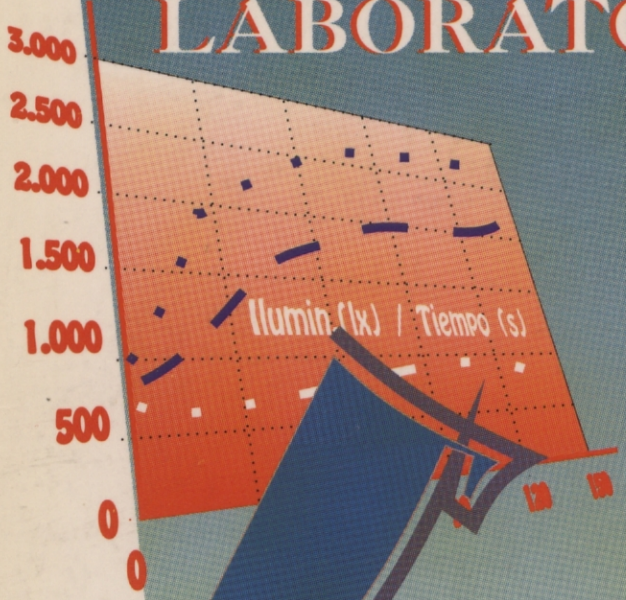
El ORDENADOR en el LABORATORIO



46 Ejemplos prácticos para la Enseñanza Secundaria

58707

58707

58707

7620

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE - BIBLIOTECA

EL ORDENADOR EN EL LABORATORIO

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA
DIR. GRAL. DE RENOVACION PEDAGOGICA
CNREE/S. INNOVACION
14 DIC. 1992
DOCUMENTACION

Ministerio de Educación y Ciencia
Secretaría de Estado de Educación
Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación

R. 131501

BIBLIOMEC 062733

Son autores de esta obra colectiva:

Cipriano Barrio Alonso
Andrés Bayón Fernández
Dolores Blanco García
Luisa Fernanda Blanco Honrado
Clara de Bobes Picornell
Rafael Calderón Fernández
José Campo Viguri
Francisco Cerezuela Fernández
Pedro Antonio Cordero Guerrero
Santiago Cordero Guerrero
Francisco Javier Fernández de Diego
Rafael Francia Verde
Andrés Franco Gómez
Teresa García Sánchez
Manuel Granados Zamora
Juan Carlos Gómez del Campo Bravo
Juan Miguel Gómez-Menor Robles
José Luis Hernández Pérez
Felipe Antonio Hernando Benito
Carlos Herrán Martínez
Antonio Jordá Real
José Enrique Lorenzo Gondar
Gonzalo Llorente Álvarez
María de los Ángeles Nadal Martín
Elvira Novella Felipe
José Luis Parrilla Parrilla
Camino Peláez de Lucas
Juan Manuel Pérez Moreno
Soledad Pérez Serrano
Adalberto Piedrafita Hijós
Julia Rodríguez Martín
Antonio Ruiz Sáenz de Miera
José Luis San Emeterio Peña
Javier Sánchez Vaquero
María Sanz Rodríguez
María del Pilar Serrano Molina
Alfonso Tomás Herrero
Fernando Vázquez Gallardo

Dibujos y gráficos: Carlos Herrán Martínez y José Luis Parrilla Parrilla

Diseño portada: Francisco Javier Capote del Valle y M.ª Teresa Vicario López

Coordinadores: Carlos Herrán Martínez y José Luis Parrilla Parrilla

Ministerio de Educación y Ciencia
Secretaría de Estado de Educación
Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación

N. I. P. O.: 176-92-007-5
I. S. B. N.: 84-369-2259-X
Depósito legal: M-24754-1992
Realización: MARÍN ÁLVAREZ HNOS.

Índice

	Página
Presentación	5
Introducción general	7
Experiencias de Biología	13
Demostración de la capacidad reductora de los cloroplastos	15
Demostración de la capacidad reductora de las mitocondrias	21
Determinación del oxígeno producido en la fotosíntesis por pirogalol	27
Estudio del aumento de la temperatura debido al desprendimiento de energía respiratoria	31
Estudio sobre la pérdida de calor corporal en los animales	35
Fermentación alcohólica de la glucosa	43
Electrocardiograma	53
Influencia de la temperatura y de la luz sobre la vitamina C	63
Análisis comparativo del contenido en vitamina C de diferentes muestras	69
Inversión de la sacarosa	75
Mutarrotación de la glucosa	89
Estudio de la actividad y condiciones de actuación enzimática	101
Experiencias de Física	107
Estudio de un movimiento uniformemente acelerado	109
Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado	115
Estudio dinámico del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado	121
Estudio del péndulo simple	131

Página

Estudio del péndulo y determinación de g 137
Conservación del momento angular 143
Factores de dependencia del calor 153
Calor y temperatura 163
Transmisión del calor por conducción 169
Transmisión del calor. Calor específico 175
Determinación del equivalente en agua de un calorímetro 181
Calorimetría: determinaciòn de calores específicos de líquidos 187
Presión de vapor: sublimación del iodo 195
Ley de Ohm: asociación de resistencias 201
Descarga de un condensador. Medida de la resistencia interna del amplificador 207
Estudio comparativo del comportamiento de una resistencia óhmica y diodos semiconductores... 215
Actividad óptica 225
Polarización de la luz. Ley de Malus 241
Ley de Malus 247
Atenuación de las microondas 255
Absorción de la luz. Ley exponencial-logarítmica 261
Variación de la intensidad luminosa con la distancia. Ley del inverso del cuadrado 267
Medida de la longitud de onda 271
Célula solar. Una investigación para alumnos de Física en el Bachillerato 277

Experiencias de Geología 297
Factores que determinan la velocidad de sedimentación de arcillas en un tubo de ensayos..... 299
Estudio del proceso kárstico 309
Prospección eléctrica 319

Esperiencias de Química 335
Valoración de cloruros por turbidimetría 337
Valoración por colorimetría 343
Determinación experimental de la constante de equilibrio 349
Simulación de un espectrofotómetro. Determinación de la velocidad de reacción 359
Valoraciones conductimétricas ácido-base 369
Comprobación de la Ley de Nernst 379
Variación de la conductividad en un electrólito fuerte en función de su concentración 385

Anexo I: Utilización del programa Works para gestionar los datos registrados con el equipo LAO 395

Anexo II: Relaciones generales 403

Presentación

La fase experimental de los Proyectos Atenea y Mercurio del Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación se desarrolló desde 1985 hasta 1990. Durante dicho período se investigaron y se pusieron a punto diversas estrategias de introducción de las nuevas tecnologías en el aula, definiéndose asimismo la política de equipamiento, la de programas educativos y la de formación del profesorado. A partir del curso 1990-1991 se inició la llamada "fase de extensión", durante la cual se han ensayado diversas estrategias para hacer llegar a los centros educativos de forma escalonada y paulatina las propuestas surgidas del proceso anterior.

En estos momentos se está iniciando la "fase de generalización", tanto en extensión como en profundidad. El objetivo de la generalización en extensión es normalizar los esquemas de formación del profesorado, aplicar las políticas de software *y* hardware *ensayadas, y llevar con eficacia y racionalidad las nuevas tecnologías a todo el colectivo de la enseñanza pública en el territorio que gestiona directamente el Ministerio de Educación y Ciencia. El objetivo de la generalización en profundidad es desarrollar estrategias que permitan el acceso a las actividades con nuevas tecnologías a la totalidad de los alumnos de cada uno de los centros escolares.*

Durante el tiempo transcurrido desde el final de los planes experimentales se han realizado actividades de formación del profesorado, experiencias de aula y jornadas de presentación de estas experiencias que ya contemplan cuestiones y enfoques aprendidos de la etapa experimental. Como resultado de todo ello, se ha generado un material muy valioso que debe difundirse entre el profesorado para su consulta, discusión y análisis.

Para hacer efectiva dicha difusión, el Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación ha diseñado una nueva colección de publicaciones que dan a conocer este tipo de materiales en distintas áreas.

La colección de propuestas prácticas que compone la presente publicación es fruto del trabajo del profesorado de los Seminarios de Biología y Física y Química de centros participantes en el proyecto específico de ***Laboratorio Asistido por Ordenador*** *dentro del Proyecto Atenea. A partir de las Primeras Jornadas de Intercambio de Experiencias, muchos de los profesores y profesoras participantes en ellas se comprometieron a aportar las experiencias presentadas al resto del profesorado. El equipo organizador de las Jornadas llevó a cabo la ardua tarea de ajustar formatos, completar ilustraciones y homogeneizar presentaciones con un entusiasmo sólo comparable al del profesorado participante en las mismas. A todos ellos, gracias a los cuales hoy es posible esta aportación a la introducción de los medios informáticos en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias, nuestro agradecimiento.*

Elena Veiguela Martínez
Directora del Programa de Nuevas Tecnologías
de la Información y de la Comunicación

Introducción general

En la década de los ochenta se ha producido una clara irrupción de la Informática en el control y gestión de los Laboratorios de investigación y de análisis. El mundo educativo no ha sido ajeno a esta situación, ya que en el aprendizaje de las Ciencias Experimentales, junto a las actividades en el aula, las actividades prácticas en los Laboratorios son imprescindibles para la consecución de los objetivos educativos en las disciplinas correspondientes; es precisamente en este ámbito donde surge una aplicación de los medios informáticos, el ***Laboratorio Asistido por Ordenador (L. A. O.),*** *que puede modificar sustancialmente el planteamiento didáctico y los objetivos de aprendizaje del trabajo experimental del alumnado, e, incluso, las actividades del profesorado.*

En la realización de experiencias programadas de Laboratorio en Enseñanza Secundaria, la distribución temporal frecuentemente supone una mayor proporción para la toma de datos empíricos y su gestión, en detrimento del diseño de la propia experiencia y de la elaboración de conclusiones, de tal forma que en estas condiciones la actividad del alumnado se limita, generalmente, a mostrar un dispositivo experimental (según una "receta") y a tomar unos datos, quedando el resto de la actividad programada fuera de la sesión de prácticas.

Las experiencias son en estos casos "prácticas de confirmación", en las que la actividad real queda frecuentemente reducida a la manipulación de aparatos y al tratamiento exhaustivo y tedioso de datos, lo que produce una gran insatisfacción en el profesorado y en el alumnado.

La introducción del medio informático para la realización de ***experiencias reales no simuladas en los Laboratorios*** *posibilita modificar radicalmente esta situación dado que el ordenador y sus correspondientes periféricos se revelan como una potente herramienta de medida que, por medio de un programa adecuado, registra y almacena las variaciones de las magnitudes características del proceso que se pretende estudiar, lo que contribuye a evitar la proliferación de errores accidentales en medidas cuantitativas, o la incertidumbre observacional en medidas cualitativas, con independencia del tiempo de duración del proceso experimental.*

Asimismo, las actividades posteriores a la medida (elaboración de tablas de datos, cálculos matemáticos y confección de gráficas) se simplifican y agilizan enormemente, lo que se traduce en una ***nueva redistribución temporal de las sesiones de prácticas,*** al enfatizarse las etapas de diseño de las experien-

cias *(las conocidas, u otras ahora inaccesibles con los medios disponibles),* y de elaboración de conclusiones *(dada la fácil y cómoda repetición de las experiencias para confirmar o modificar las hipótesis realizadas), que son las fases fundamentales del trabajo científico experimental.*

Un hecho importante es que las mediciones pueden extenderse en una gama amplia de tiempos, desde la milésima de segundo hasta duraciones de horas, independientemente del sensor que se esté utilizando, lo cual amplía la gama de las experiencias que hasta este momento han venido realizándose en los Laboratorios de Secundaria, *bien hacia el estudio detallado de fenómenos rápidos como, por ejemplo, circuitos con corrientes transitorias o cierto tipo de reacciones químicas, bien hacia el de procesos de larga duración, como los que frecuentemente se presentan en Biología.*

Convergiendo con las consideraciones anteriores, no hay que olvidar el interés pedagógico y científico que supone la posibilidad de disponer de una biblioteca de registros empíricos *de fácil y cómodo acceso.*

Todas estas consideraciones permiten que el estudio de los procesos naturales en los Laboratorios pueda contemplarse como el resultado de ***"pequeñas investigaciones"****, en las que el alumnado tenga un* papel activo y constructivo en su aprendizaje, *fomentándose por añadidura su creatividad; asimismo, la actividad del profesorado puede ampliarse al abrirse una perspectiva* potencial de investigación.

A las anteriores expectativas favorables se suma un efecto adicional: la comodidad de utilización, los procesos a los que se puede aplicar, y la economía en la gestión de datos y elaboración de gráficos, dota de "espectacularidad" al empleo del equipo *y provoca en el usuario una predisposición faborable hacia la Informática en todas sus aplicaciones.*

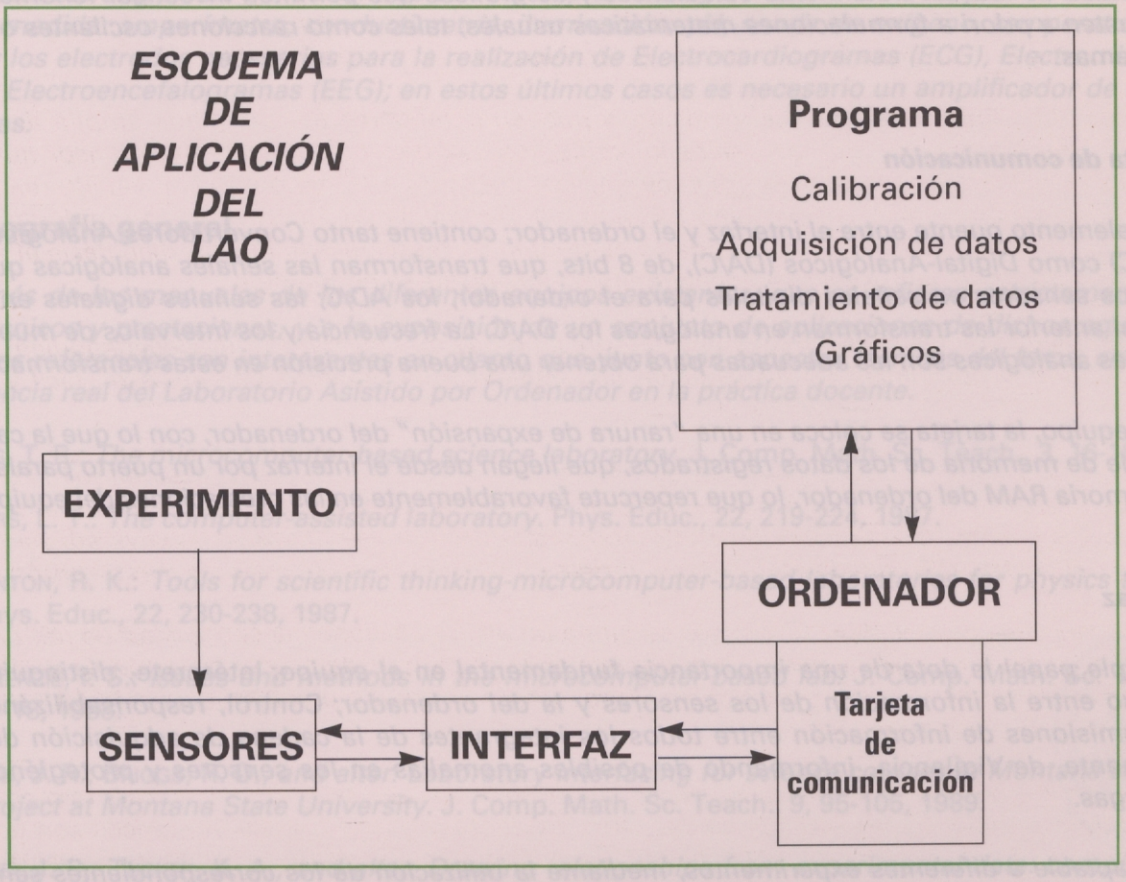
Junto con los beneficios comentados existe una posible deformación, que es el acaparamiento, por el equipo informatizado, de las actividades del Laboratorio. El ordenador y sus periféricos son una herramienta más, *y ni son los tutores, que suplantan al usuario como verdadero ajecutante y evaluador de la experiencia, ni tampoco su utilización es el objetivo de la experiencia, interpretándose erróneamente que porque sea posible medir más y mejor los objetivos educativos y científicos del trabajo en los Laboratorios se alcanzan automáticamente.*

Equipo básico del Proyecto LAO

La participación en este Proyecto conlleva una dotación instrumental, que se suministra a los centros seleccionados, formada por:

Elemento informático: *Ordenador, impresora y programa de gestión de datos.*

Periféricos: *Tarjeta de comunicación, interfaz y sensores.*



El programa de gestión de datos

El programa es único *para todas las posibles experiencias en las diferentes disciplinas,* de fácil manejo e interactivo; *que se limita a* "calibrar, medir, guardar y analizar" de acuerdo con las pautas e instrucciones de los usuarios, *no ofreciendo automáticamente soluciones a las hipótesis realizadas, lo que permite a éstos llegar a los resultados de una manera reflexiva implicando una mayor comprensión del fenómeno que se estudie.*

Una de las razones fundamentales de la interactividad del programa con el usuario deviene de que los datos registrados se incorporan automáticamente a una Hoja de Cálculo con las prestaciones básicas, incluida la exportación de datos a Hojas de Cálculo tipo WORKS, lo cual es importante con el fin de ofrecer al usuario alternativas de acuerdo a su formación informática. La circunstancia señalada implica

la posibilidad de realizar tratamiento estadísticos y de gráficos que permiten investigar fenómenos que no se ajusten a priori a formulaciones matemáticas usuales, tales como reacciones oscilantes o electrocardiogramas.

Tarjeta de comunicación

Es el elemento puente entre el interfaz y el ordenador; contiene tanto Convertidores Analógico-Diditales (AD/C) como Digital-Analógicos (DA/C), de 8 bits, que transforman las señales analógicas que suministran los sensores en señales digitales para el ordenador, los AD/C; las señales digitales en sentido inverso al anterior las transforman en analógicas los DA/C. La frecuencia y los intervalos de muestreo de las señales analógicas son las adecuadas para obtener una buena precisión en estas transformaciones.

En el equipo, la tarjeta se coloca en una "ranura de expansión" del ordenador, con lo que la capacidad disponible de memoria de los datos registrados, que llegan desde el interfaz por un puerto paralelo, es la de la memoria RAM del ordenador, lo que repercute favorablemente en las prestaciones del equipo.

Interfaz

Su triple papel le dota de una importancia fundamental en el equipo: Intérprete, *distinguiendo en cada caso entre la información de los sensores y la del ordenador;* Control, *responsabilizándose de las transmisiones de información entre todos los integrantes de la cadena de adquisición de datos; y, finalmente, de* Vigilancia, *informando de posibles anomalías en los sensores y protegiéndoles de sobrecargas.*

Es adaptable a diferentes experimentos, mediante la utilización de los correspondientes sensores, y dispone de: entradas y salidas analógicas y digitales; reloj interno que permite las medidas en tiempo real; selector de rango de tensiones +/- mediante un amplificador previo.

Obviamente las conexiones con los sensores son compatibles con el material que integra el equipamiento didáctico habitual de los Laboratorios, lo cual es fundamental para asegurar la posibilidad de extensión del Proyecto sin que suponga un aumento adicional del presupuesto destinado.

Sensores

Son transductores, *dispositivos que transforman las variaciones de una magnitud medible en una señal eléctrica, en una tensión que se envía al interfaz, a veces por medio de un aplificador. En el equi-*

po actualmente disponible en los centros se contemplan los siguientes sensores o posibilidades específicas de medida: amperímetro, conductimetría, iluminación, pH, sonda de oxígeno, temperatura, voltímetro, y los electrodos necesarios para la realización de Electrocardiogramas (ECG), Electromiogramas (EMG) y Electroencefalogramas (EEG); en estos últimos casos es necesario un amplificador de medidas biológicas.

Bibliografía general

Además de los manuales de los diferentes equipos existentes, que se refieren estrictamente a sus datos técnicos y prestaciones, y a la exposición de un conjunto de aplicaciones de dichos equipos, las siguientes referencias son interesantes en cuanto que, junto con aspectos técnicos del tema, consideran la incidencia real del Laboratorio Asistido por Ordenador en la práctica docente.

BROSS, T. R.: *The microcomputer-based science laboratory.* J. Comp. Math. Sc. Teach., 3, 16-18, 1986.

ROGERS, L. T.: *The computer-assisted laboratory.* Phys. Educ., 22, 219-224, 1987.

THORNTON, R. K.: *Tools for scientific thinking-microcomputer-based laboratories for physics teaching.* Phys. Educ., 22, 230-238, 1987.

MACKENZIE, I. S.: *Issues and methods in the microcomputer-based lab.* J. Comp. Math. Sc. Teach., 7, 12-18, 1988.

AMEND, J. R.; BRIGGS, R. D., *and alter. Laboratory interfacing for science courses in Montana schools: a project at Montana State University.* J. Comp. Math. Sc. Teach., 9, 95-105, 1989.

AMEND, J. R.; TUCKER, K. A., *and alter. Drawing relationships from experimental data: computers can change the way we teach science.* J. Comp. Math. Sc. Teach., 10, 101-111, 1990.

WINDERS, A., y YATES, B.: *The traditional science laboratoy versus a computerized science laboratoy: think carefully before supplantig the old with the new.* J. Comp. Math. Sc. Teach., 9, 11-15, 1990.

CORDES, A. E.: *Using computers in the physics laboratory.* J. Comp. Math. Sc. Teach., 9, 53-63, 1990.

KOCHER, C. A.: *A laboratory course in computer interfacing and instrumentation.* Am. J. Phys., 60, 246-215, 1992.

Demostración de la capacidad reductora de los cloroplastos

Lorenzo Gondar E. y Sanz Rodríguez, R. M.ª
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. "María Zambrano". Leganés (Madrid)

Resumen

Mediante el aclaramiento del DCPIP por una solución de cloroplastos, en diferentes condiciones experimentales, se manifiesta una transferencia de electrones que depende de la luz.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud (Taller de Laboratorio Asistido por Ordenador).

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Biología (actual C. O. U.).

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE
BIBLIOTECA

Introducción teórica

La fotosíntesis es el proceso metabólico por el cual los organismos fotosintéticos sintetizan materia orgánica a partir de compuestos sencillos (agua y dióxido de carbono) con la intervención de la energía solar.

En las plantas superiores y en las algas el proceso tiene lugar en los cloroplastos y consta de dos etapas fundamentales: la fase luminosa y la fase oscura.

La fase luminosa, o fotolisis, del agua requiere la presencia de la luz y se realiza en los grana de los cloroplastos. Durante esta fase, se rompe la molécula de agua para dar:

— Oxígeno molecular, que se libera al medio.

— Poder reductor, que es transferido por un sistema de aceptores de electrones hasta el NADP.

— ATP.

Biología

Demostración de la capacidad reductora de los cloroplastos

Lorenzo Gondar E. y Sanz Rodríguez, R. M.ª
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. "María Zambrano". Leganés (Madrid)

Resumen

Mediante el aclaramiento del DCPIP por una solución de cloroplastos, en diferentes condiciones experimentales, se manifiesta una transferencia de electrones que depende de la luz.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud (Taller de Laboratorio Asistido por Ordenador).

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Biología (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La fotosíntesis es el proceso metabólico por el cual los organismos fotosintéticos sintetizan materia orgánica a partir de compuestos sencillos (agua y dióxido de carbono) con la intervención de la energía solar.

En las plantas superiores y en las algas el proceso tiene lugar en los cloroplastos, y se lleva a cabo en dos etapas fundamentales: la fase luminosa y la fase oscura.

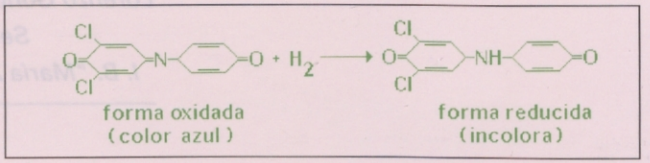
La fase luminosa, o fotolisis, del agua requiere la presencia de la luz y se realiza en los grana de los cloroplastos. Durante esta fase, se rompe la molécula de agua para dar:

— Oxígeno molecular, que se libera al medio.

— Poder reductor, que es transferido por un sistema de aceptores de electrones hasta el NADP.

— ATP.

Se pueden evidenciar las reacciones de oxidación-reducción de transporte de poder reductor hacia el NADP, utilizando un aceptor artificial como el 2,63-diclorofenol indofenol que, al reducirse, pasa de tener un color azul intenso a una forma incolora, según la reacción:



Objetivos

— Obtener las gráficas iluminación/tiempo correspondientes al aclaramiento del diclorofenol indofenol en las diferentes condiciones experimentales: iluminando con bombillas de 40 y 100 W, a diferentes temperaturas, a diferentes pH o con diferentes materiales biológicos.

— Comparar las gráficas obtenidas y deducir los factores que influyen en la fase luminosa de la fotosíntesis.

Material

— Hojas de espinacas.

— Solución tampón fosfato a pH = 8 (NaCl 0.35 M y fosfato monosódico 0.02 M).

— Disolución de 2,6 DCPIP 1P 0.0004 M.

— Vasos de precipitados.

— Matraces.

— Embudos.

— Soportes.

— Pinzas.

— Tubos de ensayo grandes.

— Batidora eléctrica.

— Papel indicador de pH.

— HCl y NaOH para rectificar pH.

— Centrifugadora (opcional).

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro con sonda de luz.

— Fuente de iluminación.

Procedimiento

1. Preparación del material biológico.

El aislamiento de cloroplastos en los laboratorios de Enseñanzas Medias no es sencillo, pues éstos no disponen de centrifugadoras de buena calidad.

Por ello, el macerado que se va a obtener contendrá gran cantidad de fragmentos celulares y otros orgánulos citoplasmáticos. Sin embargo, servirá para los estudios de la fotosíntesis que se realiza tanto en cloroplastos aislados como en células y fragmentos celulares. Se procede de la siguiente forma:

— Lavar con agua 100 g de espinacas y colocar en un vaso con 200 cc de solución tampón fosfato a pH=8 (NaCl 0.35 M y fosfato monosódico 0.02 M). Triturar con la batidora hasta que se obtenga un homogeneizado.

— Filtrar a través de varias capas de papel de filtro.

— Si se dispone de centrifugadora, centrifugar a velocidad máxima durante diez minutos. Recoger el sobrenadante y, si el color verde es muy intenso, diluir con solución tampón.

2. Preparar tres tubos de ensayo que contengan:

— Tubo n.° 1: 5 cc de agua destilada y 15 cc de DCPIP.

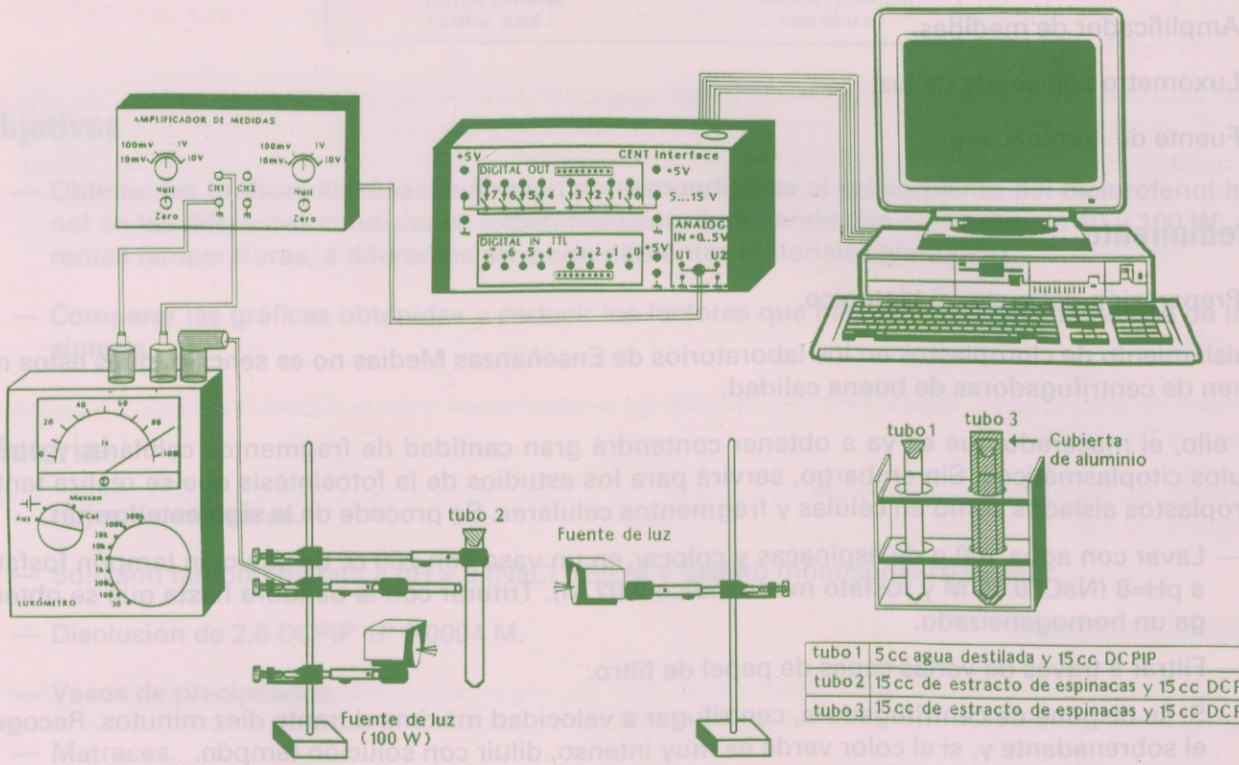
— Tubo n.° 2: 5 cc de extracto de espinacas y 15 cc de DCPIP.

— Tubo n.° 3: como el n.° 2.

3. Colocar los tubos, procurando que la temperatura de los tres sea de unos 20° C, en una gradilla, estando el tubo n.° 3 recubierto de papel de aluminio que impida la entrada de la luz.

4. Montar el dispositivo de la figura n.° 1. Iluminar con una bombilla de 100 W, de tal manera que el luxómetro se encuentre junto al tubo n.° 2, y en el lado contrario a la fuente de iluminación.

5. Con el ordenador, en la ventana de *captura* elegir el *módulo* de **intensidad luminosa** y, como *instrumentos*, **un reloj** y el **luxómetro**. Fijar la escala del luxómetro en 3 klx. En *comenzar experimento* regular el punto cero de acuerdo con el luxómetro externo.



tubo 1	5 cc agua destilada y 15 cc DCPIP
tubo 2	15 cc de estracto de espinacas y 15 cc DCPIP
tubo 3	15 cc de estracto de espinacas y 15 cc DCPIP

Figura 1

6. Fijar el número de medidas en 20 y como intervalo entre medidas 300 segundos.

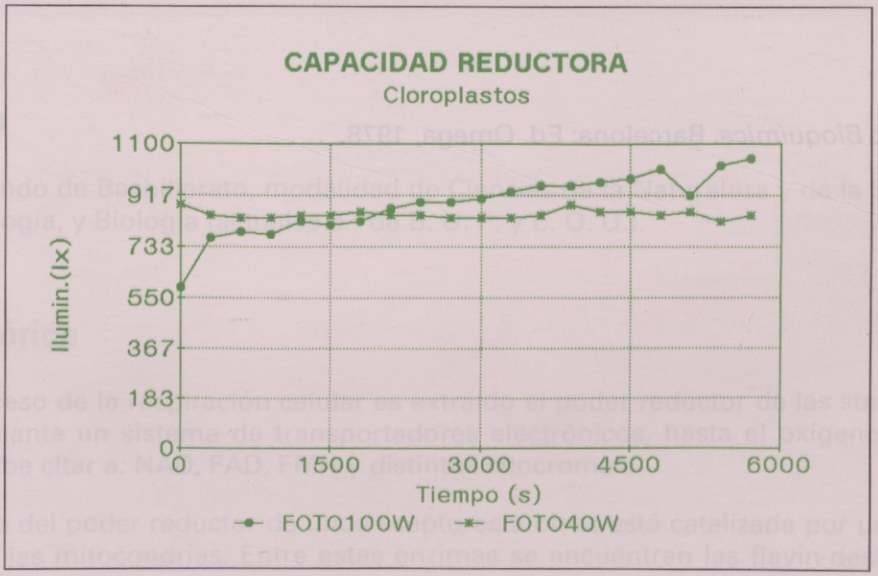
7. Pulsar una tecla cualquiera para que comience el experimento. Las variaciones de iluminación que se producen a lo largo del tiempo aparecen en la hoja **FOTO100W**.

8. Repetir el experimento iluminando con una bombilla de 40 W. Los datos obtenidos se guardan en la Hoja **FOTO40W**.

Actividades y elaboración de conclusiones

Se comprueba que ni en el tubo n.° 1 ni en el n.° 3 se ha producido la decoloración del diclorofenol indofenol. De ello se deduce que es el homogeneizado de espinacas en presencia de la luz el que reduce al diclorofenol indofenol, tal y como se comprueba gráficamente al representar en cada caso la iluminación registrada en función del tiempo.

Si se fusionan los datos de ambos ficheros en una sola Hoja, la representación conjunta de ambos grupos de datos permite contrastar cómo el poder reductor de la muestra depende de la energía luminosa suministrada: con bombilla de 40 W no se ha producido el aclaramiento, mientras que, en el mismo tiempo, con la bombilla de 100 W se ha producido un aclaramiento de 459 lx.



De la misma forma pueden estudiarse otras condiciones experimentales como las siguientes:

— Hirviendo previamente las espinacas.

— Realizando la experiencia a baja temperatura, incluyendo el tubo de ensayo en un baño de agua fría.

— A diferentes pH ácidos o básicos.

— Con diferentes materiales biológicos.

Si se hierven las espinacas no se produce aclaramiento por ser éste un proceso catalizado enzimáticamente. Por otra parte, tampoco se obtendrán resultados favorables si el pH es muy ácido o muy básico.

Aplicación didáctica

Ha sido realizada por un grupo de alumnos de 1.° del nuevo Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza en la asignatura de "Taller de LAO" dentro de un grupo de experiencias sobre la fotosíntesis.

Se dividió el grupo en equipos de trabajo. Uno de los equipos realizó la experiencia con el ordenador mientras el resto la realizó por el método tradicional (observaciones del cambio de coloración en los distintos tubos de ensayo cada cinco minutos y, una vez terminada la clase, en el período de interclases, una hora después).

Bibliografía

LEHNINGER, L. A.: *Bioquímica*. Barcelona: Ed. Omega, 1978.

Demostración de la capacidad reductora de las mitocondrias

Lorenzo Gondar E. y Sanz Rodríguez R. M.ª

Seminario de Ciencias Naturales

I. B. "María Zambrano". Leganés (Madrid)

Resumen

La práctica pone de manifiesto que un homogeneizado de champiñones tiene poder reductor y que la velocidad de las reacciones redox depende de factores como la temperatura, pH y estado fisiológico del material biológico.

Nivel educativo

Primero y segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignaturas de Biología y Geología, y Biología (actuales 3.° de B. U. P. y C. O. U.).

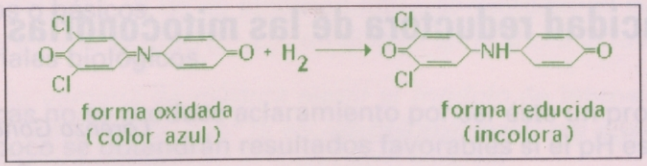
Introducción teórica

Durante el proceso de la respiración celular es extraído el poder reductor de las sustancias orgánicas y conducido, mediante un sistema de transportadores electrónicos, hasta el oxígeno molecular. Entre estos aceptores cabe citar a: NAD, FAD, FMN y distintos citocromos.

La transferencia del poder reductor de unos aceptores a otros está catalizada por un sistema de enzimas presentes en las mitocondrias. Entre estas enzimas se encuentran las flavin-deshidrogenasas que transportan el poder reductor hacia el Citocromo-C.

Sin embargo, existen aceptores electrónicos artificiales capaces de oxidar a las flavin-deshidrogenasas reducidas, tales como: Ferricianuro, Azul de metileno y 2,6 Diclorofenolindofenol.

Nosotros utilizaremos el 2,6 Diclorofenolindofenol, que, al reducirse, pasará de tener un color azul intenso a una forma incolora, según la siguiente reacción:



Objetivos

— Obtener las gráficas de iluminación frente a tiempo correspondientes al aclaramiento del DCPIP, debido a la actividad respiratoria de los champiñones.

— Comparar las gráficas obtenidas en diferentes condiciones experimentales.

— Deducir algunos de los factores que determinan la velocidad de la respiración celular y las condiciones más idóneas de ésta para el caso del material biológico estudiado.

Material

— Champiñones.

— Batidora eléctrica y vaso agitador.

— Solución tampón a pH=8.

— Solución de diclorofenolindofenol 0.0002M.

— Papel de filtro.

— Embudo.

— Vasos de precipitados.

— Tubo de ensayo grande.

— Soportes.

— Pinzas.

— Baño maría (o estufa de cultivos u otras opciones).

— Fuente de iluminación.

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Fuente de alimentación.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro y sonda de luz.

Procedimiento

Preparación del material biológico.

a) Preparar una solución tampón a pH=8 con los componentes siguientes:

- NaCl 0.35 M
- Fosfato monosódico 0.02 M

b) En un vaso de batidora colocar 100 g de champiñones (u otros hongos) lavados y cortados, junto con 200 cc de solución tampón. Batir hasta obtener un homogeneizado. Filtrar dos veces. Se obtiene, de esta forma, un homogeneizado de champiñones rico en mitocondrias. (Si se dispone de una centrifugadora, someter dicho homogeneizado a la máxima velocidad y recoger el sobrenadante.)

1. Tomar 15 cc de extracto de champiñones y otros 15 cc de DCPIP 0.0002 M y añadirlos a un tubo de ensayo grande.

2. Calentar el preparado al baño maría, procurando mantener la temperatura aproximadamente a 35° C; colocar la sonda de luz próxima al tubo de ensayo y en el lado opuesto a la fuente de iluminación (figura 1).

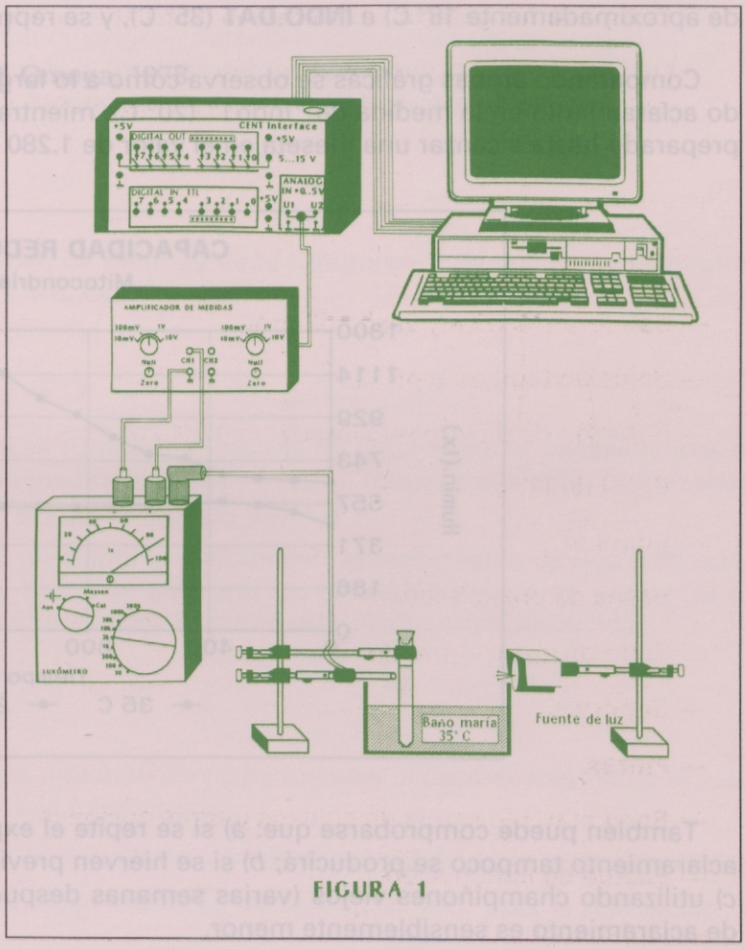


FIGURA 1

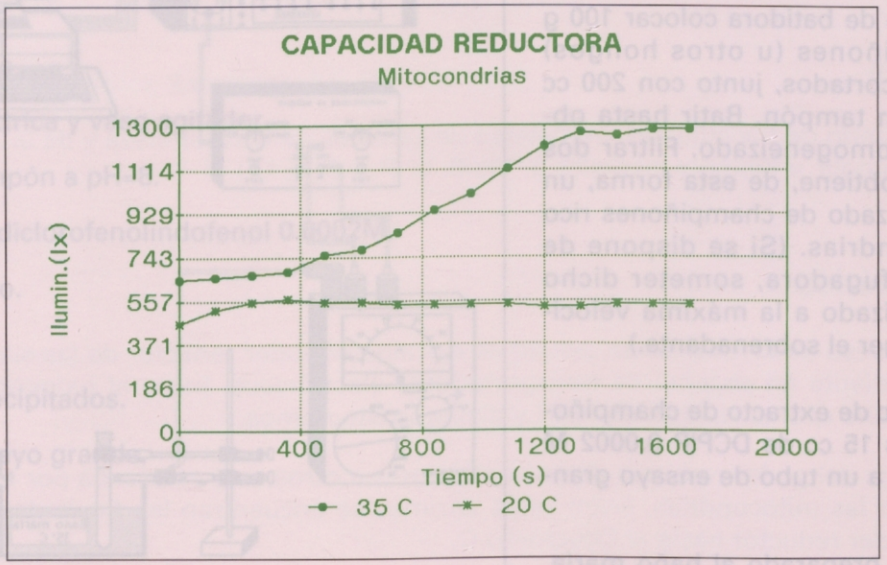
3. Cargar el programa LAO y elegir, en la ventana de captura, el *módulo* de **intensidad luminosa**. Como *instrumentos*, el **reloj** y el **luxómetro**. Fijar el fondo de la escala en 3 kxl. Calibrar el punto cero de manera que coincidan la lectura del ordenador con la del luxómetro externo. En comenzar el experiemtno: 15 medidas cada 120 segundos.

4. Concluida la toma de datos, repetir el experimento a temperatura ambiente.

Actividades y elaboración de conclusiones

Los datos obtenidos en ambas pruebas se recogen en las Hojas **INDO1.DAT** (temperatura ambiental de aproximadamente 18° C) e **INDO.DAT** (35° C), y se representan en los correspondientes gráficos.

Comparando ambas gráficas se observa cómo a lo largo del tiempo transcurrido apenas se ha realizado aclaramiento en la medida de "indo1" (20° C), mientras que en la de "indo" (35° C) se ha aclarado el preparado hasta alcanzar una meseta en el valor de 1.280 lx.



También puede comprobarse que: *a*) si se repite el experimento a un pH muy ácido o muy básico, el aclaramiento tampoco se producirá; *b*) si se hierven previamente los champiñones no habrá respiración; *c*) utilizando champiñones viejos (varias semanas después de comprados en el mercado), la velocidad de aclaramiento es sensiblemente menor.

De ello se deduce que los factores que influyen en la respiración de los champiñones son: temperatura (óptima a 35° C), pH (óptimo=8) y el estado fisiológico (han de ser frescos).

Aplicación didáctica

La práctica ha sido realizada por un grupo de alumnos de 1.° del nuevo Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza, dentro de un bloque de prácticas sobre la respiración realizadas con LAO. De igual forma puede realizarse con alumnos de 2.° curso (actual C. O. U.).

Bibliografía

LEHNINGER, L. A.: *Bioquíomica. Barcelona*. Ed. Omega, 1978.

CAPACIDAD REDUCTORA
Mitocondrias
1800
1114
929
743
557
371
185
0
0
400
800
1200
1600
2000
Tiempo (s)
35 C
20 C

Determinación del oxígeno producido en la fotosíntesis con pirogalol

Lorenzo Gondar E. y Sanz Rodríguez R. M.ª
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. "María Zambrano". Leganés (Madrid)

Resumen

Esta práctica demuestra que la liberación de oxígeno durante la fotosíntesis depende de la luz y, por tanto, se realiza durante la fase luminosa. También demuestra que la velocidad de liberación de oxígeno (velocidad de la fotolisis) depende de la cantidad de luz que recibe la planta.

Nivel educativo

Primero y segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignaturas de Biología y Geología (actuales 3.° de B. U. P. y C. O. U.).

Introducción teórica

Durante la fase luminosa de la fotosíntesis se rompe la molécula de agua y, como consecuencia, se produce: *a*) oxígeno molecular, que se libera al medio; *b*) poder reductor, que es transferido por un sistema de aceptores de electrones hasta el NADP, el cual se reduce, y *c*) ATP.

Se puede valorar la producción de oxígeno mediante la medida del oscurecimiento de una disolución de pirogalol, sustancia que en disolución es incolora, pero que se oxida fácilmente en presencia de oxígeno, tomando un color marrón tanto más intenso cuanto más oxidación se haya producido.

Objetivos

— Obtener las gráficas de iluminación frente a tiempo correspondientes al oscurecimiento de la solución de pirogalol a medida que transcurre la fotosíntesis.

— Comparar la velocidad de desprendimiento de oxígeno en diferentes condiciones experimentales.

— Deducir las condiciones idóneas de intensidad luminosa, temperatura, etc., para la realización de la fotosíntesis de la planta estudiada.

Material

— Ramas de *Elodea canadiensis* o cualquier otra planta acuática.

— Solución de pirogalol al 5%.

— Tubos de ensayo.

— Soportes.

— Pinzas.

— Fuente de iluminación de 40 y 100 W.

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro y sonda de luz.

Procedimiento

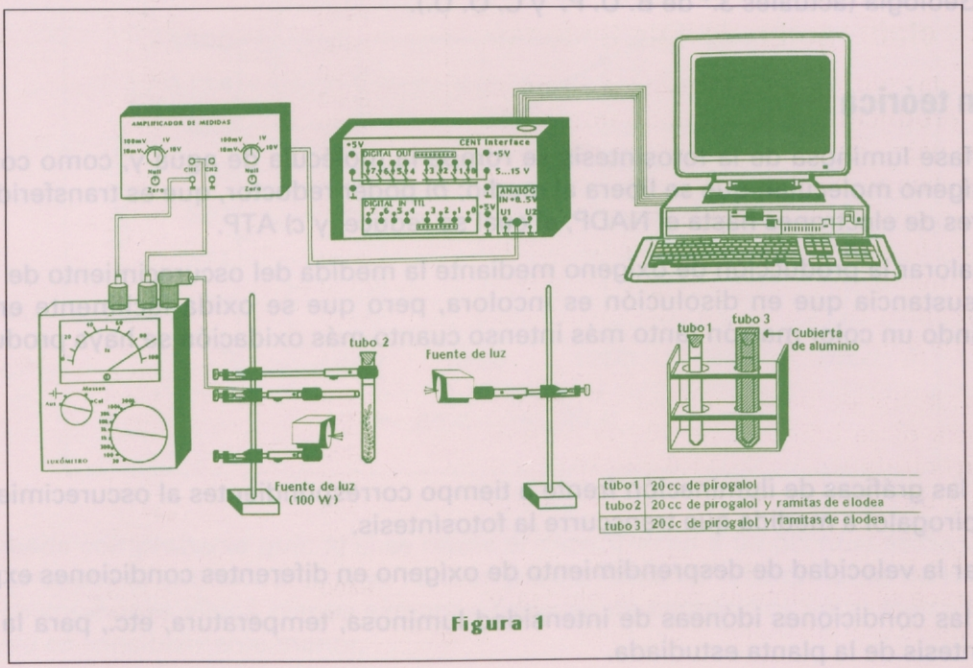


Figura 1

1. Preparar tres tubos de ensayo con 20 cc de solución de pirogalol cada uno. A los tubos números 2 y 3 se les agregan unas ramitas de elodea, tapando el tercero con papel de aluminio para que no penetre la luz. Todos ellos se cerrarán con un tapón de goma para impedir la entrada de oxígeno externo. Los tubos números 1 y 3 servirán de control.

2. Realizar el montaje de la figura 1 para el tubo número 2 de tal forma que el luxómetro esté junto al tubo de ensayo y al lado contrario de la fuente de iluminación, que será de 100 W.

3. Con el ordenador elegir la opción captura el *módulo* de **intensidad luminosa**, como *instrumentos* el **reloj** y el **luxómetro**, y la escala del luxómetro en 3 klx. En *comenzar experimento*, regular el punto cero. Elegir 30 medidas cada 300 segundos.

4. Pulsar una tecla para comenzar. Al finalizar la toma de datos aparecerán en la Hoja de Cálculo **PIRO5B.DAT**.

5. Repetir el experimento en distintas condiciones de iluminación con una bombilla de 40 W. Guardar en la Hoja **PIRO5AB.DAT**.

Actividades y elaboración de conclusiones

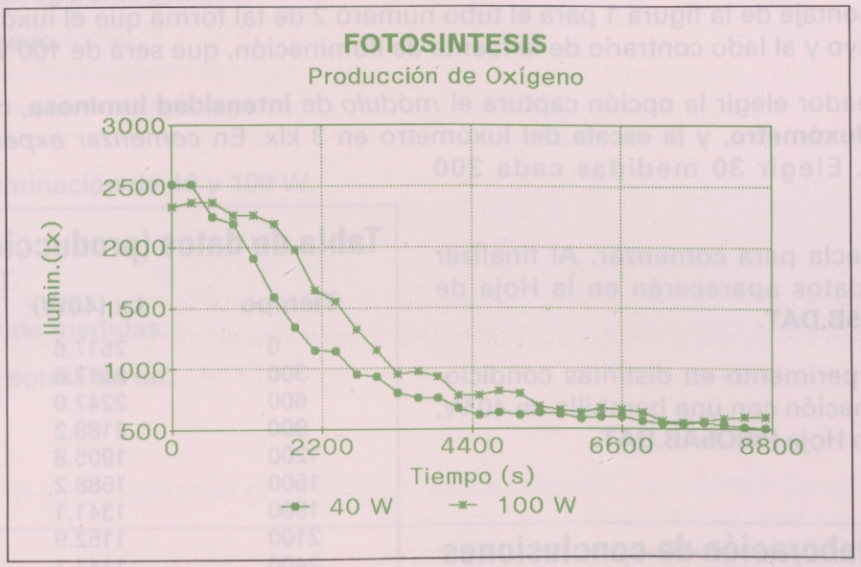
Se contrastaría que ni en el tubo n.° 1 ni en el n.° 3 se haya producido el oscurecimiento de la solución de pirogalol, de lo que se deduce que es la elodea, y en presencia de la luz, la causante de tal cambio; es decir, conforme la planta vaya desprendiendo oxígeno, la disolución se va oscureciendo y el sistema de medida registrará valores decrecientes de iluminación, tal como se muestra en la siguiente tabla de datos.

Del análisis de los datos numéricos se deduce que en presencia de la bombilla de 100 W se produce un oscurecimiento de 2011.8 lx (2517.6 – 505.8), mientras que en condiciones de menor iluminación el oscurecimiento ha sido de 1729.4 lx (2329.4 – 600). De ello se deriva que a mayor iluminación se favorece la fotosíntesis para la elodea y en las condiciones experimentales realizadas.

Tabla de datos (producción de oxígeno)

Tiempo	Lx (40W)	Lx (100 W)
0	2517.6	2329.4
300	2517.6	2364.7
600	2247.0	2364.7
900	2188.2	2258.8
1200	1905.8	2258.8
1500	1588.2	2188.2
1800	1341.1	1976.4
2100	1152.9	1647.0
2400	1141.1	1552.9
2700	952.9	1317.6
3000	929.4	1152.9
3300	800.0	952.9
3600	752.9	976.4
3900	752.9	929.4
4200	670.5	776.4
4500	611.7	776.4
4800	635.2	811.7
5100	611.7	788.2
5400	635.2	682.3
5700	623.5	658.8
6000	588.2	635.2
6300	600.0	670.5
6600	600.0	658.8
6900	564.7	635.2
7200	541.1	564.7
7500	541.1	552.9
7800	552.9	564.7
8100	529.4	588.2
8400	517.6	600.0
8700	505.8	600.0

Los datos obtenidos de las experiencias con diferentes fuentes de iluminación se reúnen en una sola Hoja, denominada **PIRO.DAT**, que contiene en la columna A los datos de tiempo; en la columna B, los datos de iluminación obtenidos con la bombilla de 100 W, y en la columna C, los correspondientes a la bombilla de 40 W. A partir de los datos anteriores se obtiene el gráfico que se muestra a continuación.



También se podría estudiar la influencia de la temperatura en las siguientes condiciones: a temperatura ambiente (que sería de unos 30° C por la proximidad de las fuentes de iluminación) y a menor temperatura (enfriando desde abajo con un baño maría que contenga cubitos de hielo); se observa cómo a temperaturas bajas el desprendimiento de oxígeno (oscurecimiento) es mucho más lento.

Aplicación didáctica

La experiencia ha sido realizada por un grupo de alumnos de 1.° del nuevo Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud en la asignatura "Taller de Laboratorio Asistido por Ordenador". Un grupo de trabajo realizó la experiencia con el ordenador y el resto al modo tradicional. Se encuadró dentro de un bloque de prácticas sobre la fotosíntesis, todas ellas realizadas con el programa LAO.

Bibliografía

LEHNINGER, A. L.: *Bioquímica*. Barcelona: Ed. Omega, 1978.

Diversos manuales de prácticas de Fisiología vegetal.

Estudio del aumento de temperatura debido al desprendimiento de energía respiratoria

Lorenzo Gondar E. y Sanz Rodríguez R. M.ª
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. "María Zambrano". Leganés (Madrid)

Resumen

El dispositivo experimental permite comprobar el desprendimiento de energía respiratoria, que se disipa en forma de calor, por parte de una muestra de champiñones y por comparación con un montaje control que no posee la muestra estudiada.

Nivel educativo

Tercero y cuarto de Enseñanza Secundaria Obligatoria.

Primero y segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignaturas de Biología y Geología, y Biología (actuales 3.° de B. U. P. y C. O. U.).

Introducción teórica

La conservación de la vida sólo es posible mediante una continua aportación de energía exterior. Todos los seres vivos integran en su organismo esta energía mediante el fenómeno de la respiración.

El mecanismo respiratorio es sumamente complejo y conduce, fundamentalmente, tanto en plantas como en animales, a la conversión de moléculas de azúcar (y otros materiales) en dióxido de carbono y agua, con la liberación de la energía potencial contenida en dicha molécula de azúcar en forma posteriormente utilizable.

La ecuación global para un mol de glucosa sería:

1 mol *glucosa* + 6 moles *oxígeno* => 6 moles *diox. carbono* + 6 moles *agua* + 675 kcal

Dicho proceso se manifiesta externamente como un consumo de oxígeno, un desprendimiento de dióxido de carbono y un desprendimiento de energía.

Es difícil demostrar el desprendimiento de energía que tiene lugar durante la respiración, pues el agua que se evapora en la transpiración consume la mayor parte de la energía producida, que se convierte en calor, y la parte utilizable se almacena en forma de ATP.

De todos modos, mediante un cuidadoso aislamiento térmico, es posible apreciar una elevación de la temperatura equivalente a la producción de calor de los animales.

Por lo que respecta a la intensidad de la respiración, ésta sufre grandes variaciones según la especie vegetal, las condiciones dominantes y las necesidades fisiológicas del organismo. Su valor cuantitativo es, aproximadamente, el mismo en los animales y en las plantas.

La presencia de oxígeno es necesaria para que se lleve a cabo la respiración. En general, a bajas concentraciones de oxígeno se puede esperar baja intensidad de respiración y, por el contrario, cuando la concentración de oxígeno es alta, la intensidad de la respiración es, también, elevada. Ello va a condicionar el montaje experimental que, para poderlo aislar térmicamente, va a limitar la disponibilidad de dicho gas.

Objetivos

— Obtener las gráficas de temperatura frente al tiempo correspondientes a los dos dispositivos experimentales.

— Comparar las gráficas y evaluar el desprendimiento de energía respiratoria por las diferencias de temperatura alcanzadas en ambos casos.

— Deducir la influencia sobre el desprendimiento de energía estudiado, de factores como: temperatura inicial, que puede ser la ambiental, mayor de 30° C o menor de 5° C (estas temperaturas son orientativas); condiciones fisiológicas de los champiñones: que éstos sean frescos o se encuentren deteriorados, etc.

Material

— Doscientos gramos de champiñones frescos a temperatura ambiente.

— Termos iguales, mantenidos a temperatura ambiente (2).

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Sondas de temperatura (2).

— Amplificador de medidas.

Procedimiento

1. Tomar los dos termos iguales e introducir los champiñones en uno de ellos. Cerrar ambos termos mediante tapones horadados (los orificios de las tapas han de ser de un diámetro similar al de las sondas de temperatura). Introducir las sondas de temperatura en los termos a través de los orificios de los correspondientes tapones.
2. Cargar el programa LAO. En la ventana de captura, elegir sucesivamente: *módulo* **temperatura**; *instrumentos* **reloj**, **termómetro1**, **termómetro2**; comenzar experimento, número de medidas: 15. Intervalo entre medidas: 600.

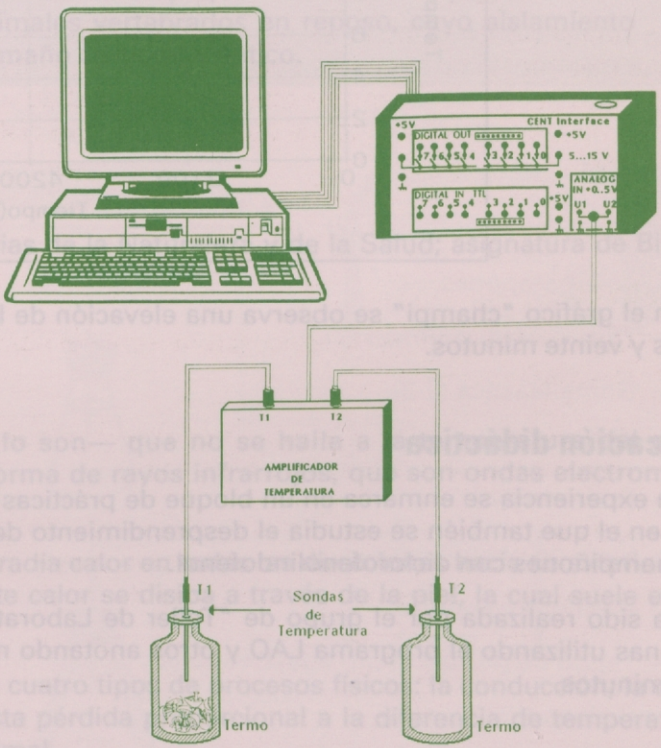


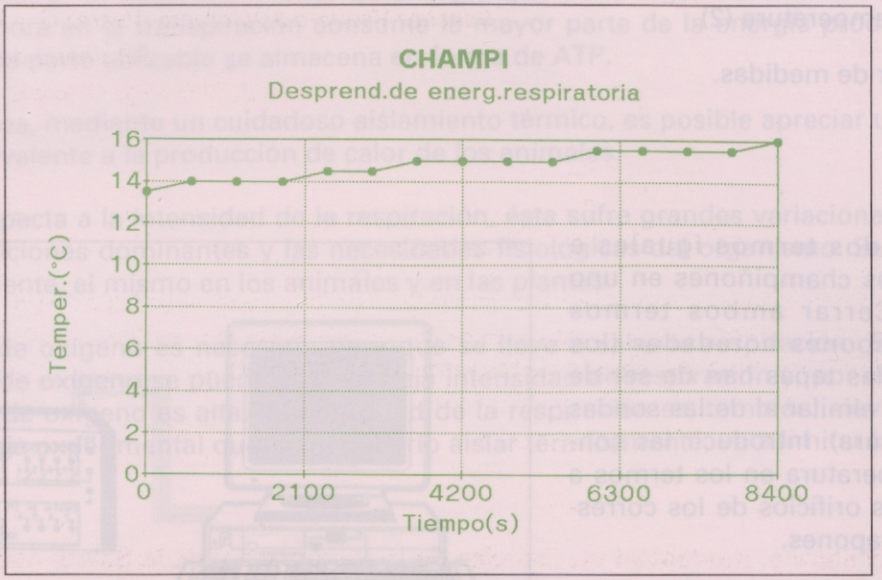
Figura 1

Actividades y elaboración de conclusiones

Concluida la toma de datos, éstos aparecerán reflejados en las columnas correspondientes de la Hoja de Cálculo **CHAMPI.DAT**.

Asimismo obtendremos una gráfica con las curvas correspondientes a las

variaciones de temperatuura, registradas por cada una de las sondas, que han tenido lugar en los dos termos. Aquí sólo se presenta el gráfico correspondiente al termo que contenía los champiñones.



En el gráfico "champi" se observa una elevación de la temperatura de 2,5° C, registrada durante dos horas y veinte minutos.

Aplicación didáctica

La experiencia se enmarca en un bloque de prácticas sobre la respiración realizadas con el programa LAO en el que también se estudia el desprendimiento de CO_2 y el poder reductor de un homogeneizado de champiñones con diclorofenolindofenol.

Ha sido realizada por el grupo de "Taller de Laboratorio Asistido por Ordenador", unos alumnos y alumnas utilizando el programa LAO y otros anotando manualmente las temperaturas observadas cada diez minutos.

Bibliografía

STRASBURGER, R.: *Botánica*. Madrid: Ed. Marín, 1973.

Estudio sobre la pérdida de calor corporal en animales

Sánchez Vaquero J., Llorente Álvarez G. y Vázquez Gallardo F.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. "Francisco Giner de los Ríos". Segovia

Resumen

La finalidad principal de esta actividad es realizar un pequeño estudio comparativo sobre la pérdida de calor corporal entre dos animales vertebrados en reposo, cuyo aislamiento externo sea diferente, presuponiendo un tamaño corporal idéntico.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Biología (actual C. O. U.).

Introducción teórica

Toda masa del Universo —y los animales lo son— que no se halla a la temperatura del cero absoluto irradia calor. Esta pérdida ocurre en forma de rayos infrarrojos, que son ondas electromagnéticas.

Todo animal, poiquilotermo u homeotermo, irradia calor en todas las direcciones hacia su exterior, es decir, hacia el medio en el que se encuentra. Este calor se disipa a través de la piel, la cual suele estar más fría que el interior de sus cuerpos.

Esta pérdida térmica tiene lugar por medio de cuatro tipos de procesos físicos: la conducción, la convección, la radiación y la evaporación, siendo esta pérdida proporcional a la diferencia de temperatura entre la piel y el medio ambiente que rodea al animal.

Partiendo de dos animales en reposo, y si se "olvidan intencionadamente" los mecanismos fisiológicos existentes para combatir la hipotermia, se va a tratar de estudiar, comparativamente, la pérdida de calor corporal en un animal poiquilotermo y en un animal homeotermo.

Los animales poiquilotermos (el lagarto en un supuesto teórico) poseen un exiguo aislamiento externo, formado por una delgada capa de grasa subcutánea y una cubierta de escamas, lo que constituye una débil protección contra la pérdida de calor.

Los animales homeotermos (la liebre en un supuesto teórico) poseen un aislamiento externo formado por una capa de grasa subcutánea y una cubierta continua de pelos. Esta capa de pelos incrementa la efectividad del aislamiento, ya que retiene una capa de aire. Esta capa de aire estancada, y dado que el aire es mal conductor del calor, funciona como una auténtica barrera para frenar la pérdida de calor.

Objetivos

— Comprender la función de la piel como aislante térmico.

— Entender la misión de la capa de aire estancada que los pelos de los animales retienen (y, por extensión, la de las plumas en las aves).

Material

— Matraces Erlenmeyer (2).

— Taladratapones.

— Termómetro químico (2).

— Goma elástica (2-3).

— Rejilla de cerámica.

— Cronómetro.

— Vaso de precipitados.

— Mechero y soporte.

— Tapón de goma/corcho agujereado (2).

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Sondas de temperatura (2).

— Cables de conexión.

— Programa LAO.

— Amplificador de medidas de temperatura.

— Piel de mamífero (liebre en este caso).

Procedimiento

1. Tomar dos matraces Erlenmeyer de igual capacidad (250 ml, por ejemplo) y recubrir exterior y totalmente a uno de ellos con una piel de liebre.

2. Para mantener la piel durante la práctica sin que se mueva o se caiga, sujetarla con ayuda de dos o tres gomas elásticas.

3. Poner en el soporte del mechero, sobre la rejilla de cerámica, un vaso de precipitados de 500 ml con agua a calentar.

4. Mientras se espera que el agua se caliente, preparar dos tapones de goma o corcho para las bocas de los dos Erlenmeyer, con un orificio en su centro.

5. Si no tienen agujero, con ayuda del taladratapones, hacer un orificio en el centro, del mismo diámetro que las sondas de temperatura que se van a utilizar.

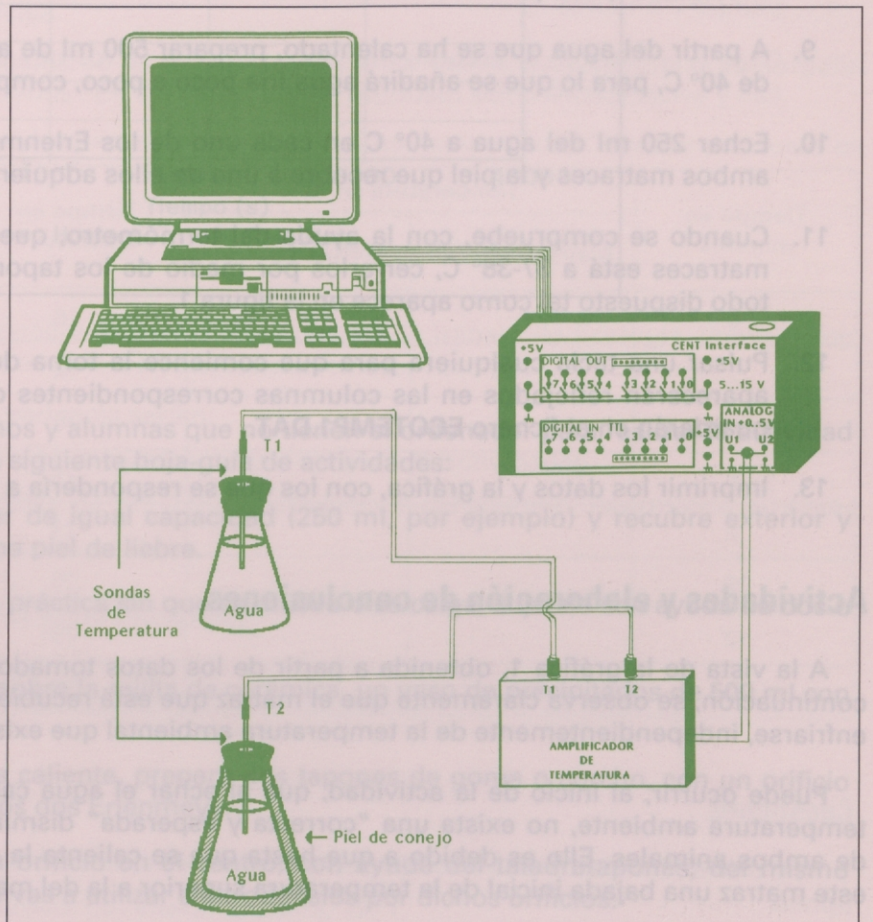


Figura 1

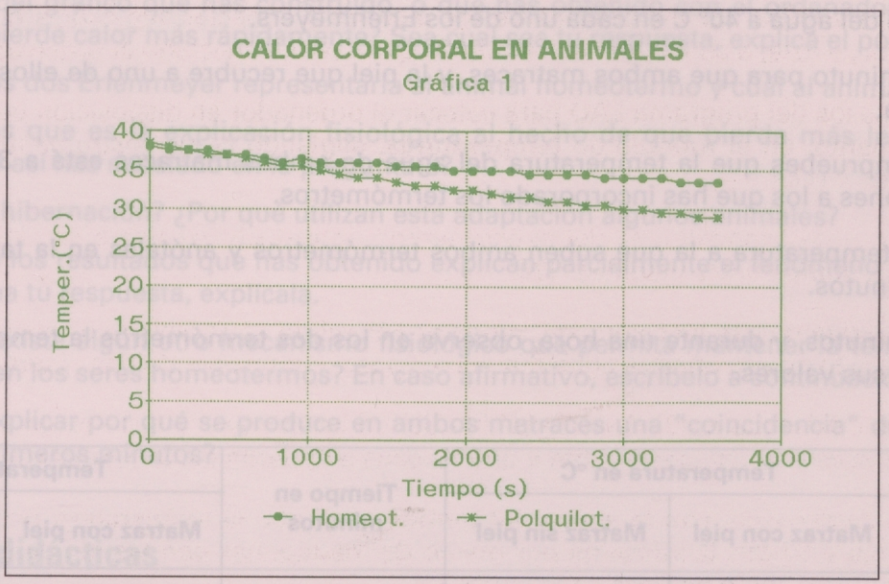
6. Introducir las sondas por los orificios de los tapones y conectar sus cables al amplificador de temperaturas, y éste, a su vez, al interfaz CENT, que estará conectado al ordenador.
7. Seguir los pasos del programa LAO para colocar el ordenador en disposición de tomar los datos del experimento, en el *módulo* de **temperaturas**, eligiendo como *instrumentos* **termómetro1**, **termómetro2** y **reloj**.
8. En la ventana de "condiciones del experimento", introducir los datos siguientes: número de medidas: 31; tiempo entre medidas: 120.
9. A partir del agua que se ha calentado, preparar 500 ml de agua cuya temperatura sea alrededor de 40° C, para lo que se añadirá agua fría poco a poco, comprobando con el termómetro.
10. Echar 250 ml del agua a 40° C en cada uno de los Erlenmeyer y esperar un minuto, para que ambos matraces y la piel que recubre a uno de ellos adquieran dicha temperatura.
11. Cuando se compruebe, con la ayuda del termómetro, que la temperatura del agua de ambos matraces está a 37-38° C, cerrarlos por medio de los tapones con las sondas, para que quede todo dispuesto tal como aparece en la figura 1.
12. Pulsar una tecla cualquiera para que comience la toma de datos; concluida ésta, sus valores aparecerán reflejados en las columnas correspondientes de la Hoja de Cálculo, los cuales se guardarán en el fichero **ECOTEMP1.DAT**.
13. Imprimir los datos y la gráfica, con los que se respondería a las cuestiones planteadas.

Actividades y elaboración de conclusiones

A la vista de la gráfica 1, obtenida a partir de los datos tomados por el ordenador, y que aparece a continuación, se observa claramente que el matraz que está recubierto por la piel es el que más tarda en enfriarse, independientemente de la temperatura ambiental que exista.

Puede ocurrir, al inicio de la actividad, que al echar el agua caliente, si ambos matraces están a la temperatura ambiente, no exista una "correcta y esperada" disminución de la "temperatura corporal" de ambos animales. Ello es debido a que hasta que se calienta la piel a la temperatura del agua, tiene este matraz una bajada inicial de la temperatura superior a la del matraz sin piel.

Puede utilizarse este hecho en el desarrollo normal de la actividad e incluirlo en el apartado de cuestiones, si se considera oportuno, para que el alumno busque una explicación a dicho "hecho anormal".



Procedimiento manual

A los grupos de prácticas de alumnos y alumnas que no tienen el ordenador para realizar la actividad con el programa LAO se les entrega la siguiente hoja-guía de actividades:

— Toma dos matraces Erlenmeyer de igual capacidad (250 ml, por ejemplo) y recubre exterior y totalmente a uno de ellos con una piel de liebre.

— Para mantener la piel durante la práctica sin que se mueva o se caiga, sujétala con ayuda de dos o tres gomas elásticas.

— Pon en el soporte del mechero, sobre la rejilla de cerámica, un vaso de precipitados de 500 ml con agua a calentar.

— Mientras esperas que el agua se caliente, prepara dos tapones de goma o corcho, con un orificio en su centro, para las bocas de los dos Erlenmeyer.

— Si no tienen agujero, hazles un orificio en el centro, con ayuda del taladratapones, del mismo diámetro que el termómetro que vas a utilizar e introdúcelos por dichos orificios.

— A partir del agua caliente, prepara 500 ml de agua, cuya temperatura sea alrededor de 40° C, para lo que deberás ir añadiendo agua fría poco a poco y comprobando la temperatura con el termómetro.

— Echa 250 ml del agua a 40° C en cada uno de los Erlenmeyers.

— Espera un minuto para que ambos matraces, y la piel que recubre a uno de ellos, adquieran dicha temperatura.

— Cuando compruebes que la temperatura del agua de ambos matraces está a 37-38° C, ciérralos con los tapones a los que has incorporado los termómetros.

— Observa la temperatura a la que suben ambos termómetros y anótalas en la tabla inferior, en el tiempo 0 minutos.

— Cada dos minutos, y durante una hora, observa en los dos termómetros la temperatura que marcan y anota sus valores.

Tiempo en minutos	Temperatura en °C		Tiempo en minutos	Temperatura en °C	
	Matraz con piel	Matraz sin piel		Matraz con piel	Matraz sin piel
0			16		
2			18		
4			20		
6			22		
8			24		
10			26		
12			28		
14			30		

Cuestiones

A partir de los datos que has obtenido, manual o informáticamente, responde a las siguientes cuestiones:

a) En un único sistema de coordenadas, en el que en el eje de abscisas vas a colocar la temperatura y en el de ordenadas el tiempo, construye un gráfico de líneas con la evolución de la pérdida de calor para ambos animales (sólo para el procedimiento manual).

b) A la vista del gráfico que has construido, o que has obtenido con el ordenador, ¿cuál de los dos animales pierde calor más rápidamente? Sea cual sea tu respuesta, explica el porqué.

c) ¿Cuál de los dos Erlenmeyer representaría al animal homeotermo y cuál al animal poiquilotermo?

d) ¿Cuál crees que es la explicación fisiológica al hecho de que pierda más lentamente calor el animal que así has señalado en la pregunta *b*?

e) ¿Qué es la hibernación? ¿Por qué utilizan esta adaptación algunos animales?

f) ¿Crees que los resultados que has obtenido explican parcialmente el fenómeno de la hibernación? Sea cual sea tu respuesta, explícala.

g) ¿Sabes si existe algún otro mecanismo fisiológico que permita mantener la temperatura corporal constante en los seres homeotermos? En caso afirmativo, escríbelo a continuación.

h) ¿Podrías explicar por qué se produce en ambos matraces una "coincidencia" de temperaturas en los ocho primeros minutos?

Aplicaciones didácticas

Esta actividad práctica ha sido encuadrada dentro de la unidad de trabajo de Ecología, como reflejo de las adaptaciones de los seres vivos a los factores abióticos, en este caso a la temperatura.

Los objetivos didácticos de esta experiencia serían:

— Seguir correctamente las instrucciones escritas de la hoja-guía de actividades.

— Disponer correctamente el montaje de los dos Erlenmeyers y del material informático tal como aparece en la figura 1.

— Interpretar la gráfica conseguida.

— Extraer conclusiones a partir de la gráfica obtenida.

— Reforzar los conceptos de animales homeotermos y poiquilotermos.

— Consolidar los conocimientos de las adaptaciones a la temperatura de los seres vivos.

Bibliografía

GRASSE,P. P.: *Zoología* (tomo 3). Barcelona: Ed. Toray-Masson, S. A., 1978.

GUYTON, A. C.: *Fisiología médica*. México: Ed. Interamericana, 1971.

HARDY, R. N.: *Temperatura y vida animal*. Barcelona: Ed. Omega, 1976.

SCHMIDT-NIELSEN, K.: *Cómo funcionan los animales*. Barcelona. Ed. Omega, 1972.

Tiempo en minutos	Temperatura en °C		Tiempo en minutos	Temperatura en °C	
	Matraz con piel	Matraz sin piel		Matraz con piel	Matraz sin piel
0			16		
2			18		
4			20		
6			22		
8			24		
10			26		
12			28		
14			30		

Fermentación alcohólica de la glucosa

Peláez de Lucas M.ª C. y Fernández de Diego F. J.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. Virgen de la Luz. Avilés (Asturias)
Barrio Alonso C.
Seminario de Física y Química
I. B. n.° 7. Oviedo (Asturias)

Resumen

Mediante la medida de las variaciones del ángulo de rotación de la luz polarizada, se estudia el crecimiento de microorganismos que utilizan la glucosa como nutriente mediante la fermentación alcohólica.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Biología (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La fermentación es la ruta mas primitiva para la obtención de energía de combustibles tales como la glucosa. Uno de los tipos mas frecuentes de fermentación es la alcohólica, cuya ecuación global es:

$$\text{Glucosa} + 2\ \text{ADP} + 2\ \text{P}_i \longrightarrow 2\ \text{Etanol} + 2\ \text{CO}_2 + 2\ \text{ATP} + 2\ \text{H}_2\text{O}$$

Este proceso es llevado a cabo por levaduras, tales como la de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) y otras que están presentes en la superficie de las uvas junto con otros microorganismos (mohos, bacterias).

En una primera fase, aerobia, predomina la multiplicación de las células de levadura, mientras que posteriormente predomina el proceso fermentativo, que se efectúa mejor en condiciones anaerobias.

La utilización de glucosa como nutriente se manifiesta por la disminución del ángulo de rotación de la luz polarizada a medida que disminuye su concentración. El crecimiento de los microorganismos se pone de manifiesto por el aumento de turbidez del medio, y el proceso de la fermentación por la producción de gas (CO_2).

Cuando el alcohol producido supera una concentración del 13 al 15% en volumen, tiende a inhibir la fermentación, por lo que no se transforma todo el azúcar.

Objetivos

— Estudiar la disminución de la concentración de glucosa como consecuencia del crecimiento de microorganismos presentes en la superficie de las uvas.

Material

— Balanza.

— Probetas.

— Vasos de precipitados.

— Embudo.

— Papel de filtro.

— Disolución de glucosa 1 molar.

— 30 g de uvas pasas.

— Polarímetro (o filtros polarizadores).

— Difusor.

— Fuente luminosa (preferiblemente lámpara de sodio).

— Soportes.

— Pinzas.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro.

— Sonda de Luz.

— Cables de conexión.

— Programa LAO.

— Ordenador.

Procedimiento

1. Preparar una disolución de glucosa 1 molar (18 gramos de glucosa en 100 ml de agua) un día antes de realizar la práctica para evitar el efecto de la mutarrotación. Añadir 30 gramos de uvas pasas en el momento de comenzar la práctica (tiempo 0). Antes de realizar cada una de las tomas de datos es necesario filtrar la disolución.

2. Hacer la primera toma de datos poco después de añadir las uvas; la siguiente medida al cabo de unas dos horas, y las siguientes (hasta seis u ocho) con intervalos aproximados de un día.

3. El montaje experimental, ajuste a cero del polarímetro y procedimiento a seguir para la toma de datos son los descritos en la experiencia titulada *"Actividad óptica"* (F/OP1-17).

4. La experiencia puede realizarse manteniendo el medio de cultivo a temperatura ambiente, o en estufa de cultivos a una temperatura comprendida entre 20 y 32° C, excepto para la toma de datos.

Actividades y elaboración de conclusiones

Los datos obtenidos están en los siguientes ficheros:

FERMCERO.DAT (medidas tomadas al comenzar la práctica: tiempo 0)

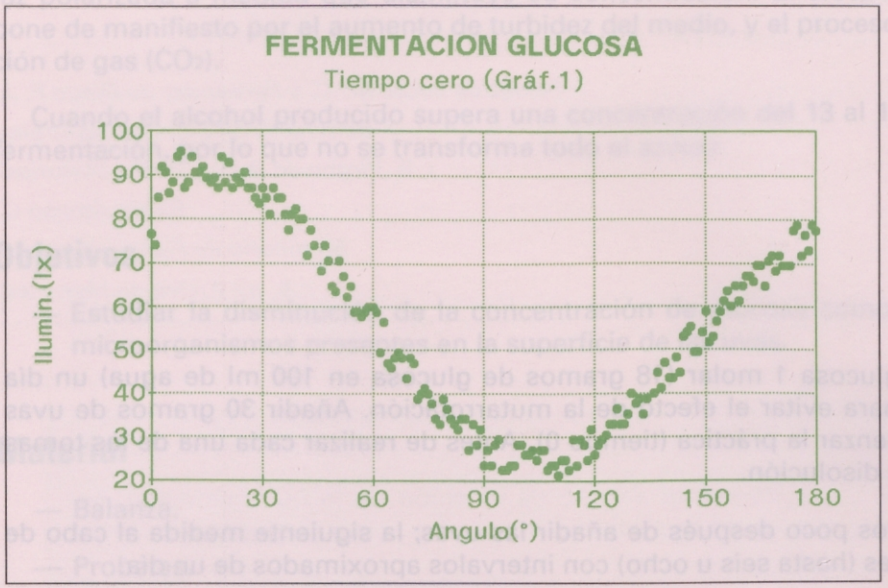
FERMDIA0.DAT (medidas tomadas después de dos horas)

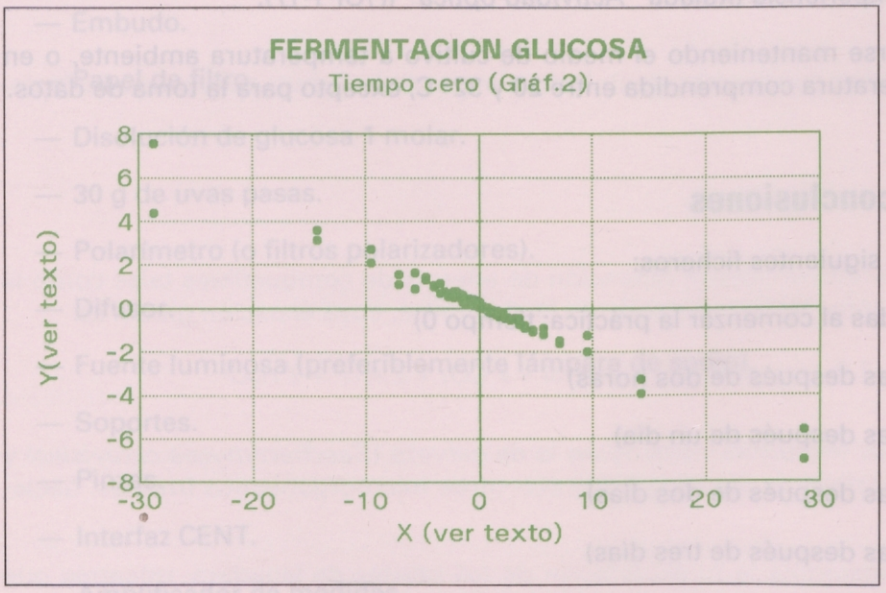
FERMDIA1.DAT (medidas tomadas después de un día)

FERMDIA2.DAT (medidas tomadas después de dos días)

FERMDIA3.DAT (medidas tomadas después de tres días)

FERMINFI.DAT (medidas tomadas después de seis días: tiempo infinito)

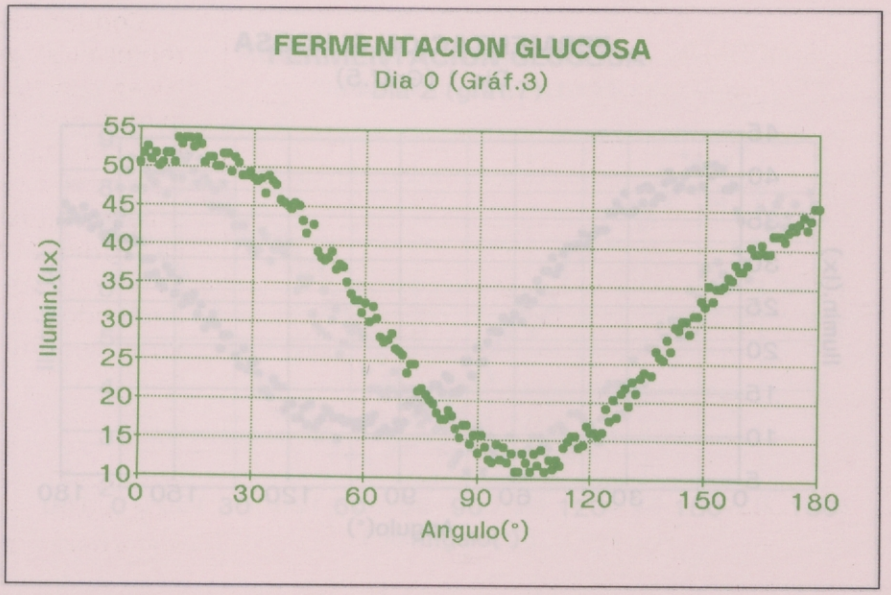


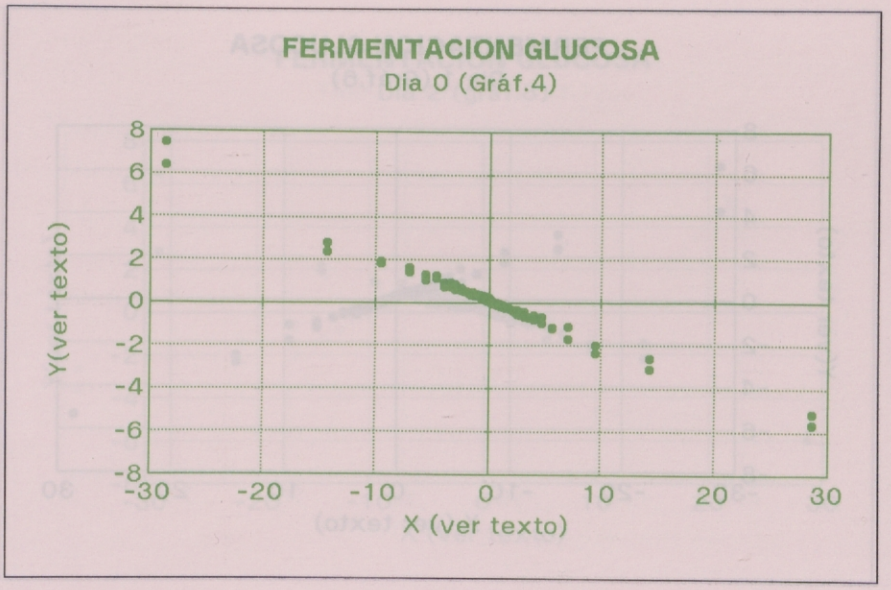


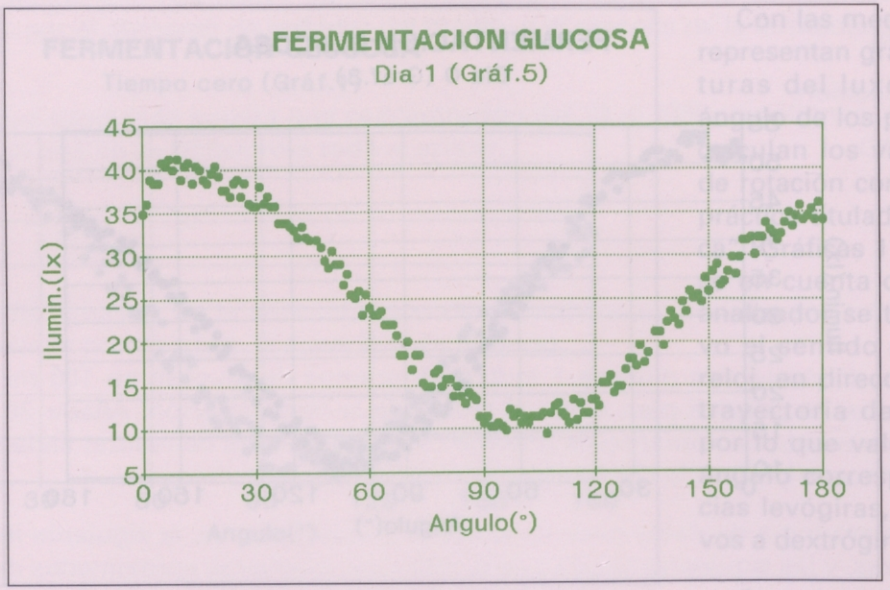
Con las medidas obtenidas se representan gráficamente las lecturas del luxómetro frente al ángulo de los polarizadores, y se calculan los valores del ángulo de rotación como se indica en la práctica titulada "Actividad óptica" (Gráficas 1 a 12). Debe tenerse en cuenta que en el giro del analizador se toma como positivo el sentido de las agujas del reloj, en dirección contraria a la trayectoria del rayo luminoso, por lo que valores positivos del ángulo corresponden a sustancias levógiras, y valores negativos a dextrógiras.

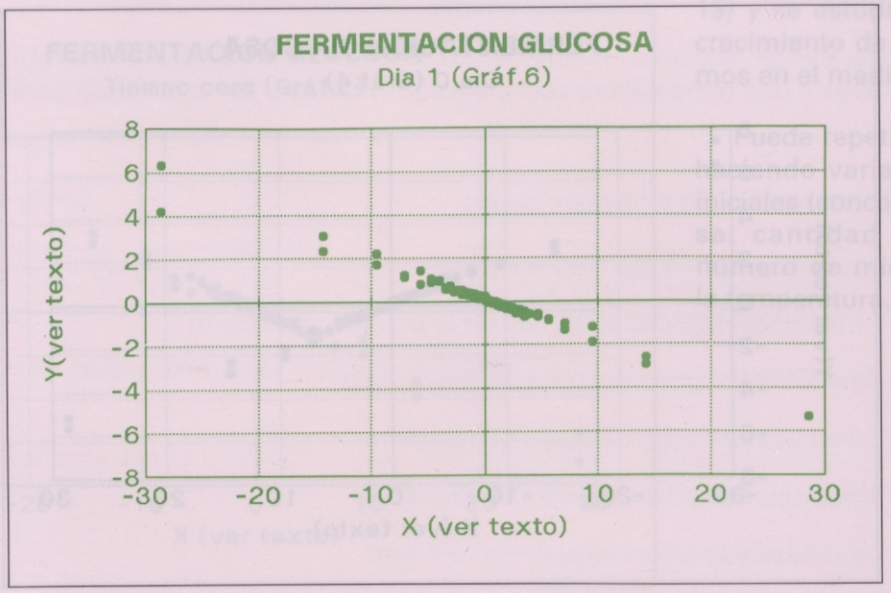
Se representan los valores del ángulo frente al tiempo (Gráfica 13) y se estudia la velocidad de crecimiento de los microorganismos en el medio utilizado.

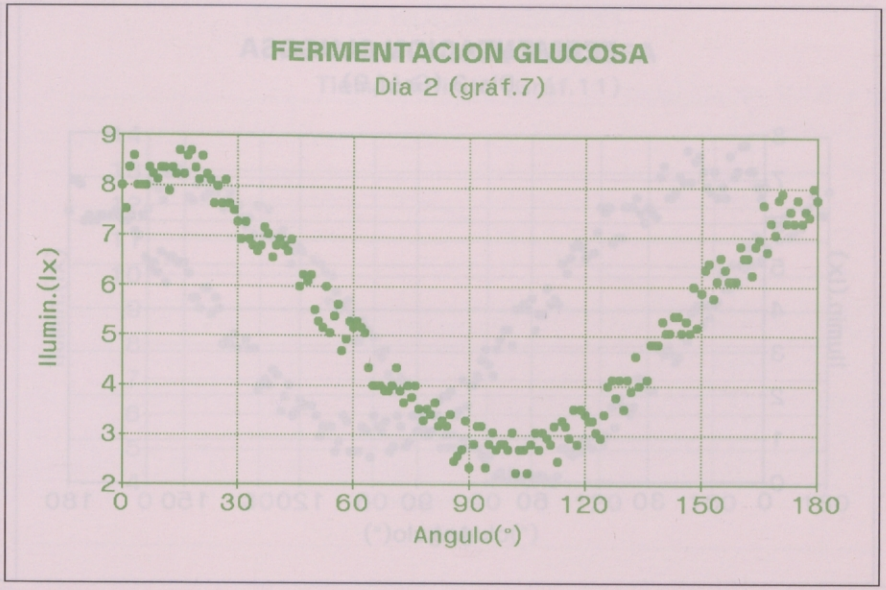
Puede repetirse la experiencia haciendo variar las condiciones iniciales (concentración de glucosa, cantidad de uvas pasas: número de microorganismos) o la temperatura.

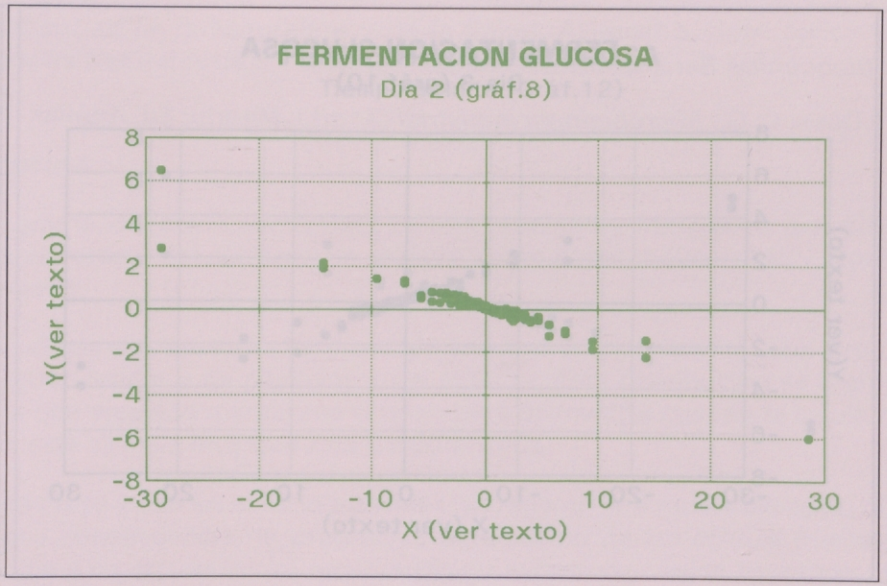

FERMENTACION GLUCOSA
Dia 0 (Gráf.3)
Ilumin.(lx)
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

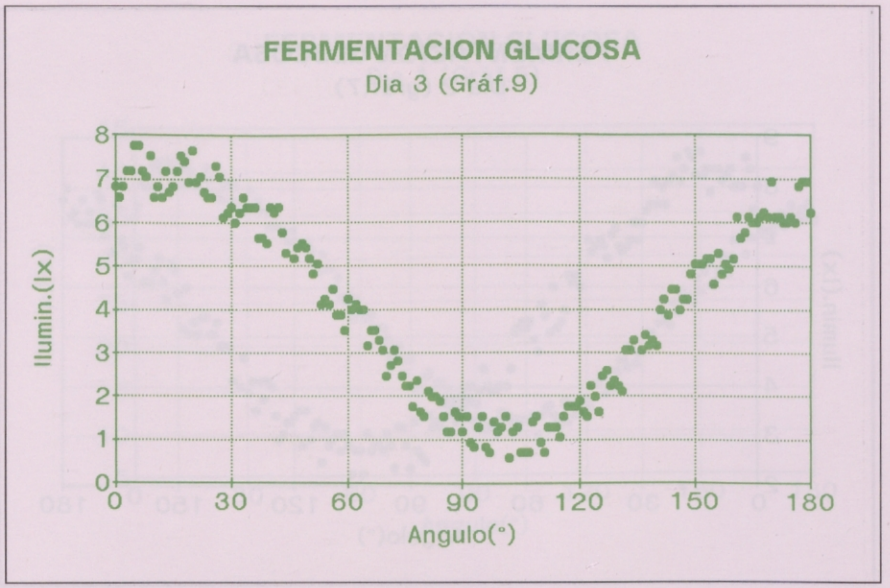

FERMENTACION GLUCOSA
Dia 0 (Gráf.4)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

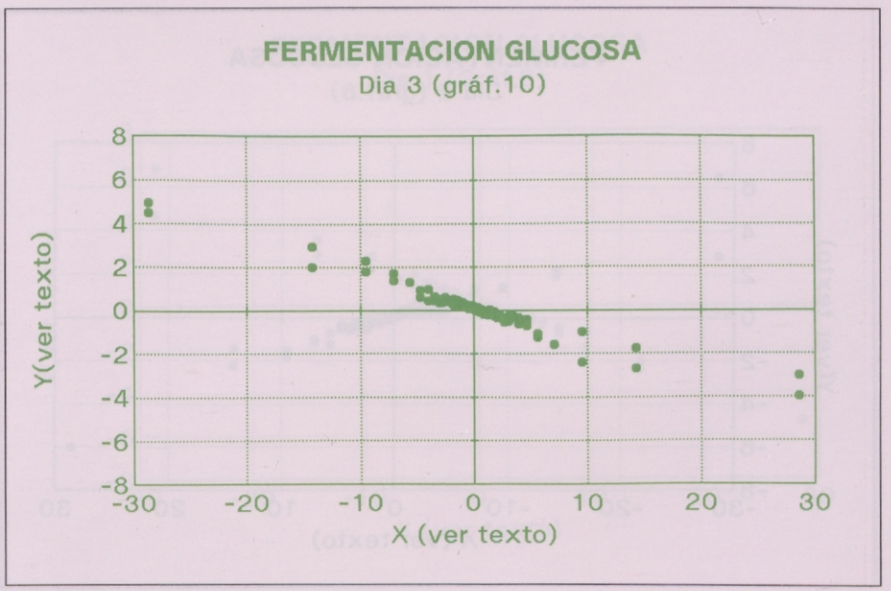

FERMENTACION GLUCOSA
Dia 1 (Gráf.5)
Ilumin.(lx)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

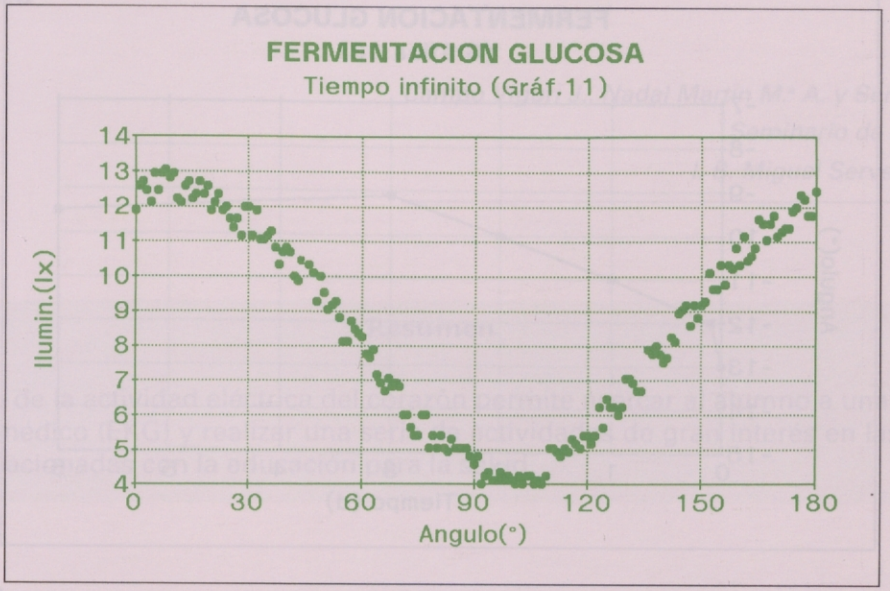

FERMENTACION GLUCOSA
Dia 1 (Gráf.6)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

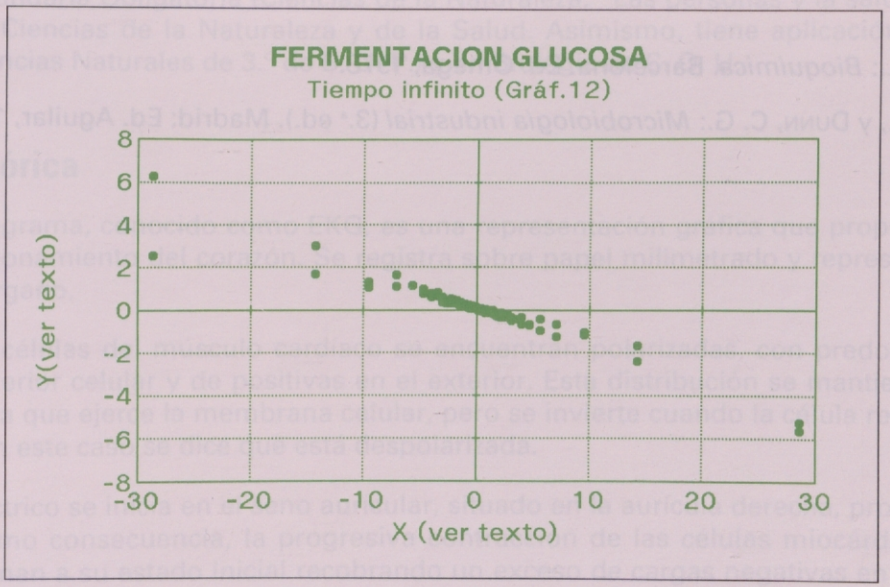

FERMENTACION GLUCOSA
Dia 2 (gráf.7)
Ilumin.(lx)
9
8
7
6
5
4
3
2
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

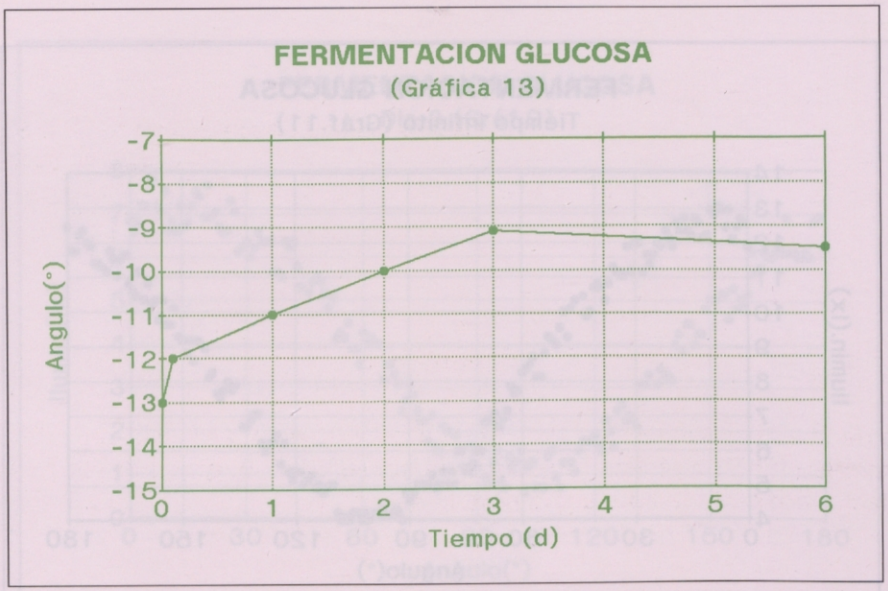

FERMENTACION GLUCOSA
Dia 2 (gráf.8)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)


FERMENTACION GLUCOSA
Dia 3 (Gráf.9)
Ilumin.(lx)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


FERMENTACION GLUCOSA
Dia 3 (gráf.10)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)


FERMENTACION GLUCOSA
Tiempo infinito (Gráf.11)
Ilumin.(lx)
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


FERMENTACION GLUCOSA
Tiempo infinito (Gráf.12)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)



Bibliografía

LEHNINGER, A. L.: *Bioquímica*. Barcelona: Ed. Omega, 1978.

PRESCOTT, S. C., y DUNN, C. G.: *Microbiología industrial* (3.ª ed.). Madrid: Ed. Aguilar, 1962.

Electrocardiograma

Campo Viguri J., Nadal Martín M.ª A. y Serrano Molina M.ª P.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. Miguel Servet. Madrid (Madrid)

Resumen

El registro de la actividad eléctrica del corazón permite acercar al alumno a una técnica de diagnóstico médico (EKG) y realizar una serie de actividades de gran interés en las unidades didácticas relacionadas con la educación para la salud.

Nivel educativo

Enseñanza Secundaria Obligatoria (Ciencias de la Naturaleza, "Las personas y la salud") y Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud. Asimismo, tiene aplicación didáctica en el actual B. U. P. (Ciencias Naturales de 3.° de B. U. P.) y en Biología de C. O. U.

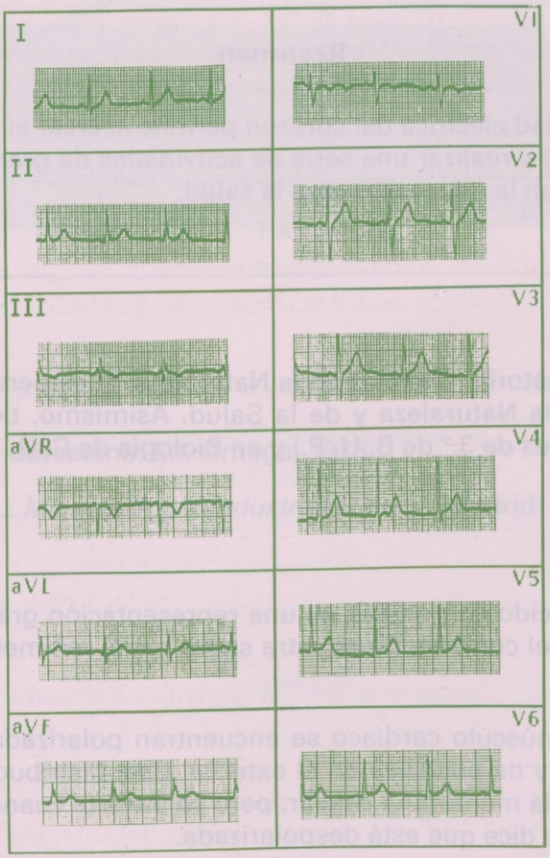
Introducción teórica

El electrocardiograma, conocido como EKG, es una representación gráfica que proporciona información sobre el funcionamiento del corazón. Se registra sobre papel milimetrado y representa la actividad eléctrica de este órgano.

