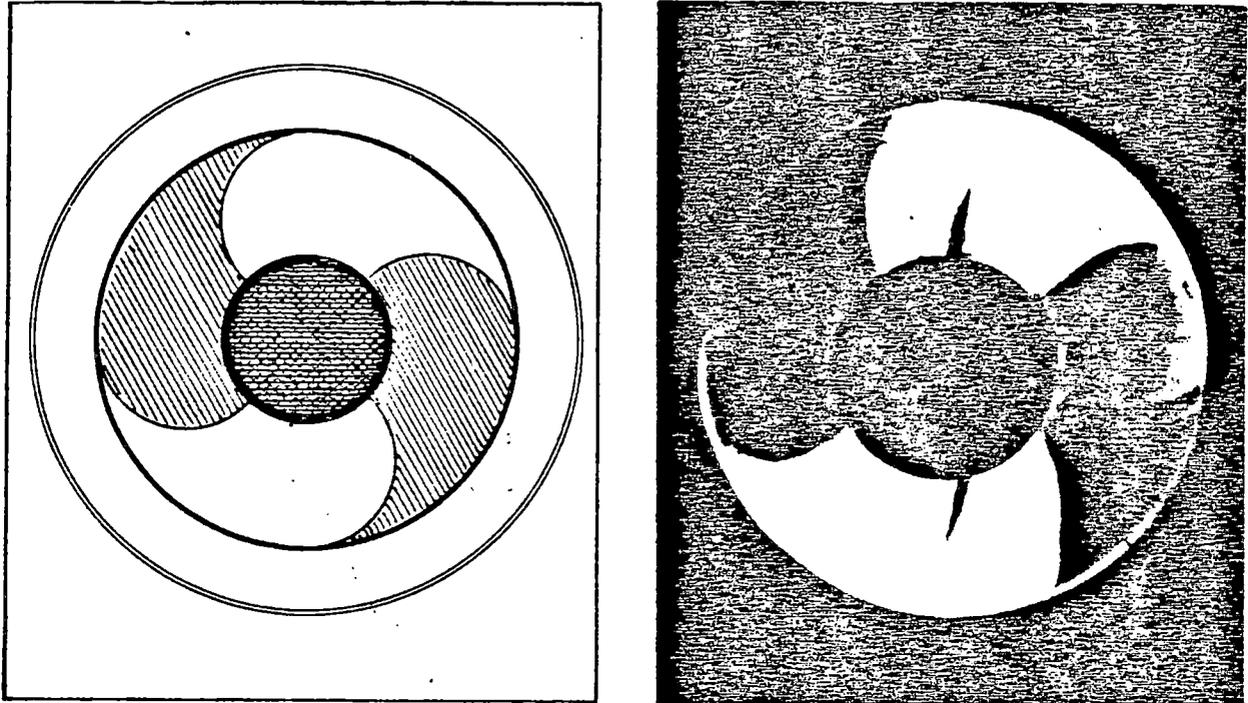
**Figura 2**

El dibujo (izquierda) muestra la sombra y el haz radial que se engendra en ausencia de campo magnético en la lámpara. A la derecha hay una fotografía de la misma en estas condiciones; las dos sombras estrechas son originadas por los alambres que soportan la cápsula central.

cátodo; mirando hacia abajo el ánodo cónico corta diagonalmente el haz electrónico mostrando la posición de los electrones a diferentes distancias del cátodo. Conectados al cátodo existen dos electrones deflectores: cuando no hay presente ningún campo magnético repelen los electrones que se mueven hacia ellos desde el cátodo y dan lugar a una sombra de forma prismática (fig. 2).

Cuando el tubo está dentro de un tubo magnético uniforme paralelo al cátodo, los electrones se desvían en una trayectoria casi circular que da lugar a la curvatura de los bordes de la sombra (fig. 3).