En reposo, las células del músculo cardíaco se encuentran polarizadas, con predominio de cargas negativas en el interior celular y de positivas en el exterior. Esta distribución se mantiene por la acción de barrera selectiva que ejerce la membrana celular, pero se invierte cuando la célula recibe un estímulo para contraerse, en este caso se dice que está despolarizada.

El estímulo eléctrico se inicia en el seno auricular, situado en la aurícula derecha, produciendo la despolarización y, como consecuencia, la progresiva contracción de las células miocárdicas auriculares. Estas células retornan a su estado inicial recobrando un exceso de cargas negativas en el interior, fenómeno que se conoce como repolarización.

La despolarización y la repolarización del miocardio se registran en el EKG, al comportarse la parte excitada y la no excitada como un dipolo que origina un campo eléctrico. Es posible detectar esta actividad eléctrica indirectamente desde la piel del individuo, mediante unos electrodos conectados a un electrocardiógrafo. En los EKGs se registran las variaciones de los potenciales cardíacos, tanto en su magnitud como en su signo, según el lugar de colocación de los electrodos.



Electrocardiograma (E.K.G.)

Figura 1

Un par de electrodos, uno positivo y otro negativo, constituyen una derivación. El EKG ordinario (Figura 1) consta de 12 derivaciones:

— Seis derivaciones de miembros: I, II, III, aVR, aVL, aVF.

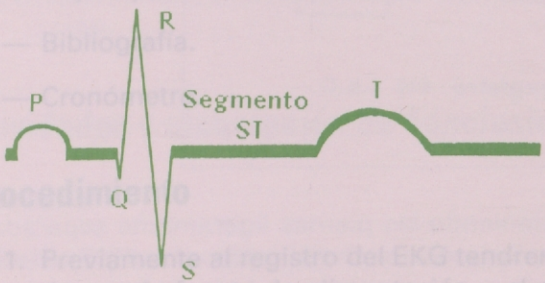
— Seis derivaciones precordiales: V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6.

En las derivaciones de miembros, los electrodos se colocan en los brazos y en la pierna izquierda (triángulo de Einthoven). Las derivaciones I, II y III son derivaciones bipolares, en ellas los electrodos se sitúan entre dos extremidades, mientras que en las otras se colocan en los tres miembros: en uno de ellos el electrodo positivo, mientras que los otros dos, de forma común, se unen a tierra (negativo). En estos casos se trata de derivaciones unipolares de los miembros, registrándose la variación de potencial de una extremidad en relación al punto eléctrico cero; el tipo específico de derivación depende de la situación del electrodo positivo: en aVR en el brazo derecho, en aVL en el brazo izquierdo y en aVF en la pierna izquierda.

Las derivaciones precordiales son bipolares, el electrodo positivo se coloca en seis puntos diferentes del tórax, que se corresponden con cada derivación.

Al realizar distintas derivaciones se obtiene una información completa de la actividad cardíaca y se permite localizar con precisión el lugar de posibles patologías. El registro que se realiza en el laboratorio corresponde a solo una de las derivaciones.

Como se ha indicado, es en el seno auricular donde se inicia el impulso eléctrico que estimula a las dos aurículas. Cuando la onda de cargas recorre a estas estructuras se produce una onda inmediata de contracción auricular (sístole auricular), que se registra en el EKG y se denomina *onda P* (Figura 2).



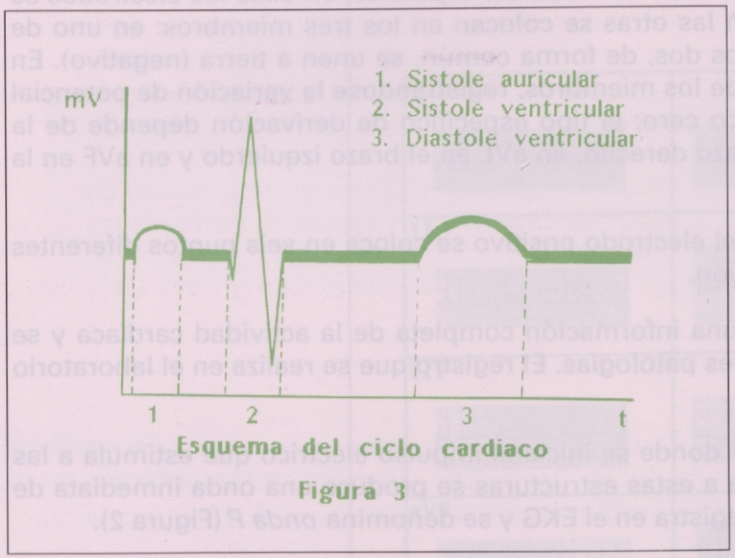
Ondas del electrocardiograma
Figura 2

Existe un período de tiempo, de una décima de segundo, antes de que el impulso iniciado en el seno auricular llegue al nódulo aurículo-ventricular, localizado entre las aurículas y los ventrículos. Durante este intervalo es cuando tiene lugar el paso de la sangre de las aurículas a los ventrículos.

Desde el nódulo aurículo-ventricular las ondas eléctricas se distribuyen por el haz de His, situado en el tabique interventricular, terminando en las fibras de Purkinje y en sus ramas. A medida que las ondas se extienden por las paredes ventriculares, se inicia la despolarización ventricular y, como consecuencia, su contracción (sístole ventricular). Esta actividad se refleja en el EKG en el *complejo QRS*.

A continuación del complejo QRS se registra un segmento prácticamente horizontal, *segmento ST*, que se corresponde con una pausa. Finalmente, aparece la *onda T*, que representa la repolarización de los ventrículos (diástole ventricular).

También existe una onda de repolarización auricular (diástole auricular) pero, por ser muy pequeña, queda generalmente enmascarada por el complejo QRS.



Esquema del ciclo cardiaco

Figura 3

La ondas P, el complejo QRS, el segmento ST y la onda T, corresponden a un *ciclo cardíaco* (Figura 3).

En cuanto a las siglas con las que se conoce este registro son, generalmente, EKG, aunque en ocasiones también se utilizan las de ECG. Se prefiere la primera forma para evitar confusiones fonéticas entre ECG y EEG (electroencefalograma), además de por existir otro registro con las mismas siglas, el electrocorticograma.

Objetivos

Generales:

- Eliminar prejuicios ante la realización de un EKG.
- Conocer la técnica de elaboración de un EKG.
- Obtener un EKG.
- Interpretar un EKG.
- Relacionar el EKG con la actividad cardíaca.
- Interpretar los EKGs obtenidos en distintos estados de actividad fisiológica.

Específicos:

Enseñanza Secundaria Obligatoria

— Apreciar la regularidad del EKG.

Bachillerato

— Apreciar la relación del EKG con el ciclo cardíaco.

— Interpretar la relación de los procesos de despolarización y repolarización de la membrana de la fibra muscular con las ondas del EKG.

— Relacionar los procesos de despolarización y repolarización de la fibra muscular con la transmisión del impulso nervioso a través de la neurona.

Material

— Equipo LAO: ordenador, fuente de alimentación, interfaz CENT, amplificador de medidas, programa LAO, impresora.

— Amplificador biológico.

— Electrodos.

— Disolución de KCl al 1%.

— Papel de filtro o servilletas de celulosa.

— Sujeto paciente.

— Bibliografía.

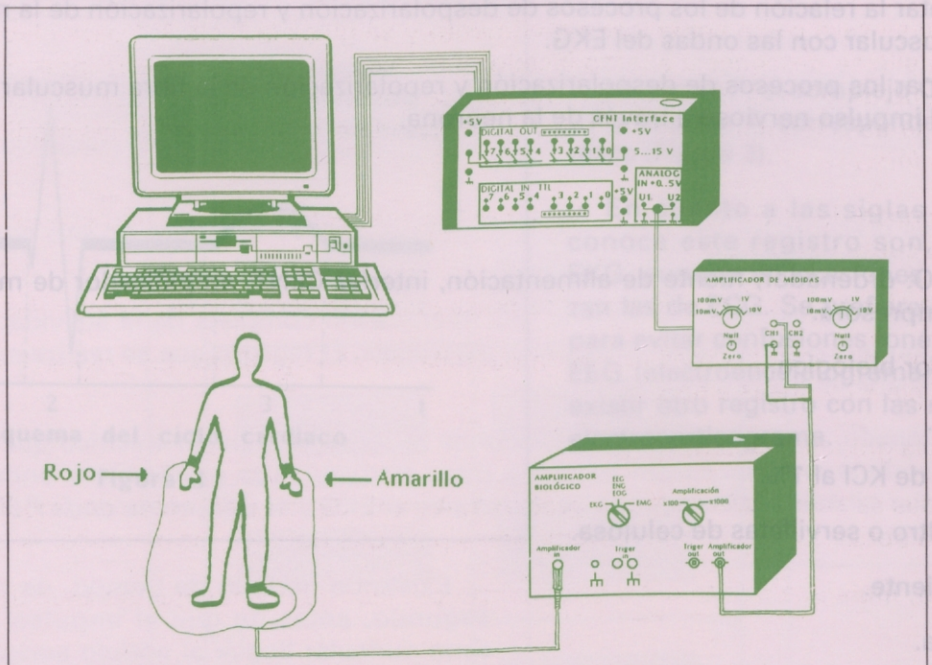
— Cronómetro.

Procedimiento

1. Previamente al registro del EKG tendremos conectados: el ordenador a la red, el interfaz al ordenador y a la fuente de alimentación y el amplificador de medidas a la entrada analógica del interfaz (Figura 4).
2. El amplificador biológico se conecta, por un lado a la red y por otro a un canal del amplificador de medidas, CH1 preferentemente. Para ello se utiliza el cable de conexión, teniendo en cuenta las siguientes observaciones:

- Introducir la clavija negra en la toma de tierra y la roja en la entrada del amplificador de medidas CH1.
- Conectar la clavija situada en el otro extremo del cable a la salida del amplificador biológico (*Amplifier out*).

3. Se sitúan los botones de mando del amplificador biológico en las opciones que corresponden a **EKG** y **x 100**, respectivamente.



Esquema del montaje para el registro del E.K.G.

Figura 4

4. El sujeto que actúa como paciente toma asiento manteniendo las piernas ligeramente separadas, los antebrazos apoyados sobre los muslos, las palmas de la manos hacia arriba, sin contacto entre ellas, y con una actitud general relajada.

5. Con el fin de facilitar la transmisión eléctrica, antes de colocar los electrodos se pasa un algodón impregnado en alcohol por la cara interna de las muñecas y por la parte anterior interna del tercio inferior de la pierna izquierda. Además, y con la misma finalidad, se interpone entre la piel y el electrodo una servilleta o un pañuelo de papel de celulosa humedecido con la disolución de KCl.

6. Se colocan los electrodos sobre dicho papel y se sujetan las cintas, con precaución de no apretar en exceso. Se conecta el electrodo de la muñeca izquierda con el cable amarillo, el de la muñeca derecha con el cable rojo y el de la pierna con el verde. El cable que une los electrodos se conecta a la entrada (*Amplifier in*) del amplificador biológico.
7. En el ordenador se selecciona el programa LAO. En captura se elige el *módulo* de **corriente variable** y como *instrumentos* el **reloj** y el **voltímetro**. Se escoge el **voltímetro 1** y, a continuación, se elige la escala de 1 V, tanto en el programa como en el amplificador de medidas.
8. En captura se selecciona **comenzar experimento** y se pulsa la tecla "s" para efectuar el ajuste a cero. Para ello se desconecta el amplificador biológico, mediante el interruptor. Se gira el botón **Zero** del amplificador de medidas, a la vez que se observan los valores que aparecen en la pantalla. Se fija la posición del botón **Zero** que corresponda al valor medio de las medidas registradas y se pulsa *Intro*.
9. En condiciones de experimento se designan los valores: 500, como número de medidas, y 10 segundos, como tiempo total.
10. Se conecta el amplificador biológico, y se pulsa una tecla para que se registren las medidas.
11. Una vez que aparecen las medidas en la pantalla, se elige **gráficas**. En gráfica 1 se asigna: A, al eje X, B al eje Y1 y líneas a tipo.
12. Se amplía la gráfica, mediante F10.
13. En utilidades se selecciona **imprimir gráfico 1**. A partir del original obtenido, mediante la fotocopiadora, se obtienen los ejemplares suficientes para que trabajen los alumnos.
14. Se realizan, individualmente o en pequeño grupo, las actividades que se proponen a continuación.

Actividades y elaboración de conclusiones

Generales:

En los EKG obtenidos (Fig. 5) se marcan los ciclos cardíacos y se deduce, a partir de su número y del tiempo de registro, la frecuencia cardíaca. Como el tiempo de registro ha sido de diez segundos será suficiente multiplicar el número de ciclos por 6, obteniéndose así la frecuencia en ciclos/minuto.

Se registran EKGs de un mismo sujeto, uno en estado de reposo (Figura 5) y otro después de una actividad física: flexiones o subida y bajada de un escalón, etc. (Figura 6). Los datos figuran en los ficheros **EKGREP5.DAT** y **EKGACT6.DAT**, respectivamente. Se comparan los EKGs obtenidos y se deducen

conclusiones. Se observará, de forma inmediata, un aumento en la frecuencia cardíaca tras la realización del ejercicio, como consecuencia del mayor aporte sanguíneo a los músculos, necesario para cubrir el incremento energético que requiere la contracción muscular.

FIG.5 EKG

Mujer de 16 años en reposo

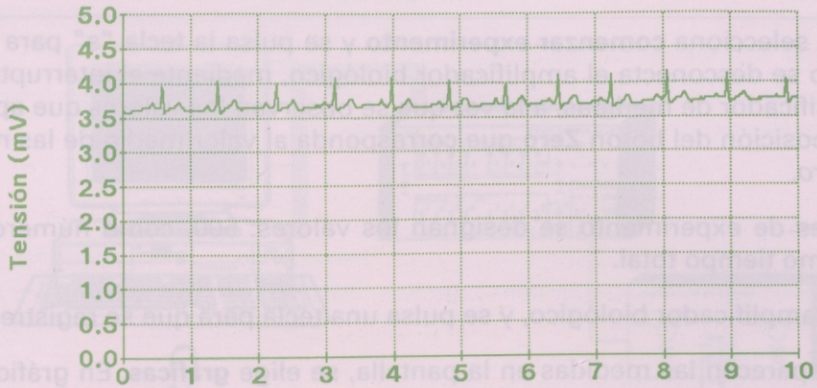
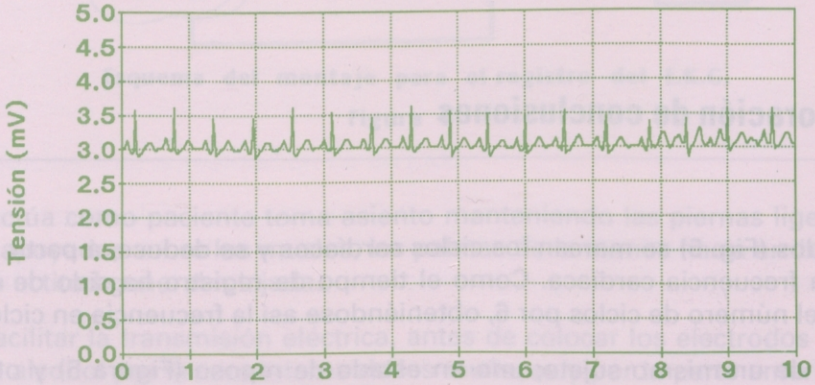


FIG.6 EKG

Mujer de 16 años en actividad



Específicas para Bachillerato:

Se estudia el ritmo en los EKGs obtenidos. Un ritmo normal es regular, cuando se mantienen las mismas distancias y amplitudes entre las ondas semejantes. Para observar como es el ritmo en el EKG, se separan los ciclos mediante trazos verticales dibujados a lápiz, desde el inicio de la onda P de un ciclo al comienzo de la misma onda en el siguiente. A continuación se mide la duración de los ciclos en el eje X y se contrastan entre sí; además, también se compara la amplitud de ondas semejantes en sucesivos ciclos, comparando su voltaje respectivo en el eje Y.

Se relaciona el registro gráfico del EKG con la actividad fisiológica del corazón. Para ello se elige un ciclo cardíaco de los anteriormente marcados, se identifican las ondas, anotando su nombre y se escribe, en la parte inferior de la gráfica, la correspondencia entre la línea marcada y la actividad cardíaca: onda P-sístole auricular, etc.

Se toma, simultáneamente y al mismo sujeto, el pulso carotídeo y el EKG, poniendo en marcha el cronómetro a la vez que se inicia el experimento, pero manteniendo el registro del pulso hasta completar 30 segundos, expresando el resultado en pulsos/minuto. Una vez obtenido el EKG se calcula a partir de él la frecuencia, se compara con el valor obtenido del pulso carotídeo y se solicita a los alumnos que relacionen ambos datos entre sí, basándose en los procesos fisiológicos que los dos registros reflejan.

Se suministra a los alumnos bibliografía sobre el proceso de la transmisión del impulso nervioso y se les pide que comparen dicho proceso con la despolarización y repolarización de la fibra cardíaca.

Otras actividades posibles:

Se registran simultáneamente el EKG y el fonocardiograma, conectando el adaptador para el micrófono a la entrada libre del amplificador de medidas, y la sonda acústica al adaptador. Se comparan ambos tipos de registros y su relación fisiológica.

Es posible estudiar, apoyados en bibliografía y en EKGs obtenidos por electrocardiógrafos médicos, la repercusión de distintas patologías cardíacas en el registro del EKG.

Una consideración imprescindible es que el profesor actúe con suma precaución, evitando siempre cualquier interpretación médica de los EKGs obtenidos en el laboratorio, insistiendo en que estos registros son una aproximación, pero no se realizan ni de forma completa ni con la misma fiabilidad que proporciona el aparato de registro clínico.

Aplicación didáctica

La finalidad que se pretende con la realización de esta práctica y de las actividades con ella relacionadas es, en primer lugar, conocer técnicas de diagnóstico habituales, y, en segundo lugar, facilitar la comprensión de los fenómenos electrofisiológicos que ocurren en el cuerpo humano.

Por las razones anteriormente expuestas, consideramos importante integrar e interrelacionar esta práctica con otras que se realicen en el núcleo de la fisiología humana y dentro del contexto de una educación para la salud.

Debido a la complejidad de los fundamentos fisiológicos que sustentan el EKG, se hace necesario distinguir los objetivos y actividades en relación con los conocimientos e intereses de los alumnos.

No es necesario que el EKG se realice a todos los alumnos del grupo, siendo en algunos casos suficiente dos voluntarios: uno de ellos actúa de paciente y el otro realiza la toma de datos. Sin embargo, sí se considera imprescindible que la actividad se realice en presencia de todo el grupo y que cada uno de los alumnos posea una copia del EKG obtenido, para llevar a cabo, de forma individual o en pequeño grupo, las actividades anteriormente enumeradas.

Las actividades generales y específicas de Bachillerato se han experimentado con un grupo de 14 alumnos de 3.° de BUP que cursan el EATP: Técnicas de campo y de laboratorio en Ciencias Naturales. El registro del EKG y las actividades se han realizado de forma individualizada, alternándose con otros trabajos.

Bibliografía

BÖRGER, M. H.: *Información E. C. G.* Barcelona: Eds. Grass, 1983.

DUBIN, D.: *Electrocardiografía práctica.* México: Ed. Interamericana, 1976.

FARRERAS P., y ROZMAN, C.: *Medicina interna* (Tomo I). Barcelona: Ed. Marín, S. A., 1978.

GUYTON, A.: *Tratado de Fisiología Médica.* Madrid: Ed. Interamericana, 1983.

HARRISON, P.: *Harrison's principles of internal medicine.* New York: Ed. MacGraw-Hill, 1987.

VADOT, I.: *Fisiología Humana: La circulación.* Madrid: Ed. Marbán, 1976.

Influencia de la temperatura y de la luz sobre la vitamina C

Lorenzo Gondar E. y Sanz Rodríguez R. M.ª
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. María Zambrano. Leganés (Madrid)

Resumen

Mediante la decoloración del diclorofenolindofenol se valora la actividad de la vitamina C presente en zumo natural de naranja en distintas condiciones experimentales.

Nivel educativo

Segunda etapa de la E. S. O.

Primero de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Biología y Geología (actual 3.° B. U. P.).

Introducción teórica

La vitamina C forma parte de un grupo de sustancias necesarias para los seres vivos y que el hombre no es capaz de sintetizar. Por ello, ha de ser suministrada en la dieta. Fue aislada por Szent, Giorgy, Waugh y King entre 1928 y 1933.

Es una vitamina abundante en diversos alimentos, entre ellos los cítricos. Los animales, exceptuando el ser humano, los monos, los cobayas y los murciélagos frugívoros de la India, la sintetizan en el hígado a partir del UDP-D-glucurónico.

Interviene en los fenómenos de oxidación reducción de la nutrición y, en particular, favorece la formación del glucógeno muscular. Es antihemorrágica, antihistamínica y, secundariamente, antiinfecciosa.

En cuanto a su modo de actuación en las células, es el coenzima de la oxigenasa del ácido homogentísico y de la oxidasa del ácido hidroxifenolpirúvico.

Su deficiencia determina que se excreten ácido homogentísico y ácido hidroxifenolpirúvico en la orina. Además, toda una serie de síntomas que constituyen la enfermedad del escorbuto.

Posee propiedades ácidas y reductoras, por lo que puede determinarse su presencia por métodos colorimétricos en materiales biológicos con "diclorofenolindofenol". El DCPIP tiene un color azul intenso en su forma oxidada y pasa a una forma incolora al reducirse.

El luxómetro va a registrar el aclaramiento que experimente el DCPIP al añadir sobre él la muestra con vitamina C (que posee poder reductor). Para una cantidad fija de DCPIP y de muestra, el aclaramiento será tanto más rápido cuanto mayor sea el contenido en vitamina C de la muestra.

Objetivos

— Obtener las gráficas correspondientes al aclaramiento del DCPIP al añadir una cantidad fija de muestra previamente diluida (zumo natural, hervido y expuesto a la luz).

— Comparar los resultados obtenidos y deducir la influencia ejercida por los dos factores estudiados.

Material

— Zumo natural de naranja (filtrado dos veces).

— Solución de DCPIP 0.0004 M.

— Bureta.

— Vasos de precipitados.

— Embudo.

— Soportes.

— Pinzas.

— Fuente de iluminación.

— Agitador magnético.

— Papel de filtro.

— Ordenador.

— Interfaz CENT .

— Fuente de alimentación.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro y sonda de luz.

Procedimiento

1 En un vaso de precipitados de 100 cc introducir 30 cc de DCPIP 0.0004 M. Sumergir en él el imán del agitador magnético.

2. Sujetar una bureta a un soporte y, mediante un embudo, agregar 30 cc de zumo de naranja filtrado y diluido (10 cc de zumo de naranja filtrado más 20 cc de agua destilada).

3. Colocar los instrumentos según el dispositivo de la figura 1.

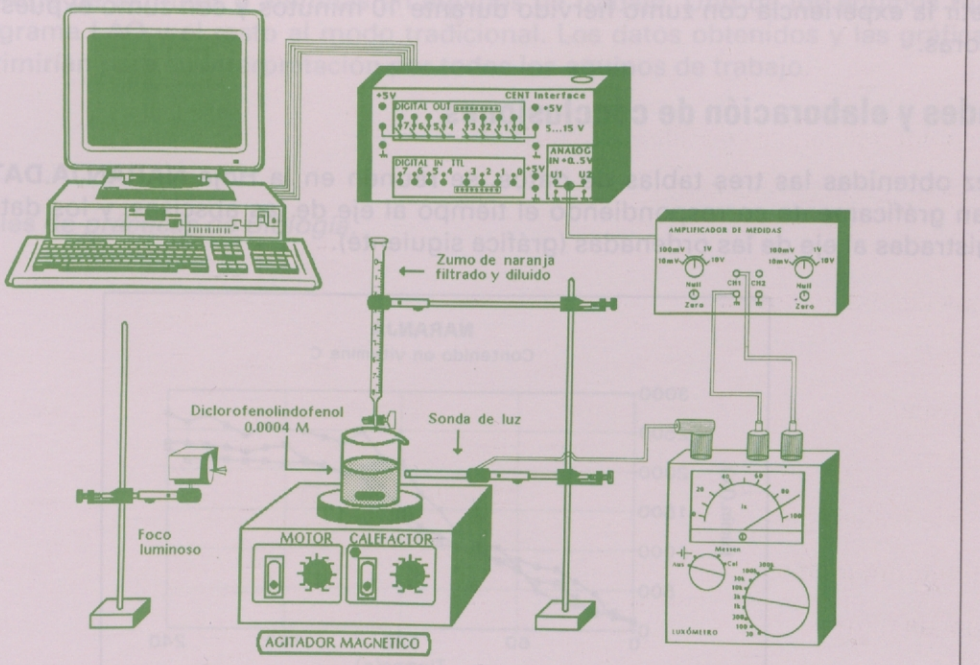
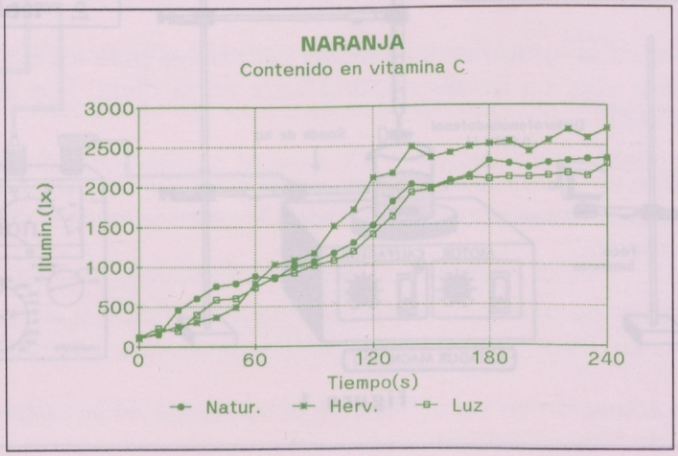


Figura 1

4. Conectar la fuente luminosa y colocarla en el lado opuesto a la sonda de luz (que ha de estar colocada a una altura tal que no interfiera con el imán del agitador magnético introducido en el vaso de reacción).
5. Poner en funcionamiento el agitador magnético a un número bajo de revoluciones por minuto.
6. Con el programa LAO: Elegir *módulo* de **intensidad luminosa**, como *instrumentos*, **el reloj** y **el luxómetro** (fijar la escala del luxómetro en 3 Klx). En *comenzar experimento*, regular el punto cero procurando que coincida la lectura del luxómetro externo con el valor que aparece en el monitor del ordenador. Fijar el número de medidas en 25, y el intervalo entre medidas en 10 segundos. Pulsar una tecla para que comience la toma de medidas.
7. Cada vez que el ordenador tome un dato, abrir la espita de la bureta dejando caer 1 cc de zumo de naranja diluido sobre la disolución de DCPIP que se encuentra en el vaso de reacción (estas operaciones han de realizarse lo más rápidamente posible, con el fin de que actúen los dos reactivos antes de que se tome la lectura siguiente).
8. Las variaciones de iluminación que se producen al añadir el zumo sobre el DCPIP aparecerán registradas en la Hoja de Cálculo correspondiente.
9. Repetir la experiencia con zumo hervido durante 10 minutos y con zumo expuesto a la luz durante 24 horas.

Actividades y elaboración de conclusiones

Una vez obtenidas las tres tablas de datos, se reunen en la Hoja **NARANJA.DAT**, cuyos datos se representan gráficamente correspondiendo el tiempo al eje de las abscisas, y los datos de las iluminaciones registradas al eje de las ordenadas (gráfica siguiente).



De la observación de la gráfica anterior se deduce que el calentamiento durante 10 minutos no ha destruido la vitamina C; de la misma manera, los valores detectados en el zumo expuesto a la luz, nos indican que la pérdida de vitamina C ha sido despreciable. Para estudiar el efecto de estos dos factores habría que aumentar el tiempo de ebullición y el de exposición a la luz.

Aplicación didáctica

La práctica se puede enmarcar dentro de los programas de los siguientes cursos:

— 3.° de la E. S. O (capítulos dedicados a la nutrición).

— 1.° de Biología y Geología (Bachillerato de Ciencias Naturales y de la Salud).

— Taller de Biología para la Salud (1.° Bachillerato).

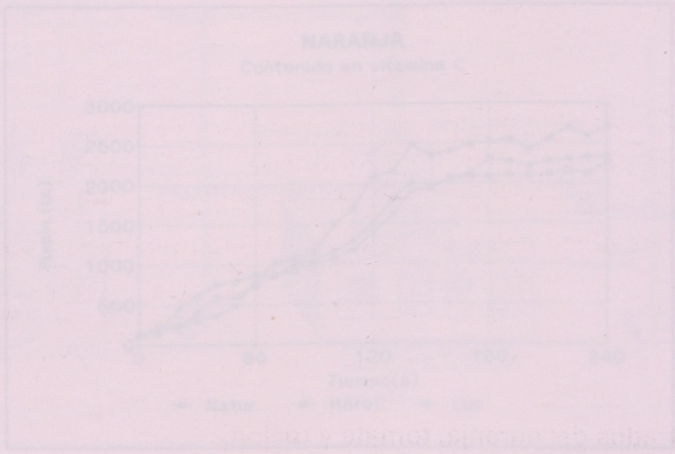
— Taller de LAO (1.° Bachillerato)

— Biología de 2.° curso (Prácticas de Bioquímica-Metabolismo).

Se dividiría el grupo de alumnos y alumnas en equipos de trabajo. Uno de los equipos realizaría la práctica con el programa LAO y el resto al modo tradicional. Los datos obtenidos y las gráficas correspondientes se imprimirían para su interpretación por todos los equipos de trabajo.

Bibliografía

Diversos manuales de *prácticas de Biología.*



Análisis comparativo del contenido en vitamina C de diferentes muestras

Lorenzo Gondar E. y Sanz Rodríguez R. M.ª
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. María Zambrano. Leganés (Madrid)

Resumen

Mediante la decoloración del diclorofenol indofenol se valora el contenido en vitamina C de diferentes muestras.

Nivel educativo

Segunda etapa de la E. S. O.

Primero y segundo del Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignaturas de Biología y Geología, y Biología (actuales 3.° B. U. P. y C. O. U.).

Introducción teórica

Es la misma que para la práctica "Influencia de la temperatura y la luz sobre la vitamina C" (B/BIQ1-8).

Objetivos

— Obtener las gráficas iluminación/tiempo correspondientes al aclaramiento del diclorofenolindofenol al añadir una cantidad fija de muestra previamente diluida (zumos naturales de naranja, tomate, melón y un preparado comercial de zumo de naranja).

— Comparar los resultados obtenidos y deducir el contenido relativo en vitamina C de las muestras utilizadas.

Material

— Zumos naturales y filtrados de: naranja, tomate y melón.

— Refrescos comerciales.

— Solución de DCPIP 0.0004 M.

— Bureta.

— Vasos de precipitados.

— Embudo.

— Soportes.

— Pinzas.

— Agitador magnético.

— Fuente de iluminación.

— Papel de filtro.

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro y sonda de luz.

— Fuente de iluminación.

Procedimiento

1. En un vaso de precipitados de 100 cc, introducir 30 cc de solución de DCPIP 0.0004 M. Sumergir en él el imán del agitador magnético.
2. Sujetar una bureta a un soporte y, mediante un embudo, agregar 30 cc de zumo natural de naranja filtrado y diluido en la proporción: 10 cc de zumo de naranja + 20 cc de agua destilada.
3. Realizar el montaje correspondiente del dispositivo experimental, que es idéntico al de la experiencia *"Influencia de la temperatura y de la luz sobre la vitamina C" (B/BIQ1-8)* (Figura 1).
4. Conectar la fuente luminosa y colocarla en el lado opuesto a la sonda de luz (que ha de estar colocada de forma que no interfiera con el imán del agitador magnético introducido en el vaso de reacción). Poner en marcha el agitador magnético.

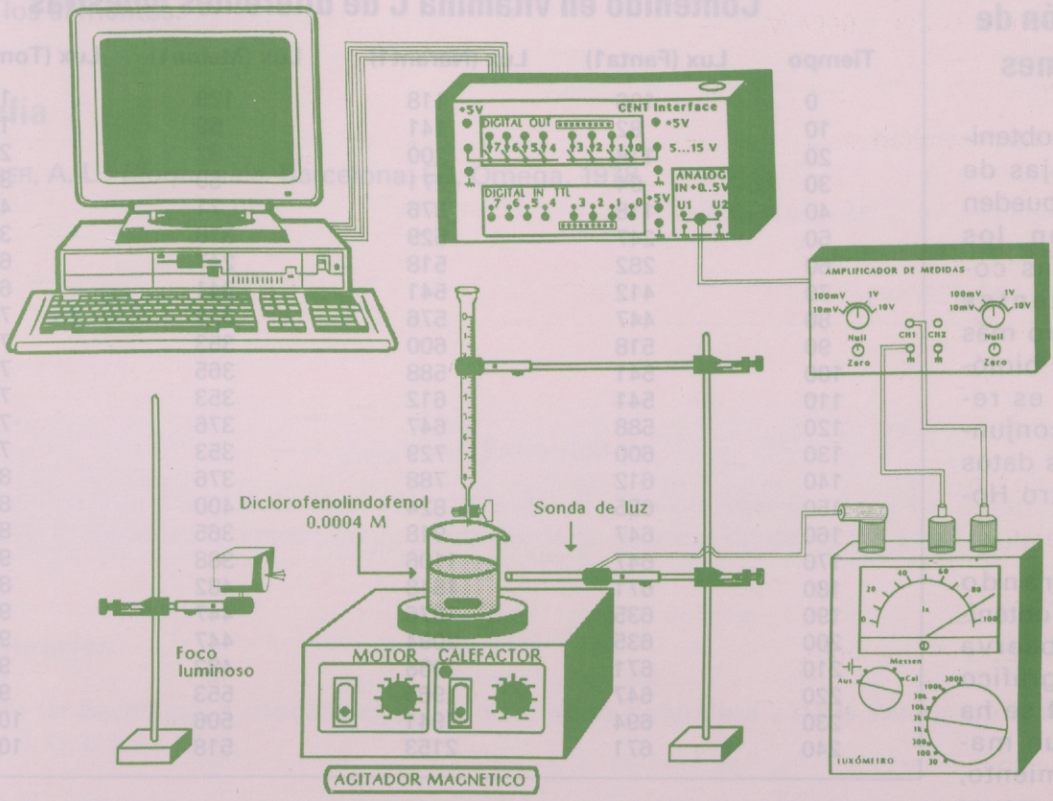


Figura 1

5. Con el programa LAO: elegir el *módulo* de **intensidad luminosa**, como *instrumentos*, el **reloj** y el **luxómetro**, escala n.° 5; en comenzar experimento, 25 medidas cada diez segundos. Pulsar una tecla cualquiera para que comience el experimento.
6. Cada vez que el ordenador tome un dato agregar 1 cc del zumo diluido que se encuentra en la bureta.
7. Los datos obtenidos se guardan en la Hoja del fichero **NARANAT1.DAT**.
8. Repetir la prueba sucesivamente con zumo de tomate, melón y bebida comercial de zumo de naranja, siempre diluidas en la proporción antes señalada. Guardar respectivamente en los ficheros **TOMATE2.DAT**, **MELON1.DAT** y **FANTA1.DAT**.

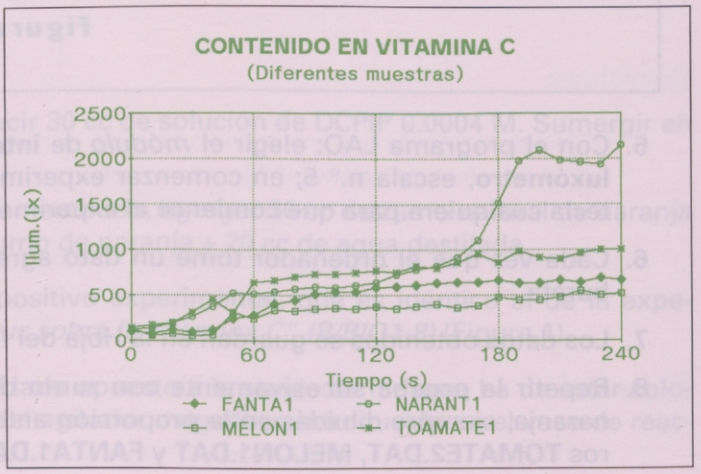
Actividades y elaboración de conclusiones

Una vez obtenidas las Hojas de Cálculo se pueden representan los datos en las correspondientes gráficas, pero más interesante biológicamente es representar conjuntamente los datos de las cuatro Hojas.

Contenido en vitamina C de diferentes muestras

Tiempo	Lux (Fanta1)	Lux (Narant1)	Lux (Melon1)	Lux (Tomate2)
0	106	118	129	141
10	82	141	59	176
20	118	200	82	200
30	94	271	59	318
40	118	376	71	459
50	247	529	318	306
60	282	518	247	647
70	412	541	341	671
80	447	576	329	706
90	518	600	353	741
100	541	588	365	741
110	541	612	353	753
120	588	647	376	776
130	600	729	353	753
140	612	788	376	824
150	635	824	400	800
160	647	918	365	859
170	647	1106	388	953
180	671	1518	482	859
190	635	1976	447	988
200	635	2094	447	918
210	671	1988	482	906
220	647	1965	553	965
230	694	1941	506	1000
240	671	2153	518	1000

Comparando las gráficas obtenidas, se observa que en el gráfico **NARANAT1** se ha obtenido un mayor aclaramiento, debido a un mayor contenido en vitamina C del zumo de naranja que en el resto de las muestras (unos 2000 lx). A continuación, le sigue el zumo de tomate (1000 lx) y con menor contenido el zumo de melón y la bebida comercial de zumo de naranja.



Aplicación didáctica

El comentario correspondiente a este apartado sería idéntico al realizado en la experiencia: "La influencia de la temperatura y de la luz sobre la vitamina C" (B/BIQ1-8); obviamente

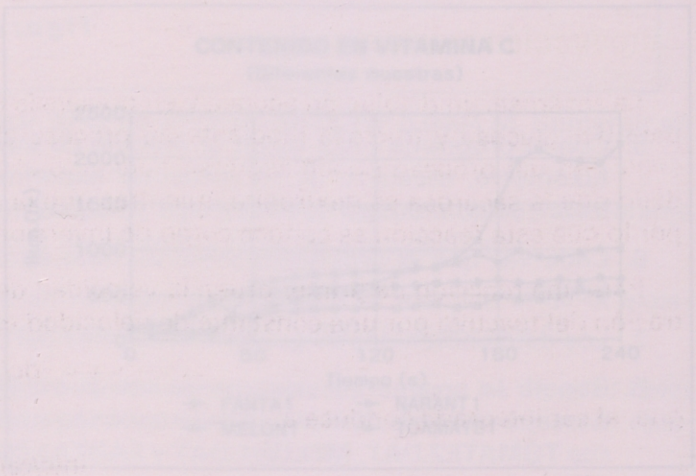
estas dos experiencias son complementarias en el estudio del contenido de vitamina C, y de sus propiedades, en los alimentos.

Bibliografía

LEHNINGER, A. L.: *Bioquímica*. Barcelona: Ed. Omega, 1978.

Contenido en vitamina C de diferentes muestras

Tiempo	Lux (Fanta1)	Lux (Naranj1)	Lux (Melon1)	Lux (Tomate2)
0	106	118	129	141
10	82	141	59	176
20	118	200	87	200
30	94	200	94	200
40	118	376	71	459
50	247	529	318	306
60	282	576	247	647
70	412	941	341	671
80	447	870	329	706
90	518	800	353	741
100	541	729	365	741
110	541	812	353	753
120	588	847	376	776
130	600	729	353	753
140	612	788	376	824
150	635	824	400	800
160	647	918	388	859
170	647	1106	388	953
180	671	1518	482	859
190	635	1976	447	988
200	635	2094	447	918
210	671	1988	482	906
220	647	1965	553	965
230	694	1941	506	1000
240	671	2153	518	1059



Inversión de la sacarosa

Barrio Alonso C.
Seminario de Física y Química
I. B. n.º 7. Oviedo (Asturias)
Peláez de Lucas M.ª C. y Fernández de Diego F. J.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. Virgen de la Luz. Avilés (Asturias)

Resumen

Mediante la medida de las variaciones del ángulo de rotación de la luz polarizada, se estudia la cinética de la reacción de hidrólisis de la sacarosa en un medio ácido.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Biología (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La sacarosa, en disolución acuosa y en presencia de un ácido que actúa como catalizador, se hidroliza para dar glucosa y fructosa mediante un proceso cinético de primer orden respecto a la sacarosa. La evolución del proceso puede seguirse midiendo el ángulo de giro del plano de polarización de la luz, dado que la sacarosa es dextrógira, mientras que la mezcla resultante de glucosa y fructosa es levógira, por lo que esta reacción se conoce como de inversión.

Para una reacción de primer orden la velocidad de reacción es proporcional al producto de la concentración del reactivo por una constante de velocidad específica k:

$$v = -dc/dt = kc$$

que, al ser integrada conduce a:

$$\ln(c/c_0) = -kt$$

siendo c y c_0 las concentraciones del reactivo en un tiempo t y al tiempo cero, y donde representando $-\ln(c/c_0)$ frente al tiempo se obtendrá una recta de pendiente k y ordenada en el origen nula. En este caso, siendo Φ el ángulo de rotación de la luz polarizada, $\Phi_{inf}-\Phi(t)$ es proporcional a la concentración de reactivo presente y $\Phi_{inf}-\Phi_0$ a su concentración inicial.

Para la hidrólisis de la sacarosa la constante de velocidad obtenida es función, además de la temperatura, del pH, por lo que será afectada por la concentración de ácido presente. Si son previsibles variaciones de la temperatura ambiente de más de un par de grados sería recomendable mantener termostatizado el recipiente donde tenga lugar la reacción.

Objetivos

— Estudiar los cambios de la actividad óptica de una disolución de sacarosa como consecuencia de su hidrólisis en medio ácido.

— Determinar si la reacción anterior sigue una ley cinética de primer orden.

— Hallar los valores de la constante de velocidad específica.

Material

— Balanza.

— Probetas.

— Vasos de precipitados.

— Disolución de sacarosa 1 molar.

— Disolución de HCl 4N.

— Polarímetro (o filtros polarizadores).

— Difusor.

— Fuente luminosa (preferiblemente lámpara de sodio).

— Soportes.

— Pinzas.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro.

— Sonda de Luz.

— Cables de conexión.

— Programa LAO.

— Ordenador.

— Impresora.

Procedimiento

1. Preparar una disolución de sacarosa 1 molar (17.1 gramos de sacarosa en 50 ml de agua) y filtrar (para que la disolución quede clara). Preparar HCl 4N (diluyendo 16.1 ml del concentrado comercial a 50 ml).

2. Tomar 25 ml de cada una de las dos disoluciones y mezclarlas, anotando el tiempo como t_0. Con la mezcla se lava el tubo del polarímetro un par de veces, se llena sin que queden burbujas, y se procede a hacer la primera medida antes de quince minutos. Las dos siguientes se hacen con intervalos de quince minutos y las restantes (ocho o diez) con intervalos progresivamente mayores. Al día siguiente se hace la última (tiempo infinito).

3. El montaje experimental, el ajuste a cero del polarímetro y el procedimiento a seguir para la toma de datos son los descritos en la práctica titulada *"Actividad óptica" (F/OP1-17).*

Actividades y elaboración de conclusiones

Los datos obtenidos están en los siguientes ficheros:

INVE0H15.DAT (medidas tomadas a los quince minutos)

INVE0H35.DAT (medidas tomadas a los treinta minutos)

INVE1H10.DAT (medidas tomadas a una hora y diez minutos)

INVE1H30.DAT (medidas tomadas a una hora y treinta minutos)

INVE1H55.DAT (medidas tomadas a una hora y cincuenta y cinco minutos)

INVE2H15.DAT (medidas tomadas a dos horas y quince minutos)

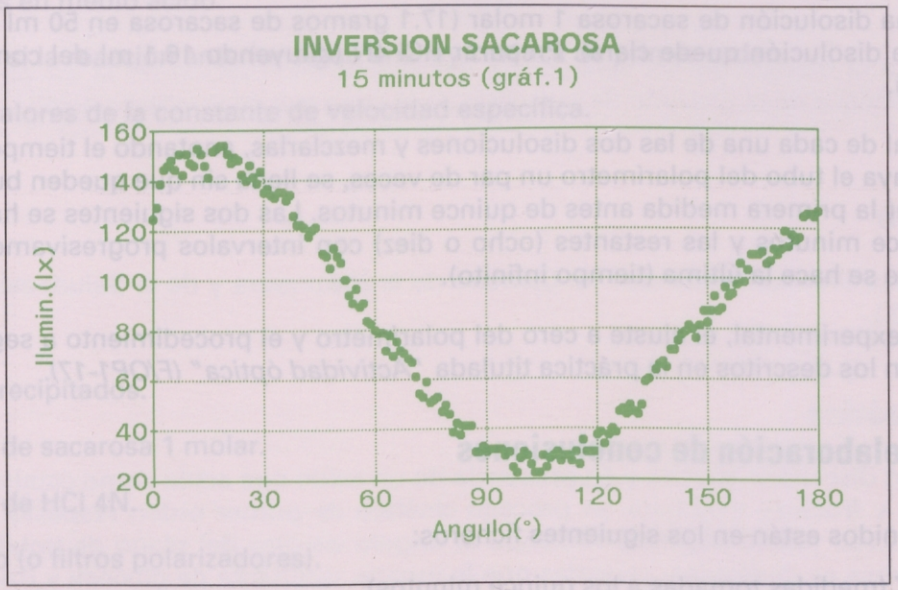
INVE2H40.DAT (medidas tomadas a dos horas y cuarenta minutos)

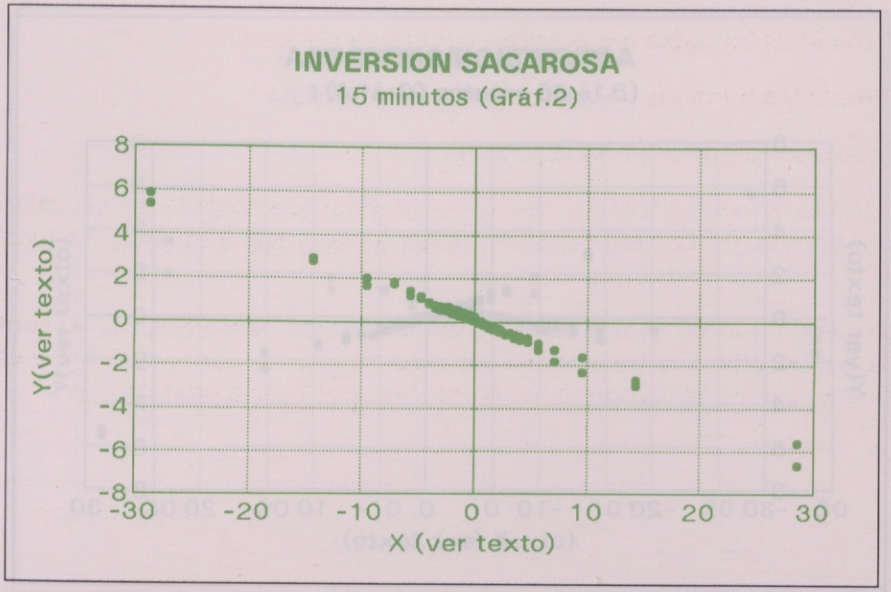
INVE3H10.DAT (medidas tomadas a tres horas y diez minutos)

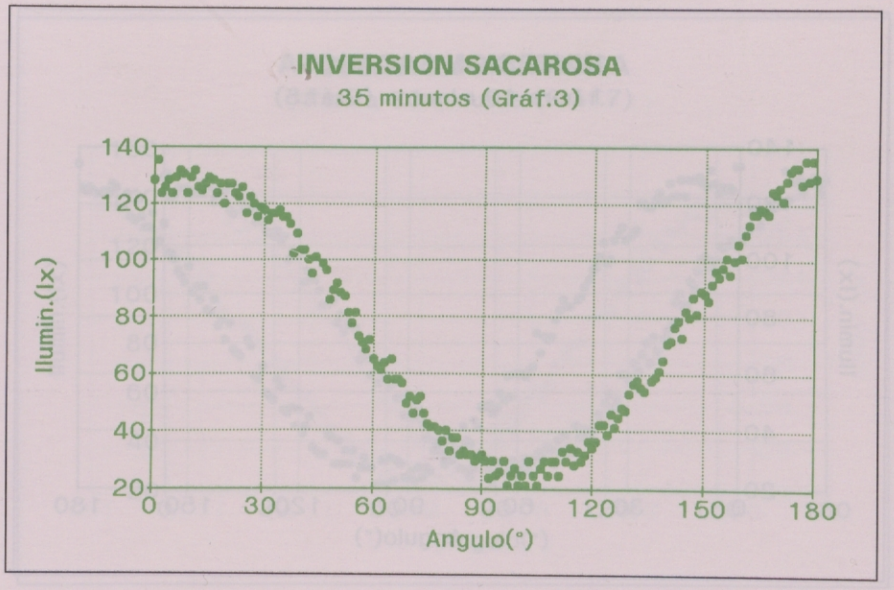
INVEINFI.DAT (medidas tomadas al día siguiente)

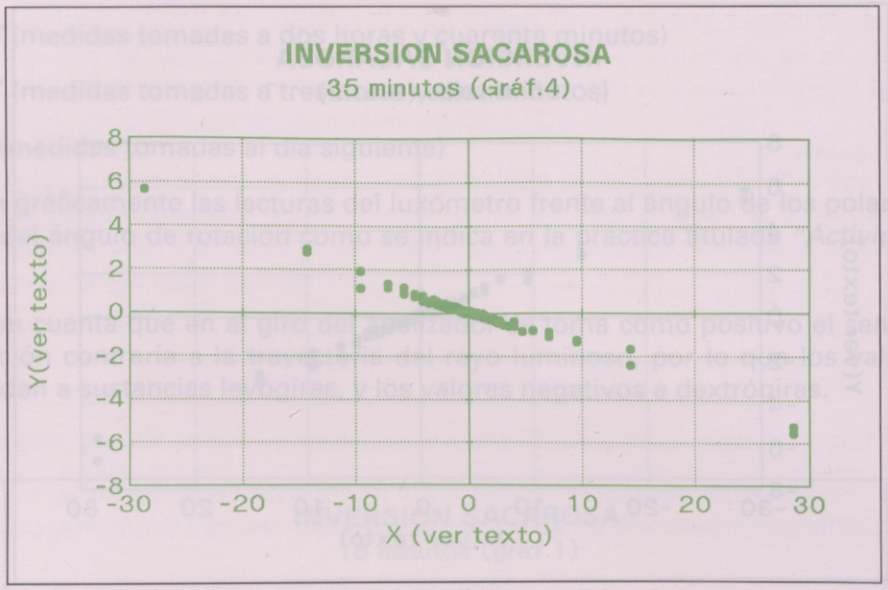
Se representan gráficamente las lecturas del luxómetro frente al ángulo de los polarizadores, y se calculan los valores del ángulo de rotación como se indica en la práctica titulada *"Actividad óptica"* (Gráficas 1 a 18).

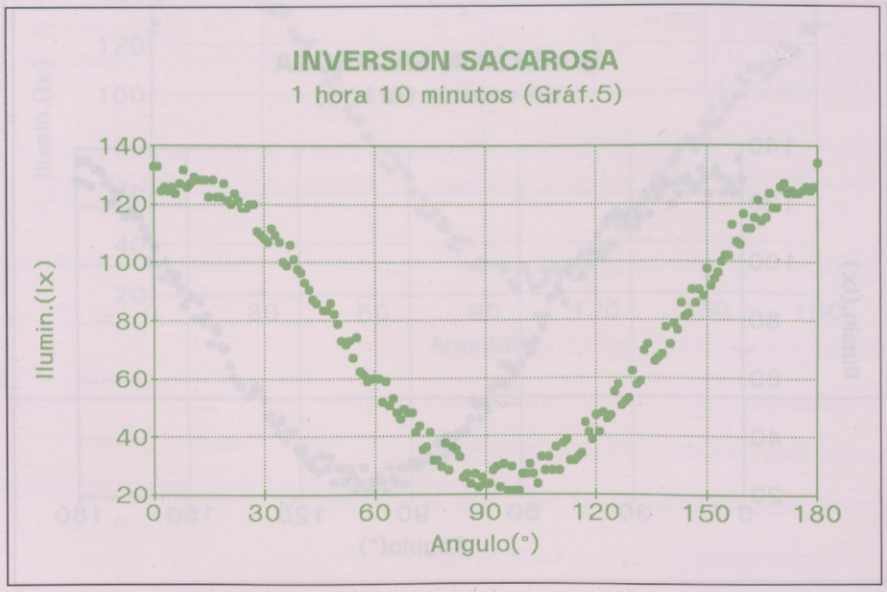
Debe tenerse en cuenta que en el giro del analizador se toma como positivo el sentido de las agujas del reloj en dirección contraria a la trayectoria del rayo luminoso, por lo que los valores positivos del ángulo corresponden a sustancias levógiras, y los valores negativos a dextrógiras.

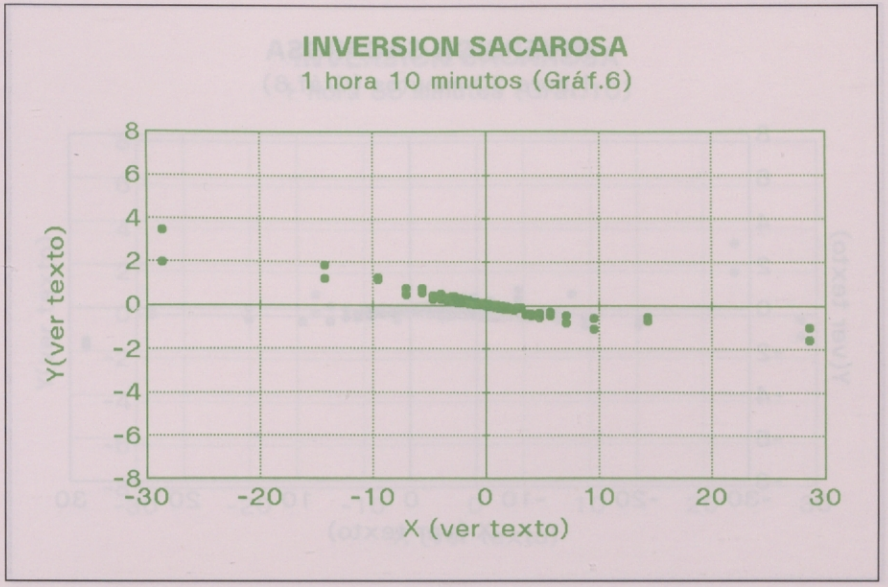


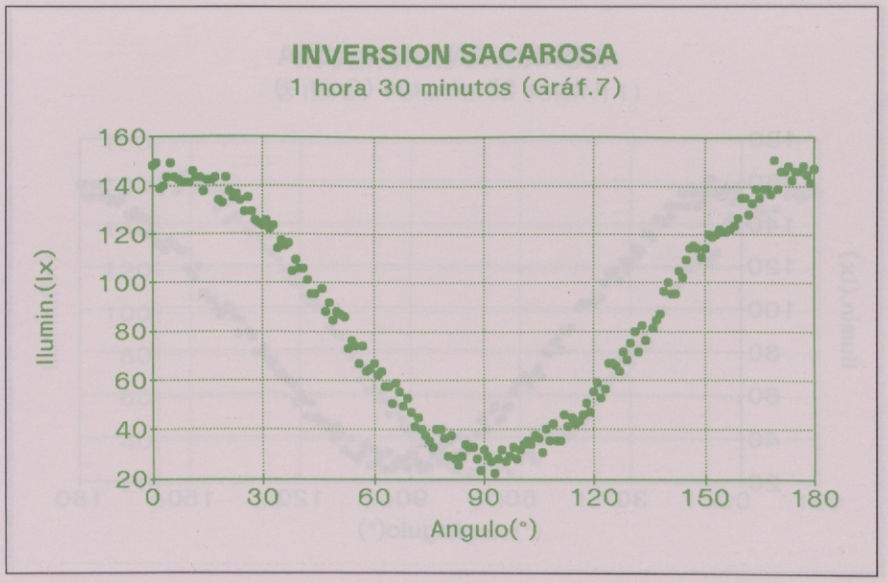

INVERSION SACAROSA
15 minutos (Gráf.2)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

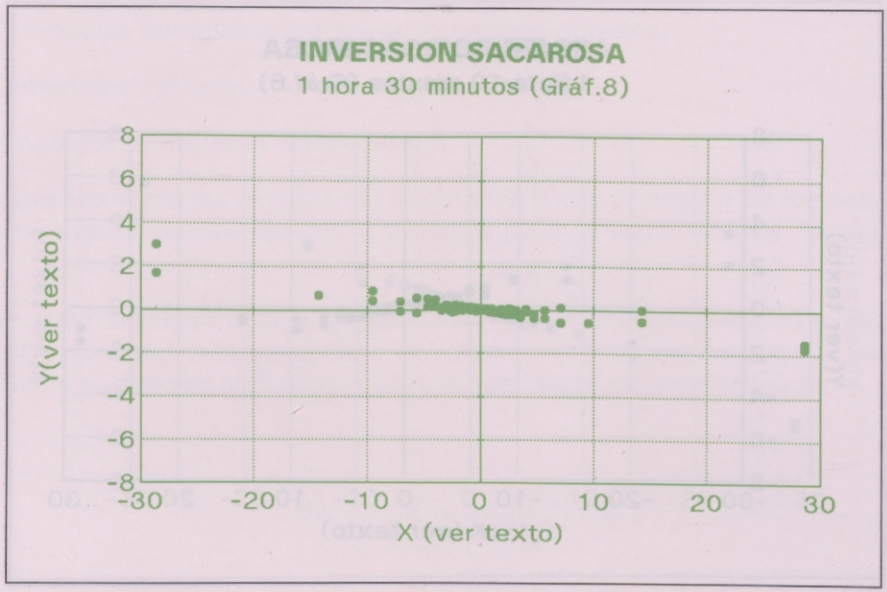

INVERSION SACAROSA
35 minutos (Gráf.3)
Ilumin.(lx)
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

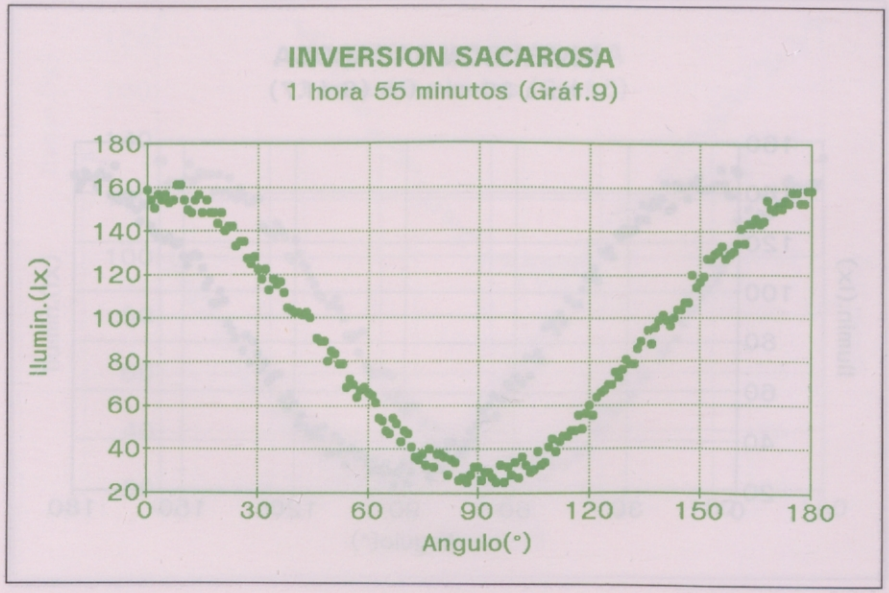

INVERSION SACAROSA
35 minutos (Gráf.4)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

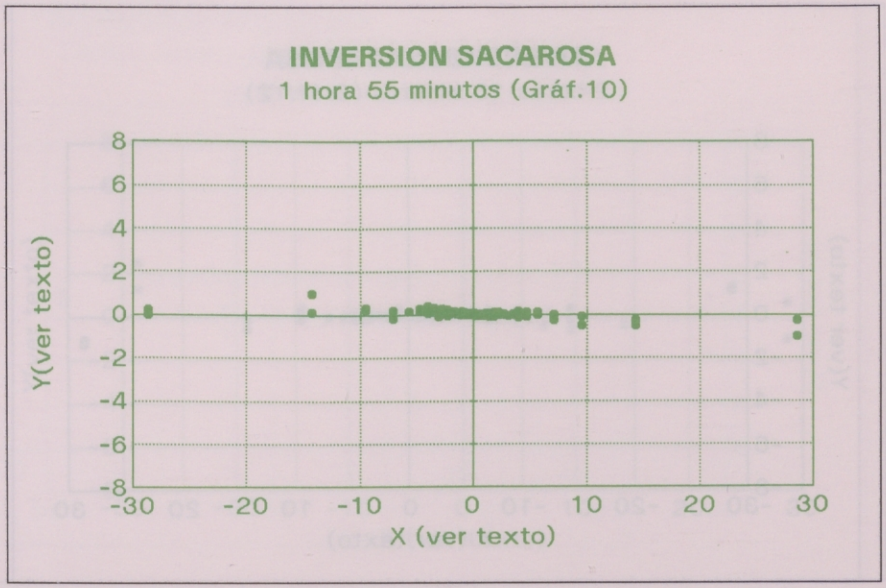

INVERSION SACAROSA
1 hora 10 minutos (Gráf.5)
Ilumin.(lx)
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

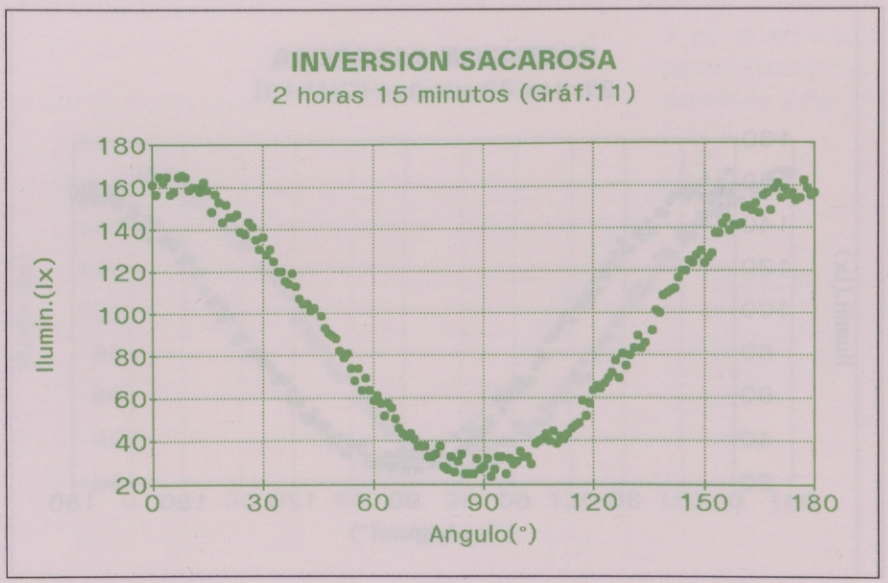

INVERSION SACAROSA
1 hora 10 minutos (Gráf.6)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

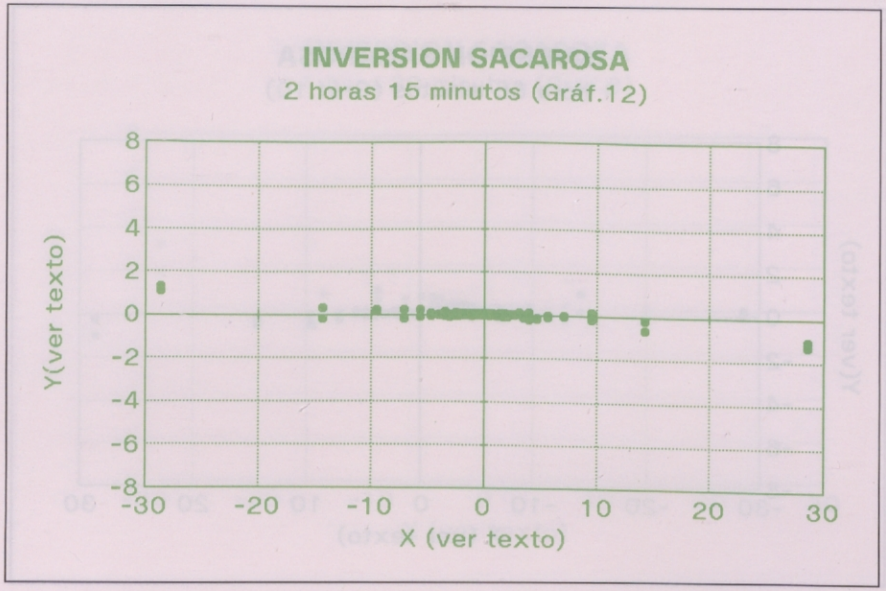

INVERSION SACAROSA
1 hora 30 minutos (Gráf.7)
Ilumin.(lx)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

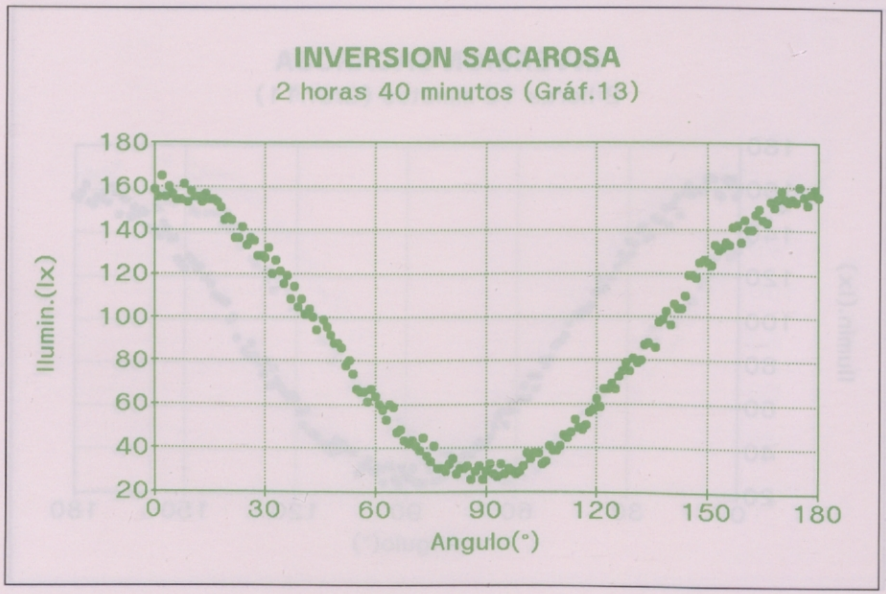

INVERSION SACAROSA
1 hora 30 minutos (Gráf.8)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

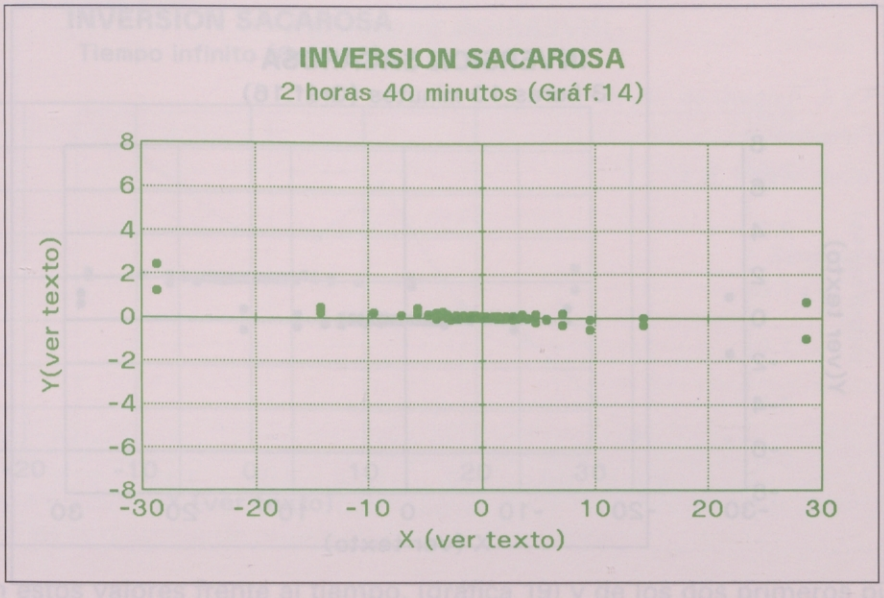

INVERSION SACAROSA
1 hora 55 minutos (Gráf.9)
Ilumin.(lx)
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

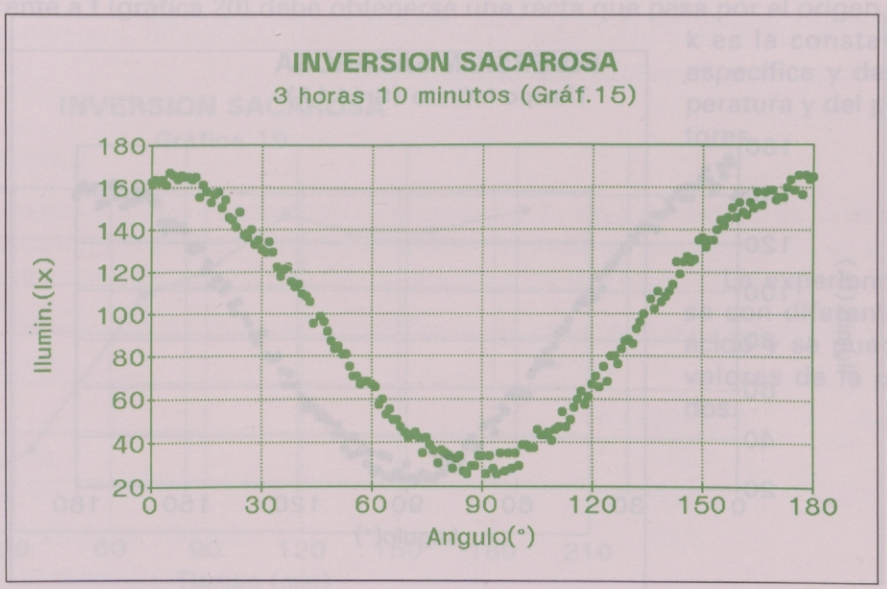

INVERSION SACAROSA
1 hora 55 minutos (Gráf.10)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

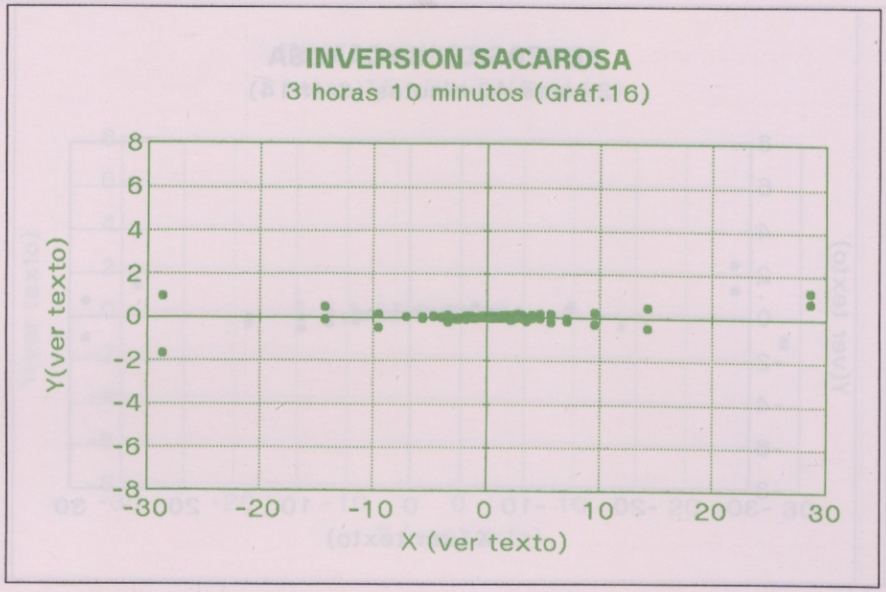

INVERSION SACAROSA
2 horas 15 minutos (Gráf.11)
Ilumin.(lx)
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

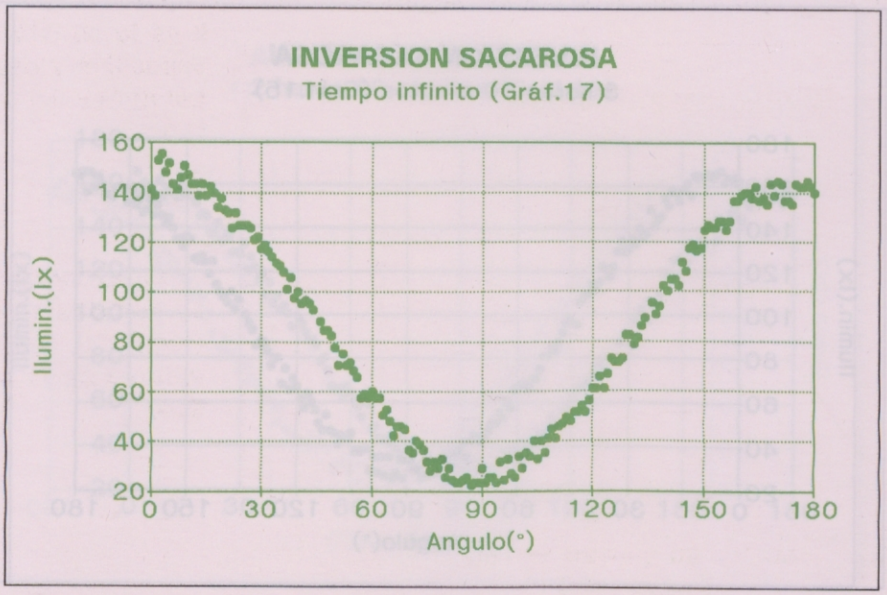

INVERSION SACAROSA
2 horas 15 minutos (Gráf.12)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

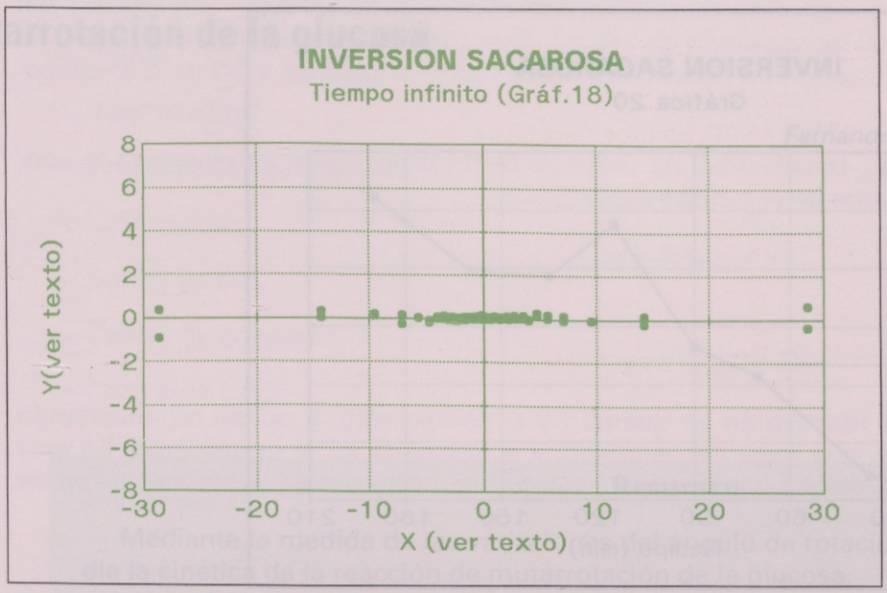

INVERSION SACAROSA
2 horas 40 minutos (Gráf.13)
Ilumin.(lx)
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


INVERSION SACAROSA
2 horas 40 minutos (Gráf.14)
Y(ver texto)
X (ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30

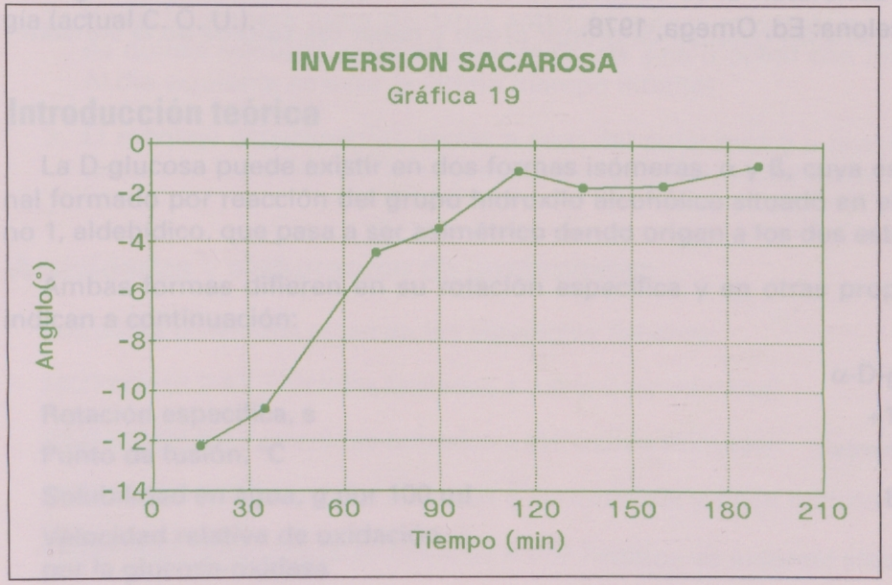

INVERSION SACAROSA
3 horas 10 minutos (Gráf.15)
Ilumin.(lx)
Angulo(°)
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180


INVERSION SACAROSA
3 horas 10 minutos (Gráf.16)
Y(ver texto)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

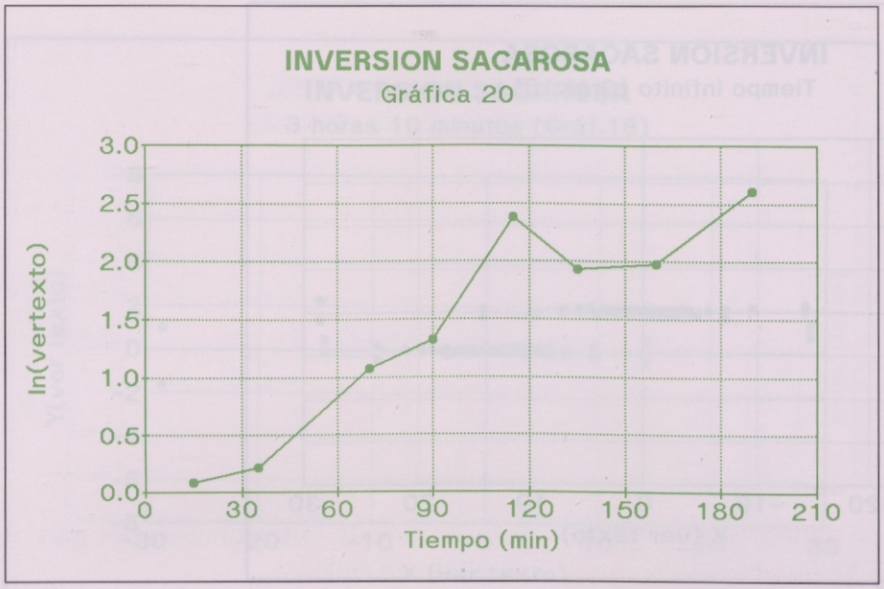

INVERSION SACAROSA
Tiempo infinito (Gráf.17)
Ilumin.(lx)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)



Se representan estos valores frente al tiempo, (gráfica 19) y de los dos primeros puntos se extrapola el valor a t_0. Por ser una reacción de primer orden debe cumplir que $\ln((\Phi_{inf}-\Phi_0)/(\Phi_{inf}-\Phi(t))) = kt$ (en una gráfica de ln(...) frente a t (gráfica 20) debe obtenerse una recta que pasa por el origen y de pendiente k); k es la constante de velocidad específica y depende de la temperatura y del pH, entre otros factores.



La experiencia puede repetirse con diferentes cantidades de ácido y se pueden comparar los valores de la constante obtenidos.



Bibliografía

GLASSTONE, S.: *Tratado de química física* (7.ª ed.). Madrid: Ed. Aguilar, 1968.

LEHNINGER, A. L.: *Bioquímica*. Barcelona: Ed. Omega, 1978.

Mutarrotación de la glucosa

Fernández de Diego F. J. y Peláez de Lucas M.ª C.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. Virgen de la Luz. Avilés (Asturias)
Barrio Alonso C.
Seminario de Física y Química
I. B. n.º 7. Oviedo (Asturias)

Resumen

Mediante la medida de las variaciones del ángulo de rotación de la luz polarizada se estudia la cinética de la reacción de mutarrotación de la glucosa.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Biología (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La D-glucosa puede existir en dos formas isómeras, α y ß, cuya estructura es la de un anillo hexagonal formado por reacción del grupo hidroxilo alcohólico situado en el carbono 5 con el átomo de carbono 1, aldehídico, que pasa a ser asimétrico dando origen a los dos estereoisómeros.

Ambas formas difieren en su rotación específica y en otras propiedades físicas y químicas que se indican a continuación:

	α-D-glucosa	ß-D-glucosa
Rotación específica, s	+112.2	+18.7
Punto de fusión, °C	146	150
Solubilidad en agua, g por 100 ml	82.5	178
Velocidad relativa de oxidación por la glucosa-oxidasa	100	< 1

Cuando la D-glucosa se disuelve en agua, su rotación óptica cambia gradualmente con el paso del tiempo aproximándose a un valor final de equilibrio de +52.5.°. Este cambio, llamado mutarrotación, se debe a la formación de una mezcla en equilibrio constituida por 1/3 de α–D–glucosa y 2/3 de ß–D–glucosa.

Para una reacción de primer orden, la velocidad de reacción es proporcional al producto de la concentración del reactivo por una constante de velocidad específica k:

$$v = -dc/dt = kc$$

que integrándola conduce a:

$$\ln(c/c_0) = -kt$$

siendo c y c_0 las concentraciones del reactivo en un tiempo t y al tiempo cero, y donde representando $-\ln(c/c_0)$ frente al tiempo se obtendrá una recta de pendiente k y ordenada en el origen nula. En este caso, siendo Φ el ángulo de rotación de la luz polarizada, $\Phi_{inf}-\Phi(t)$ es proporcional a concentración de reactivo presente y $\Phi_{inf}-\Phi_0$ a su concentración inicial.

Objetivos

— Estudiar los cambios en la actividad óptica sufridos por la D–glucosa como consecuencia de la ciclación de su molécula.

— Determinar si la reacción sigue una ley cinética de primer orden y hallar los valores de la constante de velocidad específica.

Material

— Balanza.

— Probetas.

— Vasos de precipitados.

— Disolución de glucosa 1 molar.

— Polarímetro (o filtros polarizadores).

— Difusor.

— Fuente luminosa (preferiblemente lámpara de sodio).

— Soportes.

— Pinzas.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro.

— Sonda de Luz.

— Cables de conexión.

— Programa LAO.

— Ordenador.

— Impresora.

Procedimiento

1. Preparar una disolución de glucosa 1 molar (18 gramos de glucosa en 100 ml de agua) inmediatamente antes de comenzar la práctica.
2. Hacer la primera toma de datos antes de quince minutos; las dos o tres siguientes con intervalos de quince minutos, y las siguientes (hasta seis u ocho) con intervalos progresivamente mayores. Al día siguiente se hace la última (tiempo infinito).
3. El montaje experimental, ajuste a cero del polarímetro y procedimiento a seguir para la toma de datos son los descritos en la práctica titulada *"Actividad óptica" (F/OP1-17).*

Actividades y elaboración de conlusiones

Los datos obtenidos están en los siguientes ficheros:

MUTA0H15.DAT (medidas tomadas a los quince minutos).

MUTA0H30.DAT (medidas tomadas a los treinta minutos).

MUTA0H45.DAT (medidas tomadas a los cuarenta y cinco minutos).

MUTA1H00.DAT (medidas tomadas a una hora).

MUTA1H15.DAT (medidas tomadas a una hora y quince minutos).

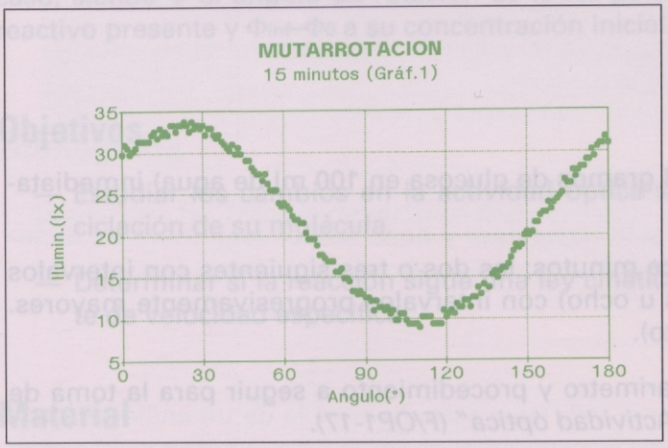
MUTA1H30.DAT (medidas tomadas a una hora y treinta minutos).

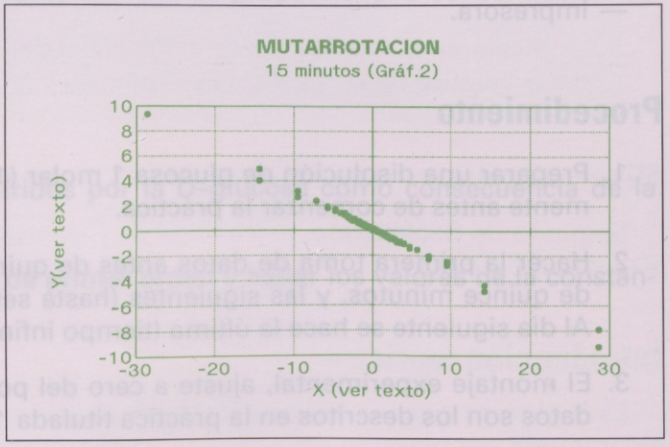
MUTA2H00.DAT (medidas tomadas a dos horas).

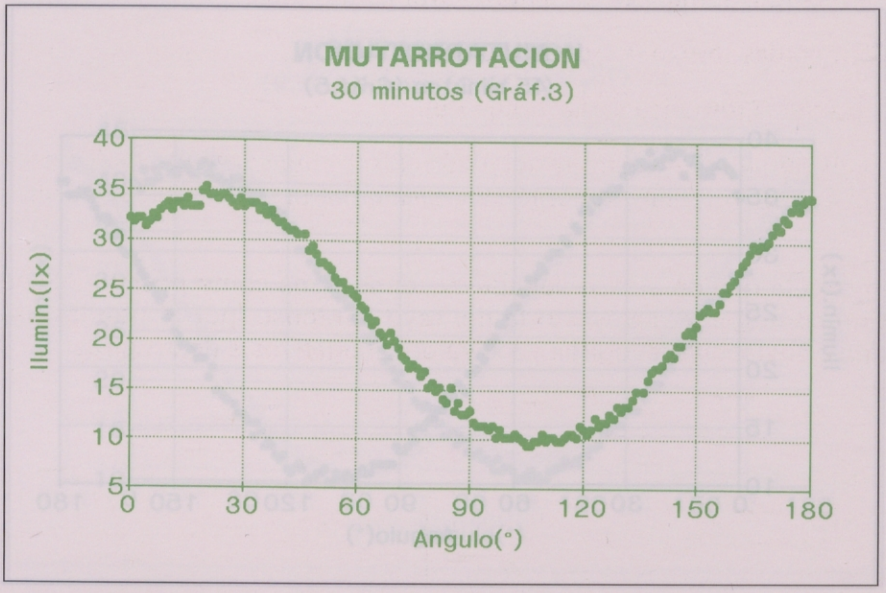
MUTAINFI.DAT (medidas tomadas al día siguiente).

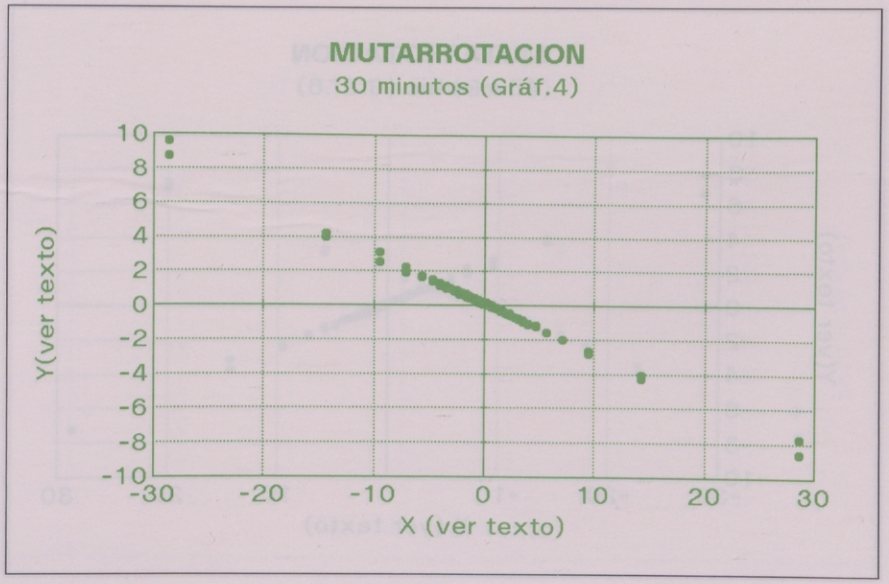
Se representan gráficamente las lecturas del luxómetro frente al ángulo de los polarizadores y se calculan los valores del ángulo de rotación como se indica en la práctica titulada "Actividad óptica" (gráficas 1 a 16).

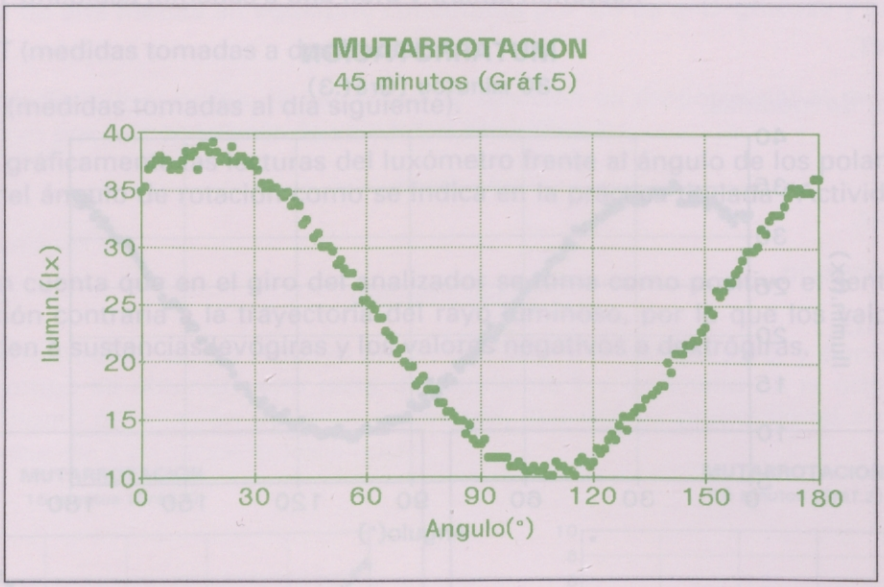
Debe tenerse en cuenta que en el giro del analizador se toma como positivo el sentido de las agujas del reloj en dirección contraria a la trayectoria del rayo luminoso, por lo que los valores positivos del ángulo corresponden a sustancias levógiras y los valores negativos a dextrógiras.

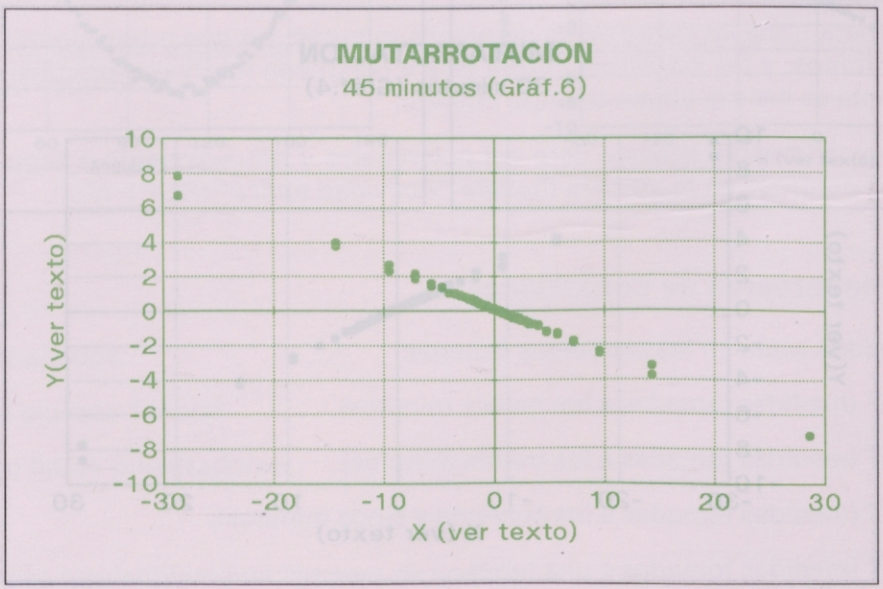


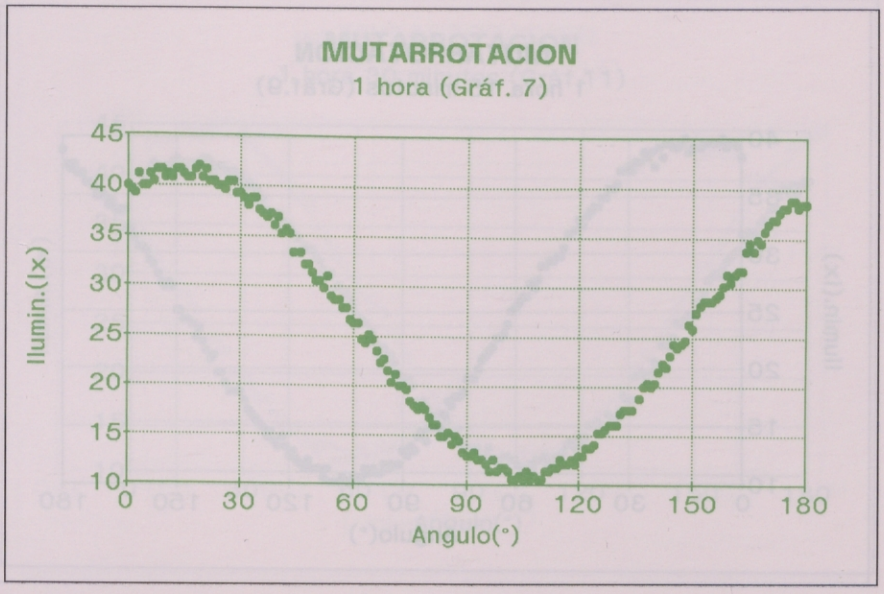


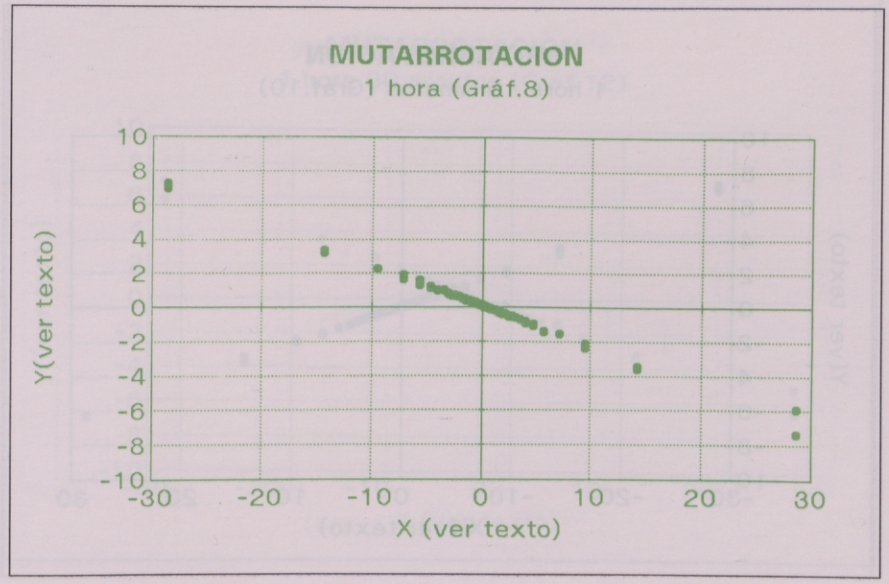

MUTARROTACION
30 minutos (Gráf.3)
Ilumin.(lx)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

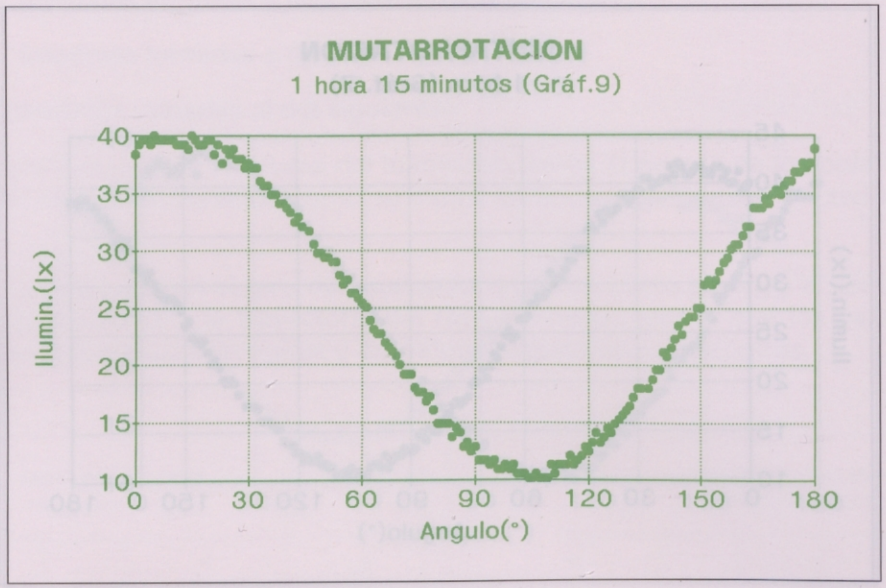

MUTARROTACION
30 minutos (Gráf.4)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

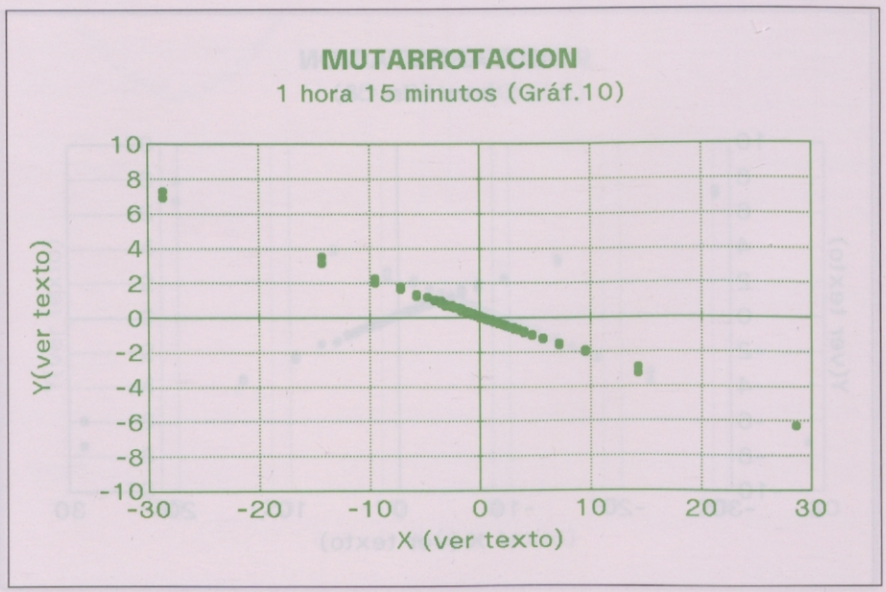

MUTARROTACION
45 minutos (Gráf.5)
Ilumin.(lx)
40
35
30
25
20
15
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

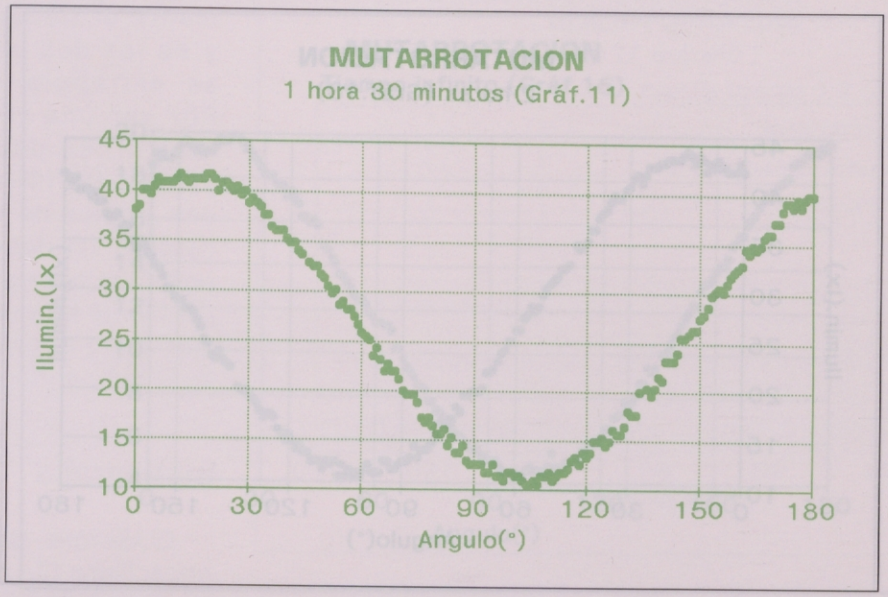

MUTARROTACION
45 minutos (Gráf.6)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

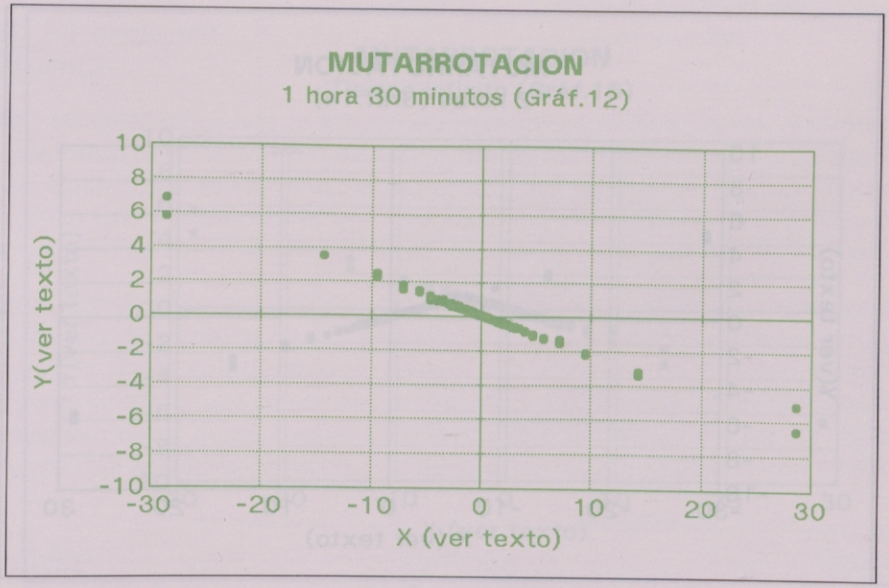

MUTARROTACION
1 hora (Gráf. 7)
Ilumin.(lx)
45
40
35
30
25
20
15
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

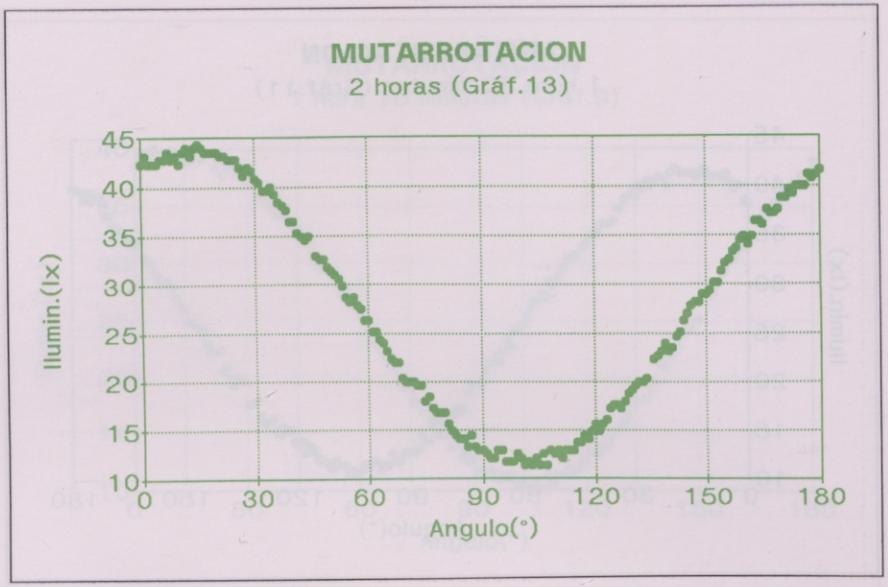

MUTARROTACION
1 hora (Gráf.8)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

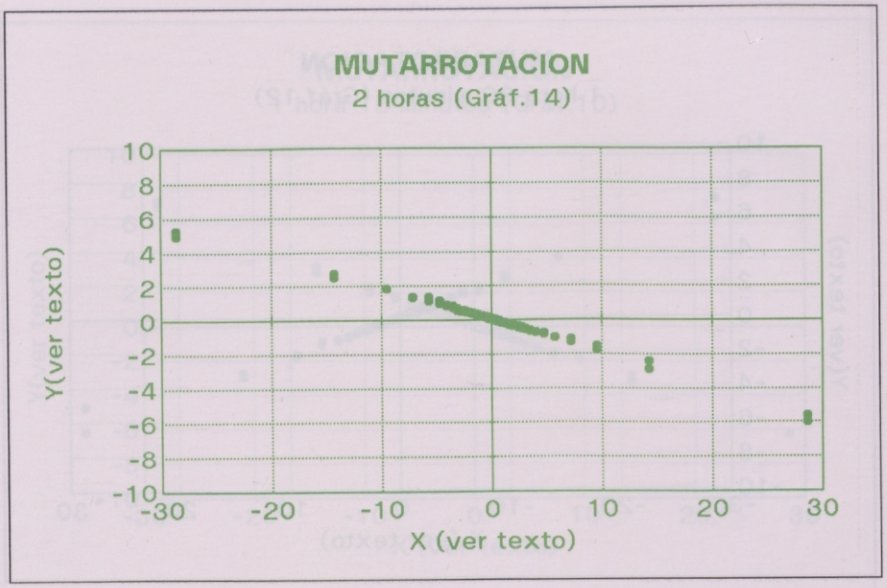

MUTARROTACION
1 hora 15 minutos (Gráf.9)
Ilumin.(lx)
40
35
30
25
20
15
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

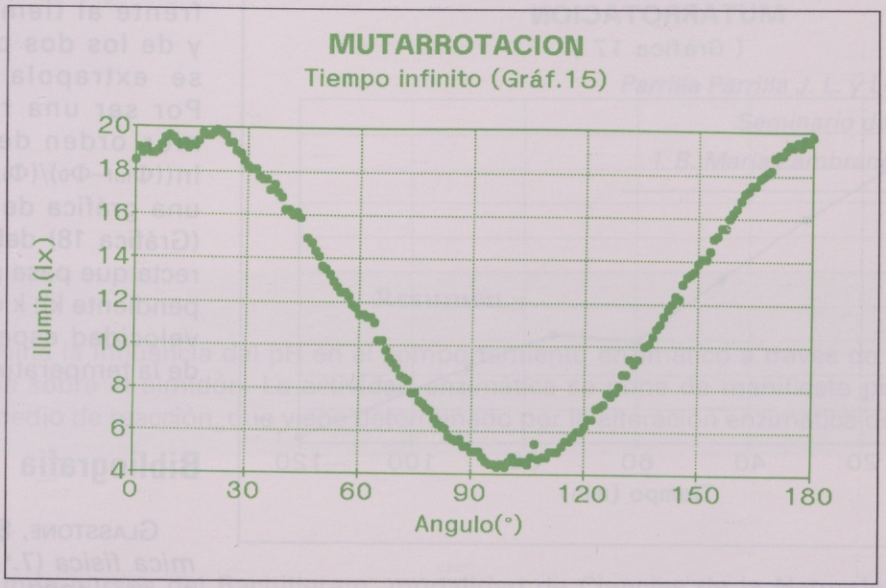

MUTARROTACION
1 hora 15 minutos (Gráf.10)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

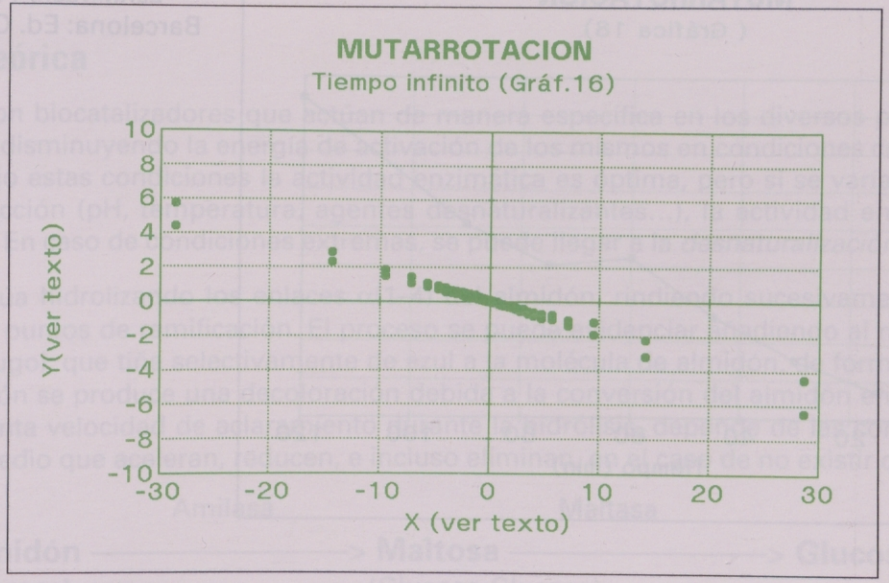

MUTARROTACION
1 hora 30 minutos (Gráf.11)
Ilumin.(lx)
45
40
35
30
25
20
15
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

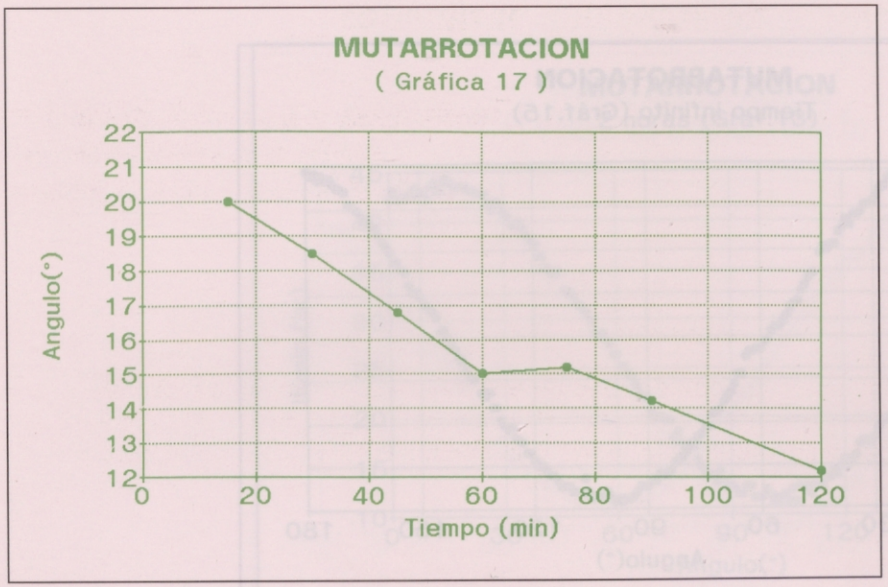

MUTARROTACION
1 hora 30 minutos (Gráf.12)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

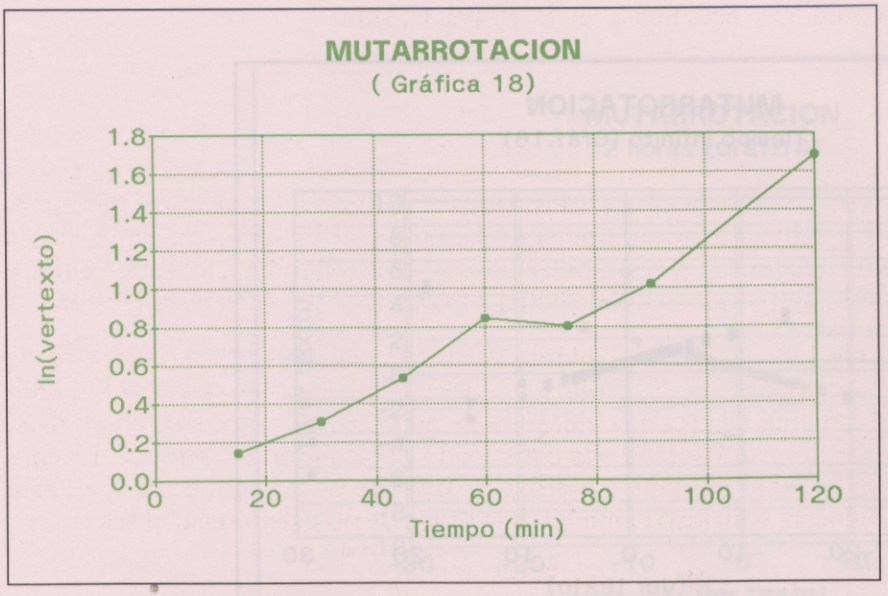

MUTARROTACION
2 horas (Gráf.13)
Ilumin.(lx)
45
40
35
30
25
20
15
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


MUTARROTACION
2 horas (Gráf.14)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)


MUTARROTACION
Tiempo infinito (Gráf.15)
Ilumin.(lx)
20
18
16
14
12
10
8
6
4
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


MUTARROTACION
Tiempo infinito (Gráf.16)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)





Se representan estos valores frente al tiempo (Gráfica 17) y de los dos primeros puntos se extrapola el valor a t_0. Por ser una reacción de primer orden debe cumplir que $\ln((\Phi_{inf}-\Phi_0)/(\Phi_{inf}-\Phi(t))) = kt$ (en una gráfica de ln(....) frente a t (Gráfica 18) debe obtenerse una recta que pasa por el origen y de pendiente k); k es la constante de velocidad específica y depende de la temperatura.