Para crear un campo magnético uniforme en el tubo basta insertar éste en el centro de un largo carrete. Conectar éste y el tubo como indica la figura 4. Establecer el potencial anódico entre 90 y 250 volts y variar el flujo de corriente que circula por el arrollamiento hasta que la curvatura del borde de la sombra sea igual al de cualquier objeto redondo cuyo radio pueda medirse fácilmente.



**Figura 3**

A la izquierda hay un dibujo correspondiente a la forma de la sombra en presencia de un campo magnético. La fotografía de la derecha corresponde a la apariencia real del haz desviado por un campo magnético.

Una moneda, una clavija de madera o un lápiz pueden servir.

Realizar medidas para distintos potenciales anódicos ( $1 \text{ vol} = 1,6 \times 10^{-19}$  joules por carga elemental) y distintos campos magnéticos. ¿Cómo conoceríamos el campo magnético? Calcular la masa del electrón.

¿Es posible utilizar el campo magnético terrestre para desviar el haz? ¿Qué dimensiones debería tener la lámpara utilizada? Suponiendo que la Tierra careciese de campo magnético, ¿sería práctico determinar la masa de un electrón acelerándolo horizontalmente mediante una diferencia de potencial conocida y observando a continuación su desviación en el campo gravitatorio terrestre?

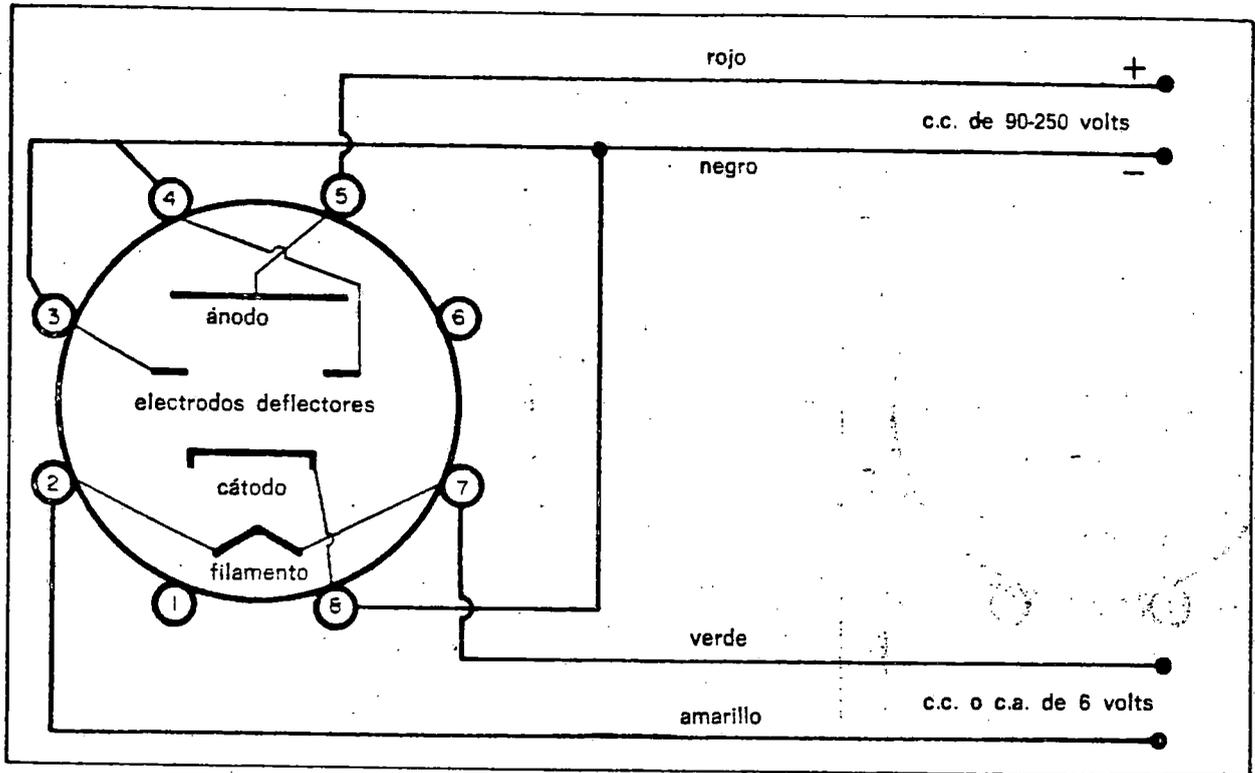


Figura 4 (a)  
Conexiones del circuito para una lámpara electrónica del tipo 6AF6.