Bibliografía

GLASSTONE, S.: *Tratado de química física* (7.ª ed.). Madrid: Ed. Aguilar, 1968.

LEHNINGER, A. L.: *Bioquímica.* Barcelona: Ed. Omega, 1978.

Estudio de la actividad y condiciones de actuación enzimática

Parrilla Parrilla J. L. y Lorenzo Gondar J. E.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. María Zambrano. Leganés (Madrid)

Resumen

Se determina la influencia del pH en el comportamiento enzimático a través de la hidrólisis de la *amilasa* sobre el almidón. La actividad enzimática se pone de manifiesto por el aclaramiento del medio de reacción, que viene determinado por la alteración enzimática del almidón.

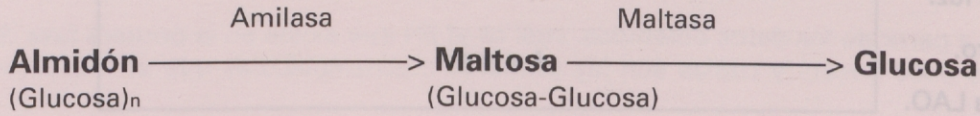
Nivel educativo

Primero y segundo cursos del Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignaturas de Biología y Geología, y Biología (actuales 3.° B. U. P. y C. O. U.).

Introducción teórica

Las enzimas son biocatalizadores que actúan de manera específica en los diversos procesos químicos del metabolismo, disminuyendo la energía de activación de los mismos en condiciones celulares (temperatura, pH, etc.). Bajo estas condiciones la actividad enzimática es óptima, pero si se varían las condiciones del medio de reacción (pH, temperatura, agentes desnaturalizantes...), la actividad enzimática tiende a verse modificada. En caso de condiciones extremas, se puede llegar a la *desnaturalización* de la enzima.

La amilasa actúa hidrolizando los enlaces $\alpha(1-4)$ del almidón, rindiendo sucesivamente moléculas de maltosa hasta los puntos de ramificación. El proceso se puede evidenciar añadiendo al medio de reacción una cantidad de lugol, que tiñe selectivamente de azul a la molécula de almidón, de forma que en el transcurso de la reacción se produce una decoloración debida a la conversión del almidón en maltosa. En consecuencia, la distinta velocidad de aclaramiento durante la hidrólisis, depende de las condiciones, en este caso de pH, del medio que aceleran, reducen, e incluso eliminan, en el caso de no existir decoloración.



Objetivos

— Obtener las tablas y las gráficas correspondientes a la decoloración de tres disoluciones de almidón, previamente coloreadas con LUGOL, a pH=2 (ácido), a pH=7 (neutro) y a pH=10 (básico), por la acción de la amilasa salival.

— Relacionar la velocidad de la reacción enzimática con las condiciones de pH de la misma.

— Determinar la importancia de la actividad enzimática en la degradación de los principios inmediatos, concretamente de los glúcidos, en los procesos de digestión.

— Definir las condiciones óptimas de pH.

— Relacionar las condiciones de pH con el proceso de desnaturalización.

Material

— Saliva humana.

— Disolución de almidón al 2% .

— Disolución de NaOH al 20% .

— Disolución de HCl al 20% .

— Papel indicador de pH (o indicador universal de pH).

— Disolución de LUGOL.

— Tubos de ensayo.

— Vasos de precipitados.

— Gradilla para tubos de ensayo.

— 2 Varillas soporte con base, 3 nueces y 3 pinzas para soporte.

— Fuente luminosa.

— Estufa de cultivos.

— Sonda de luz.

— Luxómetro.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Introducir en un tubo de ensayo 2 ml de la disolución de almidón de pH=2 (ajustar el pH con las disoluciones de NaOH y HCl).
2. Añadir 2 gotas de LUGOL, sin diluir, a la disolución anterior y agitar durante breves momentos. La disolución quedará teñida de color azul oscuro. En el caso de que el pH del medio sea superior a ocho se deberán añadir más gotas y agitar el tubo de ensayo hasta que el color azul sea homogéneo.

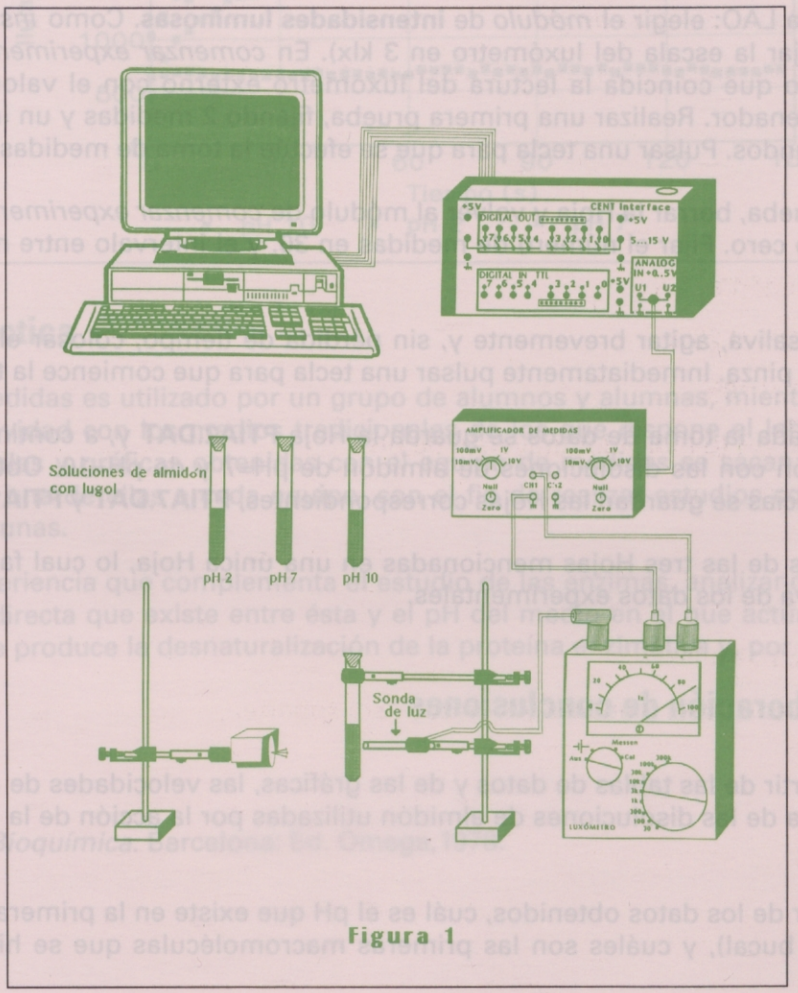


Figura 1

3. Sujetar el tubo de ensayo con una pinza colocada en un soporte de manera que aquél quede en posición vertical, y al mismo tiempo colocar una fuente luminosa de tal forma que el haz luminoso atraviese la disolución de almidón. Colocar seguidamente una sonda de luz en la parte del tubo de ensayo opuesta a la de incidencia del haz luminoso, procurando que el extremo del sensor esté lo más próximo posible a la pared del tubo de ensayo, con el fin de evitar en lo posible la influencia de luces parásitas. (Si se pretende que la experiencia se realice en condiciones de temperatura lo más próximas posible a las fisiológicas, utilizar en vez de soportes una gradilla, e introducir ésta en el interior de una estufa de cultivos cuya temperatura se haya ajustado a 37.° C).

4. Con el programa LAO: elegir el *módulo* de **intensidades luminosas**. Como *instrumentos*, el **reloj** y el **luxómetro** (fijar la escala del luxómetro en 3 klx). En *comenzar experimento,* regular el punto cero procurando que coincida la lectura del luxómetro externo con el valor que aparece en el monitor del ordenador. Realizar una primera prueba, fijando 2 medidas y un intervalo entre medidas de dos segundos. Pulsar una tecla para que se efectúe la toma de medidas.

5. Concluida la prueba, borrar la Hoja y volver al módulo de *comenzar experimento,* pero esta vez sin regular el punto cero. Fijar el número de medidas en 30, y el intervalo entre medidas en 3 segundos.

6. Añadir 1 cc de saliva, agitar brevemente y, sin pérdida de tiempo, colocar el tubo de ensayo así dispuesto en su pinza. Inmediatamente pulsar una tecla para que comience la toma de datos.

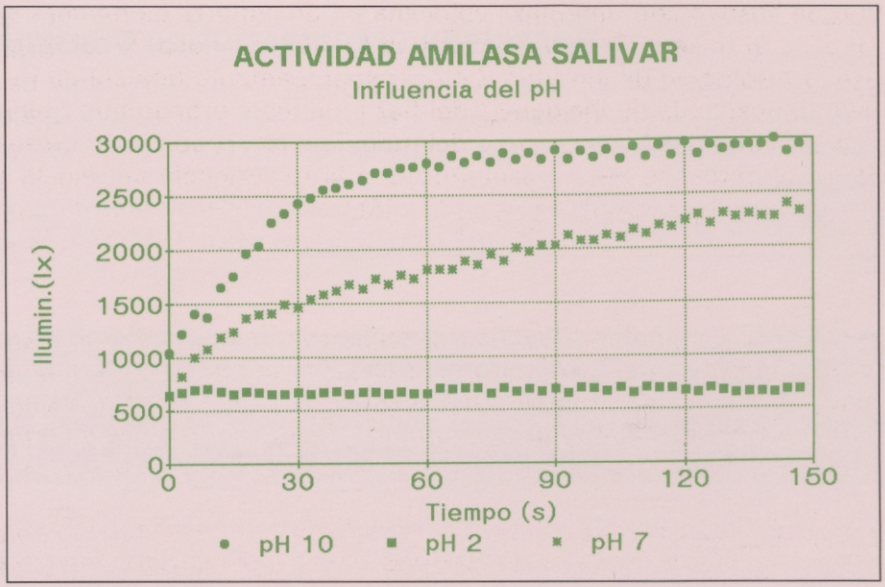
7. Una vez finalizada la toma de datos se guarda la Hoja **PTIA2.DAT** y, a continuación, se realiza la misma operación con las disoluciones de almidón de pH=7 y de pH=10. Obtenidos los datos de ambas experiencias se guardan las Hojas correspondientes, **PTIA7.DAT** y **PTIA10.DAT**.

8. Reunir los datos de las tres Hojas mencionadas en una única Hoja, lo cual facilitará la interpretación comparativa de los datos experimentales.

Actividades y elaboración de conclusiones

a) Comparar, a partir de las tablas de datos y de las gráficas, las velocidades de reacción de la hidrólisis de cada una de las disoluciones de almidón utilizadas por la acción de la amilasa salival (ptialina).

b) Deducir, a partir de los datos obtenidos, cuál es el pH que existe en la primera fase del proceso de digestión (fase bucal), y cuáles son las primeras macromoléculas que se hidrolizan enzimáticamente.



Aplicación didáctica

El equipo de medidas es utilizado por un grupo de alumnos y alumnas, mientras que los demás grupos realizan la actividad con los medios tradicionales de los que dispone el laboratorio. Al finalizar la experiencia, las tablas y gráficas obtenidas con el equipo de medidas se sacan por impresora y se da una copia de cada una de ellas a cada equipo, con el fin de realizar estudios comparativos y sacar las conclusiones oportunas.

Esta es una experiencia que complementa el estudio de las enzimas, analizando la velocidad de reacción y la relación directa que existe entre ésta y el pH del medio en el que actúa, viendo que en casos extremos (pH=2) se produce la desnaturalización de la proteína enzimática y, por tanto, su función biológica.

Bibliografía

LEHINGER, A. L.: *Bioquímica*. Barcelona: Ed. Omega,1978.

Estudio de un movimiento uniformemente acelerado

San Emeterio Peña J. L., Blanco García M.ª D. y García Sánchez M.ª T.
Seminario de Física y Química
I. B. Giner de los Ríos. Alcobendas (Madrid)

Resumen

Utilizando el luxómetro se mide la distancia recorrida por un carrito arrastrado por pesas en función del tiempo para obtener la gráfica posición-tiempo y velocidad media-tiempo.

Nivel educativo

La práctica se ha realizado con 2.º de B. U. P., y se considera igualmente adecuada para el 4.º curso de la E. S. O.

Introducción teórica

El valor de la iluminación producido por una fuente luminosa aproximadamente puntual es inverso al cuadrado de la distancia a la fuente. De esta manera, si sobre un objeto en movimiento —un carrito— se sitúa un foco luminoso de reducidas dimensiones —una linterna con diafragma— las medidas registradas por un luxómetro estático en diferentes momentos suministran la posición del móvil en esos instantes.

En esta experiencia se utiliza un carrito en régimen de movimiento uniformemente acelerado bajo la acción de una pesa unida al carrito mediante un bramante fino, a través de una polea.

Física

Objetivos

— Obtener e interpretar los gráficos posición-tiempo y velocidad media-tiempo en un movimiento uniformemente acelerado.

— Comparar los resultados obtenidos en la práctica con ordenador y en la práctica equivalente realizada en el laboratorio.

Estudio de un movimiento uniformemente acelerado

San Emeterio Peña J. L., Blanco García M.ª D. y García Sánchez M.ª T.
Seminario de Física y Química
I. B. Giner de los Ríos. Alcobendas (Madrid)

Resumen

Utilizando el luxómetro se mide la distancia recorrida por un carrito arrastrado por pesas en función del tiempo para obtener la gráfica posición-tiempo y velocidad media-tiempo.

Nivel educativo

La práctica se ha realizado con 2.° de B. U. P., y se considera igualmente adecuada para el 4.° curso de la E. S. O.

Introducción teórica

El valor de la iluminación producido por una fuente luminosa aproximadamente puntual es inverso al cuadrado de la distancia a la fuente. De esta manera, si sobre un objeto en movimiento —un carrito— se sitúa un foco luminoso de reducidas dimensiones —una linterna con diafragma— las medidas registradas por un luxómetro estático en diferentes momentos suministran la posición del móvil en esos instantes.

En esta experiencia se utiliza un carrito en régimen de movimiento uniformemente acelerado bajo la acción de una pesa unida al carrito mediante un bramante fino, a través de una polea.

Objetivos

— Obtener e interpretar los gráficos posición-tiempo y velocidad media-tiempo en un movimiento unformemente acelerado.

— Comparar los resultados obtenidos en la práctica con ordenador y en la práctica equivalente realizada en el laboratorio.

Material

— Carrito con linterna.

— Carril.

— Polea.

— Regla métrica.

— Pesas.

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Luxómetro y sonda de luz.

— Amplificador.

— Cables de conexiones.

— Programas LAO y WORKS (para gráficos).

— Pantalla portátil y proyectable de tipo LCD.

— Proyector de transparencia, para proyectar la imagen de la anterior.

Procedimiento

1. Se realiza el montaje de la figura 1.

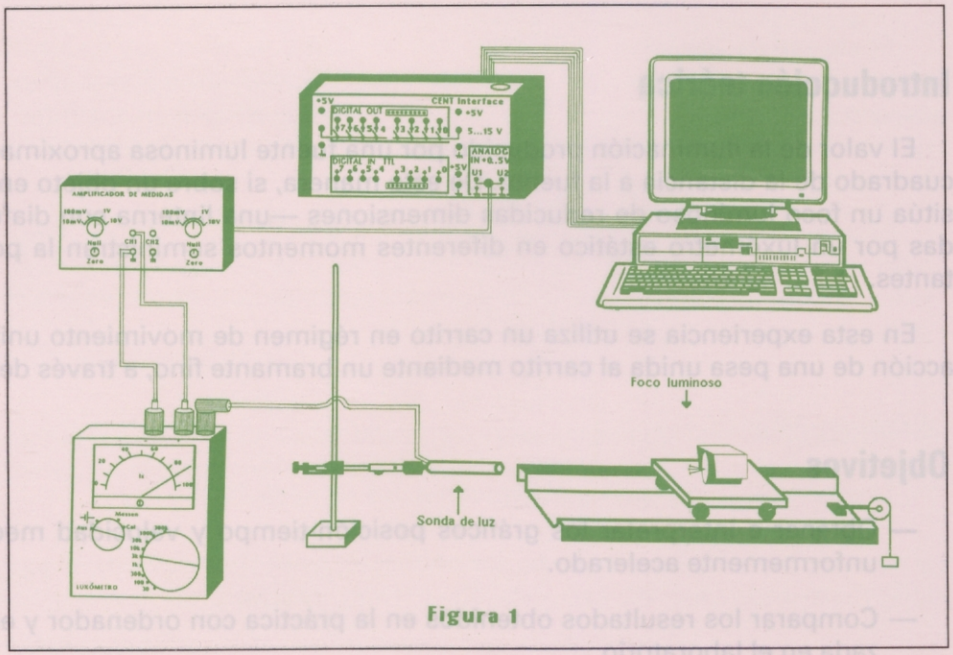
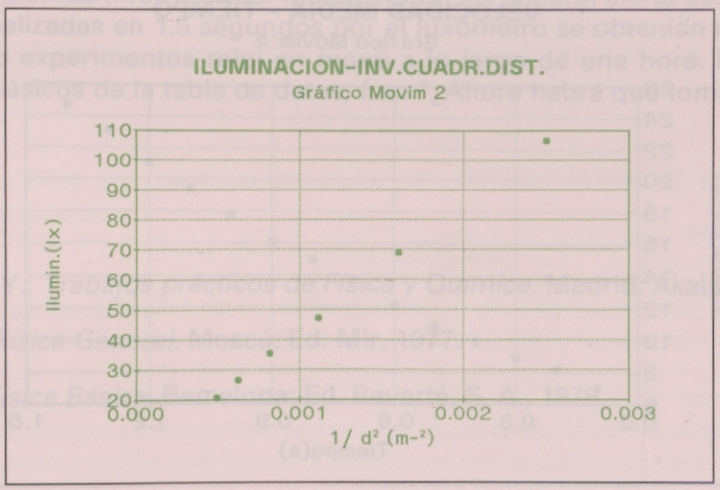


Figura 1

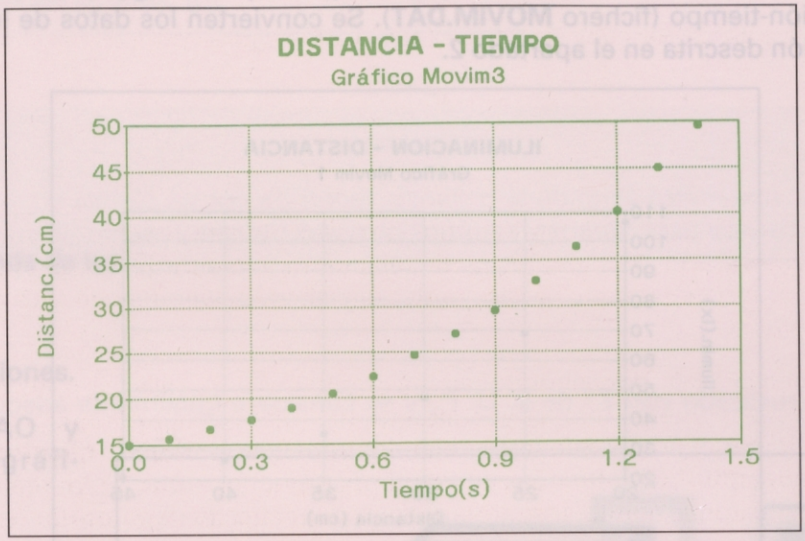
2. Instalando el carrito en cierto número de posiciones se demuestra que la intensidad luminosa obedece a la ecuación $I = (k_1 / d^2) + K_2$, donde k_1 es una constante de proporcionalidad, d es la distancia del carrito al luxómetro y k_2 es la iluminación ambiental. Mediante el Programa LAO (*módulo* de **intensidad luminosa,** e *instrumentos* **luxómetro y reloj**) se obtiene la tabla de datos correspondiente al fichero **MOVIOØ. DAT.** Con los registros anteriores se determina los valores de k_1 y k_2.

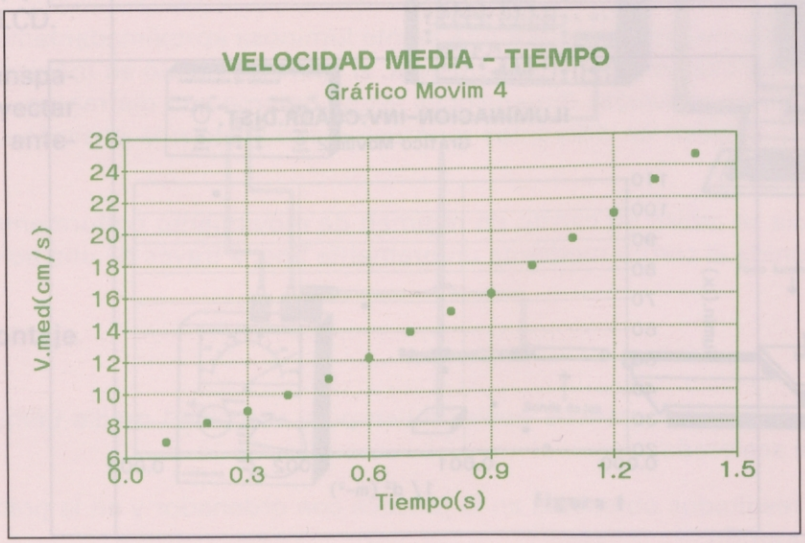
3. Dejando ahora que el carrito se mueva impulsado por la pesa colgante se obtendría una tabla de datos iluminación-tiempo (fichero **MOVIM.DAT**). Se convierten los datos de luz en distancia, utilizando la ecuación descrita en el apartado 2.





4. Se obtendría una columna derivada correspondiente a la velocidad media, restando las distintas posiciones de la posición inicial y dividiendo por el tiempo correspondiente.
5. Se representan las gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo con los datos obtenidos en 4 y 5.
6. Discusión de los resultados.





Actividades y elaboración de conclusiones

Los gráficos movim1 y movim2 demuestran la dependencia de la intensidad luminosa con el inverso del cuadrado de la distancia al foco.

Los gráficos movim3 y movim4 muestran la relación entre la posición del móvil y el tiempo (gráfico parabólico), y entre su velocidad media y el tiempo (gráfico aproximadamente lineal).

La división entre los datos de velocidad media y tiempo permite determinar el valor de la aceleración, casi constante.

Aplicación didáctica

La experiencia se ha realizado con dos diferentes grupos de alumnos, aprovechando desdobles horarios para el uso del laboratorio. Así, una parte de los alumnos realizaban la experiencia tradicional en el laboratorio, midiendo por sí mismos y la otra parte realizaban la experiencia LAO, invirtiéndose el reparto en la siguiente semana.

Durante la experiencia LAO, dos alumnos se encargaban de la realización material del experimento, mientras los demás observaban el mismo y la imagen del trabajo del ordenador reflejada por el proyector (señalemos que la pantalla LCD mostraba bien los gráficos de Works, mientras que eran casi invisibles los proporcionados por LAO). A su vez los alumnos tomaban notas de lo realizado y de sus propios razonamientos y conclusiones, como si se tratara de una práctica de laboratorio tradicional.

Los estudiantes pudieron así constatar las diferencias en precisión y rapidez entre la experiencia realizada sin y con procedimientos informáticos. Manifestaron en general cierta estupefacción al comprobar que con las medidas realizadas en 1.5 segundos por el luxómetro se obtenían muchos más datos y más precisos que repitiendo experimentos reloj en mano a lo largo de una hora. La pregunta más común, tras obtener los datos básicos de la tabla de datos, fue: "¿Ahora habrá que tomar medidas con otras distancias, no?".

Bibliografía

PRATS, F., y DEL AMO, Y.: *Trabajos prácticos de Física y Química.* Madrid: Akal Editor, 1981.

FRISCH, S.: *Curso de Física General.* Moscú: Ed. Mir, 1977.

Proyecto Nuffield.: *Física Básica.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE - BIBLIOTECA -

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

Gómez del Campo Bravo J. C., Pérez Serrano S. y Rodríguez Martín J.
Departamento de Ciencias
I. P. F. P. Virgen de la Paloma. Madrid (Madrid)

Resumen

A partir del movimiento de caída por un plano inclinado se ha medido el tiempo que tarda un cuerpo en recorrer distintos espacios previamente determinados.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física y Química (actual 3.° B. U. P.).

Introducción teórica

Se llama movimiento rectilíneo uniformemente acelerado a aquel movimiento cuya aceleración normal es cero y su aceleración tangencial es constante y distinta de cero.

Partiendo del concepto de aceleración tangencial, a = dv/dt, e integrando se obtiene la ecuación de la velocidad en cualquier instante

$$V = V_0 + at$$

Mediante el mismo proceso y a partir del concepto de velocidad v = ds/dt, se obtiene la ecuación de la posición en cualquier instante:

$$S = S_0 + V_0t + at^2 / 2$$

Como puede observarse la ecuación de la velocidad es un polinomio en t de primer grado, con lo que su representación gráfica será una línea recta siendo a la pendiente y V_0 la ordenada en el origen.

Respecto a la posición, el polinomio es de segundo grado con lo que la representación gráfica debe ser una media parábola en el eje positivo del tiempo. Y finalmente, al ser la aceleración constante y distinta de cero su representación gráfica en función del tiempo será una línea recta paralela a dicho eje.

Objetivos

— Obtener las gráficas v-t, s-t y a-t.

— A partir de las gráficas identificar el tipo de movimiento.

Material

— Plano inclinado (riel de 1.8 m).

— Carrito móvil y varrilla.

— Puertas ópticas (6).

— Tope para el riel.

— Varilla soporte, trípode y nueves.

— Cables de conexión.

— Interfaz CENT.

— Programa LAO.

Procedimientos

1. Descripción del dispositivo experimental

Se realiza el montaje experimental que se muestra en la figura 1. El plano inclinado se construyó uniendo dos rieles de 900 mm, utilizando un taco de madera, colocado en uno de sus extremos, para dar una cierta inclinación al plano. Fijamos un tope en ese mismo extremo para que la posición inicial del móvil fuese reproducible en las diferentes experiencias.

Se sitúan cinco puertas ópticas a lo largo del recorrido del móvil, en diferentes posiciones, y una sexta puerta en el extremo del riel para fijar las condiciones iniciales.

2. Ajustes

La puerta óptica situada en el extremo del riel, posición inicial, tiene la misión de conseguir una velocidad inicial igual a cero. Dicha puerta se sitúa de tal manera que la varilla del móvil esté sensiblemente

retrasada respecto de la puerta óptica (en esta posición el piloto indicador de la puerta permanecerá apagado) haciendo simultáneamente tope con el móvil en el extremo del riel. De esta manera al dejar libre el carrito móvil, y pulsando cualquier tecla en el ordenador al mismo tiempo, podemos aproximar las condiciones iniciales de la experiencia a valores nulos de la posición y velocidad.

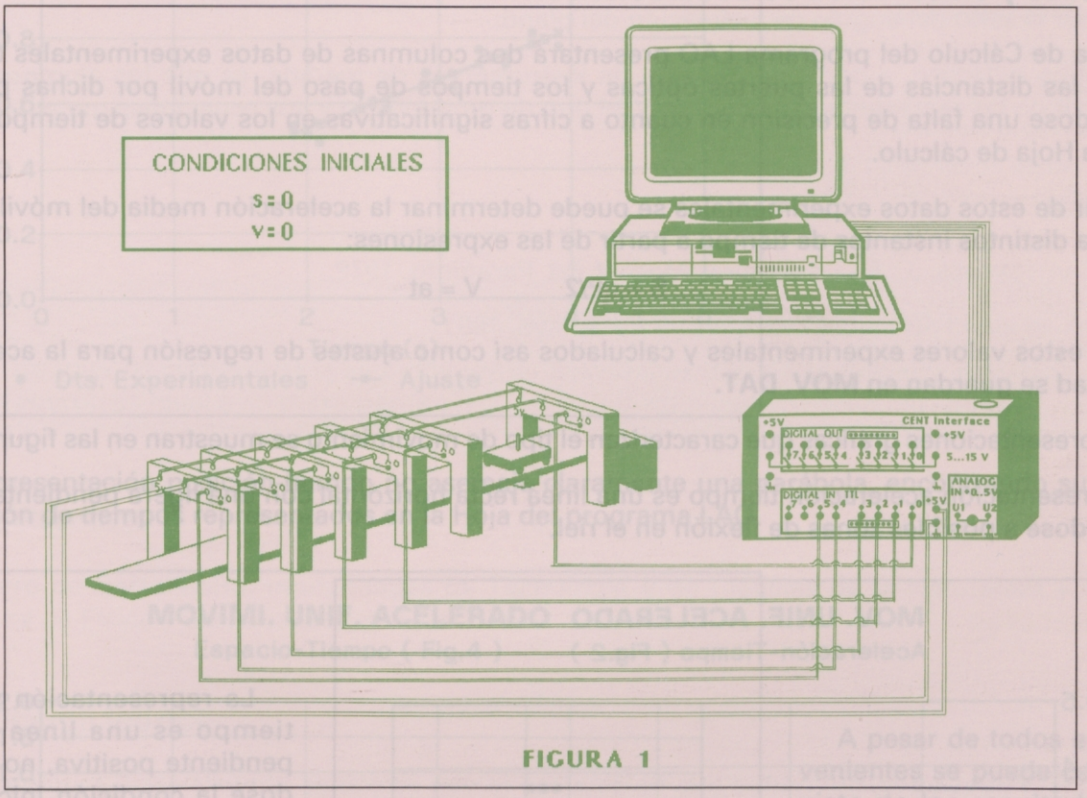


FIGURA 1

Las puertas ópticas se conectan a la tensión de 5 V del Interfaz y las cinco puertas situadas a lo largo del riel se conectan a las entradas digitales 0, 1, 2, 3 y 4.

3. Realización de la experiencia

Montando el dispositivo experimental con los ajustes necesarios, anteriormente descritos, se eligen los *módulos* correspondientes del programa LAO (**movimiento rectilíneo,** cinco **puertas** como *instrumentos* y se introducen las distancias, previamente medidas, de cada puerta respecto de la posición inicial). Se deja caer el carrito móvil al mismo tiempo que pulsamos una tecla en el ordenador, repitiendo

la maniobra tantas veces como número de experiencias se hayan introducido anteriormente en el programa de adquisición de datos LAO

Actividades y elaboración de conclusiones

La Hoja de Cálculo del programa LAO presentará dos columnas de datos experimentales correspondientes a las distancias de las puertas ópticas y los tiempos de paso del móvil por dichas posiciones, observándose una falta de precisión en cuanto a cifras significativas en los valores de tiempo presentados por la Hoja de cálculo.

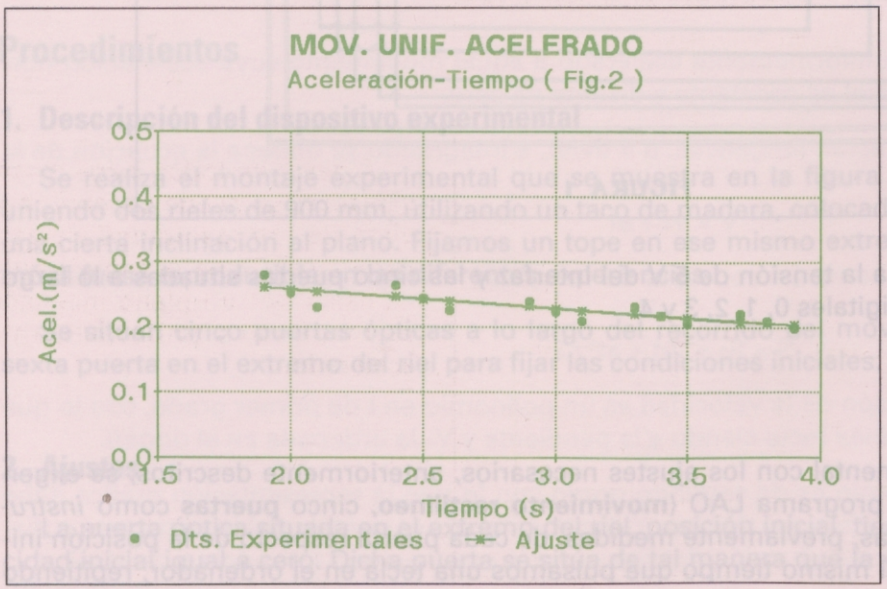
A partir de estos datos experimentales se puede determinar la aceleración media del móvil y su velocidad para distintos instantes de tiempo a partir de las expresiones:

$$S = at^2/2 \qquad V = at$$

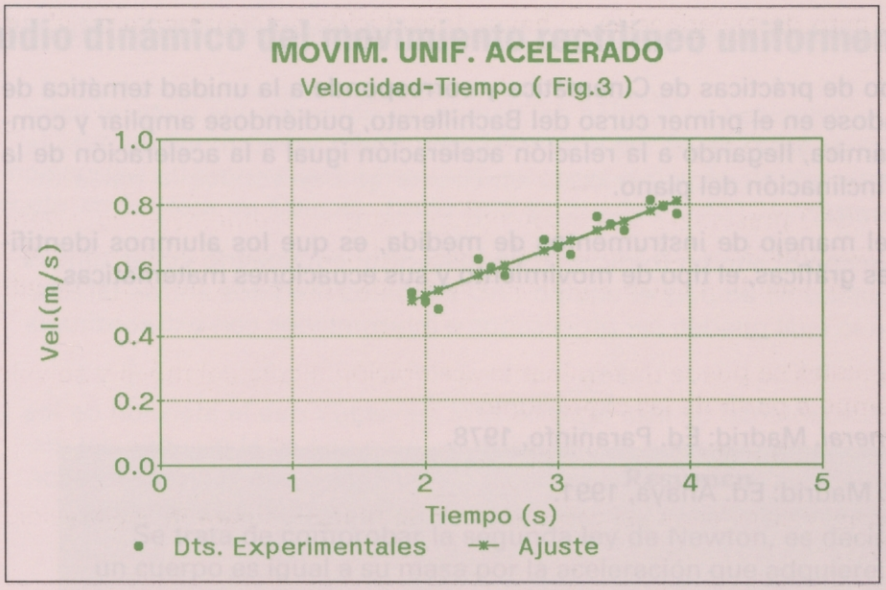
Todos estos valores experimentales y calculados así como ajustes de regresión para la aceleración y la velocidad se guardan en **MOV. DAT.**

Las representaciones gráficas que caracterizan el tipo de movimiento se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

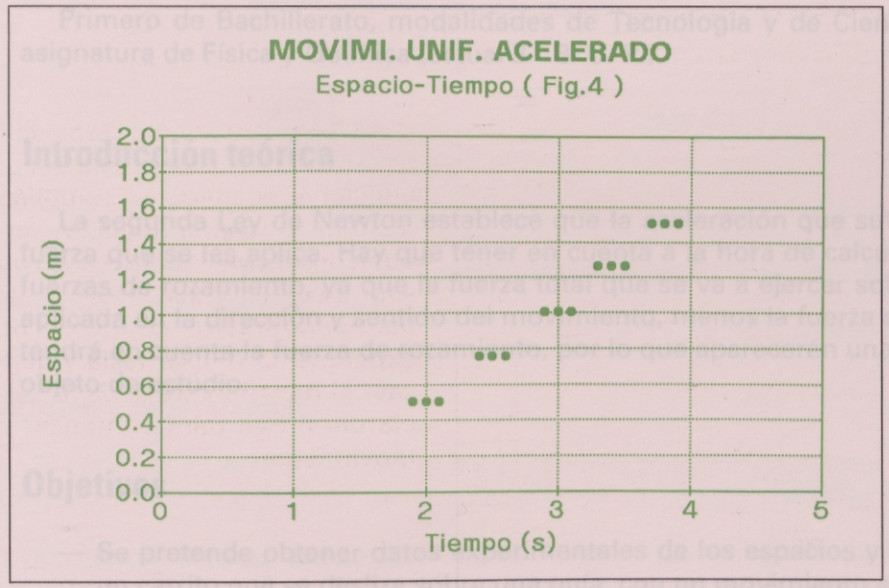
La representación aceleración-tiempo es una línea recta horizontal con una ligera pendiente negativa, atribuyéndose a posibles zonas de flexión en el riel.



La representación velocidad-tiempo es una línea recta con pendiente positiva, no cumpliéndose la condición inicial $V_o = 0$, debido principalmente a dos causas, una a la sincronización en las maniobras de comienzo del experimento (pulsar tecla y dejar caer el móvil) y otra sería la inercia del móvil para comenzar el movimiento.



La representación posición-tiempo no asemeja claramente una parábola, encontrando su motivo en la precisión de tiempos representados en la Hoja del programa LAO.



A pesar de todos estos inconvenientes se puede concluir, a la vista de los resultados de esta experiencia, que el movimiento de caída por un plano inclinado es rectilíneo y uniformemente acelerado.

Aplicación didáctica

Esta experiencia entra en el grupo de prácticas de Cinemática y corresponde a la unidad temática de movimientos rectilíneos, encuadrándose en el primer curso del Bachillerato, pudiéndose ampliar y completar en la unidad temática de Dinámica, llegando a la relación aceleración igual a la aceleración de la gravedad por el seno del ángulo de inclinación del plano.

Su objetivo didáctico, a partir del manejo de instrumentos de medida, es que los alumnos identifiquen, a partir de las representaciones gráficas, el tipo de movimiento y sus ecuaciones matemáticas.

Bibliografía

García Santesmases, J.: *Física General.* Madrid: Ed. Paraninfo, 1978.

Candel, A. *et alter.*: *Física-C. O. U.* Madrid: Ed. Anaya, 1991.

Estudio dinámico del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

Piedrafita Hijós, A.
Seminario de Física y Química
I. B. Goya. Zaragoza (Zaragoza)
Tomás Herrero, A.
Seminario de Física y Química
I. B. Valdehierro. Madridejos (Toledo)

Resumen

Se trata de comprobar la segunda ley de Newton, es decir, que la fuerza resultante sobre un cuerpo es igual a su masa por la aceleración que adquiere.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, modalidades de Tecnología y de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Física y Química (actual 3.° B. U. P.).

Introducción teórica

La segunda Ley de Newton establece que la aceleración que sufren los cuerpos es proporcional a la fuerza que se les aplica. Hay que tener en cuenta a la hora de calcular la aceleración la existencia de las fuerzas de rozamiento, ya que la fuerza total que se va a ejercer sobre los cuerpos será igual a la fuerza aplicada en la dirección y sentido del movimiento, menos la fuerza de rozamiento. En esta práctica no se tendrá en cuenta la fuerza de rozamiento, por lo que aparecerán una serie de errores, cuya evitación será objeto de estudio.

Objetivos

— Se pretende obtener datos experimentales de los espacios y tiempos que emplea en su recorrido un carrito que se desliza sobre una guía, con un movimiento casi uniformemente acelerado.

— Mediante la Hoja de Cálculo, y derivando el espacio con respecto al tiempo, se calculará la velocidad instantánea.

— Al representar gráficamente dicha velocidad en función del tiempo, se obtendrá una recta, el valor de cuya pendiente proporcionará la aceleración experimental, que podrá ser contrastada con la calculada mediante la segunda ley de Newton, teniendo en cuenta que se conoce la masa del carrito y la fuerza resultante sobre él.

— Esta misma práctica es realizable con el equipo tradicional de mecánica, empleando cintas unidas al carrito y un cronovibrador. Cuando se emplea el equipo LAO los datos medidos entran directamente en la Hoja de Cálculo, con lo cual pueden ser procesados e interpretados con extraordinaria rapidez.

A juicio de los autores, el *objetivo fundamental* de esta práctica será conseguir que la atención de los alumnos se dirija casi exclusivamente a la interpretación de resultados, y no a qué es el montaje del dispositivo, que se le dará ya hecho. Las medidas de distancias en las cintas obtenidas con el cronovibrador, supone grandes pérdidas de tiempo, y resulta frecuente que ciertos alumnos se pierdan en el proceso.

Material

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Impresora.

— Carrito y riel.

— Puertas fotoeléctricas (4).

— Cables de conexión (12), preferiblemente de tres colores diferentes.

— Regla y cuatro indicadores deslizantes.

Procedimientos

Preparación previa de los sistemas a utilizar

Se realizará el montaje de acuerdo con la figura 1. Se pueden realizar varios tipos de experiencias con el mismo esquema de trabajo.

Descripción del montaje del dispositivo experimental

El fundamento de esta experiencia es el siguiente:

El ordenador comienza a contar el tiempo cuando se pulsa una tecla cualquiera de acuerdo con las indicaciones del programa LAO. Cada vez que el carrito pase por una puerta, ese tiempo queda registrado en la Hoja de Cálculo. Dado que se pueden medir las distancias entre las puertas, mediante el

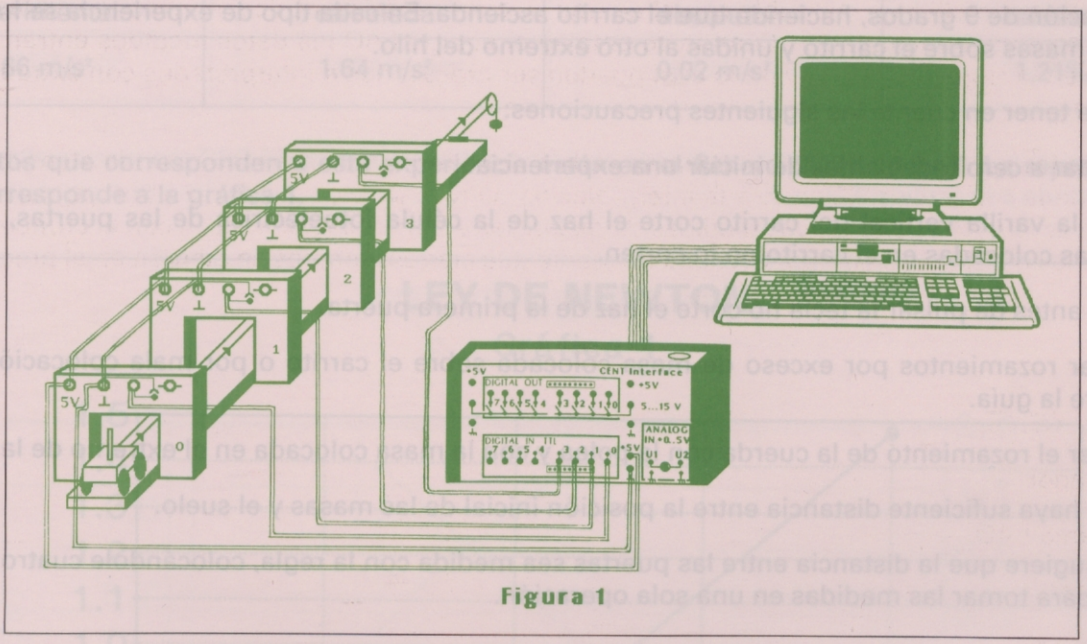


Figura 1

teclado 1 se introducirán las distancias entre la primera puerta y las siguientes, con lo cual se conseguirá una correlación entre distancia y tiempos que permite obtener gráficas espacio-tiempo y velocidad-tiempo. A partir de la segunda gráfica es posible obtener la aceleración del movimiento y comprobar la segunda Ley de Newton.

Ajustes y calibraciones

El programa LAO no permite que a la primera puerta se le asigne el valor 0; esto se soluciona dando un valor inicial de 0.001 que no supone un error apreciable.

El tiempo que aparece inicialmente en la Hoja dependerá del tiempo transcurrido entre la pulsación de la tecla y el comienzo del desplazamiento del carrito, y es cambiante de una experiencia a otra; esto

no afecta para nada a los resultados que se pretenden obtener, ya que lo que interesa es la derivada del espacio respecto del tiempo.

Realización de la experiencia

Se han realizado dos tipos de experiencias. Uno colocando el riel en el plano horizontal, y otro, con una inclinación de 9 grados, haciendo que el carrito ascienda. En cada tipo de experiencia se han puesto diferentes masas sobre el carrito y unidas al otro extremo del hilo.

Hay que tener en cuenta las siguientes precauciones:

1. Ajustar a cero todas antes de iniciar una experiencia.
2. Que la varilla vertical del carrito corte el haz de la célula fotoeléctrica de las puertas, y que las masas colocadas en el carrito no lo corten.
3. Que antes de pulsar la tecla no corte el haz de la primera puerta.
4. Evitar rozamientos por exceso de masa colocada sobre el carrito o por mala colocación de éste sobre la guía.
5. Evitar el rozamiento de la cuerda con la polea y con la masa colocada en el extremo de la cuerda.
6. Que haya suficiente distancia entre la posición inicial de las masas y el suelo.
7. Se sugiere que la distancia entre las puertas sea medida con la regla, colocándole cuatro indicadores para tomar las medidas en una sola operación.

Actividades y elaboración de conclusiones

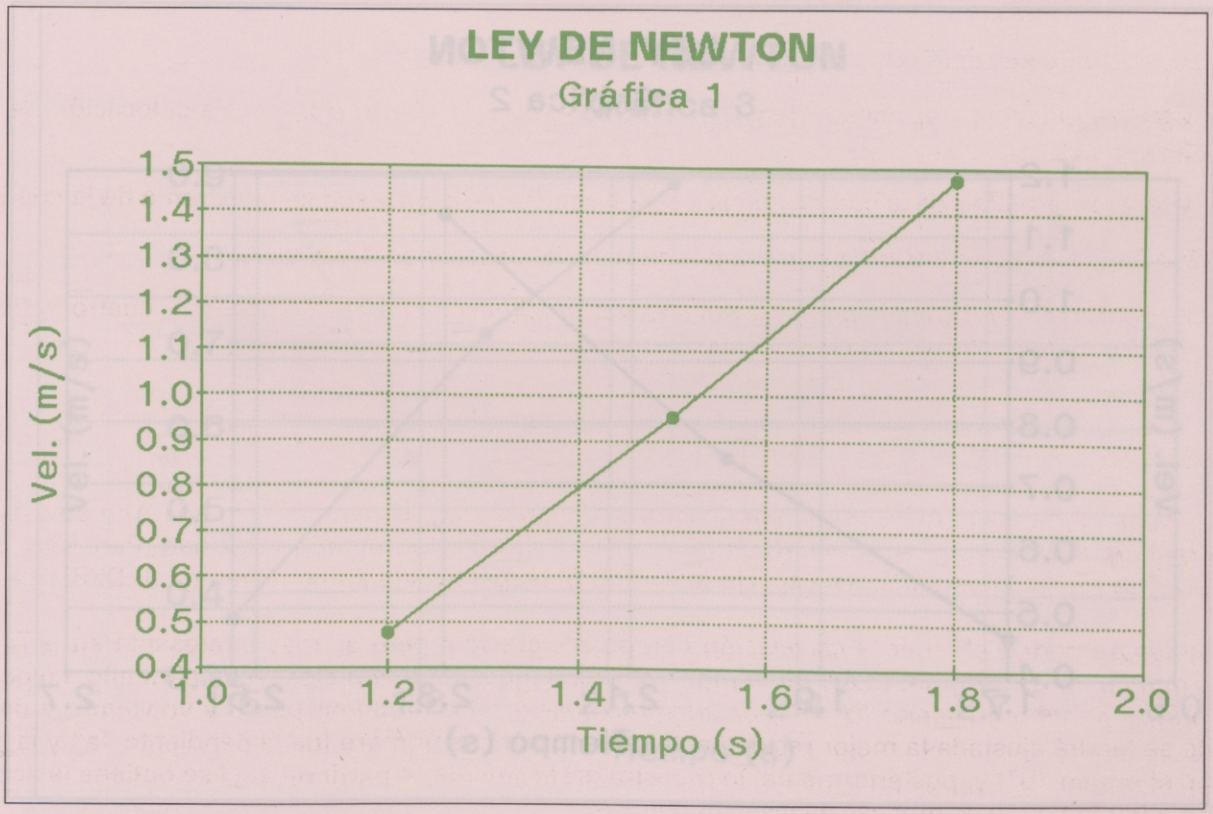
De la Hoja de Cálculo LAO se obtienen dos tipos de datos, uno de tiempo (columna A) y otro de distancia (columna B). Lo que se pretende obtener es una correlación tiempo-velocidad. Para ello, en la columna C se realiza la derivada del espacio (columna B) respecto del tiempo (columna A):DERIV (A, B).

También se podría obtener la correlación tiempo-aceleración, pero es más interesante en la gráfica que se obtiene en el programa LAO de tiempo-velocidad ajustarla a la mejor recta; para ello, colocados en el primer punto y pulsando F3, con los cursores desplazados al último punto y volviendo a dar F3, con ello se tendrá ajustada la mejor recta con valores numéricos primero (da la pendiente "a" y la ordenada en el origen "b") y, posteriormente, lo muestra gráficamente. A partir de aquí se obtiene la aceleración. Se adjuntan algunas gráficas de las experiencias.

Experiencia 1: el carrito desliza en la horizontal

Masa carrito	Masa suspendida	Masa conjunto	Inclinación
49.6 g	10 g	59.6 g	0°
Aceleración experimental	Aceleración calculada	Error absoluto	Error relativo
1.66 m/s^2	1.64 m/s^2	0.02 m/s^2	1.21%

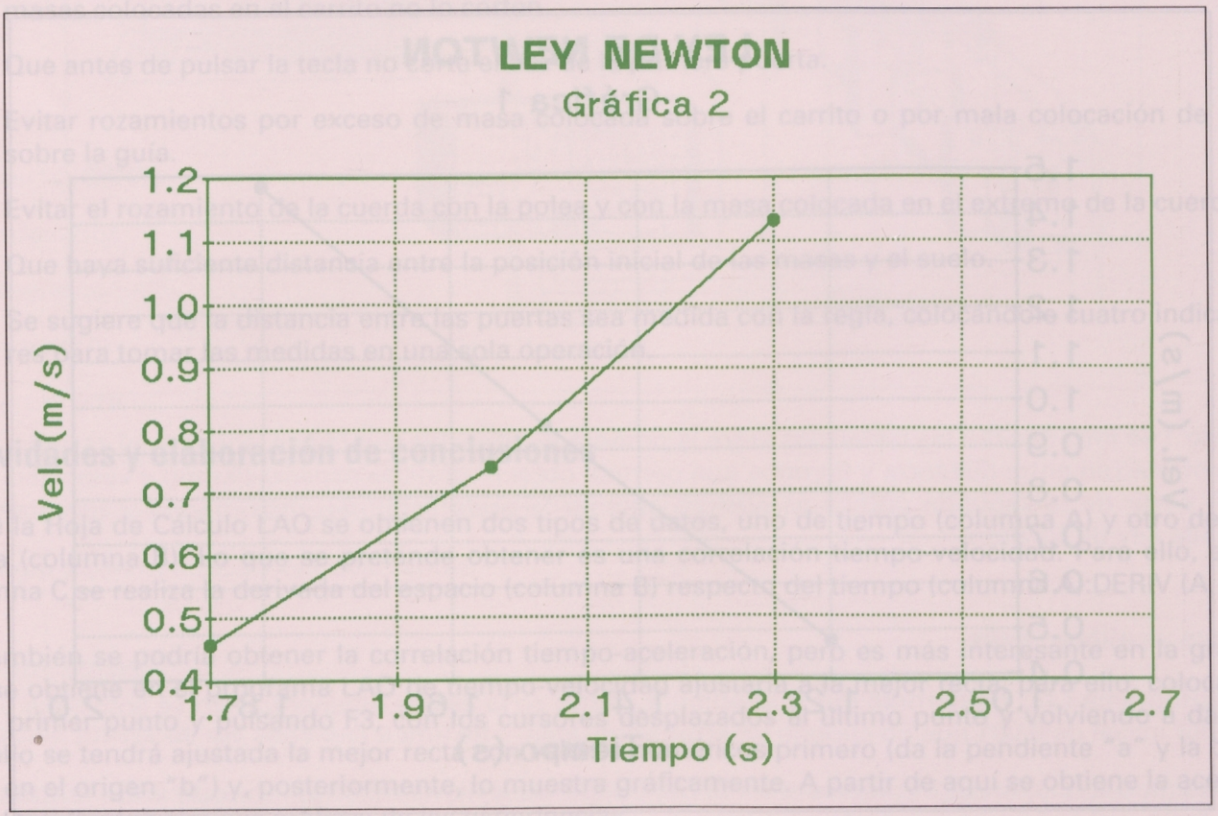
Los datos que corresponden a esta experiencia están en el fichero **CINHL10.DAT**. La representación gráfica corresponde a la gráfica 1.



Experiencia 2: el carrito desliza en la horizontal

Masa carrito	Masa suspendida	Masa conjunto	Inclinación
99.6 g	15 g	114.6 g	0°
Aceleración experimental	Aceleración calculada	Error absoluto	Error relativo
1.13 m/s²	1.28 m/s²	0.15 m/s²	11.7%

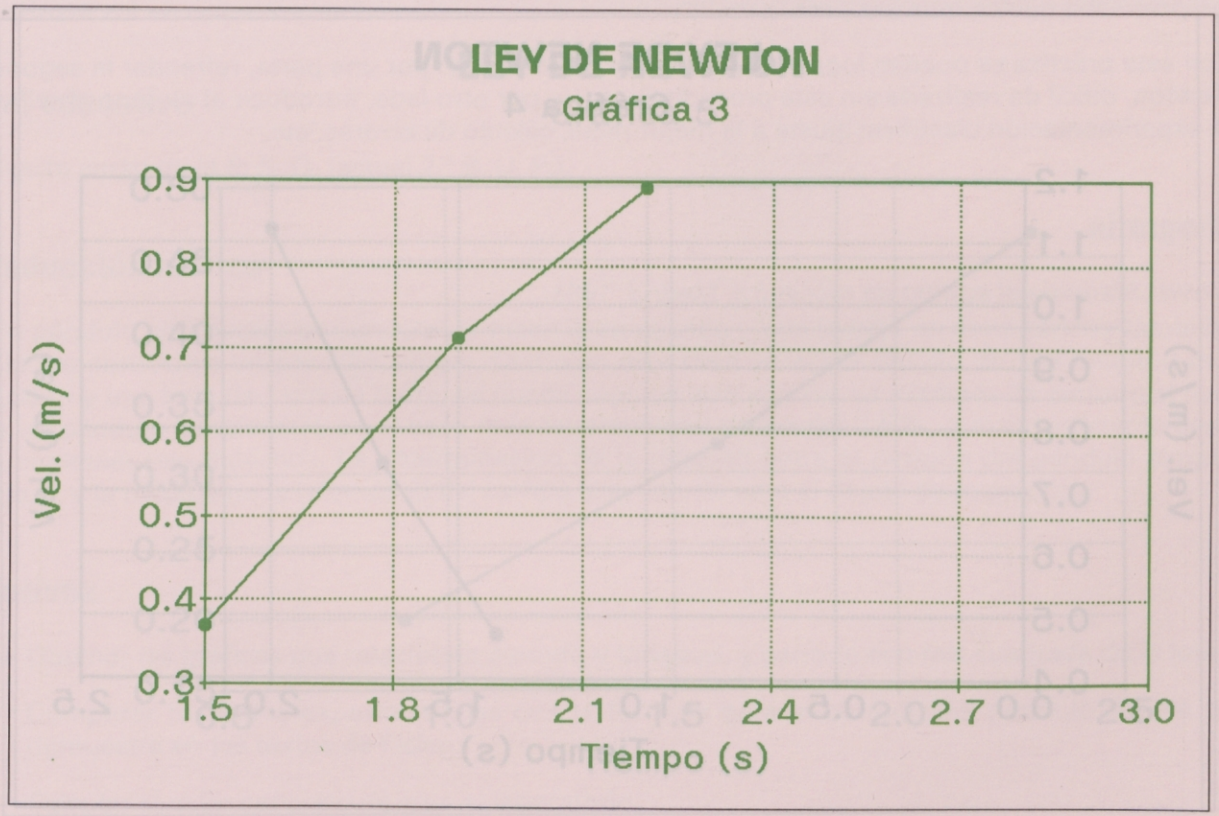
Los datos experimentales correspondientes están en el fichero **CINHC15.DAT**. La representación gráfica corresponde a la gráfica 2.



Experiencia 3: el carrito desliza en la horizontal

Masa carrito	Masa suspendida	Masa conjunto	Inclinación
99.6 g	10 g	109.6 g	0°
Aceleración experimental	Aceleración calculada	Error absoluto	Error relativo
0.75 m/s^2	0.89 m/s^2	0.14 m/s^2	15.7%

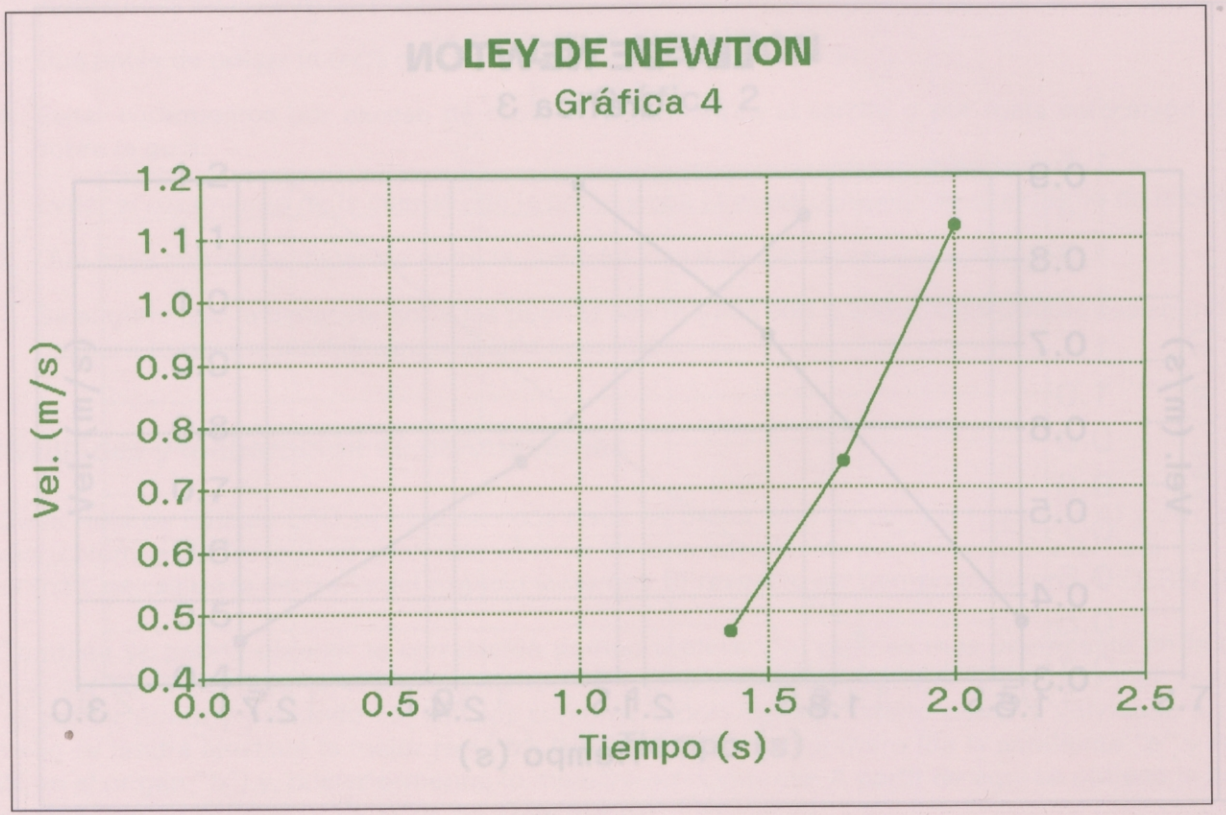
Los datos experimentales correspondientes están en el fichero **CINHC10.DAT**. La representación gráfica corresponde a la gráfica 3.



Experiencia 4: el carrito asciende por la guía inclinada

Masa carrito	Masa suspendida	Masa conjunto	Inclinación
49.6 g	15 g	64.6 g	9°
Aceleración experimental	Aceleración calculada	Error absoluto	Error relativo
1.08 m/s²	1.098 m/s²	0.015 m/s²	1.4%

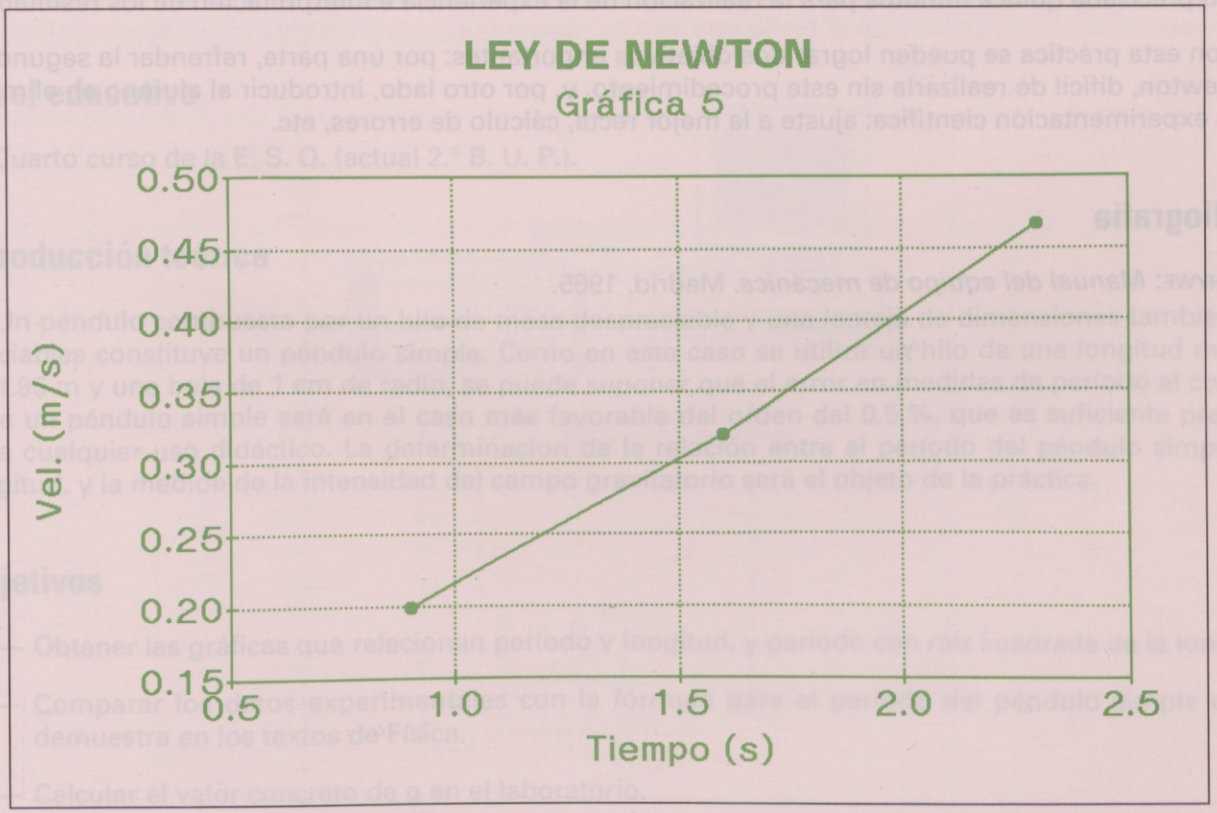
Los datos experimentales correspondientes se encuentran en el fichero **CIN9L15.DAT**. La representación gráfica corresponde a la gráfica 4.



Experiencia 5: el carrito asciende por la guía inclinada

Masa carrito	Masa suspendida	Masa conjunto	Inclinación
49.6 g	10 g	59.6 g	9°
Aceleración experimental	Aceleración calculada	Error absoluto	Error relativo
0.192 m/s²	0.37 m/s²	0.18 m/s²	48.1%

Los datos experimentales correspondientes están en el fichero **CIN9L10.DAT**. La representación gráfica corresponde a la gráfica 5.



El ajuste a la mejor recta permite calcular la aceleración experimental y apreciar el grado de aproximación a la segunda Ley de Newton.

El análisis de errores de las distintas experiencias permite concluir lo siguiente:

— Se consiguen mejores resultados cuando la aceleración está comprendida entre 0.8 y 1.5 m^2/s^2, aproximadamente; las razones de ello son que si las aceleraciones son bajas, el efecto del rozamiento es mayor, y para aceleraciones altas, la precisión de medida de tiempos es insuficiente.

— Si la precisión en la toma de tiempos fuese de centésimas de segundos, sería posible trabajar con aceleraciones mayores que 1,8 y con un número de puertas superior a cuatro.

Aplicación didáctica

La práctica se ha desarrollado con grupos de 20 alumnos, divididos en subgrupos de cinco. Cada subgrupo precisaba quince minutos para la realización de la experiencia e interpretación de los resultados.

Con esta práctica se pueden lograr dos objetivos importantes: por una parte, refrendar la segunda ley de Newton, difícil de realizarla sin este procedimiento, y, por otro lado, introducir al alumno en el mundo de la experimentación científica: ajuste a la mejor recta, cálculo de errores, etc.

Bibliografía

PHYWE: *Manual del equipo de mecánica*. Madrid, 1985.

Estudio del péndulo simple

San Emeterio Peña J. L., Blanco García M.ª Dolores y García Sánchez M.ª Teresa
Seminario de Física y Química
I. B. Giner de los Ríos. Alcobendas (Madrid)

Resumen

Mediante la medida del período de un péndulo aproximadamente simple (bramante con lenteja de acero) se estudia la relación entre la longitud del péndulo y su período; se mide, asimismo, el valor efectivo de la intensidad del campo gravitatorio en el laboratorio.

Nivel educativo

Cuarto curso de la E. S. O. (actual 2.° B. U. P.).

Introducción teórica

Un péndulo compuesto por un hilo de masa despreciable y una lenteja de dimensiones también despreciables constituye un péndulo simple. Como en este caso se utiliza un hilo de una longitud máxima de 1.95 m y una bola de 1 cm de radio, se puede suponer que el error en medidas de período al considerarle un péndulo simple será en el caso más favorable del orden del 0.5 %, que es suficiente precisión para cualquier uso didáctico. La determinacion de la relación entre el período del péndulo simple y la longitud, y la medida de la intensidad del campo gravitatorio será el objeto de la práctica.

Objetivos

— Obtener las gráficas que relacionan período y longitud, y período con raíz cuadrada de la longitud.

— Comparar los datos experimentales con la fórmula para el período del péndulo simple que se demuestra en los textos de Física.

— Calcular el valor concreto de g en el laboratorio.

Material

— 2 m de bramante y bola de acero de 50 g con barra, peana de soporte, pinzas de sujección y cinta métrica.

— Puerta óptica.

— Interfaz CENT.

— Pantalla LCD y proyector de transparencias.

— Programas LAO y WORKS (para gráficos).

— Ordenador.

Procedimiento

1. Se realiza el montaje experimental de la figura 1. Para las dos medidas más largas se ha usado la suspensión de un gancho en el techo (por eso se observa un notable salto en la tabla de datos).

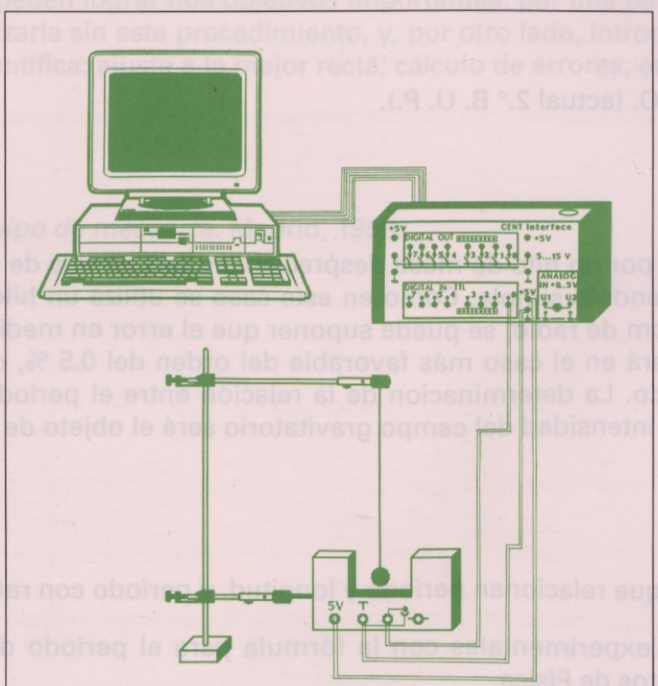


Figura 1

2. Se realiza a continuación una comprobación de la independecia del período del péndulo, en pequeñas oscilaciones, realizando para una misma longitud diversas medidas de tiempo durante diez pasos por la puerta óptica. Esta primera prueba sirvió para delimitar que los períodos calculados a continuación podían tener un error del orden de 0.1 segundos.

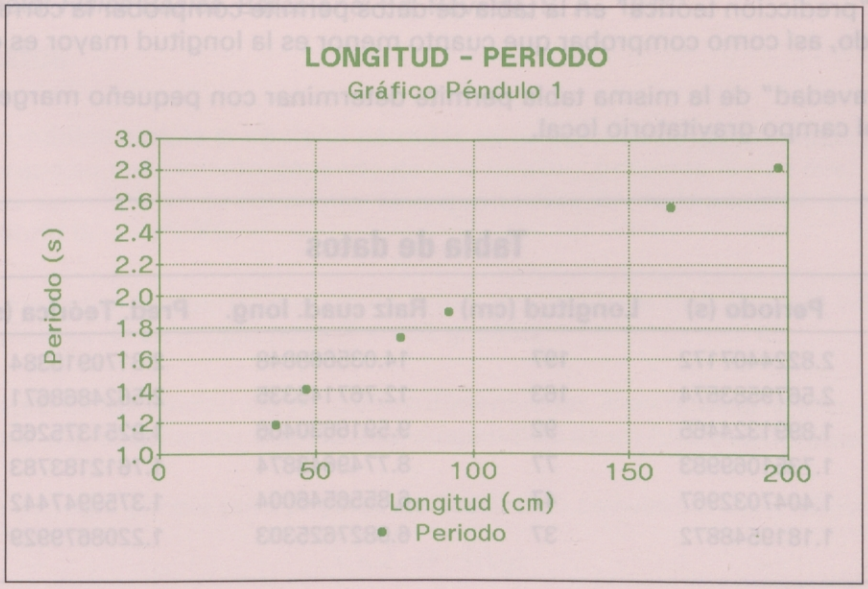
3. En el Programa LAO se elige el *módulo* de **períodos y frecuencias**, *instrumento* **contador**. Se efectúan una serie de medidas de 4.75 oscilaciones (empezando a contar a partir de un extremo de la oscilación, por lo que 10 pasos por la puerta equivalen a este número de oscilaciones) con diferentes longitudes, obteniendo la tabla del fichero **PENDULO. DAT.**

4. Se crean las columnas siguientes: con el período, la raíz cuadrada de la longitud, el valor predicho teóricamente por la teoría y el valor obtenible de la gravedad local.

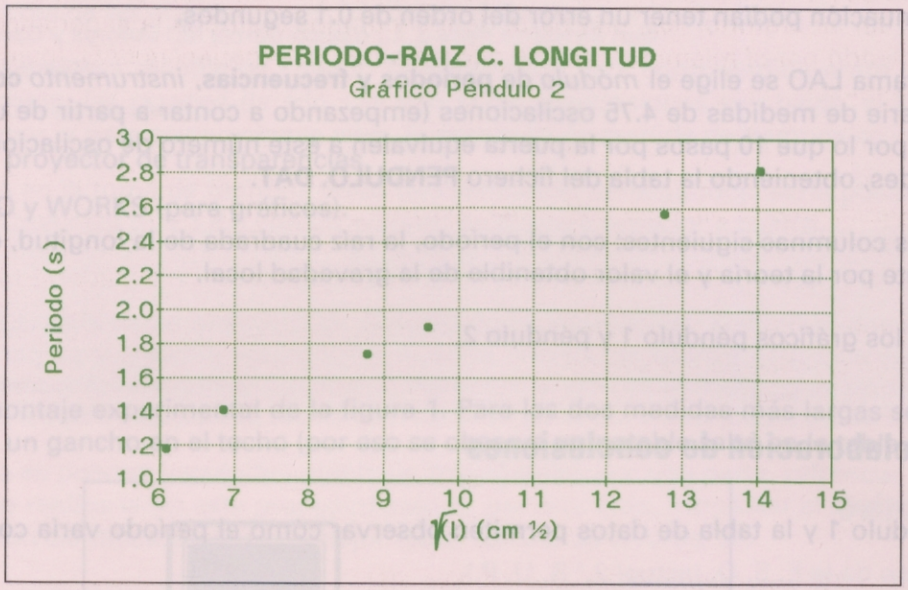
5. Se realizan los gráficos péndulo 1 y péndulo 2.

Actividades y elaboración de conclusiones

El gráfico péndulo 1 y la tabla de datos permiten observar cómo el período varía con la longitud del péndulo.



El gráfico péndulo 2, que relaciona período con raíz cuadrada de longitud, permite definir el aspecto matemático de esta dependencia por su aproximación a una línea recta.



La columna de "predicción teórica" en la tabla de datos permite comprobar la corrección de la fórmula clásica del período, así como comprobar que cuanto menor es la longitud mayor es el error.

La columna "gravedad" de la misma tabla permite determinar con pequeño margen de error el valor de la intensidad del campo gravitatorio local.

Tabla de datos

Tiempo (s)	Período (s)	Longitud (cm)	Raíz cuad. long.	Pred. Teórica (s)	g (cm/s²)
13.406593407	2.8224407172	197	14.035668848	2.8170915384	976.28887
12.197802198	2.5679583574	163	12.767145335	2.5624868671	975.82832
9.0208791209	1.8991324465	92	9.5916630466	1.9251375265	1007.0223
8.2417582418	1.7351069983	77	8.7749643874	1.7612183783	1009.7177
6.6723406593	1.4047032967	47	6.8556546004	1.3759947442	940.35193
5.6142857143	1.1819548872	37	6.0827625303	1.2208679929	1045.5906

Aplicación didáctica

La experiencia se ha realizado con dos diferentes grupos de alumnos, aprovechando desdobles horarios para el uso del laboratorio. Así, una parte de los alumnos realizaba la experiencia tradicional en el laboratorio, midiendo por sí mismos; y la otra parte realizan la experiencia LAO, invirtiéndose el reparto en la siguiente semana.

Durante la experiencia LAO, dos alumnos se encargaban de la realización material del experimento, mientras los demás observaban el mismo y también la imagen del trabajo del ordenador reflejada por el proyector (señalemos que la pantalla LCD mostraba bien los gráficos de Works, mientras que eran casi invisibles los proporcionados por LAO). A su vez, los alumnos tomaban notas de lo realizado y de sus propios razonamientos y conclusiones, como si se tratara de una práctica de laboratorio tradicional.

La práctica resultó muy útil para delimitar los conceptos de error aboluto y relativo, tanto como para mostrar un método práctico de medida de g.

Bibliografía

PRATS, F., y DEL AMO, Y.: *Trabajos Prácticos de Física y Química.* Madrid: Akal Editor, 1981.

FRISCH, S.: *Curso de Física General.* Moscú: Ed. Mir, 1977.

Proyecto Nuffield: *Física Básica.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

El gráfico péndulo 2, que relaciona período con raíz cuadrada de longitud, permite definir el error matemático de esta dependencia por su aproximación a una línea recta.

La columna de "predicción teórica" permite comprobar la exactitud de la fórmula clásica del período, así como comprobar que cuanto menor es la longitud mayor es el error.

La columna "gravedad" de la misma tabla permite determinar con pequeño margen de error el valor de la intensidad del campo gravitatorio local.

Tabla de datos

Tiempo (s)	Período (s)	Longitud (cm)	Raíz cuad. long.	Pred. Teórica (s)	g (cm/s²)
13.406593407	2.8224407172	197	14.035668848	2.8170915384	976.28887
12.197802198	2.5679583574	163	12.767145335	2.5824868671	975.82932
9.0208791209	1.8991324465	92	9.5916830469	1.9251375265	1007.0223
8.2417582418	1.7351069983	77	8.7748643874	1.7612183783	1009.7177
6.5723406593	1.4047032967	47	6.8556758804	1.3759947442	940.35193
5.6142857143	1.1819548872	37	6.0827625302	1.2208679929	1045.5906

Estudio del péndulo y determinación de g

Granados Zamora M.
Seminario de Física y Química
I. B. Isabel la Católica. Madrid (Madrid)

Resumen

A partir del movimiento oscilatorio de una bola atada a un hilo que cuelga de un soporte fijo, se estudia el movimiento del péndulo y se comprueba la ecuación del período.

Nivel educativo

Primero y segundo de Bachillerato, modalidades de Tecnología, y de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignaturas de Física y Química, y de Física (actuales 3.° B. U. P y C. O. U.).

Introducción teórica

El movimiento armónico simple si no tiene pérdidas se caracteriza porque se repite a intervalos regulares de tiempo, porque su movimiento depende de una función armónica (sen o cos), y porque la aceleración a la que se ve sometido no es constante, sino que es función de la posición que ocupa respecto a la posición de equilibrio ($a = -w^2 . X$).

La fuerza que actúa sobre un cuerpo que oscila sujeto a una cuerda (movimiento armónico) es debido a una de las componentes de su propio peso ($F = -m . g . \text{sen}\theta$).

El péndulo siemple es un cuerpo de pequeñas dimensiones moviéndose a una y otra parte de su posición de equilibrio sin rozamientos cuando está suspendido de un hilo inextensible y sin peso.

El período de un péndulo simple para ángulos de desviación pequeños, viene dado por la fórmula:

$$T = 2 . \Pi . \sqrt{(l/g)}$$

Objetivos

— Determinación del período de un péndulo.

— Cálculo de g (intensidad del campo gravitatorio).

Material

— Soporte (o apoyo en el techo).

— Hilo.

— Bola de acero de pequeñas dimensiones.

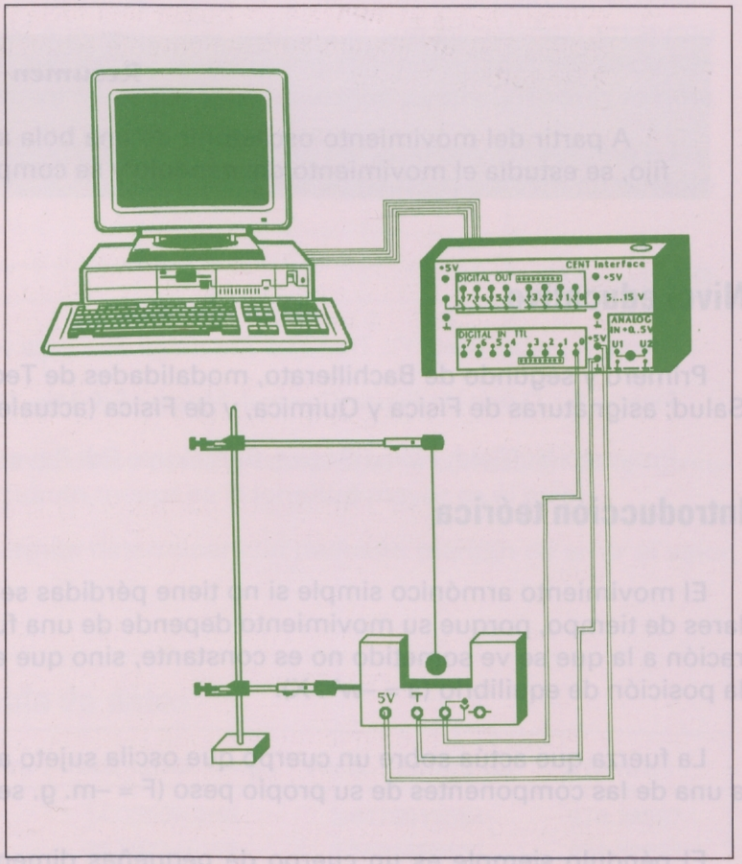
— Regla.

— Puerta fotoeléctrica en U.

— Interfaz CENT.

— Ordenador e Impresora.

— Programa LAO.



Los aparatos han de estar conectados como se indica en la figura adjunta.

Procedimientos

Como la práctica consta de dos partes, conviene que sea realizada en dos sesiones de trabajo de una hora de duración. Si bien es cierto que la primera parte, "Estudio del movimiento del péndulo" por el desarrollo propuesto, puede llevar un poco más de tiempo.

Se aconseja que el ángulo de desviación para el movimiento pendular sea suficientemente pequeño y que, en la medida que se pueda, la longitud del hilo sea suficientemente grande.

Estudio del movimiento del péndulo

1. Situar el péndulo con una longitud de 45 cm, de manera que el centro de la lenteja se encuentre al mismo nivel que la célula fotoeléctrica.

2. Seleccionar *Elegir módulo* de la opción Captura, y activar **períodos y frecuencias**. Seleccionar *Elegir instrumentos* de la opción Captura y activar **contador**. Seleccionar *Comenzar experimento* en la opción Captura. Introducir para el número de muestras 10 y para el número de pasos 3.

3. Cuando salga el mensaje de pulsar una tecla para iniciar la experiencia, tener dispuesta la bola desplazada un ángulo suficientemente pequeño. Al pulsar una tecla, en ese mismo momento debe soltarse la bola.

4. Una vez que se han concluido las diez experiencias, el programa saca en pantalla a lo largo de la columna A, los valores de los tiempos transcurridos por cada una contados como se ha indicado.

5. El tiempo medido no es el correspondiente al período, sino 5/4 del valor del mismo, por esto en la celda de entradas de fórmulas de la columna B se introducirá (A – A/5) y con esto aparecerán en la columna B los períodos obtenidos en cada una de las diez experiencias.

6. Se calculará el valor medio poniendo en la celda de fórmulas de la columna C la expresión MED (B). Hasta aquí se habría llegado a calcular de forma experimental el período del péndulo con la longitud establecida.

7. Para observar las gráficas que permitan ver la dependencia del período con la longitud, o el cuadrado de los períodos con la longitud, es necesario realizar nuevas pruebas con diferentes longitudes.

8. Tomar nota, en un papel aparte, del valor de la longitud y del período.

   LONGITUDES (m) I PERIODOS (valores medios en segundos)

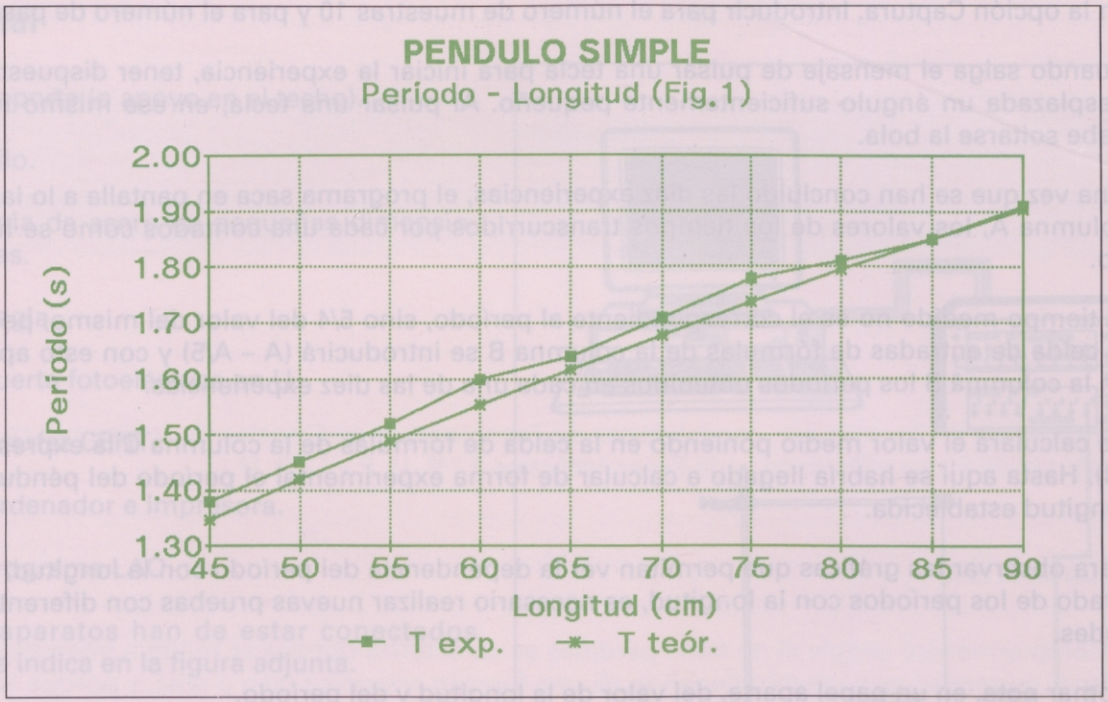
   y repetir el procedimiento realizado hasta aquí para diferentes valores de la longitud, de manera que se aumente de 5 en 5 cm para llegar a tener un total de diez pruebas.

9. Una vez constituida la tabla anterior, selecciona *Borrar Hoja* de la opción Hoja, y posteriormente introducir por teclado los valores de las longitudes en la columna A en metros y la de períodos en B. Introducir en la celda de texto cabeceras que indiquen el contenido de cada columna.

10. En la celda de fórmulas de la columna C introducir la expresión 2*3 . 14*RAIZC(A/9 . 8), y de esta manera se calcularán los valores teóricos que corresponden al período para las distintas longitudes. Los datos que se obtuvieron se encuentran en el fichero PENDICAT. DAT.

Actividades y elaboración de conclusiones

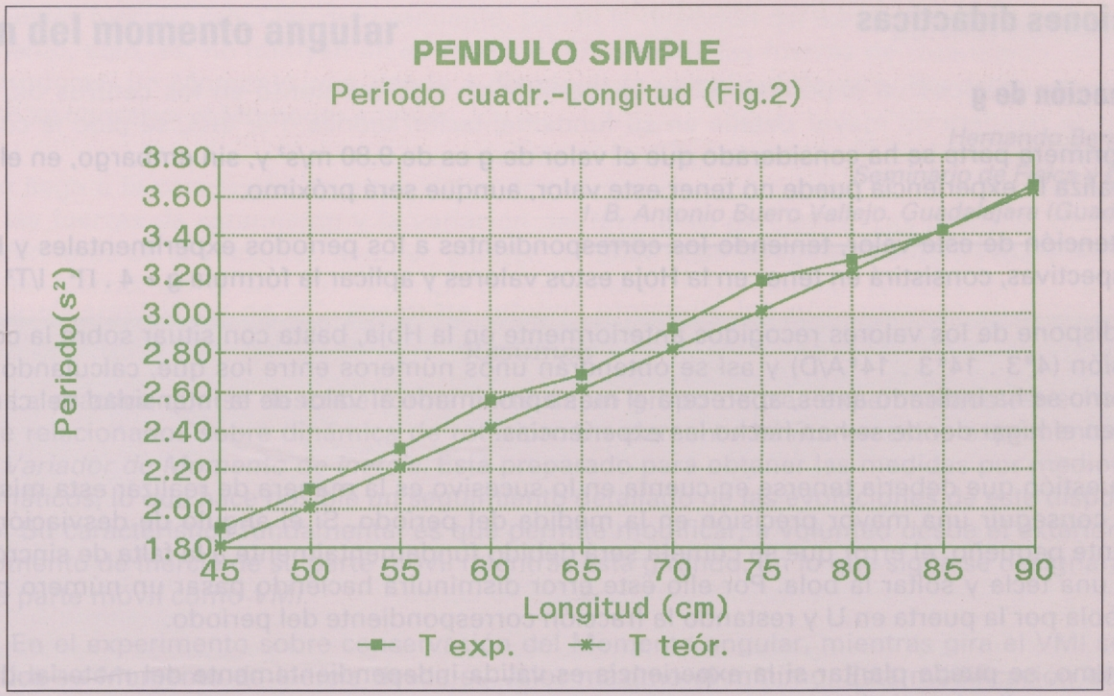
Selecionar Gráfico 1 de la opción Gráficos e introducir para el Eje X los valores de la columa A, para el Eje Y1 los de la B y para Y2 los de la C. Sobre la opción TIPO, pulsar la tecla INTRO para ponerlo en Línea, despues pulsar la tecla Intro sobre la opción ACEPTAR. En estos momentos aparecen las gráficas superpuestas sobre la ventana superior derecha.



En esta representación ampliada se encuentran superpuestas las gráficas: períodos, en segundos, frente a longitudes, en centímetros.

La línea ligeramente curva representa los valores teóricos y la quebrada los experimentales. La discrepancia entre una y otra se debe a errores sistemáticos cometidos en la experiencia y que siempre aparecerán en mayor o menor medida.

En la celda de entrada de fórmulas de la columna D introducir (B*B), obteniéndose los cuadrados de los períodos recogidos experimentalmente. Y en la correspondiente de la columna E, (C*C); igualmente se obtendrán los cuadrados de los períodos que corresponden teóricamente. Se realiza la representación gráfica de estos valores, pero en Gráfico 2 como se ha descrito anteriormente.



En esta representación ampliada están las gráficas: Cuadrados de los períodos (segundos al cuadrado) frente a longitudes (centímetros). La línea recta representa los valores teóricos y la quebrada los experimentales.

Pulsando el botón izquerdo del ratón cuando el cursor esté sobre una zona cualquiera de la ventana de cualquier gráfico, queda activada esta zona, de manera que pulsando F10 el gráfico ocupa toda la pantalla. Para volver al modo anterior, pulsar de nuevo F10.

Si estando activo un gráfico se pulsa F3 aparece una línea vertical, y con las teclas de flecha derecha e izquierda se puede desplazar hasta la posición deseada, y volviendo a pulsar F3 aparece un mensaje con el valor de la pendiente y de la ordenada en el origen de la recta de regresión para los puntos entre los valores que se pulsó F3. La pendiente tiene un valor de a = 3.8572 s^2/cm y la ordenada en el origen es b = 0.1970 s^2.

Para terminar la práctica se sacarán por impresora los valores de la Hoja y los dos gráficos obtenidos. Seleccionar *Imprimir Hoja* de la opción de Utilidades e introducir por teclado A, E. Los gráficos pueden salir en tamaño pequeño o grande, dependiendo del modo en que se encuentre en pantalla a la hora de seleccionar Imprimir gráfico 1 o 2. Sacar ambos gráficos en tamaño grande.

Aplicaciones didácticas

Determinación de g

En la primera parte se ha considerado que el valor de g es de 9.80 m/s^2 y, sin embargo, en el lugar en que se realiza la experiencia puede no tener este valor, aunque será próximo.

La obtención de este valor, teniendo los correspondientes a los períodos experimentales y las longitudes respectivas, consistirá en tener en la Hoja estos valores y aplicar la fórmula $g = 4 . \Pi^2 . l/T^2$

Si se dispone de los valores recogidos anteriormente en la Hoja, basta con situar sobre la columna F la expresión (4*3 . 14*3 . 14*A/D) y así se obtendrán unos números entre los que, calculando su valor medio como se ha indicado antes, aparecerá el más aproximado al valor de la intensidad del campo gravitatorio en el lugar donde se han hecho las experiencias.

Una cuestión que debería tenerse en cuenta en lo sucesivo es la manera de realizar esta misma práctica para conseguir una mayor precisión en la medida del período. Si el ángulo de desviación es suficientemente pequeño, el error que se cometa será debido fundamentalmente a la falta de sincronización al pulsar una tecla y soltar la bola. Por ello este error disminuirá haciendo pasar un número mayor de veces la bola por la puerta en U y restando la fracción correspondiente del período.

Por último, se puede plantar si la experiencia es válida independientemente del material de la bola con la que se realiza la práctica.

Bilbiografía

LASHERAS, A. L., y CARRETERO, M. P.: *Spin. Física y Química 3.° B. U. P.* Barcelona: Ed. Vicens-Vives, 1970.

ORLATE, M.; LOWY, E.; HIDALGO, M., y SEGURA, M.: *Física y Química 3.° B. U. P.* Madrid: Ed. S. M., 1978.

ALONSO, M., y FINN, E.: *Física.* Volumen I: Mecánica. San Juan: Fondo Educativo Interamericano, 1978.

Conservación del momento angular

Hernando Benito F. A.
Seminario de Física y Química
I. B. Antonio Buero Vallejo. Guadalajara (Guadalajara)

Resumen

La práctica que se describe forma parte de un grupo de tres experimentos estrechamente relacionados sobre dinámica de rotación. Un elemento básico en estos exprimentos es el *Variador de Momento de Inercia.* Está preparado para obtener las medidas por medios informáticos, lo que hace posible un seguimiento detallado de las evoluciones de este dispositivo. Su característica fundamental es que permite modificar, a voluntad desde el exterior, el Momento de Inercia de su parte móvil mientras está girando. En lo que sigue se designará a esta parte móvil como *VMI.*

En el experimento sobre conservación del Momento angular, mientras gira el VMI se modifica su Momento de Inercia desde su valor máximo al mínimo. Esta modificación del Momento de Inercia origina un incremento en la velocidad angular. Se halla la relación entre la velocidad angular que adquiere cuando su Momento de Inercia disminuye a su valor mínimo y la que lleva cuando su Momento de Inercia es máximo. Si el Momento angular se conserva, la relación entre los Momentos de Inercia máximo y mínimo debe coincidir con la hallada para las velocidades angulares.

Nivel educativo

Este experimento está enmarcado en la dinámica de rotación de la asignatura de Física en el C. O. U. Esta unidad didáctica no se contempla en el Bachillerato de la Reforma (LOGSE). No obstante se puede adaptar, con alguna modificación, al estudio cinemático de los movimientos circulares (primer curso de Bachillerato, modalidades de Tecnología, y de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud).

El Variador del Momento de Inercia ha sido diseñado por el autor y construido por un *grupo de trabajo* del que forma parte y es su coordinador. El grupo está constituido, además, por José Luis Mendieta, José Antonio Torrubia y M.ª Ángeles Novella. Actualmente se trabaja en el perfeccionamiento de este dispositivo siguiendo tres líneas de actuación:

1. Simplificación de su construcción disminuyendo significativamente el número de elementos y reduciendo el rozamiento.
2. Desarrollo de nuevas prácticas sobre otros temas como dinámica del movimiento circular y electromagnetismo.
3. Realización de un programa específico para todo este conjunto de experiecias.

Introducción teórica

Utilizar un dispositivo experimental no disponible en este momento en los centros de Enseñanza Secundaria requiere un mayor detalle en su fundamentación teórica. Por ello, se pide la comprensión del lector si esta exposición excede lo habitual en estos casos.

Conservación del Momento angular en el VMI

El teorema de conservación del Momento angular establece: "Si en un sistema de partículas el Momento de las fuerzas exteriores con respecto a un punto es nulo, el Momento angular del sistema con respecto al mismo punto, permanece constante".

El VMI es un dispositivo experimental que se asemeja a un sólido con simetría respecto a un eje sobre el que puede girar. No obstante existen partes de este sólido, las masas deslizantes, que pueden alejarse o acercarse al eje mediante el *Control de inercia* mientras el VMI gira (véase la correspondiente figura), lo que permite cambiar su momento de inercia. El teorema de conservación aplicado a este dispositivo se podría enunciar así: "Si las fuerzas exteriores que actúan sobre el VMI no producen Momento respecto al eje, su Momento angular permanecerá constante".

El Momento angular en un sólido con simetría respecto a un eje que permanece fijo, como es el caso del VMI, tiene la dirección del eje y su módulo es igual al producto del Momento de Inercia, I, por su velocidad de giro, w, o sea, I. w. Así, la conservación del Momento angular en estos casos se puede expresar como I . w = constante. De acuerdo con esta expresión, si disminuye el Momento de Inercia aumentará la velocidad angular y viceversa. Se puede concluir que, aun no actuando fuerzas exteriores que produzcan Momento con respecto al eje de rotación, puede cambiar la velocidad angular si lo hace el Momento de Inercia.

Estas conclusiones se pueden comprobar manipulando el *Control de Inercia.* Si a través de éste se acercan las masas deslizantes hacia el eje, disminuye el Momento de Inercia y por tanto w debe aumentar. Por la misma razón, cuando el *Control de Inercia* permite que éstas se alejen hacia la periferia, debe disminuir w. Esto es lo que se aprecia, visualmente y de forma notable, al manejar el dispositivo de control.

El experimento sobre la conservación del Momento angular se inicia dando un impulso al VMI con el fin de que adquiera una cierta velocidad de giro. Finalizando el impulso, las fuerzas exteriores que actúan sobre el VMI son: el peso, las fuerzas de las zonas de apoyo, la fuerzas de rozamiento y, cuando se acciona el *Control* de inercia, las fuerzas[1] que se hacen sobre éste para deslizar las masas deslizantes.

---

1 Las fuerzas que se ejercen sobre el control de inercia, para acercar o alejar las masas deslizantes respecto al eje, no producen momento respecto a éste, pero originan unas fuerzas interiores entre las masas deslizantes y sus guías que causan las variaciones en la velocidad angular en el VMI.

Todas estas fuerzas, salvo las de rozamiento, tienen la dirección del eje de rotación, luego no producen Momento, esto, es, no influyen en su rotación. En cambio, las fuerzas de rozamiento, siempre presentes, producen un Momento que tiende a disminuir la velocidad de giro. Por tanto, de una forma estricta no se conserva el Momento angular.

Así, se llega a la conclusión de que existen dos causas que influyen en la variación de la velocidad angular: las fuerzas de rozamiento y la variación del Momento de Inercia. Las primeras producen una disminución lenta de la velocidad angular, aunque no tanto cuando el VMI va rápido (para más detalles sobre estas fuerzas ver la sección "*Fuerzas de rozamiento*"). En cambio, la variación de la velocidad angular por unidad de tiempo por efecto del *Control de inercia* será tanto mayor cuanto más rápido se desplacen las masas deslizantes sobre sus guías. Si este deplazamiento es suficientemente rápido, durante el tiempo en que se produce este desplazamiento se puede despreciar la variación de la velocidad angular que producen las fuerzas de rozamiento, frente a la variación producida por efecto del cambio del Momento de Inercia. En la gráfica de la última figura del texto este desplazamiento se ha realizado en 1,2 segundos.

Durante estos pequeños intervalos de tiempo en los que se produce el cambio del Momento de Inercia se puede considerar el Momento angular constante: $I \cdot w = I' \cdot w'$, o lo que es lo mismo, $I/I' = w'/w'$. I e I' designan los Momentos de Inercia en los instantes anterior y posterior a la acción del *Control de inercia;* w y w' serían las velocidades angulares del VMI en esos mismos instantes.

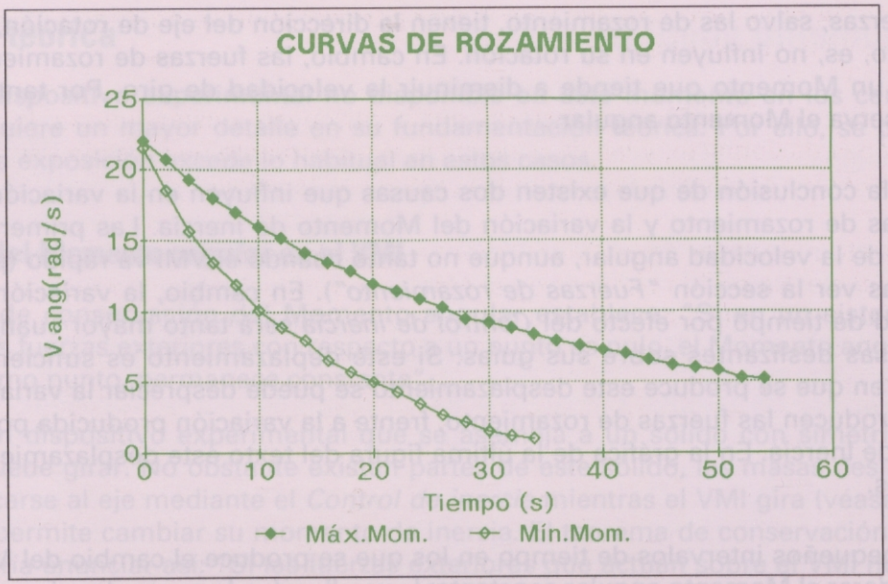
Fuerzas de rozamiento

Esta sección, sobre las fuerzas de rozamiento en el VMI, tiene más carácter informativo que analítico y va dirigida prioritariamente al profesor. Su inclusión en esta guía tiene como objetivo conocer las imprecisiones cometidas, al despreciar estas fuerzas en el experimento, sobre la conservación del Momento angular, así como hallar las condiciones óptimas para la realización de los experimentos con el VMI.

Las gráficas[2] de la siguiente figura muestran la acción de frenado de las fuerzas de rozamiento en el VMI en las condiciones de máximo y mínimo Momento de Inercia.

---

2 Las gráficas de la figura 1 forman parte de las que se obtienen en el experimento Fuerzas de rozamiento, uno de los tres sobre dinámica de rotación y que han sido realizados con el VMI. El procedimiento para obtenerlas es muy similar al que se describe en el experimento sobre la conservación del momento angular aunque sin accionar el control de inercia.



Dos aspectos a comentar sobre estas curvas:

El primero, que el Momento producido por las fuerzas de rozamiento, T_r, depende de la velocidad angular del dispositivo. En efecto: la ecuación escalar relevante de la dinámica de rotación aplicada a este caso se escribe $T_r = I \cdot \alpha$. Si I no se altera, pero sí la aceleración, α, es porque también lo hace T_r.

La Tabla siguiente muestra los valores aproximados de la aceleración de frenado a diferentes velocidades. Han sido obtenidos de los datos utilizados para representar la gráfica de la figura anterior haciendo

Velocidad angular (rad/s)	Ac. angular de frenado (rad/s^2) (máx. Momento)	Ac. angular de frenado (rad/s^2) (mín. Momento)
5	0.2	0.4
10	0.3	0.6
15	0.5	1.2

do uso del concepto de aceleración media. Una mayor aproximación se obtendría utilizando las pedientes a las curvas velocidad angular-tiempo.

Estos valores indican que existen dos factores que contribuyen a estas fuerzas: las de fricción entre cojinetes y otras zonas de contacto, y las de resistencia al movimiento de un sólido en un fluido. Las primeras son prácticamente constantes, las segundas crecen con la velocidad.

El segundo aspecto a destacar es el *mayor valor de la aceleración angular de frenado con las masas deslizantes cerca del eje.* Se podría pensar que el Momento producido por las fuerzas de rozamiento es mayor en esta situación. No obstante se debe tener en cuenta que un mismo Momento actuando sobre Momentos de Inercia distintos produce distintas aceleraciones. En la ecuación $T_r = I \cdot \alpha$. puede observarse que, aún siendo la aceleración angular mayor cuando las masas están cerca del eje, el Momento de Inercia es menor. Por tanto no se puede concluir que el Momento de las fuerzas de rozamiento sea mayor.

Objetivos

— Analizar las gráficas velocidad angular-tiempo relacionándolas con las diferentes fases del movimiento y la manipulación del VMI.

— Calcular varias aceleraciones angulares a partir de las gráficas velocidad angular-tiempo y de los datos que representan.

— Comprobar la conservación del Momento angular.

Material

— Interfaz CENT.

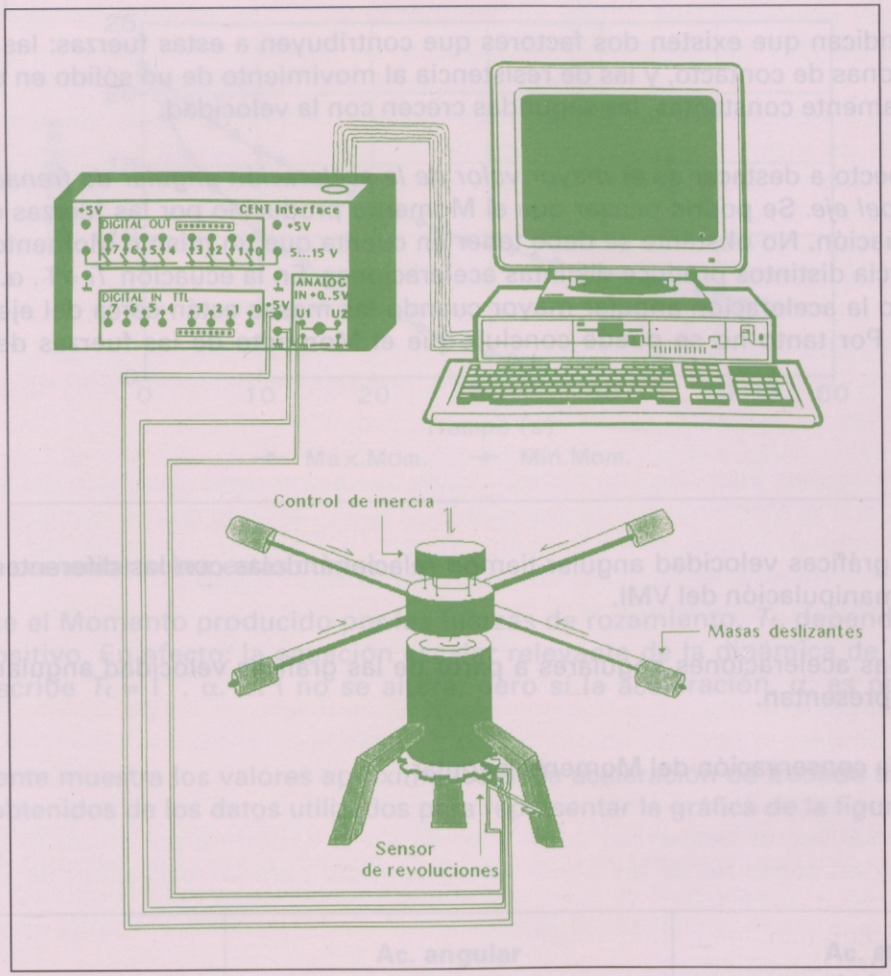
— Fuente de alimentación.

— Cable de conexión.

— Programa LAO.

— Variador de Momento de Inercia.

Variador de Momento de Inercia



Procedimiento

1. El conversor frecuencia-tensión va conectado con tres cables al Interfaz. Uno de ellos, el que transmite la señal de salida del conversor utilizan para la alimentación del conversor y van concectados a una salida de voltaje del Interfaz de 5 voltios (figura anterior).

2. Cuando se han realizado las conexiones del conversor se ejecuta el programa LAO. En la opción captura del menú principal se selecciona el *módulo* de **corriente variable** y dentro de

esta opción, como *instrumento,* **reloj voltímetro** en la escala de 5 voltios, la opción 5. Después se eligen 55 medidas con un tiempo entre dos medidas consecutivas de 0,2 segundos. Se elige un intervalo de tiempo relativamente pequeño porque se van a producir cambios bruscos en la velocidad angular.

3. Hecho lo anterior, se pulsa una tecla para que se inicie el proceso de medida y, con las masas deslizantes situadas en la periferia, se da un impulso al VMI a fin de que adquiera una cierta velocidad angular. Cuando ésta se hace casi estacionaria, se acercan las masas deslizantes hacia el eje a través del *Control de inercia,* (véase figura anterior). Inmediatamente se observa un aumento de la velocidad angular. Después se liberan las masas deslizantes para que se alejen de nuevo hacia la perifera.

4. La señal de salida del conversor transmite un potencial porporcional a la velocidad del VMI, la relación de proporcionalidad es 1 voltio por cada 4 . Π rad/s. El programa LAO lee la señal de salida del conversor y almacena los datos en la columna B de su Hoja de Cálculo. Para obtener los datos de velocidad angular en rad/s es necesario multiplicar por cuatro los datos de esta columna. Esta transformación se hace en el programa LAO aprovechando las facilitades de las Hojas de cálculo para este tipo de operaciones.

5. Los datos corespondientes a esta gráfica están almacenados en el fichero **VMIFIG3. DAT.**

Actividades y elaboración de conclusiones

En la siguiente gráfica, velocidad angular-tiempo, puede observarse como el impulso dado para iniciar el giro se refleja en el primer tramo de la gráfica desde el instante 1.5 segundos hasta el 2.5 s aproximadamente. Continúa después hasta el instante 4.2 segundos con una ligera disminución de la velocidad angular debido a la influencia de las fuerzas de rozamiento. A continuación aparece una brusca subida de la velocidad como consecuencia de la disminución del Momento de Inercia, pasando de I a I' en un tiempo relativamente corto, aproximadamente



1.2 segundos. Es importante resaltar que durante este tiempo también habrán influido las fuerzas de rozamiento, pero no obstante, su acción es poco relevante frente a la ejercida por la variación del Momento de Inercia.

En el instante 4.2 segundos las masas deslizantes están en la periferia, el Momento de Inercia es I y la velocidad agular w = 8.38 rad/s. A partir de este Momento, las masas se acercan hacia el eje por acción del *Control de inercia.* En el instante 5.4 segundos ya están totalmente resplegadas, el Momento de Inercia es I' y la velocidad angular w' = 20.94 rad/s.

La conservación del Momento agular, como ya se analizó en la introducción teórica, implica la relación I/I' = w/w"

En otro experimento[3], que utiliza también el VMI y es conveniente realizar antes que el de conservación del Momento agular, se obtiene para la relación entre el Momento de Inercia máximo y mínimo, I/I' = 2.61. De la anterior gráfica, se obtiene la relación entre las velocidades agulares, w'/w = 20.94/8.38 = 2.50

Este experimento se debe repetir varias veces procurando que el impulso inicial sea de diferente intensidad para que los valores de w y w' que se obtengan sean diferentes.

A continuación se sugieren una serie de cálculos y cuestiones relacionadas con el experimento. Algunas, por su grado de dificultad podrían ser más adecuadas para que, con la ayuda y la guía del profesor, sirvieran para abrir un diálogo en el grupo sobre las cuestiones suscitadas.

Calcular algunas aceleraciones angulares en las diferentes fases del movimiento, utilizando para ello el concepto de aceleración angular media o bien calculando las pendientes en las gráficas de la última figura.

Si no existiera rozamiento ¿cómo habría sido w', mayor o menor que la obtenida? De acuerdo con esta respuesta, ¿estarían más cerca las relaciones entre las velocidades angulares, w"/w, de las de los momentos, I/I'? Haz una estimación del valor de la velocidad angular, w', en ausencia de las fuerzas de rozamiento y halla de nuevo la relación I/I' = w'/w.

Cuando se acciona el Control de inercia, ¿se conserva la energía cinética del VMI? En caso negativo, ¿cómo se transfiere esa variación de energía entre el VMI y el exterior?

---

3 En este experimento se utiliza la ecuación fundamental de la dinámica de rotación para hallar los momentos de inercia del VMI y se comprueba el teorema de Steiner. Se fijan las masas deslizantes en sus guías y se encuentra la relación entre el momento de inercia y la distancia de las masas deslizantes al eje.

Aplicación didáctica

Es frecuente ilustrar los conceptos de conservación del Momento angular mediante los cambios en la velocidad angular de una bailarina cuando ésta aleja o acerca los brazos y las piernas respecto a su eje de rotación. El VMI permite, mediante el *Control de inercia,* emular las evoluciones de la bailarina en lo que a la conservación del Momento angular se refiere. En este experimento se utiliza el VMI para comprobar cuantitativamente la conservación del Momento angular.

Esta práctica se realizará en este curso por grupos de alumnos de C. O. U. Disponer de un solo equipo informático dificulta la organización de los grupos de prácticas de laboratorio. A título de prueba, este curso se organizará realizando esta experiencia al mismo tiempo que otras ya programadas y que no requieren el uso del ordenador. El grupo que lleve a cabo la ejecución de esta práctica será de cuatro alumnos e irá rotando con los restantes grupos.

Bibliografía

Cualquier libro de texto de C. O. U. Para ampliación del concepto se puede consultar:

RESNICK, P, y HALLIDAY, R.: *Física.* Madrid: Ed. CECSA, 1977.

TIPLER, P.: *Física (*).* Madrid: Ed. Reverté, S. A., 1978.

Calcular algunas aceleraciones angulares en los diferentes fases del movimiento, utilizando para ello el concepto de aceleración angular media o bien calculando las pendientes en las gráficas de la última figura.

Si no existiera rozamiento ¿cómo habría sido w', mayor o menor que la obtenida? De acuerdo con esta respuesta, ¿estarían más cerca las relaciones entre las velocidades angulares, w''/w, de las de los momentos, I/I'? Haz una estimación del valor de la velocidad angular, w', en ausencia de las fuerzas de rozamiento y halla de nuevo la relación I/I' = w'/w.

Cuando se acciona el Control de inercia, ¿se conserva la energía cinética del VMI? En caso negativo, ¿cómo se transfiere esa variación de energía entre el VMI y el exterior?

Factores de dependencia del calor

Gómez-Menor Robles J. M.
Seminario de Ciencias Naturales
Cerezuela Fernández F.
Seminario de Física y Química
I. B. Isaac Peral. Cartagena (Murcia)

Resumen

Mediante el calentamiento de distintas masas de un líquido (agua) se estudian los factores de dependencia del calor, así como también el cambio de estado.

Nivel educativo

Segundo ciclo de la E. S. O. (actual 2.° de B. U. P.).

Introducción teórica

El calor es una de las formas de transferir energía de un sistema a otro, cuando ambos se encuentran a diferente temperatura. Razonablemente, los factores de los que cabe esperar que esta transferencia dependa son: masa, incremento de temperatura y naturaleza de la sustancia.

Para comprobar la dependencia de cada uno de ellos, habrá que medir la cantidad de calor absorbida para distintos valores de cada una de las variables, manteniendo constantes las otras dos. Es decir, se trata de un experimento típico de control de variables.

Objetivos

— Obtener las gráficas temperatura/tiempo para distintas masas de agua (o cualquier otro líquido que no sea volátil o inflamable).

— Deducir a partir de las gráficas anteriores los factores de los que depende el intercambio de energía (calor) entre dos cuerpos a distinta temperatura, así como la forma de esa dependencia.

— Demostrar que en los cambios de estado, la temperatura permanece constante, es decir, toda la energía suministrada (calor) se emplea solamente en provocar el cambio de estado (concepto de calor latente de cambio de estado).

Material

— Programa LAO.

— Amplificador de medidas.

— Sonda termométrica.

— Placa eléctrica calefactora, con agitador magnético.

— Vaso de precipitados (250 ml).

— Agua.

— Cables de conexión.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

Procedimiento

Nota previa muy importante: Las gráficas numeradas como 2, 3, 4 y 5, corresponden a la representación gráfica de las experiencias completas, mientras que las numeradas como 2a, 3a, 4a y 5a, corresponden a la representación gráfica del intervalo que se desea controlar.

La medida del calor se hará midiendo el tiempo que tarda una cierta cantidad de agua contenida en un vaso, que se encuentra siempre a la misma temperatura inicial (25° C), para alcanzar una temperatura determinada (40° C). Como la placa calefactora se regulará para que proporcione calor a un régimen constante, el tiempo de calefacción será proporcional al calor suministrado.

1. Se coloca el vaso de precipitado con 50 gramos de agua en la placa calefactora (placa que se habrá precalentado durante unos minutos para que proporcione calor a régimen constante), seleccionándose cien medidas, a razón de una medida por segundo, y se sumerge la sonda termométrica y el agitador magnético, iniciándose la toma de medidas. En el Programa LAO se elige el *módulo* de **temperatura** y los *instrumentos* **termómetro1** y **reloj**.

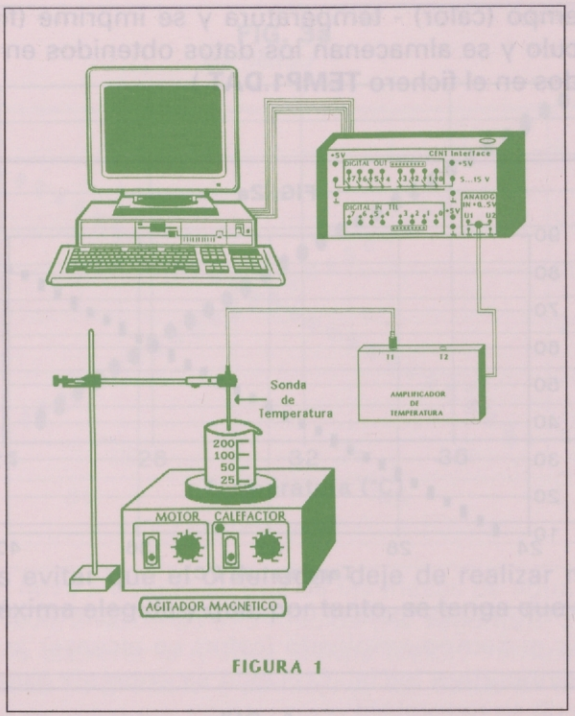
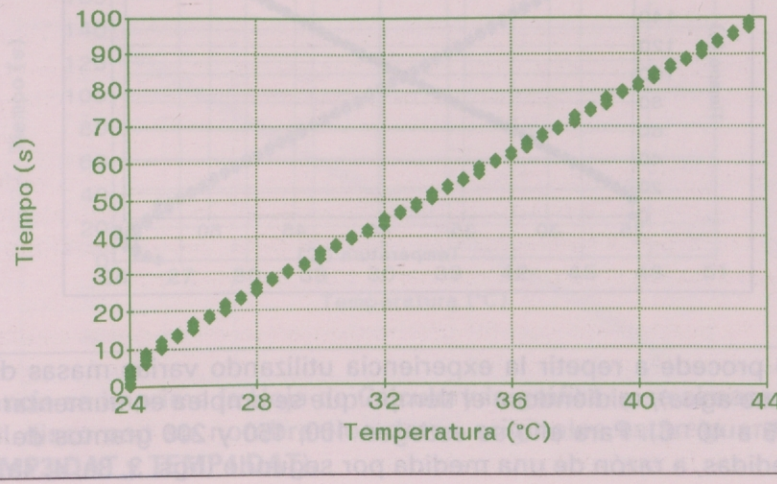


FIGURA 1

FIG. 2



2. Se elabora la gráfica tiempo (calor) - temperatura y se imprime (figs. 2 y 2a). Para terminar, se imprime la Hoja de Cálculo y se almacenan los datos obtenidos en el disco de trabajo (los datos originales están guardados en el fichero **TEMP1.DAT**).

FIG. 2a

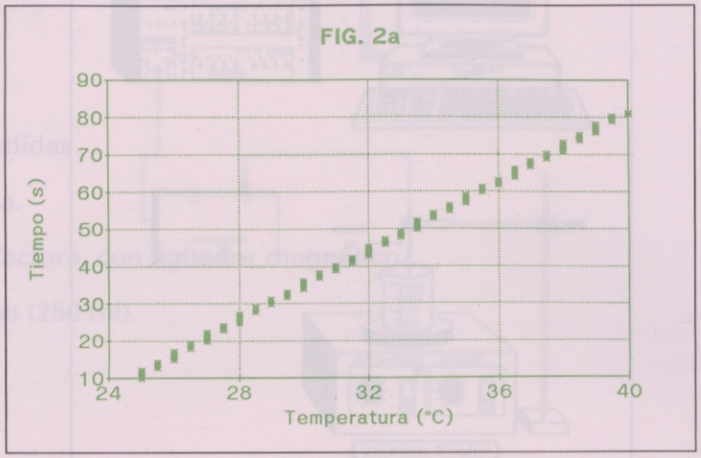
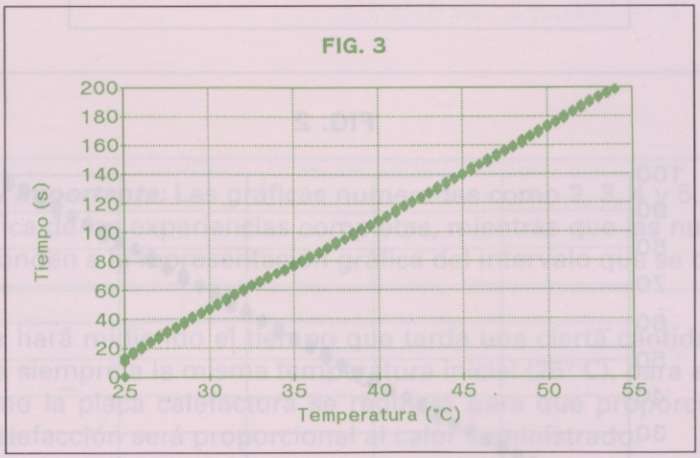
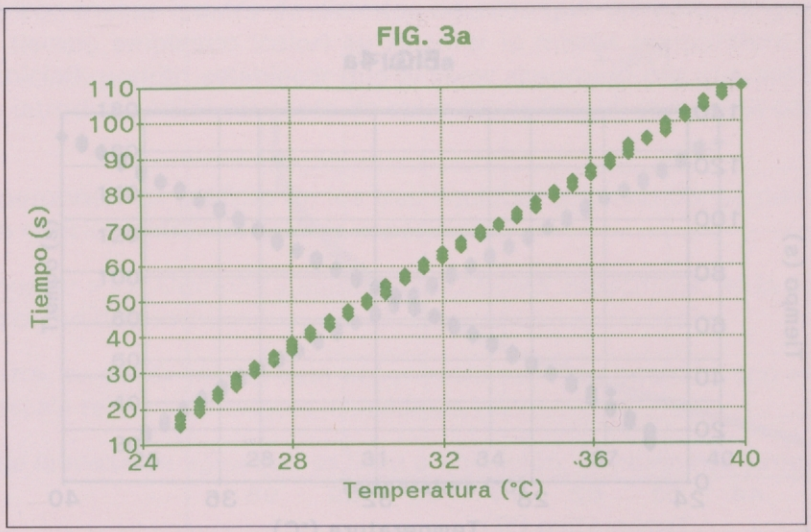


FIG. 3



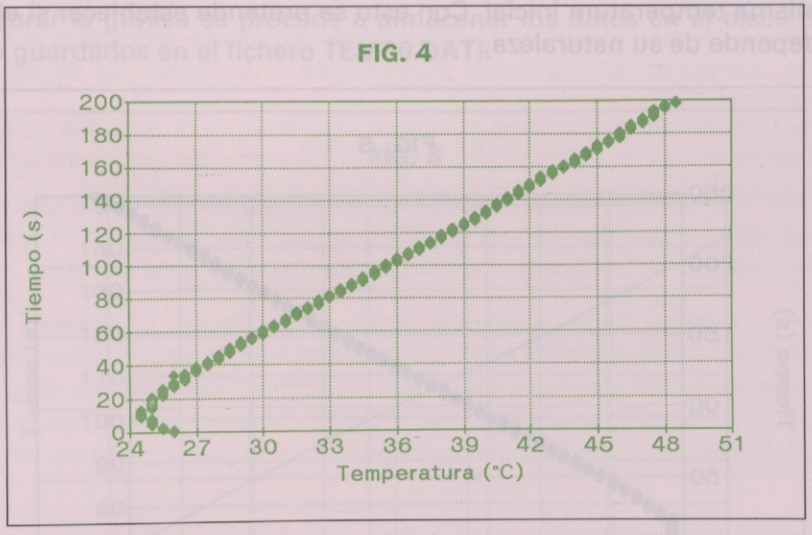
3. Seguidamente se procede a repetir la experiencia utilizando varias masas diferentes del mismo líquido (en este caso agua), midiéndose el tiempo que se emplea en aumentar la temperatura en la misma cuantía (25 a 40° C). Para ello se escogen 100, 150 y 200 gramos de agua, seleccionando 200, 200 y 250 medidas, a razón de una medida por segundo (figs. 3, 3a, 4, 4a, 5 y 5a). El objeto de

FIG. 3a



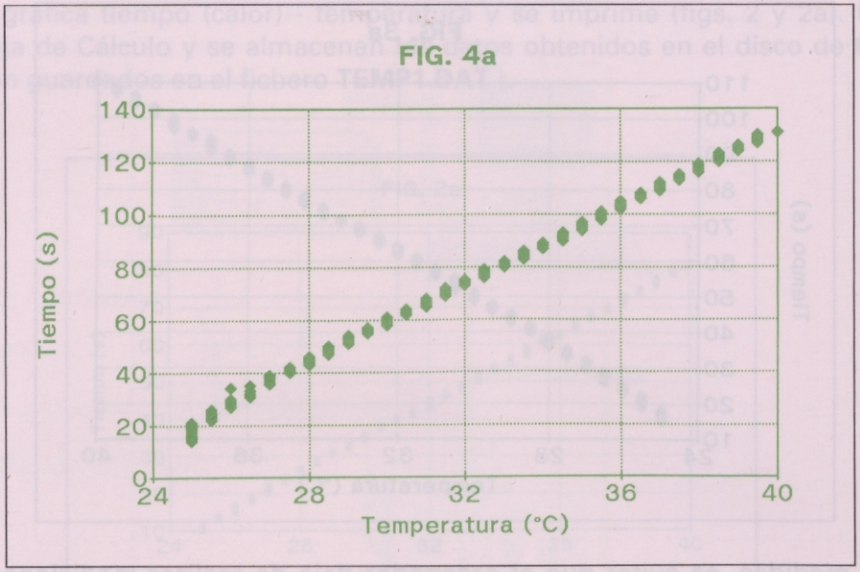
tomar tantas medidas, es evitar que el ordenador deje de realizar mediciones antes de que se alcance la temperatura máxima elegida y que, por tanto, se tenga que repetir el experimento.

FIG. 4



4. En cada experiencia se imprime la Hoja de Cálculo y la gráfica, y se almacenan también los datos obtenidos en el disco con su nombre (los datos originales están guardados en los ficheros **TEMP2.DAT**, **TEMP3.DAT** y **TEMP4.DAT**).

FIG. 4a



5. Además, se pueden utilizar masas iguales de diferentes líquidos (por ejemplo, 50 gr de glicerina y 50 gr de aceite) y medir el tiempo empleado (calor) en alcanzar la misma temperatura, partiendo siempre de la misma temperatura inicial. Con esto se pretende establecer si el calor absorbido por una sustancia depende de su naturaleza.

FIG. 5

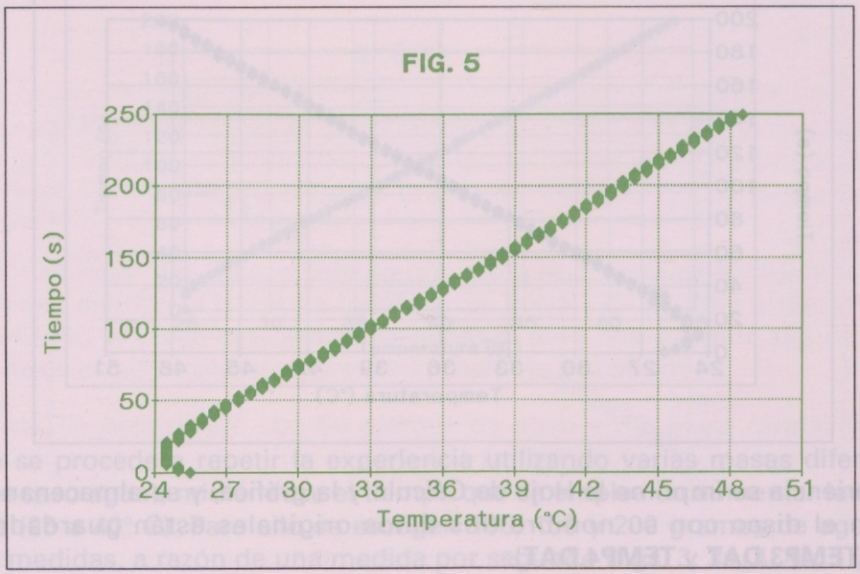
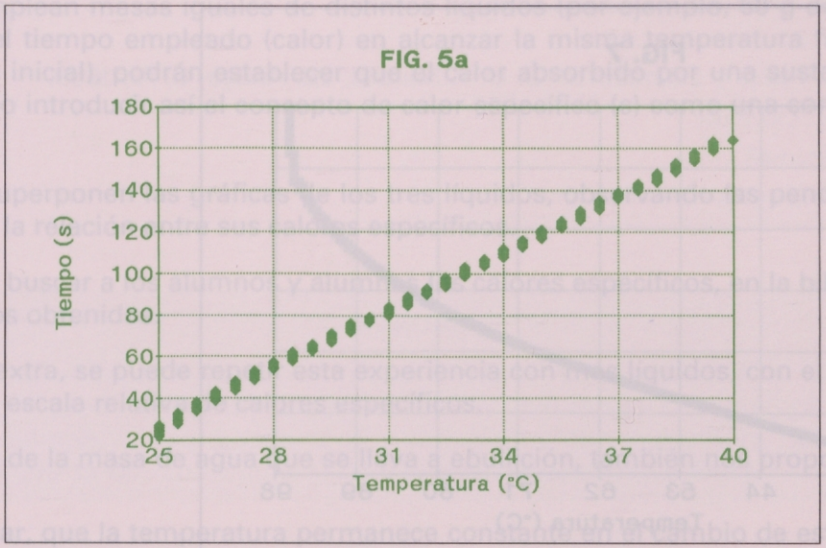


FIG. 5a



6. También, para terminar, se lleva a ebullición una de las masas de agua (150 g), tomando un número suficiente de medidas (1200, a razón de una medida por segundo). Seguidamente, con las medidas obtenidas, se procede a elaborar la gráfica tiempo (calor) - temperatura (Fig. 7); de la misma forma, tras elaborar la gráfica se procede a almacenar los datos en el disco de trabajo (los datos originales están guardados en el fichero **TEMP0.DAT**).

FIG. 6

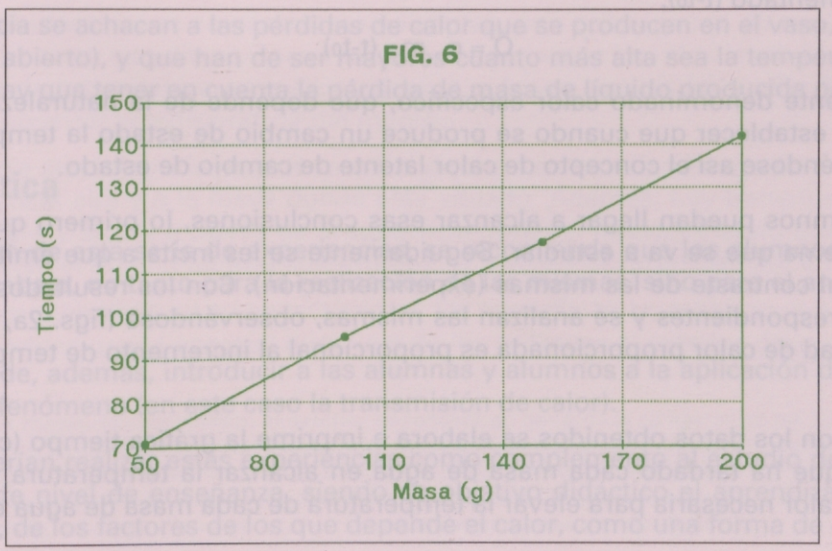
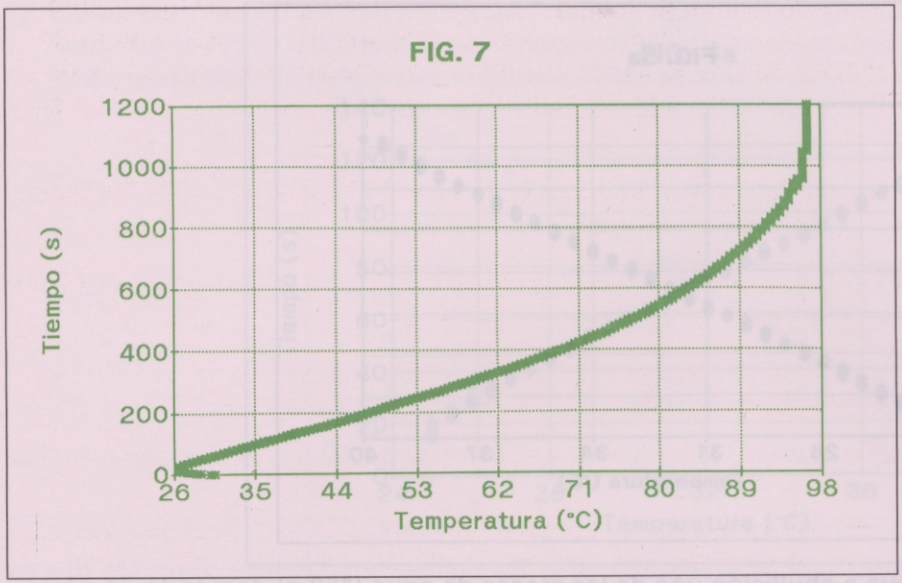


FIG. 7



Actividades y elaboración de conclusiones

Con estas experiencias lo que se pretende establecer es, por un lado, que la energía absorbida en forma de calor por un cuerpo es directamente proporcional a la masa (m) de éste y al incremento de temperatura experimentado ($t-t_0$):

$$Q = c \cdot m \cdot (t-t_0)$$

siendo c un coeficiente denominado calor específico, que depende de la naturaleza del cuerpo; y por otro lado, se puede establecer que cuando se produce un cambio de estado la temperatura permanece constante, introduciéndose así el concepto de calor latente de cambio de estado.

Para que los alumnos puedan llegar a alcanzar esas conclusiones, lo primero que se debe hacer es plantearles el problema que se va a estudiar. Seguidamente se les incita a que emitan hipótesis, hecho lo cual se procede al contraste de las mismas (experimentación). Con los resultados obtenidos se realizan las gráficas correspondientes y se analizan las mismas, observándose (figs. 2a, 3a, 4a y 5a) que en todas ellas la cantidad de calor proporcionada es proporcional al incremento de temperatura experimentado [$Q \approx (t-t_0)$].

Seguidamente, con los datos obtenidos se elabora e imprime la gráfica tiempo (calor) - masa (fig. 6), esto es, el tiempo que ha tardado cada masa de agua en alcanzar la temperatura final, observándose que la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de cada masa de agua es proporcional a su masa ($Q \approx m$).

Si además se emplean masas iguales de distintos líquidos (por ejemplo, 50 g de glicerina y 50 g de aceite), y se mide el tiempo empleado (calor) en alcanzar la misma temperatura final (partiendo de la misma temperatura inicial), podrán establecer que el calor absorbido por una sustancia depende de su naturaleza, pudiendo introducir así el concepto de calor específico (c) como una constante característica de cada sustancia.

Si, además, se superponen las gráficas de los tres líquidos, observando las pendientes de las rectas, se podrá establecer la relación entre sus calores específicos.

Se sugiere hacer buscar a los alumnos y alumnas los calores específicos, en la bibliografía, para comprobar los resultados obtenidos.

Como actividad extra, se puede repetir esta experiencia con más líquidos, con el fin de que los alumnos construyan una escala relativa de calores específicos.

La gráfica (fig. 7) de la masa de agua que se lleva a ebullición, también nos proporciona conclusiones interesantes:

a) En primer lugar, que la temperatura permanece constante en el cambio de estado, o sea que toda la energía suministrada se emplea en producir ese cambio de estado (calor latente de cambio de estado).

b) En segundo lugar, que en la gráfica se puede observar que la recta se curva a partir de una cierta temperatura, no manteniéndose la proporcionalidad directa entre el calor (Q) y el incremento de temperatura ($t-t_0$); sobre este particular se puede reflexionar con los alumnos, buscando las posibles causas.

En esta experiencia se achacan a las pérdidas de calor que se producen en el vaso, al no estar éste aislado (es un sistema abierto), y que han de ser mayores cuanto más alta sea la temperatura alcanzada por el líquido; además hay que tener en cuenta la pérdida de masa de líquido producida por su evaporación.

Aplicación didáctica

Para la realización de esta serie de experiencias, se recomienda que los alumnos y alumnas se dividan en grupos de trabajo, no tanto para la realización de las mismas, sino para el análisis de los resultados obtenidos.

Con esto, se puede, además, introducir a las alumnas y alumnos a la aplicación del método científico en el estudio de un fenómeno (en este caso la transmisión de calor).

También se deberían realizar estas experiencias como complemento al estudio de la unidad temática de la Energía de este nivel de enseñanza, siendo su objetivo didáctico el aprendizaje, por parte de los alumnos y alumnas, de los factores de los que depende el calor, como una forma de energía.

Bibliografía

CANDEL, A. *et alter.*: *Física y Química. 2.° B. U. P.* Madrid: Ed. Anaya, S. A., 1989.

Calor y temperatura

Novella E. y Hernando Benito F. A.
Seminario de Física y Química
I. B. Antonio Buero Vallejo. Guadalajara (Guadalajara)

Resumen

Cuando se calientan, con focos caloríficos idénticos, cantidades diferentes de la misma sustancia, no se producen los mismos cambios de temperatura. Midiendo, para distintos intervalos de tiempo, las correspondientes variaciones de temperatura, se comprueba de forma sencilla que ambos conceptos, calor y temperatura, son diferentes.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, en las modalidades de Tecnología y Ciencias de la Naturaleza y de la Salud. La unidad didáctica en que se sitúa la práctica es "La energía y su transferencia: Trabajo y Calor".

Fundamento teórico

En dos recipientes idénticos se colocan masas distintas, una doble que la otra, de una misma sustancia líquida. Los sistemas en estudio son precisamente estas masas líquidas (excluido todo lo demás). Se sumerge una sonda de temperatura en cada recipiente, a la vez que un foco calorífico, igual en ambos. Se agita para homogeneizar la temperatura del medio.

Parte de la energía suministrada por los focos al sistema es transferida por éste al exterior; es decir, al recipiente y de éste al aire y a la mesa donde esté situado. Además, hay transmisión de energía a las sondas de temperatura y al aire a través de la superficie libre del líquido. Puesto que los focos son de la misma potencia y están el mismo tiempo sumergidos, la energía desprendida por ellos es la misma.

Los recipientes son idénticos en su constitución y las superficies en contacto con el aire exactamente iguales, de ello se deduce que la energía[1] que fluye de los sistemas al exterior debe ser aproximadamen-

1 La cantidad de energía transferida del sistema al exterior dependerá en parte de la temperatura del sistema y de la del exterior (recipiente, sonda y aire fundamentalmente). Puesto que los dos sistemas evolucionan hacia temperaturas diferentes, esta transferencia de energía no será exactamente igual en ambos. Si las sondas de temperatura y el propio recipiente tienen una capacidad calorífica muy inferior a la del sistema, se estaría más cerca de la aproximación de partida. Para evitar en lo posible la evaporación y radiación, en ningún caso se deben acercar las temperaturas a la de ebullición.

te la misma en ambos. Si la energía desprendida por los focos es la misma y la que fluye al exterior también, deberá ser aproximadamente igual la recibida por ambos sistemas.

El calor recibido por la sustancia del recipiente con doble masa será:

$$Q_1 = 2 \cdot m \cdot c \cdot \Delta T_1$$

Para el calor recibido por el otro sistema se obtiene:

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta T_2;$$

m. Masa de sustancia líquida en el recipiente con menor cantidad.

c. Calor específico de la sustancia líquida que constituye el sistema.

ΔT_1. Variación de temperatura del sistema de mayor masa.

ΔT_2. Variación de temperatura del sistema de menor masa.

Puesto que $Q_1 \approx Q_2$, se puede escribir esta relación:

$$2 \cdot m \cdot c \cdot \Delta T_1 \cdot m \cdot c \cdot \Delta T_2;$$

Simplificando queda $\Delta T_2 \approx 2 \cdot \Delta T_1$

Objetivos

— Obtener las gráficas de variación de temperatura en el tiempo para las dos masas.

— Deducir la relación entre las variaciones de temperatura en ambas masas.

Material

— Plataforma rectangular (2).

— Varilla metálica (2).

— Nueces dobles (2).

— Pinzas (2).

— Vasos de precipitados (2).

— Resistencias de inmersión (2).

— Agua.

— Sondas de temperatura (2).

— Amplificador de temperatura (2).

— Interfaz CENT.

— Fuente de alimentación del interfaz.

— Programa LAO.

— Ordenador.

Procedimiento

1. Se realiza el montaje cuyo esquema se representa en la figura 1. Se sumerge una sonda de temperatura en cada vaso al mismo tiempo que el foco calorífico (idéntico en ambos). Se agita constantemente y cuando se tiene igual temperatura en los dos vasos, se inicia el proceso de adquisición de datos después de haber preparado el programa como se indica a continuación.

2. Se hace que aparezcan en pantalla la Hoja de Cálculo y las dos ventanas de gráficos. En la Hoja de Cálculo se selecciona la opción **captura** del menú principal. Después, el *módulo* **temperatura** y, dentro de esta opción como *instrumentos*, **reloj** y **termómetros (1 y 2)**. Posteriormente se elige comenzar experimento, y aparecerá una ventana donde se seleccionan 30 medidas tomadas cada 5 segundos aproximadamente.

3. Tanto el número de medidas como el tiempo entre dos medidas consecutivas deben ser los adecuados para que la temperatura máxima de la sustancia líquida no se acerque a la de ebullición.

4. Se pulsa una tecla para comenzar el experimento. Finalizado el proceso de medición aparecen en la Hoja de Cálculo tres columnas de valores. En la A, los valores del tiempo; en la B, los de la temperatura correspondiente a la sonda 1 y en la C los de la temperatura que mide la sonda 2. Se observan, superpuestas en la misma figura, las gráficas de variación de temperatura con el tiempo para cada masa, siempre que el tiempo entre medidas sea igual o mayor que dos segundos.

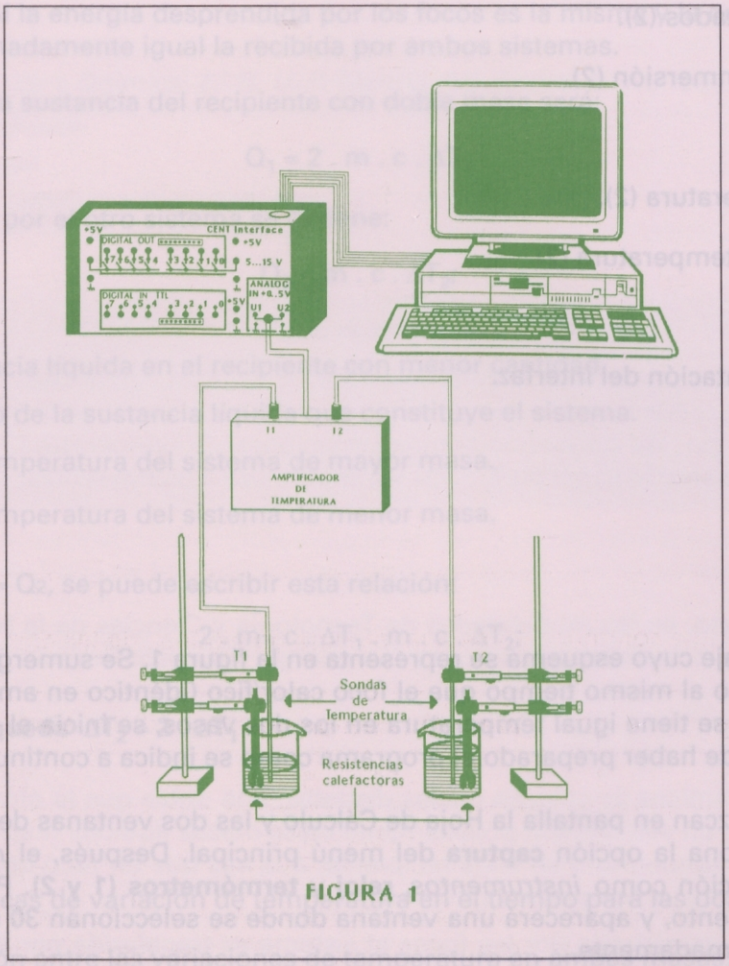


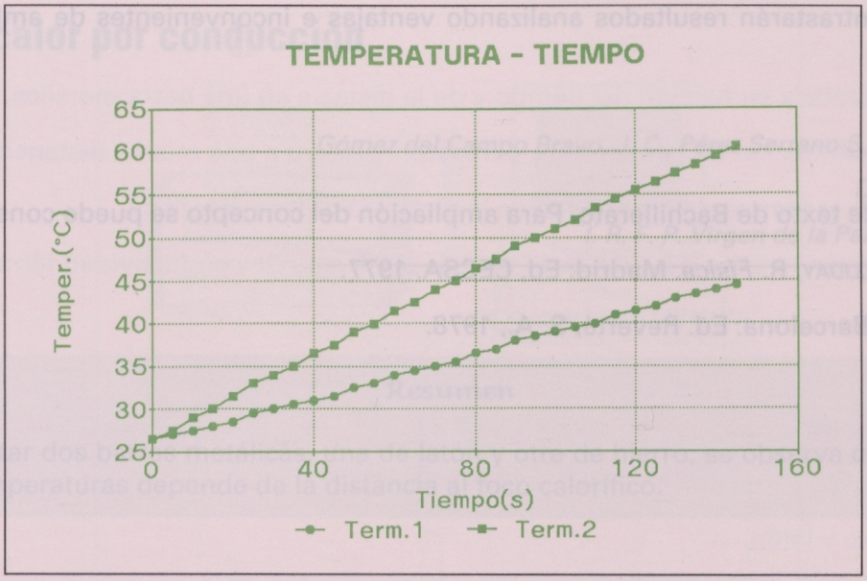
FIGURA 1

5. En la gráfica de la figura 2 están representados los datos obtenidos al realizar este experimento. Estos datos se encuentran en el fichero **TEMFIG2.DAT**.
6. Se debe procurar iniciar la toma de medidas cuando las temperaturas de las masas coincidan.

Actividades y elaboración de conclusiones

Se toman intervalos de tiempo idénticos y sus correspondientes variaciones de temperatura en ambas gráficas, y se comprueba la relación siguiente:

$$\Delta T_2 \approx 2 \, . \, \Delta T_1.$$



La tabla que se presenta a continuación es una muestra de algunas de las comprobaciones posibles:

Intervalo de tiempo	Variación termómetro 1	Variación termómetro 2
(50 - 0) s	32,5 - 26,5 = 6° C	39 - 26,5 = 12,5° C
(80 - 20) s	36,5 - 28,5 = 8° C	46,5 - 31,5 = 15° C

Si los calores recibidos por los dos sistemas son aproximadamente iguales, $Q_1 \approx Q_2$, y las variaciones de temperatura en ambos están en la proporción $T_2 \approx 2 \cdot \Delta T_1$, queda justificado que ambos conceptos sean distintos.

Aplicación didáctica

La idea de realizar este experimento nace al constatar, en la práctica docente, lo común que resulta entre los alumnos y alumnas confundir ambos conceptos y la dificultad encontrada al intentar explicar, por métodos tradicionales, que son diferentes.

Este experimento se realizará en grupos de cuatro, de forma rotativa, ya que sólo se cuenta con un equipo de adquisición de datos. El resto de la clase efectuará el experimento sin la ayuda informática y,

posteriormente, contrastarán resultados analizando ventajas e inconvenientes de ambos procedimientos.

Bibliografía

Cualquier libro de texto de Bachillerato. Para ampliación del concepto se puede consultar:

RESNICK, P., y HALLIDAY, R. *Física*. Madrid: Ed. CECSA, 1977.

TIPLER, P. *Física*. Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

Transmisión del calor por conducción

Gómez del Campo Bravo, J. C., Pérez Serrano S. y Rodríguez Martín J.

Departamento Ciencias

I. R. F. P. Virgen de la Paloma. Madrid (Madrid)

Resumen

Al calentar dos barras metálicas, una de latón y otra de hierro, se observa que la distribución de temperaturas depende de la distancia al foco calorífico.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física y Química (actual 3.° B. U. P.).

Introducción teórica

Calor es la energía térmica en tránsito desde las zonas del medio de mayor temperatura a las de menor temperatura. Los mecanismos de transporte de calor son de diversa naturaleza: conducción, radiación y convección.

En los sólidos predomina el proceso de conducción pues los átomos, iones o moléculas oscilan en torno a posiciones de equilibrio de la red cristalina, no pudiéndose desplazar libremente a lo largo del material. La transmisión del calor corresponde a un transporte de energía mediante ondas elásticas o fonones. Cuando hay un gradiente de temperatura en los sólidos, las partículas más energéticas oscilan con mayor amplitud que las menos energéticas; la energía se transmite de las partes más calientes a las más frías por transferencias de energía entre las partículas vecinas; lo que se propaga en el sólido no es la materia, sino el estado de movimiento de las partículas que lo forman.

Si el material es buen conductor eléctrico intervienen además de forma destacada los electrones libres, difundiéndose los más energéticos hacia las zonas de baja temperatura.

Objetivos

— Medir la temperatura en función del tiempo y de la distacia en una barra metálica.

— Comparar la distribución de temperatura para latón y hierro a una misma distancia.

— Comprobar que la temperatura depende de la distancia al foco calorífico.

— Deducir qué material, latón o hierro, presenta un coeficente de conductividad térmica mayor.

Material

— Soportes y nueces.

— Foco calorífico.

— Barras de hierro y latón.

— Sondas termométricas.

— Amplificador de temperaturas.

— Interfaz CENT.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Descripción del dispositivo experimental

El montaje del dispositivo experimental se muestra en las figs. 1 y 2. Se monta sobre un soporte las barras de hierro y latón, una a cada lado del soporte; cada una posee cuatro puntos para acoplar las sondas de temperaturas a 6.5, 11.5, 16.5 y 21.5 cm del punto medio de dicha barra.

2. Ajustes y calibración

Se sitúan las sondas en las posiciones de la barra elegidas según la distancia al foco calorífico, colocado debajo del punto de unión de las barras de hiero y latón. Se conectan las sondas al amplificador y éste a la entrada analógica del interfaz.

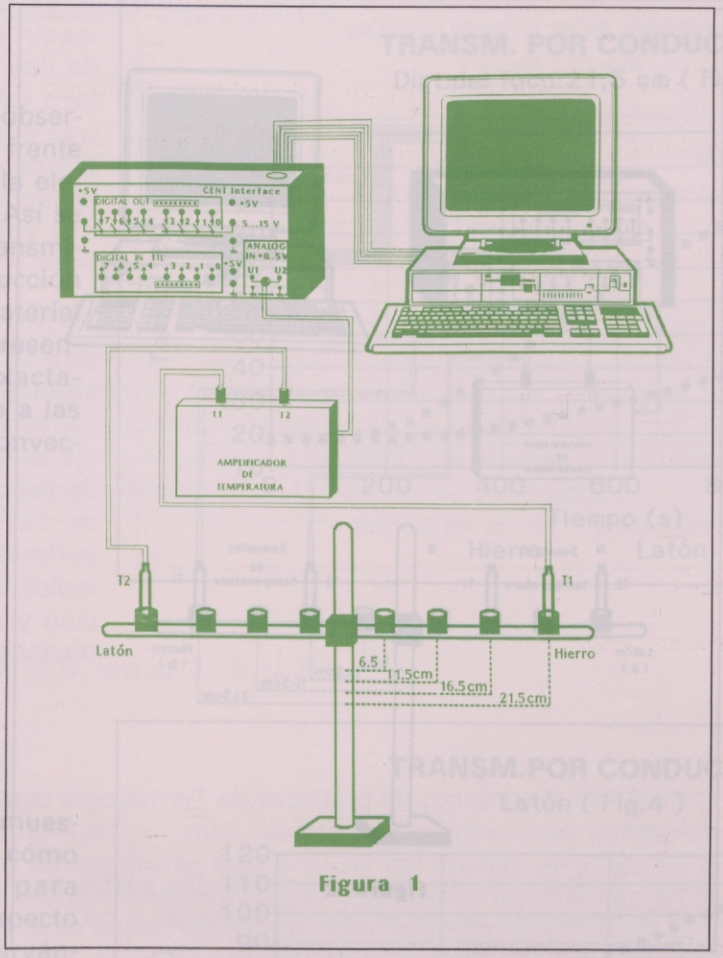


Figura 1

3. Realización de la experiencia

Se elige el *módulo* de **temperatura** en el programa LAO y como *instrumentos* el **reloj** y en número de **termómetros** para cada caso, así como el número de medidas y el intervalo de tiempo entre ellas. Se sitúa el foco calorífico y se pulsa cualquier tecla para comenzar el experimento.

a) Se sitúan dos sondas a 21.5 cm de distancia, una en hierro y otra en latón. Los valores experimentales obtenidos con el programa **LAO** se guardan en **CONDUC1. DAT**

b) Se deja enfriar la barra y se sitúan dos sondas a 11.5 cm y 21. 5 cm sobre la barra de latón obteniendo los datos experimentales guardados en **CONDUC2. DAT.**

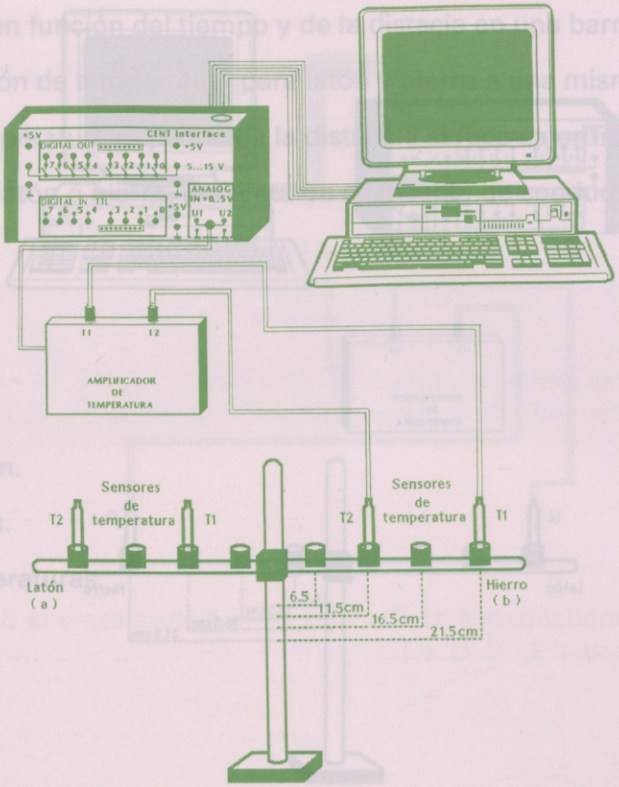


Figura 2

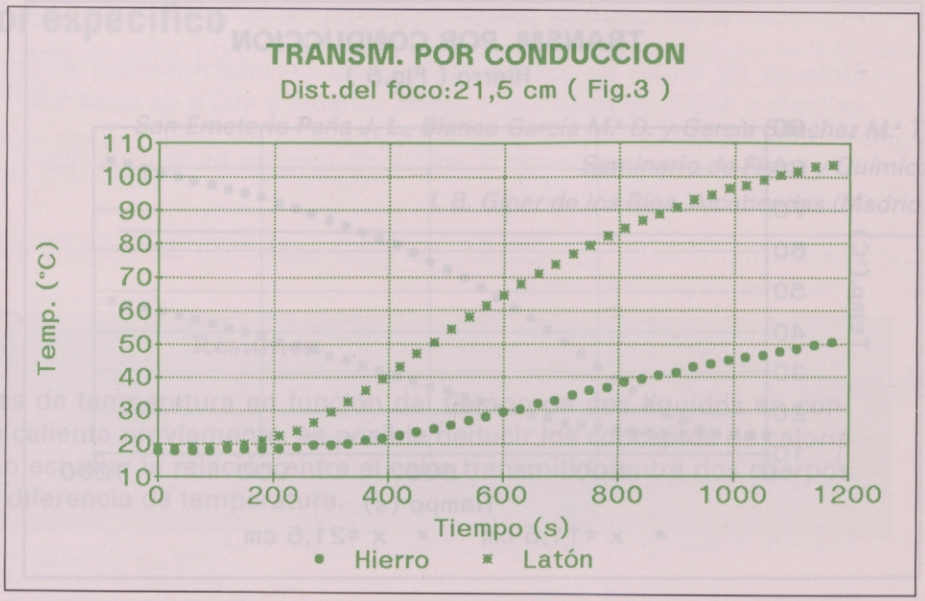
c) Se realiza la misma operación que en el apartado 2, pero con la barra de hierro. Los datos se guardan en **CONDUC3. DAT**.

Actividades y elaboración de conclusiones

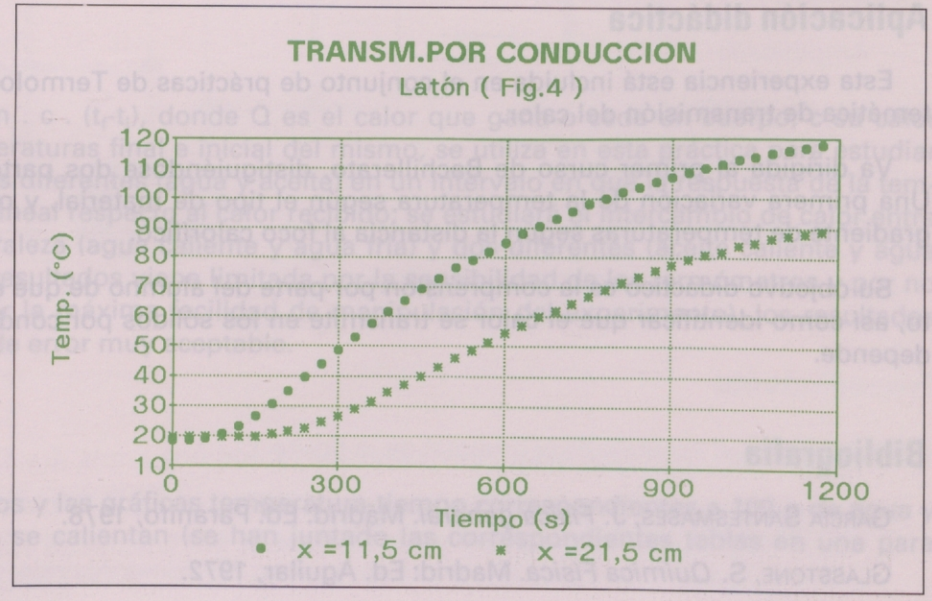
A partir de las tablas de datos obtenidas en las diferentes experiencias se ha representado gráficamente la variación de temperatura en función del tiempo.

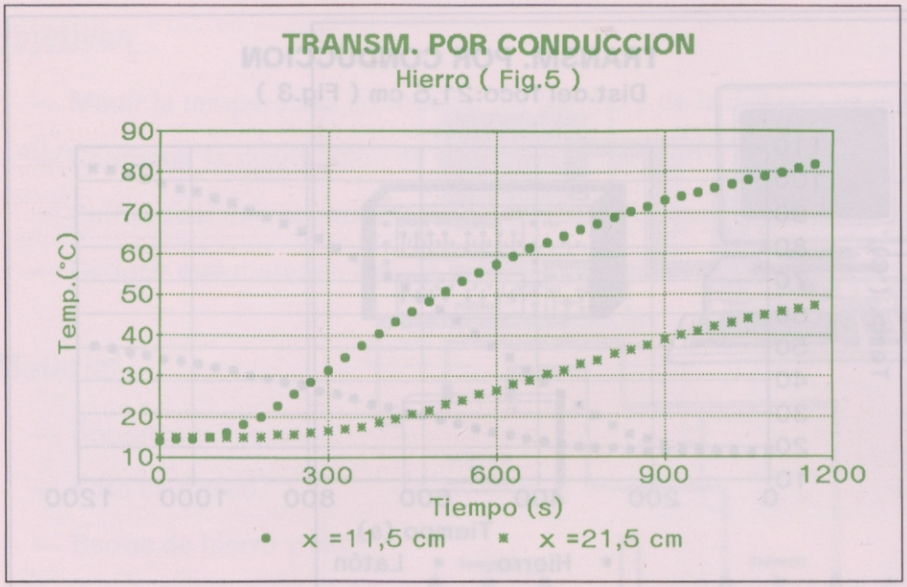
La fig. 3 nos muestra esta viariación para dos materiales diferentes situados a la misma distancia del foco calorífico. Como puede observarse hay dos diferencias claras: por una parte las pendientes son

diferentes y por otra se observa el retraso del hierro frente al latón en el inicio de la elevación de temperatura. Así se puede concluir que la transmisión de calor por conducción depende del tipo de material (conductividad). La representación gráfica no es exactamente una recta debido a las pérdidas de calor por convección.



En las figs. 4 y 5 se muestra, para latón y hierro, cómo varía la temperatura para distancias diferentes respecto del foco calorífico, observándose claramente que el incremento de temperatura es más elevado cuanto más cerca se esté del foco calorífico; es decir, se produce un gradiente de temperaturas a lo largo de la barra según la distancia al foco.





Si hubiese sido posible medir la temperatura para más de dos distancias diferentes al foco calorífico, se podría mostrar cómo es la variación de temperatura en función de la distancia al foco, obteniéndose una variación exponencial del tipo:

$$t = t_1 + (t_2 + t_1)e^{-mx}$$

donde t_1 es la temperatura ambiente, t_2 es la temperatura del foco calorífico, x la distancia al foco y m un coeficiente de la forma $m = (ks/pc)^{1/2}$, siendo s la sección de la barra, p el perímetro, k un coeficiente que indica las pérdidas por convección y c el coeficiente de conductividad calorífica.

Aplicación didáctica

Esta experiencia está incluida en el conjunto de prácticas de Termología correspondiente a la unidad temática de transmisión del calor.

Va dirigida al primer curso de Bachillerato, distiguiéndose dos partes según su nivel de dificultad. Una primera variación de la temperatura según el tipo de material, y otra que incluyera el estudio del gradiente de temperaturas según la distancia al foco calorífico.

Su objetivo didáctico es la comprensión por parte del alumno de que el calor es una energía en tránsito, así como identificar que el calor se transmite en los sólidos por conducción y los factores de los que depende.

Bibliografía

GARCÍA SANTESMASES, J. *Física general.* Madrid: Ed. Paranifo, 1978.

GLASSTONE, S. *Química Física.* Madrid: Ed. Aguilar, 1972.

Transmisiones de calor. Calor específico

San Emeterio Peña J. L., Blanco García M.ª D. y García Sánchez M.ª T.
Seminario de Física y Química
I. B. Giner de los Ríos. Alcobendas (Madrid)

Resumen

Midiendo las variaciones de temperatura en función del tiempo de dos líquidos en contacto, uno de los cuales se calienta previamente, es posible deducir los conceptos de caloría y calor específico, así como estudiar la relación entre el calor transmitido entre dos cuerpos por unidad de tiempo y su diferencia de temperatura.

Nivel educativo

Segundo ciclo de la E. S. O. (actual 2.° B. U. P.).

Introducción teórica

La conocida ecuación $Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i)$, donde Q es el calor que gana o cede un cuerpo, c su calor específico y t_f y t_i son las temperaturas final e inicial del mismo, se utiliza en esta práctica para estudiar el calentamiento de dos cuerpos diferentes (agua y aceite) en un intervalo en que la respuesta de la temperatura es aproximadamente lineal respecto al calor recibido; se estudiará el intercambio de calor entre dos cuerpos de la misma naturaleza (agua caliente y agua fría) y dos diferentes (aceite caliente y agua fría). Aunque la calidad de los resultados viene limitada por la sensibilidad de los termómetros y por no usar calorímetros (para permitir la máxima facilidad de manipulación del experimento), los resultados prácticos permiten un margen de error muy aceptable.

Objetivos

— Obtener las tablas de datos y las gráficas temperatura-tiempo correspondientes a 100 g de agua y 100 g de aceite mientras se calientan (se han juntado las correspondientes tablas en una para mayor facilidad de uso).

— Introducir el concepto de caloría y de calor específico a partir de estas gráficas.

— Obtener las tablas de datos y las gráficas correspondientes al intercambio de calor entre el agua caliente y 400 g de agua fría, y aceite caliente y 400 g de agua fría.

— Comprobar cómo se tiende al equilibrio térmico en ambos casos, a una velocidad proporcional a la diferencia de temperaturas.

— Determinar el valor aproximado del calor específico del aceite y compararlo con el que se obtiene a partir de la primera tabla.

Material

— Vaso de precipitados grande con 400 cc de agua, otro pequeño con 100 cc de agua y uno más con 110 cc de aceite (unos 100 g).

— Soporte metálico con rejilla para el calentamiento.

— Mechero de alcohol.

— Agitadores (2).

— Sondas termométricas (2).

— Amplificador.

— Interfaz CENT.

— Cables de conexión.

— Ordenador.

— Programas LAO y WORKS (para gráficos).

Procedimiento

1. Se realiza el montaje experimental de la figura 1.

2. Se calientan los 100 gramos de agua desde 32° C (el agua había sido previamente precalentada) hasta 43,5° C en 380 segundos obteniéndose la tabla de datos correspondiente. En el Programa LAO se elige el módulo de **temperatura**, y como *instrumentos* **reloj** y **termómetros** (1 y 2).

3. Se introduce el recipiente de agua caliente en el frío, agitando los dos por separado y tomando temperaturas durante un cuarto de hora, obteniéndose la serie de datos correspondiente a la aproximación al equilibrio térmico.

4. Durante los procesos 2 y 3 se explicarían a los alumnos y alumnas los conceptos teóricos implicados (sobre todo la diferencia entre calor y temperatura).

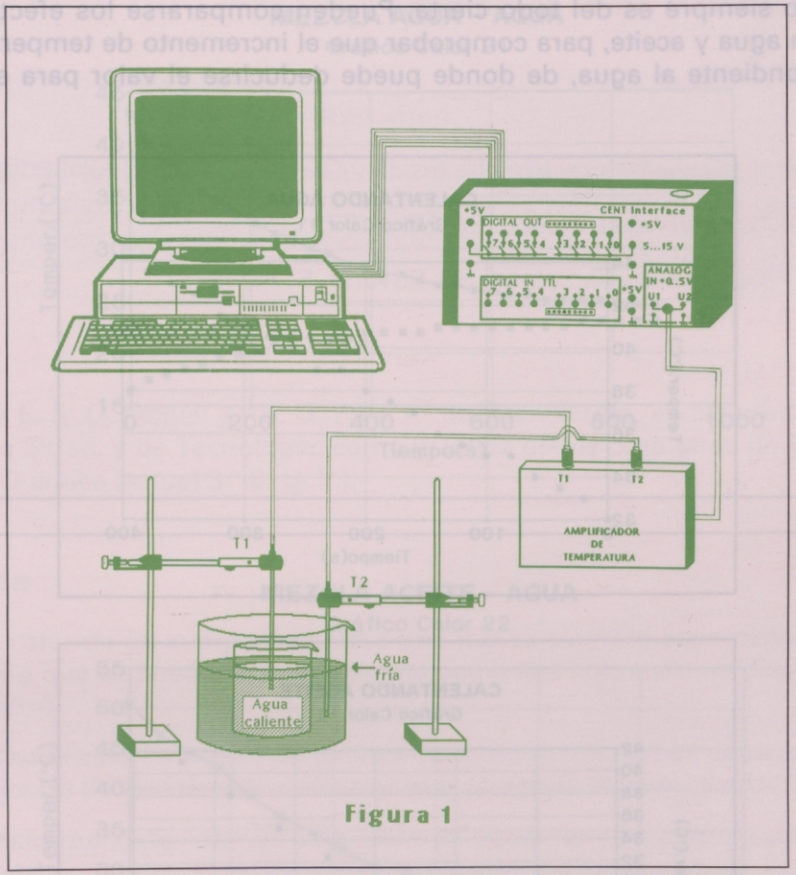


Figura 1

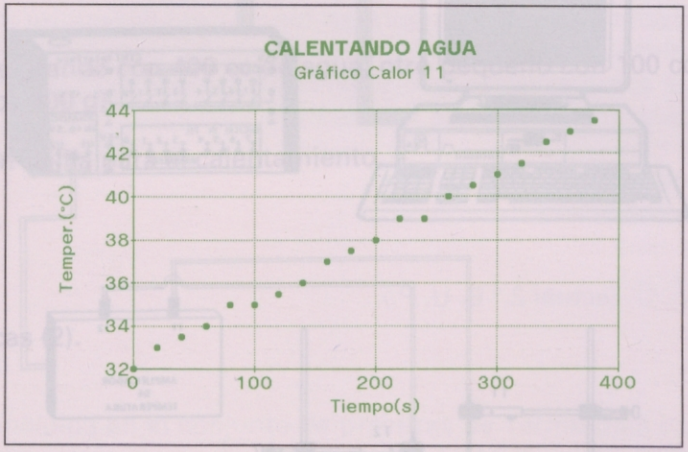
5. Se repiten los procesos 2 y 3, ahora con aceite, haciendo notar a los alumnos y alumnas las diferencias de velocidad con el caso anterior.

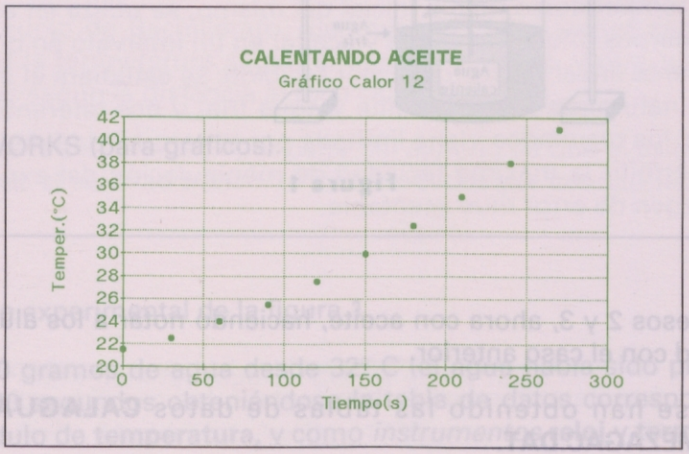
6. Como resultado se han obtenido las tablas de datos **CALAGUA.DAT**, **CALACEIT.DAT**, **MEZAGAG.DAT** y **MEZAGAC.DAT**.

Actividades y elaboración de conclusiones

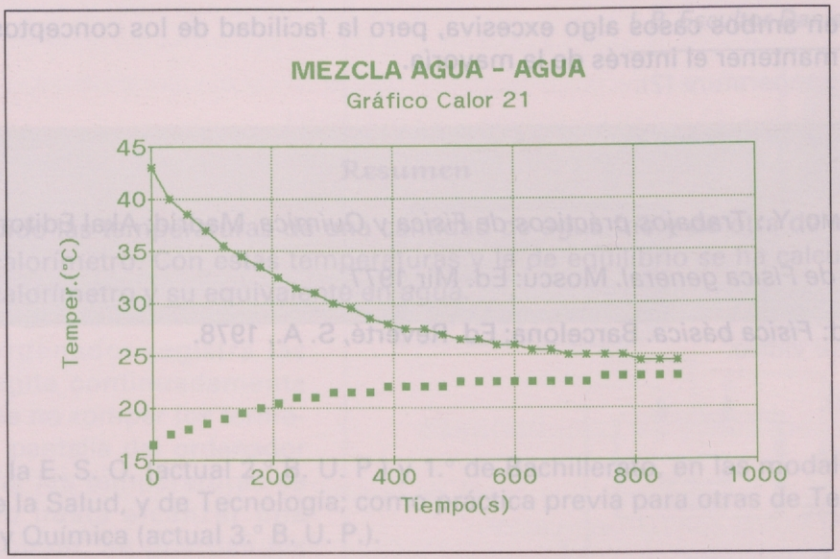
El gráfico calor 11 permite observar que, suponiendo constante la cantidad de calor por unidad de tiempo que suministra el mechero, el calor suministrado es proporcional al incremento de temperatura del agua. También permite definir el concepto de caloría.

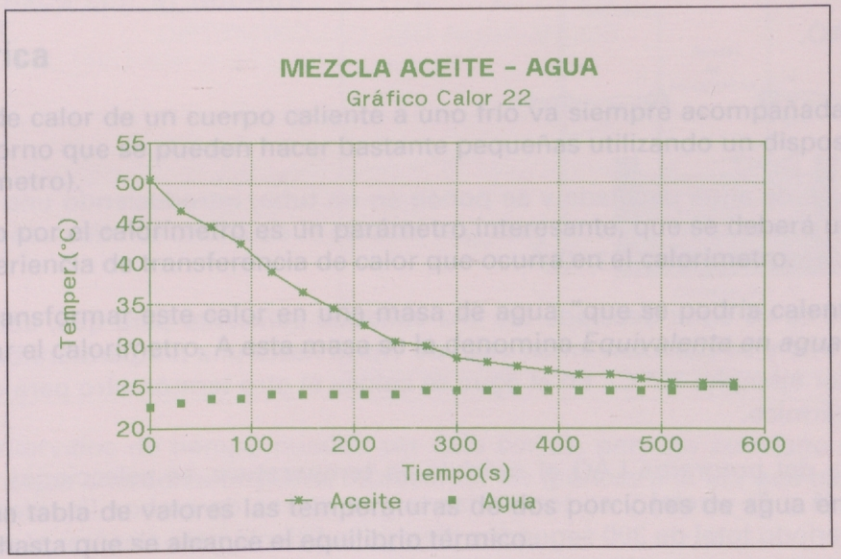
La gráfica calor 12 muestra otro caso similar de calentamiento, en que se aprecia que la linealidad calor-temperatura no siempre es del todo cierta. Pueden compararse los efectos de 240 segundos de calentamiento con agua y aceite, para comprobar que el incremento de temperatura con el aceite es 2.5 veces el correspondiente al agua, de donde puede deducirse el valor para el calor específico de 0.4 cal/g °C .





Los gráficos calor 21 y calor 22 muestran el fenómeno de intercambio de calor hasta alcanzar el equilibrio entre cuerpos con diferentes temperaturas iniciales. De estos datos y gráficas se extrae la conclusión de que el calor transmitido entre dos cuerpos a diferentes temperaturas es proporcional a la diferencia térmica (conclusión semicuantitativa) y, nuevamente, se puede determinar el calor específico del aceite, que es apreciablemente igual al anteriormente calculado.





Aplicación didáctica

Esta práctica se ha realizado como "experiencia de cátedra", con dos grupos diferentes de 30 alumnos y alumnas cada uno, interviniendo a la vez dos profesores: uno a cargo de las explicaciones teóricas y otro de la sesión práctica; dos estudiantes colaboraron en la realización de la práctica.

La duración fue en ambos casos algo excesiva, pero la facilidad de los conceptos e interpretaciones de cada paso logró mantener el interés de la mayoría.

Bibliografía

PRATS, F., y DEL AMO, Y.: *Trabajos prácticos de Física y Química.* Madrid: Akal Editor, 1981.

FRISCH, S.: *Curso de Física general.* Moscú: Ed. Mir,1977.

Proyecto Nuffield: *Física básica.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

Determinación del equivalente en agua de un calorímetro

Francia Verde R.
Seminario de Física y Química.
I. B. Escultor Daniel. Logroño (La Rioja)

Resumen

Se han medido las temperaturas de una cantidad de agua fría y de otra de agua caliente dentro de un calorímetro. Con estas temperaturas y la de equilibrio se ha calculado el calor perdido en el calorímetro y su equivalente en agua.

Nivel educativo

Segundo ciclo de la E. S. O. (actual 2.° B. U. P.) y 1.° de Bachillerato, en las modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; como práctica previa para otras de Termodinámica en la asignatura de Física y Química (actual 3.° B. U. P.).

Introducción teórica

La transferencia de calor de un cuerpo caliente a uno frío va siempre acompañada de unas pérdidas de calor hacia el entorno que se pueden hacer bastante pequeñas utilizando un dispositivo experimental adecuado (un calorímetro).

El calor absorbido por el calorímetro es un parámetro interesante, que se deberá utilizar en los cálculos de cualquier experiencia de transferencia de calor que ocurra en el calorímetro.

Se acostumbra transformar este calor en una masa de agua "que se podría calentar" con este calor empleado en calentar el calorímetro. A esta masa se la denomina *Equivalente en agua del calorímetro.*

Objetivos

— Obtener en una tabla de valores las temperaturas de dos porciones de agua en diferentes instantes de tiempo hasta que se alcance el equilibrio térmico.

— Dibujar en una misma gráfica las temperaturas frente al tiempo.

— Calcular el calor cedido por el agua caliente, el ganado por el agua fría y por diferencia el calor perdido. Con este dato calcular el equivalente en agua del calorímetro.

Material

— Sensores de temperatura (2).

— Amplificador de temperaturas.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

— Calorímetro.

— Tubo ancho de vidrio.

— Agitadores (2).

— Agua destilada.

— Mechero de gas.

— Termómetro de mercurio.

— Programa LAO.

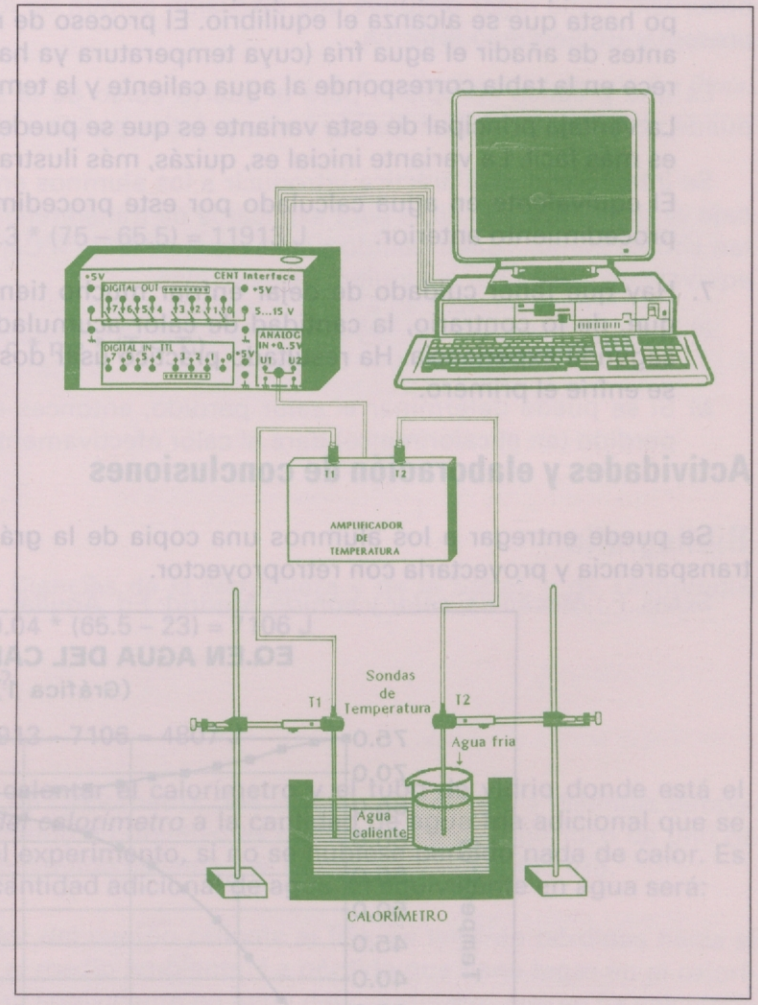
Procedimiento

1. Se miden 40 cc de agua destilada y se ponen en un tubo, introduciendo uno de los termómetros del equipo de adquisición de datos para que alcance el equilibrio térmico con el agua. La temperatura del agua es la ambiente (23° C)

2. Se miden 300 cc de agua destilada (es una cantidad suficiente para que, dentro del calorímetro, tape al agua fría) y se calientan en un vaso de vidrio hasta una temperatura bastante más alta que la anterior (por ejemplo, 75° C). En el agua se coloca el otro termómetro para que también alcance el equilibrio térmico.

3. Se selecciona del programa LAO el *módulo* de **temperatura**, se seleccionan como *instrumentos* **termómetro (1 y 2)** y **reloj** y se toman las temperaturas de ambos líquidos cada 15 segundos durante un período total de 300 segundos (tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio térmico).

4. Se introduce el tubo con el agua fría dentro del calorímetro, como se indica en la siguiente figura, añadiendo rápidamente el agua caliente; entonces se pone en marcha el proceso de medida mediante ordenador.



5. Mientras el ordenador registra las medidas, se agita continuadamente (con cuidado de no romper los termómetros). En la pantalla del ordenador se observa que las temperaturas se van igualando hasta alcanzar una temperatura común. Se guardan los datos en el disco con el nombre **CALORIEQ.DAT**.

Nota: Los intervalos de tiempo pueden ser más cortos, pero no conviene disminuirlos demasiado para que el ordenador pueda representar las gráficas a la vez que toma los datos experimentales.

6. Una variante de la práctica que evita mejor las pérdidas de calor se puede conseguir prescindiendo del tubo de vidrio y mezclando directamente el agua caliente y la fría, midiendo la temperatura del agua fría antes de introducirla en el calorímetro. Se usa un solo termómetro del equipo de medida (que tiene que ser el T_1), que va midiendo la temperatura de la mezcla a lo largo del tiempo hasta que se alcanza el equilibrio. El proceso de medida se inicia con el T_1 en el agua caliente, antes de añadir el agua fría (cuya temperatura ya habíamos medido); la primera medida que aparece en la tabla corresponde al agua caliente y la temperatura final es la de equilibrio.

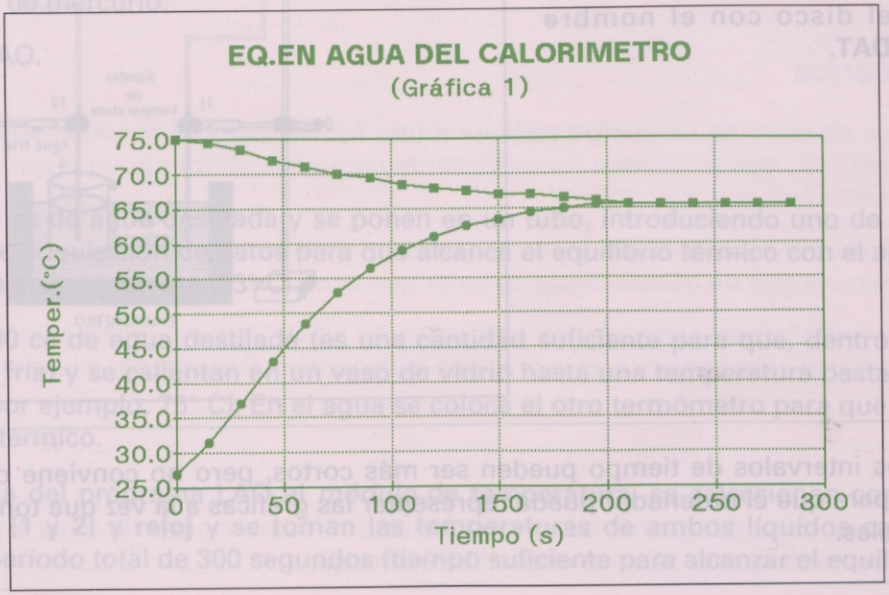
   La ventaja principal de esta variante es que se puede cerrar el calorímetro mejor y que la agitación es más fácil. La variante inicial es, quizás, más ilustrativa.

   El equivalente en agua calculado por este procedimiento salió muy parecido al calculado por el procedimiento anterior.

7. Hay que tener cuidado de dejar enfriar mucho tiempo el calorímetro entre dos experiencias ya que, de lo contrario, la cantidad de calor acumulada en aquél produce un resultado falso en la segunda experiencia. Ha resultado práctico usar dos calorímetros iguales en vez de esperar a que se enfríe el primero.

Actividades y elaboración de conclusiones

Se puede entregar a los alumnos una copia de la gráfica o bien se puede hacer una fotocopia en transparencia y proyectarla con retroproyector.



Utilizando los valores de las temperaturas leídos en la gráfica anterior, se calcula el calor perdido por el agua caliente:

$$Q_p = c * m_1 * (T_i - T_f)$$

m_1 = masa agua caliente

c = calor específico del agua

T_i = temperatura inicial

T_f = Temperatura final

$$Q = 4180 * 0.3 * (75 - 65.5) = 11913 \text{ J}$$

Se calcula el calor ganado por el agua fría:

$$Q_g = c * m_2 * (T_f - T_i)$$

m_2 = masa agua fría

c = calor específico del agua

T_i = temperatura inicial agua fría

T_f = temperatura final agua fría

$$Q_g = 4180 * 0.04 * (65.5 - 23) = 7106 \text{ J}$$

¿Dónde han ido a parar los Joule que faltan?

$$Q_c = 11913 - 7106 = 4807 \text{ J}$$

Se habrán utilizado fundamentalmente en calentar el calorímetro y el tubo de vidrio donde está el agua fría. Se denomina *Equivalente en agua del calorímetro* a la cantidad de agua fría adicional que se debería haber calentado en las condiciones del experimento, si no se hubiese perdido nada de calor. Es como si se sustituyese el calorímetro por una cantidad adicional de agua. El equivalente en agua será:

$Q_c = c * m_c * (T_f - T_i)$

$4807 = 4180 * m_c * (65.5 - 23)$

Despejando resulta:

$m_c = 0.027$ kg = 27 g.

Donde m_c es el equivalente en agua del calorímetro.

Aplicación didáctica

Se realiza la práctica con grupos de unos quince alumnos y alumnas en hora de desdoble de laboratorio. El profesor o la profesora realiza las manipulaciones con ayuda de algunos estudiantes. Los demás observan. Tiene lugar después una discusión común de los resultados y los alumnos y alumnas deben presentar un pequeño informe.

Es una práctica apropiada para el cuarto curso de la Educación Secundaria Obligatoria, y también puede utilizarse en el Bachillerato como práctica previa a otras de calorimetría.

Se intentó con esta práctica introducir a los alumnos en un modo de razonamiento habitual en el trabajo experimental. No sirve para explicar la de transferencia de calor entre dos cuerpos un razonamiento tan simple como: "Calor cedido por el agua caliente = Calor ganado por el agua fría" . El razonamiento equivalente podría ser cualquiera de estos dos:

a) En el caso de que no haya ninguna pérdida de calor, ocurre que el calor cedido por el agua caliente es igual al ganado por el agua fría.

b) Si se puede determinar el calor perdido, entonces el calor cedido por el agua caliente menos el perdido (en el calorímetro) dará el calor efectivamente empleado en calentar el agua fría.

Bibliografía

SEARS, F.: *Mecánica, calor y sonido*. Madrid: Ed. Aguilar, 1975.

Calorimetría. Determinación de calores específicos de líquidos

Francia Verde R.

Seminario de Física y Química.

I. B. Escultor Daniel. Logroño (La Rioja).

Resumen

Se miden las temperaturas de una cantidad de agua fría y de otra de etanol caliente dentro de un calorímetro. Con estas temperaturas y la de equilibrio, se calcula el calor específico medio del etanol en el intervalo de temperaturas considerado.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.)

Introducción teórica

Se ponen en contacto indirecto, dentro de un calorímetro, dos líquidos diferentes, a distintas temperaturas y se mide la temperatura final de equilibrio. El objetivo es calcular el calor específico de uno de los líquidos. Se calculará el calor perdido por el líquido caliente y el ganado por el líquido frío.

Es evidente que, en la transferencia de calor del cuerpo caliente al frío, se tendrán pérdidas hacia el calorímetro y, si no se aísla totalmente, hacia el medio ambiente. La pérdida que tiene lugar en el calorímetro, se tiene en cuenta considerando la masa equivalente en agua del calorímetro que se ha calculado en una experiencia previa. La pérdida hacia el exterior se puede minimizar cerrando adecuadamente el calorímetro. Cerrar bien el calorímetro genera algunas dificultades ya que durante el proceso es necesario agitar continuamente. Haciendo que las temperaturas de los líquidos no sean muy lejanas a la del ambiente, se puede tener el calorímetro sin tapa, confiando en que el pequeño gradiente de temperatura haga que el calor se pierda hacia el exterior con cierta lentitud.

Objetivos

— Obtener en una tabla de valores las temperaturas de los dos líquidos (etanol y agua) en diferentes instantes de tiempo hasta que se alcance el equilibrio térmico.

— Dibujar en una misma gráfica las temperaturas de ambos líquidos frente al tiempo.

— Calcular el calor cedido por el etanol caliente, el ganado por el agua fría, y el ganado por el calorímetro. Igualar estos calores y obtener el calor específico medio del etanol en el intervalo de temperaturas considerado.

— Hacer un cálculo teórico del valor esperado a partir de la ecuación del calor específico en función de la temperatura (para alumnos aventajados) y comparar este resultado con el experimental.

Material

— Sensores de temperatura (2).

— Amplificador de temperaturas.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

— Calorímetro.

— Tubo ancho de vidrio.

— Agitadores (2).

— Agua destilada.

— Etanol (90%),mejor si es de mayor riqueza.

— Vaso grande de precipitados.

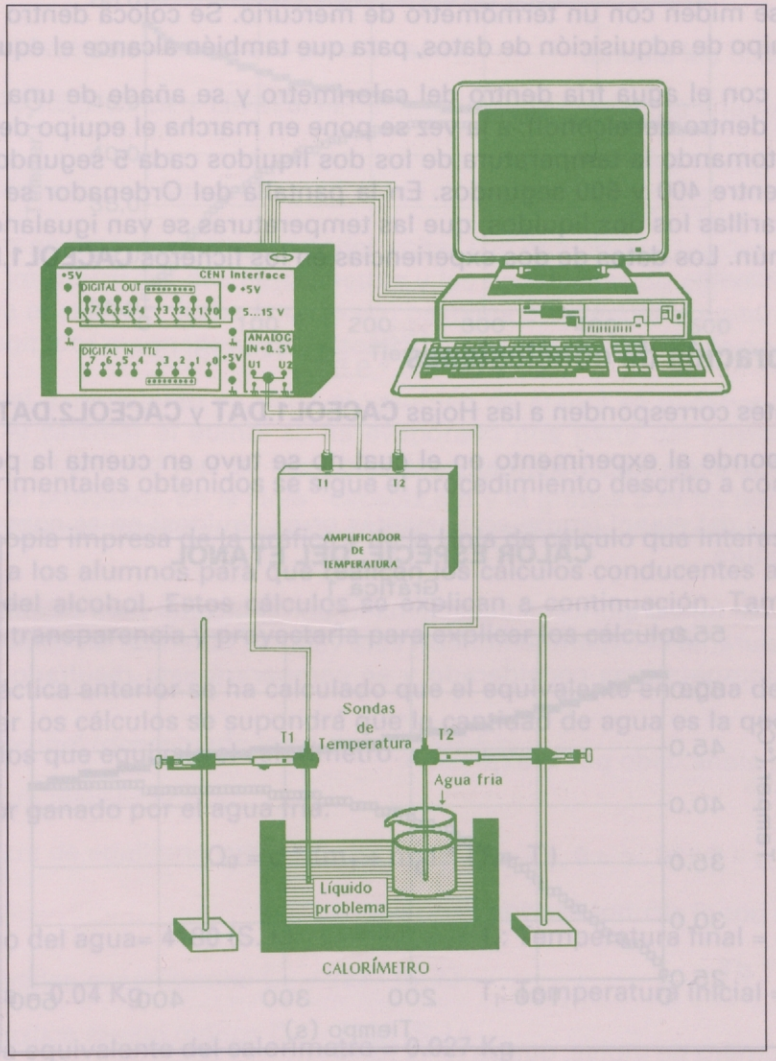
— Mechero de gas.

— Termómetro de mercurio.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Uno de los sensores de temperatura, T_2, se introduce en el líquido frío (agua) y el otro, T_1, en el líquido caliente (etanol). Es conveniente que el sensor T_1 se asigne al líquido que tendrá una temperatura más alta, porque el programa adapta la escala de la gráfica al valor máximo de T_1. En el esquema del montaje aparecen representados los siguientes elementos: ordenador, Interfaz, amplificador de temperaturas, T_1: Termómetro 1, T_2: Termómetro 2.

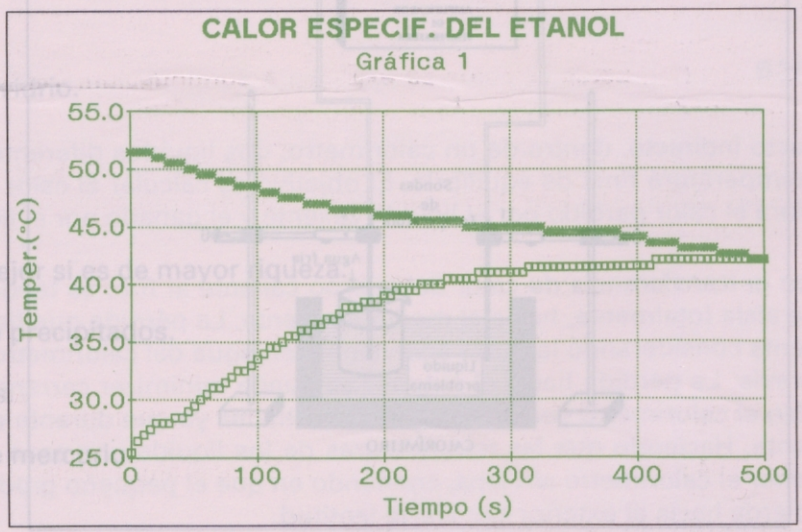


2. Se selecciona el *módulo* de **temperatura** del programa LAO, escogiendo como *instrumentos* **termómetros (1 y 2)** y **reloj**, y tomando un intervalo de medidas de 5 segundos; el tiempo total de medida es de 400 segundos.
3. Se colocan 40 cc de agua destilada en un tubo de vidrio, introduciendo uno de los termómetros (T_2) del equipo de adquisición de datos para que alcance el equilibrio térmico con el agua.
4. Se miden 260 cc de etanol (216 g). Es una cantidad suficiente para que, dentro del calorímetro, tape el tubo con el agua fría. Se calienta el etanol, en un vaso de vidrio aparte, hasta una temperatura de unos 50° C que se miden con un termómetro de mercurio. Se coloca dentro del etanol el otro termómetro del equipo de adquisición de datos, para que también alcance el equilibrio térmico.
5. Se pone el tubo con el agua fría dentro del calorímetro y se añade de una vez el etanol caliente (manteniendo T_1 dentro del alcohol); a la vez se pone en marcha el equipo de medida que ya había sido preparado, tomando la temperatura de los dos líquidos cada 5 segundos, durante un tiempo total que oscila entre 400 y 500 segundos. En la pantalla del Ordenador se observa, mientras se agitan con dos varillas los dos líquidos, que las temperaturas se van igualando hasta alcanzar una temperatura común. Los datos de dos experiencias en los ficheros **CACEOL1.DAT** y **CACEOL2.DAT**

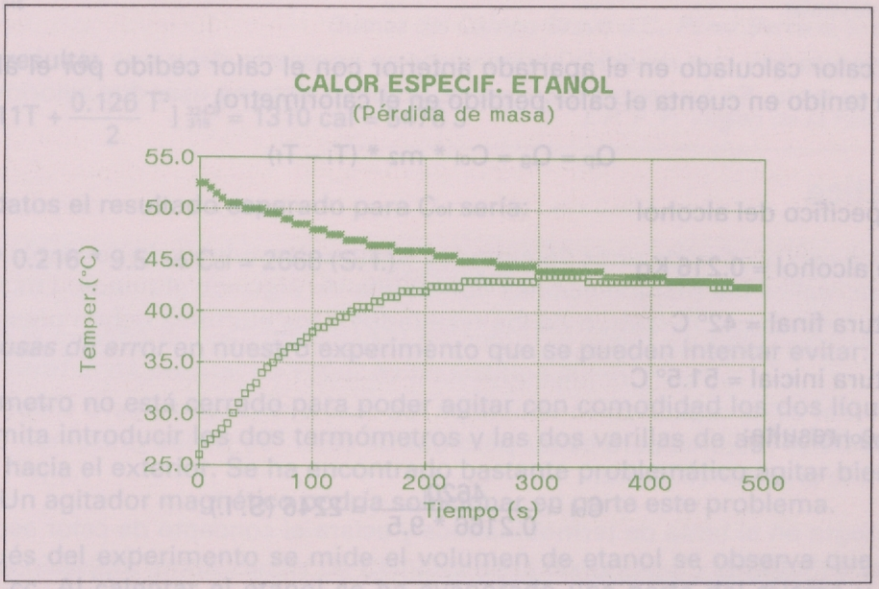
Actividades y elaboración de conclusiones

Las gráficas siguientes corresponden a las Hojas **CACEOL1.DAT** y **CACEOL2.DAT** respectivamente.

La gráfica 1 corresponde al experimento en el cual no se tuvo en cuenta la pérdida de alcohol por evaporación.



La siguiente gráfica corresponde a los datos de la experiencia recogida en **CACEOL2.DAT**, en la cual se ha restado el alcohol perdido por evaporación durante el calentamiento (punto f.2 de este apartado).



Con los datos experimentales obtenidos se sigue el procedimiento descrito a continuación:

a) Se obtiene una copia impresa de la gráfica y de la Hoja de cálculo que interese estudiar; se fotocopia y se entrega a los alumnos para que realicen los cálculos conducentes a la determinación del calor específico del alcohol. Estos cálculos se explican a continuación. También se puede hacer una fotocopia en transparencia y proyectarla para explicar los cálculos.

b) Como en una práctica anterior se ha calculado que el equivalente en agua del calorímetro es 27 g, a la hora de hacer los cálculos se supondrá que la cantidad de agua es la que se ha supuesto más los 27 gramos a los que equivale el calorímetro.

c) Se calcula el calor ganado por el agua fría:

$$Q_g = c * (m_1 + m_c) * (T_f - T_i)$$

c: Calor específico del agua= 4180 (S. I.)

m_1: masa de agua = 0.04 Kg

m_c: masa en agua equivalente del calorímetro = 0.027 Kg

T_f: Temperatura final = 42° C

T_i: Temperatura inicial = 25.5° C

Sustituyendo valores resulta:

$$Q_g = 4180 * 1.167 * (42 - 25.5) = 4620 \text{ J}$$

d) Se iguala el calor calculado en el apartado anterior con el calor cedido por el alcohol (sin olvidar que ya se ha tenido en cuenta el calor perdido en el calorímetro).

$$Q_p = Q_g = C_{ol} * m_2 * (T_i - T_f)$$

C_{ol}: Calor específico del alcohol

m_2: masa de alcohol = 0.216 Kg

T_f: Temperatura final = 42° C

T_i: Temperatura inicial = 51.5° C

Despejando c_{ol} resulta:

$$C_{ol} = \frac{4620}{0.2166 * 9.5} = 2246 \text{ (S. I.)}$$

e) Cálculo teórico (para alumnos o alumnas aventajados).

El calor específico del etanol (como en bastantes otros líquidos) no es constante, sino que depende de la temperatura.

Se va a calcular de forma teórica el calor tomado por el alcohol para calentarse de la temperatura inicial a la final durante el experimento. Con este valor se obtendrá un calor específico "medio" en el intervalo de temperaturas considerado y se comparará este resultado con el obtenido en el experimento.

El C_p del alcohol viene dado por la expresión:

$C_p = a + bT + cT^{-2}$

siendo a = –11 , b = 0.126 , c = 0 , C_p esta dado en cal/mol K

El calor perdido por el alcohol vendría dado por:

$$Q_p = n * \int_{315}^{354.5} C_p * dT$$

donde n es el número de moles, que es n = 216/46=4.7

Sustituyendo resulta:

$$Q_p = 4.7 * \int_{315}^{354.5} (-11 + 0.126T) * dT$$

Integrando resulta:

$$Qp = 4.7 \left[-11T + \frac{0.126\ T^2}{2}\right]_{315}^{324.5} = 1310 \text{ cal} = 5476 \text{ J}$$

Con estos datos el resultado esperado para C_{ol} sería:

$5476 = C_{ol} * 0.216 * 9.5 \Rightarrow C_{ol} = 2668$ (S. I.)

f) Hay tres *causas de error* en nuestro experimento que se pueden intentar evitar:

1. El calorímetro no está cerrado para poder agitar con comodidad los dos líquidos. Con una tapa que permita introducir los dos termómetros y las dos varillas de agitación se evitaran pérdidas de calor hacia el exterior. Se ha encontrado bastante problemático agitar bien con este procedimiento. Un agitador magnético podría solucionar en parte este problema.
2. Si después del experimento se mide el volumen de etanol se observa que se ha reducido en unos 10 cc. Al calentar el etanol se ha evaporado una parte del mismo y en los cálculos se deberá poner la cantidad real de alcohol que se ha introducido en el calorímetro (que no es la que se mide al principio). En la Hoja "caceol2.dat y la gráfica 2 se ha tenido en cuenta este factor, y los resultados obtenidos (repitiendo todos los cálculos anteriores) son:

   Datos:

   Masa de agua = 40 g

   Temperatura inicial = 26° C

   Masa de alcohol (descontada la pérdida) = 207.5 g

   Temperatura inicial= 52.5° C

   Temperatura de equilibrio = 42.5° C

   Resultados:

   Calor específico experimental C_{ol} = 2227 (S. I.)

   Calor específico medio teórico C_{ol} = 2669 (S. I.)

3. El termómetro T_1 hay que mantenerlo dentro del alcohol mientras éste se calienta, porque si T_1 está a temperatura ambiente y se introduce de repente en el alcohol caliente del calorímetro, necesita unos segundos para ponerse a la temperatura del alcohol y el resultado de la experiencia no es correcto.

4. Si la experiencia hay que repetirla varias veces es necesario dejar que el calorímetro se enfríe y el proceso es lento. Se ha encontrado que es un buen sistema usar dos calorímetros iguales.

Aplicación didáctica

Se hace la práctica con grupos de unos 15 alumnos o alumnas en hora de desdoble de laboratorio. El profesor o profesora realiza las manipulaciones con ayuda de algunos alumnos. Los demás observan. Tiene lugar después una discusión común de los resultados y los alumnos deben presentar un pequeño informe.

El cálculo teórico del calor específico lo entienden los más aventajados, pero todos analizan las causas de error y las posibles mejoras para evitar pérdidas de calor. Se puede prescindir de esta parte si el profesor o profesora lo cree conveniente.

La práctica se integra en el tema de termodinámica y aclara el concepto de calor específico y los procesos de transferencia de calor.

Bibliografía

CORRALES, C.: *Curso Química y Física*. E. Aquilar. Madrid, 1974.

Presión de vapor: sublimación del iodo

Gómez del Campo Bravo J.C., Pérez Serrano S. y Rodríguez Martín J.

Departamento de Ciencias

I. P. F. P. Virgen de la Paloma. Madrid (Madrid)

Resumen

Mediante la medida de las intensidades de color del vapor de iodo con el luxómetro, se investiga el cambio de presión de vapor de un sistema sólido-vapor.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y la Salud, y de Tecnología; asignatura de Química (actual C. O. U.).