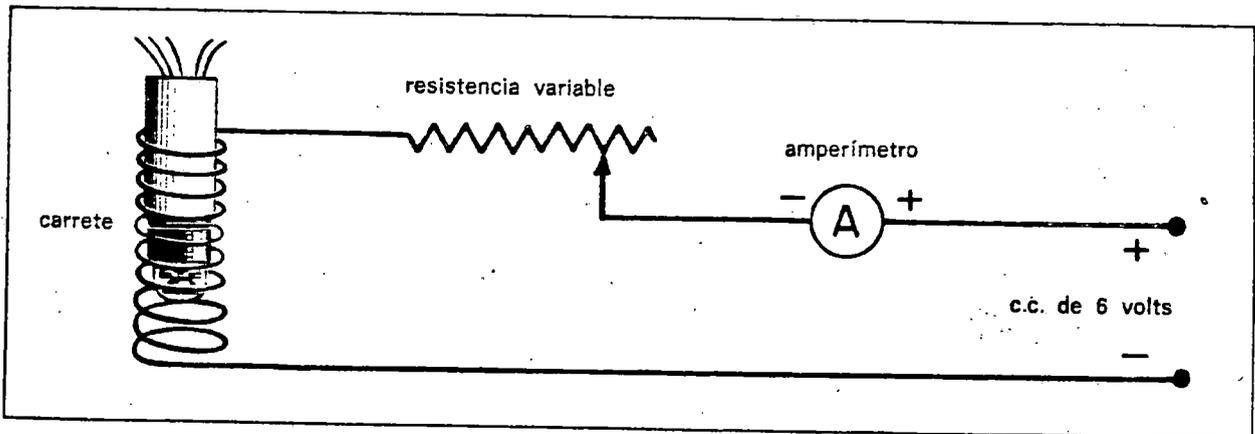


Figura 4 (b)  
Circuito del carrete.

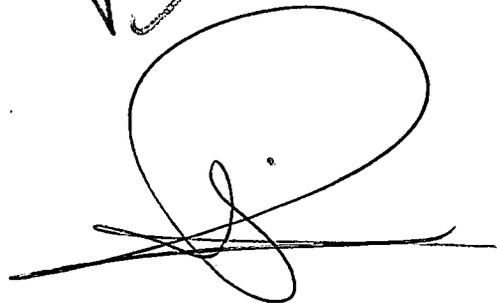
La presente Tesis fué leída en La Laguna ante el Tribunal formado por Dr. Roberto Moreno Díaz, Dr. Gerardo Pardo Sánchez, Dr. Vicente Quesada Paloua, Dr. Francisco Rubio Rey y Dr. Miguel Ferrnández Pérez, mereciendo la calificación de sobresaliente "cum laude"

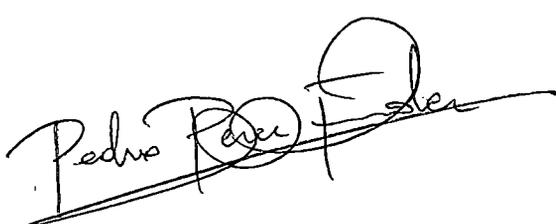
La Laguna, 17 de junio de 1970

  
Francisco Rubio Rey

  
Gerardo Pardo Sánchez

  
Vicente Quesada Paloua

  
Miguel Ferrnández Pérez

  
Roberto Moreno Díaz