Introducción teórica

El paso de la fase sólida a la fase gaseosa se llama sublimación. Cuando se coloca un sólido volátil en un recipiente cerrado, las moléculas del sólido de mayor contenido de energía pueden escapar a la fase gaseosa; la velocidad con que esto ocurre depende de la superficie del sólido y de la temperatura. A medida que aumenta el número de moléculas en estado de vapor, aumenta el número de choques entre ellas, las paredes del recipiente y la superficie del sólido; algunas pierden en sus choques energía y pasan a la fase sólida. Cuando la velocidad de paso de moléculas de una fase a otra se iguala, se alcanza un equilibrio dinámico.

La presión que ejerce el vapor sobre el sólido se llama *presión de vapor* y es característica de cada sustancia, igual que ocurre en el caso más conocido del equilibrio entre las fases líquida y gaseosa.

Si se representan en el mismo diagrama los distintos equilibrios para una sustancia obtenemos el diagrama de fases (figura 1). El punto A es el punto triple del iodo donde coexisten las tres fases.

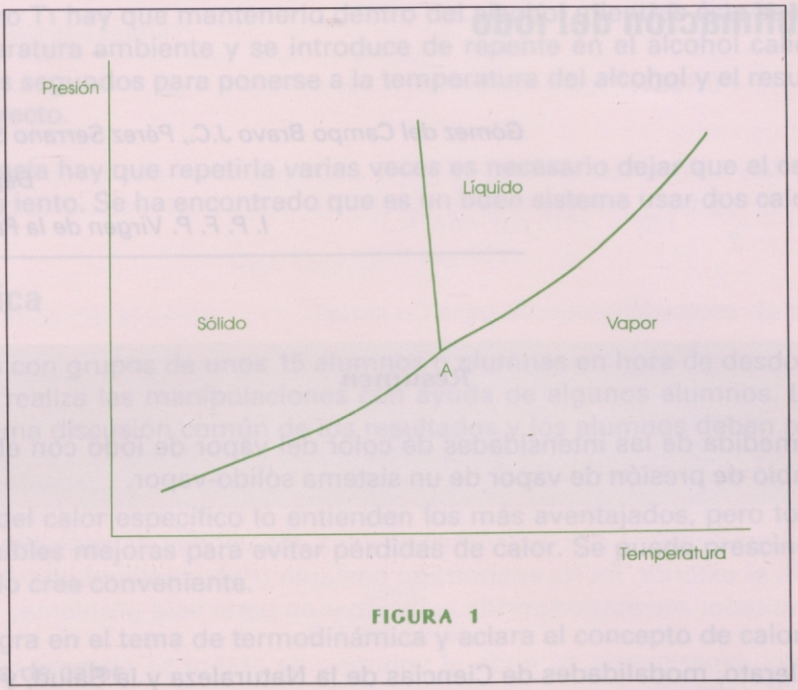


FIGURA 1

Objetivos

— Obtener la gráfica iluminación-tiempo.

— Deducir a partir de la gráfica una relación cualitativa entre la presión de vapor de un sólido y la temperatura.

Material

— Foco luminoso (bombilla con transformador de 12 V).

— Rendija de 1 mm.

— Tubo de ensayo.

— Tapón de corcho.

— Soportes y nueces.

— Termómetro.

— Iodo sólido.

— Agitador-calefactor.

— Luxómetro y sonda de luz.

— Interfaz CENT.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Descripción del dispositivo experimental

El montaje experimental que se muestra en la figura 2 consta de un foco luminoso (bombilla), un tubo de ensayo que contiene Iodo en estado sólido, el luxómetro, y el equipo informático de adquisición de datos.

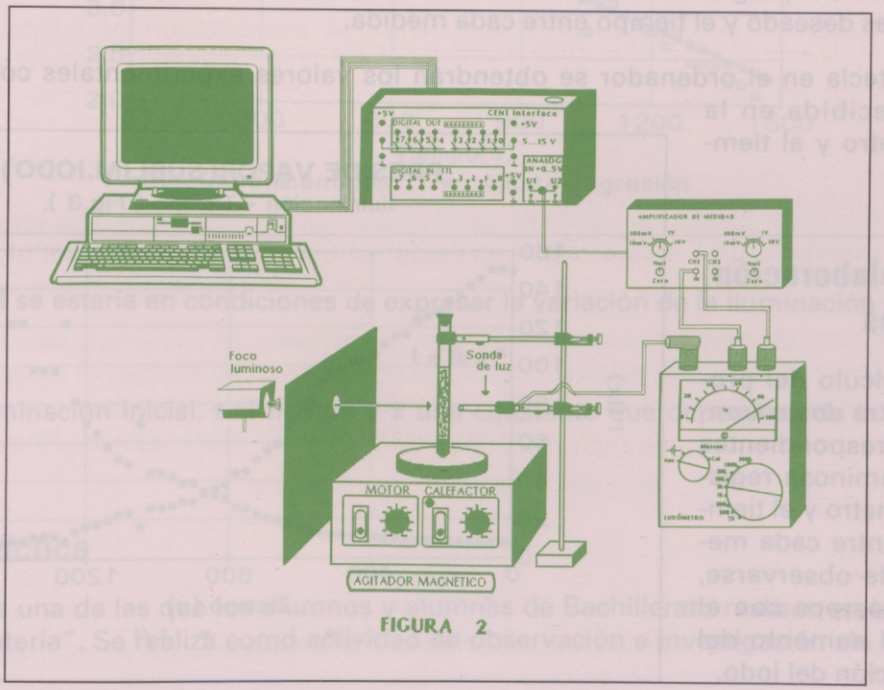


FIGURA 2

Al ser el foco luminoso extenso se coloca justo delante una rendija de 1 mm. Para suministrar energía al iodo se utiliza un sistema agitador-calefactor colocado justo debajo del tubo de ensayo.

2. Ajustes y calibraciones

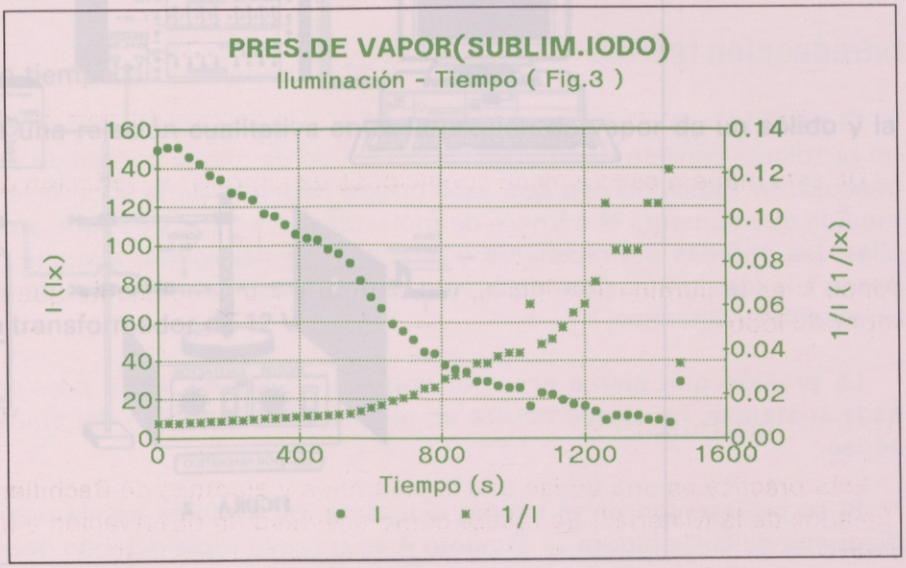
Primeramente se debe alinear el haz de luz que proviene de la rendija, el tubo de ensayo y la sonda del luxómetro. A continuación, con el foco luminoso desconectado, se ajusta la escala del luxómetro que en este caso fue de 300 lx.

El luxómetro se conecta a la entrada analógica de la Interfaz y el foco luminoso a la red a través de un transformador de 12 V.

3. Realización de la experiencia

Con el dispositivo experimental listo y preparado se conecta previamente el agitador-calefactor hasta alcanzar una temperatura inicial alrededor de los 50° C, que se medirá con un termómetro convencional. Una vez alcanzada dicha temperatura se pone en marcha el sistema de medida. Elegimos el *módulo* de **intensidad luminosa** del programa LAO y entre los *instrumentos*, el **reloj** y el **luxómetro**, así como el número de medidas deseado y el tiempo entre cada medida.

Al pulsar una tecla en el ordenador se obtendrán los valores experimentales correspondientes a la iluminación recibida en la sonda del luxómetro y al tiempo transcurrido.

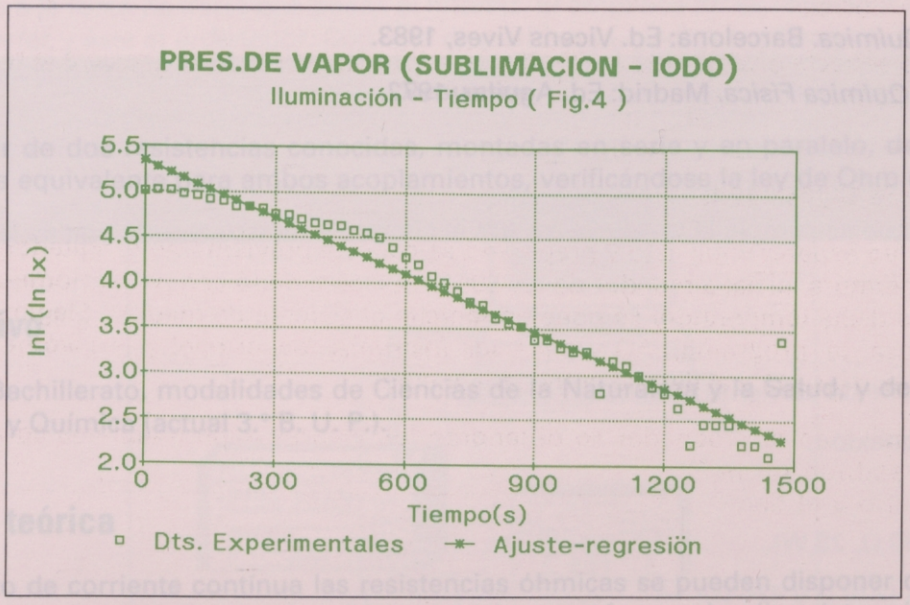


Actividades y elaboración de conclusiones

La Hoja de Cálculo del programa LAO muestra dos columnas de datos correspondientes a la intensidad luminosa registrada por el luxómetro y el tiempo transcurrido entre cada medida. Como puede observarse, la iluminación decrece con el tiempo debido al aumento del vapor de sublimación del iodo.

A partir de estos datos se ha calculado la inversa de la iluminación para dar una idea cualitativa de la variación de la presión de vapor de sublimación del iodo. Dichos valores experimentales se guardan en **LUX.DAT**.

En la figura 3 se muestra la variación de la iluminación con el tiempo y su inversa, apreciándose una tendencia exponencial. Para confirmar esta suposición en la figura 4 se observa la representación gráfica del logaritmo neperiano de la iluminación, que salvo los puntos iniciales parece ajustarse a una línea recta.



De esta manera se estaría en condiciones de expresar la variación de la iluminación de la forma :

$$I = I_0 e^{-kt}$$

donde I_0 es la iluminación inicial, t el tiempo y k una constante que dependerá de la concentración de vapor de iodo.

Aplicación didáctica

Esta práctica es una de las que los alumnos y alumnas de Bachillerato realizan en la unidad temática "Estados de la Materia". Se realiza como actividad de observación e investigación sin tratamiento cuantitativo.

Su objetivo didáctico es observar el proceso de sublimación y razonar, a partir del concepto de presión de vapor, la incidencia de la presión en el cambio de estado; no sólo en un sistema líquido-vapor, sino en el sólido-vapor.

Bibliografía

DICKERSON, H.; GRAY, P., y HAIGHT, S.: *Principios de Química*. Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1985.

BAYLAR, J. C.: *Química*. Barcelona: Ed. Vicens Vives, 1983.

GLASSTONE, S.: *Química Física*. Madrid: Ed. Aguilar, 1972.

Ley de Ohm: Asociación de resistencias

Gómez del Campo Bravo J. C., Pérez Serrano S. y Rodríguez Martín J.
Departamento de Ciencias
I. P. F. P. Virgen de la Paloma. Madrid (Madrid)

Resumen

A partir de dos resistencias conocidas, montadas en serie y en paralelo, determinar la resistencia equivalente para ambos acoplamientos, verificándose la ley de Ohm en corriente contínua.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física y Química (actual 3.° B. U. P.).

Introducción teórica

En un circuito de corriente contínua las resistencias óhmicas se pueden disponer de dos formas: en serie y en paralelo. Asociar resistencias dispuestas de estas formas implica determinar el valor de la resistencia equivalente de la asociación.

Cuando las resistencias están en serie pasa la misma intensidad de corriente por ellas, siendo la diferencia de potencial en los extremos de cada una diferente, cumpliéndose que la suma de estas d.d.p. sea la existente entre los extremos de la asociación, cuya resistencia se desea determinar. De esta manera llegamos a establecer las siguientes relaciones :

$$V = V_1 + V_2, \quad V_1 = IR_1, \quad V_2 = IR_2$$

$$V = I\,(R_1 + R_2)$$

$$R = R_1 + R_2$$

La asociación en paralelo corresponde a resistencias que poseen la misma diferencia de potencial pero la intensidad de corriente que pasa por cada resistencia es diferente, verificándose que la suma de

las intensidades de corriente que atraviesa cada resistencia es igual a la intensidad de corriente que pasa por la resistencia objeto de estudio, cumpliéndose las relaciones :

$$I = I_1 + I_2, \quad V/R = V/R_1 + V/R_2$$

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$$

Objetivos

— Obtener en cada caso las gráficas V-I.

— Interpretar la relación matemática entre V e I.

— Mediante el montaje de un circuito eléctrico en serie o en paralelo determinar en cada caso el valor de la resistencia equivalente.

— Comprobar que se cumple la ley de Ohm para el circuito total y para cada una de las resistencias.

Material

— Fuente variable de corriente contínua.

— Cables de conexión.

— Nudos.

— Reostato (330 Ω, 25 W).

— Resistencias (220 Ω y 470 Ω).

— Amplificador de medidas.

— Interfaz CENT.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Descripción del dispositivo experimental

El dispositivo experimental se muestra en las figuras 1 y 2, correspondientes a la composición de resistencias en serie y paralelo respectivamente. Se ha utilizado una fuente variable de corriente contínua conectada a un reostato y al acoplamiento de resistencias objeto de estudio en cada caso.

2. Ajustes y calibración.

La fuente variable de corriente contínua (0 - 30 V) se fijó en la posición correspondiente para dar una salida de 10 V. Mediante el reostato regulamos la tensión entre 0 y 10 V, por ser más preciso que utilizar la propia fuente de alimentación. Los canales del amplificador se fijaron en la escala de 10 V.

1 *Serie*: Un extremo de la resistencia R_2 = 470 Ω se conecta al canal 1 del amplificador, el otro extremo que es común con la resistencia R_1 = 220 Ω se conecta al canal 2, y el otro extremo de R_1 va conectado a la toma de tierra que posee el Interfaz. El amplificador se conecta a la entrada analógica del Interfaz y éste al ordenador. Con este dispositivo se medirá la diferencia de potencial en R_1 y en la asociación (R_1 + R_2).

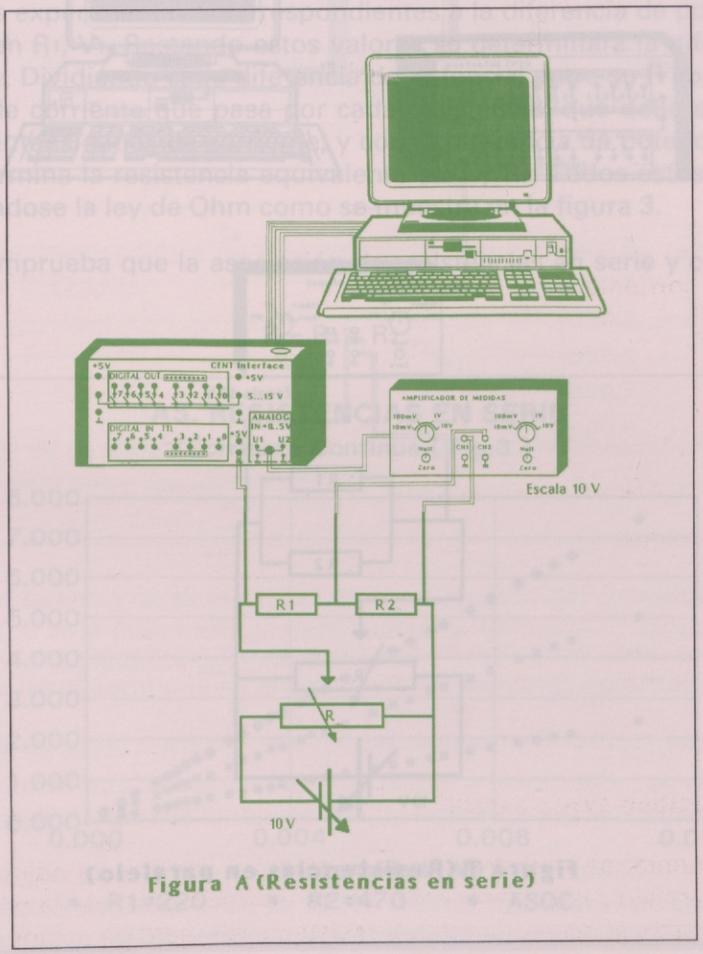


Figura A (Resistencias en serie)

2. *Paralelo*: Los extremos de las resistencias son comunes, conectando uno de ellos al canal 1 del amplificador y el otro a la toma de tierra del Interfaz. El Amplificador se conecta a la entrada analógica del Interfaz y éste al ordenador. De esta manera se medirá la diferencia de potencial entre los extremos de ambas resistencias.

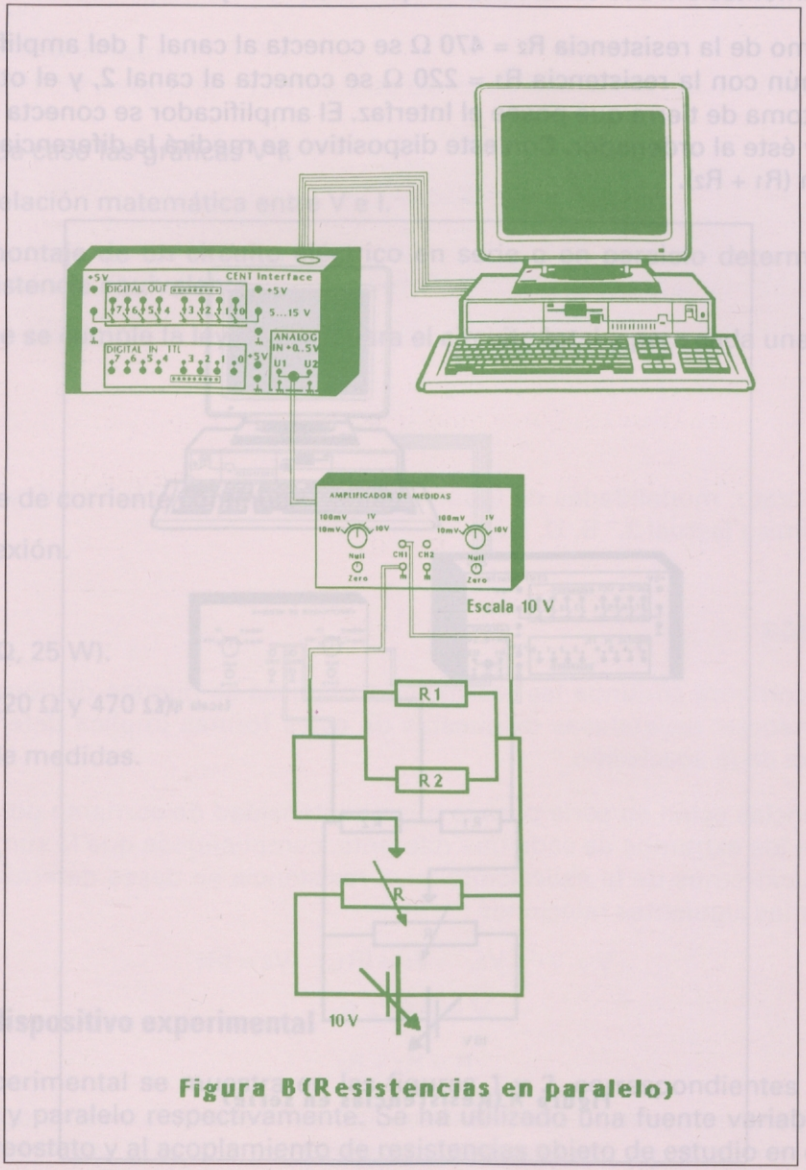


Figura B (Resistencias en paralelo)

3. Realización de la experiencia

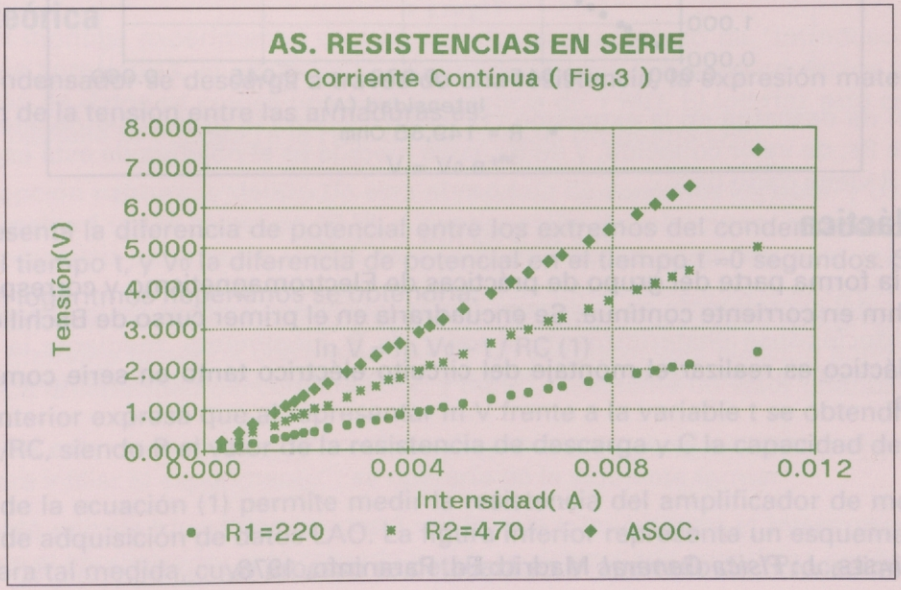
Una vez montados los circuitos de las figuras 1 y 2 se elige en el programa LAO el *módulo* de **corriente contínua**, elección de *instrumentos* **voltímetros (1 y 2)**, escala 10 V, y comenzar experimento. Con el reostato se va variando la diferencia de potencial total y pulsando una tecla del Ordenador cada vez que se seleccione una tensión determinada.

Actividades y elaboración de conclusiones

1. *Serie*: Montado el circuito de la figura 1 el programa de adquisición de datos LAO muestra en dos columnas los valores experimentales correspondientes a la diferencia de potencial total V y la diferencia de potencial en R_1, V_1. Restando estos valores se determinará la diferencia de potencial V_2 correspondiente a R_2. Dividiendo cada diferencia de potencial entre su R correspondiente se determina la intensidad de corriente que pasa por cada resistencia, que debe ser la misma. Haciendo una media de estas intensidades de corriente, y con la diferencia de potencial total V, aplicando la ley de Ohm, se determina la resistencia equivalente a R_1 y R_2. Todos estos valores se guardan en **OHM1.DAT**, verificándose la ley de Ohm como se muestra en la figura 3.

   De esta forma se comprueba que la asociación de resistencias en serie y corriente contínua es de la forma :

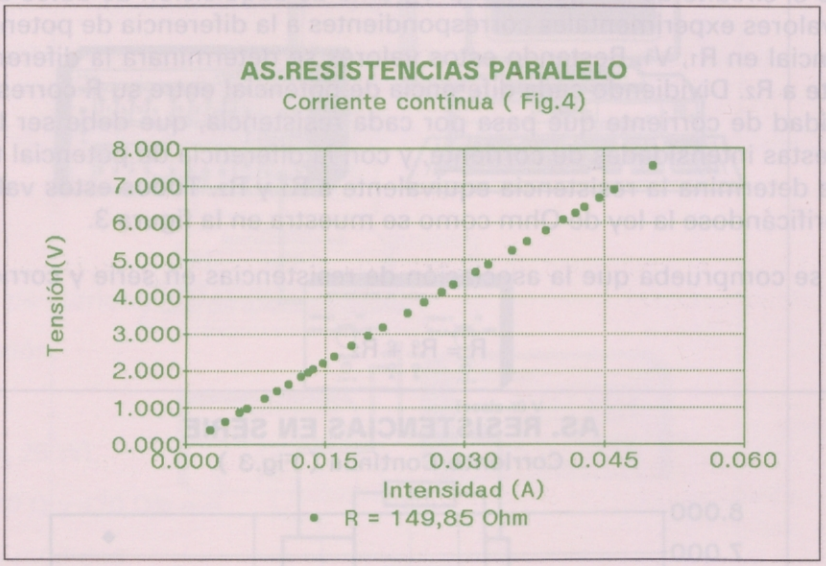
$$R = R_1 + R_2$$



2. *Paralelo*: Con el circuito de la figura 2, obtenemos de manera análoga que en el apartado anterior y a través del programa LAO dos columnas de datos correspondientes a la diferencia de potencial en los extremos de la asociación. Utilizando los valores de ambas resistencias podemos calcular las intensidades de corriente que atraviesan cada resistencia I_1 y I_2, cuya suma será la intensidad, I, que pasará por la resistencia equivalente R. Dividiendo la diferencia de potencial entre la intensidad I determinaremos la resistencia equivalente R. Todos estos datos se guardan en OHM2.DAT comprobando que se cumple la expresión:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$$

cumpliéndose la ley de Ohm como se muestra en la figura 4.



Aplicación didáctica

Esta experiencia forma parte del grupo de prácticas de Electromagnetismo y corresponde a la unidad temática ley de Ohm en corriente contínua. Se encuadraría en el primer curso de Bachillerato.

El objetivo didáctico es realizar el montaje del circuito eléctrico tanto en serie como en paralelo en corriente contínua.

Bibliografía

García Santesmases, J.: *Física General*. Madrid: Ed. Paraninfo, 1978.

Descarga de un condensador. Medida de la resistencia interna del amplificador

Hernández Pérez J. L.
Seminario de Física y Química
I. B. La Estrella. Madrid (Madrid)

Resumen

La descarga de un condensador de capacidad conocida a través de resistencias y del propio amplificador de medidas permite calcular el valor de la resistencia interna de éste.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.).

Introducción teórica

Cuando un condensador se descarga a través de una resistencia, la expresión matemática que suministra la variación de la tensión entre las armaduras es:

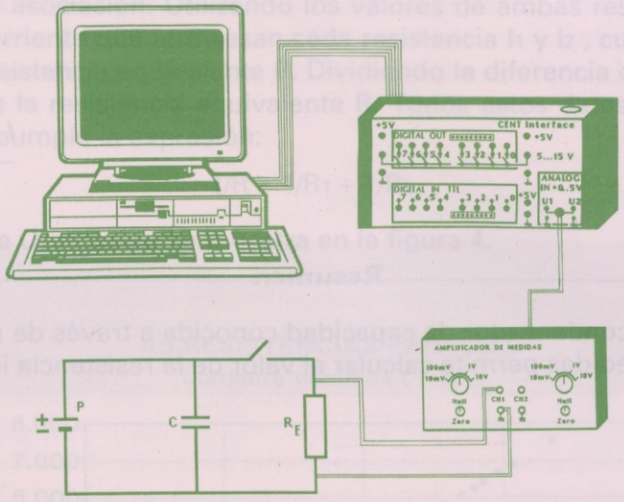
$$V = V_0 e^{-t/RC}$$

en la que V representa la diferencia de potencial entre los extremos del condensador o de la resistencia de descarga en el tiempo t, y V_0 la diferencia de potencial en el tiempo t =0 segundos. Si en la expresión anterior se toman logaritmos neperianos se obtendría:

$$\ln V = \ln V_0 - t / RC \quad (1)$$

La ecuación anterior expresa que al representar ln V frente a la variable t se obtendrá una línea recta, con pendiente –1/RC, siendo R el valor de la resistencia de descarga y C la capacidad del condensador.

La aplicación de la ecuación (1) permite medir la resistencia del amplificador de medidas que forma parte del equipo de adquisición de datos LAO. La figura inferior representa un esquema del circuito eléctrico adecuado para tal medida, cuyo proceso se detallará en el apartado de "Procedimiento".



R_E : Resistencia exterior de descarga
R_A : Resistencia del amplificador
P : Pila
C : Condensador

Figura 1

La resistencia R de descarga en la expresión (1), es en realidad la resistencia resultante de la asociación en paralelo de R_E, de valor conocido, y de R_A, cuya medida es el objetivo de esta experiencia. Obviamente el valor de R viene dado por:

$$R = R_E \times R_A / (R_E + R_A) \quad (2)$$

En el transcurso del experimento se realizarán representaciones gráficas de la expresión (1) variando el valor de R_E, deduciéndose posteriormente el valor de R. Finalmente, mediante la aplicación de la expresión (2) podría calcularse el valor de R_A, esto es, la resistencia de entrada del amplificador de medidas.

Objetivos

— Determinar la resistencia de entrada del amplificador de medidas del equipo LAO.

Material

— Cables de conexión.

— Condensador electrolítico de 8 μF.

— Interruptor.

— Panel de montajes eléctricos.

— Pila de 9 V (ó de 4.5 V).

— Resistencia de 1 MΩ (3).

— Impresora.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Se realiza el montaje experimental esquematizado en el apartado de "Introducción teórica"; para evitar errores apreciables, es importante asegurarse de que todos los contactos son buenos. En la primera toma de datos se coloca una sola resistencia de 1 MΩ. El Interfaz está conectado al ordenador, y en pantalla se encuentra la Hoja de Cálculo del programa LAO.

2. Se elige la opción **captura,** y dentro de ésta el *módulo* de **corriente variable**, y como *instrumentos* **reloj** y **voltímetro 1** (en la escala de 10 V). A continuación de seleccionar **comenzar experimento** se calibra el voltímetro, calibración válida para todo el proceso posterior; para realizar esta calibración los dos bornes del amplificador se cortocircuitan, poniendo a cero el voltímetro, después de lo cual se vuelve al montaje experimental que se utilizará en la medida. Se programan diez medidas con un intervalo temporal entre medidas de un segundo; esta elección anterior depende principalmente de la capacidad del condensador, y tiene únicamente un valor orientativo.

3. En pantalla en este momento del Procedimiento experimental, se encuentra el mensaje "Presione una tecla para iniciar el experimento"; se operaría de la siguiente forma:

   a) Desconecte uno de los cables que esté unido a la pila, estando el interruptor todavía abierto, con lo que el condensador está cargado y sólo se descargaría cuando se cerrase el interruptor.

b) Cierre el interruptor y de forma prácticamente simultánea presione una tecla del ordenador.

4. Acabada la toma de medidas aparecen en la Hoja de Cálculo dos columnas, con los valores del reloj (A) y del voltímetro (B); se confeccionaría una tercera columna C con los valores de los logaritmos neperianos de la columna B.

5. En uno de los gráficos de la Hoja se representarían los valores de la columna C (eje Y) en función de los de la columna A (eje X). Con el cursor y la función F3 se determinaría la pendiente de la recta, anotando su valor. Si se cree oportuno se obtendría copia de la gráfica y de la tabla de datos.

6. Volviendo al punto inicial del montaje, se colocarían en serie dos resistencias de 1 MΩ, y se repetiría todo el proceso descrito en los anteriores puntos, anotándose el valor de la nueva pendiente. En este caso se programarían 10 medidas con un intervalo entre ellas de dos segundos.

7. Se repetiría de nuevo todo el procedimiento para tres resistencias de 1 MΩ colocadas en serie, con 10 medidas cada tres segundos. Los datos de las experiencias realizadas se encuentran en los ficheros **C1.DAT**, **C2.DAT** y **C3.DAT**.

Actividades y elaboración de conclusiones

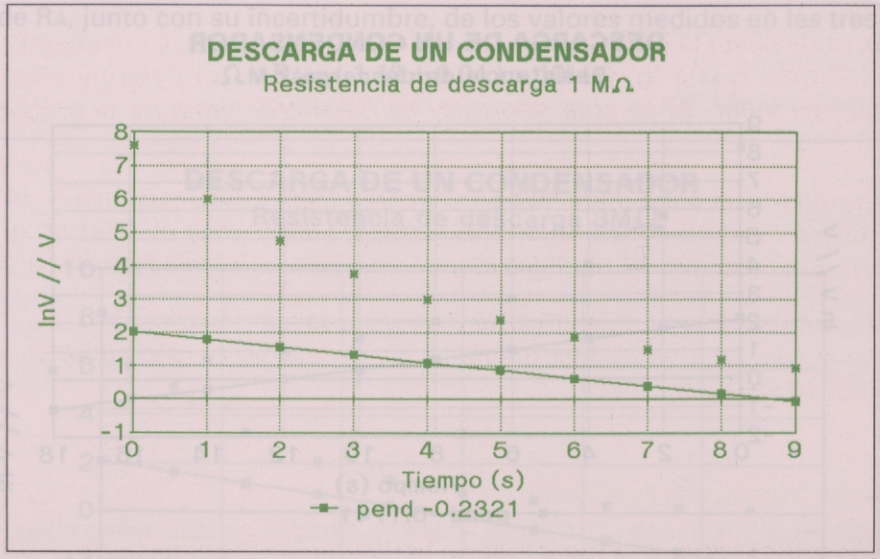
En cada una de las tres experiencias realizadas se han obtenido los siguientes resultados:

Primer experimento: Los resultados numéricos serían los siguientes:

Tabla de datos C1 (R = 1 MΩ)

Tiempo	Voltímetro	ln (Tensión)
0	7.608	2.0291797
1	6.000	1.7917595
2	4.745	1.5571121
3	3.765	1.3256697
4	2.980	1.0920549
5	2.392	1.8721954
6	1.882	0.6325226
7	1.490	0.3989077
8	1.176	0.1625189
9	0.941	–0.0606246

Representando gráficamente los valores de las columnas B (Y1), C (Y2) y A (X) se obtendría la siguiente gráfica, en la cual el valor obtenido de la pendiente es $-1/RC = -0.2321$, con lo que dado el valor conocido de C, 8 μF, se obtiene para R el valor de $5.39 \times 10^5\ \Omega$. Sustituyendo este último valor en la expresión (2), y dado que R_E es 1 MΩ, se obtiene finalmente que $R_A = 1.16 \times 10^6\ \Omega$

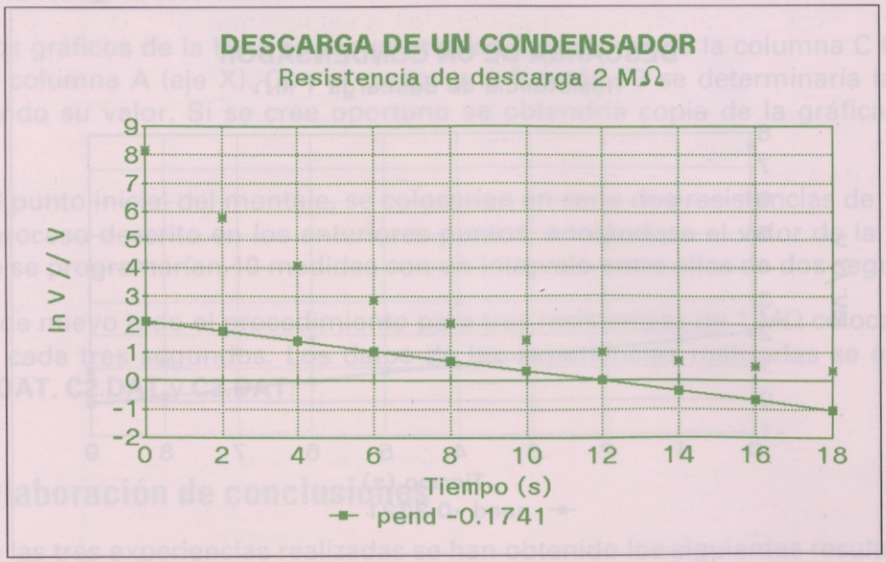


Segundo experimento: Los resultados numéricos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla de datos C2 (R = 2 MΩ)

Tiempo	Voltímetro	ln (Tensión)
0	8.157	2.0988596275
2	5.765	1.7517541346
4	4.078	1.405712447
6	2.863	1.051780989
8	2.039	0.7125652664
10	1.451	0.3722394605
12	1.020	0.0194180859
14	0.706	−0.348306694
16	0.510	−0.673729095
18	0.353	−1.041453875

Representando gráficamente los valores de las columnas B (Y1), C (Y2) y A (X) se obtendría la siguiente gráfica, en la que el valor obtenido de la pendiente es –1/RC = 0.1741, con lo que se obtendría un valor para R de $7.18 \times 10^5\ \Omega$, que si se sustituye en la expresión (2), y dado que R_E tiene un valor de 2 MΩ, se obtendría finalmente que $R_A = 1.12 \times 10^6\ \Omega$.



Tercer experimento: Los valores obtenidos, junto con los calculados se muestran en la siguente tabla:

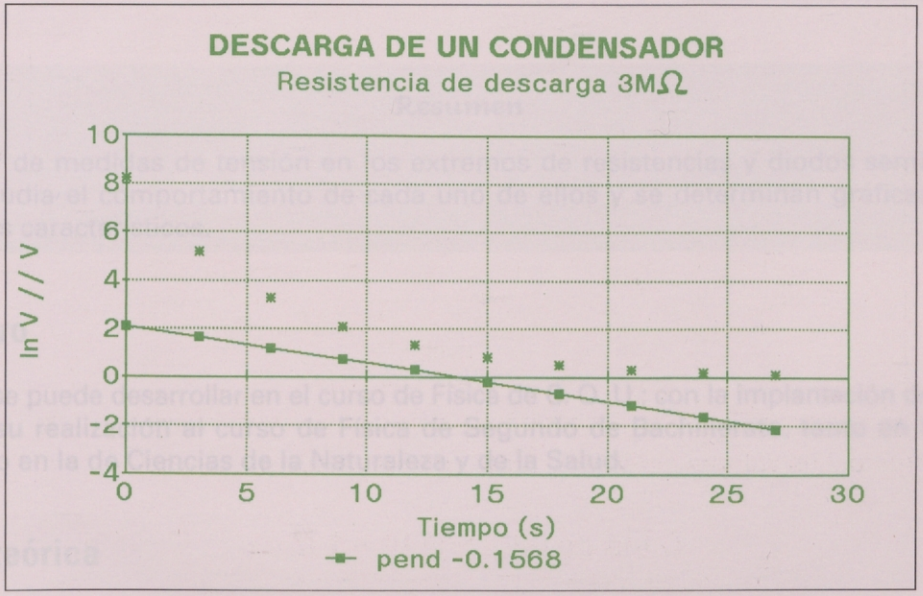
Tabla de datos C1 (R = 1 MΩ)

Tiempo	Voltímetro	ln (Tensión)
0	8.235	2.1084290786
3	5.176	1.6441234704
6	3.294	1.1921383467
9	2.078	0.73161346139
12	1.333	0.28768207245
15	0.824	–0.19415601444
18	0.510	–0.6737290947
21	0.314	–1.1592369105
24	0.196	–1.6292405397
27	0.118	–2.1400661635

Representando gráficamente los valores de las columnas B (Y1), C (Y2) y A (X) se obtiene la siguiente gráfica, en la que el valor obtenido para la pendiente es $-1/RC = -0.1568$, con lo que se obtendría un valor de $R = 7.97 \times 10^5\ \Omega$, que si se inserta en la expresión (2) junto con $R_E = 3\ M\Omega$, daría como resultado para RA un valor de $1.09 \times 10^6\ \Omega$.

El valor medio de R_A, junto con su incertidumbre, de los valores medidos en las tres experiencias, es:

$$R_A = (1.12 \pm 0.04) \times 10^6\ \Omega$$



Aplicación didáctica

El resultado de la medida de R_A justifica que al realizar el experimento de descarga de un condensador electrolítico de 1000 μF a través de una resistencia de 10 kΩ o de 4.7 kΩ, que como se observa son valores muy inferiores a la resistencia de entrada del amplificador, se pueda despreciar el efecto de ésta última y considerar que el valor de R en la expresión (1) corresponde a la resistencia de descarga del circuito montado.

Esta última experiencia citada se ha realizado con alumnos y alumnas de C. O. U.; el objetivo era la observación de fenómenos físicos que pueden modelizarse mediante la función exponencial, de la que tienen conocimiento en Matemáticas. Los experimentos se realizan en grupos de tres alumnos y alumnas.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE - BIBLIOTECA -

Bibliografía

TIPLER, P. A.: *Física* (**). Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

Estudio comparativo del comportamiento de una resistencia óhmica y diodos semiconductores

Pérez Moreno J. M. y Franco Gómez A.
Seminario de Física y Química
I. B. Mariano Baquero. Murcia (Murcia)

Resumen

A partir de medidas de tensión en los extremos de resistencias y diodos semiconductores, se estudia el comportamiento de cada uno de ellos y se determinan gráficamente sus parámetros característicos.

Nivel educativo

Actualmente se puede desarrollar en el curso de Física de C. O. U.; con la implantación de la L. O .G. S. E., correspondería su realización al curso de Física de Segundo de Bachillerato, tanto en la modalidad de Tecnología como en la de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud.

Introducción teórica

Es frecuente en los cursos de física general, sobre todo en los primeros niveles de enseñanza, encontrarse con que los alumnos y alumnas manifiestan una notable tendencia a generalizar leyes físicas que sólo tienen aplicación estricta en situaciones limitadas, elevando estas leyes a la categoría de principios fundamentales y aplicándolas a situaciones o en condiciones donde no son válidas.

Un ejemplo claro donde a menudo se cae en este error es en la aplicación de la ley de Ohm de la electrocinética.

En efecto, si el profesor o profesora no matiza y explica claramente el campo de aplicación de esta ley, generalmente el estudiante la utiliza para cualquier tipo de conductores.

La expresión macroscópica de la ley de Ohm para un conductor, al que se le pueda aplicar, indica que:

$$R = V/I$$

donde la resistencia (R) del conductor es la constante de proporcionalidad entre la diferencia de potencial (V) que se aplica y la intensidad de corriente (I) que circula.

La expresión anterior resulta de llevar al dominio macroscópico la relación de carácter microscópico, que establece que la resistividad de un material que cumpla la ley de Ohm es independiente del campo eléctrico aplicado.

Dentro de la variedad de conductores (metálicos, tubos de vacío, diodos, termistores, transistores, etc.), tan sólo los metálicos ofrecen un valor de la resistencia independiente de la diferencia de potencial para una temperatura de experimentación dada. Por tanto, si en una experiencia se aplican distintas tensiones a un conductor metálico determinado y se miden las correspondientes intensidades que circulan por él, la representación gráfica de la primera magnitud frente a la otra será una línea recta cuya pendiente corresponderá al valor de la resistencia.

Una explicación atomística del comportamiento de estos conductores se puede ver en textos de física general, (1) y (2), fácilmente accesibles.

En contraste con el comportamiento de los conductores metálicos, también denominados óhmicos o lineales, otros no cumplen la ley de Ohm, es decir, en ellos la resistencia no es independiente de la diferencia de potencial aplicada, o lo que es lo mismo, no existe proporcionalidad entre la diferencia de potencial aplicada e intensidad de corriente que circula por el conductor.

Uno de los ejemplos más elocuentes de elementos de corriente donde esto no sucede es en los diodos de cristal o semiconductores.

Un diodo de cristal consiste en un material semiconductor (silicio o germanio), preparado para ser impurificado o dopado con mínimas cantidades de un elemento que tenga un electrón menos de valencia (boro) en una zona (zona p), y con otro elemento que tenga un electrón más de valencia (arsénico) en otra zona adyacente (zona n) con una discontinuidad brusca entre ellas.

Cuando un diodo se conecta a una diferencia de potencial puede circular o no corriente. Si la conexión se hace de modo que el polo de potencial alto (polo positivo) se una a la zona n del diodo y el negativo a la p, no circula corriente (polarización inversa del diodo), salvo a tensiones muy altas que producen la ruptura del diodo. Por el contrario, si la conexión se hace a la inversa, el polo positivo con zona p del diodo y polo negativo con zona n (polarización directa), circula corriente.

Estas dos situaciones, que pueden darse en los diodos, permiten que cuando uno de ellos se conecta a una fuente de corriente alterna sólo circule la alternancia que supone polarización directa y, por tanto, la corriente quede rectificada (3).

Como se ha indicado la situación de polarización directa supone paso de corriente por el diodo, sin embargo, no se ha dicho nada de la relación existente de la tensión aplicada e intensidad de corriente que circula.

A partir de consideraciones sobre concentración de portadores de carga positiva (huecos) y negativa (electrones), se puede determinar la relación matemática que existe entre la intensidad que circula y la diferencia de potencial aplicada (4), (5) resultando ser:

$$I = Io \cdot \exp(kV)$$

donde:

I = corriente que circula.

Io = corriente inversa de saturación.

k = constante que depende del material y de la temperatura a la que se encuentre el diodo.

V = tensión aplicada.

La ecuación anterior es aplicable en condiciones tales que la tensión suministrada sea superior a 0.05 V.

Si en un circuito se instala, por tanto, un diodo y se le hace pasar una corriente eléctrica continua en polarización directa, las variaciones de tensión aplicadas a los extremos supondrán cambios en el valor de la intensidad que circula por él, pero éstos no serán una función lineal de las variaciones de tensión, sino exponencial, lo que se pondrá de manifiesto en la correspondiente representación gráfica de I vs. V.

Objetivos

— Establecer las diferencias de comportamiento de una resistencia óhmica (conductor metálico) y un diodo de cristal, ante las variaciones de tensión suministrada a cada uno de los elementos, a partir del análisis de las representaciones gráficas de I vs. V.

— Poner de manifiesto la independencia del valor de R frente a los cambios de polaridad de la corriente en las resistencias óhmicas.

— Determinar los parámetros característicos de diferentes diodos tratando matemáticamente los valores obtenidos en las medidas de intensidad y tensión que circulan por ellos.

Considerando los objetivos anteriores, es posible distinguir dos fases o etapas en el desarrollo del supuesto práctico:

1. Al principio la labor a realizar se centra sobre todo en el montaje de los distintos componentes en el circuito de medida y su conexión a través del Interfaz con el ordenador. De forma que éste va a desempeñar un doble papel, por un lado sirve como aparato de control del circuito indicando las circunstancias en las que se han de realizar las medidas, por otra parte va a actuar de voltímetro midiendo la tensión en determinados puntos del circuito y almacenando los datos en una Hoja de Cálculo.

2. La segunda parte, una vez desconectado el circuito eléctrico del ordenador, corresponde al tratamiento de las medidas realizadas a fin de obtener de forma indirecta otras variables eléctricas, establecer regularidades entre ellas, y deducir el comportamiento diferente de los distintos elementos conductores estudiados.

Materiales

— Potenciómetro de 5 ó 10 kΩ.

— Resistencia de medida (Rm) del mismo orden de magnitud que la resistencia problema y que la equivalente de los diodos (se ha utilizado uno de 3,3 kΩ, en general debe estar comprendida entre 1 y 5 kΩ).

— Resistencia problema de alrededor de 2 kΩ.

— Un diodo de cada uno de los siguientes materiales: silicio, germanio y selenio. Normalmente estos diodos suelen estar presentes en los equipos de prácticas disponibles en los Centros de Enseñanza Media.

— Cables de conexión en número suficiente para conectar los distintos elementos del circuito y éste con el Interfaz. Se recomiendan, al menos, diez y de distinta longitud.

— Nudos de conexión para realizar las correspondientes derivaciones en el circuito. Con tres nudos es suficiente.

— Como elemento auxiliar, no imprescindible, se puede utilizar un polímetro para contrastar, en un momento dado, las medidas de tensión realizadas por el ordenador.

— Ordenador con tarjeta de entrada-salida de datos.

— Interfaz CENT conectado a la tarjeta de entrada-salida instalada en el ordenador y a la fuente de alimentación.

— Impresora.

Procedimiento

1. *Montaje de los circuitos*

Entre las prestaciones del Interfaz figura la de suministrar una tensión continua de 5 V, por lo que se puede utilizar como fuente de alimentación del circuito.

Para conseguir variaciones de la tensión será preciso, por tanto, disponer de un potenciómetro conectado entre el Interfaz y el elemento eléctrico problema.

Por otro lado, puesto que el ordenador sólo puede medir diferencias de potencial entre puntos del circuito, habrá que disponer éste de modo que indirectamente se pueda determinar la intensidad que circula por el elemento problema, que en adelante se designará por X. Para ello se utilizará como ayuda una resistencia fija de valor conocido, que se simbolizará por Rm, instalada en serie con X.

Las medidas de las diferencias de potencial se harán entre los extremos de X y entre los del sistema en serie X—Rm a través de la entradas U1 y U2 del Interfaz y tierra (⏚).

Toda la información anterior sobre la instalación queda plasmada en el siguiente esquema eléctrico:

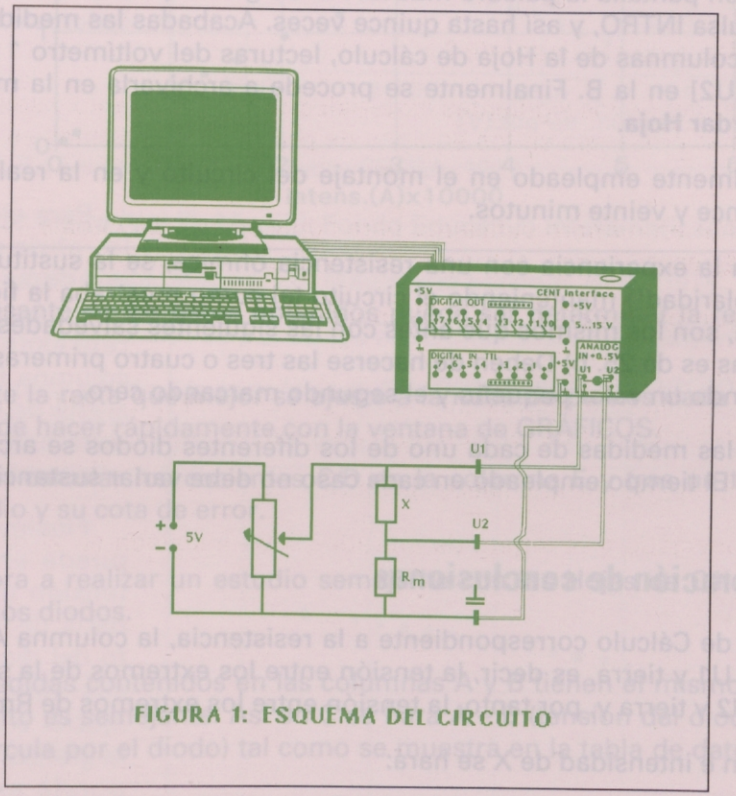


FIGURA 1: ESQUEMA DEL CIRCUITO

2. Estando el potenciómetro a cero se monta el circuito colocando en X una resistencia óhmica. Hay que hacer notar que, tal como muestra la figura, la conexión central del potenciómetro se une a la serie X—Rm y se cierra el circuito conectando a tierra (⏚) la fuente de alimentación del Interfaz.

3. A continuación se carga el programa LAO y, tras comprobar el correcto funcionamiento de las entradas del sistema (ventana **Utilidades,** opción **Comprobar conexiones**), situados en la ventana **Captura,** opción Elegir *módulo* y dentro de esta opción se selecciona **corriente continua**. Volviendo a la ventana **Captura,** opción Elegir *instrumentos* y se seleccionan **voltímetros (1 y 2)** fijando en ambos la escala de 5 V. Volviendo de nuevo a **Captura**, opción **Comenzar experimento** y se fija el número de medidas en 15.

4. Hecho lo anterior se pulsa una tecla y aparecerá un valor en el primer voltímetro, que será cero si, como se dijo antes, el potenciómetro está al principio de escala. Girando el vástago del potenciómetro se puede alcanzar el valor deseado en el primer voltímetro y aparecerá otro en el segundo. Conviene elegir uno pequeño pues se han de repartir 15 medidas en un rango que va de 0 a 5 V. Hecha la elección pulsar INTRO, con lo que las lecturas pasarán a la Hoja de Cálculo. Inmediatamente aparecerá en pantalla la palabra MEDIDA 2. Se gira el potenciómetro para elegir otro valor de tensión y se pulsa INTRO, y así hasta quince veces. Acabadas las medidas todas aparecerán en las dos primeras columnas de la Hoja de cálculo, lecturas del voltímetro 1 [U1] en la columna A y del voltímetro 2 [U2] en la B. Finalmente se procede a archivarla en la memoria con la ventana **Hoja**, opción **Guardar Hoja**.

5. El tiempo normalmente empleado en el montaje del circuito y en la realización de las medidas oscilará entre quince y veinte minutos.

6. Una vez realizada la experiencia con una resistencia óhmica, se la sustituye, en X, por un diodo (¡atención a la polaridad!) manteniendo el circuito tal como mostraba la fig.1. Los pasos a seguir, tras la sustitución, son los mismos que antes con las siguientes salvedades: a) El número de medidas recomendadas es de 25. b) Deben de hacerse las tres o cuatro primeras medidas con el primer voltímetro marcando un valor pequeño y el segundo marcando cero.

7. Una vez hechas las medidas de cada uno de los diferentes diodos se archivarán sus respectivas Hojas de Cálculo. El tiempo empleado en cada caso no debe variar sustancialmente del de antes.

Actividades y elaboración de conclusiones

Recuperada la Hoja de Cálculo correspondiente a la resistencia, la columna A nos indica las diferencias de potencial entre U1 y tierra, es decir, la tensión entre los extremos de la serie X—Rm, y la columna B la que hay entre U2 y tierra y, por tanto, la tensión entre los extremos de Rm.

Para hallar la tensión e intensidad de X se hará:

a) Columna C de la Hoja de Cálculo, se realiza A – B y se obtiene la tensión.

b) Columna D de la Hoja de Cálculo, se divide B/Rm (en nuestro caso B/3300) y se obtendrá la intensidad que circula por Rm y también por X. (Los datos se guardan en el fichero **RESIST2.DAT**)

Representar ahora la columna C frente a la D y sacar conclusiones.

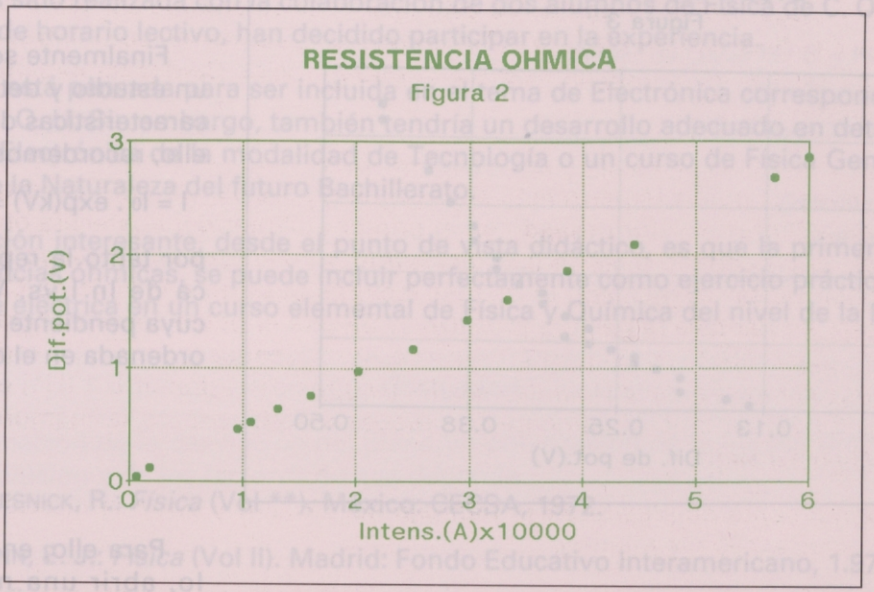


Figura 2

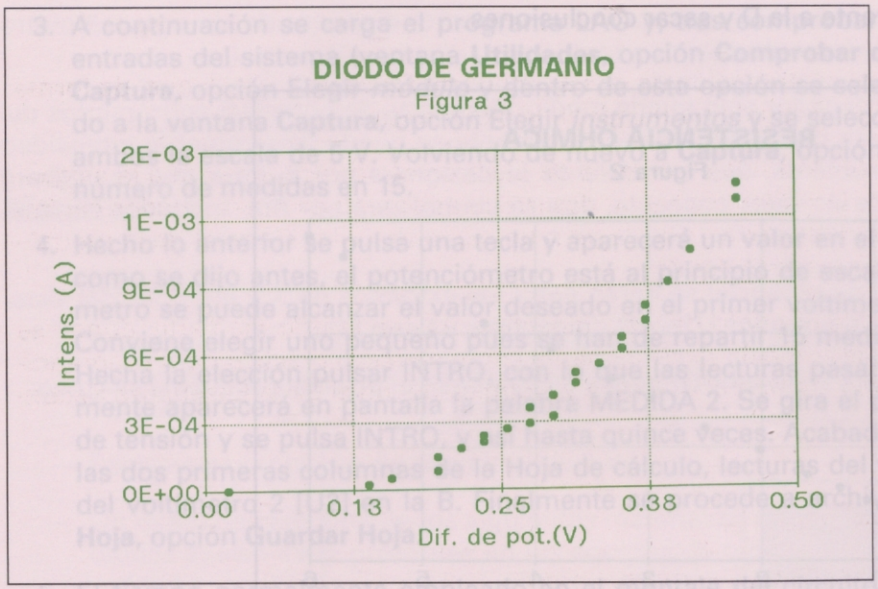
Una aplicación interesante de los datos obtenidos puede ser determinar la resistencia de X por dos procedimientos:

1. Hallar gráficamente la recta que mejor se ajusta a la nube de puntos dada y en ella determinar la pendiente. Se puede hacer rápidamente con la ventana de GRÁFICOS.
2. El otro consiste en calcular los cocientes C/D en la columna E y tras un tratamiento estadístico hallar el valor medio y su cota de error.

Debe procederse ahora a realizar un estudio semejante con las Hojas de Cálculo que contienen las medidas realizadas con los diodos.

Los valores de las medidas contenidos en las columnas A y B tienen el mismo significado que antes y, por tanto, el tratamiento es semejante. Así en C se hará A – B (tensión del diodo) y en D se calculará B/Rm (intensidad que circula por el diodo) tal como se muestra en la tabla de datos que se guarda en el fichero **GERMANIO.DAT**.

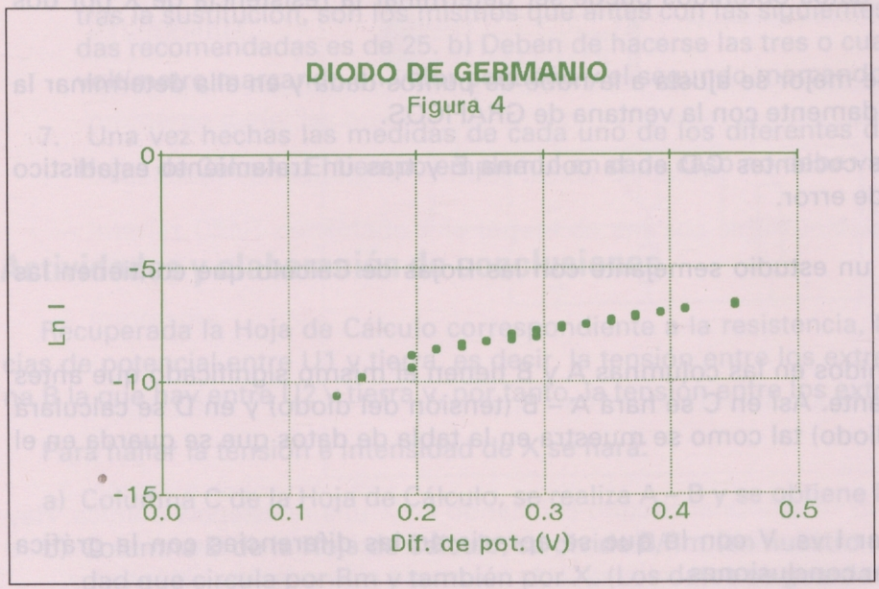
Se procede después a representar I vs. V con lo que se apreciarán las diferencias con la gráfica correspondiente a la resistencia. Sacar conclusiones.



Finalmente se debe proceder a un estudio y determinación de las características de los diodos. Para ello, recordemos que:

$$I = I_0 \cdot \exp(kV) \Rightarrow \ln I = \ln I_0 + kV$$

por tanto la representación gráfica de ln I vs. V será una recta cuya pendiente corresponde a k y ordenada en el origen a ln I_0.



Para ello, en la Hoja de Cálculo, abrir una nueva columna E donde se hace LN(D), como se indica en tabla 2, y proceder a la representación gráfica de la columna E frente a C (fig. 4). Un ajuste de la nube de puntos a una recta nos dará indirectamente los valores de k y de I_0.

Finalmente con la gráfica 3 se puede encontrar el valor de la tensión umbral (Vo) o tensión a partir de la cual el comportamiento del diodo se puede considerar casi lineal. Para ello, se deben ajustar a una recta los valores de la gráfica I vs. V a partir del punto donde se empiece a observar linealidad. El punto donde esta recta corte al eje de abscisas será el valor buscado.

Aplicación didáctica

Esta práctica ha sido realizada con la colaboración de dos alumnos de Física de C. O. U. que, de forma voluntaria y fuera de horario lectivo, han decidido participar en la experiencia.

En un principio está pensada para ser incluida en el tema de Electrónica correspondiente a la asignatura de Física de C. O. U. Sin embargo, también tendría un desarrollo adecuado en determinados capítulos de Tecnología Electrónica de la modalidad de Tecnología o un curso de Física General de la modalidad de Ciencias de la Naturaleza del futuro Bachillerato.

Otra consideración interesante, desde el punto de vista didáctico, es que la primera parte, donde se trabaja con resistencias óhmicas, se puede incluir perfectamente como ejercicio práctico para el aprendizaje de la corriente eléctrica en un curso elemental de Física y Química del nivel de la Enseñanza Secundaria Obligatoria.

Bibliografía

HALLIDAY, R., y RESNICK, R.: *Física* (Vol **). México: CECSA, 1972.

ALONSO, M., y FINN, E. J.: *Física* (Vol II). Madrid: Fondo Educativo Interamericano, 1.976.

AGULLES FORNÉS, J., *et alter.*: *Física*. Madrid: Ed. Magisterio Español, S. A., 1978.

MILMAN, J., y HALKIAS, C. C.: *Dispositivos y circuitos electrónicos*. Madrid: Editorial Pirámide, 1978.

ROSENBERG, H. M.: *El estado sólido*. Madrid: Alianza Editorial, 1.991.

GALLEGO PALOMERO, A. E.; LOWY FRUTOS, E., y ROBLES CID, J. L.: *Laboratorio Asistido por Ordenador*. Madrid: Phywe España,S. A., 1.990.

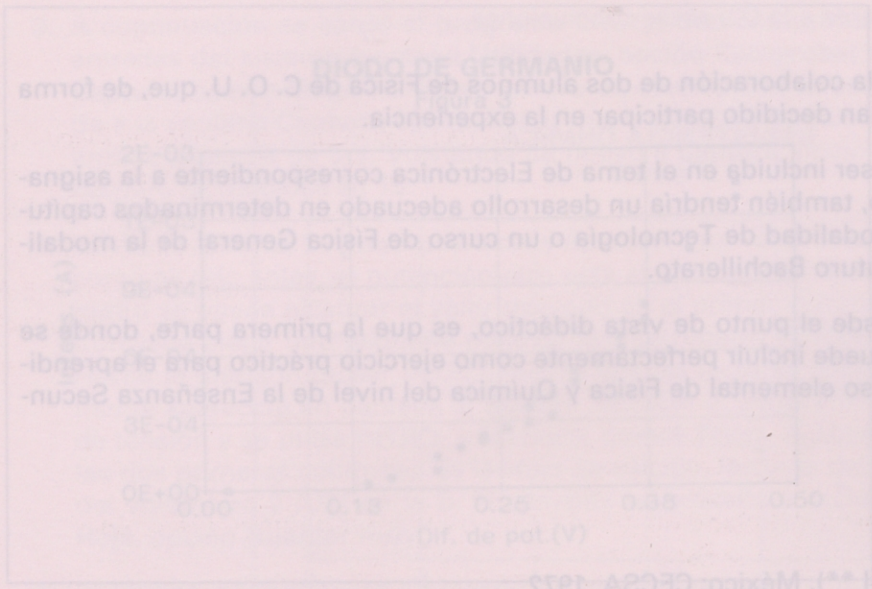


Figura 3

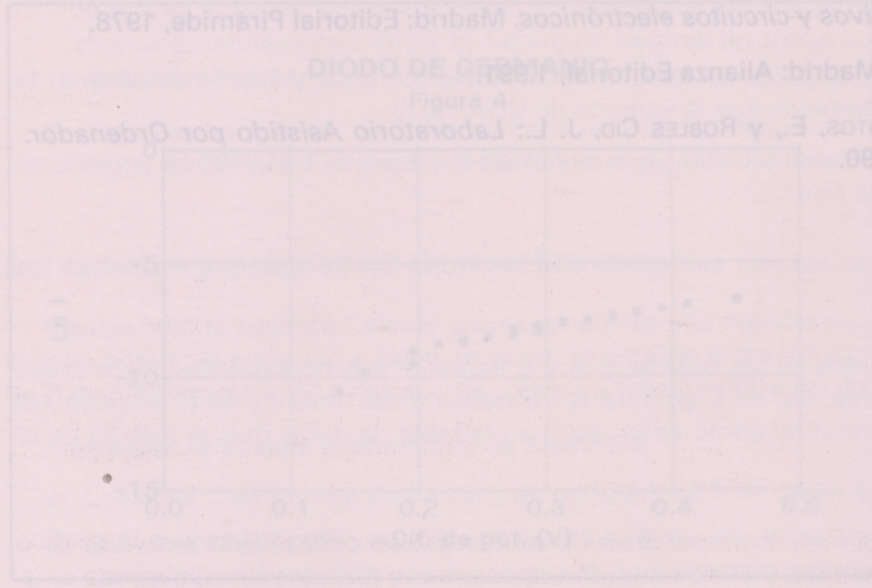


Figura 4

Aplicación didáctica

Esta práctica ha sido realizada con la colaboración de dos alumnos de Física de C. O. U. que, de forma voluntaria y fuera de horario lectivo, han decidido participar en la experiencia.

Esta práctica está pensada para ser incluida en el tema de Electrónica correspondiente a la asignatura de Física de 3º B.U.P. Sin embargo, también tendría un desarrollo adecuado en determinadas asignaturas de Tecnología Electrotécnica de modalidad de Tecnología o un curso de Física General de la modalidad de Ciencias de la Naturaleza del futuro Bachillerato.

Otra consideración interesante, desde el punto de vista didáctico, es que la primera parte, donde se trabaja con resistencias óhmicas, se puede incluir perfectamente como ejercicio práctico para el aprendizaje de la corriente eléctrica en un curso elemental de Física y Química del nivel de la Enseñanza Secundaria Obligatoria.

Bibliografía

HALLIDAY, R., y RESNICK, R.: Física (Vol **). México: CECSA, 1972.

ADDISON, M., y PRAY, E.: Física (Vol II). Madrid: Fondo Educativo Interamericano, 1.976.

ADDISON FRANKS, dpar addison-Wesley. Madrid: Ed. Magisterio Español, S. A., 1978.

MILMAN, J., y HALKIAS, C. C.: Dispositivos y circuitos electrónicos. Madrid: Editorial Pirámide, 1978.

ROSENBERG, H. M.: El estado sólido. Madrid: Alianza Editorial, 1.980.

Madrid: Pirámide, 1978.

Finalmente se debe proceder a

por tanto la representación gráf...

cuya pendiente corresponderá a ...

ordenada en el origen a m la.

Para ello se la hoja de cálcu-

lo, abrir una nueva columna E

indica en tabla 2, y proceder a la

representación gráfica de la

columna E frente a C (fig. 4). Un

ajuste de la nube de puntos a una

Finalmente con la gráfica 3 se puede encontrar el valor de la tensión umbral (Vo) o tensión a partir de la cual el comportamiento del diodo se puede considerar casi lineal. Para ello, se deben ajustar a una recta los valores de la gráfica I vs. V a partir del punto donde se empiece a observar linealidad. El punto donde esta recta corte al eje de abscisas será el valor buscado.

Actividad óptica

Peláez de Lucas M.ª C. y Fernández de Diego F.J.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. Virgen de la Luz. Avilés (Asturias)
Barrio Alonso C.
Seminario de Física y Química
I. B. n.° 7. Oviedo (Asturias)

Resumen

Determinación de la desviación del plano de polarización de la luz por diferentes sustancias en disolución y de los factores de que depende.

Nivel educativo

Primero de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física y Química, sólo de forma cualitativa (actual 3.° de B. U. P.).

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.).

Introducción teórica

Ciertas sustancias desvían el plano de polarización de un haz de luz polarizada linealmente que las atraviesa. Este fenómeno se denomina actividad óptica, y si la desviación es hacia la derecha (siguiendo la dirección y sentido de avance del haz luminoso) se dice de esas sustancias que son dextrógiras, y levógiras si es hacia la izquierda. La existencia de actividad óptica está relacionada con una asimetría en la distribución de las cargas eléctricas con las que interacciona el haz de luz al atravesar el material, que en los sólidos puede deberse a la estructura cristalina, pero en líquidos, disoluciones y gases, está relacionada necesariamente con una estructura molecular asimétrica.

Para disoluciones, la desviación del plano de polarización por un soluto ópticamente activo es directamente proporcional a su concentración c y al espesor atravesado por la luz l, y a un coeficiente carac-

terístico del soluto o rotación específica s, cuyos valores se dan habitualmente en grados para el espesor medido en dm y la concentración en g cm^{-3} (Φ = s l c, ley de Biot)

Se incluyen a continuación algunos valores de rotación específica con sus rangos de validez.

Sustancia	Temp. °C	S (disol.)	Observaciones
albumen	20	–25 a –38	
arabinosa	20	–105	
d-glucosa	20	+52.5+0.025d	d = 1..18g/100g
galactosa	10...30	+83.9+0.078d–0.21t	d = 4..36g/100g
l-glucosa	20	-51.4	
lactosa	20	+52.4+0.072 (20-t)	para 5 g/100 ml
fructosa	20	-88.5–0.145d	d = 2,6..18,6g/100g
maltosa	20	+138.48–0.01837d	d = 5..35g/100g
manosa	20	+14.1	
sacarosa	20	+66.412+0.01267d	d = 0...50g/100g

Objetivos

— Estudiar la actividad óptica de sustancias disueltas y su dependencia de la concentración.

Material

— Balanza.

— Probetas.

— Vasos de precipitados.

— Disoluciones de sustancias ópticamente activas (glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa).

— Polarímetro (o filtros polarizadores).

— Difusor.

— Fuente luminosa (preferiblemente lámpara de sodio).

— Soportes.

— Pinzas.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro y sonda de luz.

— Cables de conexión.

— Programa LAO.

— Ordenador.

Procedimiento

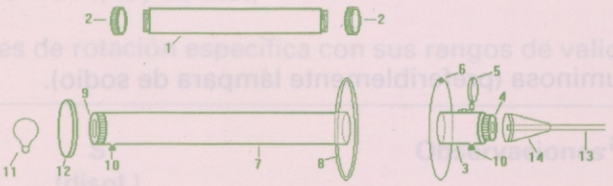
1. El dispositivo utilizado es el mismo que en la práctica "Polarización de la luz. Ley de Malus", pero introduciendo en el polarímetro el tubo portalíquidos con el líquido problema que se describe en la figura. Antes de comenzar la experiencia conviene realizar la puesta a cero del polarímetro, tal como se indica en la práctica anterior, con el tubo portalíquidos vacío, o incluso fuera del aparato.

2. Llenar el tubo portalíquidos de la disolución problema hasta que rebose; colocar el cristal resbalando sobre la boca del tubo para impedir que queden burbujas de aire en el interior; poner la junta encima del cristal y cerrar con la tapa roscada. Introducir el tubo en el cilindro principal del polarímetro y colocar el tubo ocular situando el nonio en el 0 de la escala (polarizadores paralelos).

3. Situar la fuente luminosa de manera que incida sobre el polarizador; entre ambos es conveniente colocar un cristal traslúcido, que sirve como difusor, para evitar el efecto del filamento de la bombilla sobre los valores leídos por el luxómetro.

4. Colocar la sonda del luxómetro en el otro extremo del polarímetro, lo mas próxima posible al analizador y rodeada de un capuchón para evitar la entrada de luz del exterior.

5. Conectar el luxómetro a la primera entrada analógica del amplificador de medida, colocada en la escala de 10 mV, y éste al Interfaz.



1.- Tubo portador del líquido problema.
2.- Tapas roscadas del tubo portalíquidos, con junta de neopreno para impedir el derrame del líquido y cristal protector.
3.- Tubo ocular.
4.- Filtro analizador.
5.- Lupa de lectura.
6.- Nonio de lectura.
7.- Cilindro para alojar el tubo portador del líquido problema.
8.- Escala de lectura, dividida en 360 grados.
9.- Filtro polarizador.
10.- Tornillos prisioneros para la puesta a cero del aparato.
11.- Fuente luminosa.
12.- Cristal difusor.
13.- Sonda del luxómetro.
14.- Capuchón.

6. En el programa LAO elegir el *módulo* de **intensidad luminosa**; como *instrumentos* **luxómetro** y **teclado**; fijar la escala del luxómetro a 10, 100 o 300 lx, dependiendo de la disolución problema (puede ser conveniente ir girando el analizador para determinar aproximadamente las intensidades máxima y mínima y seleccionar la escala adecuada). En *comenzar experimento* establecer la toma de 181 medidas.

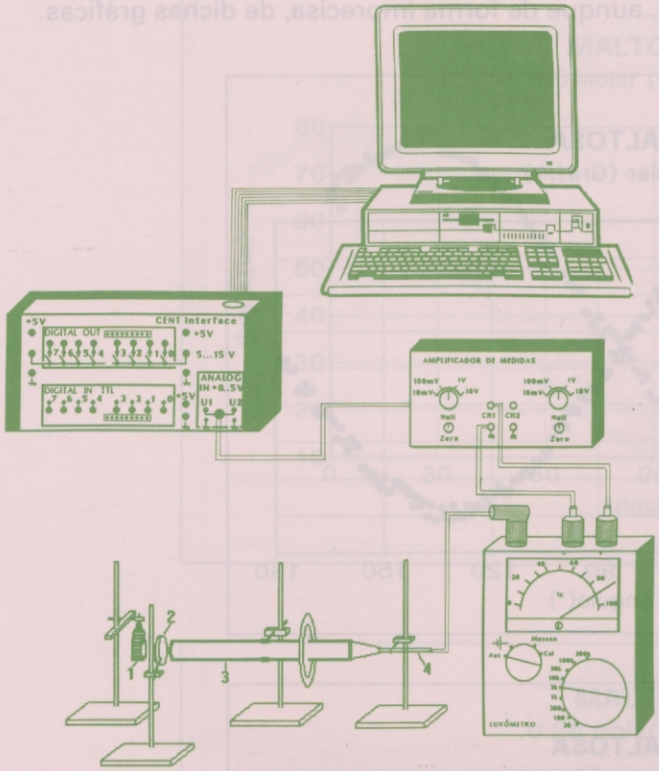
7. Después de cada medida hacer girar 1° el tubo ocular, con lo cual los datos recogidos corresponderán a los ángulos comprendidos entre 0 y 180° de giro del analizador con respecto al polarizador.

8. Repetir el procedimiento para cada una de las disoluciones.

Preparación previa de las disoluciones problema

1 molar: 18 gramos de glucosa o fructosa en 100 ml de agua; 36 gramos de maltosa en 100 ml de agua; 34.2 gramos de sacarosa en 100 ml de agua.

0.75 molar: 13.5 gramos de glucosa o fructosa en 100 ml de agua; 27 gramos de maltosa en 100 ml de agua; 25.6 gramos de sacarosa en 100 ml de agua.



1.- Fuente luminosa.
2.- Difusor.
3.- Polarímetro.
4.- Sonda del luxómetro.

FIGURA 1

0.5 molar: 9 gramos de glucosa o fructosa en 100 ml de agua; 18 gramos de maltosa en 100 ml de agua; 17.1 gramos de sacarosa en 100 ml de agua.

0.25 molar: 4.5 gramos de glucosa o fructosa en 100 ml de agua; 9 gramos de maltosa en 100 ml de agua; 8.5 gramos de sacarosa en 100 ml de agua.

Actividades y elaboración de conclusiones

Los ejemplos que se adjuntan corresponden a disoluciones de diferente concentración de maltosa y fructosa; las medidas obtenidas se encuentran en los siguientes ficheros:

MALT1000.DAT (disolución 1 molar de maltosa).

MALT0750.DAT (disolución 0.75 molar de maltosa).

MALT0500.DAT (disolución 0.5 molar de maltosa).

MALT0250.DAT (disolución 0.25 molar de maltosa).

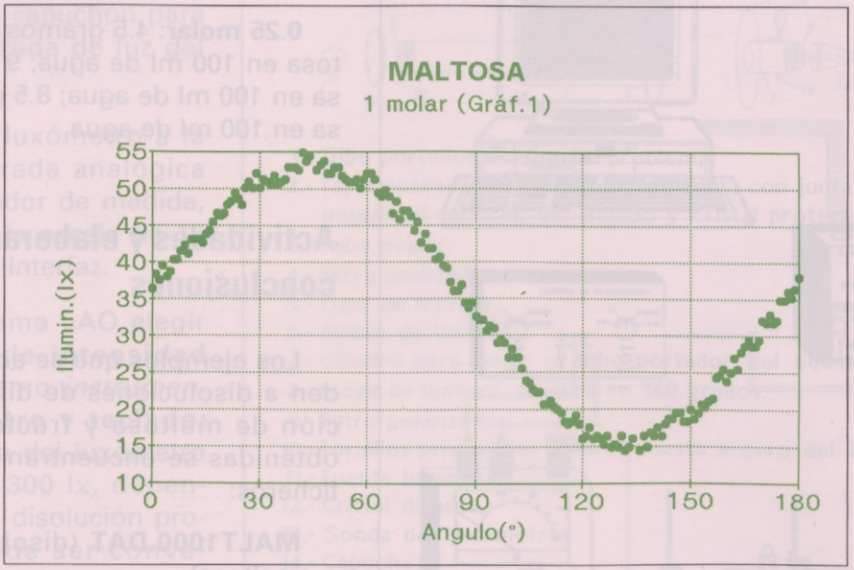
FRUC1000.DAT (disolución 1 molar de fructosa).

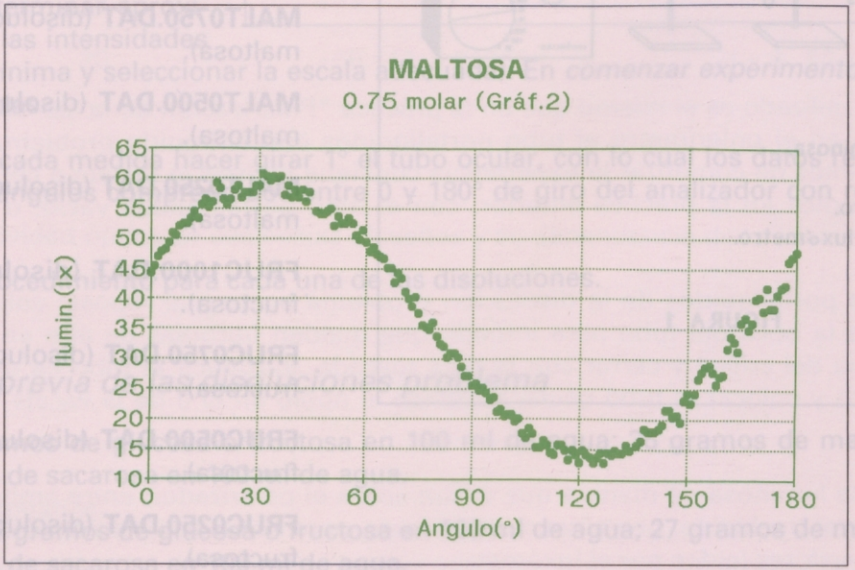
FRUC0750.DAT (disolución 0.75 molar de fructosa).

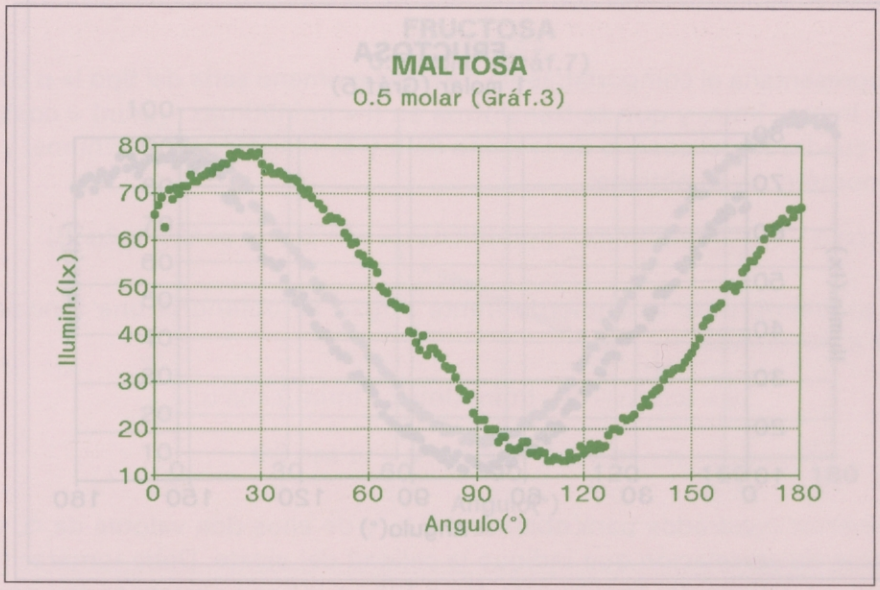
FRUC0500.DAT (disolución 0.5 molar de fructosa).

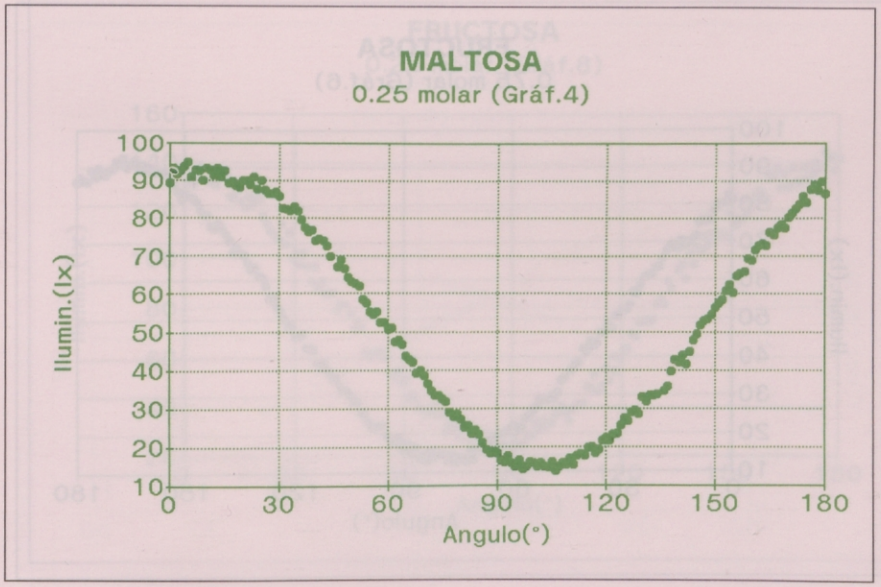
FRUC0250.DAT (disolución 0.25 molar de fructosa).

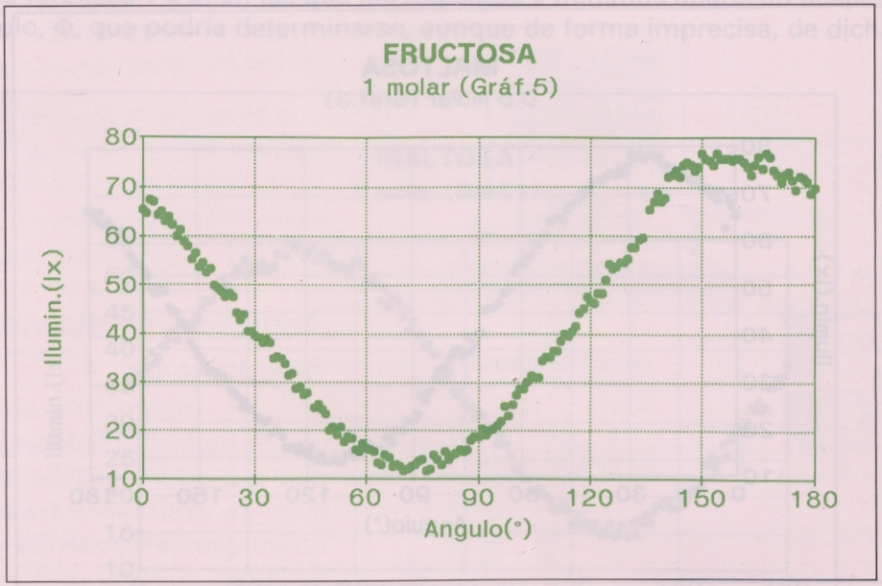
Se representan gráficamente las lecturas del luxómetro frente al ángulo de los polarizadores, y se obtienen unas curvas (gráficas 1 a 8) en las que los máximos y mínimos aparecen desplazados de 0°, 90° y 180° un cierto ángulo, Φ, que podría determinarse, aunque de forma imprecisa, de dichas gráficas.

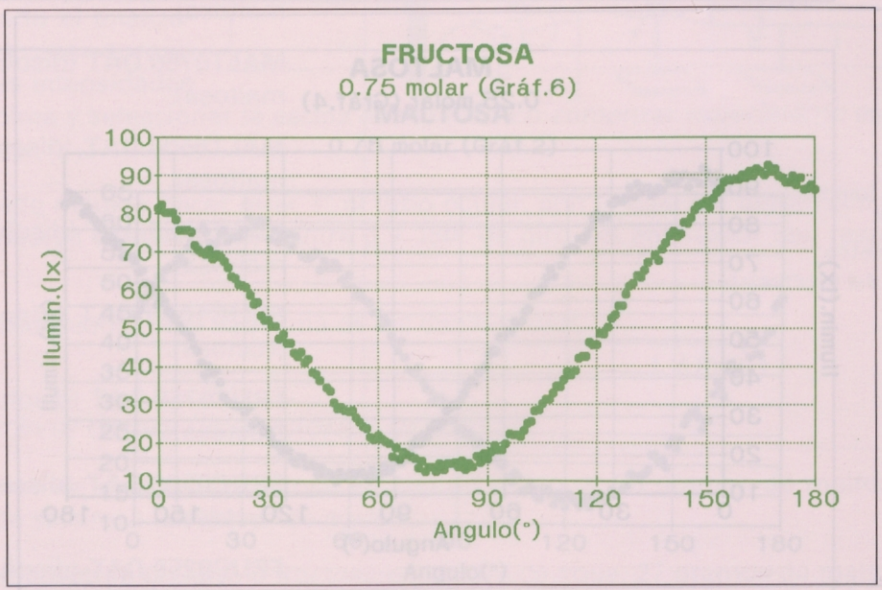


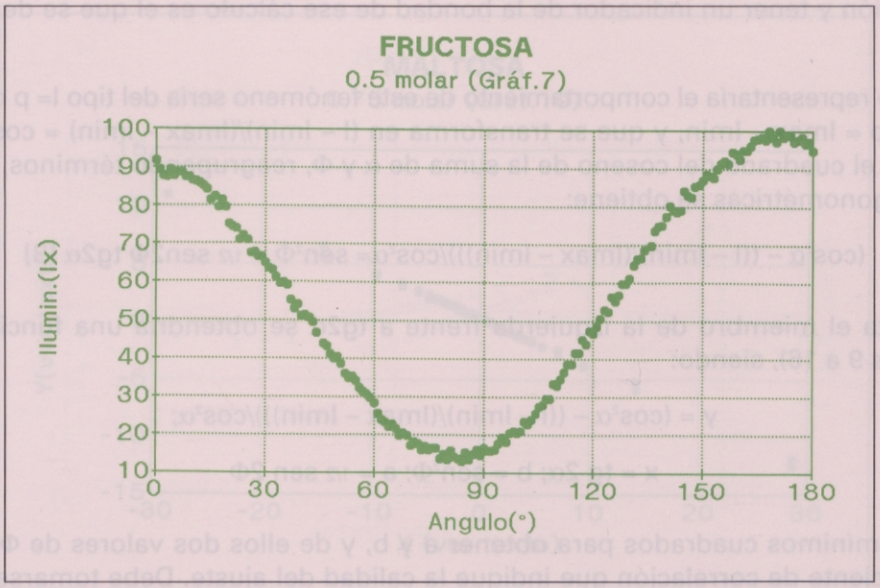


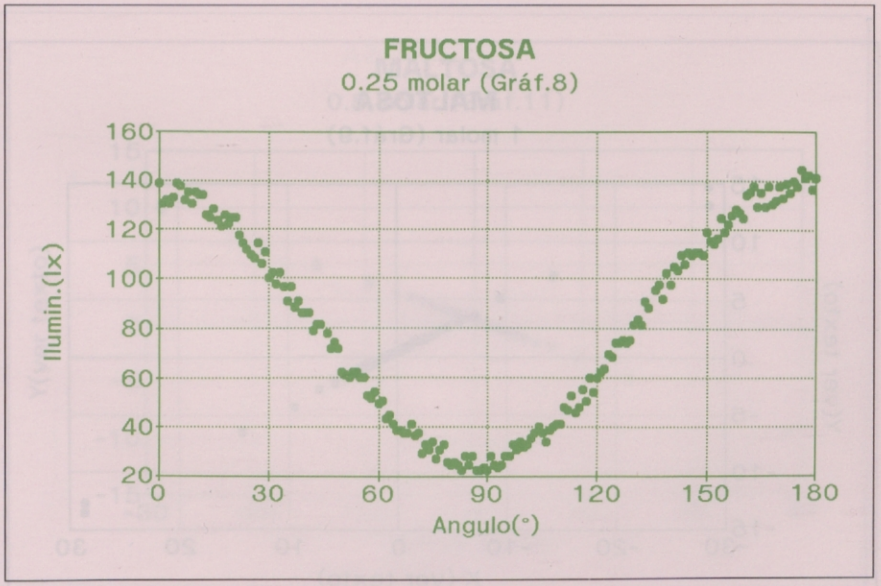

MALTOSA
0.5 molar (Gráf.3)
Ilumin.(lx)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


MALTOSA
0.25 molar (Gráf.4)
Ilumin.(lx)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


FRUCTOSA
1 molar (Gráf.5)
Ilumin.(lx)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


FRUCTOSA
0.75 molar (Gráf.6)
Ilumin.(lx)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


FRUCTOSA
0.5 molar (Gráf.7)
Ilumin.(lx)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)


FRUCTOSA
0.25 molar (Gráf.8)
Ilumin.(lx)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
30
60
90
120
150
180
Angulo(°)

Un método mejor, que permite obtener mediante cálculo los valores del ángulo de desviación del plano de polarización y tener un indicador de la bondad de ese cálculo es el que se describe a continuación.

La ecuación que representaría el comportamiento de este fenómeno sería del tipo $I = p \cos^2(\alpha + \Phi) + q$ [1], donde $q = I_{min}$ y $p = I_{max} - I_{min}$, y que se transforma en $(I - I_{min})/(I_{max} - I_{min}) = \cos^2(\alpha + \Phi)$ [2], en la que desarrollando el cuadrado del coseno de la suma de α y Φ, reagrupando términos, y utilizando algunas igualdades trigonométricas se obtiene:

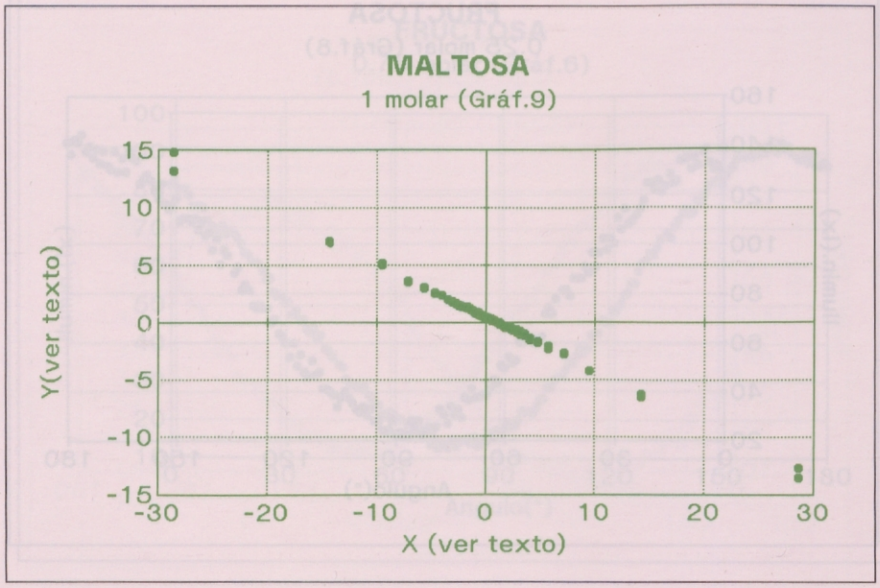
$$(\cos^2\alpha - ((I - I_{min})/(I_{max} - I_{min})))/\cos^2\alpha = \text{sen}^2\Phi + 1/2\ \text{sen}2\Phi\ \text{tg}2\alpha \quad [3]$$

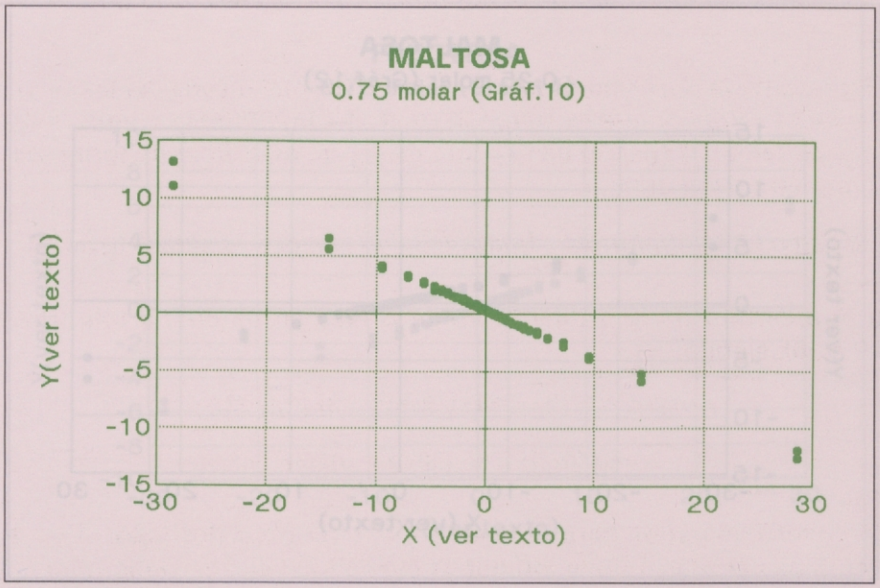
Si se representa el miembro de la izquierda frente a $\text{tg}2\alpha$ se obtendría una función lineal del tipo $y = ax + b$ (Gráficas 9 a 16), siendo:

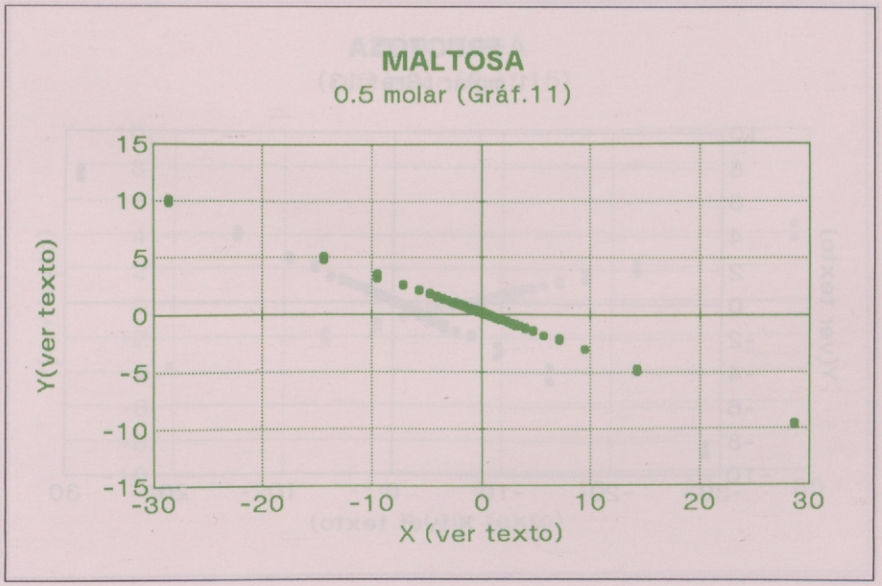
$$y = (\cos^2\alpha - ((I - I_{min})/(I_{max} - I_{min})))/\cos^2\alpha;$$

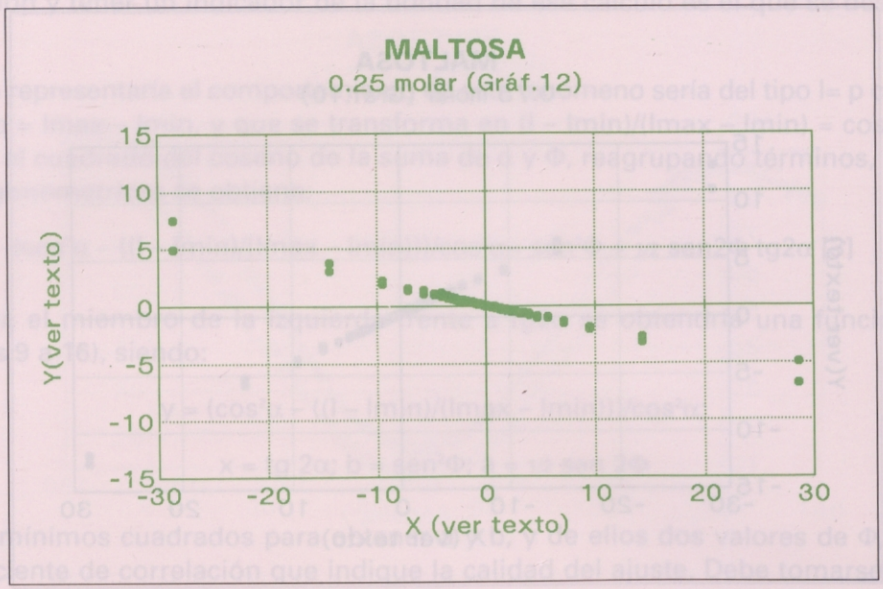
$$x = \text{tg}\ 2\alpha;\ b = \text{sen}^2\Phi;\ a = 1/2\ \text{sen}\ 2\Phi$$

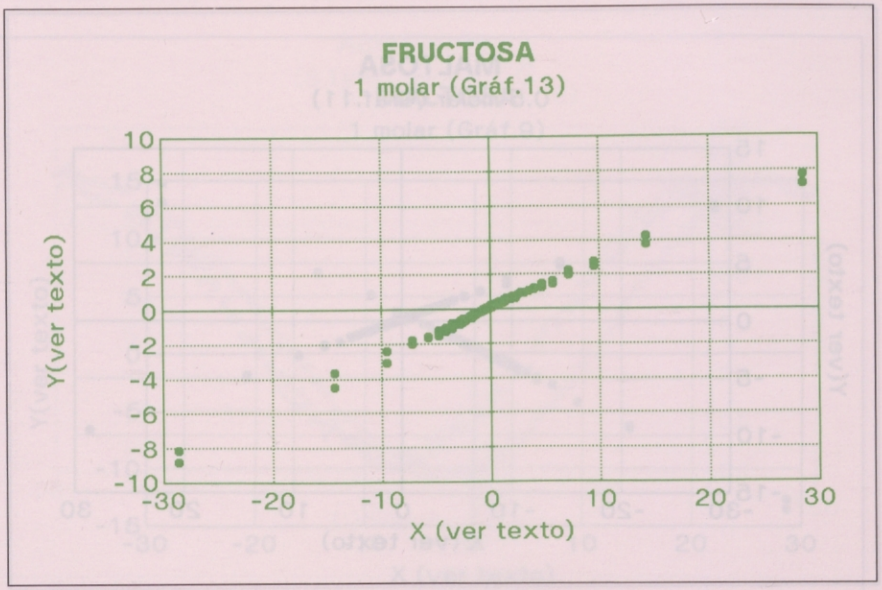
que se ajusta por mínimos cuadrados para obtener a y b, y de ellos dos valores de Φ, que llamaremos Φa y Φb y el coeficiente de correlación que indique la calidad del ajuste. Debe tomarse la precaución de no incluir en el cálculo los valores del ángulo α de 45° o 135 ° a los que corresponde una tg 2α infinita.

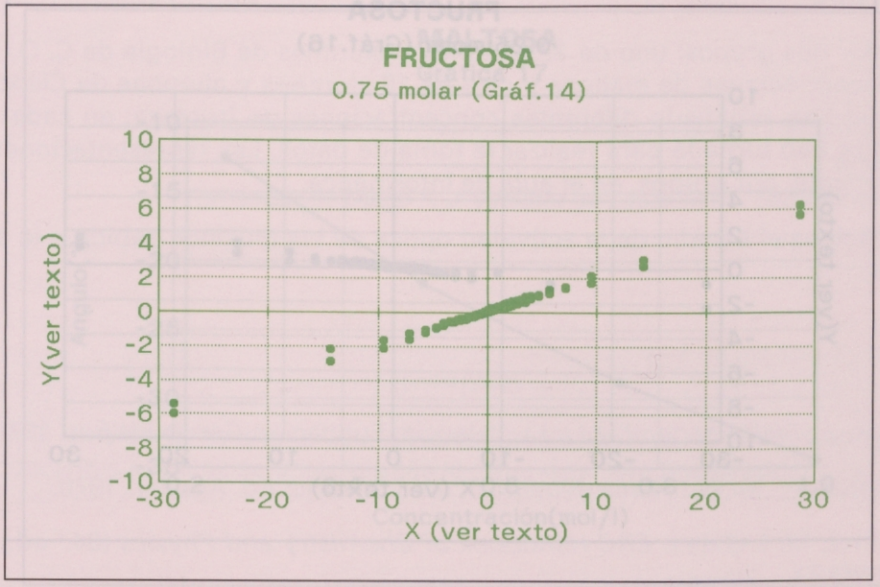


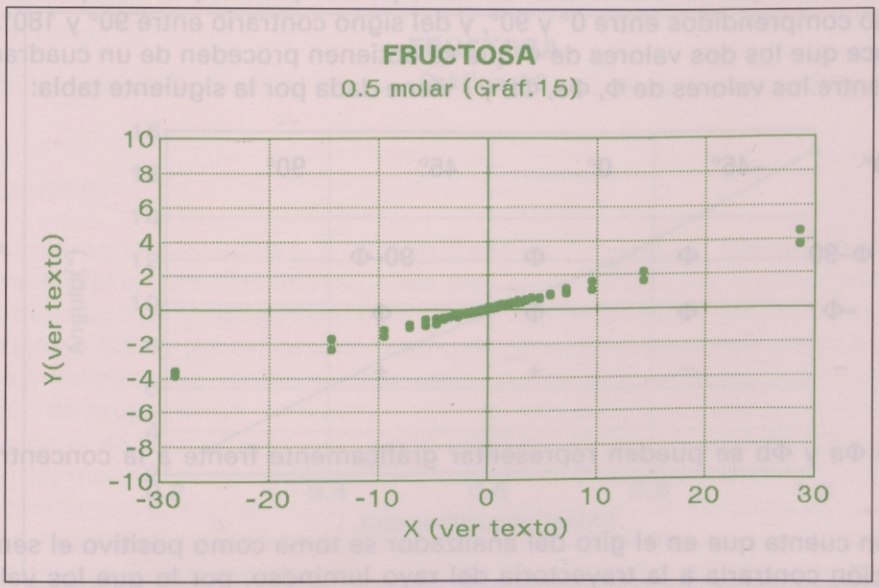

MALTOSA
0.75 molar (Gráf.10)
Y(ver texto)
15
10
5
0
-5
-10
-15
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)

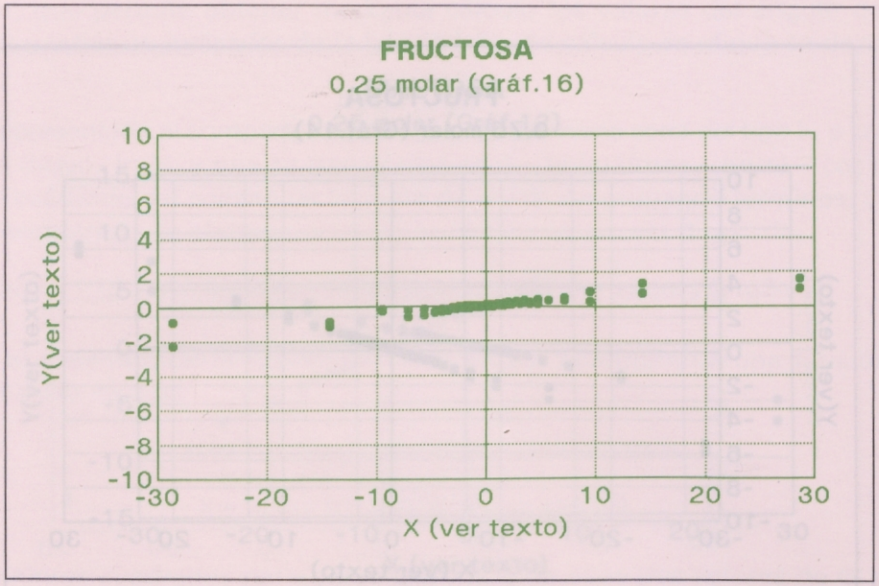

MALTOSA
0.5 molar (Gráf.11)
Y(ver texto)
15
10
5
0
-5
-10
-15
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)


MALTOSA
0.25 molar (Gráf.12)
Y(ver texto)
X (ver texto)
15
10
5
0
-5
-10
-15
-30
-20
-10
0
10
20
30


FRUCTOSA
1 molar (Gráf.13)
Y(ver texto)
X (ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30


FRUCTOSA
0.75 molar (Gráf.14)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)


FRUCTOSA
0.5 molar (Gráf.15)
Y(ver texto)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-30
-20
-10
0
10
20
30
X (ver texto)



No es posible por medio de una única medida diferenciar entre dos valores del ángulo de desviación del plano de polarización que se diferencien en 180°, por lo que tampoco es posible diferenciar entre valores de un signo comprendidos entre 0° y 90°, y del signo contrario entre 90° y 180°. Por esto, y por el efecto que introduce que los dos valores de Φ que se obtienen proceden de un cuadrado y de un ángulo doble, la relación entre los valores de Φ, Φa, Φb y r viene dada por la siguiente tabla:

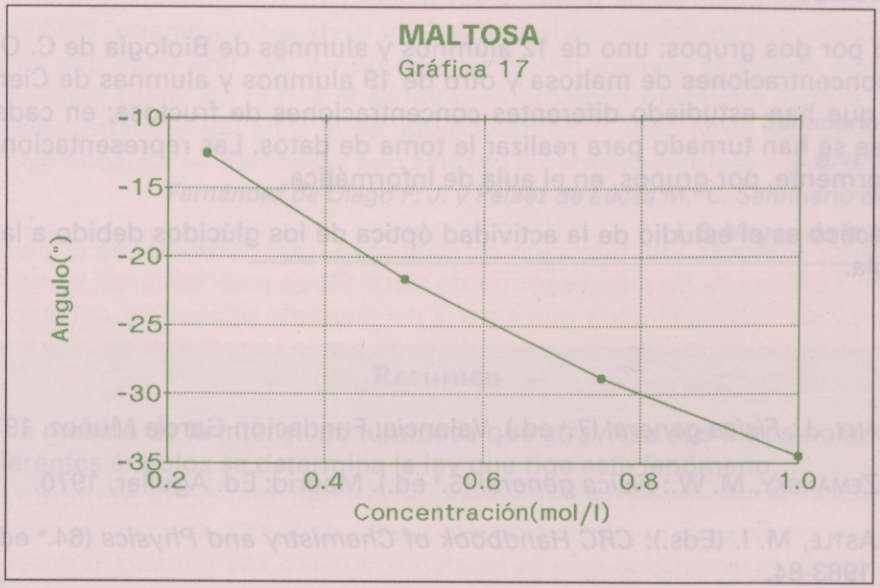
Φ	–90°	–45°	0°	45°	90°
Φa	Φ–90	Φ	Φ	90–Φ	
Φb	–Φ	Φ	Φ	Φ	
signo de r	–	–	+	+	

Los valores de Φa y Φb se pueden representar gráficamente frente a la concentración (gráficas 17 y 18).

Debe tenerse en cuenta que en el giro del analizador se toma como positivo el sentido de las agujas del reloj en dirección contraria a la trayectoria del rayo luminoso, por lo que los valores positivos del ángulo corresponden a sustancias levógiras y los valores negativos a dextrógiras.

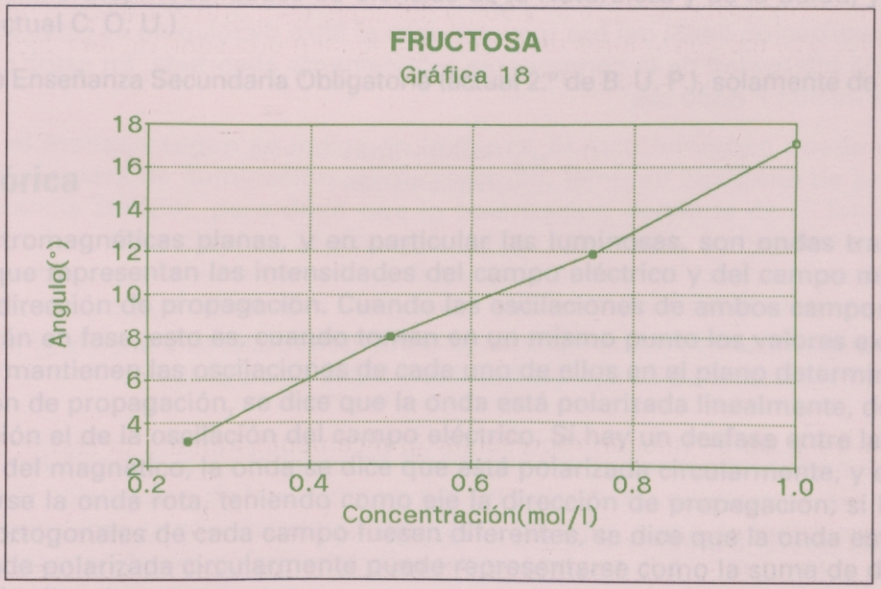
MALTOSA

Gráfica 17



FRUCTOSA

Gráfica 18



Aplicación didáctica

Se ha realizado por dos grupos: uno de 12 alumnos y alumnas de Biología de C. O. U. que han estudiado diferentes concentraciones de maltosa y otro de 19 alumnos y alumnas de Ciencias Naturales de tercero de B.U.P. que han estudiado diferentes concentraciones de fructosa; en cada uno de ellos los alumnos y alumnas se han turnado para realizar la toma de datos. Las representaciones gráficas se han elaborado posteriormente, por grupos, en el aula de Informática.

El objetivo didáctico es el estudio de la actividad óptica de los glúcidos debido a la estructura asimétrica de su molécula.

Bibliografía

CATALÁ DE ALEMANY, J.: *Física general* (7.ª ed.). Valencia: Fundación García Muñoz, 1977.

SEARS, F. W., y ZEMANSKY, M. W.: *Física general* (5.ª ed.). Madrid: Ed. Aguilar, 1970.

WEAST, R.C., y ASTLE, M. I. (Eds.): *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (64.ª ed.). Ohio: Chemical Rubber Co., 1983-84.

Polarización de la luz. Ley de Malus

Barrio Alonso C.
Seminario de Física y Química
I. B. n.° 7. Oviedo (Asturias)
Fernández de Diego F. J. y Peláez de Lucas M.ª C. Seminario de Ciencias Naturales
I. B. Virgen de la Luz. Avilés (Asturias)

Resumen

Mediante la medida de la intensidad luminosa que atraviesa dos filtros polarizadores dispuestos a diferentes ángulos se determina la ley que rige este fenómeno.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.)

Cuarto Curso de Enseñanza Secundaria Obligatoria (actual 2.° de B. U. P.), solamente de forma cualitativa.

Introducción teórica

Las ondas electromagnéticas planas, y en particular las luminosas, son ondas transversales en las que los vectores que representan las intensidades del campo eléctrico y del campo magnético son perpendiculares a la dirección de propagación. Cuando las oscilaciones de ambos campos son perpendiculares entre sí y están en fase, esto es, cuando toman en un mismo punto los valores extremos y nulos al mismo tiempo, se mantienen las oscilaciones de cada uno de ellos en el plano determinado por el vector inicial y la dirección de propagación, se dice que la onda está polarizada linealmente, definiéndose como plano de polarización el de la oscilación del campo eléctrico. Si hay un desfase entre las oscilaciones del campo eléctrico y del magnético, la onda se dice que está polarizada circularmente, y el plano de polarización al propagarse la onda rota, teniendo como eje la dirección de propagación; si las amplitudes de las componentes ortogonales de cada campo fuesen diferentes, se dice que la onda está polarizada elípticamente. Una onda polarizada circularmente puede representarse como la suma de dos ondas perpendiculares polarizadas linealmente.

Cuando una onda plana se propaga en un medio anisótropo, a cada dirección de propagación le corresponden dos estados posibles de polarización lineal, perpendiculares entre sí y que se propagan con diferente velocidad, que se llaman onda ordinaria, y onda extraordinaria. Ciertas sustancias anisótropas absorben estas ondas de manera muy diferente, por lo que una onda que atraviese un espesor adecuado de una de ellas emergerá linealmente polarizada según un cierto plano. Este fenómeno se llama dicroísmo y depende de la frecuencia de la onda; en la zona del espectro visible hay ciertas sustancias como la turmalina o algunos polímeros lineales que presentan un acusado dicroísmo, lo que permite fabricar con ellas filtros polarizadores.

Un filtro polarizador presenta una dirección característica, que corresponde al plano de polarización de la luz emergente. Si, después de atravesar uno de estos filtros polarizadores, se hace llegar un haz de luz a otro de ellos, la amplitud de la onda que emerja del segundo dependerá del ángulo (α) que formen sus direcciones de polarización respectivas y vendrá dada por la proyección de la que sale del primer filtro (A_0) sobre la dirección de polarización del segundo, resultando:

$$A = A_0 \cos\alpha$$

Como la intensidad de una onda es proporcional al cuadrado de la amplitud, se cumplirá que $I = I_0 \cos^2\alpha$ [1], que se conoce como ley de Malus. Cuando el ángulo sea cero o ciento ochenta grados (polarizadores paralelos), la intensidad será la incidente, cuando sea noventa o doscientos setenta grados (polarizadores cruzados), la intensidad será nula; para ángulos comprendidos entre éstos tendrá un valor intermedio.

En general, la polarización lineal del haz que atraviesa el filtro dicroico no es total, sino elíptica, emergiendo una pequeña intensidad de la componente teóricamente absorbida. En estos casos se define un coeficiente de polarización P dado por:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Objetivos

— Estudiar el comportamiento de un sistema de filtros polarizadores y encontrar las relaciones entre ángulos que forman los filtros e iluminación transmitida a su través.

Material

— Foco luminoso (preferiblemente lámpara de sodio).

— Polarímetro (o filtros polarizadores).

— Difusor.

— Cables de conexión.

— Pies.

— Soportes.

— Pinzas.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro.

— Sonda de luz.

— Programa LAO.

— Ordenador.

— Impresora.

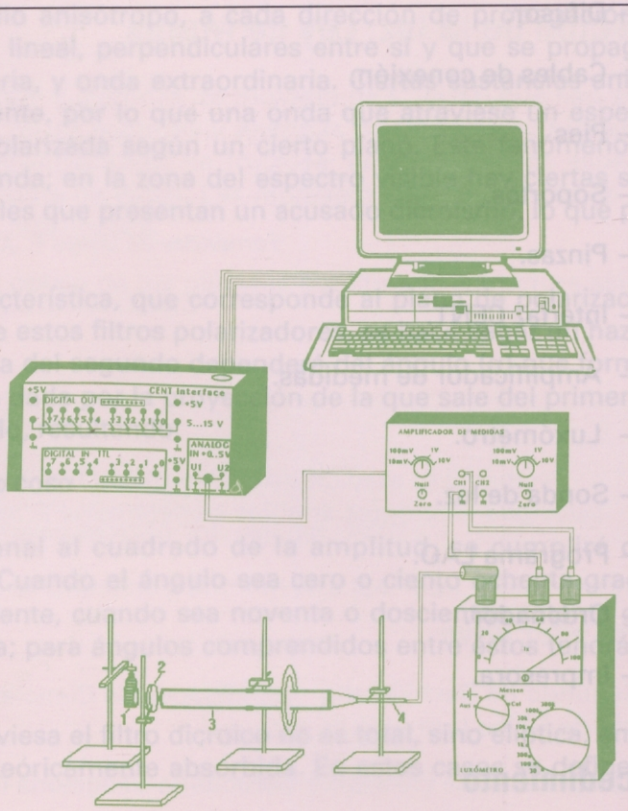
Procedimiento

1. Se dispone el montaje según se indica en la figura. El foco luminoso puede ser de naturaleza muy variada (lámpara de iluminación de microscopio, lámpara halógena de proyector, lámpara de incandescencia común), pero dado que la polarización depende de la longitud de onda, se recomienda utilizar, si se dispone de ella, una lámpara de sodio. Es conveniente que la emisión de luz sea estable con el tiempo, que si se trata de lámparas de incandescencia, se aplique una pantalla difusora que homogenice el haz y evite que se forme sobre el luxómetro una imagen definida del filamento que podría distorsionar las medidas, y que se tome la precaución de que el calor desprendido por el foco no haga aumentar significativamente la temperatura del resto del montaje.

2. Para construir el dispositivo de la figura se ha utilizado un polarímetro de penumbra en el que se ha sustituido el polarizador, de tres campos, por un polarizador de microscopio y se ha quitado el espejo de iluminación; se ha sujetado en posición horizontal, como se indica en la figura, quedando el brazo y el soporte del polarímetro dispuestos hacia un lado, de manera que no interfieran con los demás elementos del montaje.

3. Antes de comenzar la Experiencia conviene realizar la puesta a cero del polarímetro: se deja fijo el polarizador; se afloja el tornillo prisionero colocado sobre el tubo ocular; se sitúa el nonio coincidiendo con los 90° de la escala; con la fuente luminosa conectada se observa por el ocular; se gira suavemente el analizador, y se busca el punto de máxima oscuridad; en ese momento se aprieta de nuevo el tornillo prisionero. (También puede situarse el nonio en 0° y buscar el punto de máxima claridad, pero este es más difícil de localizar).

4. Para la toma de datos se procede del siguiente modo:
   a) Conectar la fuente luminosa de manera que incida sobre el polarizador; entre ambos poner un cristal traslúcido, que sirve como difusor.
   b) Colocar la sonda del Luxómetro en el otro extremo del polarímetro, lo más próxima posible al analizador y rodeada de un capuchón para evitar la entrada de luz del exterior.
   c) Conectar el luxómetro a la primera entrada analógica del amplificador de medida, colocada en la escala de 10 mV, y éste al Interfaz.
   d) En el programa LAO elegir el *módulo* de **intensidad luminosa**; como *instrumentos* **luxómetro** y **teclado**; fijar la escala del luxómetro a 300 lx. Al *comenzar experimento* establecer la toma de 181 medidas.



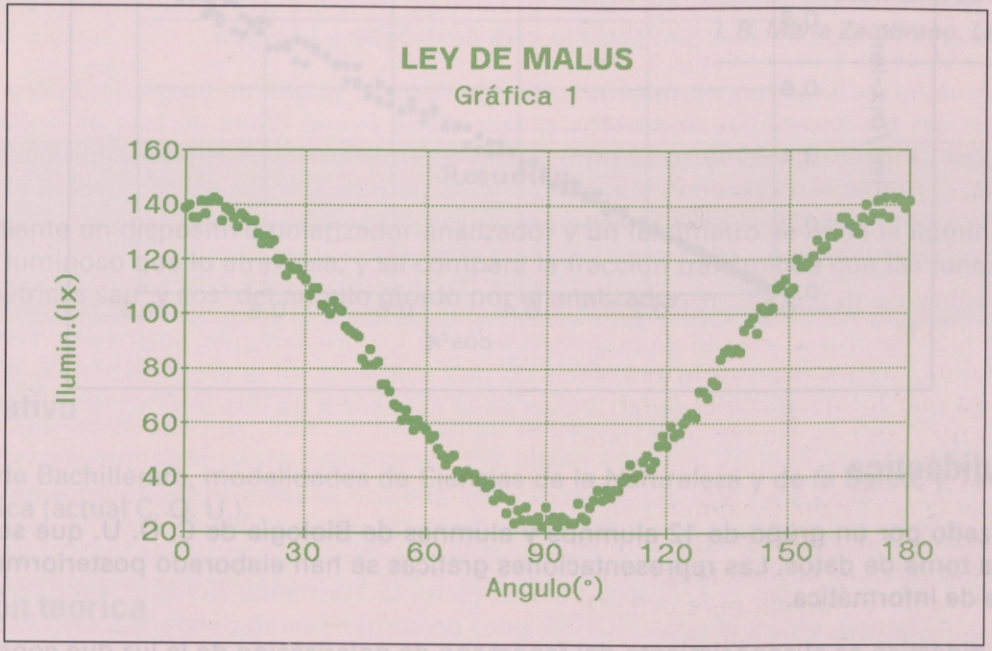
1.- Fuente luminosa.
2.- Difusor.
3.- Polarímetro.
4.- Sonda del luxómetro.

FIGURA 1

   e) Comenzar el experimento con los polarizadores paralelos (situando el nonio coincidiendo con los 0° de la escala); después de cada medida hacer girar 1° el tubo ocular, con lo cual los datos recogidos corresponderán a los ángulos comprendidos entre 0° y 180° de giro del analizador con respecto al polarizador.

Actividades y elaboración de conclusiones

Los datos de lectura del luxómetro (fichero **LMALUS.DAT**) se representan gráficamente frente al ángulo de los polarizadores (gráfica 1), observándose la distribución de máximos y mínimos.



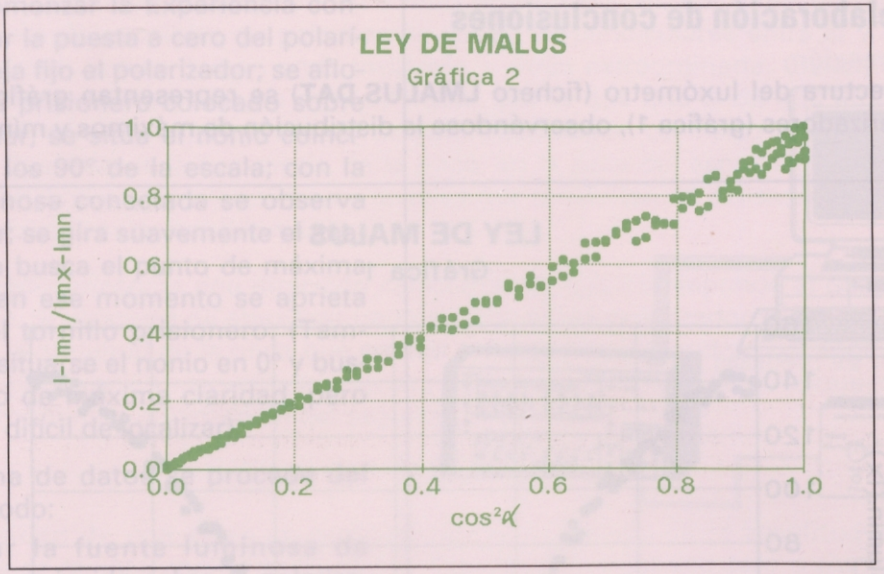
La lectura mínima no suele ser cero, por lo que una mejor representación, de los datos de la ecuación [1] sería del tipo:

$$I = p \cos^2\alpha + q$$

Si llamamos Imax al valor máximo de I e Imin al mínimo, q sería Imin y p sería Imax – Imin , y poniendo al mismo lado de la ecuación los valores de medidas de intensidad de la luz, resulta:

$$(I - Imin)/(Imax - Imin) = \cos^2\alpha \quad [2]$$

Representando (I – Imin)/(Imax – Imin) frente a $\cos^2\alpha$ (gráfica 2) se obtendrá una recta de pendiente unidad y ordenada en el origen nula que se puede ajustar por mínimos cuadrados mediante la Hoja de Cálculo para determinar la bondad de la correlación.



Aplicación didáctica

Se ha realizado por un grupo de 12 alumnos y alumnas de Biología de C. O. U. que se han turnado para realizar la toma de datos. Las representaciones gráficas se han elaborado posteriormente, por grupos, en el aula de Informática.

El objetivo didáctico es el conocimiento del fenómeno de polarización de la luz que constituye la base para el estudio de la actividad óptica de diversos compuestos biológicos.

Bibliografía

ALONSO, M., y FINN, E. J.: *Física* (vol II) (2.ª ed.). Madrid: Fondo Educativo Interamericano, 1970.

CATALÁ DE ALEMANY, J.: *Física general* (7.ª ed.). Valencia: Fundación García Muñoz, 1977.

SEARS, F. W., y ZEMANSKY, M. W.: *Física general* (5.ª ed.). Madrid: Ed. Aguilar, 1970.

Ley de Malus

Herrán Martínez C.
Seminario de Física y Química
I. B. María Zambrano. Leganés (Madrid)

Resumen

Mediante un dispositivo polarizador-analizador y un luxómetro se mide la iluminación de un haz luminoso que lo atraviesa, y se compara la fracción transmitida con las funciones trigonométricas sen^2 y cos^2 del ángulo girado por el analizador.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La naturaleza de la luz ha sido objeto de controversia a lo largo de prácticamente toda la Historia de la Ciencia, y en concreto de la Física. La decantación, no del todo entusiasta, de Newton en favor de la hipótesis corpuscular hizo que durante el siglo XVIII ésta fuese la opción hegemónica en la comunidad científica. En 1801 la realización de procesos de interferencias luminosas por Young puso en brete la explicación aceptada; en 1808 Malus descubre la polarización por reflexión, y la explica en base a la existencia de dos tipos de corpúsculos, con "polarizaciones opuestas". Es en 1817 cuando Fresnel recogió toda la información experimental existente y la explicó coherentemente desde la hipótesis ondulatoria. Quedaban abiertas las cuestiones fundamentales acerca de la naturaleza de las ondas luminosas y del sustrato material de su propagación.

La solución parcial a estos interrogantes es la Teoría de Maxwell (1865): la luz es una onda electromagnética, tal que el C. eléctrico y el C. magnético que se propagan se autogeneran; sus direcciones junto con la dirección de propagación de la onda forman un triedro rectangular, por lo que la onda es una *onda transversal*. La confirmación experimental de la Teoría Electromagnética fue realizada por Hertz en 1888.

Dada la transversalidad de la onda electromagnética, tiene sentido físico la definición del plano formado por la dirección del C. eléctrico y la dirección de propagación, al que se denomina *plano de polarización*. Si este plano permanece constante en el transcurso de la propagación, la onda, la luz, está *plano o linealmente polarizada*. Si este plano gira uniformemente alrededor del eje de propagación, y con el período de la onda, se dice que la luz está *circularmente o elípticamente polarizada*, según que la superposición de las posiciones del extremo del vector C. eléctrico describa una circunferencia o una elipse en un período; así sea el sentido de este giro la onda será dextrógira o levógira.

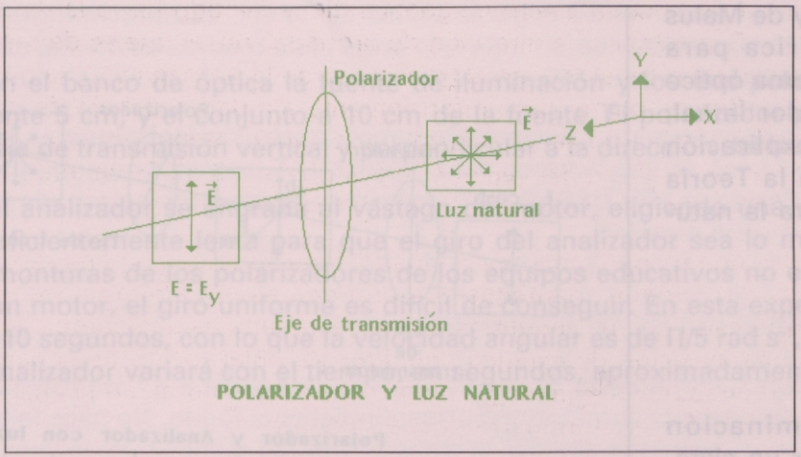
La luz que proviene de una fuente luminosa ordinaria tiene su origen en un gran número de emisores atómicos que emiten en direcciones orientadas al azar. Cada átomo emite un tren de ondas polarizado durante un tiempo aproximado de 10^{-8} segundos; el haz resultante es una combinación de los diferentes trenes de ondas, y es una sucesión de estados definidos de polarización no separables observacionalmente. A este tipo de luz se la denomina luz no polarizada o luz natural, en la cual el vector C. eléctrico de la onda electromagnética varía de forma irregular y aleatoria.

Un *polarizador* es un dispositivo óptico que al paso de luz natural produce un haz polarizado (lineal, circular, etc.), o bien cambia el estado de polarización de la luz previamente polarizada. Todos los sistemas polarizadores se basan, bien en la existencia de una asimetría en la propagación de la luz (Dicroísmo, Reflexión, Dispersión o Birrefringencia), o bien en la existencia de una interacción sistema-luz (efectos Kerr y Faraday).

Los polarizadores utilizados en esta experiencia, y los que son usuales en los equipos de óptica en los centros, lo son debido al *Dicroísmo*: presentan una fuerte absorción selectiva del C. eléctrico en una dirección determinada, y una fuerte transparencia a este campo en una dirección perpendicular. Existen cristales naturales que presentan la propiedad citada como la Turmalina (Silicato de Boro con cationes de Sodio, Hierro, Aluminio, etc., y el grupo (OH)–), pero presentan una dependencia respecto de la longitud de onda.

En 1928 E. H. Land inventó el polarizador dicroico en hojas (Hoja J) utilizando Herapatita (Peryoduro sulfatado de quinina); en 1938 inventó la denominada Hoja H mediante alcohol de polivinilo con iodo con un soporte orgánico: los electrones de conducción del ión I^{1-} hacen conductoras a las cadenas hidrocarbonadas del soporte, de tal forma que el vector C. eléctrico de la onda electromagnética es "absorbido" en esta dirección. La dirección que definen las cadenas conductoras se denomina eje de extinción, y la dirección perpendicular eje de transmisión. En un polarizador lineal ideal no existen pérdidas debidas a reflexiones o absorciones incontroladas originadas por alineamientos desiguales de las cadenas poliméricas y el C. eléctrico del haz emergente sale paralelo al eje de transmisión, la luz sale linealmente polarizada.

Si se hace girar el polarizador alrededor del eje Z, la lectura del detector permanece invariable, dado que se mide la Iluminación, que es proporcional a E^2 (la Intensidad luminosa, en W m^{-2}, viene dada por el módulo del *vector de Poynting*, proporcional a E^2, y la Iluminación, en lx, es proporcional a la Intensidad).



POLARIZADOR Y LUZ NATURAL

Con Luz despolarizada, la I_{inc} es proporcional a $\langle(E_x^2 + E_y^2)\rangle = \langle E_x^2\rangle + \langle E_y^2\rangle$, y admitiendo que estos valores medios son iguales, se tiene que la I_{inc} es proporcional a $2\langle E_y^2\rangle$. Si el polarizador selecciona únicamente la componente E_y, la I_{transm} es proporcional a $\langle E_y^2\rangle$, y por tanto $I_{transm} = I_{inc} / 2$; en esta situación el *Factor de transmisión* sería del 50%. Lo más usual es que el factor sea del orden del 30%, lo que implicaría que el polarizador deja pasar únicamente del orden del 60% de la intensidad asociada al eje de transmisión.

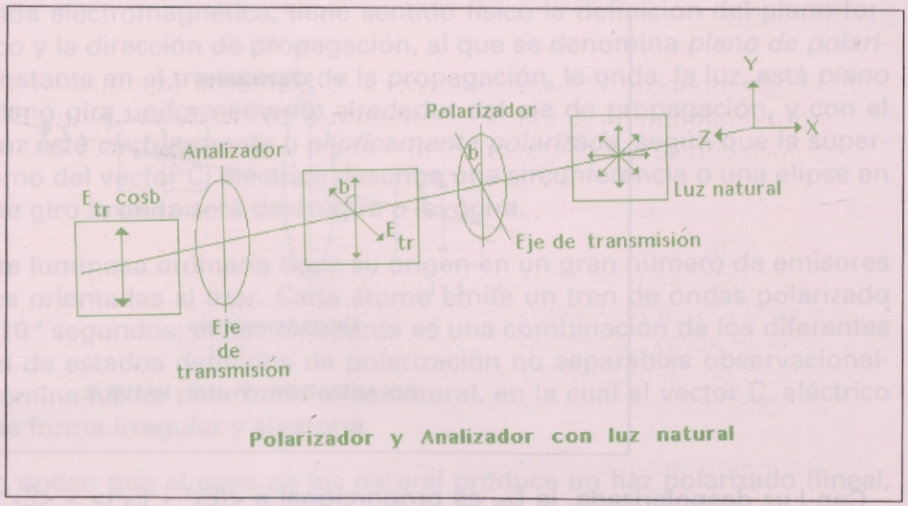
El polarizador selecciona una dirección de polarización, y al girar el analizador la onda transmitida tendrá un C. eléctrico de amplitud $E_{tr} = E_{in} \cos b$, con lo que la intensidad transmitida será proporcional a $(E_{in} \cos b)^2$, esto es:

$$I_{transm} = I_{incid} \cos^2 b \qquad \text{Ley de Malus}$$

La expresión anterior suministra la Iluminación, salvo un factor de proporcionalidad, transmitida por un polarizador sobre el que incide luz linealmente polarizada, siendo b el ángulo que forma el eje de transmisión del polarizador y la dirección del C. eléctrico de la onda electromagnética.

Si se introduce un segundo polarizador idéntico al primero, y colocado después de éste, realiza un papel de *Analizador*, actuando sobre la luz emergente del primer polarizador, el *Polarizador* propiamente dicho. La expresión de la ley de Malus es aplicable a esta situación, siendo b el ángulo que forman los ejes de transmisión del Polarizador y del Analizador; I_{transm} e I_{incid} serían las Iluminaciones emergente e incidente en el Analizador. Si b = 90° la Iluminación transmitida es nula, lo que se expresa diciendo que ambos polarizadores están en *extinción*.

Obviamente la Ley de Malus es la prueba empírica para determinar si un sistema óptico es o no un polarizador lineal; asimismo su única explicación coherente reside en la Teoría Electromagnética para la naturaleza de la luz.



Polarizador y Analizador con luz natural

Objetivos

— Medir la iluminación transmitida por un sistema de polarizador-analizador, ambos lineales.

— Encontrar la dependencia de la fracción de Iluminación transmitida en función del ángulo que forman los ejes de transmisión de ambos polarizadores.

Material

— Banco de óptica.

— Fuente de iluminación halógena (55 W - 12 V) con transformador.

— Polarizadores lineales con montura giratoria (2).

— Motor síncrono.

— Goma elástica ancha.

— Luxómetro y sonda de luz.

— Interfaz CENT.

— Programas LAO y WORKS.

— Ordenador e Impresora.

Procedimiento

1. Se disponen en el banco de óptica la fuente de iluminación y los dos polarizadores, separados aproximadamente 5 cm, y el conjunto a 10 cm de la fuente. El polarizador propiamente dicho se coloca con su eje de transmisión vertical y perpendicular a la dirección del banco.

2. La montura del analizador se engrana al vástago del motor, eligiendo una velocidad de rotación para éste lo suficientemente lenta para que el giro del analizador sea lo más uniforme posible. Dado que las monturas de los polarizadores de los equipos educativos no están preparadas para engranarse a un motor, el giro uniforme es difícil de conseguir. En esta experiencia el período ha sido de aprox. 10 segundos, con lo que la velocidad angular es de $\Pi/5$ rad s^{-1}, y por tanto el ángulo girado por el analizador variará con el tiempo, en segundos, aproximadamente según la expresión $b = 36t^0$.

3. Se realizaron dos tipos de muestras: en una se parte de una situación en la que los ejes de transmisión del polarizador y del analizador son paralelos, esto es, el sistema se encontraría inicialmente en el estado de máxima transmisión. La otra muestra se realiza a partir de una situación en la que los dos ejes de transmisión son perpendiculares, con lo que el sistema se encontraría inicialmente en el estado de extinción total. Las posiciones de partida se obtienen manualmente visualizando los registros del luxómetro.

4. En el menú del programa LAO se elige en el *módulo* **intensidad luminosa** los *instrumentos* **reloj** y **luxómetro**, siguiéndose las pautas del programa. En cada muestra registrada se obtienen dos columnas de datos: la correspondiente al tiempo y la de la iluminación registrada por el luxómetro.

5. La escala del luxómetro se ajusta para evitar que no existan saturaciones durante la medida y para obtener una

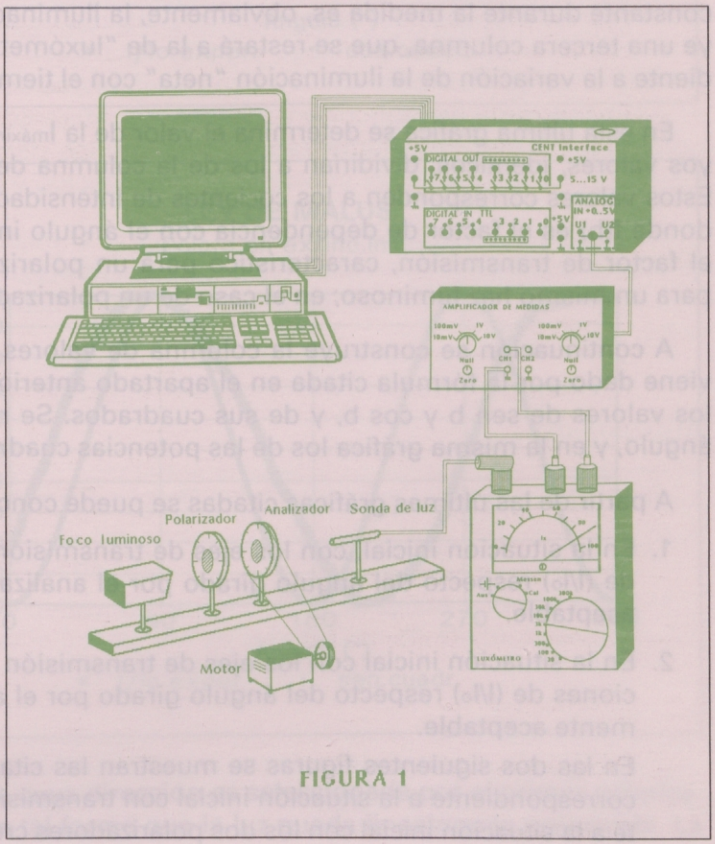


FIGURA 1

buena resolución; en concreto se eligió la escala de 30 klx. La duración total del conjunto de las medidas fué de 10 segundos, con un intervalo entre cada medida de 10 ms; en total en cada muestra se realizaron 1000 medidas.

6. Una vez realizada cada medida y después de haber construido las columnas necesarias se almacenan las Hojas del LAO, en los ficheros **MALUSCRU.DAT**, correspondiente a los polarizadores inicialmente en extinción, y **MALUSPAR.DAT**, correspondiente a los polarizadores dispuestos inicialmente con transmisión máxima.

Actividades y elaboración de conclusiones

A partir de los datos experimentales se representan en una gráfica XY las medidas del luxómetro en función del tiempo, midiéndose la iluminación correspondiente al fondo. No hace falta blindar ópticamente el sistema, dado que se pretende evaluar la transmisión del dispositivo; lo que sí debe permanecer constante durante la medida es, obviamente, la iluminación del entorno. Con el valor de I_{fondo} se construye una tercera columna, que se restará a la de "luxómetro", generándose una cuarta columna correspondiente a la variación de la iluminación "neta" con el tiempo, que se representaría gráficamente.

En esta última gráfica se determina el valor de la $I_{máxima}$, con la que se formaría una quinta columna, cuyos valores, idénticos, dividirían a los de la columna de I_{neta}, generándose la columna denominada (I/I_0). Estos valores corresponden a los cocientes de Intensidades transmitidas; ahora bien, $I_{transm} = I_{inc} \times f(b) \times F$, donde f(b) es el factor de dependencia con el ángulo inter-ejes que varía obviamente entre 0 y 1, y F es el factor de transmisión, característico para un polarizador dado. Obviamente $I_{transm} / I_{transm.máx.} = f(b)$ para un mismo haz luminoso; en el caso de un polarizador lineal $f(b) = \cos^2 b$.

A continuación se construye la columna de valores del ángulo girado desde la posición inicial, que viene dado por la fórmula citada en el apartado anterior. Se generarían a continuación las columnas de los valores de sen b y cos b, y de sus cuadrados. Se representarían los valores de (I/I_0) en función del ángulo, y en la misma gráfica los de las potencias cuadradas del seno o del coseno según el caso.

A partir de las últimas gráficas citadas se puede concluir que:

1. En la situación inicial, con los ejes de transmisión paralelos, la concordancia entre las variaciones de (I/I_0) respecto del ángulo girado por el analizador, y la del $\cos^2$ del ángulo es cualitativamente aceptable.
2. En la situación inicial con los ejes de transmisión perpendiculares, la concordancia entre las variaciones de (I/I_0) respecto del ángulo girado por el analizador, y la del sen^2 del ángulo es cualitativamente aceptable.

   En las dos siguientes figuras se muestran las citadas representaciones gráficas; en primer lugar la correspondiente a la situación inicial con transmisión máxima, y en segundo lugar la correspondiente a la situación inicial con los dos polarizadores cruzados, en la posición de máxima extinción.

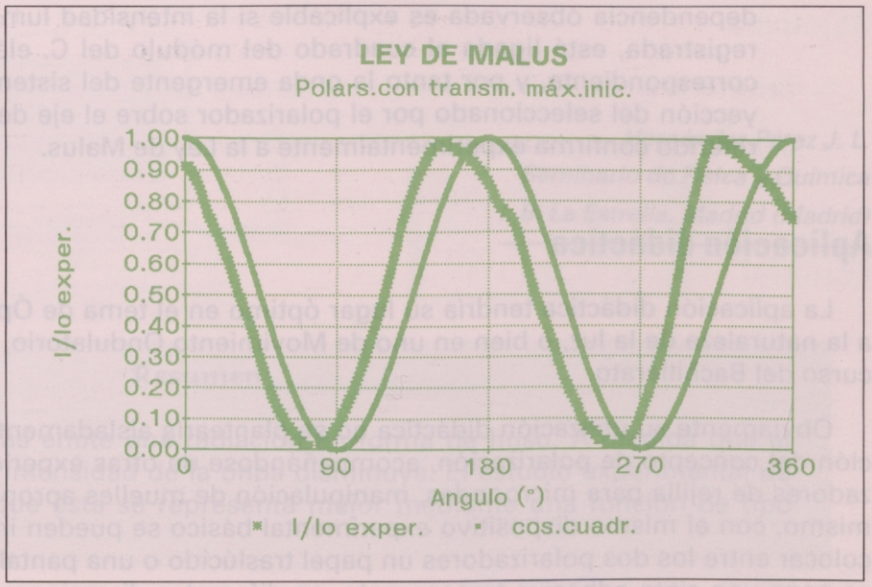
3. Las discrepancias observables se deben obviamente a la no uniformidad del giro del analizador, así como a posibles irregularidades estructurales de los polarizadores utilizados, a dependencias del factor F con la longitud de onda y a la incorrección en las condiciones iniciales de transmisión y extinción totales.

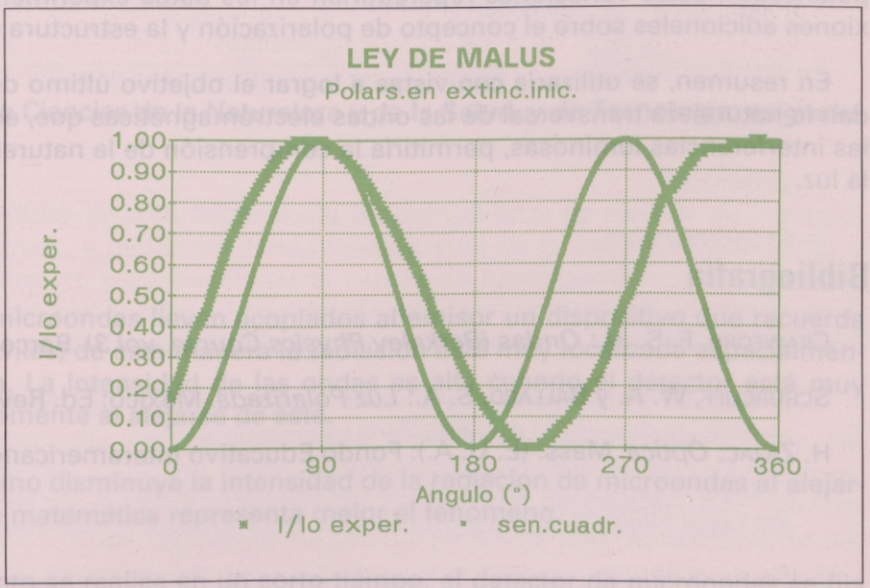
4. *Conclusiones*

a) En el caso de ejes de transmisión inicialmente paralelos, el ángulo formado por los dos ejes en el transcurso de la experiencia viene dado directamente por la expresión $36t^{o}$, mientras que cuando la situación inicial es de extinción, el ángulo inter-ejes viene dado por $(90 + 36\ t)^{o}$.

b) La iluminación registrada por el luxómetro dependerá del ángulo que forman los ejes de transmisión de los dos polarizadores, y en concreto de su coseno al cuadrado.

c) Los puntos anteriores son congruentes con la concepción de que la luz es una onda electromagnética portadora de un vector C. eléctrico, cuya dirección es seleccionada por el primer polarizador, el polarizador propiamente dicho, de tal forma que la luz queda linealmente polarizada. La





dependencia observada es explicable si la intensidad luminosa, proporcional a la iluminación registrada, está ligada al cuadrado del módulo del C. eléctrico de la onda electromagnética correspondiente, y por tanto la onda emergente del sistema tendrá un vector C. eléctrico proyección del seleccionado por el polarizador sobre el eje de transmisión del analizador. Todo lo referido confirma experimentalmente a la Ley de Malus.

Aplicación didáctica

La aplicación didáctica tendría su lugar óptimo en el tema de Óptica, en el apartado correspondiente a la naturaleza de la luz, o bien en uno de Movimiento Ondulatorio, en la asignatura de Física del último curso del Bachillerato.

Obviamente su utilización didáctica no se plantearía aisladamente sino en el contexto de la introducción del concepto de polarización, acompañándose de otras experiencias como: la utilización de polarizadores de rejilla para microondas, manipulación de muelles apropiados (skins) y de cuerdas, etc. . Asimismo, con el mismo dispositivo experimental básico se pueden introducir modificaciones, tales como colocar entre los dos polarizadores un papel traslúcido o una pantalla opaca con un orificio sobre el que se pega una cinta adhesiva transparente, en diferentes direcciones respecto del eje de transmisión del polarizador; estas variaciones repercutirían en los datos experimentales registrados, permitiendo reflexiones adicionales sobre el concepto de polarización y la estructura de los polarizadores.

En resumen, se utilizaría con vistas a lograr el objetivo último de que los alumnos y alumnas aprendan la naturaleza transversal de las ondas electromagnéticas que, en convergencia con el tratamiento de las interferencias luminosas, permitiría la comprensión de la naturaleza ondulatoria electromagnética de la luz.

Bibliografía

CRAWFORD, F. S. Jr.: *Ondas (Berkeley Physics Course, vol 3)*. Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1971.

SCHURCLIFF, W. A. y BALLARD, S. A.: *Luz Polarizada*. México: Ed. Reverté Mexicana, S. A., 1968.

H. ZAJAC: *Óptica*. Mass. (E. U. A.): Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977.

Atenuación de las microondas

Hernández Pérez J. L.
Seminario de Física y Química
I. B. La Estrella. Madrid (Madrid)

Resumen

Un generador de microondas emite una radiación en forma de huso. A medida que el detector se aleja del emisor la intensidad de la onda disminuye. El estudio experimental de la atenuación parece indicar que ésta se representa mejor mediante una función de tipo exponencial.

Nivel educativo

2.° de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.)

Introducción teórica

Los generadores comerciales de microondas llevan acoplados al emisor un dispositivo que recuerda a las bocinas antiguas de los automóviles; de esta manera la radiación está muy localizada espacialmente a lo largo del eje de dicha bocina. La intensidad de las ondas es alta cuando el detector está muy cerca del emisor, y disminuye notablemente al alejarse de éste.

En este experimento se estudia cómo disminuye la intensidad de la radiación de microondas al alejarnos del emisor, así como qué función matemática representa mejor el fenómeno.

Con el objeto de que el experimento se realice en un corto tiempo, el detector de microondas se fija sobre un carrito autopropulsado que se mueve con velocidad constante, con lo que se sustituye la medida directa de las distancias por los tiempos dado, que $s = v\,t$, y en consecuencia s y t son magnitudes directamente proporcionales.

Objetivos

— Obtener la gráfica tensión-tiempo del detector de microondas, a medida que se aleja del emisor.

— Comprobar que la curva obtenida se ajusta razonablemente bien mediante una función exponencial.

Material

— Base de soporte.

— Carril.

— Carrito autopropulsado.

— Detector de microondas.

— Generador de microondas.

— Amplificador de medidas.

— Impresora.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

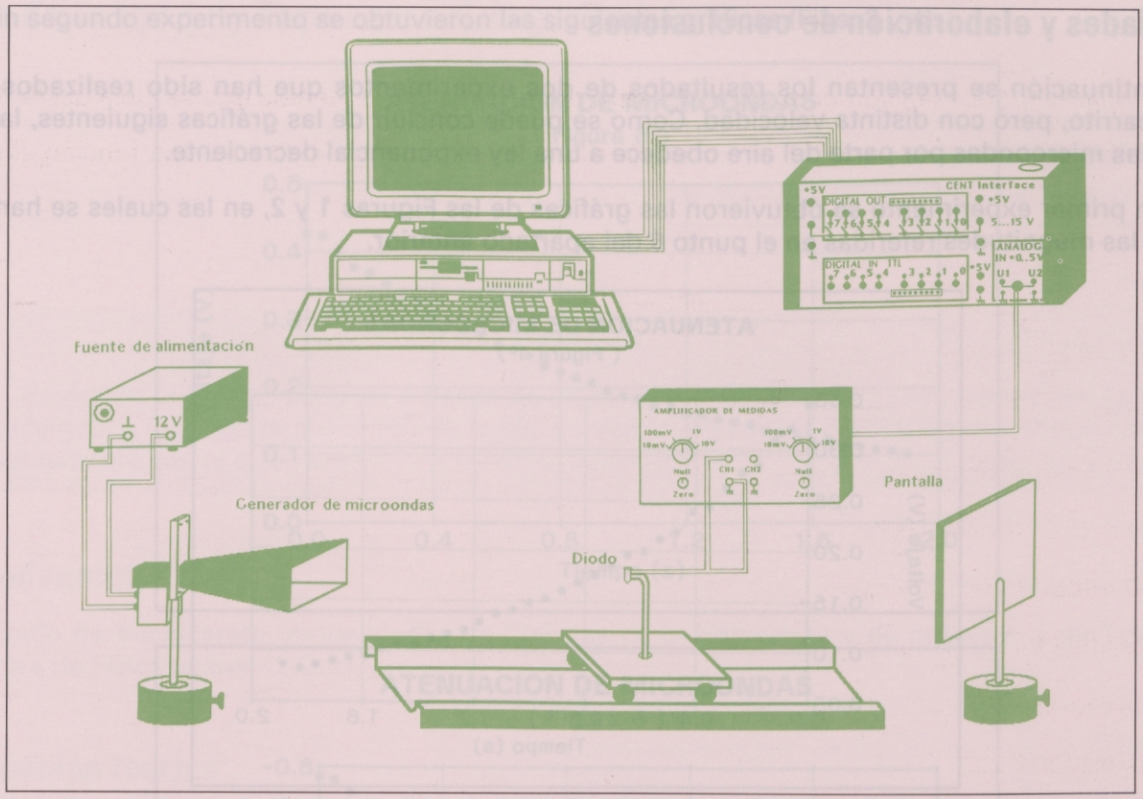
— Programa LAO.

Procedimiento

1. El detector de ondas se une al carrito autopropulsado por medio de cinta adhesiva, y se coloca sobre el carril, realizando el montaje de la página siguiente.

2. Colocar a la misma altura la bocina del microondas y el detector. El carrito se movería a lo largo del carril alejándose del generador de microondas. Preparar el programa LAO.

3. En pantalla debe tenerse la Hoja de Cálculo, y los dos gráficos en blanco. Seleccionar el *módulo* de **corriente variable**, y elegir como *instrumentos* el **reloj** y el **voltímetro 1**. El amplificador de medidas estaría en la escala de 1 V. Este valor depende fundamentalmente de la sensibilidad del detector.



4. Programar un tiempo entre medidas de 0.05 segundos y un tiempo total de medida de 2 segundos. Ambos valores son indicativos, y dependen fundamentalmente de la velocidad del carrito y de la figura que se desea obtener en pantalla. Poner el carrito en funcionamiento, reteniéndole junto a la bocina del generador de microondas, el cual se conectaría a continuación. Soltar el carrito y pulsar después una tecla. En los ficheros **MICRO1.DAT** y **MICRO2.DAT** se encuentran los datos de las experiencias realizadas.

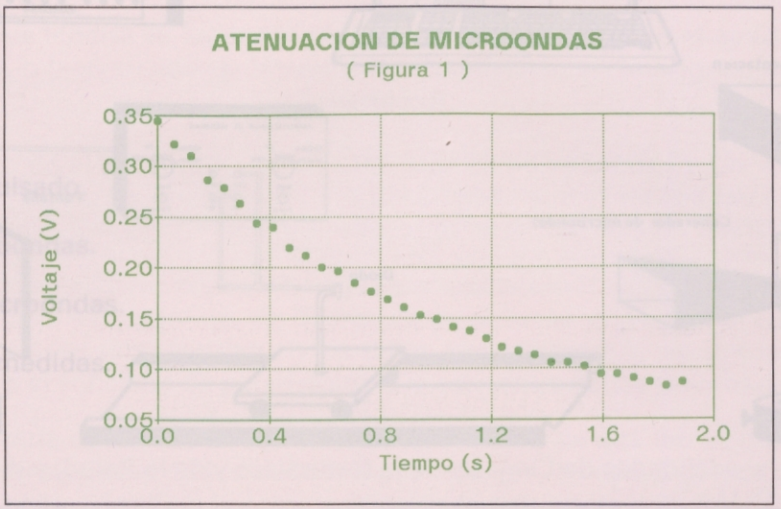
5. Representar en el eje X los valores del tiempo, y en el eje Y los de la tensión. Se obtendrá una curva semejante a las de las figuras 1 o 3. Tomando logaritmos neperianos de los valores de la tensión, y representándolos en el eje Y frente al tiempo en el eje X, se obtendrían unas gráficas semejantes a las de las figuras 2 o 4, en las cuales los puntos se encuentran sensiblemente alineados.

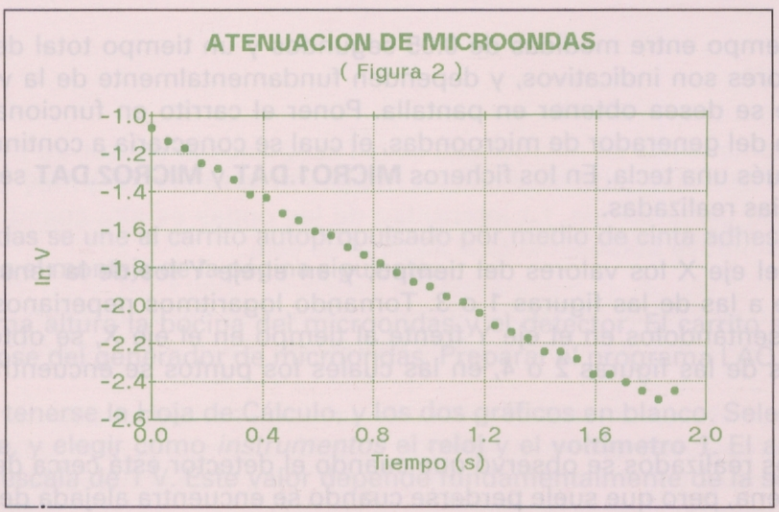
En los experimentos realizados se observó que cuando el detector está cerca del emisor la linealidad es razonablemente buena, pero que suele perderse cuando se encuentra alejada del emisor.

Actividades y elaboración de conclusiones

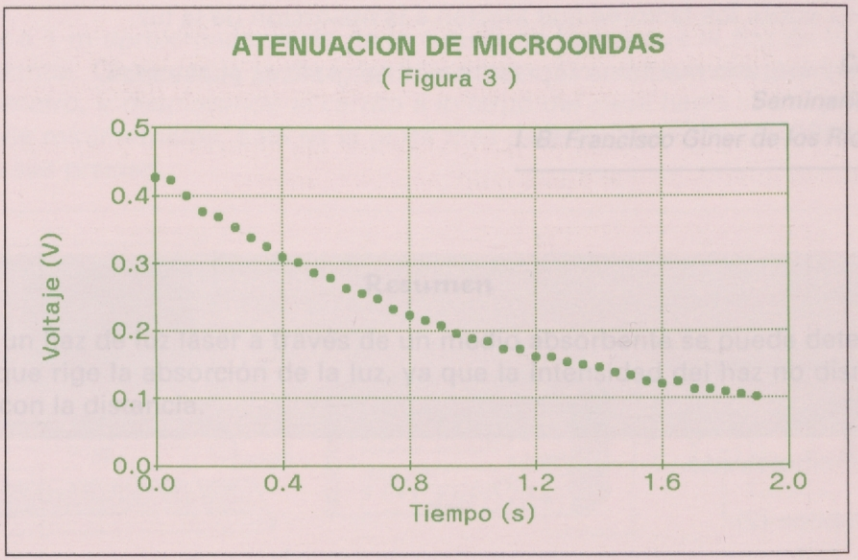
A continuación se presentan los resultados de dos experimentos que han sido realizados con el mismo carrito, pero con distinta velocidad. Como se puede concluir de las gráficas siguientes, la absorción de las microondas por parte del aire obedece a una ley exponencial decreciente.

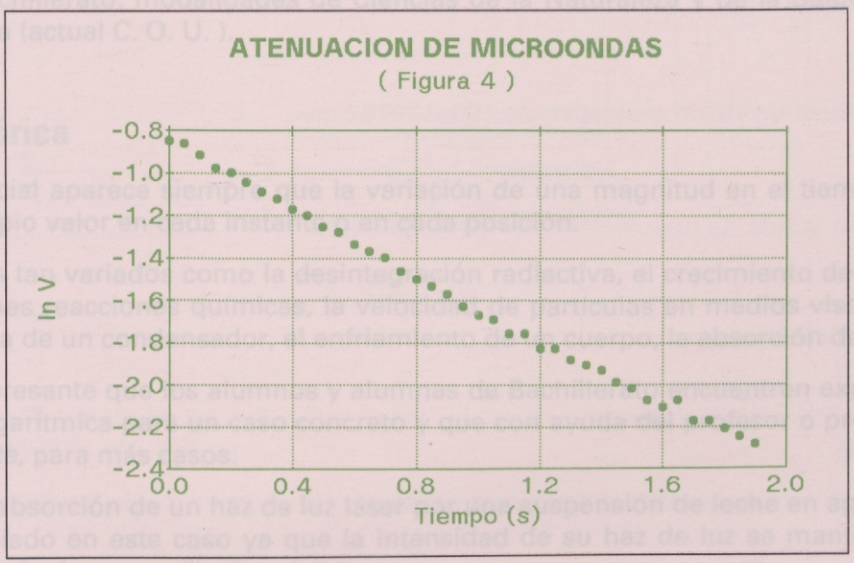
En un primer experimento se obtuvieron las gráficas de las Figuras 1 y 2, en las cuales se han representado las magnitudes referidas en el punto 6 del apartado anterior.





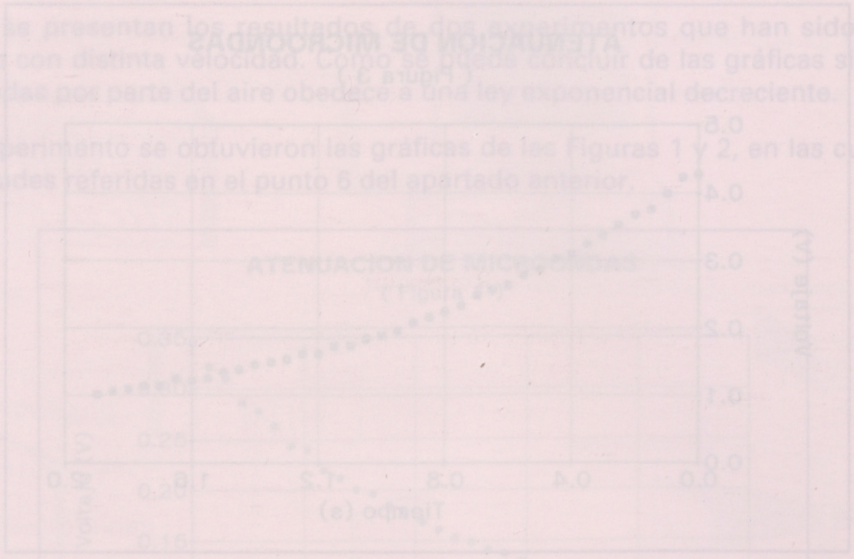
En un segundo experimento se obtuvieron las siguientes gráficas (Figs. 3 y 4):





Bibliografía

TIPLER, P. A.: *Física* (**). Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.


ATENUACION DE MICROONDAS
Tiempo (s)

ATENUACION DE MICROONDAS
Tiempo (s)

Absorción de la luz. Ley exponencial-logarítmica

Calderón Fernández R.
Seminario de Física y Química
I. B. Francisco Giner de los Ríos. Segovia (Segovia)

Resumen

Enviando un haz de luz láser a través de un medio absorbente se puede determinar la ley matemática que rige la absorción de la luz, ya que la intensidad del haz no disminuye apreciablemente con la distancia.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La ley exponencial aparece siempre que la variación de una magnitud en el tiempo o en el espacio dependa de su propio valor en cada instante o en cada posición.

Rige fenómenos tan variados como la desintegración radiactiva, el crecimiento de las poblaciones, la velocidad de muchas reacciones químicas, la velocidad de partículas en medios viscosos, los procesos de carga y descarga de un condensador, el enfriamiento de un cuerpo, la absorción de la luz, etc.

Es sin duda interesante que los alumnos y alumnas de Bachillerato encuentren experimentalmente la ley exponencial-logarítmica para un caso concreto y que con ayuda del profesor o profesora la generalicen, *razonadamente*, para más casos.

Se estudiará la absorción de un haz de luz láser por una suspensión de leche en agua. El uso del láser resulta muy apropiado en este caso ya que la intensidad de su haz de luz se mantiene prácticamente constante en ausencia de un medio absorbente.

Si I_0 es la intensidad de la luz antes de penetrar en el medio absorbente e **I** es la intensidad a una distancia **x**, se encuentra que $I = I_0 \cdot e^{-kx}$

Objetivos

— Emitir hipótesis sobre los factores que afectan a la absorción de la luz.

— Comprobar las hipótesis mediante representaciones gráficas adecuadas.

— Inducir la ley exponencial-logarítmica.

Material

— Láser de He-Ne.

— Carrito .

— Riel para carrito.

— Regla o papel milimetrado.

— Cables de conexión (2).

— Silicona.

— Leche.

— Cubeta prismática de vidrio o plástico de 100x12x16 cm.

— Ordenador.

— Luxómetro con sonda de luz.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Impresora.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Construir la cubeta prismática pegando las caras con silicona. Introducir dentro de la cubeta el riel y sujetarlo ligeramente al fondo con silicona.

2. Sujetar con cinta adhesiva la sonda del luxómetro al carrito y colocar éste sobre el riel. Pegar una cinta de papel milimetrado en la cara lateral de la cubeta y graduarla en cm.

3. Situar el láser a 1 m aproximadamente de la cubeta de forma que el haz de luz láser incida en el centro de la sonda. Observar la lectura del luxómetro. *Tirando suavemente del cable que une la sonda al luxómetro, ir desplazando el carrito a lo largo del carril* hasta conseguir que la lectura del luxómetro varíe mínimamente. Esta es la parte más delicada del experimento y hay que dedicarle el tiempo que sea preciso.

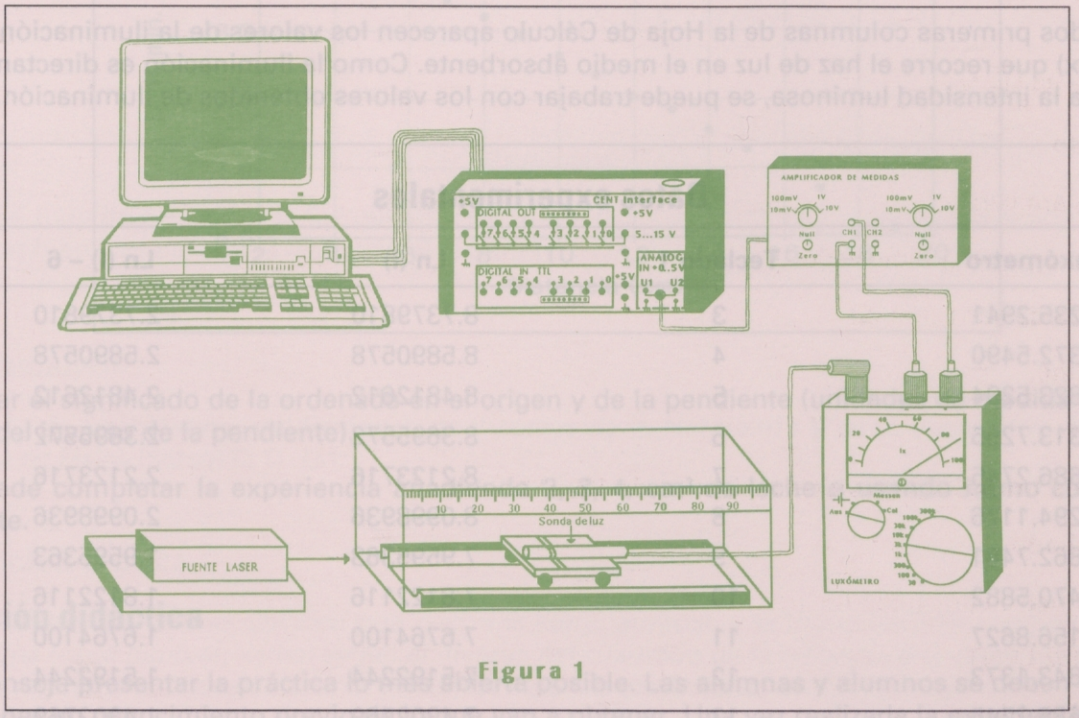


Figura 1

5. Echar agua en la cubeta hasta que cubra la sonda de luz y añadir 1 cc de leche. Situar el carrito en la posición más próxima al láser.

6. En la opción **captura**, elegir el *módulo* **intensidad luminosa** y como *instrumentos* el **luxómetro** y el **teclado1**.

7. Para elegir la escala apropiada escoger aquella opción para la cual la aguja del luxómetro se vaya a fondo de escala. En **comenzar el experimento** se regula el punto cero y se introducen unas 15 medidas.

8. Al pulsar una tecla, el ordenador espera la primera distancia. Introducirla (será de unos pocos cm) y pulsar **Intro**. Se requiere la distancia para la segunda medida. Alejar el carrito unos cm tirando del cable de la sonda. Repetir hasta completar todas las medidas.
9. Se guardan los resultados en el fichero **ABSORCIO.DAT**.

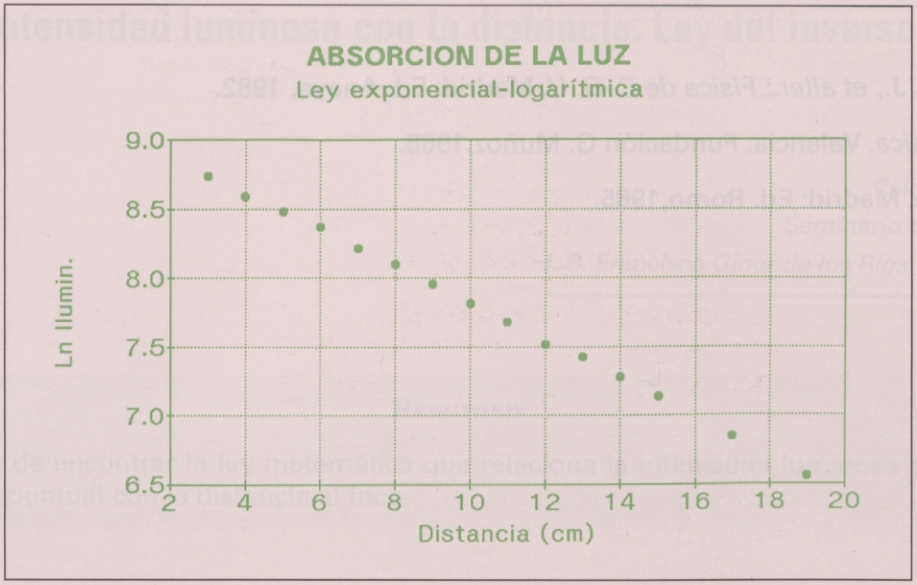
Actividades y elaboración de conclusiones

En las dos primeras columnas de la Hoja de Cálculo aparecen los valores de la iluminación (I) y de la distancia (x) que recorre el haz de luz en el medio absorbente. Como la iluminación es directamente proporcional a la intensidad luminosa, se puede trabajar con los valores obtenidos de iluminación.

Datos experimentales

Luxómetro	Teclado 1	Ln (I)	Ln (I) – 6
6235.2941	3	8.7379810	2.7379810
5372.5490	4	8.5890578	2.5890578
4823.5294	5	8.4812612	2.4812612
4313.7255	6	8.3695572	2.3695572
3686.2745	7	8.2123716	2.2123716
3294.1176	8	8.0998936	2.0998936
2862.7451	9	7.9595363	1.9595363
2470.5882	10	7.8122116	1.8122116
2156.8627	11	7.6764100	1.6764100
1843.1373	12	7.5192244	1.5192244
1686.2745	13	7.4302769	1.4302769
1450.9804	14	7.2799947	1.2799947
1254.9020	15	7.1348127	1.1348127
941.1765	17	6.8471307	0.8471307
705.8824	19	6.5594486	0.5594486

Obtener en la siguiente columna de la Hoja de Cálculo el valor del logaritmo neperiano de la iluminación (LI), y representar gráficamente LI = f(x). Se debe obtener una línea recta, tal como se observa en la siguiente gráfica.



Estudiar el significado de la ordenada en el origen y de la pendiente (unidades de medida y significado físico del inverso de la pendiente).

Se puede completar la experiencia añadiendo 2, 3, 4, cm^3 de leche o usando humo como medio absorbente.

Aplicación didáctica

Se aconseja presentar la práctica lo más abierta posible. Las alumnas y alumnos se deben enfrentar a ella sin tener un conocimiento previo de lo que van a obtener. Una vez realizada la experiencia se deben plantear, con ayuda del profesor o profesora, distintas hipótesis que se comprueban con ayuda del ordenador.

Se puede suponer que la intensidad de luz disminuye con la distancia: es inversamente proporcional a la distancia, o bien es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y claro está la relación correcta. Con la ayuda del ordenador la verificación de las hipótesis es rápida.

La experiencia se ha realizado con grupos de alumnos y alumnas voluntarios de tercero de B. U. P. y de C. O. U. En tercero de B. U. P. se realiza al estudiar la Desintegración Radiactiva, y en C. O. U. a lo largo del primer trimestre. Se aprovecha la última hora de la mañana, cuando los alumnos y alumnas no tienen clase y el profesor o profesora tiene una hora de Profundización.

Bibliografía

AGUILAR PERIS, J., *et alter.*: *Física de C. O. U.* Madrid: Ed. Anaya, 1982.

CATALÁ, J.: *Física.* Valencia: Fundación G. Muñoz,1968.

BRÚ, L.: *Física.* Madrid: Ed. Romo,1965.

Variación de la intensidad luminosa con la distancia. Ley del inverso del cuadrado

Calderón Fernández R.
Seminario de Física y Química
I. B. Francisco Giner de los Ríos. Segovia (Segovia)

Resumen

Se trata de encontrar la ley matemática que relaciona la intensidad luminosa procedente de un foco puntual con la distancia al foco.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La intensidad del campo eléctrico que crea una carga puntual, y la intensidad del campo gravitatorio debido a una masa puntual, varían según el inverso del cuadrado de la distancia a la carga o a la masa. La misma ley relaciona la intensidad sonora o luminosa a una distancia de un foco puntual de sonido o de luz.

Resulta didáctico que los alumnos y alumnas, con ayuda del equipo LAO, encuentren la ley del inverso del cuadrado para el caso de un foco puntual de luz y que con ayuda del profesor o de la profesora la generalice, *razonadamente*, para los demás casos mencionados.

Objetivos

— Emitir hipótesis sobre la emisión de la luz por un foco luminoso puntual, y comprobarlas con representaciones gráficas.

— Inducir la ley del inverso del cuadrado.

Material

— Bombilla (40 o 60 W).

— Trípode.

— Varilla soporte y varilla de 30 cm.

— Nuez(4).

— Cables de conexión(2).

— Pinza (2).

— Regla de 1 m.

— Ordenador.

— Luxómetro con sonda de luz.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de medidas.

— Impresora.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Montar el dispositivo de la figura. Tener la precaución de que: *a*) La varilla soporte (en la que se fija la bombilla y la sonda del luxómetro) y la regla estén verticales y paralelas entre sí. *b*) La bombilla y la sonda de luz estén alineadas verticalmente.
2. La bombilla se puede desplazar verticalmente sobre la varilla, de forma que se modifique la distancia a la sonda que recibe la luz.
3. Conectar el luxómetro a la primera entrada (CH1) del amplificador de medidas, ponerla a 100 V, y conectar el amplificador de medidas al Interfaz.

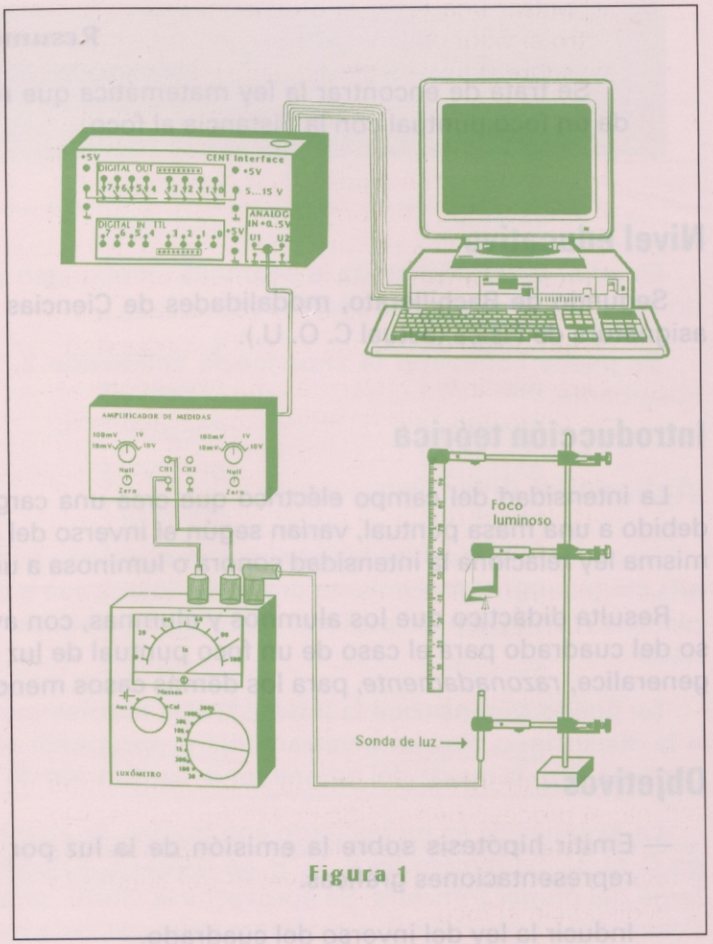


Figura 1

4. Colocar la bombilla a unos 20 cm de la sonda del luxómetro.
5. Elegir el *módulo* **intensidad luminosa**, y como *instrumentos,* el **luxómetro** y el **teclado 1**.
6. Para elegir la escala apropiada, encender la bombilla. Escoger aquella opción para la cual la aguja del luxómetro se vaya a fondo de escala. *No modificar la escala del luxómetro durante el experimento.*
7. En **Comenzar el experimento,** se reponde **sí (S)** a la pregunta si se desea regular el punto cero del luxómetro. Tapar con el dedo la entrada de luz en la sonda, y girar el potenciómetro "Zero" del amplificador de medidas hasta que la lectura del luxómetro en la pantalla del ordenador sea cero (0). Pulsar **Intro.**
8. Se solicita el número de medidas. Introducir el número (en torno a 15) y pulsar **Intro.**
9. Al pulsar una tecla, el ordenador espera la distancia entre el foco y la sonda. Introducirla. Al pulsar **Intro** el valor de la intensidad luminosa aparece sobre el luxómetro dibujado en la pantalla.
10. Se requiere la distancia para la segunda medida. Alejar la bombilla varios centímetros de la sonda e introducir el nuevo valor. Ir espaciando la bombilla de forma que el último dato sea en torno a los 80 cm de distancia. Mantener la bombilla encendida durante el desarrollo de la experiencia para evitar posibles fluctuaciones de intensidad.
11. Para medir las distancias, hay que colocarse de forma que la regla tape el filamento de la bombilla para evitar ser deslumbrados; la posición de aquél se establece por el resplandor que sale por el borde de la regla al desplazar ligeramente el ojo.
12. Se guardan los datos en el fichero **INVCUADR.DAT**

Datos experimentales

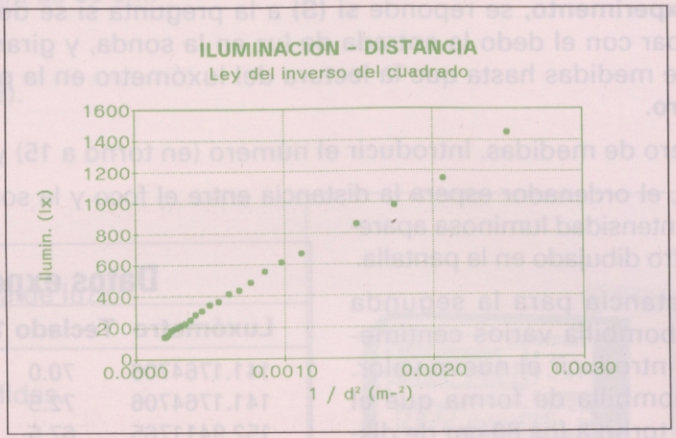
Luxómetro	Teclado 1	1/Tecl.1	$(1/Tecl.1)^2$
141.1764706	70.0	0.0142857	0.0002041
141.1764706	72.5	0.0137931	0.0001902
152.9411765	67.5	0.0148148	0.0002195
176.4705882	65.0	0.0153846	0.0002367
188.2352941	62.5	0.0160000	0.0002560
200.0000000	60.0	0.0166667	0.0002778
211.7647059	57.5	0.0173913	0.0003025
223.5294118	55.0	0.0181818	0.0003306
247.0588235	52.5	0.0190476	0.0003628
247.0588240	52.5	0.0190476	0.0003628
282.3529412	50.0	0.0200000	0.0004000
305.8823529	47.5	0.0210526	0.0004432
341.1764706	45.0	0.0222222	0.0004938
364.7058824	42.5	0.0235294	0.0005536
411.7647059	40.0	0.0250000	0.0006250
435.2941176	38.0	0.0263158	0.0006925
482.3529412	36.0	0.0277778	0.0007716
552.9411765	34.0	0.0294118	0.0008651
611.7647059	32.0	0.0312500	0.0009766
670.5882353	30.0	0.0333333	0.0011111
858.8235294	26.0	0.0384615	0.0014793
976.4705882	24.0	0.0416667	0.0017361
1152.9411765	22.0	0.0454545	0.0020661
1447.0588235	20.0	0.0500000	0.0025000

Actividades y elaboración de conclusiones

En las siguientes columnas a las obtenidas durante el proceso de medida en la Hoja de Cálculo del programa, obtener los valores correspondientes al inverso de la distancia y al inverso del cuadrado de la distancia al foco.

El luxómetro registra los valores de la Iluminación. Como la iluminación es proporcional a la intensidad luminosa, se puede trabajar directamente con los valores de iluminación que aparecen en la primera columna del ordenador.

Representar gráficamente la luminación frente al inverso de la distancia al foco y al inverso del cuadrado de la distancia al foco.



En la gráfica adjunta se representa la iluminación (I) en función del inverso del cuadrado de la distancia, y como se observa es una recta.

Aplicación didáctica

Se aconseja presentar la práctica lo más abierta posible. Después de que los alumnos y alumnas realicen la experiencia, deben de comprobar distintas hipótesis con la ayuda del profesor o profesora:

La intensidad luminosa puede disminuir con la distancia a la bombilla ($I = I_o - k.d$), o con el inverso de la distancia ($I = K.1/d$), o con el inverso del cuadrado de la distancia ($I = k.1/d^2$), etc. Con la ayuda del ordenador, la verificación de estas hipótesis es rápida y sin duda muy didáctica.

La experiencia se ha realizado con grupos de alumnos y alumnas voluntarios de 3.° de B. U. P. y de C. O. U. En tercero de B. U. P. se realiza al desarrollar el tema de Ondas, y en C. O. U antes de estudiar el tema de Campos. Se aprovecha la última hora de la mañana, cuando los alumnos y alumnas de estos cursos no tienen clase y el profesor o profesora tiene una hora de Profundización.

Bibliografía

Cualquier libro de Física de C. O. U. ó de Física general.

Medida de la longitud de onda

Hernández Pérez J.L.
Seminario de Física y Química
I. B. La Estrella. Madrid (Madrid)

Resumen

Se determina la longitud de onda y la frecuencia de una onda producida mediante un generador de microondas.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.).

Introducción teórica

Cuando una onda se propaga por un medio material y se refleja en un obstáculo, la onda incidente y la reflejada pueden interferir entre sí dando lugar a una onda estacionaria, la cual se caracteriza por presentar espacialmente lugares en que la amplitud adquiere un valor mínimo, llamados *nodos*, y lugares en donde la amplitud es máxima, llamados *vientres*.

Se puede demostrar que dos nodos consecutivos están separados entre sí por media longitud de onda, y que dos máximos consecutivos también están separados por media longitud de onda. En consecuencia, la distancia entre un nodo y un vientre consecutivos es un cuarto de longitud de onda.

Si se dispone de un sistema experimental que detecte los nodos o los vientres es posible medir la longitud de onda. En este experimento se utilizan microondas, que son ondas cuya longitud de onda es del orden de centímetros, y por medio de una pared reflectora se va a formar una onda estacionaria. Un detector permite localizar los nodos y vientres, y a partir de la distancia entre ellos es posible determinar la longitud de onda y posteriormente la frecuencia del vibrador que las produce, dado que dichas ondas electromagnéticas se propagan en el vacío a una velocidad de 3×10^8 m s^{-1}. Aunque el experimento se realiza en el aire, la velocidad de propagación es prácticamente la misma que en el vacío.

Objetivos

— Determinar la longitud de onda y la frecuencia producida por un emisor de microondas.

Material

— Bases de soportes.

— Carril.

— Carro autopropulsado.

— Cronómetro.

— Detector de microondas.

— Generador de microondas.

— Placa metálica reflectora.

— Regla graduada en milímetros.

— Amplificador de medidas.

— Impresora.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

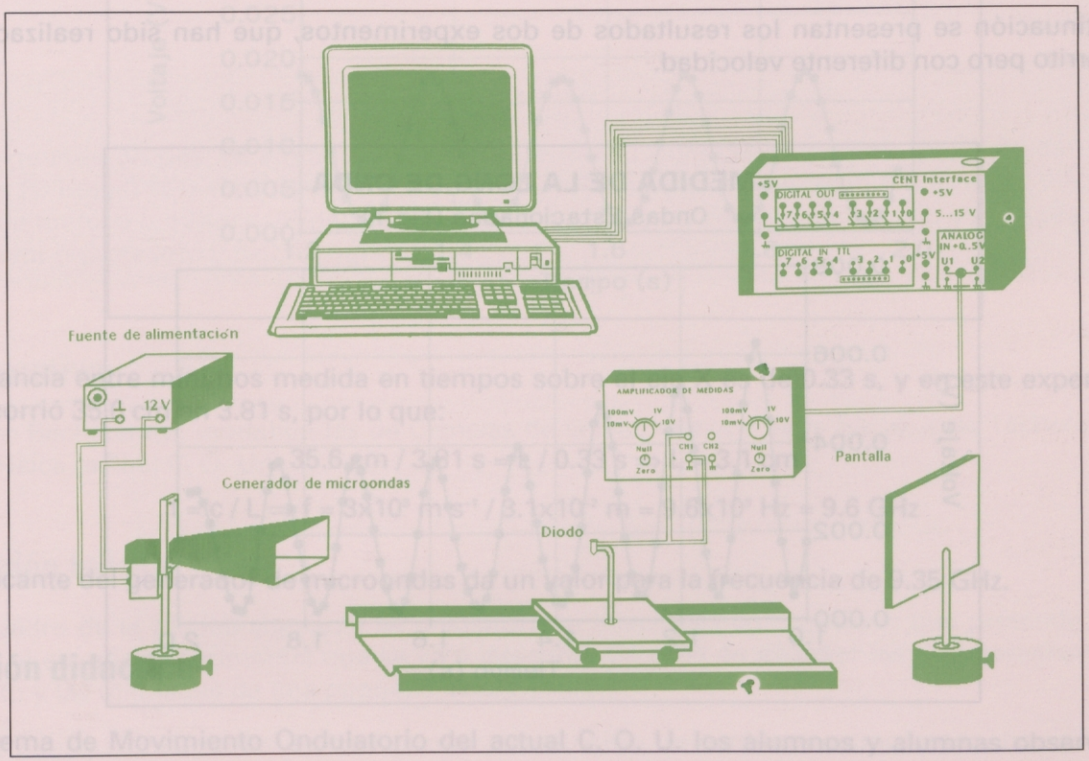
— Programa LAO.

Procedimiento

1. El detector de ondas se une al carrito autopropulsado por medio de una cinta adhesiva, y se coloca sobre el carril, realizándose el montaje siguiente, en el que hay que colocar a la misma altura la bocina del microondas, el detector y la pantalla. El carrito se mueve a lo largo del carril acercándose o alejándose del generador de microondas.

2. Cargar el programa LAO, y en consecuencia en la pantalla del ordenador debe tenerse la Hoja de Cálculo y los dos gráficos en blanco. Seleccionar para trabajar el *módulo* de **corriente variable**, y elegir como *instrumentos* el **reloj** y el **voltímetro 1**. El amplificador de medidas se dispondrá en la escala de 100 mV.

3. Programar un intervalo entre medidas de 0.01 segundos, y un tiempo total de medida de 2 segundos. Ambos valores son indicativos, y dependen fundamentalmente de la velocidad del carrito y de la figura que se desea obtener en pantalla. Conectar el generador de microondas y poner el carrito en funcionamiento, pulsando poco después una tecla para poner en marcha el proceso de medida. En los ficheros **ES3.DAT** y **ES4.DAT** están recogidos los datos experimentales de dos experiencias.



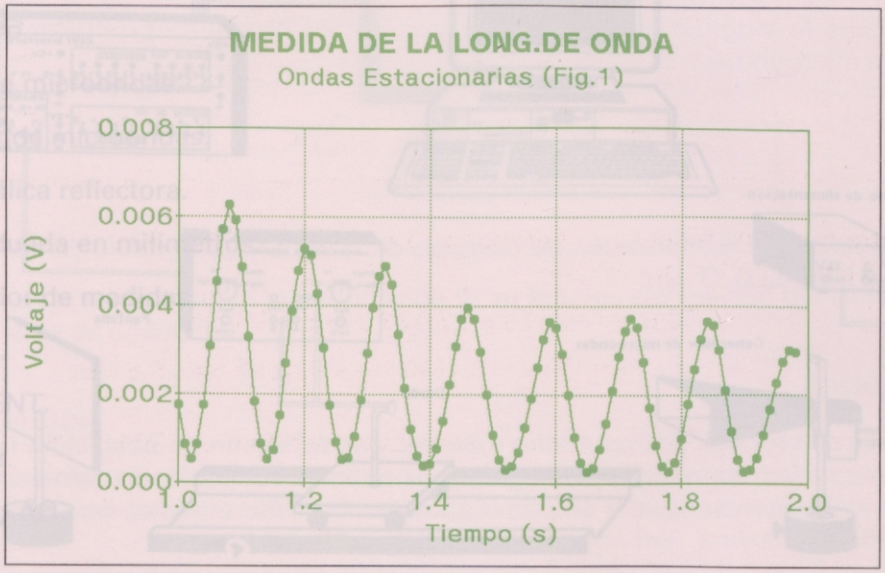
4. Marcar dos puntos sobre el carril, y con ayuda de un cronómetro, determinar el tiempo que el carrito tarda en recorrer la distancia entre los dos puntos; esta medida debe realizarse en las mismas condiciones en que se han registrado los datos anteriores.

5. Representar en el eje X los valores del tiempo y en el eje Y los de la tensión medida; se obtendrá una curva semejante a las de las figuras 1 o 2. Con el cursor gráfico, determinar los tiempos correspondientes a diferentes máximos y mínimos, obteniendo el valor promedio correspondiente a la longitud de onda (L).

6. Cambiando la velocidad del carrito se obtendría una gráfica semejante a las anteriores, sobre las que podría operarse como se ha descrito para obtener los valores correspondientes, y así obtener diferentes valores, obviamente muy parecidos, para poder realizar un tratamiento estadístico de las medidas.

Actividades y elaboración de conclusiones

A continuación se presentan los resultados de dos experimentos, que han sido realizados con el mismo carrito pero con diferente velocidad.

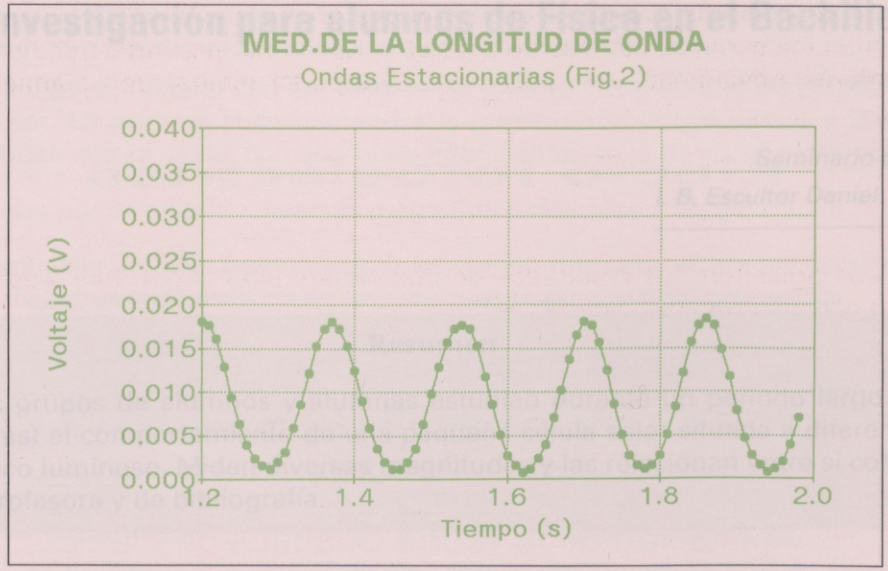


La Figura 1 corresponde al primer experimento, en el que la distancia entre los dos puntos marcados en el carril es 39.2 cm, que el carrito recorrió en 3.20 s. La distancia entre mínimos sobre el eje X de la gráfica es de 0.25 s, y por tanto:

$$39.2 \text{ cm} / 3.20 \text{ s} = L / 0.25 \text{ s} \Rightarrow L = 3.1 \text{ cm}$$

$$f = c / L \Rightarrow f = 3\times10^{8} \text{ m s}^{-1} / 3.1\times10^{-2} \text{ m} = 9.6\times10^{9} \text{ Hz} = 9.6 \text{ GHz}$$

En un segundo experimento se varió la velocidad del carrito, y se obtuvo la siguiente gráfica, Figura 2:



La distancia entre mínimos medida en tiempos sobre el eje X es de 0.33 s, y en este experimento el carrito recorrió 35.6 cm en 3.81 s, por lo que:

$$35.6 \text{ cm} / 3.81 \text{ s} = L / 0.33 \text{ s} \Rightarrow L = 3.1 \text{ cm}$$

$$f = c / L \Rightarrow f = 3\text{x}10^{8} \text{ m s}^{-1} / 3.1\text{x}10^{-2} \text{ m} = 9.6\text{x}10^{9} \text{ Hz} = 9.6 \text{ GHz}$$

El fabricante del generador de microondas da un valor para la frecuencia de 9.35 GHz.

Aplicación didáctica

En el tema de Movimiento Ondulatorio del actual C. O. U. los alumnos y alumnas observan como experimento de cátedra las ondas estacionarias en un cordón de goma, con la formación de nodos y vientres, y a continuación se realiza el mismo experimento con microondas. En ambos casos los alumnos y alumnas miden la longitud de onda.

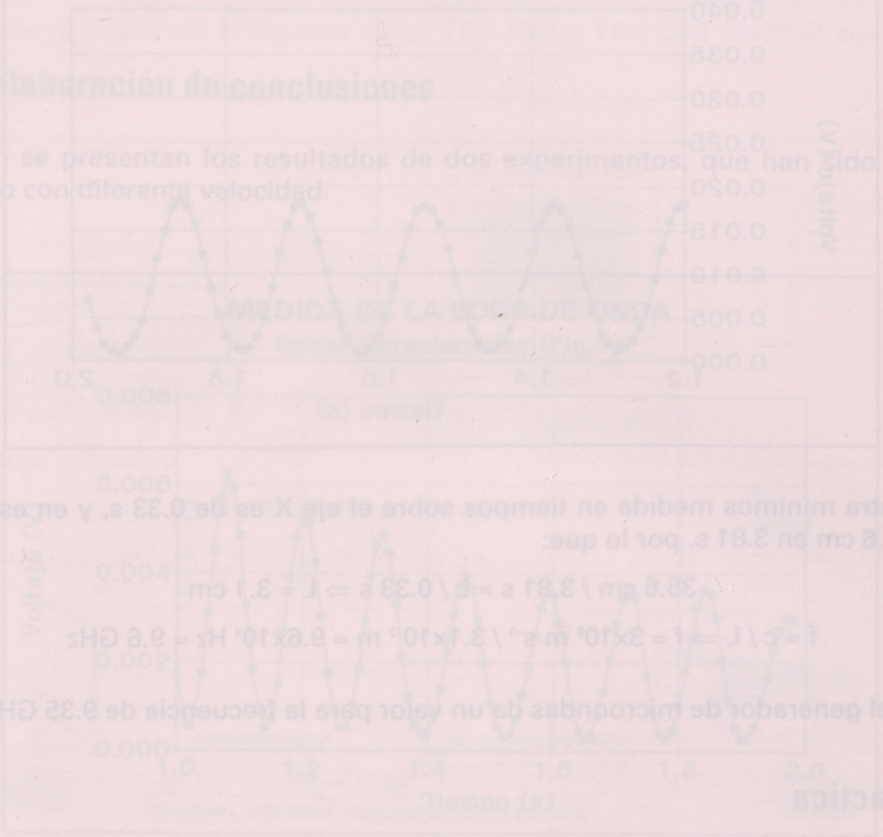
Bibliografía

TIPLER, P. A.: *Física* (**). Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

6. Cambiando la velocidad del carrito se obtendría una gráfica semejante a las anteriores, sobre las que podría operarse como se ha descrito para obtener los valores correspondientes, y así obtener diferentes valores, obviamente muy parecidos, para poder realizar un tratamiento estadístico de las medidas.

Actividades y elaboración de conclusiones

A continuación se presentan los resultados de dos experimentos, que han sido realizados con el mismo carrito pero con diferente velocidad.



La distancia entre mínimos medida en tiempos sobre el eje X es de 0.33 s, y en este experimento el carrito recorrió 35.6 cm en 3.81 s, por lo que:

$$35.6 \text{ cm} / 3.81 \text{ s} = L / 0.33 \text{ s} \Rightarrow L = 3.1 \text{ cm}$$

$$f = c / L \Rightarrow f = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} / 3.1 \times 10^{-2} \text{ m} = 9.6 \times 10^9 \text{ Hz} = 9.6 \text{ GHz}$$

El fabricante del generador de microondas da un valor para la frecuencia de 9.35 GHz.

Aplicación didáctica

En el tema de Movimiento Ondulatorio del actual C. O. U. los alumnos y alumnas observan como experimento de cátedra las ondas estacionarias en un cordón de goma, con la formación de nodos y vientres, y a continuación se realiza el mismo experimento con microondas. En ambos casos los alumnos y alumnas miden la longitud de onda.

Bibliografía

TARÍN, P. A.: Física (**). Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

En un segundo experimento se varió la velocidad del carrito, y se obtuvo la siguiente gráfica.

Figura 2:

Célula solar: una investigación para alumnos de Física en el Bachillerato

Francia Verde R.
Seminario de Física y Química
I. B. Escultor Daniel. Logroño (La Rioja)

Resumen

Pequeños grupos de alumnos y alumnas estudian durante un período largo de tiempo (unas 20 horas) el comportamiento de una pequeña célula solar situada a diferentes distancias de un foco luminoso. Miden diversas magnitudes y las relacionan entre sí con ayuda del profesor o profesora y de bibliografía.

Nivel educativo

Segundo Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Física (actual C. O. U.).

Introducción teórica

En el cuadro de la página siguiente se muestran las relaciones conceptuales que pretende poner de manifiesto el estudio experimental que se va a describir. Se trata de estudiar las características, el comportamiento y las utilidades de una pequeña célula solar.

Aunque el esquema aparece en este primer punto como un conjunto estructurado, hay que señalar no obstante que se trata de un resultado final, que no se había diseñado inicialmente en todos sus detalles y que ha ido creciendo a medida que se experimentaban las ideas básicas iniciales.

En una primera sesión de trabajo con los alumnos y alumnas, el profesor o profesora describe esquemáticamente la finalidad del trabajo. Se insiste sobre todo en la conveniencia de conocer las partes de la física que tienen especial relevancia por sus aplicaciones o por el papel crucial que han tenido en el desarrollo de las ideas.

El efecto fotoeléctrico es presentado como el experimento clave que conduce a Einstein a retomar la teoría corpuscular de la luz, como una aplicación concreta de la teoría cuántica de Planck y como una

fuente didácticamente aprovechable para analizar cuestiones relevantes de la tecnología y la física (obtención de energía fotovoltaica, estructura interna de la célula solar, unión p-n, rendimiento energético, análisis de las ondas luminosas).

Efecto fotoeléctrico

Teoría corpuscular para la luz

Aplicación de la Teoría Cuántica de Plank

Obtención de energía fotovoltaica

Estructura interna de la célula (unión P–N)

Rendimiento energético

Análisis de las ondas luminosas

Objetivos

— Obtener dos Hojas de Cálculo con los valores de diversas magnitudes de interés en el estudio de una célula solar. La primera Hoja contendrá la información inicial básica y la segunda añadirá otras magnitudes que se vayan considerando interesantes en el desarrollo del trabajo.

— Obtener gráficas que relacionen diversas magnitudes referidas a la célula solar.

— Seleccionar aquellas gráficas que ofrecen información relevante sobre las características y el funcionamiento de la fotocélula.

— Buscar relaciones explícitas entre las diversas magnitudes estudiadas.

— Obtener de la bibliografía la información necesaria para entender y explicar el funcionamiento de la célula, su constitución y su rendimiento energético.

— Estudiar el efecto fotoeléctrico como experiencia de partida que permite a Einstein enunciar una nueva teoría corpuscular para la luz y relacionarla con la teoría cuántica de Planck.

— Estimar el rendimiento de la célula y valorar su posible utilización como fuente alternativa de energía en función de las horas de insolación, la iluminación media en los distintos meses del año, el precio de producción de la fotocélula, su carácter no contaminante, etc.

Material

— Célula solar de unos 60 cm^2.

— Polímetro digital (de precisión).

— Rieles para deslizar un carrito.

— Carrito para trasportar la célula.

— Cinta métrica.

— Proyector de diapositivas.

— Bombilla.

— Cables.

— Ordenador.

— Interfaz CENT.

— Programa LAO.

— Luxómetro y sonda de luz.

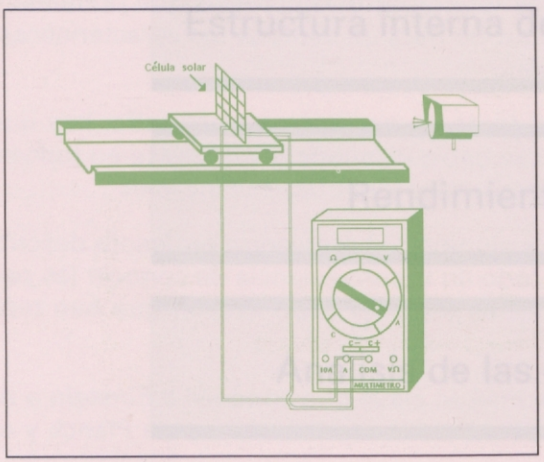
Procedimiento

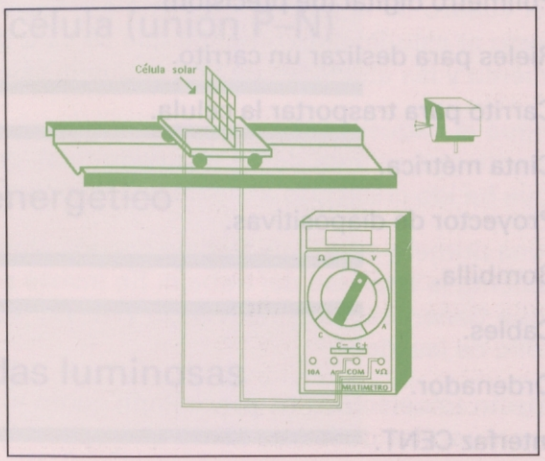
Considerando que la experiencia es bastante larga, es conveniente realizarla en dos etapas: en un primer experimento se miden las magnitudes relacionadas con la energía eléctrica que la célula produce, y en el segundo experimento se medirán las magnitudes relacionadas con la energía que la célula consume (energía luminosa). Después de cada experimento los alumnos y alumnas realizan las actividades y elaboran las conclusiones referidas al mismo. Con esta división se consigue además que las tareas de los alumnos y alumnas sean variadas y adecuadas a la evolución del curso (en vacaciones realizarían consultas bibliográficas, en primavera salida al campo para estudiar una célula solar instalada en un chalet cercano, etc.).

Experimento inicial: Se forman grupos de cuatro o cinco alumnos, que en horas libres irán haciendo las experiencias previstas. El trabajo es voluntario, pero se informa a los alumnos y alumnas que será considerado en la calificación final, siempre que se hayan superado los contenidos mínimos del curso.

1. Se realiza una primera sesión de laboratorio en la que aprenden a manejar los polímetros digitales, a adecuar las escalas de medida a la magnitud a medir, y a tomar precauciones con los valores máximos permitidos.

2. Se dispone un foco luminoso intenso (proyector de diapositivas); colocando la célula solar a diferentes distancias del foco, se mide la diferencia de potencial y la intensidad de corriente producidas por la célula (figuras siguientes).





3. Se tabulan las medidas hasta una distancia de 2,5 m en la que los valores son ya muy pequeños (los valores de I se miden en mA, los de V en voltios). Si el foco utilizado es de menor potencia (una bombilla, por ejemplo), se tabulan valores hasta una distancia más pequeña.

4. Se introducen los valores de r, I, V en la Hoja de Cálculo y se calculan las columnas siguientes (en varias fases, según lo vaya exigiendo el desarrollo del trabajo): Potencia= I*V (mW), 1000*V(mV), $1/r$, $1/r^2$.

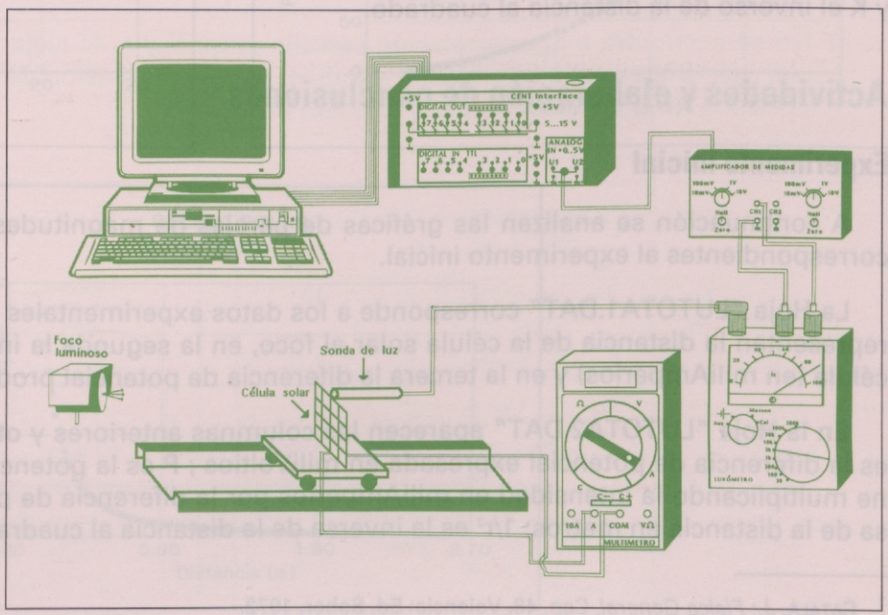
5. Se guardan los datos en las Hojas **LUTOTA1.DAT** y **LUTOTA2.DAT**. La utilización de una Hoja de Cálculo la recuerdan algunos alumnos y alumnas de la clase de Informática, y los demás la manejan con soltura después de poco tiempo.

6. Se hacen representaciones gráficas tomando los datos de la Hoja de Cálculo. Se analizan las gráficas: I – r, V – r, I*V – r, I – 1/r, I – $1/r^2$, V – 1/r, V – $1/r^2$, I*V – 1/r, I*V – $1/r^2$, I – V, I*V – I. El trabajo de los alumnos y alumnas es, en este punto, bastante libre ya que el profesor o profesora sólo indica que representen gráficamente parejas de magnitudes de las contenidas en la Hoja de Cálculo, para intentar después encontrar relaciones entre ellas.

Experimento final: Después de que los alumnos y alumnas hayan asimilado las ideas básicas que se desprenden de las actividades correspondientes al experimento anterior, se hace una mesa redonda para analizar los resultados de los experimentos y poner en común las ideas obtenidas de la bibliografía; se aclaran las siguientes cuestiones:

a) Se está midiendo la potencia eléctrica producida por la célula, que , según la bibliografía, podría oscilar entre un 18%, en el caso más favorable, y un 10% de la potencia luminosa recibida.

b) Utilizando el sensor de luz podría medirse la iluminación en lx (lumen/m^2) que recibe la célula en cada medida (a diferentes distancias del foco). Multiplicando por la superficie de la célula se obtiene el flujo luminoso en lumen que incide en la fotocélula. Se



transforman los lúmenes a Watios (1W=685 lumen, si la longitud de onda fuera de 5500 Åmstrongs, cosa que no ocurre porque la luz utilizada no es monocromática). Se podría ahora comparar el resultado con la potencia eléctrica obtenida y estimar así el rendimiento de la célula[1].

c) El diseño experimental que se muestra en la página anterior ha servido para medir simultáneamente la iluminación, la distancia al foco, la intensidad eléctrica producida por la célula solar, y la diferencia de potencial producida por la célula. Los datos de intensidad eléctrica y potencial se introducen por los teclados 1 y 2, respectivamente. La iluminación la lee en el luxómetro y pasa directamente a la Hoja de LAO; la distancia se introduciría después en la Hoja de Cálculo.

d) Para mantener el sensor y la célula alineados con el foco luminoso, se colocan sobre un carrito que se desliza por unos rieles del equipo de mecánica, colocando un metro pegado a los rieles para medir con precisión las distancias. La intensidad eléctrica y la diferencia de potencial se miden con un polímetro digital. Los datos se guardan en la Hoja **LUTOTB.DAT**

En la columna A de la Hoja están los datos de iluminación leídos por el luxómetro; en la B la intensidad eléctrica en miliAmperios; en la C la diferencia de potencial en Voltios. Los datos de estas dos columnas los introduce un alumno o alumna en el ordenador, mientras otros dos realizan las medidas y van desplazando el carrito. Después de realizado el experimento se introducen los valores de la distancia al foco(cm), que otro alumno o alumna ha ido apuntando (columna D). La columna E es el inverso de las distancias, la columna F el inverso de las distancias al cuadrado; la columna G es la potencia eléctrica en miliWatios, la H es la potencia en Watios, I contiene las distancias en metros, J el inverso de la distancia, y K el inverso de la distancia al cuadrado.

Actividades y elaboración de conclusiones

Experimento inicial

A continuación se analizan las gráficas de parejas de magnitudes tomadas de las Hojas de Cálculo correspondientes al experimento inicial.

La Hoja "LUTOTA1.DAT" corresponde a los datos experimentales iniciales. En la primera columna se representan la distancia de la célula solar al foco, en la segunda la intensidad eléctrica producida por la célula (en miliAmperios) y en la tercera la diferencia de potencial producida en Voltios.

En la Hoja "LUTOTA2.DAT" aparecen las columnas anteriores y otras calculadas a partir de ellas : V1 es la diferencia de potencial expresada en miliVoltios ; P es la potencia eléctrica en miliWatios (se obtiene multiplicando la intensidad en miliAmperios por la diferencia de potencial en Voltios); 1/r es la inversa de la distancia en metros; $1/r^2$ es la inversa de la distancia al cuadrado.

---

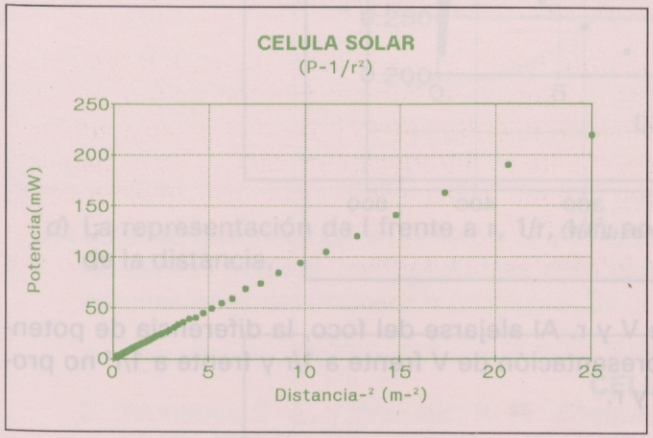
1 CATALÁ, J.: *Física General.* Cap. 48. Valencia: Ed. Saber, 1972.

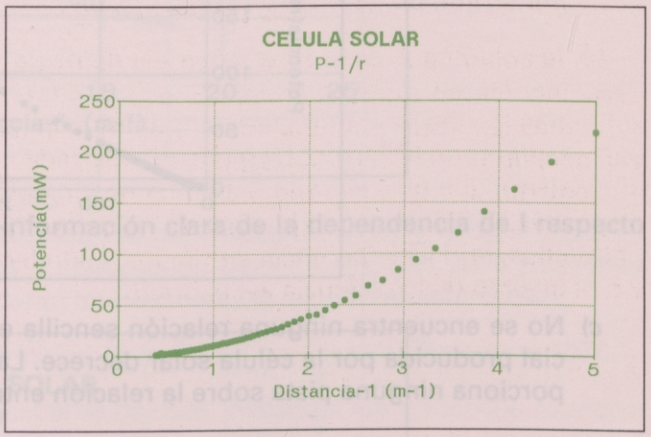
El análisis de las gráficas lleva a los alumnos y alumnas a varias conclusiones claras y a unas cuantas preguntas:

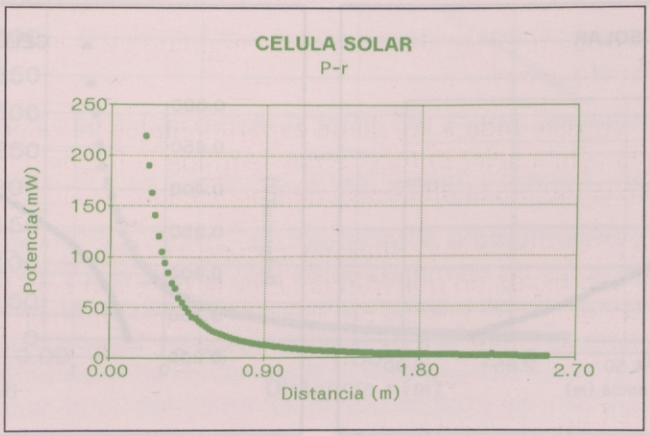
a) Al representar la potencia P=I*V (mW) frente a $1/r^2$ se obtienen una recta (algo dudosa para valores muy pequeños de P). Repetida la experiencia no se obtienen mejores resultados para estos valores pequeños. Encuentran la ecuación de la potencia midiendo en la gráfica la pendiente de la recta. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$p=K*\frac{1}{r^2}$$

donde P es la potencia eléctrica producida por la fotocélula expresada en miliWatios. El valor de la constante, calculado con la pendiente de la recta es K=9,3 mW*m².



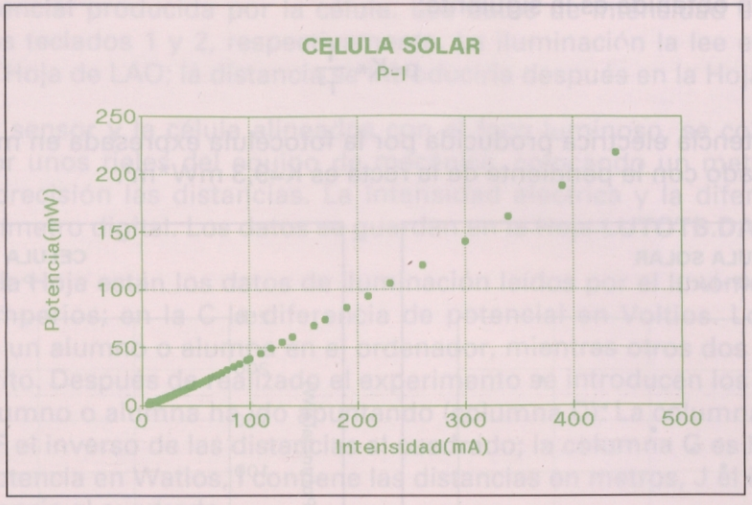




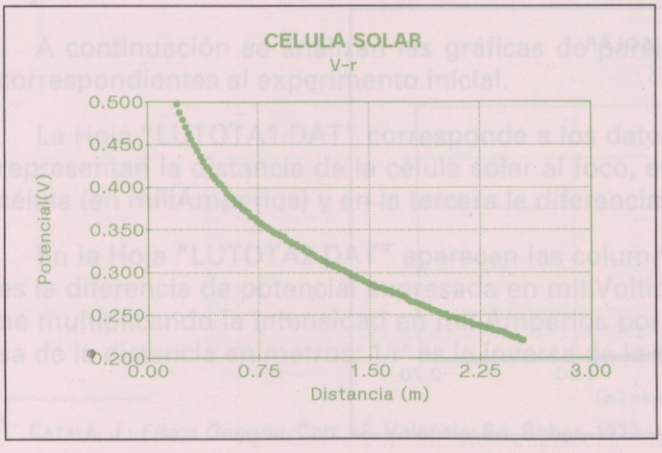
b) La representación de la potencia frente a la intensidad da una recta clara. Se determina su ecuación midiendo la pendiente de la recta.

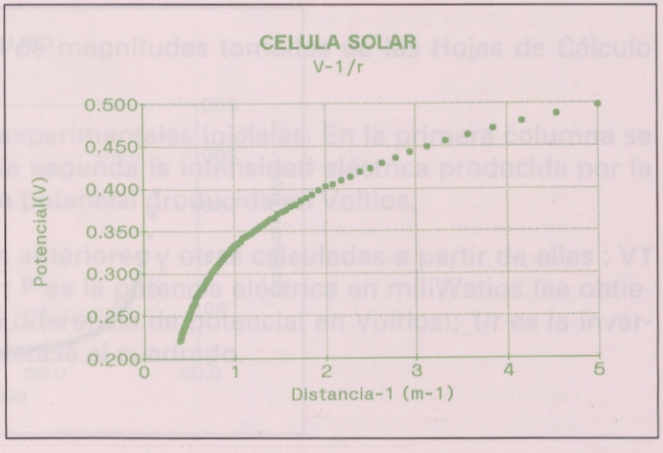
$$P=K*I$$

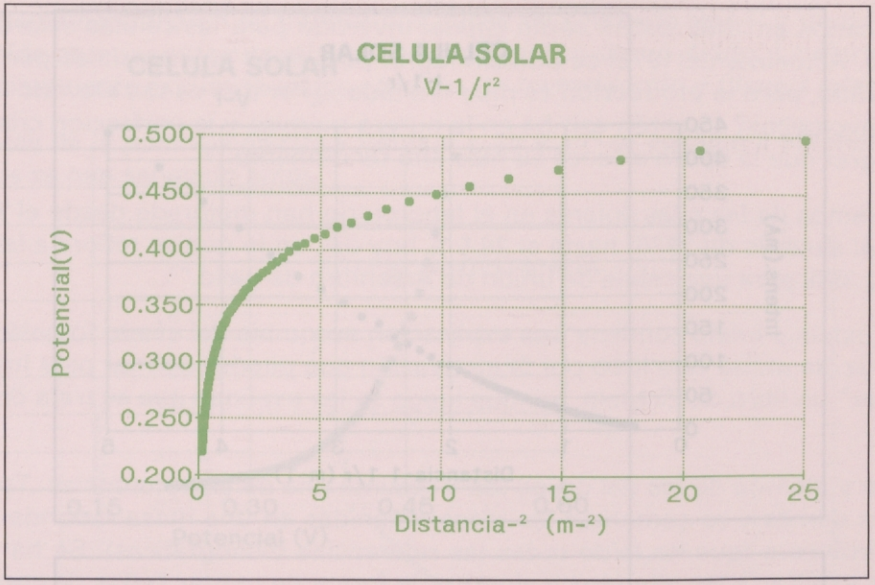
P se mide en mW, e I en mA; el valor de K es 0,46 W/A.



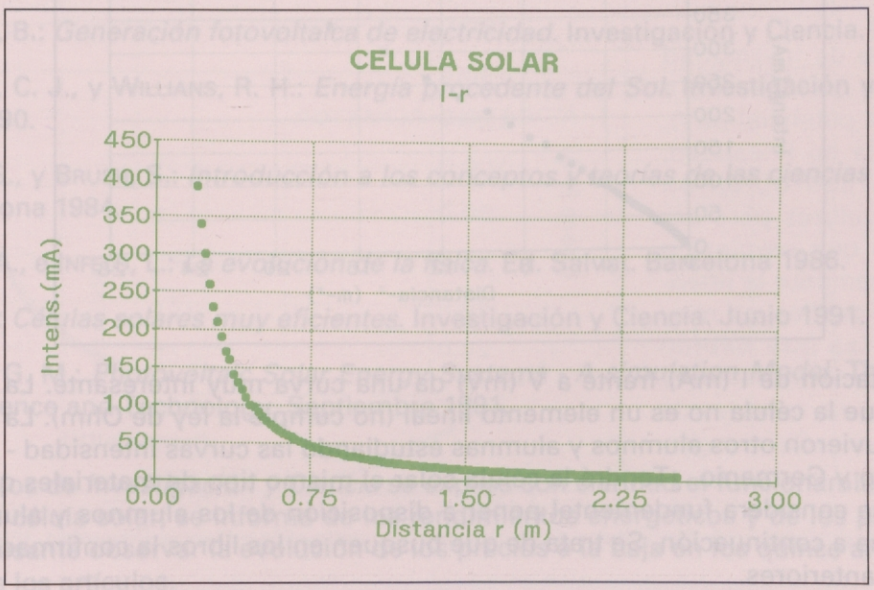
c) No se encuentra ninguna relación sencilla entre V y r. Al alejarse del foco, la diferencia de potencial producida por la célula solar decrece. La representación de V frente a 1/r y frente a $1/r^2$ no proporciona ninguna pista sobre la relación entre V y r.

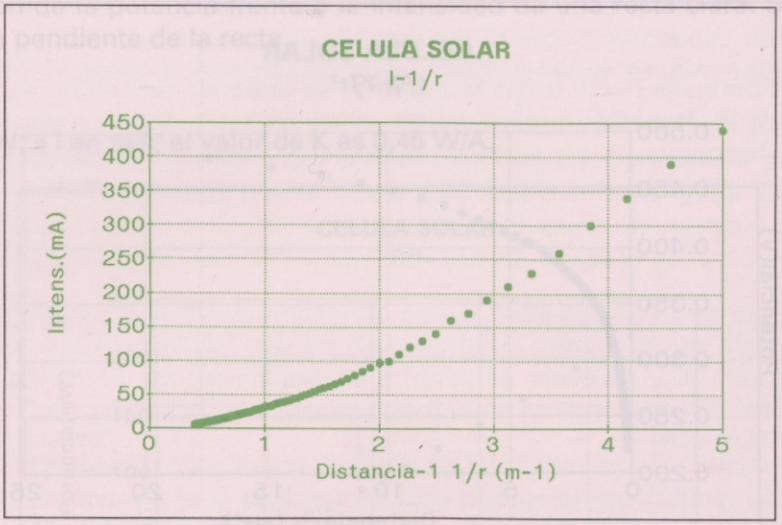


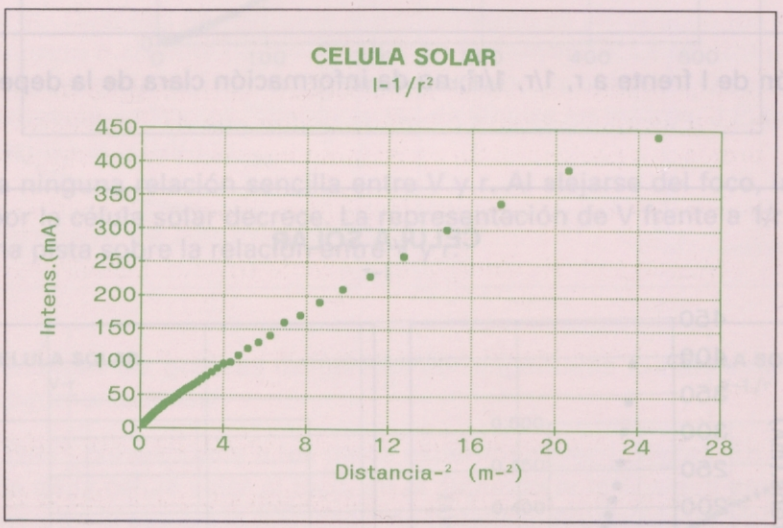




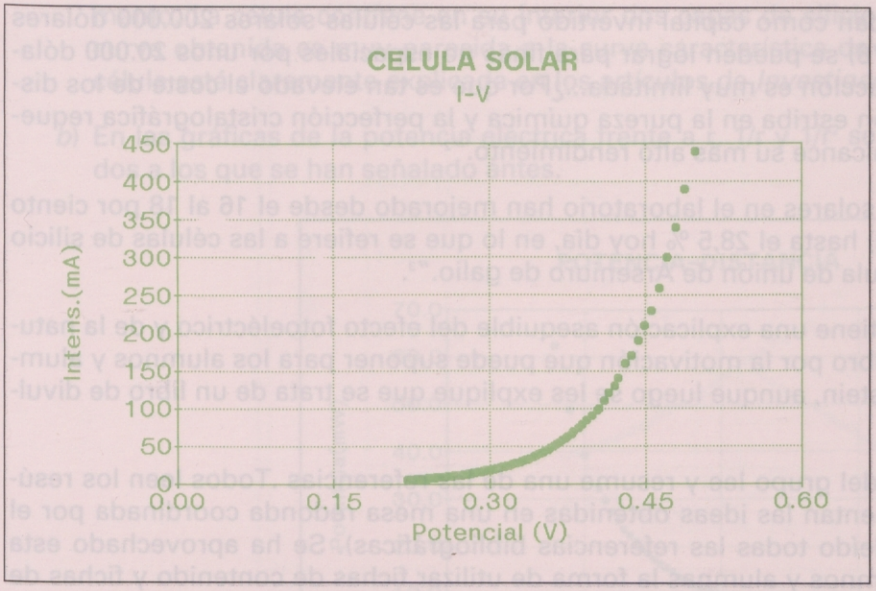
d) La representación de I frente a r, 1/r, $1/r^2$, no da información clara de la dependencia de I respecto de la distancia.







e) La representación de I (mA) frente a V (mV) da una curva muy interesante. La primera idea que sugiere es que la célula no es un elemento lineal (no cumple la ley de Ohm). La curva es parecida a la que obtuvieron otros alumnos y alumnas estudiando las curvas intensidad - potencial con diodos de Silicio y Germanio. ¿Tendrá la célula solar el mismo tipo de materiales que los diodos? En este punto se considera fundamental poner a disposición de los alumnos y alumnas bibliografía, que se reseña a continuación. Se trata de que busquen en los libros la confirmación o la refutación de las ideas anteriores.



f) Las descripciones que se refieren al efecto fotoeléctrico , la naturaleza de la luz y la tecnología de las células solares, son asequibles para alumnos y alumnas de Bachillerato, con unas pequeñas orientaciones del profesor o profesora. Se consideran interesantes las siguientes referencias:

1. CHALMERS, B.: *Generación fotovoltaica de electricidad*. Investigación y Ciencia. Diciembre 1976.

2. WEINBERG, C. J., y WILLIANS, R. H.: *Energía procedente del Sol*. Investigación y Ciencia. Noviembre de 1990.

3. HOLTON, G., y BRUSH, S.: *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Ed. Reverté. Barcelona 1984.

4. EINSTEIN, A., e INFELD, L.: *La evolución de la física*. Ed. Salvat. Barcelona 1986.

5. LUQUE, A.: *Células solares muy eficientes*. Investigación y Ciencia. Junio 1991.

6. SCHUCAN, G. M.: *Photovoltaic Solar Energy Systems - A simulation Model*. The European Journal of Science and Technology. Septiembre 1991.

En los artículos de *Investigación y Ciencia* se explica con claridad el funcionamiento y constitución interna de la célula solar; se informa de los rendimientos energéticos y de los precios de las células . Es interesante observar la evolución de los precios a la baja en los quince años que han transcurrido entre los artículos.

"Datos publicados en 1959 daban como capital invertido para las células solares 200.000 dólares por kiloWatio. Actualmente(1976) se pueden lograr para fines no espaciales por unos 20.000 dólares por kiloWatio, pero la producción es muy limitada...¿Por qué es tan elevado el coste de los dispositivos fotovoltaicos? La razón estriba en la pureza química y la perfección cristalográfica requeridas para lograr que la célula alcance su más alto rendimiento."[2]

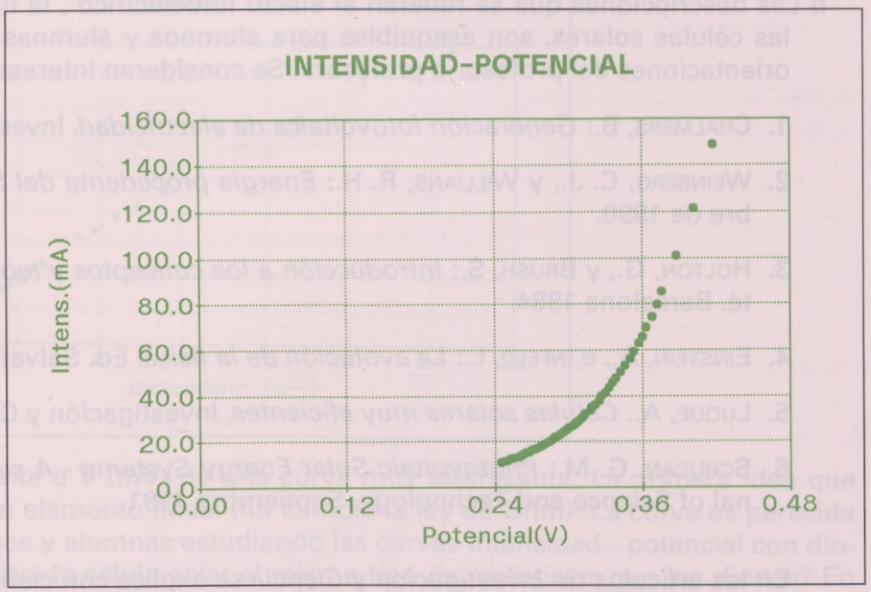
"Los rendimientos de las pilas solares en el laboratorio han mejorado desde el 16 al 18 por ciento (mediados del decenio de 1970) hasta el 28,5 % hoy día, en lo que se refiere a las células de silicio cristalino..., y 35% para una célula de unión de Arseniuro de galio."[3].

El libro de Einstein e Infeld contiene una explicación asequible del efecto fotoeléctrico y de la naturaleza de la luz (se utiliza este libro por la motivación que puede suponer para los alumnos y alumnas "entender" un libro de Einstein, aunque luego se les explique que se trata de un libro de divulgación).

g) Cada alumno y alumna de los del grupo lee y resume una de las referencias .Todos leen los resúmenes de los demás y se comentan las ideas obtenidas en una mesa redonda coordinada por el profesor o profesora (que ha leído todas las referencias bibliográficas). Se ha aprovechado esta ocasión para explicar a los alumnos y alumnas la forma de utilizar fichas de contenido y fichas de bibliografía.

Experimento final

a) En la gráfica de intensidad de corriente (mA) frente a diferencia de potencial (mV), se observa la no linealidad, pero no se han obtenido suficientes valores para ver el punto en que empieza a crecer bruscamente la intensidad. Esta gráfica es muy parecida a las que habían obtenido otros alumnos y alumnas en una experiencia con diodos de silicio y ger-

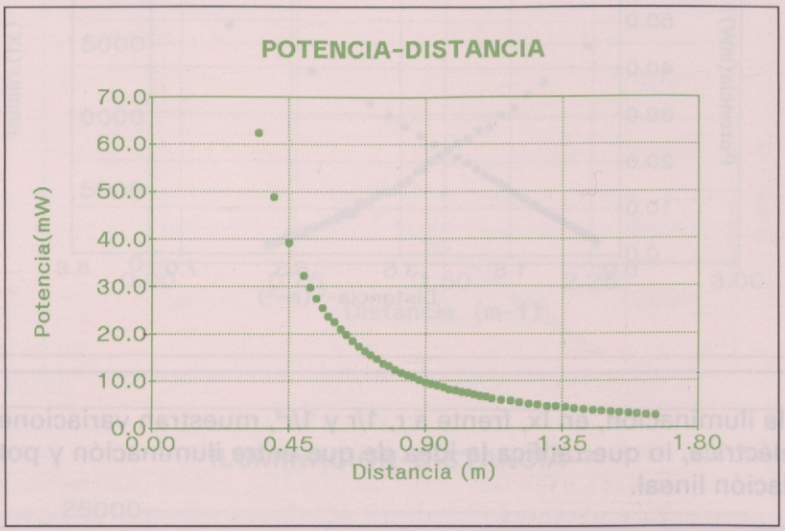


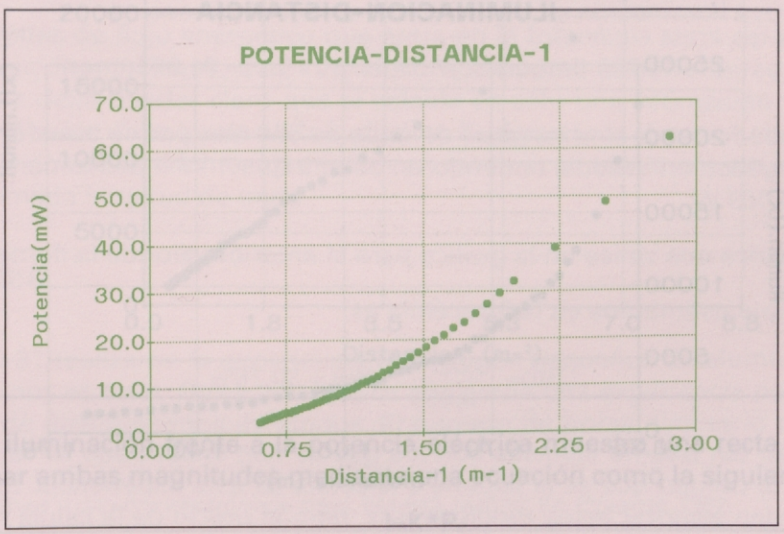
2 CHALMERS, Bruce: "Generación fotovoltaica de electricidad". *Investigación y Ciencia*. Diciembre, 1976.

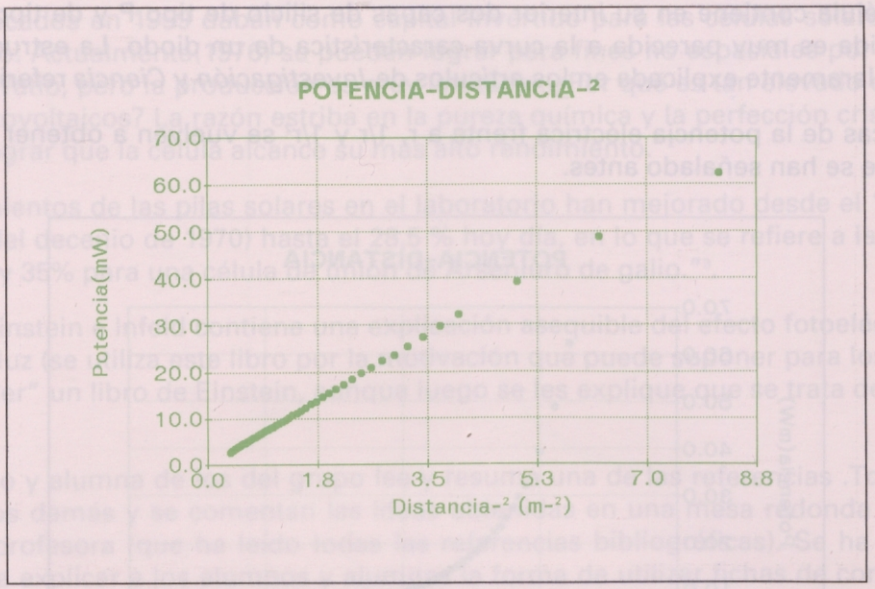
3 WEINBERG-WILLIANS: "Energía procedente del Sol". *Investigación y Ciencia*. Noviembre, 1990.

manio. La célula contiene en su interior dos capas de silicio de tipo P y de tipo N , por lo que la curva obtenida es muy parecida a la curva característica de un diodo. La estructura interna de la célula está claramente explicada en los artículos de *Investigación y Ciencia* referidos antes.

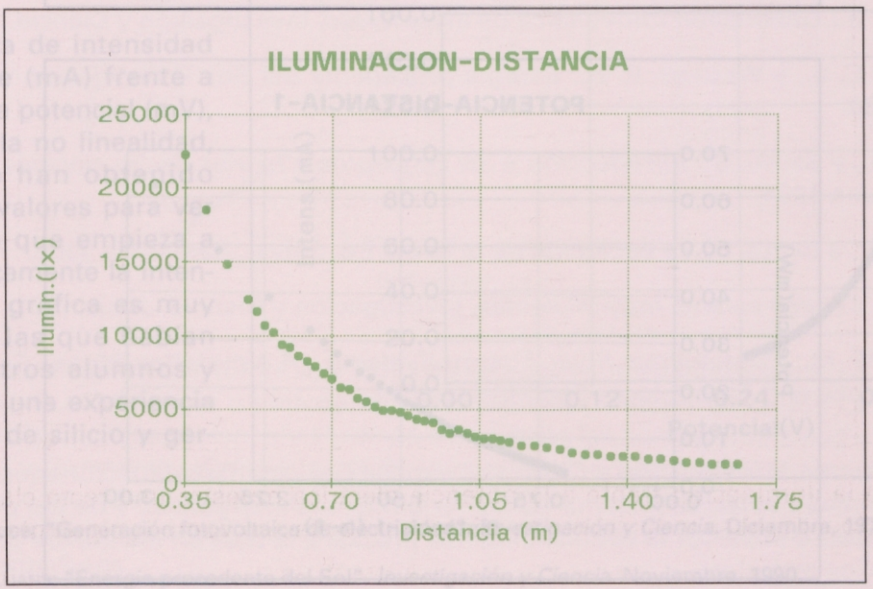
b) En las gráficas de la potencia eléctrica frente a r, 1/r y $1/r^2$ se vuelven a obtener resultados parecidos a los que se han señalado antes.

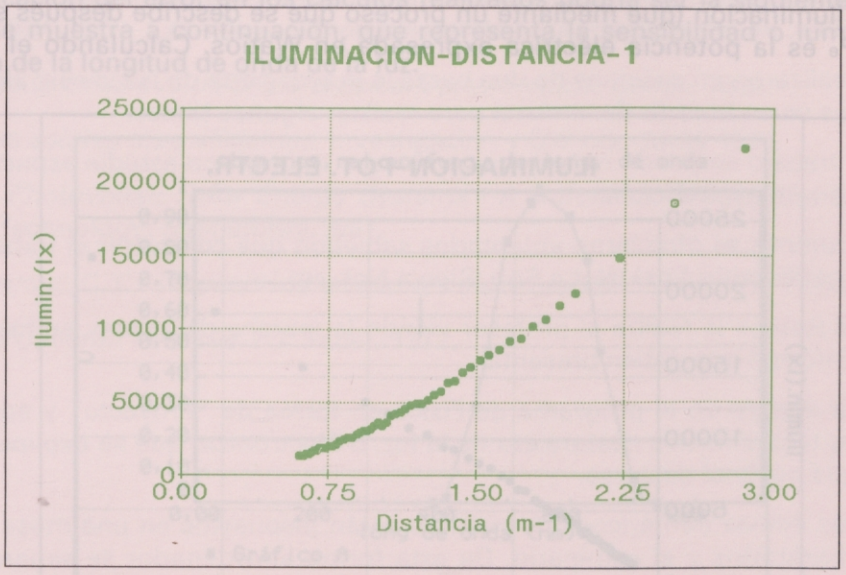


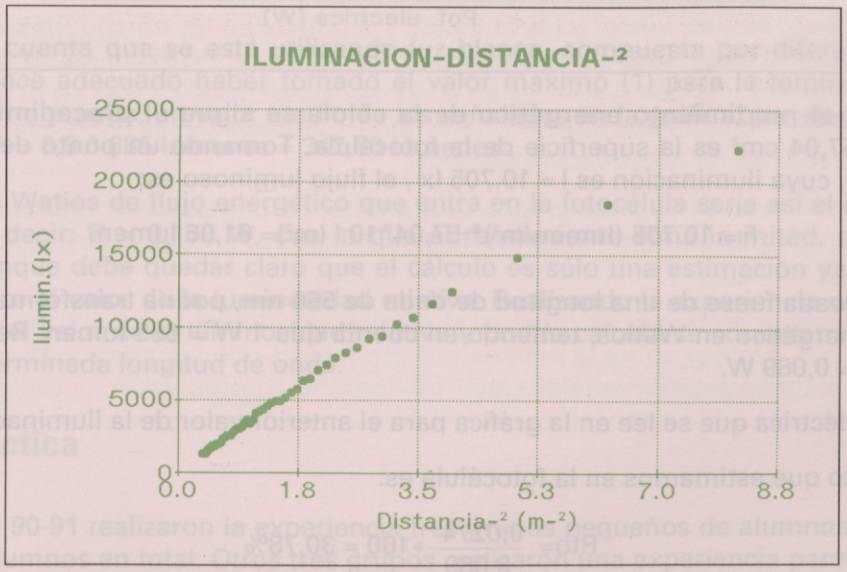




c) Las gráficas de la iluminación, en lx, frente a r, 1/r y $1/r^2$, muestran variaciones muy parecidas a las de la potencia eléctrica, lo que ratifica la idea de que entre iluminación y potencia eléctrica producida hay una relación lineal.



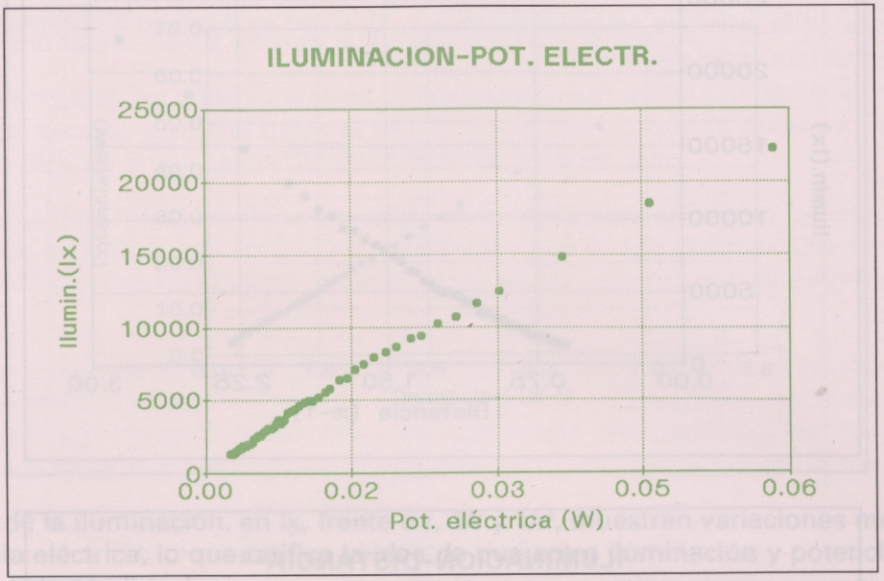




d) La gráfica de la iluminación frente a la potencia eléctrica muestra una recta clara cuya pendiente permite relacionar ambas magnitudes mediante una ecuación como la siguiente:

$$I=K*P_e$$

donde I es la iluminación (que mediante un proceso que se describe después se ha transformado en Watios), P_e es la potencia eléctrica expresada en Watios. Calculando el valor de K resulta ser 1,52.



e) Para estimar el rendimiento energético de la célula se sigue el procedimiento siguiente. Si S= 9,2*6,2= 57,04 cm^2 es la superficie de la fotocélula. Tomando un punto de la gráfica iluminación-potencia, cuya iluminación es I = 10.705 lx , el flujo luminoso es:

$$F_I = 10.705 \text{ (lumen/m}^2\text{)} * 57,04 * 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)} = 61,06 \text{ lumen.}$$

Si la luz empleada fuese de una longitud de onda de 550 nm, podría transformarse el flujo luminoso en flujo energético en Watios, teniendo en cuenta que 1 W = 685 lumen. Resulta entonces que 61,06 lumen = 0,089 W.

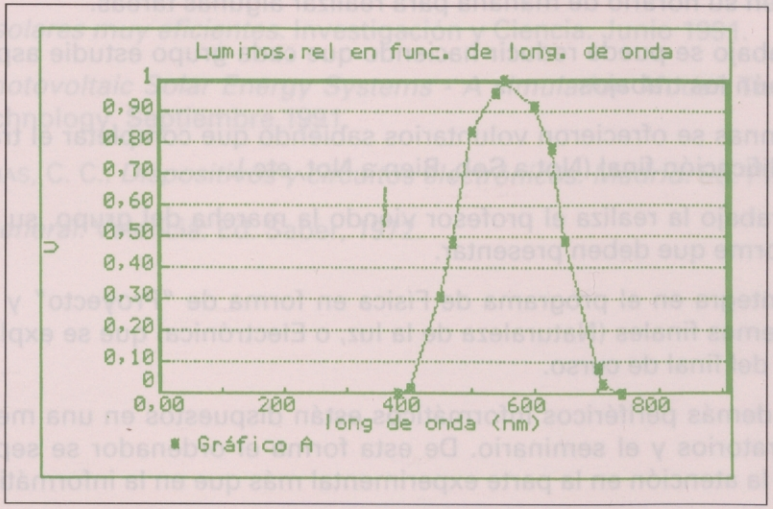
La potencia eléctrica que se lee en la gráfica para el anterior valor de la iluminación es 0,02741 W.

El rendimiento que estimamos en la fotocélula es:

$$Rto = \frac{0,0274}{0,089} * 100 = 30,78\%$$

Este rendimiento tan alto no coincide con los que se han encontrado en la bibliografía, es demasiado alto para la calidad que se le supone a la célula de esta experiencia. En células de Arseniuro de galio se pueden alcanzar estos rendimientos, pero el precio de la célula ha impedido su utiliza-

ción. La explicación del error en los cálculos realizados podría ser la siguiente, si se considera la gráfica que se muestra a continuación, que representa la sensibilidad o luminosidad relativa V como función de la longitud de onda de la luz.



Teniendo en cuenta que se está utilizando luz blanca, compuesta por diferentes longitudes de onda, no parece adecuado haber tomado el valor máximo (1) para la luminosidad relativa (V). Tomando, como prueba, un valor medio de los señalados en la gráfica, por ejemplo V=0,5. Resulta entonces: 1W = 0,5 * 685 lúmenes = 342,50 lúmenes .

El número de Watios de flujo energético que entra en la fotocélula sería así el doble de lo calculado antes, es decir: F_I = 0,178 W, con lo que el rendimiento sería la mitad, es decir en torno a un 15%[4] . Aunque debe quedar claro que el cálculo es sólo una estimación ya que se ha tomado arbitrariamente el valor de la luminosidad relativa. Realizando la experiencia con luz monocromática se sabría el valor de la luminosidad relativa y podría calcularse correctamente el rendimiento para una determinada longitud de onda.

Aplicación didáctica

Durante el curso 90-91 realizaron la experiencia tres grupos pequeños de alumnos y alumnas de Física de C. O. U., 15 alumnos en total. Otros tres grupos realizaron una experiencia parecida estudiando las curvas características de distintos tipos de diodos. El número de horas necesario para completar el tra-

4 MILLMAN-HALKIAS: *Dispositivos y circuitos electrónicos*, págs. 641-642. Madrid: Ed. Pirámide, 1982.

bajo es de entre 15 y 20, incluyendo sesiones de toma de datos en el laboratorio, obtención de gráficas, discusión de resultados, puesta en común y elaboración de conclusiones.

Los trabajos se realizaron en sesiones de dos horas la mayor parte de las veces; algunos grupos aprovecharon horas libres en su horario de mañana para realizar algunas tareas.

La extensión del trabajo se puede reducir haciendo que cada grupo estudie aspectos parciales y después poniendo en común los trabajos.

Los alumnos y alumnas se ofrecieron voluntarios sabiendo que completar el trabajo aceptablemente suponía mejorar su calificación final (Not a Sob, Bien a Not, etc.).

La valoración del trabajo la realiza el profesor viendo la marcha del grupo, su interés, las conclusiones obtenidas, y el informe que deben presentar.

La experiencia se integra en el programa de Física en forma de "Proyecto" y sustituye, con mucha ventaja, a uno de los temas finales (Naturaleza de la luz, o Electrónica) que se explicaban (algunos años) con la premura propia del final de curso.

El ordenador y los demás periféricos informáticos están dispuestos en una mesa con ruedas que se desplaza por los laboratorios y el seminario. De esta forma el ordenador se separa físicamente de la experiencia centrando la atención en la parte experimental más que en la informática.

Los *Objetivos didácticos* son: iniciar a los alumnos y alumnas en un trabajo metódico en el laboratorio; enseñarles a utilizar el ordenador como registrador de los datos experimentales y como herramienta de cálculo y análisis de los mismos; iniciarles en la consulta bibliográfica con un objetivo bien definido. Pero lo que más interesa es que *ellos mismos "descubran" algunas de las leyes físicas* que se esconden dentro de una gran cantidad de datos experimentales.

Durante el presente curso 91-92 siete grupos de alumnos y alumnas están realizando proyectos parecidos al descrito (tres grupos estudian la célula solar con algunas modificaciones, dos trabajan en electrónica y otros dos en robótica).

El papel del profesor o profesora es mostrar el camino por donde pueden continuar trabajando (no "decirles el resultado"), explicar sobre la marcha la metodología que le parece más adecuada, ayudarles a interpretar algunos datos experimentales,elegir bibliografía comprensible, coordinar las discusiones. Es una tarea poco rutinaria y tan motivadora para el profesorado como para el alumnado.

Bibliografía

CHALMERS, B.: *Generación fotovoltaica de electricidad.* Investigación y Ciencia. Diciembre, 1976.

WEINBERG, C. J., y WILLIANS, R. H.: *Energía procedente del Sol.* Investigación y Ciencia. Noviembre de 1990.

HOLTON, G., y BRUSH, S.: *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas.* Barcelona: Ed. Reverté, 1984.

EINSTEIN, A., e INFELD, L.: *La evolución de la física.* Barcelona: Ed. Salvat, 1986.

LUQUE, A.: *Células solares muy eficientes.* Investigación y Ciencia. Junio 1991.

SCHUCAN, G.-M.: *Photovoltaic Solar Energy Systems - A simulation Model.* The European Journal of Science and Technology. Septiembre 1991.

MILLMAN, J. y, HALKIAS, C. C.: *Dispositivos y circuitos electrónicos. Madrid:* Ed. Pirámide, 1982.

CATALÁ, J.: *Física General.* Valencia: Ed. Saber, 1972.

Geología

Factores que determinan la velocidad de sedimentación de arcillas en tubo de ensayo

Sanz Rodríguez, R. M.ª
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. "María Zambrano". Leganés (Madrid)

Resumen

Estudiando la velocidad de aclaramiento de una suspensión de arcillas en diferentes condiciones experimentales, se deducen y comprueban los factores físicos que determinan su velocidad de sedimentación.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Geología (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La sedimentación de arcillas consiste en su acumulación en el fondo de las cuencas de sedimentación, al aproximarse a las condiciones de equilibrio en la interacción entre las partículas y la energía del medio de transporte.

La comprensión de los procesos de sedimentación es importante tanto desde el punto de vista del fenómeno en sí mismo, como desde el de sus aplicaciones. Por ejemplo, en la fabricación del papel, éste en algún momento adopta la forma de una suspensión de fibras de celulosa; la tinta también es una suspensión de pigmentos sólidos en un fluido; el barro que arrastran los ríos, y el que se utiliza en las perforaciones petrolíferas, está formado por partículas sólidas dispersas en un fluido. Aunque en general las partículas son arrastradas por el movimiento del fluido, en esta experiencia sólo se estudiará el caso de un fluido globalmente en reposo y en un tubo de ensayo.

¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre las partículas en suspensión? Las partículas en el seno de un fluido están sometidas a las fuerzas gravitatorias, a un campo eléctrico si están cargadas, o a un

campo magnético. También están sometidas a la acción del fluido sobre la superficie de la partícula, así como a las interacciones entre partículas debidas a sus contactos. Además influye la temperatura de la suspensión.

Cuando las partículas poseen carga eléctrica, sus interacciones mutuas están gobernadas básicamente por la naturaleza del fluido. Si éste último no contiene iones (por ejemplo agua destilada), las partículas no se adhieren, al poseer cargas del mismo signo. Pero si el fluido contiene iones en disolución, en las proximidades de las partículas se observan iones de signo contrario que en cierto modo ocultan su carga. En consecuencia, dos o más partículas pueden acercarse y adherirse, con lo que la suspensión se hace inestable y los agregados acaban por sedimentar.

Esto es lo que, en síntesis, ocurre en un río cerca de su desembocadura. El agua dulce transporta finas partículas en suspensión, pues las más pesadas ya se han depositado en el fondo del cauce. Las partículas suficientemente pequeñas son mantenidas en suspensión por el movimiento turbulento del agua del río y están separadas unas de otras por las fuerzas repulsivas que se ejercen entre sí. La presencia de gran cantidad de iones en el agua salada atenúa las repulsiones entre las partículas, dando lugar a agregados de tamaño cada vez mayor. De ahí, resulta un aumento notable de los efectos de la sedimentación y la formación de un depósito que obstruye la desembocadura.

En un recipiente en reposo, la sedimentación es tanto más lenta cuanto mayor es la concentración de partículas, de tal forma que la velocidad media de sedimentación Vs decrece según la siguiente ley lineal:

$$V_s = V_o\,(1 - Ac)$$

V_o es la velocidad de caída de una partícula aislada, *c* es la concentración y *A* la constante de Batchelor que toma el valor de 6. La caída de las partículas que llenan homogéneamente un recipiente queda frenada por un flujo de retorno; este flujo frena tanto más las partículas de la suspensión cuanto mayor es la concentración de ésta. Este efecto de flujo de retorno y de las interacciones entre partículas llevan a la formación, en la parte superior de la suspensión, de una zona en la cual la concentración disminuye muy rápidamente; igualmente se forma un frente que separa la suspensión del líquido claro situado encima.

La velocidad de la sedimentación depende también de la viscosidad del fluido y del tamaño de las partículas. Para partículas finas la influencia de la viscosidad es grande. Según la ley de Stokes, para partículas de tamaño inferior a 0,1 mm:

$$V_s = \frac{2}{9}\, g\, \frac{D_s - D_f}{V_f}\, r^2$$

g = gravedad.

D_s = densidad del sólido.

D_f = densidad del fluido.

Vf = viscosidad del fluido.

r = radio de la partícula.

En el agua del mar, a 0° C la viscosidad es de 0.0188 *poises*, mientras que a 20° C es de 0.0108 *poises*, por lo que la velocidad de sedimentación en mares cálidos es casi el doble que en mares fríos. La densidad del fluido influye también en forma decisiva, siendo las velocidades de sedimentación más altas en el aire que en el agua, y a su vez, menor en el agua que presenta gran cantidad de partículas en suspensión que aumentan su densidad.

El estudio de la sedimentación de partículas finas, tanto si se produce naturalmente (desembocadura de un río), como si es provocada, tiene una importancia práctica elevada, especialmente para la ecología y el medio ambiente (tratamiento de aguas en particular).

Objetivos

— Obtener las gráficas iluminación/tiempo correspondientes al aclaramiento de las suspensiones de arcillas conforme transcurre la sedimentación:

  • Suspensión de arcillas en agua destilada. Temperatura ambiental de 18° C. Fichero **ARCILLA1.DAT**.

  • Suspensión de arcillas en agua salada. Temperatura ambiental de 18° C. Fichero **ARCILLA2.DAT**.

  • Suspensión de arcillas con una concentración doble que en los casos anteriores, y a igual temperatura. Fichero **ARCILLA3.DAT**.

  • Suspensión de arcillas en agua destilada a temperatura ambiental de 5° C. Fichero **ARCILLA4.DAT**.

— Deducir de la Hoja de Cálculo ARCILLA.DAT, resultado de la fusión de las cuatro anteriores, el valor de las velocidades medias de aclaramiento de la suspensión (V1, V2, V3 y V4), como medidas de la velocidad media de sedimentación en las diferentes condiciones experimentales.

— Mediante la comparación de los valores de las velocidades medias anteriores, deducir la influencia de los factores estudiados en la sedimentación física de las arcillas.

— Analizar la gráfica correspondiente al fichero ARCILLA3.DAT en términos de los diferentes frentes de sedimentación que se han producido.

Material

— Tubos de ensayo grandes (3).

— Gradilla para tubos de ensayo.

— Soportes y pinzas.

— Vaso de precipitados de 250 cc.

— Varilla de vidrio.

— Recipiente para baño maría.

— Arcilla de modelar.

— Agua destilada.

— Cloruro de sodio.

— Cubitos de hielo.

— Caja de cartón para proteger de la luz externa.

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Interfaz CENT.

— Fuente de alimentación.

— Amplificador de medidas.

— Luxómetro y sonda de luz.

— Foco luminoso.

Procedimiento

1. *Preparación de las suspensiones de arcilla:*

   a) Se añaden 200 cc de agua destilada en un vaso de precipitados y una cucharadita pequeña de arcilla para modelar. Con la ayuda de la varilla agitadora se prepara una suspensión que se reparte rápidamente en tres tubos de ensayo a partes iguales llenando 2/3 partes de cada uno de los tubos (aproximadamente 30 cc de suspensión en cada tubo).

b) Se colocan los tres tubos en una gradilla y se dejan reposar en posición vertical durante un par de días. La razón de preparar las suspensiones previamente es comprobar, y si es necesario rectificar que la cantidad de arcilla que poseen los tres tubos sea aproximadamente la misma. Si se dispone de arcilla en polvo, pesar directamente tres cantidades iguales para los tres tubos.

c) Agregar al tubo n.° 2, 100 mg de NaCl y al tubo n.° 3 más arcilla para que aumente su concentración aproximadamente al doble.

2. *Realizar el montaje de la experiencia con las siguientes precauciones:*

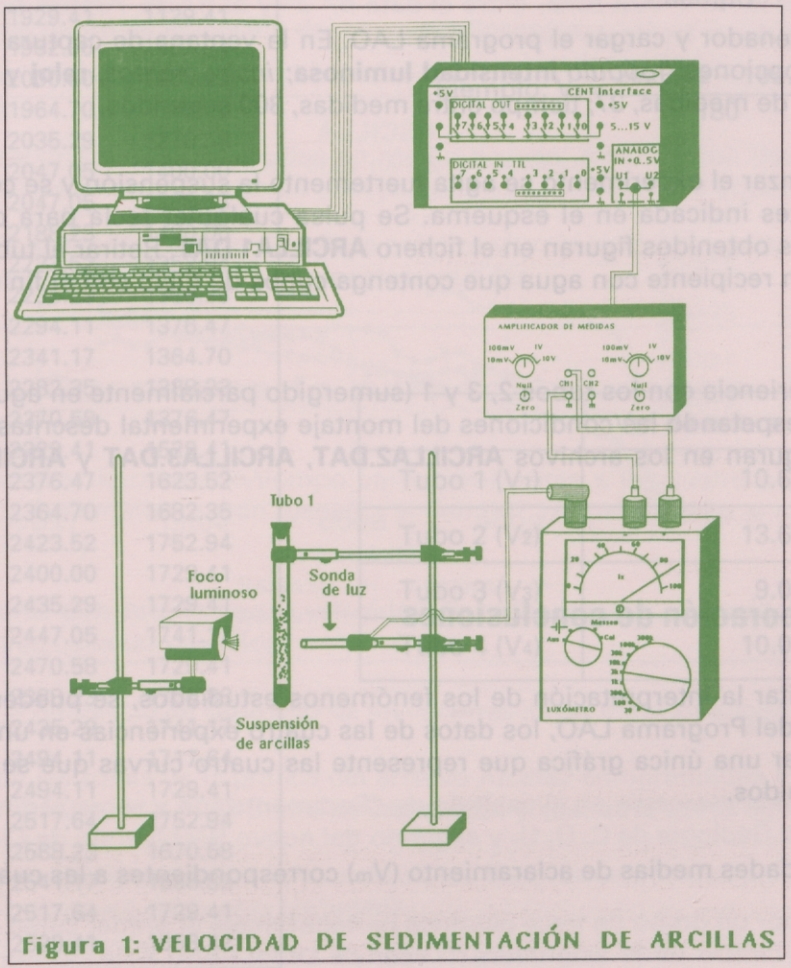


Figura 1: VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE ARCILLAS

a) Que la sonda del luxómetro mida en el centro de la suspensión, situándola muy próxima al tubo de ensayo. Con el fin de evitar distorsiones debidas a la incidencia de la luz ambiental sobre la sonda de luz, se debe colocar una caja de cartón alrededor de todo el montaje experimental.

b) Se fija, para todas las experiencias, la escala del luxómetro en 3 klx, de forma que la lectura, antes de agitar el contenido del tubo de ensayo (la arcilla permanece en el fondo del tubo), sea aproximadamente de 2750 lx. Para ello, se coloca el foco luminoso a una distancia del tubo de ensayo en la que el luxómetro registre esa lectura. La razón es la de reproducir las mismas condiciones de iluminación en las tres experiencias.

3. Arrancar el ordenador y cargar el programa LAO. En la ventana de captura elegir sucesivamente las siguientes opciones: *módulo* **intensidad luminosa**; *instrumentos*, **reloj** y **luxómetro**; opción, 5 (3 klx); número de medidas, 37; tiempo entre medidas, 300 segundos.

4. Antes de comenzar el experimento se agita fuertemente la suspensión y se coloca rápidamente en la posición antes indicada en el esquema. Se pulsa cualquier tecla para comenzar la toma de datos. Los datos obtenidos figuran en el fichero **ARCILLA1.DAT**. Retirar el tubo 1 y sumergirlo parcialmente en un recipiente con agua que contenga cubos de hielo con el fin de realizar una nueva experiencia.

5. Repetir la experiencia con los tubos 2, 3 y 1 (sumergido parcialmente en agua que contenga cubitos de hielo), respetando las condiciones del montaje experimental descritas en los apartados 2 y 3. Los datos figuran en los archivos **ARCILLA2.DAT**, **ARCILLA3.DAT** y **ARCILLA4.DAT** respectivamente.

Actividades y elaboración de conclusiones

Con el fin de facilitar la interpretación de los fenómenos estudiados, se pueden reunir, utilizando la opción *mezclar Hoja* del Programa LAO, los datos de las cuatro experiencias en un único fichero, con lo que es posible realizar una única gráfica que represente las cuatro curvas que se derivan de los datos experimentales obtenidos.

Calcular las velocidades medias de aclaramiento (V_m) correspondientes a las cuatro experiencias.

Datos experimentales del conjunto de medidas

Tiempo	Arcilla1	Arcilla2	Arcilla3
0	105.88	70.58	23.52
300	270.58	435.29	58.52
600	529.41	1376.47	400.00
900	682.35	1764.70	705.88
1200	835.29	1870.58	894.11
1500	941.17	1917.64	1082.35
1800	1105.88	1929.41	1129.41
2100	1129.41	1952.90	1152.94
2400	1294.11	2000.00	1235.29
2700	1247.05	1964.70	1188.23
3000	1364.70	2035.29	1270.58
3300	1423.52	2047.05	1400.00
3600	1447.05	2047.05	1388.23
3900	1600.00	2188.23	1400.00
4200	1576.47	2223.52	1352.94
4500	1494.11	2235.29	1388.23
4800	1505.88	2294.11	1376.47
5100	1576.47	2341.17	1364.70
5400	1776.70	2282.35	1388.23
5700	1835.29	2270.58	1376.47
6000	1823.52	2329.41	1529.41
6300	1858.82	2376.47	1623.52
6600	1800.00	2364.70	1682.35
6900	1811.76	2423.52	1752.94
7200	1835.29	2400.00	1729.41
7500	1788.23	2435.29	1729.41
7800	1776.47	2447.05	1741.17
8100	1847.05	2470.58	1729.41
8400	1776.47	2388.23	1705.88
8700	1882.35	2435.29	1741.17
9000	2058.80	2494.11	1717.64
9300	1929.41	2494.11	1729.41
9600	1988.23	2517.64	1752.94
9900	2058.82	2588.23	1670.58
10200	2023.52	2541.17	1658.82
10500	1929.41	2517.64	1729.41
10800	2023.52	2529.41	1658.42

$$V_m = \frac{\text{Iluminación final} - \text{Iluminación inicial}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{Ejemplo: } V_1 = \frac{2023.52 - 105.88}{180}$$

	Vm de aclaramiento (lx/minuto)
Tubo 1 (V_1)	10.65 (lx/min)
Tubo 2 (V_2)	13.66 (lx/min)
Tubo 3 (V_3)	9.08 (lx/min)
Tubo 4 (V_4)	10.06 (lx/min)

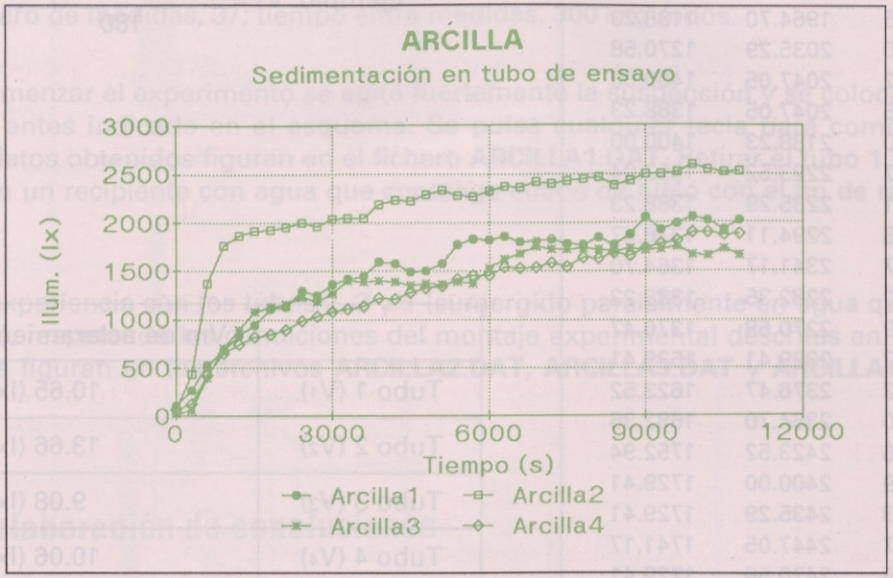
Al comparar las velocidades de aclaramiento de las suspensiones, se deduce que la velocidad de sedimentación es:

— Mayor en agua salada que en agua dulce ($V_2 > V_1$): formación de agregados inestables.

— Menor al aumentar la concentración de arcillas ($V_1 > V_3$), debido a que $V_s = V_o (1 - Ac)$.

— Superior en el tubo de ensayo mantenido a mayor temperatura. ($V_1 > V_4$), ya que al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad según la ley de Stokes.

Comparar las gráficas obtenidas. Así, por ejemplo, en el caso del gráfico correspondiente a Arcilla2 se observa un aclaramiento muy rápido en dos zonas: una, poco después de comenzar el experimento; entre el dato n.° 3 y el n.° 8. Y otra zona, entre el dato n.° 21 y el n.° 25. Ambas se corresponden con el paso por el luxómetro de un frente de sedimentación.



Aplicación dinámica

Esta práctica puede enmarcarse en el capítulo de "Sedimentación y rocas sedimentarias" correspondiente al programa de Geología de C. O. U. y segundo del nuevo Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud.

Ha sido realizada por un grupo de trece alumnos pertenecientes al primer curso del Bachillerato experimental de Ciencias dentro de la asignatura "Taller de Laboratorio Asistido por Ordenador". Dichos

alumnos estaban divididos en cuatro grupos de trabajo que se turnan en la utilización del equipo LAO. Mientras, los otros tres grupos de trabajo realizaban la experiencia observando al modo tradicional.

Una vez obtenidos los resultados se entregó una copia de impresora para cada alumno a fin de que pudieran interpretarlos.

La práctica estaba enmarcada dentro de un grupo de práctica sobre el agua, igualmente desarrolladas con el programa LAO, que contenía las siguientes experiencias.

— Equilibrio térmico.

— Poder amortiguador del agua.

— Determinación del punto de ebullición del agua; ebulloscopia.

— Simulación de la influencia del clima sobre la temperatura del agua de los océanos: zonas de altas y bajas latitudes.

— Estudios de la sedimentación de arcillas en medio acuoso: factores que determinan la velocidad de sedimentación de arcillas en tubo de ensayo, (que es la práctica que aquí se describe).

A cada alumno se le proporcionó un guión de la práctica y un cuestionario de preguntas. Una vez realizado, se hizo una puesta en común de las respuestas emitidas.

Cuestionario para los alumnos

1. Interpreta las gráficas iluminación/tiempo correspondientes a las cuatro experiencias realizadas. ¿Cómo varía la iluminación con respecto al tiempo? ¿A qué se debe el aclaramiento de las suspensiones?

2. Deduce los factores que determinan la velocidad de sedimentación de arcillas en tubo de ensayo. ¿Cómo influyen cada uno de ellos?

3. ¿A qué se debe la influencia de cada uno de los factores antes mencionados?

4. ¿Qué representan las zonas de la gráfica del archivo Arcilla2 comprendidas entre el dato n.° 3 y el n.° 8 y entre el n.° 21 y el n.° 25? Cómo se interpretan y cuál es la causa de su formación.

5. ¿Qué importancia crees que tiene la influencia de los factores estudiados para la sedimentación de arcillas en el océano en diferentes latitudes?

Bibliografía

BLANC, R., y GUYO, E.: *Mundo Científico* (Octubre, 1991). Barcelona: Ed. Fontalba, 1991.

ÁGUEDA, P., *et alter.*: *Geología* (2.ª ed.). Madrid: Editorial Rueda, 1986.

P. N. T. I. C.: *Manual de L. A. O.* Madrid, 1991.

Estudio del proceso kárstico

Ruiz Sáenz de Miera, A.; Blanco Honrado L. F., y Bayón Fernández, A.

Seminarios de Física y Química y de Ciencias Naturales

I. B. "Silverio Lanza". Getafe (Madrid)

Resumen

En esta unidad experimental se desarrollan diversos procedimientos (medidas de pH, medidas de intensidad de luz) para el estudio de los equilibrios químicos asociados a los fenómenos kársticos. Aunque aquí aparecen juntas, las distintas experiencias pueden realizarse de forma aislada.

Nivel educativo

Segundo grado de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Geología (C. O. U. actual).

Introducción teórica

El proceso kárstico es un fenómeno geológico importante en la formación e interpretación del relieve de las regiones calizas de la Península Ibérica. La morfología de estas zonas, con sus lapiaces, lenares, dolinas, torcas, simas, cavernas y galerías, estalactitas y estalagmitas, resultan especialmente sugerentes para los alumnos y alumnas que, no obstante, encuentran dificultades en la correcta interpretación de estas formaciones y en la valoración de la importancia que en su origen tiene la presencia del CO_2 disuelto en el agua.

El CO_2 disuelto en el agua de lluvia ataca la caliza (equilibrio carbonato/bicarbonato), disolviéndola y formando las consiguientes oquedades en el macizo rocoso. Posteriormente, los cambios de presión y temperatura que tienen lugar en el interior, hacen que el equilibrio se desplace nuevamente hacia la formación de carbonatos insolubles, lo que da lugar a la génesis de estalactitas y estalagmitas.

Equilibrios estudiados

1. *Disolución de CO_2 en agua.*

   En la naturaleza, el CO_2 que hay en la atmósfera se disuelve en el agua de lluvia según el equilibrio:

   $$H_2O + CO_2 \leftrightarrow H_2CO_{3(ac)} \quad \textbf{(Ec. 1)}$$

   Como el ácido carbónico es un ácido débil, el proceso anterior puede detectarse por un descenso del pH del agua.

2. *Reacción del H_2CO_3 (ac) con la caliza.*

   En la naturaleza, el ácido carbónico ataca al carbonato cálcico, principal componente de la caliza, disolviéndola según el equilibrio:

   $$H_2CO_{3(ac)} + CaCO_3\downarrow \leftrightarrow Ca(HCO_3)_{2(ac)} \quad \textbf{(Ec. 2)}$$

   En el laboratorio, una suspensión de carbonato cálcico insoluble puede solubilizarse por acción del ácido carbónico, lo que se detecta con medidas de turbidez con el luxómetro.

3. *Desplazamiento del equilibrio bicarbonato/carbonato con calor.*

   El aumento de temperatura en las disoluciones de bicarbonato favorece la precipitación del carbonato cálcico formando las estalactitas y estalagmitas

   $$Ca(HCO_3)_{2(ac)} + CALOR \leftrightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2 \quad \textbf{(Ec. 3)}$$

   El desplazamiento de este equilibrio hacia la derecha se acompaña de un ligero aumento del pH (gráfica 3).

   A veces el proceso kárstico global se esquematiza en los siguientes equilibrios (Babor Ibarz 1972):

   $$Ca(OH)_2 + CO_2 \leftrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

   $$+$$

   $$CO_2 \qquad \textbf{(Ec. 4)}$$

   $$\downarrow\uparrow$$

   $$Ca(HCO_3)_2 + CALOR \leftrightarrow CaCO_3\downarrow + CO_2 + H_2O$$

Las dos primeras etapas de este equilibrio, hasta la formación del $Ca(HCO_3)_2$, se corresponden con la gráfica 4.

Objetivos

— Facilitar la comprensión de los fenómenos kársticos mediante el estudio de los equilibrios químicos implicados.

— Familiarizar a alumno con las medidas de pH y de turbidez.

— Conseguir que los alumnos y alumnas adquieran una idea integradora e interdisciplinar del trabajo de laboratorio; aplicar los conceptos aprendidos en Química a la comprensión de fenómenos geológicos naturales.

Materiales

— Generador de CO_2.

— Montaje para sonda de luz.

— Termómetro.

— Vasos de precipitados de 200 cc.

— Agitador magnético.

— pHmetro del equipo LAO.

— Luxómetro y sonda de luz.

— Amplificador de medidas.

— Interfaz.

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Reactivos: Carbonato de calcio, Cloruro de hidrógeno, Hidróxido de calcio y Agua destilada.

Procedimiento

Como pasos previos, se realizarán las dos siguientes preparaciones:

1. *Generador de CO_2:*

   En un matraz kitasato se introducen 100 gramos de caliza. Se tapa el matraz con un embudo de bromo provisto de tapón de goma, al que se añade 200 ml de cloruro de hidrógeno concentrado.

Con una goma se conecta la salida del kitasato a un frasco lavador con agua hasta una altura de unos 5 cm. Se abre la llave del embudo y se dejan caer unas gotas de ácido, procurando mantener un burbujeo constante de CO_2 en el frasco lavador (véase la parte que corresponde en el MONTAJE 2). Antes de burbujear el CO_2 sobre una disolución, se debe desplazar el aire del aparato manteniendo la producción del CO_2 durante dos minutos.

2. *Preparación de una disolución de $Ca(OH)_2$*

En un vaso de precipitados de 500 ml se ponen 250 ml de agua aproximadamente; se añaden 0,9 g de $Ca(OH)_2$, se agita hasta su disolución, y se filtra sobre un matraz aforado de 1 l. Se añade agua hasta el enrase, se tapa el matraz y se guarda la disolución.

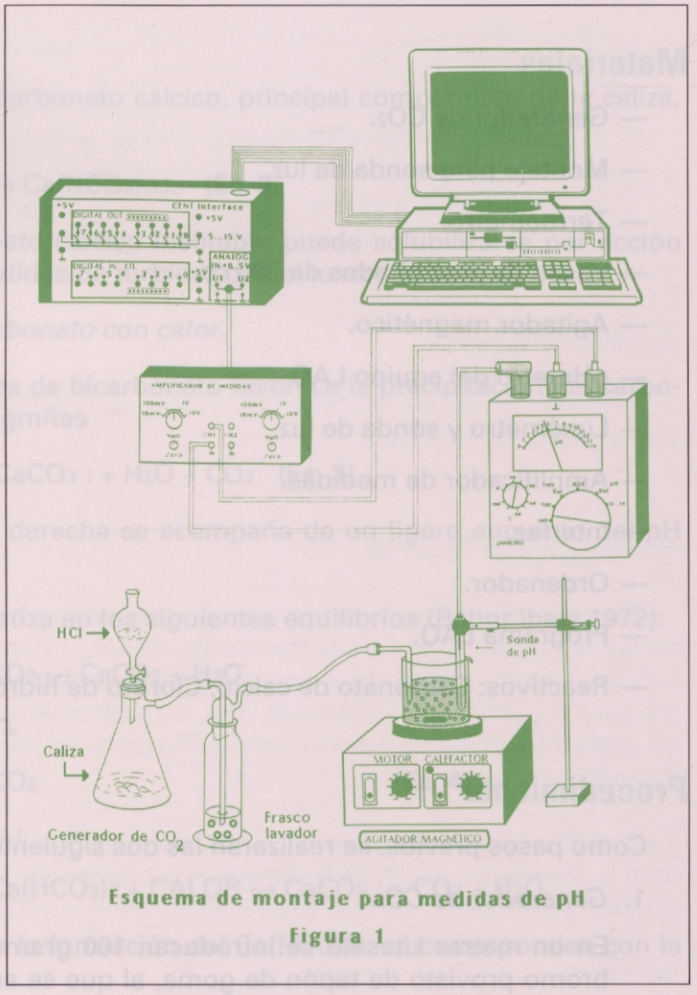
Procedimiento específico de la práctica

1. *Medidas de pH*

   a) En un vaso de precipitados de 250 ml se ponen 50 ml de la disolución a medir (en el caso del estudio de la disolución del CO_2 en agua, en el vaso se pondrá agua destilada). Se pone el vaso sobre el agitador magnético, y se introducen el electrodo, la barrita agitadora y el tubo de burbujeo del CO_2 proveniente del generador de CO_2. (Fig. 1).

   b) Se conecta el pHmetro según las instrucciones del manual del equipo LAO. Se calibra con disoluciones tampón, y, de acuerdo a las normas dadas en el manual de LAO, se establecen las conexiones al equipo de adquisición de datos. Se elige el módulo medidas de pH, se eligen como instrumentos reloj y pHmetro.

   c) Se ejecuta *comenzar experimento* y se ajusta el punto cero en el valor 3,5. Para terminar, se introduce el número



Esquema de montaje para medidas de pH

Figura 1

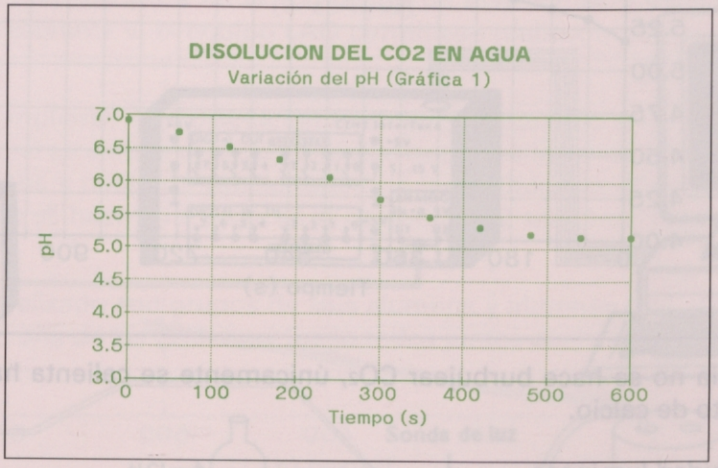
de medidas y el tiempo entre medidas. Se procede a la toma de medidas con un intervalo de tiempo que puede verse modificado según la experiencia de que se trate y la intensidad del burbujeo.

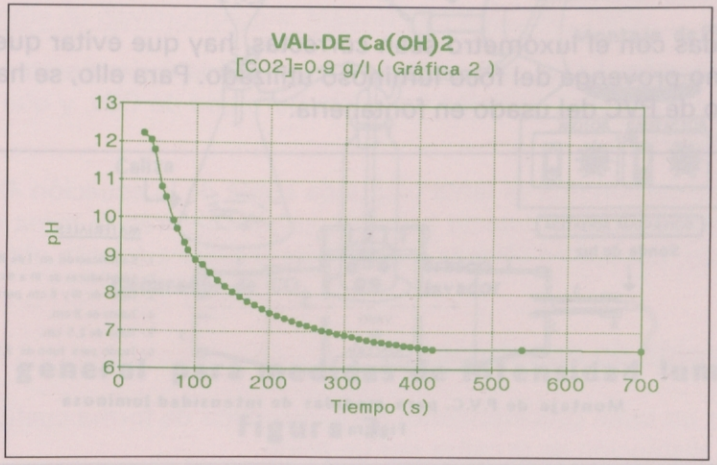
- **Disolución de CO_2 en agua**

  Once medidas; intervalo de tiempo 60 segundos (gráfica 1). La gráfica corresponde a los datos del fichero **PHCO2.DAT.**

- **Valoración de una disolución de $Ca(OH)_2$ (0,9 g/l)**

  Cincuenta medidas; intervalo de tiempo 15 segundos (gráfica 2). La Gráfica corresponde a los datos del fichero **DISOLUC.DAT.**

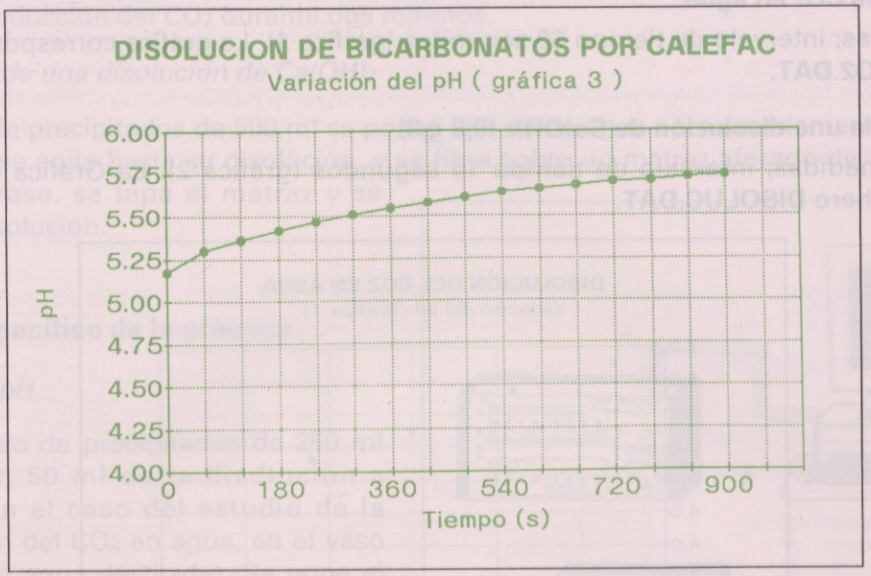




MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE - BIBLIOTECA -

- **Desplazamiento del equilibrio Bicarbonato/Carbonato con calor**

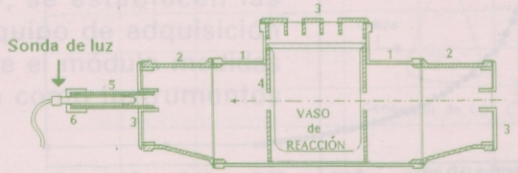
  Quince medidas; intervalo de tiempo 60 segundos (gráfica 3). La gráfica corresponde a los datos del fichero **BICARB.DAT**.



En esta experiencia no se hace burbujear CO_2, únicamente se calienta hasta ebullición la disolución de bicarbonato de calcio.

2. *Medidas de intensidad luminosa*

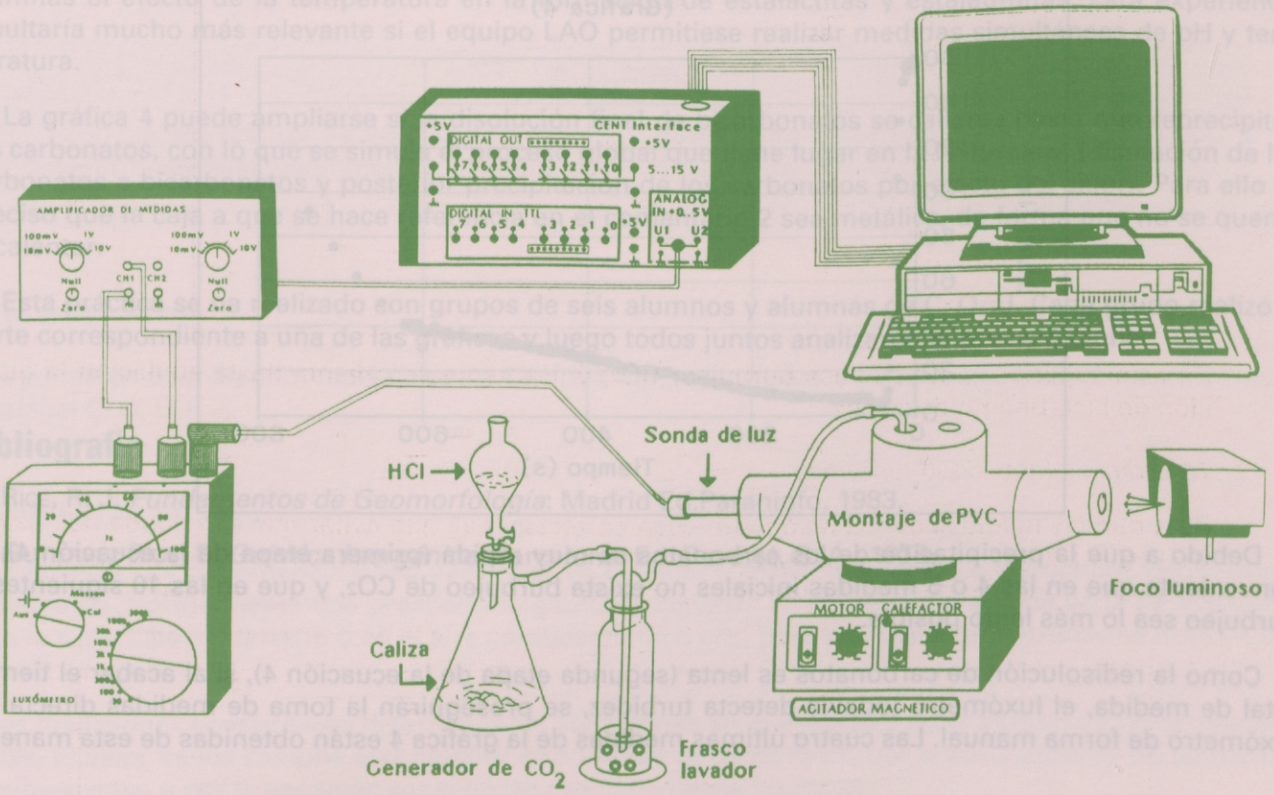
Para que las medidas con el luxómetro sean correctas, hay que evitar que a la sonda del luxómetro llegue luz que no provenga del foco luminoso utilizado. Para ello, se ha realizado el montaje de la figura 2 con tubo de PVC del usado en fontanería.



Montaje de P.V.C. para medidas de intensidad luminosa
Figura 2

a) El vaso de precipitados, en el que tiene lugar la reacción, se introduce en el montaje de PVC y se tapa para evitar que le llegue la luz. También podría utilizarse una caja de cartón pintada de negro, con dos perforaciones.

b) Una vez que se ha preparado un dispositivo para proteger la sonda de luz de la luz ambiental, se realiza el montaje de la figura siguiente. Se conecta el luxómetro siguiendo las indicaciones del manual del LAO. Se elige el *módulo* **intensidad luminosa** del Programa LAO y en la opción elegir *instrumentos,* se escoge el **reloj** y el **luxómetro**. Se selecciona la escala de tal manera que la aguja del luxómetro no sobrepase el máximo. Debe ajustarse el punto 0 de forma que el valor que registre el luxómetro coincida con el que aparece en pantalla.



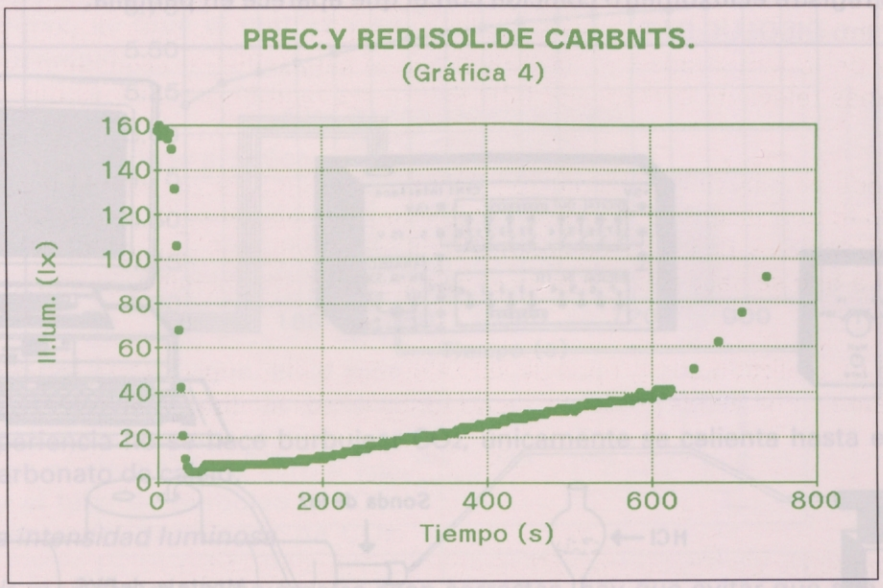
Esquema general para medidas de intensidad luminosa

Figura 3

c) Se ejecuta **comenzar experimento,** y se establece el número de medidas y tiempo entre medidas. Se pone el vaso con la disolución de $Ca(OH)_2$ sobre el agitador magnético, entre la sonda de luz y el foco luminoso, la barrita agitadora y el tubo de burbujeo del CO_2 proveniente del generador de CO_2. Se procede a la toma de datos.

- **Precipitación de carbonatos y redisolución**

Doscientas cincuenta medidas; intervalo de tiempo 2,5 segundos (gráfica 4). La gráfica corresponde a los datos del fichero **LUXOM.DAT**.



Debido a que la precipitación de los carbonatos es muy rápida (primera etapa de la ecuación 4), es conveniente que en las 4 o 5 medidas iniciales no exista burbujeo de CO_2, y que en las 10 siguientes el burbujeo sea lo más lento posible.

Como la redisolución de carbonatos es lenta (segunda etapa de la ecuación 4), si al acabar el tiempo total de medida, el luxómetro todavía detecta turbidez, se proseguirán la toma de medidas directa del luxómetro de forma manual. Las cuatro últimas medidas de la gráfica 4 están obtenidas de esta manera.

Actividades y elaboración de conclusiones

El generador de CO_2 es un buen procedimiento para introducir de forma cualitativa el fundamento de los fenómenos kársticos - disolución de la caliza por un ácido.

La gráfica 1 permite a los alumnos y alumnas comprender el comportamiento ácido del CO_2 y por qué disuelve la caliza. En el caso de disponer de un termostato, sería interesante repetir la experiencia a otras temperaturas, lo que permitiría discutir los efectos del clima en la formación de los paisajes kársticos, más espectaculares en los climas fríos y húmedos.

En la gráfica 2 se estudia el paso de $Ca(OH)_2$ a $CaCO_3$ con el consiguiente descenso de pH (primera parte del equilibrio 4 de la Introducción teórica). Este equilibrio no está directamente asociado al fenómeno kárstico en la Naturaleza.

En la gráfica 3 se estudia el efecto del calor sobre una disolución de bicarbonatos; a partir de los 70° C se empieza a desprender el CO_2 con precipitación de pequeñas cantidades de $CaCO_3$ y aumento del pH (equilibrio 3 de la Introducción teórica). Este equilibrio resulta muy útil para discutir con los alumnos y alumnas el efecto de la temperatura en la formación de estalactitas y estalagmitas. Esta experiencia resultaría mucho más relevante si el equipo LAO permitiese realizar medidas simultáneas de pH y temperatura.

La gráfica 4 puede ampliarse si la disolución final de bicarbonatos se calienta hasta que reprecipitan los carbonatos, con lo que se simula el proceso global que tiene lugar en la Naturaleza (disolución de los carbonatos a bicarbonatos y posterior precipitación de los carbonatos por efecto del calor). Para ello es preciso que la caja a que se hace referencia en el comentario 2 sea metálica, de forma que no se queme al calentar.

Esta práctica se ha realizado con grupos de seis alumnos y alumnas de C. O. U. Cada grupo realizó la parte correspondiente a una de las gráficas y luego todos juntos analizaron el proceso global.

Bibliografía

RICE, R. J. *Fundamentos de Geomorfología*: Madrid Ed.Paraninfo, 1983.

GUTIÉRREZ RÍOS, E. *Química Inorgánica.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

La gráfica 1 permite a los alumnos y alumnas comprender el comportamiento ácido del CO_2 y por que disolverá la caliza. En el caso de disponer de un termostato, sería interesante repetir la experiencia a dos temperaturas, lo que permitiría discutir los efectos del clima en la formación de los paisajes kársticos, más espectaculares en los climas fríos y húmedos.

En la gráfica 2 se estudia el paso de $Ca(OH)_2$ a $CaCO_3$ con el consiguiente descenso de pH (primera parte del equilibrio 4 de la introducción teórica). Este equilibrio no está directamente asociado al fenómeno kárstico en la Naturaleza.

En la gráfica 3 se estudia el efecto del calor sobre una disolución de bicarbonatos a partir de los 70° C se empieza a desprender el CO_2 con precipitación de pequeñas cantidades de $CaCO_3$ y aumento del pH (equilibrio 3 de la introducción teórica). Este equilibrio resulta muy útil para discutir con los alumnos y alumnas el efecto de la temperatura en la formación de estalactitas y estalagmitas. Esta experiencia resultaría mucho más relevante si el equipo LAO permitiese realizar medidas simultáneas de pH y temperatura.

La gráfica 4 puede ampliarse si la disolución final de bicarbonatos se calienta hasta que reprecipitan los carbonatos, con lo que se simula el proceso global que tiene lugar en la Naturaleza (disolución de los carbonatos a bicarbonatos y posterior precipitación de los carbonatos por efecto del calor). Para ello es preciso que la caja a que se hace referencia en el comentario 2 sea metálica, de forma que no se queme al calentar.

Esta práctica se ha realizado con grupos de seis alumnos y alumnas de C. O. U. Cada grupo realizó la parte correspondiente a una de las gráficas y luego todos juntos analizaron el proceso global.

Bibliografía

Rice, R. J. Fundamentos de Geomorfología. Madrid Ed.Paraninfo, 1983.

Debido a que la precipitación de carbonatos es lenta (segunda etapa de la ecuación 4), si al acabar el tiempo total de medida, el luxómetro todavía detecta turbidez, se proseguirán la toma de medidas directa del luxómetro de forma manual. Las cuatro últimas medidas de la gráfica 4 están obtenidas de esta manera.

Actividades y elaboración de conclusiones

El generador de CO_2 es un buen procedimiento para introducir de forma cualitativa el fundamento de los fenómenos kársticos - disolución de la caliza por un ácido.

Prospección eléctrica

Fernández de Diego F. J. y Peláez de Lucas, M.ª C.
Seminario de Ciencias Naturales
I. B. "Virgen de la Luz". Avilés (Asturias)
Barrio Alonso C.
Seminario de Física y Química
I. B. n.º 7., Oviedo (Asturias)

Resumen

Con las variaciones de voltaje medidas entre diferentes puntos se pueden detectar cambios en materiales geológicos a distintas profundidades, pudiendo cartografiarse los datos obtenidos.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Geología (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La finalidad de las prospecciones geofísicas es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas del subsuelo. Normalmente una prospección geofísica consiste en la ejecución de una serie de medidas sobre la superficie del terreno o en el aire paralelamente a ella, pero a veces estas medidas se hacen a lo largo de un sondeo.

Las mediciones consisten en determinar las variaciones en el espacio o en el tiempo de un campo de fuerzas. El valor de los campos está condicionado, entre otros factores, por la naturaleza de las estructuras subyacentes o por la variación zonal de las propiedades de las rocas.

Con frecuencia las discontinuidades físicas se corresponden con límites geológicos. La mayor o menor facilidad para interpretar estas variaciones dependerá del contraste de las propiedades físicas de las rocas presentes. Las propiedades de las rocas de las que se hace más uso en prospección geofísica

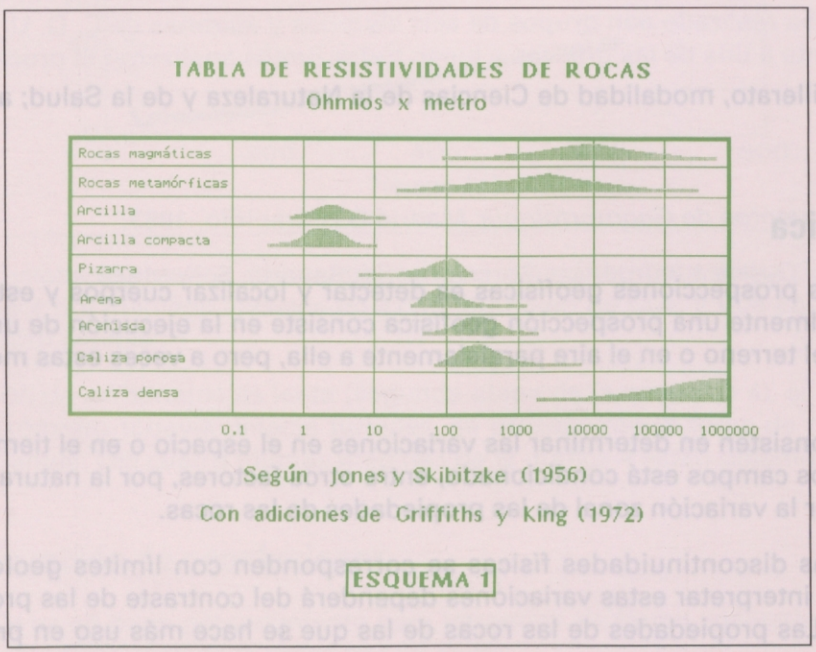
son la densidad (métodos gravimétricos), el magnetismo (métodos magnéticos), elasticidad (métodos sísmicos) y conductividad eléctrica (métodos eléctricos).

En los métodos eléctricos la corriente continua, o de baja frecuencia, se introduce en el terreno por medio de electrodos. Cuando se usa corriente continua (o alterna de baja frecuencia) y se aplica directamente al terreno, la medida consiste en la determinación del gradiente de potencial, aunque según el instrumento de medida se puede presentar como una resistencia.

Los métodos eléctricos se basan en que las variaciones de conductividad del subsuelo alteran el flujo de corriente en el interior de la Tierra, lo que determina una variación en la distribución del potencial eléctrico. El mayor o menor grado de alteración dependerá del tamaño, forma, localización y resistividad de los materiales del subsuelo.

A partir de los valores medidos de la intensidad de corriente inyectada al terreno, de la caída de potencial y de la separación entre electrodos se determina la resistividad aparente, que si el subsuelo es homogéneo coincide con la real del terreno, pero si no es el caso, el valor dependerá de las resistividades de las diferentes formaciones.

En la mayoría de las rocas la conduccción eléctrica es esencialmente electrolítica. Esto se debe a que los granos de las rocas son aislantes, por lo que la conducción eléctrica se hace a través del agua intersticial que normalmente contiene y en la que hay sales disueltas en mayor o menor cantidad, lo que la hace conductora.



ESQUEMA 1

Las resistividades de las distintas formaciones varía entre límites bastante amplios entre distintas zonas e incluso dentro de la misma zona, sobre todo en formaciones no del todo consolidadas. En el esquema 1 se pueden ver las resistivades eléctricas de una serie de rocas.

Objetivos

— Intepretar la estructura subyacente mediante la obtención de un conjunto de medidas para elaborar gráficas de las variaciones de conductividad eléctrica que se produzcan, y que se corresponderán con los límites entre rocas de distinta composición.

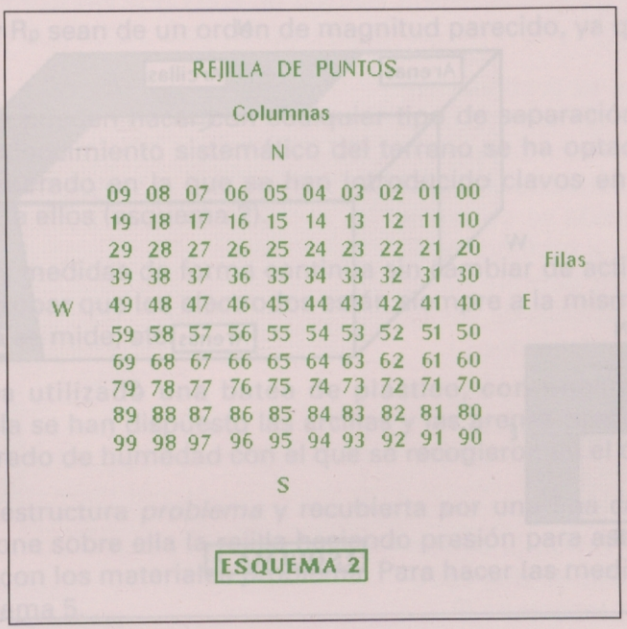
— Estudio y discusión de los resultados obtenidos. La cartografía de estas alteraciones nos revelará la estructura existente en el subsuelo a distintas profundidades.

Material

— Cables de conexión.

— Resistencias patrón.

— Transformador con diversas salidas de voltaje.



ESQUEMA 2

— Interfaz CENT.

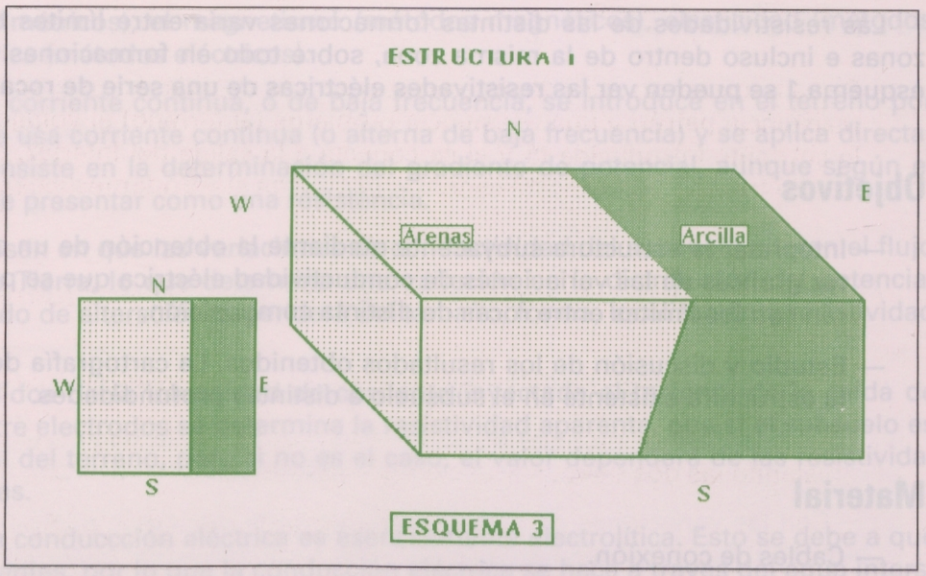
— Amplificador de medidas.

— Rejilla con clavos (esquema 2).

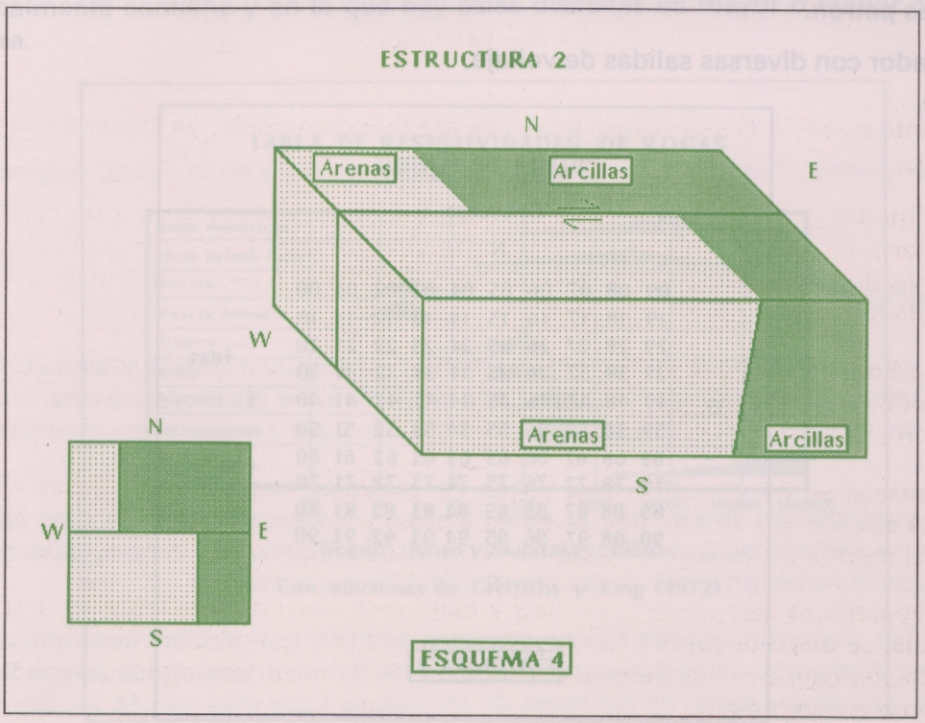
— Cubeta para disponer las estructuras problema (esquemas 3 y 4).

— Muestras de materiales geológicos, en este caso arcillas y arenas.

— Programa LAO.



ESQUEMA 3



ESQUEMA 4

Procedimiento

1. Se va a utilizar un método aproximado para la medida de resistencias. Si se disponen en serie una resistencia patrón y una resistencia problema (el terreno) el voltaje total será el correspondiente a la corriente introducida (5 V si se conecta a la salida del Interfaz, o distintos tipos de voltaje si se usa un transformador/rectificador de pequeños electrodomésticos).

$$V + V_p = 5\ V$$

siendo V el voltaje del terreno y V_p la medida de voltaje en la resistencia patrón.

La intensidad de corriente en el patrón será $I = V_p/R_p$ mientras que en el terreno será $I = V/R$.

Al tratarse de un montaje en serie la intensidad es la misma en ambas resistencias, con lo que igualando las dos últimas ecuaciones y sustituyendo $V = (5 - V_p)$:

$$(5 - V_p)/R = V_p/R_p;\ 5 - V_p = (R * V_p)/R_p$$

y entonces:

$$R = (5 - V_p) * R_p/V_p$$

Es conveniente que R y R_p sean de un orden de magnitud parecido, ya que si no se podría cometer mucho error.

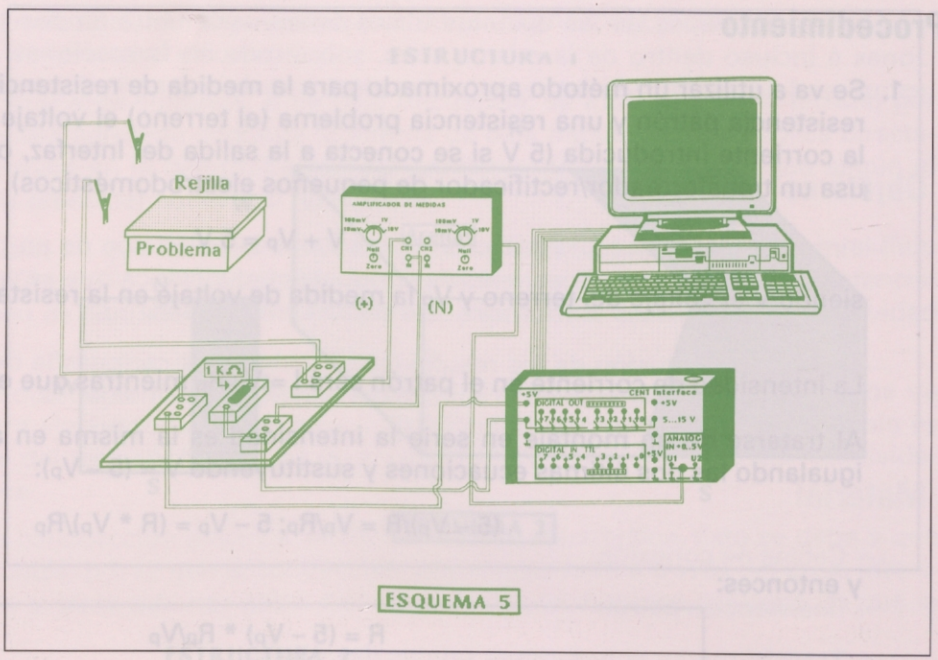
2. Aunque las medidas se pueden hacer con cualquier tipo de separación y en cualquier dirección, para proceder a un reconocimiento sistemático del terreno se ha optado por construir una rejilla con una tabla de aglomerado en la que se han introducido clavos en filas y columnas con una separación de 3 cm entre ellos (esquema 2).

   Esto permitirá hacer las medidas de forma continua sin cambiar de actividad para tomar distancia entre electrodos, comprobar que los electrodos están siempre a la misma profundidad, comprobar la orientación en la que se mide, etc.

3. Para el montaje se ha utilizado una batea de plástico, con unas medidas aproximadas de 30 X 30 X 14 cm. En ella se han dispuesto las arcillas y las arenas prensándolas pero sin humedecerlas, con el mismo grado de humedad con el que se recogieron en el campo (esquemas 3 y 4).

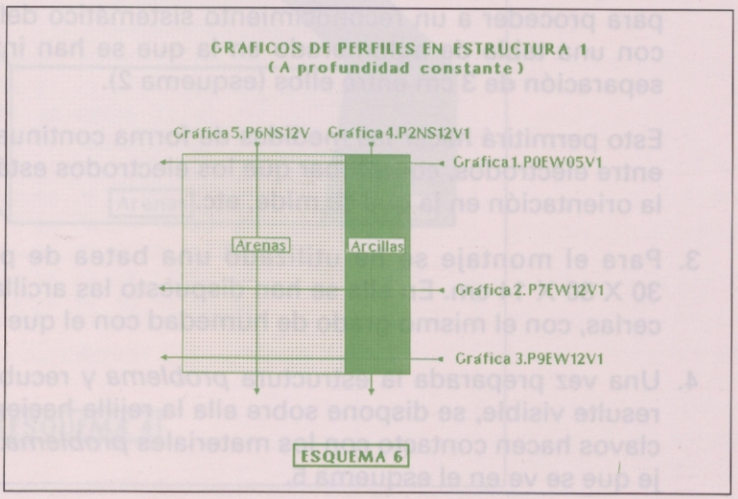
4. Una vez preparada la estructura *problema* y recubierta por una fina capa de arena, para que no resulte visible, se dispone sobre ella la rejilla haciendo presión para asegurarnos de que todos los clavos hacen contacto con los materiales *problema*. Para hacer las medidas se construye el montaje que se ve en el esquema 5.

5. Se carga el programa LAO y en elegir *módulo* se opta por **corriente continua,** y en elegir *instrumento* por **voltímetro**. Se escoge en la escala 5 Voltios si se usa la salida del CENT, o 10 V si se utiliza un transformador. (En el Amplificador de Medidas colocar también el indicador en 5 o 10 V). A continuación se decide el número de muestras a tomar, se ajusta el punto 0 y en *comenzar experimento* se van realizando medidas de forma sistemática, lo que permitirá levantar una serie de perfiles a diferentes profundidades.



ESQUEMA 5

6. El valor que se obtiene es la conductividad a una profundidad aproximada de la mitad de la distancia entre los dos puntos entre los que se hace la medida. Al separar los puntos de medida se obtienen datos correspondientes a profundidades cada vez mayores. Esto permite hacer sondeos, al ver las variaciones de voltaje en puntos cada vez más profundos.

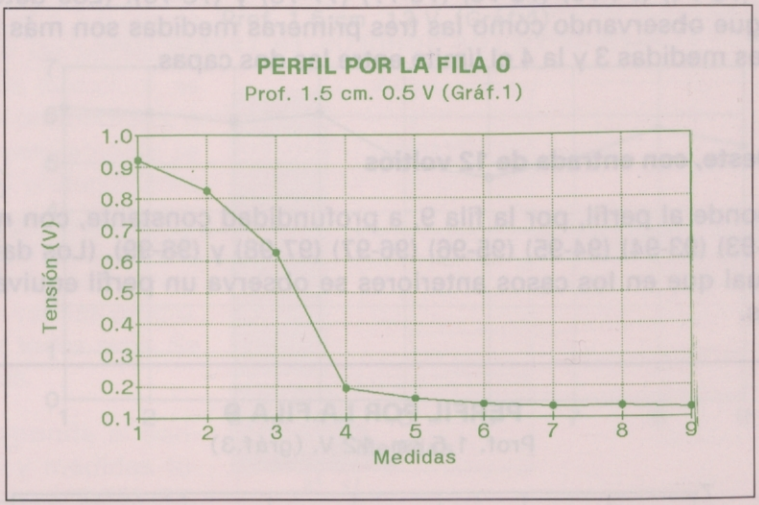


ESQUEMA 6

Actividades y elaboración de conclusiones

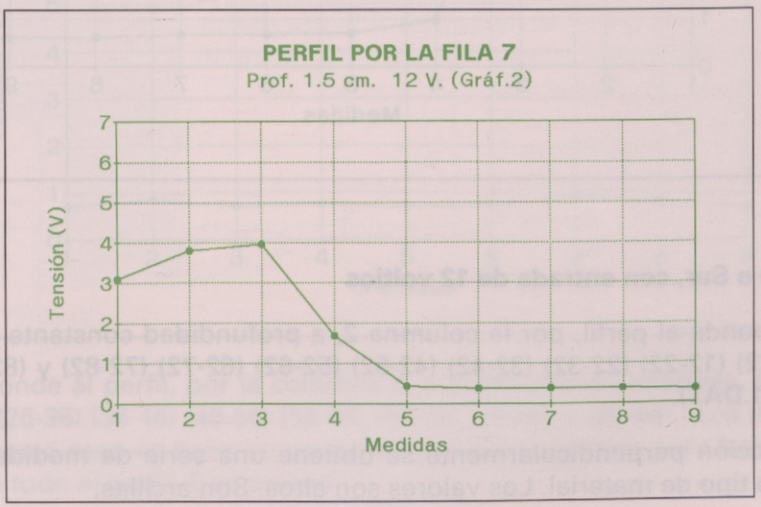
Perfiles en la Estructura 1: Podría corresponder lo mismo a un modelo de dos estratos verticales que a una falla (esquema 6).

A. Perfil de Este a Oeste, con entrada de 0,5 voltios



La *gráfica 1* corresponde al perfil, por la fila 0, a profundidad constante, tomando datos entre los puntos: (00-01) (01-02) (02-03) (03-04) (04-05) (05-06) (06-07) (07-08) y (08-09). (Los datos están en el fichero **POEW05V1. DAT)**. Como los puntos están separados 3 cm se estima que la profundidad de medida será de 1,5 cm. Se aprecia que los valores son altos en las tres primeras, (06-0.9 V) al estar sobre arcillas, y los restantes mucho má bajos (0.1-0.2 V), estando sobre arenas.

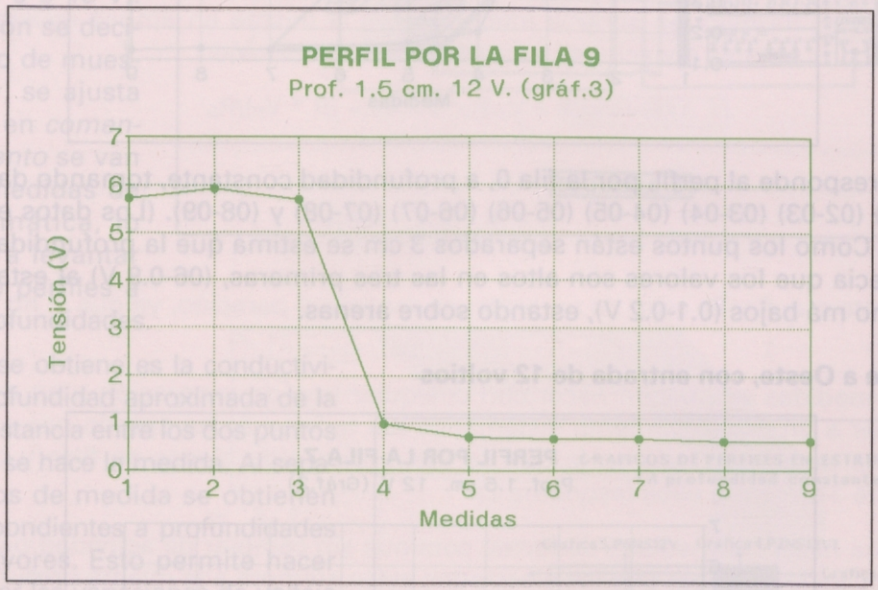
B. Perfil de Este a Oeste, con entrada de 12 voltios



La *gráfica 2* corresponde al perfil, por la fila 7, a profundidad de 1,5 cm con medidas entre los puntos: (70-71) (71-72) (72-73) (73-74) (74-75) (75-76) (76-77) (77-78) y (78-79). (Los datos están en el fichero **P7EW12V1.DAT**). Se sigue observando cómo las tres primeras medidas son más altas que las restantes y sigue estando entre las medidas 3 y la 4 el límite entre las dos capas.

C. Perfil de Este a Oeste, con entrada de 12 voltios

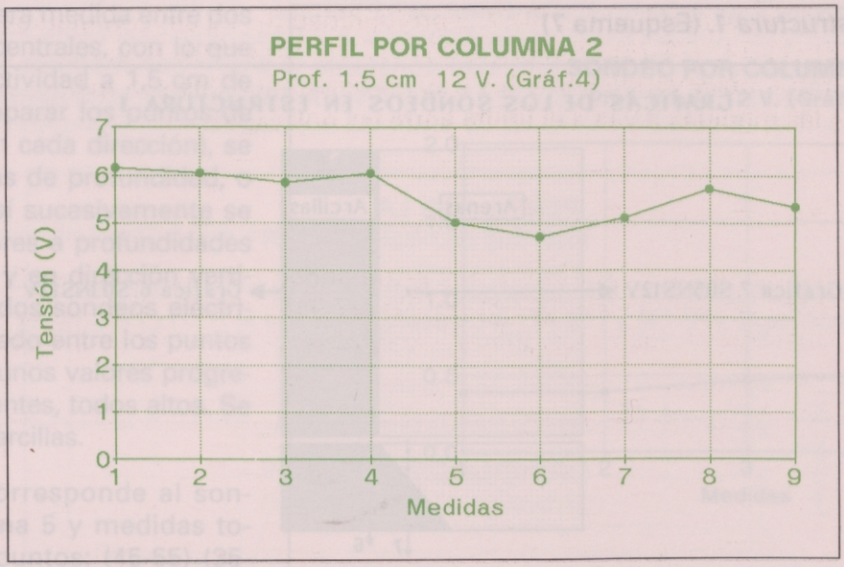
La *gráfica 3* corresponde al perfil, por la fila 9, a profundidad constante, con medidas entre los puntos: (90-91) (91-92) (92-93) (93-94) (94-95) (95-96) (96-97) (97-98) y (98-99). (Los datos están en el fichero **P9EW12V1.DAT**). Al igual que en los casos anteriores se observa un perfil equivalente con tres valores altos y el resto menores.

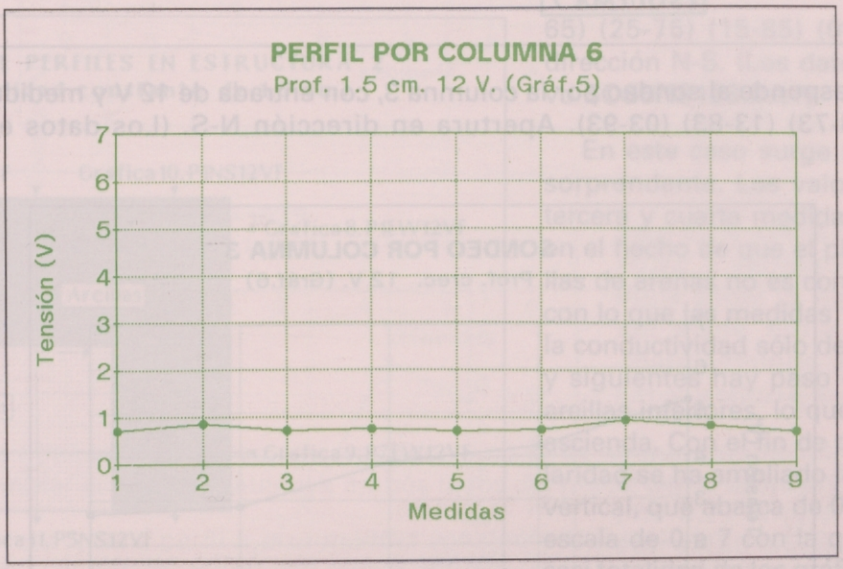


D. Perfiles de Norte a Sur, con entrada de 12 voltios

La *gráfica 4* corresponde al perfil, por la columna 2, a profundidad constante (1.5 cm), con medidas entre los puntos: (02-12) (12-22) (22-32) (32-42) (42-52) (52-62) (62-72) (72-82) y (82-92). (Los datos están en el fichero **P2NS12V1.DAT**).

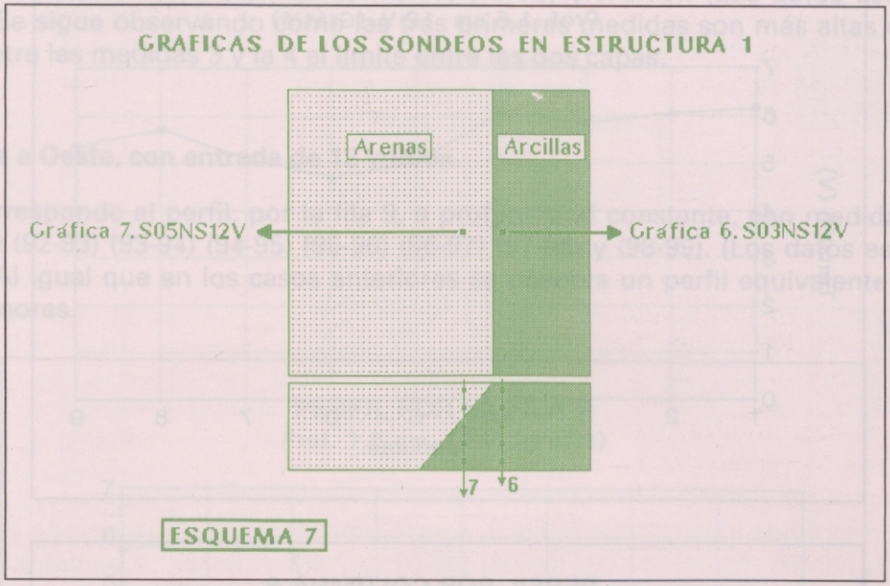
Al cambiar de dirección perpendicularmente se obtiene una serie de medidas casi iguales, lo que indica que es el mismo tipo de material. Los valores son altos. Son arcillas.



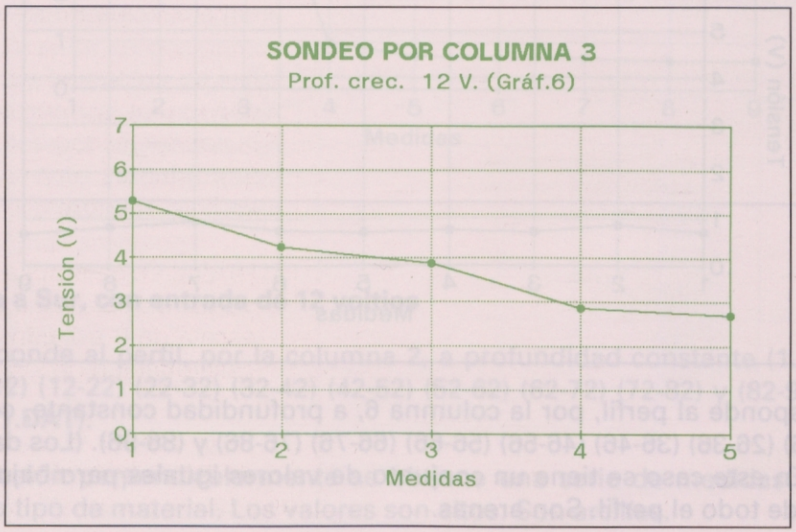


La *gráfica 5* corresponde al perfil, por la columna 6, a profundidad constante, con medidas entre los puntos: (06-16) (16-26) (26-36) (36-46) (46-56) (56-66) (66-76) (76-86) y (86-96). (Los datos están en el fichero **P6NS12V1.DAT**). En este caso se tiene un conjunto de valores iguales pero bajos. No hay cambio de materiales a lo largo de todo el perfil. Son arenas.

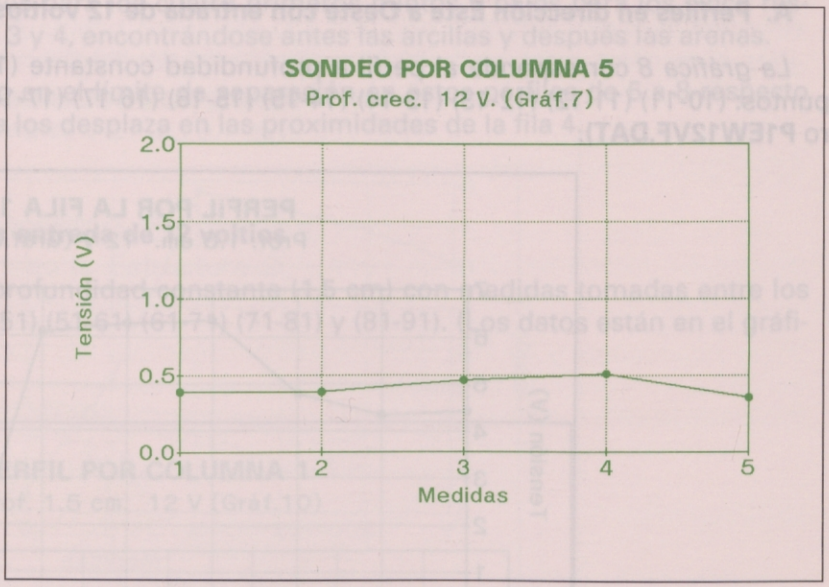
Sondeos en la Estructura 1. (Esquema 7)



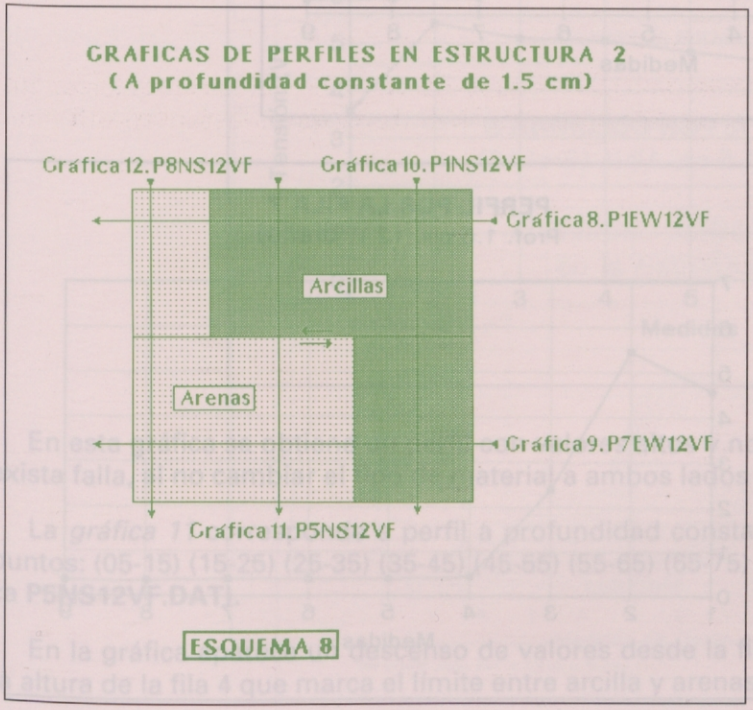
La *gráfica 6* corresponde al sondeo por la columna 3, con entrada de 12 V y medidas entre los puntos: (43-53) (33-63) (23-73) (13-83) (03-93). Apertura en dirección N-S. (Los datos están en el fichero **SO3NS12V.DAT**).



Se hace la primera medida entre dos puntos contiguos centrales, con lo que se mide la conductividad a 1,5 cm de profundidad. Al separar los puntos de medida 6 cm (3 en cada dirección), se medirá a 3 cm más de profundidad, o sea a 4,5 cm, y así sucesivamente se obtendrán los valores a profundidades cada vez mayores y en dirección vertical. Son los llamados sondeos eléctricos. En éste, realizado entre los puntos 43 y 53, se miden unos valores progresivamente decrecientes, todos altos. Se hace el sondeo en arcillas.



La *gráfica 7* corresponde al sondeo por la columna 5 y medidas tomadas entre los puntos: (45-55) (35-65) (25-75) (15-85) (05-95). Apertura en dirección N-S. (Los datos están en el archivo **SOS5NS12S.DAT**).

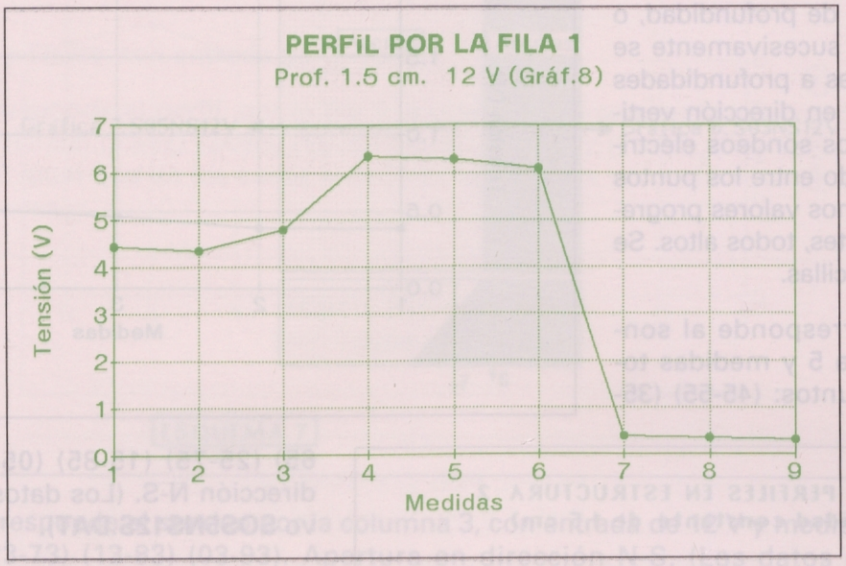


En este caso surge algo aparentemente sorprendente. Los valores aumentan en la tercera y cuarta medida. La explicación está en el hecho de que el plano que separa arcillas de arenas no es completamente vertical, con lo que las medidas 1 y 2 corresponden a la conductividad sólo de arenas, pero en la 3 y siguientes hay paso de corriente por las arcillas inferiores, lo que hace que la lectura ascienda. Con el fin de destacar esta particularidad se ha ampliado la escala en dirección vertical, que abarca de 0 a 2 V, en lugar de la escala de 0 a 7 con la que se representan la casi totalidad de los gráficos.

Perfiles en la estructura 2: Corresponde a un modelo de dos estratos verticales desplazados por una falla (esquema 8).

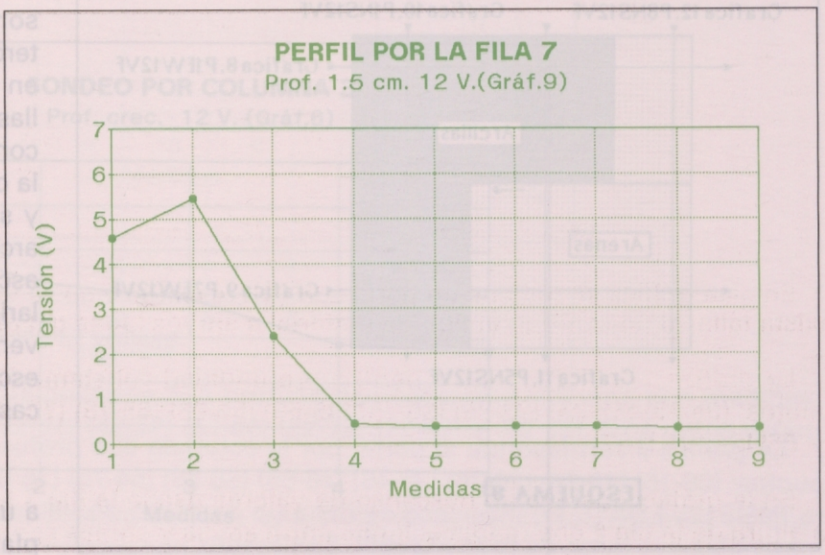
A. Perfiles en dirección Este a Oeste con entrada de 12 voltios

La gráfica 8 corresponde al perfil a profundidad constante (1,5 cm) con medidas tomadas entre los puntos: (10-11) (11-12) (12-13) (13-14) (14-15) (15-16) (16-17) (17-18) y (18-19). (Los datos están en el fichero **P1EW12VF.DAT**).



Hay una serie de valores altos para las primeras seis medidas y bajos para las tres restantes. El límite entre las dos capas se sitúa entre las columnas 6 y 7. Las primeras medidas corresponden a arcillas y las segundas, a arenas.

La *gráfica 9* corresponde al perfil a profundidad constante (1,5 cm) con medidas tomadas entre los puntos: (70-71) (71-72) (72-73) (73-74) (74-75) (75-76) (76-77) (77-78) (78-79). (Los datos están en el fichero **P7EW12VF.DAT**).

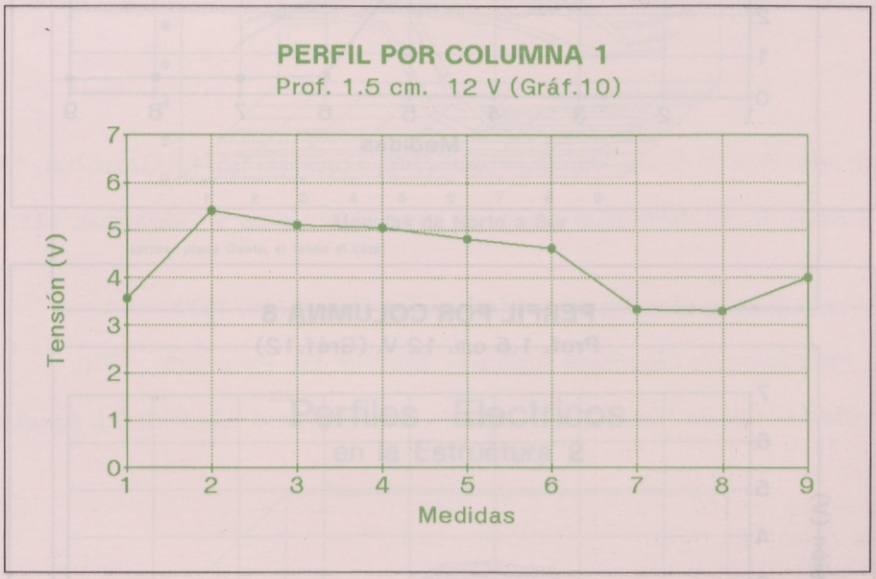


En la gráfica hay valores de voltaje altos para los cuatro primeros puntos y bajos para los cinco restantes. El límite estará entre las columnas 3 y 4, encontrándose antes las arcillas y después las arenas.

Se observa pues, cómo hay un cambio en el límite de separación en estos perfiles de 5 a 8 respecto de los del 0 al 3. Hay un plano de falla que los desplaza en las proximidades de la fila 4.

B. Perfiles en dirección Norte a Sur con entrada de 12 voltios

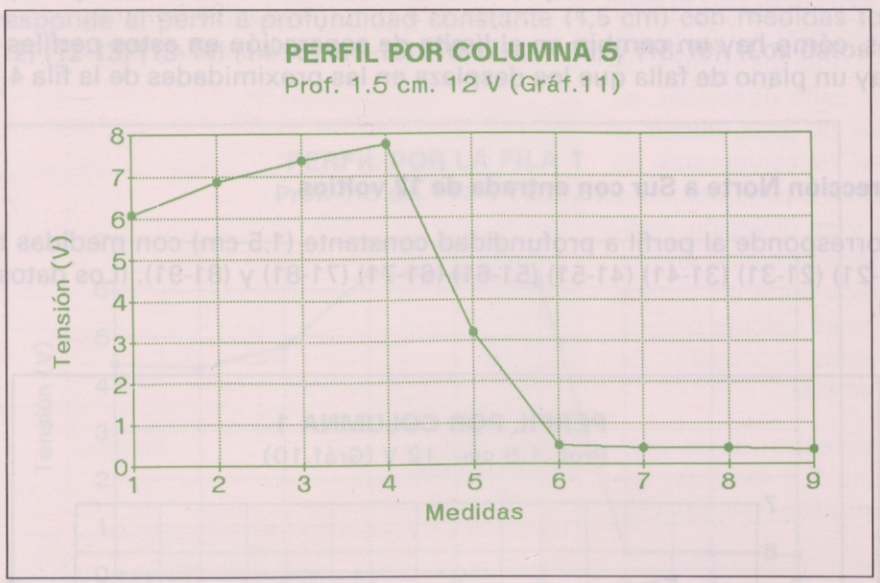
La gráfica 10 corresponde al perfil a profundidad constante (1,5 cm) con medidas tomadas entre los puntos: (01-11) (11-21) (21-31) (31-41) (41-51) (51-61) (61-71) (71-81) y (81-91). (Los datos están en el gráfica **P1N512VF.DAT**).

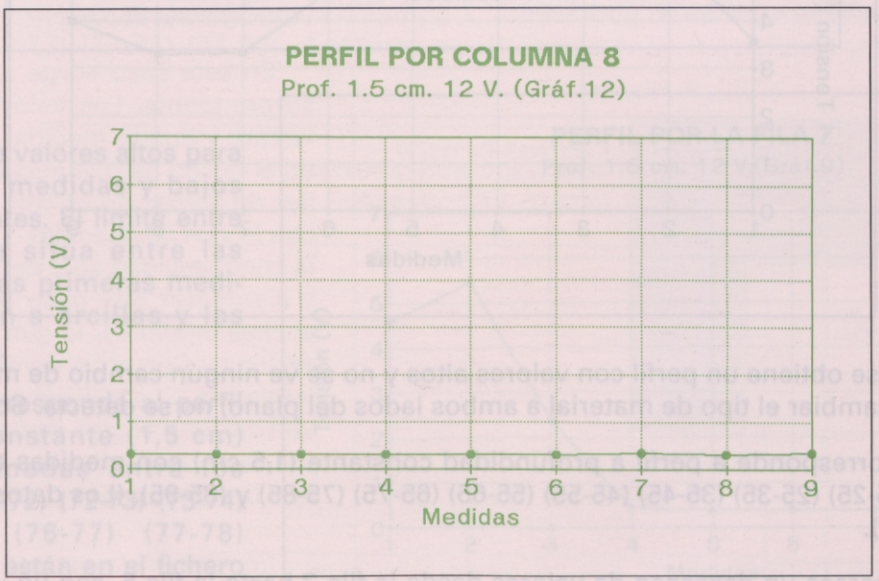


En esta gráfica se obtiene un perfil con valores altos y no se ve ningún cambio de materiales. Aunque exista falla, al no cambiar el tipo de material a ambos lados del plano, no se detecta. Son arcillas.

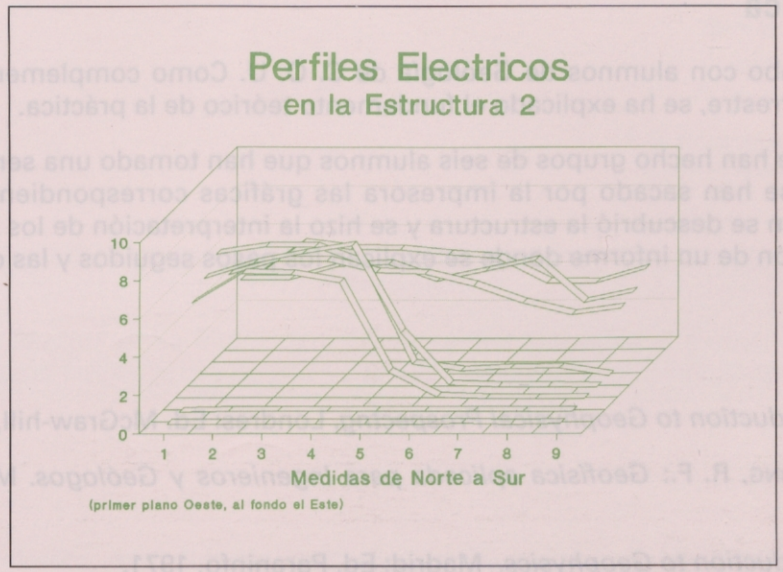
La *gráfica 11* corresponde a perfil a profundidad constante (1,5 cm) con medidas tomadas entre los puntos: (05-15) (15-25) (25-35) (35-45) (45-55) (55-65) (65-75) (75-85) y (85-95). (Los datos están en la gráfica **P5NS12VF.DAT**).

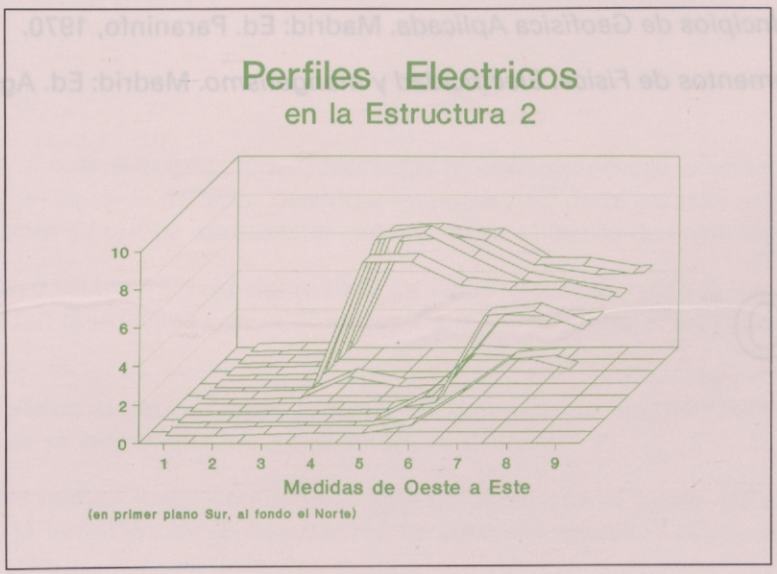
En la gráfica aparece un descenso de valores desde la fila 3 hasta la fila 5, con un valor intermedio a la altura de la fila 4 que marca el límite entre arcilla y arenas separadas por la falla.


PERFIL POR COLUMNA 5
Prof. 1.5 cm. 12 V (Gráf.11)
Tensión (V)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Medidas


PERFIL POR COLUMNA 8
Prof. 1.5 cm. 12 V. (Gráf.12)
Tensión (V)
0
1
2
3
4
5
6
7
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Medidas

La gráfica 12 corresponde al perfil profundidad constante (1,5 cm) con medidas tomadas entre los puntos: (08-18) (18-28) (28-38) (38-48) (48-58) (58-68) (68-78) (78-88) y (88-98). (Los datos están en la gráfica **P8NS12VF.DAT**). En esta gráfica se obtiene un perfil uniforme de valores muy bajos, lo que indica que son arenas. Tampoco aquí se detecta la fractura.





En la dos gráficas anteriores se muestra el conjunto de las mediciones realizadas en la determinación de los Perfiles Eléctricos en la Estructura 2, en las direcciones N-S y W-E.

Aplicación didáctica

Se ha llevado a cabo con alumnos de Geología de C. O. U. Como complemento a los métodos de estudio del interior terrestre, se ha explicado el fundamento teórico de la práctica.

En el laboratorio se han hecho grupos de seis alumnos que han tomado una serie de medidas en distintas direcciones y se han sacado por la impresora las gráficas correspondientes a las mediciones hechas. A continuación se descubrió la estructura y se hizo la interpretación de los resultados obtenidos, mediante la elaboración de un informe donde se explican los pasos seguidos y las conclusiones finales.

Bibliografía

DOBRIN, M. B.: *Introduction to Geophysical Prospectng.* Londres: Ed. McGraw-hill, 1960.

GRIFFITS, D. H. & KING, R. F.: *Geofísica aplicada para Ingenieros y Geólogos.* Madrid: Ed. Paraninfo, 1972.

HOWELL, B. F.: *Introduction to Geophysics.* Madrid: Ed. Paraninfo, 1971.

PARASNINS, D. S.: *Principios de Geofísica Aplicada.* Madrid: Ed. Paraninfo, 1970.

SEARS, F. W.: *Fundamentos de Física. Electricidad y mangetismo.* Madrid: Ed. Aguilar, 1971.

Química

En la dos gráficas anteriores se muestra el conjunto de las mediciones realizadas en la determinación de los Perfiles Eléctricos en la Estructura 2, en las direcciones N-S y W-E.

Aplicación didáctica

Se ha llevado a cabo con alumnos de Geología de C. O. U. Como complemento a los métodos de estudio del interior terrestre, se ha explicado el fundamento teórico de la práctica.

En el laboratorio se han hecho grupos de seis alumnos que han tomado una serie de medidas en distintas direcciones y se han sacado por la impresora las gráficas correspondientes a las mediciones hechas. A continuación se descubrió la estructura y se hizo la interpretación de los resultados obtenidos, mediante la elaboración de un informe donde se explican los pasos seguidos y las conclusiones finales.

Bibliografía

DOBRIN, M. B.: *Introduction to Geophysical Prospectng*. Londres: Ed. McGraw-hill, 1960.

GRIFFITS, D. H. & KING, R. F.: *Geofísica aplicada para Ingenieros y Geólogos*. Madrid: Ed. Paraninfo, 1972.

HOWELL, B. F.: *Introduction to Geophysics*. Madrid: Ed. Paraninfo, 1971.

PARASNINS, D. S.: *Principios de Geofísica Aplicada*. Madrid: Ed. Paraninfo, 1970.

SEARS, F. W.: *Fundamentos de Física. Electricidad y mangetismo*. Madrid: Ed. Aguilar, 1971.

Valoración de cloruros por turbidimetría

De Bobes Picornell C.
Seminario de Ciencias Naturales
Jordá Real A. y Bonet Oliver B.
Seminario de Física y Química
I. B. Berenguer d'Anoia. Inca (Baleares)

Resumen

Mediante la medida de la intensidad luminosa que atraviesa el matraz de valoración se detecta el punto de equivalencia de una valoración de cloruros por precipitación.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Tecnología, y de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Química (actual C. O. U.).

Introducción teórica

Durante una valoración de precipitación, al formarse el precipitado por adición del reactivo, se produce en el matraz un aumento de la turbidez debido a la dispersión de la luz que originan las partículas del precipitado. Este aumento se puede aprovechar para detectar el punto de equivalencia de la valoración.

Se hace pasar un rayo de luz a través del matraz de valoración y se mide la intensidad de la luz que lo atraviesa. Esta intensidad disminuye con el volumen de reactivo hasta el punto de equivalencia, en que se hace constante.

Si representamos la intensidad de luz en función del volumen de reactivo, se obtiene una curva cuya forma sería como la que se representa a continuación.

El punto de equivalencia se puede considerar que coincide con el punto de intersección de las dos rectas. (En la práctica, la variación de la Iluminación no es lineal respecto al volumen de reactivo y debe buscarse por extrapolación).

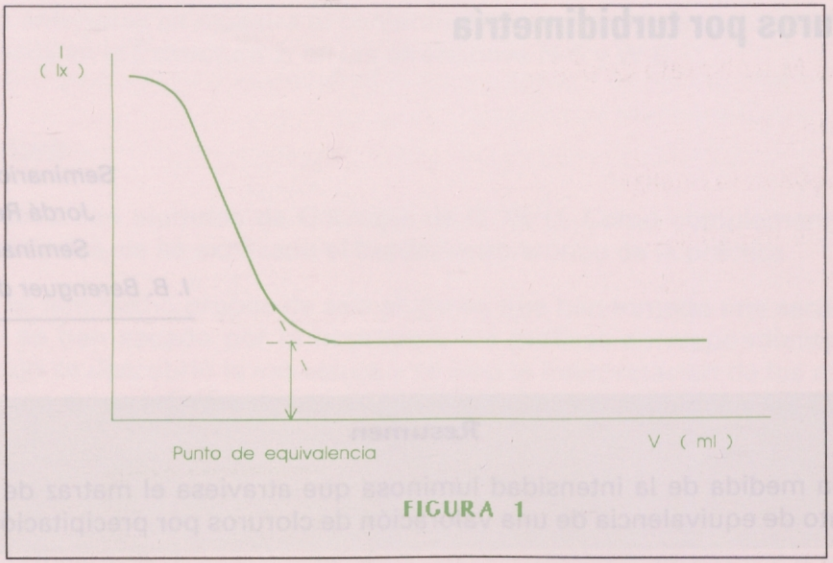


FIGURA 1

Objetivos

— Seguir de una forma objetiva, mediante el luxómetro, el curso de una valoración y obtener la gráfica correspondiente.

— Comprobar que en el punto de equivalencia se produce un cambio brusco de la pendiente de la curva e interpretarlo.

Material de laboratorio

— Vaso de precipitados.

— Soportes.

— Pinzas.

— Agitador magnético.

— Bureta.

— Caja oscura con agujeros para bureta.

— Fuente luminosa.

— Sonda de luz.

— Disolución 0.1 M de Nitrato de plata.

— Agua destilada.

— Muestra de agua para analizar.

— Amplificador de medidas.

— Impresora.

— Interfaz CENT.

— Luxómetro.

— Sonda de luz.

— Ordenador.

— Programa LAO.

Procedimiento

1. Se realiza el montaje experimental que se esquematiza a continuación:

2. Se coloca la caja sobre el agitador y en su interior se pone el vaso de precipitados con la muestra de agua. La concentración de cloruros no debe ser muy elevada; en caso contrario deberá diluirse la muestra para que la cantidad de precipitado no interfiera totalmente el paso de la luz. En nuestro caso una concentración de 0.02 g/l dio buenos resultados.

3. Se coloca la fuente luminosa en línea recta con la sonda, de tal manera que el haz de luz atraviese la muestra de agua e incida sobre la sonda. Se elige la escala adecuada del luxómetro

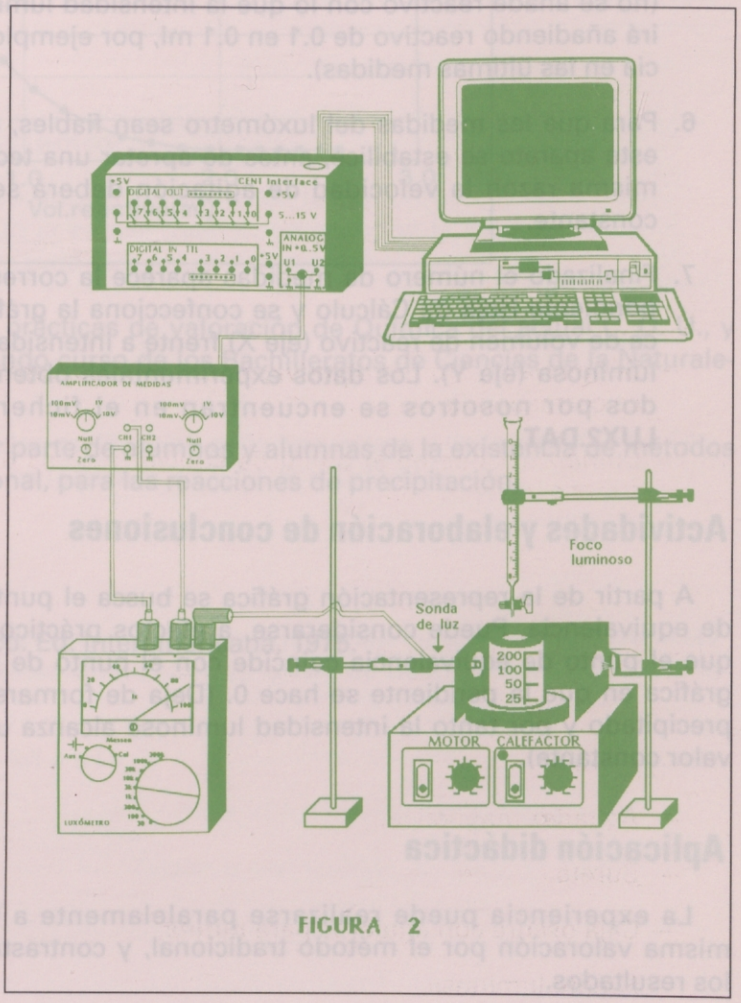


FIGURA 2

(para ello hay que comenzar por la escala máxima, pues en caso contrario puede estropearse el luxómetro) en nuestro caso 10 klx.

4. Se selecciona el *módulo* de **Intensidad luminosa** y se eligen como *instrumentos* **teclado** y **luxómetro**. Después de seleccionar **comenzar experimento**, se ajusta el punto cero. En cuanto al número de medidas se toman 20 (este número podrá ser variado según las condiciones de la experiencia).

5. En pantalla aparecerá el mensaje "Pulse una tecla para comenzar el experimento", y mediante el teclado se van introduciendo los valores de cada medida. En la primera se introducirá el valor cero (no se añade reactivo con lo que la intensidad luminosa será máxima) y en medidas sucesivas se irá añadiendo reactivo de 0.1 en 0.1 ml, por ejemplo. (Deberá sobrepasarse el punto de equivalencia en las últimas medidas).

6. Para que las medidas del luxómetro sean fiables, es necesario esperar que el valor que registra este aparato se estabilice, antes de apretar una tecla para proceder a la siguiente medida. Por la misma razón la velocidad de agitación deberá ser constante.

7. Finalizado el número de medidas aparece la correspondiente Hoja de Cálculo y se confecciona la gráfica de volumen de reactivo (eje X) frente a intensidad luminosa (eje Y). Los datos experimentales obtenidos por nosotros se encuentran en el fichero **LUX2.DAT**.

Valoración por turbimidetría

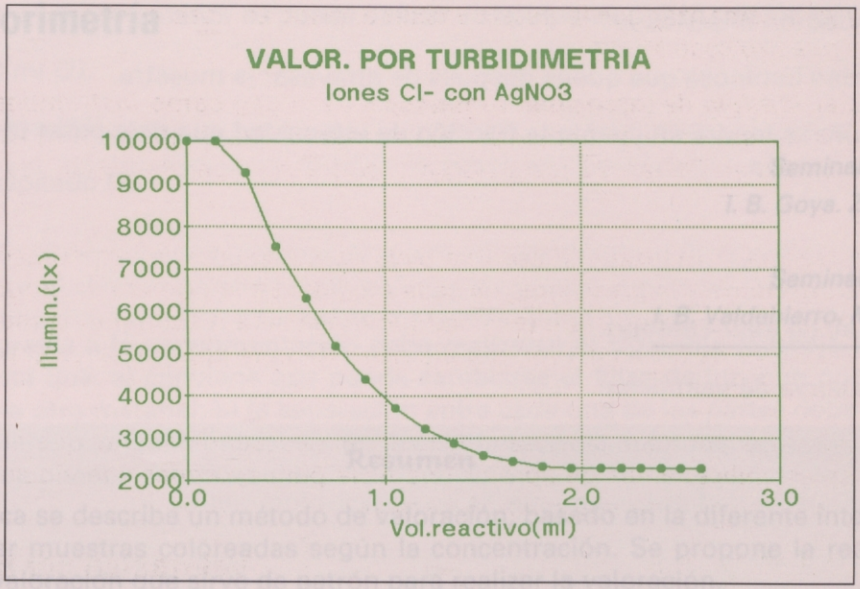
	A	B
1		
2	Luxómetro	Teclado 1
3		
4	10000.000	0.00
5	10000.000	0.15
6	9254.902	0.30
7	7529.412	0.45
8	6313.725	0.60
9	5176.471	0.75
10	4392.157	0.90
11	3725.490	1.05
12	3215.686	1.20
13	2862.754	1.35
14	2588.235	1.50
15	2431.373	1.65
16	2313.725	1.80
17	2274.510	1.95
18	2274.510	2.10
19	2274.510	2.20
20	2274.510	2.30
21	2274.510	2.40
22	2274.510	2.50
23	2274.510	2.60

Actividades y elaboración de conclusiones

A partir de la representación gráfica se busca el punto de equivalencia. Puede considerarse, a efectos prácticos, que el punto de equivalencia coincide con el punto de la gráfica en que la pendiente se hace 0. (Deja de formarse precipitado y por tanto la intensidad luminosa alcanza un valor constante).

Aplicación didáctica

La experiencia puede realizarse paralelamente a la misma valoración por el método tradicional, y contrastar los resultados.



La experiencia forma parte del conjunto de prácticas de valoración de Química del actual C. O. U., y puede incluirse también en la Química de segundo curso de los Bachilleratos de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y Tecnológico.

Su objetivo didáctico es el conocimiento por parte de alumnos y alumnas de la existencia de métodos alternativos de valoración, diferentes al tradicional, para las reacciones de precipitación.

Bibliografía

SKOOG WEST, R.: *Análisis Instrumental.* México: Ed. Interamericana, 1975.

(para ello hay que comenzar por la escala máxima, pues en caso contrario puede estropearse el luxómetro) en nuestro caso 10 ml.

4. Se selecciona el *módulo* de Intensidad luminosa y se eligen como *instrumentos* teclado y luxómetro. Después de seleccionar comenzar experimento, se ajusta el punto cero. En cuanto al número de medidas se toman 20 (este número podrá ser variado según las condiciones de la experiencia).

5. En pantalla aparecerá el mensaje "Pulse una tecla para comenzar el experimento", y mediante el teclado se van introduciendo los valores de cada medida. En la primera se introducirá el valor cero (no se añade reactivo con lo que la intensidad luminosa será máxima) y en medidas sucesivas se irá añadiendo reactivo de 0.1 en 0.1 ml, por ejemplo. Deberá sobrepasarse el punto de equivalencia en las últimas medidas).

6. Para que las medidas del luxómetro sean reales, es necesario esperar que el valor que registra este aparato se estabilice, antes de apretar una tecla para proceder a la siguiente medida. Por la misma razón la velocidad de agitación deberá ser constante.

7. Finalizado el número de medidas aparece la correspondiente Hoja de Cálculo y se confecciona la gráfica de volumen de reactivo (eje X) frente a intensidad luminosa (eje Y). Los datos experimentales obtenidos por nosotros se encuentran en el fichero LUXO.DAT.

Actividades y elaboración de conclusiones

A partir de la representación gráfica se busca el punto de equivalencia. Puede considerarse, a efectos prácticos, que el punto de equivalencia coincide con el punto de la gráfica en que la pendiente se hace 0. (Deja de formarse precipitado y por tanto la intensidad luminosa alcanza un valor constante).

Aplicación didáctica

La experiencia puede realizarse paralelamente a la misma valoración por el método tradicional, y contrastar los resultados.

Valoración por colorimetría

Piedrafita Hijós A.
Seminario Física y Química
I. B. Goya. Zaragoza (Zaragoza)
Tomás Herrero A.
Seminario Física y Química
I. B. Valdehierro. Madridejos (Toledo)

Resumen

En la práctica se describe un método de valoración, basado en la diferente intensidad que dejan atravesar muestras coloreadas según la concentración. Se propone la realización de una curva de valoración que sirve de patrón para realizar la valoración.

Nivel educativo

Primero y Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignaturas de Física y Química, y Química (actuales 3.° B. U. P. y C. O. U.).

Introducción teórica

La práctica se basa en la diferente absorción de la luz coloreada que tienen determinadas sustancias en función de la concentración. La ley que rige estas variaciones es la Ley de Beer-Lambert que tiene la siguiente forma:

$$\lg I_0/I = e\, l\, c$$

donde:

"e" depende de la sustancia,

"l" es la longitud de muestra que se dispone,

"c" es la concentración,

"I_0" es la intensidad sin muestra, e

"I" es la intensidad luminosa que queda después de atravesar la muestra.

En la práctica sólo se tendrá en cuenta la fracción de intensidad que deja pasar la muestra frente a la concentración de la misma.

Objetivos

— Verificar la Ley de Beer-Lambert.

— Obtener una curva de valoración.

— Realizar la valoración de una muestra problema.

— Conocer el esquema de funcionamiento de un espectrofotómetro.

Material

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Interfaz CENT.

— Amplificador.

— Luxómetro.

— Sonda de luz.

— Fuente luminosa de tipo puntual o similar.

— Diafragma.

— Porta-diapositivas para cambiar el filtro de color o una ruleta de filtros cambiantes.

— Cubeta de plástico , metacrilato o cristal.

— Soportes para sujetar todos los elementos anteriores.

— Regleta para alinear los elementos.

Como alternativa a todo lo anterior se puede utilizar un equipo de óptica con los elementos anteriores.

— Buretas de 50 ml (2).

— Tubos de ensayo (11).

— Vasos de precipitado (2).

Procedimiento

1. Como parte previa a la experimentación debe realizarse el siguiente montaje, en el que hay que tener en cuenta que: a) conviene que pueda cambiarse el filtro de luz, que puede ser de plástico duro, celofán u otro material; b) la separación entre cada una de las partes debe ser la menor posible; y c) conviene que las dimensiones de la cubeta sean de 3 a 4 cm de largo por 1 de ancho y 1 de alto, aunque pueden ser diferentes.

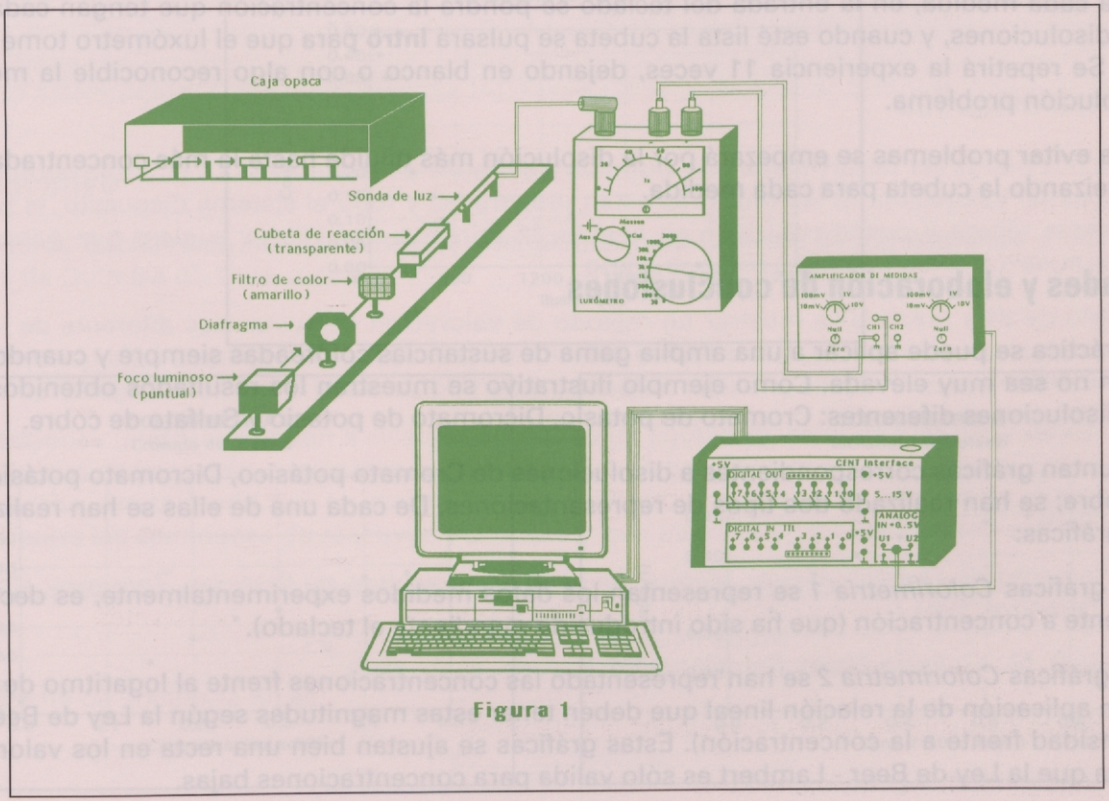


Figura 1

2. Para realizar este experimento, se preparan 10 disoluciones de concentración diferente de la sustancia que se vaya a valorar. Para ello se puede partir de una disolución madre, y a partir de ella realizar las distintas disoluciones diluyéndola con agua.

3. Una vez que se tengan preparadas las diferentes disoluciones se puede comenzar el experimento. Para poder evitar efectos indeseables desde el exterior se puede colocar una caja que evite la entrada de luz externa.

4. El amplificador se pone en la escala de 100 mV y se procede de la siguiente forma: se escoge el *módulo* de **intensidad luminosa**; dentro del módulo de intensidad luminosa, se escoge como *instrumentos* un **teclado** y un **luxómetro** poniendo la escala que convenga en cada medida; para ello previamente se habrá realizado alguna determinación. Una vez comenzado el experimento, se ajusta con la cubeta llena de agua destilada.

5. Realizado el ajuste, se hacen 11 medidas, 10 de las cuales corresponderán a concentraciones conocidas, y la última a la disolución desconocida.

6. Para cada medida, en la entrada del teclado se pondrá la concentración que tengan cada una de las disoluciones, y cuando esté lista la cubeta se pulsará **Intro** para que el luxómetro tome la medida. Se repetirá la experiencia 11 veces, dejando en blanco o con algo reconocible la medida de disolución problema.

7. Para evitar problemas se empezará por la disolución más diluida hasta la más concentrada, homogeneizando la cubeta para cada medida.

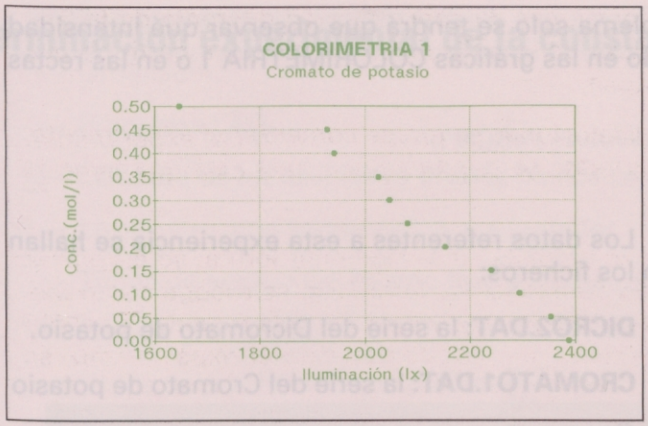
Actividades y elaboración de conclusiones

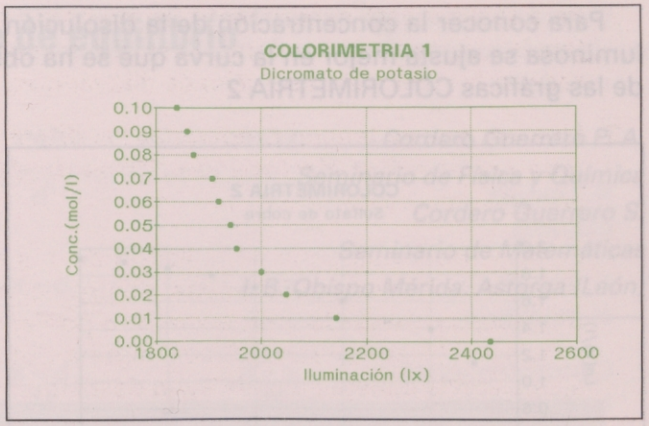
Esta práctica se puede aplicar a una amplia gama de sustancias coloreadas siempre y cuando su concentración no sea muy elevada. Como ejemplo ilustrativo se muestran los resultados obtenidos en tres tipos de disoluciones diferentes: Cromato de potasio, Dicromato de potasio y Sulfato de cobre.

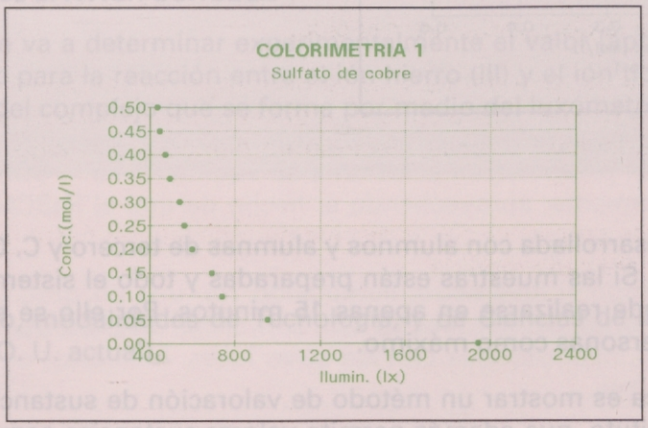
Se adjuntan gráficas correspondientes a disoluciones de Cromato potásico, Dicromato potásico y Sulfato de cobre; se han realizado dos tipos de representaciones. De cada una de ellas se han realizado dos tipos de gráficas:

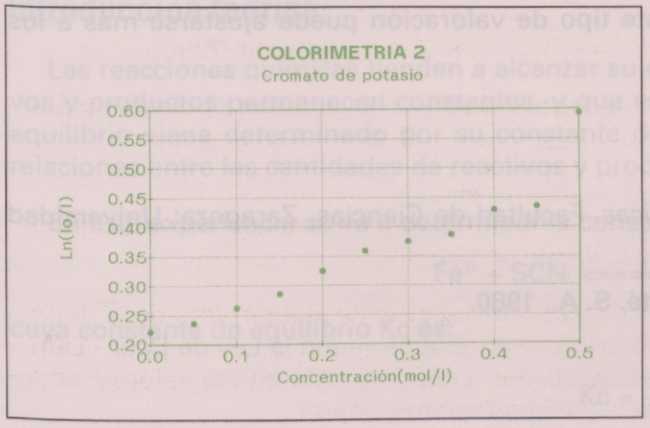
En las gráficas *Colorimetría 1* se representan los datos medidos experimentalmente, es decir, iluminación frente a concentración (que ha sido introducida mendiante el teclado).

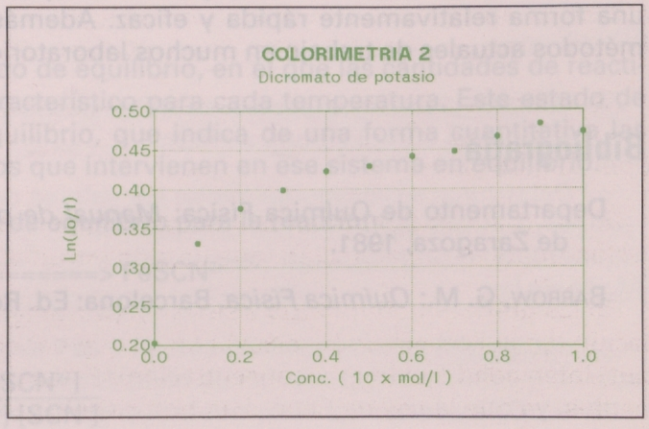
En las gráficas *Colorimetría 2* se han representado las concentraciones frente al logaritmo de la iluminación (en aplicación de la relación lineal que deben tener estas magnitudes según la Ley de Beer - Lambert, intensidad frente a la concentración). Estas gráficas se ajustan bien una recta en los valores intermedios, ya que la Ley de Beer - Lambert es sólo valida para concentraciones bajas.


COLORIMETRIA 1
Cromato de potasio
Conc.(mol/l)
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1600
1800
2000
2200
2400
Iluminación (lx)

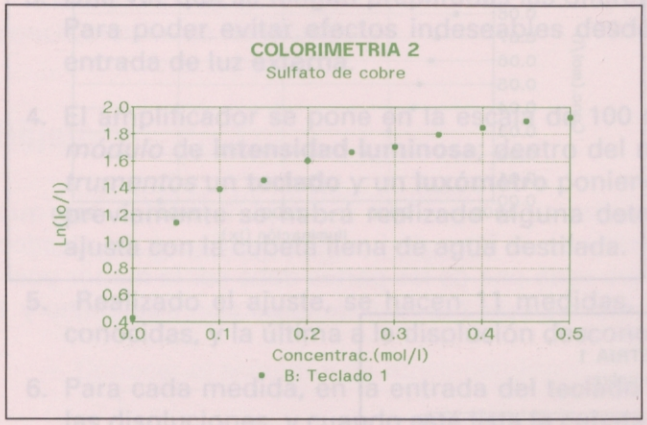

COLORIMETRIA 1
Dicromato de potasio
Conc.(mol/l)
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
1800
2000
2200
2400
2600
Iluminación (lx)


COLORIMETRIA 1
Sulfato de cobre
Conc.(mol/l)
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
400
800
1200
1600
2000
2400
Ilumin. (lx)


COLORIMETRIA 2
Cromato de potasio
Ln(Io/I)
0.60
0.55
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
Concentración(mol/l)


COLORIMETRIA 2
Dicromato de potasio
Ln(Io/I)
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Conc. (10 x mol/l)

Para conocer la concentración de la disolución problema solo se tendrá que observar qué intensidad luminosa se ajusta mejor en la curva que se ha obtenido en las gráficas COLORIMETRIA 1 o en las rectas de las gráficas COLORIMETRIA 2



Los datos referentes a esta experiencia se hallan en los ficheros:

DICRO2.DAT: la serie del Dicromato de potasio.

CROMATO1.DAT: la serie del Cromato de potasio

COLORCU1.DAT: la serie del Sulfato de cobre

Aplicación didáctica

La práctica puede ser desarrollada con alumnos y alumnas de tercero y C. O. U. como complemento a una práctica de valoración. Si las muestras están preparadas y todo el sistema dispuesto, la práctica es relativamente rápida y puede realizarse en apenas 15 minutos. Por ello se sugiere que pasen por ella grupos de cuatro o cinco personas como máximo.

El objeto de esta práctica es mostrar un método de valoración de sustancias diferente de los que se pueden emplear en un instituto, que además permite valorar sustancias con una baja concentración de una forma relativamente rápida y eficaz. Además, este tipo de valoración puede ajustarse más a los métodos actuales de trabajo en muchos laboratorios.

Bibliografía

Departamento de Química Física: *Manual de prácticas*. Facultad de Ciencias. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 1981.

BARROW, G. M.: *Química Física*. Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1980.

Determinación experimental de la constante de equilibrio

Cordero Guerrero P. A.
Seminario de Física y Química
Cordero Guerrero S.
Seminario de Matemáticas
I. B. Obispo Mérida. Astorga (León)

Resumen

En esta práctica se va a determinar experimentalmente el valor (aproximado) de la constante de equilibrio Kc para la reacción entre el ión hierro (III) y el ión tiocianato, determinando la concentración del complejo que se forma por medio del luxómetro que debe calibrarse previamente.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Tecnología, y de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud; asignatura de Química (C. O. U. actual).

Introducción teórica

Las reacciones químicas tienden a alcanzar su estado de equilibrio, en el que las cantidades de reactivos y productos permanecen constantes, y que es característico para cada temperatura. Este estado de equilibrio viene determinado por su constante de equilibrio, que indica de una forma cuantitativa las relaciones entre las cantidades de reactivos y productos que intervienen en ese sistema en equilibrio.

En esta experiencia se va a determinar la constante de equilibrio para la reacción:

$$Fe^{3+} + SCN^{-} <==========> FeSCN^{2+}$$

cuya constante de equilibrio Kc es:

$$Kc = \frac{[FeSCN^{2+}]}{[Fe^{3+}]\,[SCN^{-}]}$$

Cuando se mezclan disoluciones de Fe^{3+} y SCN^-, se forma una cierta cantidad del complejo $FeSCN^{2+}$, por lo que las cantidades de Fe^{3+} y SCN^- presentes en el equilibrio serán menores que las puestas inicialmente. Así:

	SCN^-	+	Fe^{3+}	<========>	$FeSCN^{2+}$
N.° moles iniciales	**a**		**b**		
N.°moles en el equilibrio	**a – x**		**b – x**		**x**
Concentraciones en el equilibrio	$\frac{a-x}{V_t}$		$\frac{b-x}{V_t}$		$\frac{x}{V_t}$

Por tanto:

$$K_c = (x / V_t)/[((a - x)/V_t)((b - x)/V_t)] = (x\ V_t)/[(a - x)(b - x)]$$

Para calcular el valor de esta constante de equilibrio Kc hay que determinar la concentración de cada una de las especies químicas presentes en el sistema en equilibrio: Fe^{3+} , SCN^- y $FeSCN^{2+}$. Esta determinación se hará colorimétricamente, aprovechando el hecho de que el $FeSCN^{2+}$ es la única especie que tiene un color intenso.

El color se medirá utilizando el luxómetro, iluminando con una luz azul, aunque debería iluminarse con una luz de longitud de onda de 480 nm, ya que con dicha longitud de onda se produce la mayor absorbencia de esa especie, mientras que con las otras luces, incoloras, se absorbe en regiones que caen fuera de la zona del visible.

Objetivos

— Calibrar el luxómetro, para su utilización como espectrofotómetro en la medida de las concentraciones del complejo que se forma.

— Determinar experimentalmente los valores de la constante de equilibrio.

Materiales

— Luxómetro.

— Amplificador.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Lámpara de luz azul (sirve una luz blanca con un filtro azul en el adaptador).

— Luxómetro, con sonda de luz, y adaptador.

— Tubos de ensayo del mismo tipo y diámetro.

— Pipetas graduadas.

— Vasos de precipitados pequeños.

— Disolución de SCN^- 0,03 Molar (se prepara disolviendo 2,94 g de Tiocianato de potasio en 1 litro de disolución).

— Disolución 0,20 Molar de hierro(III) (se prepara disolviendo 81,00 g de $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ en 1 litro de disolución 0,3 Molar de Ácido nítrico. (Este medio tan ácido es necesario para evitar la precipitación de $Fe(OH)_3$ y la formación de otros hidroxocomplejos que pueden interferir en las medidas por su coloración).

Procedimiento

La práctica que se describe consta de dos partes bien diferenciadas, que son:

1. Calibrado del luxómetro.
2. Determinación experimental de la constante de equilibrio.

1. Calibrado del luxómetro

La utilización del luxómetro para medir la concentración de una disolución exige su calibrado previo. Este calibrado será válido para todas las experiencias que se realicen siempre y cuando no se cambie la fuente luminosa ni el filtro azul de que se dispone.

Teniendo en cuenta que los alumnos a los que va dirigida esta experiencia no tienen por qué conocer los conceptos de *absorbancia, transmitancia,* ley de Beer, etc., se ha optado por representar directamente la concentración de las disoluciones frente a la lectura directa del luxómetro.

Se prepara una disolución de SCN^- 0,02 Molar y otra de Fe^{3+} 1 M. Las concentraciones han de ser tales que en la disolución que se obtenga al mezclar ambas, la concentración de Fe^{3+} sea como mínimo unas diez veces más concentrada que la de SCN^- para poder tener la certeza que el complejo formado es el $[FeSCN]^{2+}$.

Se disponen 8 vasos de precipitados o Erlenmeyer pequeños y numerados a los que se añaden las siguientes cantidades: (*)

N.°	1	2	3	4	5	6	7	8
SCN^- (ml) 0,02 M	25	25	25	25	25	25	25	25
Fe^{3+} (ml) 1 M	10	10	10	10	10	10	10	10
AGUA (ml)	0	10	20	30	40	50	60	70
$[FeSCN]^{2+}$ Molar								
LECTURA LUXÓMETRO (IX)								

Con estas cantidades, puede suponerse sin demasiado error que la concentración del complejo $[FeSCN]^{2+}$ formado coincidirá con la de SCN^- puesta inicialmente.

Para disminuir las fuentes de error en las medidas, es aconsejable que se utilice siempre el mismo tubo de ensayo; además, debe encenderse la lámpara inmediatamente antes de realizar cada una de las medidas, para evitar que el calentamiento del filamento provoque modificaciones apreciables de la longitud de onda emitida por dicha lámpara.

Por todo ello, se aconseja la siguiente secuencia operativa:

1. Se prepara la disolución n.° 1.
2. Se añade esta disolución al tubo de ensayo, colocando éste en el adaptador.
3. Se enciende la lámpara.
4. Se toma la lectura del luxómetro.
5. Se apaga la lámpara.
6. Se retira el tubo de ensayo del adaptador, vertiendo su contenido al vaso de precipitados correspondiente.

(*) Si se han preparado las ocho disoluciones, debe operarse de la forma siguiente: Se llena el tubo con la disolución 1 y se realiza la medida; se saca el tubo y se devuelve su contenido al vaso 1. Se enjuaga varias veces con la disolución 2 antes de llenarlo y tomar la correspondiente medida; se saca entonces del adaptador, devolviendo su contenido al vaso 2. Se enjuaga con la disolución 3, se llena con ella y se toma la medida, y así hasta llegar a la disolución n.° 8.

7. Se añaden 10 ml de agua destilada a este vaso de precipitado y se agita (para obtener la disolución n.° 2). (**)
8. Se enjuaga varias veces el tubo de ensayo con la disolución n.° 2
9. Se repiten todos los pasos desde el 2, hasta completar las medidas de las 8 disoluciones.

Después se representa la concentración de $[FeSCN]^{2+}$ frente a la lectura del luxómetro. Se aconseja representar en ordenadas la concentración de $[FeSCN]^{2+}.10^{-3}$ y en abscisas la lectura del luxómetro (en lux). Las lecturas de éste dependerán mucho de las concentraciones exactas de las disoluciones empleadas así como de la lámpara utilizada, por lo que debe probarse antes la escala que habrá de elegirse. Dado que la absorción máxima del complejo que se forma se produce para una longitud de onda de 480 nm, si no se dispone de luz monocromática, puede utilizarse una luz azul, que dará una banda alrededor de ese valor, obteniéndose una precisión aceptable, aunque deberá utilizarse siempre la misma, tanto en el calibrado como en las mediciones posteriores

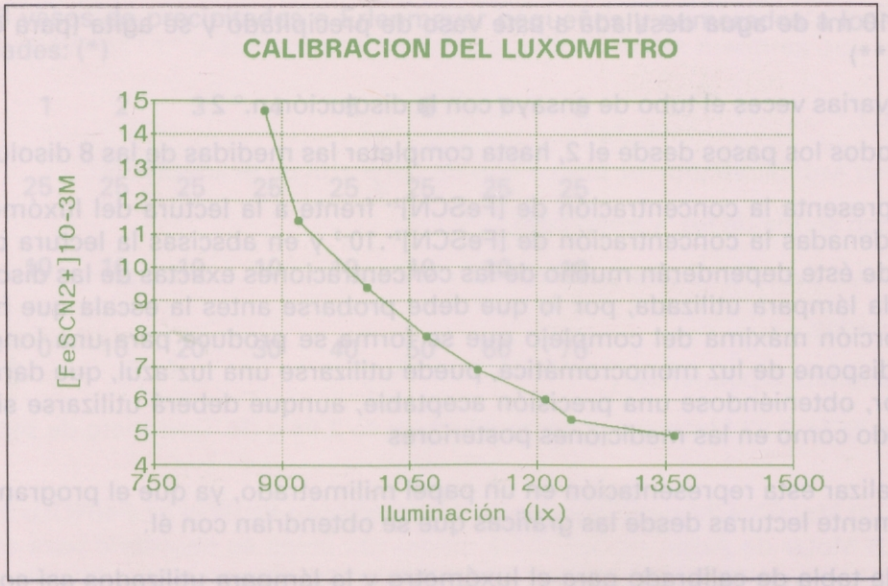
Se aconseja realizar esta representación en un papel milimetrado, ya que el programa LAO no permite realizar directamente lecturas desde las gráficas que se obtendrían con él.

Se acompaña la tabla de calibrado para el luxómetro y la lámpara utilizados así como la correspondiente gráfica.

Tabla de calibrado del luxómetro

N.°	1	2	3	4	5	6	7	8
SCN^- (ml) 0,0206 M	25	25	25	25	25	25	25	25
Fe^{3+} (ml) 1,0 M	10	10	10	10	10	10	10	10
AGUA (ml)	0	10	20	30	40	50	60	70
$[FeSCN]^{2+}$ $*10^{-3}$ M	14,7	11,4	9,4	7,9	6,9	6,0	5,4	4,9
LECTURA LUXÓMETRO (LX)	880	920	1000	1070	1130	1210	1240	1360

(**) Si se han preparado los ocho vasos de precipitados con las disoluciones, habría que prescindir de este paso, realizando directamente el paso n.° 8 después del paso n.° 6.



Actividades y elaboración de conclusiones

Procedimiento para determinar la constante de equilibrio

Se efectuarán cuatro experiencias siguiendo el esquema que se incluye más adelante. En él se parte de dos disoluciones:

— Disolución A: SCN^- 0,03 Molar, de la que se tomarán 5 ml para cada medida que se vaya a realizar.

— Disolución B: 10 ml de la disolución de hierro(III) 0,20 Molar, de la que se irán tomando diversas cantidades, añadiéndole agua o eliminando parte de ella, según los pasos indicados en el esquema.

Una vez mezcladas las correspondientes cantidades de ambas disoluciones y agitado bien el tubo de ensayo, se introduce en el adaptador y se anota la medida, consultando en la gráfica la concentración a la que corresponde dicha transmitancia, datos estos que se anotan en la tabla, o que aparecerán en la Hoja de Cálculo del programa LAO.

Utilización del Programa LAO

Se necesitan el luxómetro, el amplificador de medidas y el Interfaz para su conexión al ordenador que contenga el programa LAO. Estos instrumentos deben montarse tal como se indica en el esquema siguiente:

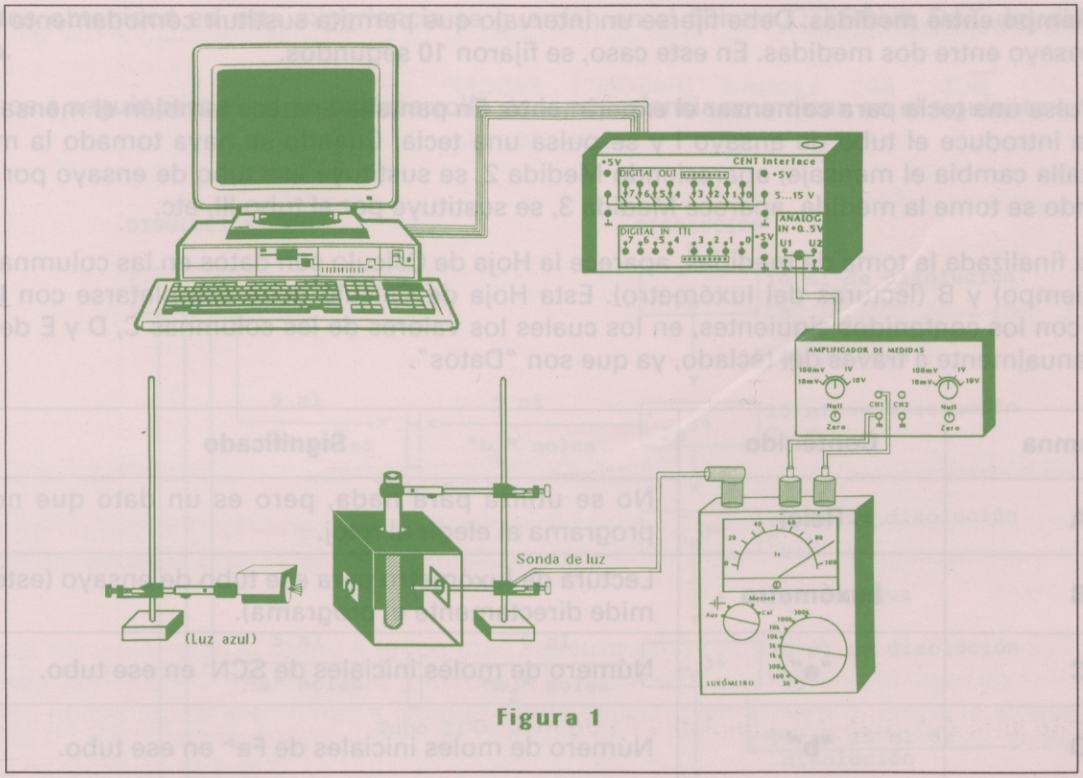


Figura 1

El programa LAO debe configurarse de la forma siguiente:

1. En Elegir *módulo*, **intensidad luminosa**.
2. En Elegir *instrumento*, **luxómetro** y **reloj**. Puede hacerse eligiendo un teclado en lugar del reloj, pero ha dado problemas de funcionamiento, por lo que se ha optado por el reloj.
3. En **Fondo de escala**, depende del calibrado del luxómetro para la lámpara elegida. Debe elegirse el fondo que se adapte a la fuente de luz utilizada. En este caso fue 3 klx.
4. En *comenzar experimento* y **¿Quieres ajustar el punto cero?**, se introduce en el adaptador un objeto opaco que puede ser, por ejemplo, un tubo de ensayo con un papel negro en su interior, y a continuación se teclea **Sí**.
5. En **condiciones del experimento**
   a) **Número de medidas**: Tantas como tubos de ensayo se hayan preparado (según el esquema que se presenta son cuatro).

b) **Tiempo entre medidas**: Debe fijarse un intervalo que permita sustituir cómodamente el tubo de ensayo entre dos medidas. En este caso, se fijaron 10 segundos.

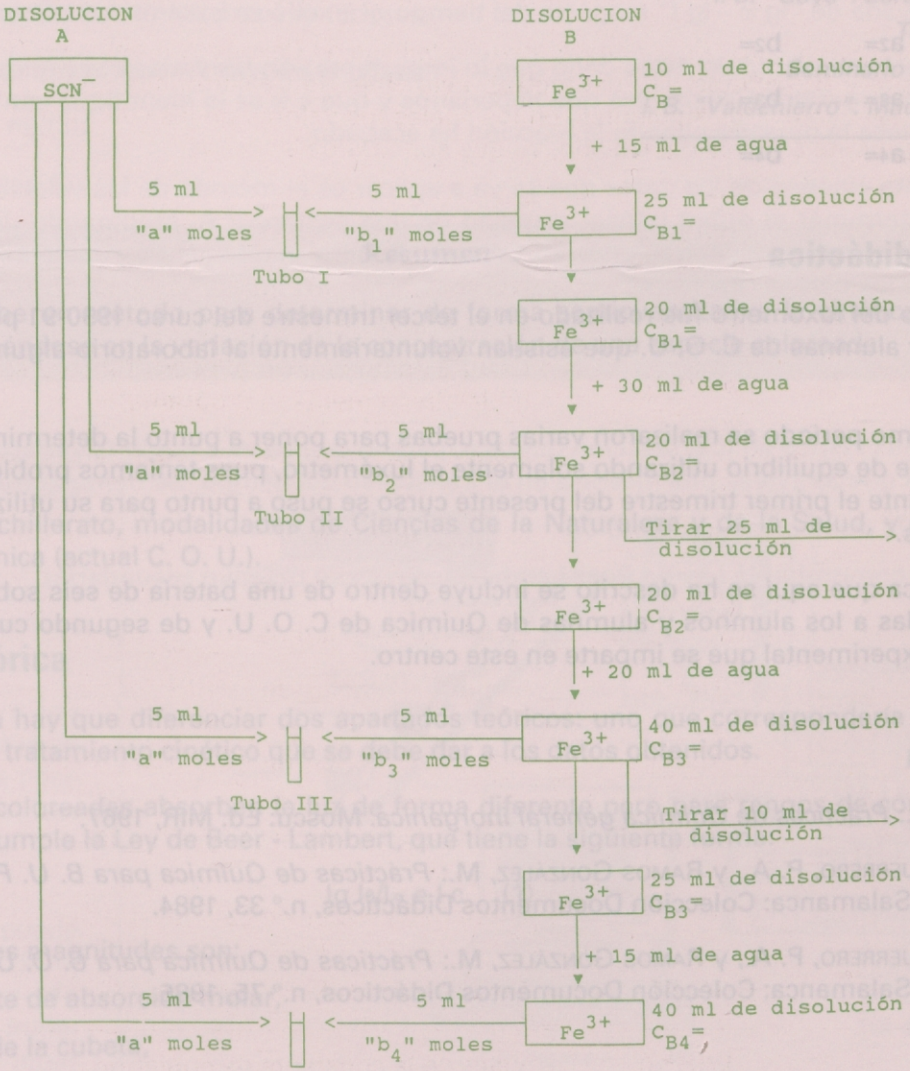
6. En Pulse una tecla para **comenzar el experimento**: En pantalla aparece también el mensaje Medida 1. Se introduce el tubo de ensayo I y se pulsa una tecla. Cuando se haya tomado la medida, en pantalla cambia el mensaje, apareciendo Medida 2, se sustituye ese tubo de ensayo por el tubo II; cuando se tome la medida, aparece Medida 3, se sustituye por el tubo III, etc.

Una vez finalizada la toma de medidas, aparece la Hoja de Cálculo con datos en las columnas A (intervalos de tiempo) y B (lecturas del luxómetro). Esta Hoja de Cálculo debe completarse con las demás columnas con los contenidos siguientes, en los cuales los valores de las columnas C, D y E deben introducirse manualmente a través del teclado, ya que son "Datos".

Columna	Contenido	Significado
A	Reloj	No se utiliza para nada, pero es un dato que nos da el programa al elegir el reloj.
B	Luxómetro	Lectura de luxómetro para ese tubo de ensayo (este dato lo mide directamente el programa).
C	"a"	Número de moles iniciales de SCN^- en ese tubo.
D	"b"	Número de moles iniciales de Fe^{3+} en ese tubo.
E	[$FeSCN^-$]	Concentración del conplejo $FeSCN^-$, que se obtiene con la lectura de la columna "B" en la gráfica correspondiente.
F	0.01*E	Número de moles de $FeSCN^-$ formados (es "x").
G	C – F	Número de moles de SCN^- que quedan en el equilibrio.
H	G/0.01	Concentración de SCN^- en el equilibrio.
I	D – F	Número de moles de Fe^{3+} que quedan en el equilibrio.
J	I/0.01	Concentración de Fe^{3+} en el equilibrio.
K	E/(H*J)	Valor de la constante de equilibrio.

Los datos obtenidos en esta experiencia se guardan en el fichero CTEEQUIL.DAT del disco que se acompaña.

Los pasos a seguir para el correcto desarrollo de la experiencia se indican en el siguiente esquema:



Presentación de los resultados

TUBO	SCN^-	Fe^{3+}	Lectura	$[FeSCN^{2+}]$	$FeSCN^{2+}$	$[SCN^-]$	$[Fe^{3+}]$	K_c
n.°	$a=C_AV_A$	$b=C_BV_B$	**Luxóm.**	$C=X/V_T$	$X=C.V_T$	$(a-x)/V_T$	$(b-x)/V_T$	
I	$a_1=$	$b_1=$						
II	$a_2=$	$b_2=$						
III	$a_3=$	$b_3=$						
IV	$a_4=$	$b_4=$						

Aplicación didáctica

El calibrado del luxómetro fue realizado en el tercer trimestre del curso 1990-91 por un grupo de cuatro alumnos y alumnas de C. O. U. que asistían voluntariamente al laboratorio algunos miércoles por la tarde.

En ese mismo período se realizaron varias pruebas para poner a punto la determinación experimental de la constante de equilibrio utilizando solamente el luxómetro, pues teníamos problemas con el programa LAO. Durante el primer trimestre del presente curso se puso a punto para su utilización por los alumnos y alumnas.

Esta práctica que aquí se ha descrito se incluye dentro de una batería de seis sobre el equilibrio químico destinadas a los alumnos y alumnas de Química de C. O. U. y de segundo curso del 2.° ciclo del bachillerato experimental que se imparte en este centro.

Bibliografía

SEMISHIN, V.: *Prácticas de Química general inorgánica.* Moscú: Ed. MIR, 1967.

CORDERO GUERRERO, P. A., y RAMOS GONZÁLEZ, M.: *Prácticas de Química para B. U. P.* ICE Univ. de Salamanca. Salamanca: Colección Documentos Didácticos, n.° 33, 1984.

CORDERO GUERRERO, P. A., y RAMOS GONZÁLEZ, M.: *Prácticas de Química para C. O. U.* ICE Univ. de Salamanca. Salamanca: Colección Documentos Didácticos, n.° 75, 1985.

Simulación de un espectofotómetro. Determinación de la velocidad de reacción

Piedrafita Hijós A.
Seminario Física y Química
I. B. "Goya". Zaragoza (Zaragoza)
Tomás Herrero A.
Seminario Física y Química
I. B. "Valdehierro". Madridejos (Toledo)

Resumen

Se describe un método para determinar de forma semicuantitativa la cinética de una reacción, basándose en la variación de la concentración de una especie coloreada.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Química (actual C. O. U.).

Introducción teórica

En esta práctica hay que diferenciar dos apartados teóricos: uno que correspondería a la absorción luminosa, y otro al tratamiento cinético que se debe dar a los datos obtenidos.

Las sustancias coloreadas absorben la luz de forma diferente pero para rangos de concentración no muy elevados se cumple la Ley de Beer - Lambert, que tiene la siguiente forma:

$$\lg I_0/I = e\, l\, c \qquad (1)$$

donde las diferentes magnitudes son:

"e" el coeficiente de absorción molar,

"l" la longitud de la cubeta,

"c" la concentración de la especie coloreada,

"I" la intensidad luminosa que deja pasar la muestra, e

"I_0" la intensidad luminosa para concentración nula.

La velocidad de reacción es la variación de concentración de cualquiera de las especies que intervienen en la reacción respecto del tiempo, partida por el coeficiente estequiométrico de la especie. Por lo tanto, si se deriva la expresión (1) respecto al tiempo, se observa que la velocidad de reacción es proporcional a la derivada de "lg I_0 – lg I" respecto del tiempo, y en ello se basarán los cálculos posteriores.

A la hora del tratamiento de datos dado que lo importante son las variaciones respecto del tiempo, da lo mismo tomar logaritmos decimales que neperianos y que a I_0 se la identifique con la intensidad luminosa que atraviesa la muestra cuando la reacción ha acabado.

El tratamiento cinético de los datos que se va a aplicar es el método de las velocidades iniciales, que consiste en determinar el orden parcial respecto de una sustancia A, preparando distintas mezclas de reacción con diferentes concentraciones iniciales de A, pero manteniendo constantes las concentraciones iniciales de los demás reactivos.

Objetivos

— Calcular la cinética de una reacción química, para lo que se va a medir la variación de la intensidad luminosa que atraviesa una muestra en el transcurso del tiempo. Se demostrará de esta forma:

1.° la cinética de una reacción.

2.° comprobar la Ley de Beer-Lambert (esto es un objetivo secundario).

Material

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Interfaz CENT.

— Amplificador.

— Luxómetro.

— Sonda de luz.

— Fuente luminosa puntual o similar.

— Diafragma.

— Porta-diapositivas para cambiar el filtro de color o una ruleta de filtros cambiantes.

— Cubeta de plástico, metacrilato o cristal de 5 cm de largo, 1.5 cm de ancho y de alto (o medidas similares).

— Soportes para sujetar los elementos anteriores.

— Regleta para alinear los elementos del montaje.

— Buretas de 50 ml (3).

— Tubos de ensayo (5).

— Vaso de precipitado de 50 ml.

— Jeringuilla.

Procedimiento

Como parte previa a la experimentación se debe realizar el siguiente montaje experimental en el que hay que tener en cuenta los siguientes detalles:

— Conviene que los elementos estén lo más próximos posible, para evitar fenómenos de dispersión.

— El filtro de luz puede ser de plástico duro, de celofán o de cualquier otro material que no dé lugar a reflexiones.

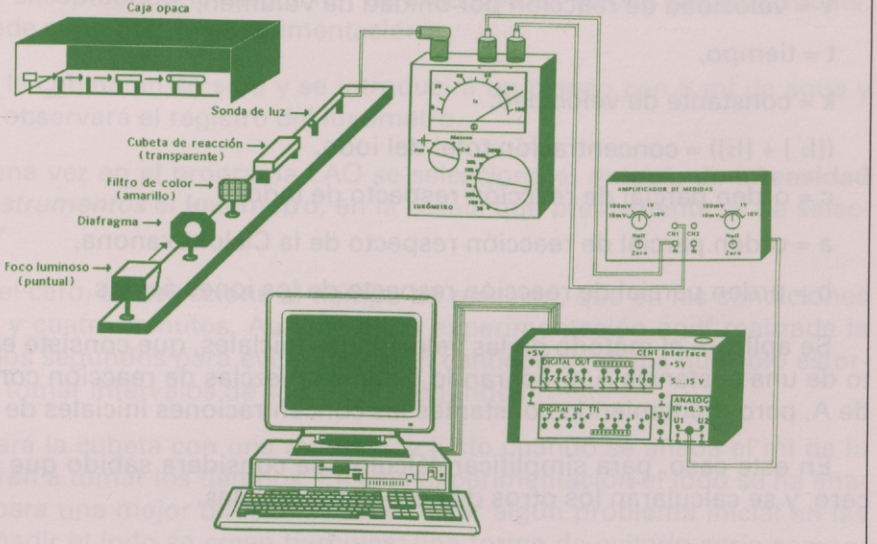


Figura 1

— Para evitar interferencias exteriores se puede tapar todo el montaje con una caja opaca.

La reacción a la cual se aplicará este estudio cinético es la iodación de la Ciclohexanona en medio ácido.

$$(I_2 + I_3^-) + \text{Ciclohexanona} \longrightarrow \text{Iodociclohexanona} + H^+ + 2I^- \quad (2)$$

El iodo está presente bajo dos formas, iodo molecular y triyodo ión. Siendo ambas especies capaces de reaccionar con la Ciclohexanona, la concentración del iodo desde el punto de vista cinético será la suma de ambas.

El seguimiento de la reacción será a través de medidas de intensidades luminosas, tomando la franja correspondiente a la luz amarilla, ya que en esta zona la absorbancia molecular del iodo en sus dos formas es similar y, por lo, tanto, no va a crear ningún tipo de problema debido a que una especie absorba más que otra.

La velocidad de reacción de la iodación de la Ciclohexanona en medio ácido puede expresarse así:

$$V = d\,\frac{[I_2] + [I_3^-]}{dt} = K\,([I_2] + ([I_3^-])^c\,[\text{Ciclohexanona}]^a\,[H^+]^b$$

siendo las diferentes magnitudes:

V = velocidad de reacción por unidad de volumen,

t = tiempo,

k = constante de velocidad,

$([I_2] + [I_3^-])$ = concentración total del iodo,

c = orden parcial de reacción respecto de iodo,

a = orden parcial de reacción respecto de la Ciclohexanona,

b = orden parcial de reacción respecto de los iones ácidos.

Se aplicará el método de las velocidades iniciales, que consiste en determinar el orden parcial respecto de una sustancia A, preparando distintas mezclas de reacción con diferentes concentraciones iniciales de A, pero manteniendo constantes las concentraciones iniciales de los demás reactivos.

En este caso, para simplificar cálculos, se considera sabido que el orden parcial respecto del iodo es cero, y se calcularán los otros dos órdenes parciales.

El *procedimiento detallado* es:

1. Preparar las siguientes disoluciones:

- Ciclohexanona al 15 % de 100 ml,
- 100 ml de Ácido clorhídrico 5 molar,
- 50 cm^3 de una disolución 0,05 M de iodo y del 10% de KI.

2. Con estas disoluciones madres se preparan cinco disoluciones cuyo contenido se detalla en la siguiente tabla:

Muestra	HCl ml	Ciclohex. ml	Iodo ml	H_2O ml	volumen ml
A	5	3	1	0	9
B	3	2	1	3	9
C	2	3	1	3	9
D	4	3	1	1	9
E	3	4	1	1	9

Para preparar estas muestras se pueden emplear tres buretas que contengan la disolución de HCl, de Ciclohexanona y una con agua destilada. Se llenan 5 tubos de ensayo con cada uno de los contenidos citados anteriormente, exceptuando la disolución de iodo que se echará posteriormente. Una vez preparado todo se puede comenzar la experimentación.

3. Como paso previo se colocará la cubeta en su sitio y se introducirá un blanco con 8 ml de agua y uno de disolución de iodo y se observará el registro del luxómetro.

4. Se encenderá el ordenador y una vez en el programa LAO se selecciona el *módulo* de **intensidad luminosa**. Se escogen como *instrumentos* el **luxómetro,** en la escala que previamente se ha seleccionado, y el **reloj**.

5. Una vez que se haya ajustado el cero, se selecciona el tiempo de reacción, que en las condiciones anteriores oscila entre los tres y cuatro minutos. Aunque en la experimentación aquí realizada la toma de tiempo se hace cada dos segundos para evitar una gran cantidad de datos que sólo estorban para los cálculos, es mejor tomar intervalos de seis a diez segundos.

6. Cuando esté todo listo, se llenará la cubeta con una muestra, y justo cuando se añada el ml de la disolución de iodo se comenzarán a tomar los tiempos. En esta experimentación el iodo se ha añadido mediante una jeringuilla para una mejor difusión. Puede haber algún problema inicial en las primeras medidas, ya que al añadir el iodo se crean burbujas; una forma de evitarlo sería comenzar a tomar medidas un poco después de haber agregado éste, añadiendo el tiempo transcurrido inicialmente a la hora de hacer los cálculos en la Hoja.

Actividades y elaboración de conclusiones

Puede que sea esta la parte más compleja de la práctica. De todos los datos que se obtienen hay que realizar una selección adecuada de los que nos interesan, de lo contrario no se puede obtener nada interpretable (por ello es mejor tomar tiempos más espaciados, ya que de esa forma esta selección de datos se dulcifica).

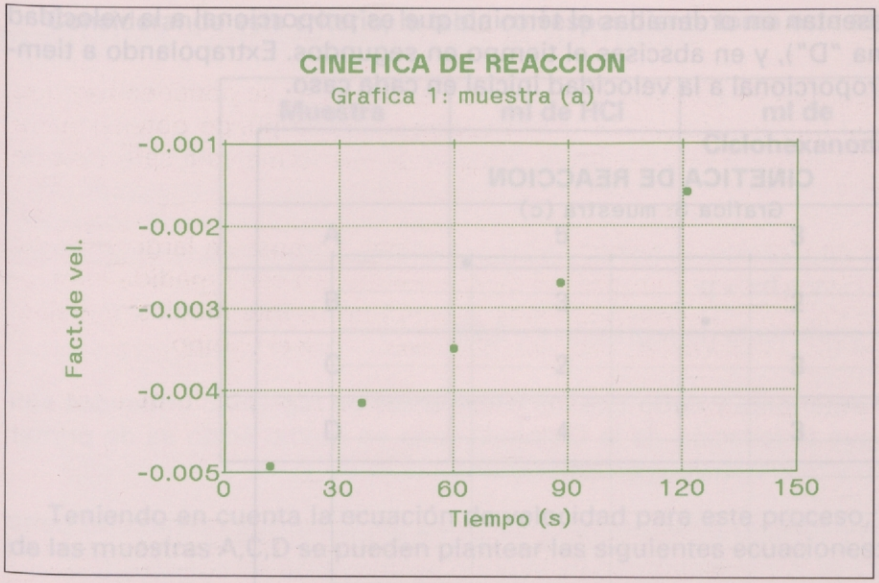
Dado que para un valor cualquiera de intensidad luminosa, ésta se repite durante un largo período, es imprescindible para poder realizar cálculos tomar un tiempo determinado para cada medida luminosa. El criterio seguido es tomar el valor del tiempo correspondiente al rango de los intermedios, y reajustarlos dentro del rango hasta conseguir una velocidad de reacción decreciente con el tiempo.

De las cinco propuestas, una de ellas falló en el proceso de experimentación, por lo que sólo se muestran resultados de las otras cuatro.

En la tabla adjunta se indican en qué fichero están los datos experimentales que se han obtenido en cada muestra. También se indica en qué fichero de datos se encuentran los que se han seleccionado. En estos ficheros de datos seleccionados se puede observar el criterio de selección tomado.

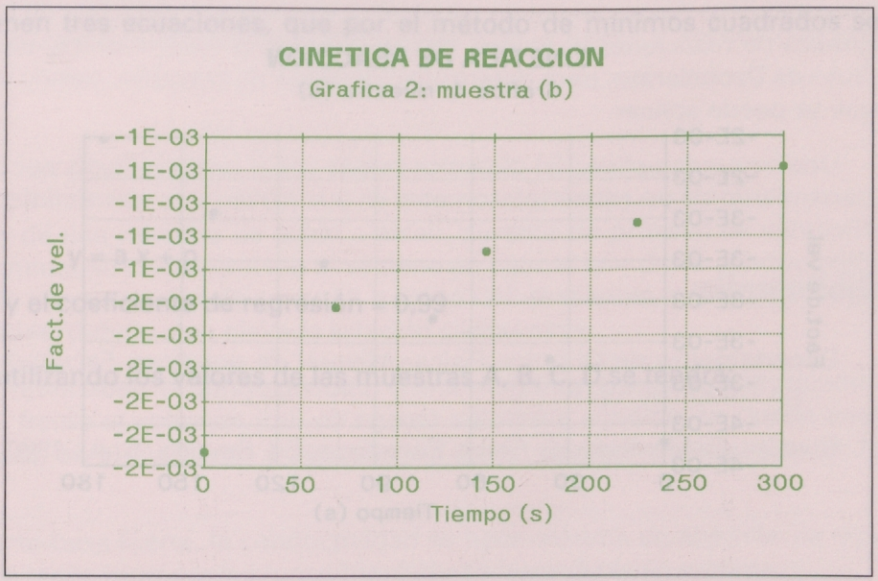
Muestra	Datos experimentales	Datos seleccionados
A	**PT53.DAT**	**ALFPT53.DAT**
B	**PT32.DAT**	**ALFPT32.DAT**
C	**PT23.DAT**	**ALFPT23.DAT**
D	**PT43.DAT**	**ALFPT43.DAT**

Dato	**A** **Tiempo**	**B** **Iluminación**	**C** **Ln (I_0)-Ln (B)**	**D** **Deriv (A, C)**
1	12	94,1	0.4666	-0,0049
2	36	105,9	0,3485	-0,00415
3	60	117	0,2488	-0,00348
4	88	129	0,1511	-0,00269
5	121	141	0,0622	-0,00158
6	160	150	0,0003	

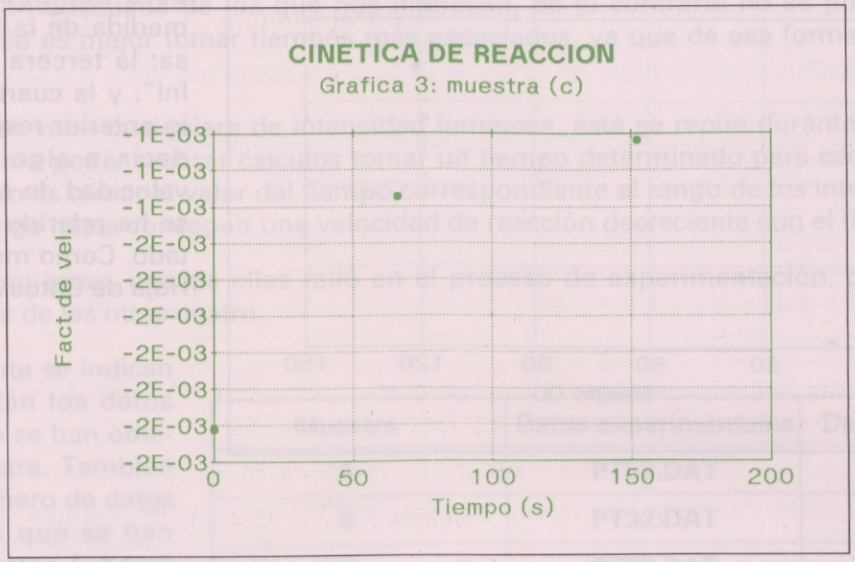


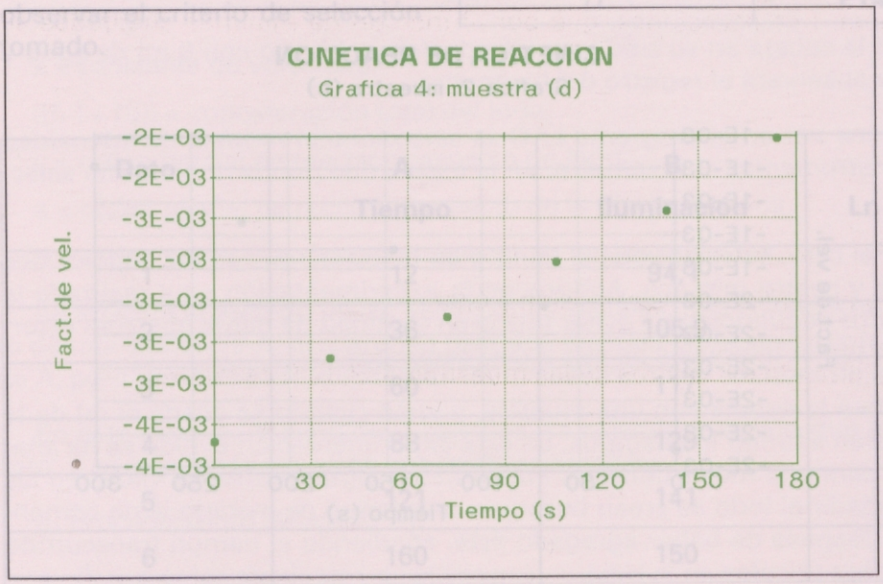
En los datos que se exponen en las hojas seleccionadas hay 4 columnas. La primera corresponde a tiempos; la segunda a la medida de la intensidad luminosa; la tercera al valor de "$\ln I_0 - \ln I$"; y la cuarta a la derivada de lo anterior respecto al tiempo, es decir, a algo proporcional a la velocidad de reacción tal y como se ha referido en el primer apartado. Como muestra se incluye la Hoja de Datos **ALFPT53**.

Se adjuntan las gráficas que se obtienen en las cuatro experiencias. En cada una de ella se indica a qué muestra se refiere.



Las gráficas que se incluyen representan en ordenadas el término que es proporcional a la velocidad de reacción (los valores de la columna "D"), y en abscisas el tiempo en segundos. Extrapolando a tiempo cero, se puede obtener un valor proporcional a la velocidad inicial en cada caso.





Teniendo en cuenta que se desea calcular el orden de reacción con respecto al Ácido clorhídrico y a la Ciclohexanona, bastará para conseguir este fin utilizar valores proporcionales a la columna D para que no lleven tantas cifras decimales; esto se ha conseguido multiplicando por 10^3.

Considerando este criterio, la tabla correspondiente toma este aspecto:

Muestra	ml de HCl	ml de Ciclohexanona	Velocidad inicial de reacción
A	5	3	53.4
B	3	2	18.4
C	2	3	19.4
D	4	3	36.7

Teniendo en cuenta la ecuación de velocidad para este proceso, $V = k\,[HCl]^a\,[CH]^b$, tomando los datos de las muestras A,C,D se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

$$53.4 = k\,5^a\,3^b \qquad 53.4 = k'\,5^a$$

$$19.4 = k\,2^a\,3^b \qquad \text{Si } k' = k\,3^b \qquad 19.4 = k'\,2^a$$

$$36.7 = k\,4^a\,3^b \qquad 36.7 = k'\,4^a$$

Si se toman logaritmos se obtienen tres ecuaciones, que por el método de mínimos cuadrados se ajustan a la mejor recta:

$\ln 53.4 = \ln k' + a \ln 5$

$\ln 19.4 = \ln k' + a \ln 2$

$\ln 36.7 = \ln k' + a \ln 4$

Ajustando a la mejor recta $y = a\,x + p$

$a = 1{,}072$ $p = 2{,}2$ y el coeficiente de regresión = 0,99

Tomando el valor de a = 1,075 y utilizando los valores de las muestras A, B, C, D se tendrá:

$53.4 = k\,5^{1.072}\,3^b$

$18.4 = k\,3^{1.072}\,2^b$

$19.4 = k\,2^{1.072}\,3^b$

$36.7 = k\,4^{1.072}\,3^b$

Tomando logaritmos:

$\ln(53.4) - 1.072 \ln 5 = b \ln 3$

$\ln(18.4) - 1.072 \ln 3 = b \ln 2$

$\ln(19.4) - 1.072 \ln 2 = b \ln 3$

$\ln(36.7) - 1.072 \ln 4 = b \ln 3$

Ajustando a la mejor recta $y = bx + p'$

$b = 1.13$ $p' = 7$ y el coeficiente de regresión $r = 0.98$

Por lo tanto, según los resultados anteriores y dado que los coeficientes de regresión obtenidos son bastante buenos, se puede concluir que la iodación de la Ciclohexanona en medio ácido es de primer orden respecto de los iones hidrógeno y respecto de la Ciclohexanona.

Los valores obtenidos de las constantes no tienen ningún valor significativo que merezca la pena resaltar.

Aplicación didáctica

Esta práctica es bastante larga de desarrollar, y si se quiere hacer de forma cuantitativa sólo puede hacerse como "experiencia de cátedra". La aplicación didáctica de la práctica se circunscribe al tema de cinética de reacciones químicas. Hay muy pocos procedimientos, con los medios de que dispone un instituto de Bachillerato, para determinar cinéticas de reacción, siendo este procedimiento uno de los pocos que se puede aplicar.

Una segunda aplicación didáctica puede ser el conocimiento por parte de alumnas y alumnos del funcionamiento de un espectrofotómetro en sus partes más elementales.

Bibliografía

Departamento de Química Física: *Manual de prácticas.* Facultad de Ciencias. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 1981.

Barrow, G. M.: *Química Física.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1980.

Valoraciones conductimétricas ácido-base

Piedrafita Hijós A.
Seminario de Física y Química
I. B. "Goya". Zaragoza (Zaragoza)
Tomás Herrero A.
Seminario de Física y Química.
I. B. "Valdehierro". Madridejos (Toledo).

Resumen

A lo largo de esta práctica se analizará el cambio de conductividad de una muestra de disolución de ácido o base durante su neutralización, y se intentará aprovechar este análisis para realizar valoraciones ácido-base.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y Tecnología; asignatura de Química (actual C. O. U.).

Introducción teórica

La variación de la conductividad de una muestra de ácido o álcali, durante un proceso de valoración ácido-base, puede servir para determinar su concentración si se tiene en cuenta que dicha conductividad es tanto mayor cuanto mayor sea la concentración de iones H^+ o iones OH^- presentes, como consecuencia de la gran movilidad de estos iones, debido a su elevada relación carga/masa.

Al representar gráficamente, en ordenadas, la conductividad, o una magnitud que sea proporcional a ella, junto con el pH de la muestra, frente al volumen (ml) de agente valorante añadido, se puede analizar el cambio de conductividad antes, en el momento y después del punto de equivalencia, y sacar las consecuencias oportunas.

Así, en una valoración ácido fuerte-base fuerte, la conductividad se hace mínima en el punto de equivalencia, ya que la concentración de iones hidrógeno e iones hidróxilo se hace también mínima.

Cuando se hagan valoraciones ácido débil-base fuerte o ácido fuerte-base débil, el reactivo débil deberá colocarse en la bureta y el fuerte en la célula donde se medirá su conductividad. Si no se hace así, la curva de conductividades no conduce a ningún resultado interpretable.

En este tipo de valoraciones la conductividad decrece hasta llegar al punto de equivalencia, pero a partir de allí se mantiene prácticamente constante. Por ejemplo, cuando en la bureta se coloca ácido acético 1 M y en la célula Hidróxido sódico 0.05 M ¿qué les sucede a los iones hidrógeno que son añadidos después del punto de equivalencia? La explicación es que el Ácido acético está muy poco ionizado y su adición produce muy pocos iones hidrógeno.

También es posible, como se verá, valorar conductimétricamente un ácido débil con una base débil o viceversa. Es muy importante que la diferencia de concentración de los reactivos implicados en la valoración sea grande, para que en la célula el cambio de volumen sea pequeño en comparación con el volumen inicial. De esa suerte los cambios de conductividad no podrán ser influidos apreciablemente por el cambio de volumen.

Objetivos

— Valorar un ácido fuerte con una base fuerte, y realizar la gráfica, en la que se represente en el eje de las abscisas los mililitros de ácido añadidos, y en el eje de las ordenadas el voltaje y pH/10.

— Valorar un ácido débil con una base fuerte, y realizar una representación gráfica similar a la anterior.

— Valorar un ácido débil con una base débil, y realizar una representación gráfica semejante a la primera.

— Demostrar que el reactivo fuerte debe estar siempre en la célula de conductividad, y realizar una gráfica análoga a las anteriores.

Material

— Disoluciones comerciales de Ácido sulfúrico, Ácido acético (glacial), Amoníaco, y lentejas o granulado de Hidróxido sódico.

— Vasos de precipitados de 200 y 100 ml.

— Matraces aforados de 250 ml (4).

— Balanza.

— Vidrio de reloj.

— Embudo.

— Pipetas.

— Bureta.

— Soportes y nueces metálicos para el montaje.

— pHmetro digital con una cifra decimal de precisión.

— Electrodos inertes (2).

— Agitador magnético.

— Panel de montajes eléctricos.

— Fuente de alimentación de corriente alterna de 5 voltios.

— Potenciómetros de 100 Ω (2).

— Diodos (4), para el puente rectificador.

— Resistencia de precisión de 100 Ω.

— Condensador de 4 o 6 μF, para el filtro en la rectificación.

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Interfaz CENT.

— Amplificador de tensión.

— Pinzas de cocodrilo (2).

— Cables para conexiones.

Procedimiento

1. Preparar 250 ml de las siguientes disoluciones:

H_2SO_4 0,5 M; NaOH 0,05 M; Ácido acético 1 M, y NH_3 0,1 M.

2. Realizar el montaje eléctrico de la figura 1.

3. Una vez cargado el programa LAO se elige el *módulo* de **corriente continua**, seleccionando como *instrumentos* el **voltímetro 1** (con un fondo de escala de 1 voltio, lo que exigirá emplear el amplificador de tensión), el **teclado 1** (mililitros añadidos desde la bureta) y el **teclado 2** (lectura del pHmetro digital). Al elegir la opción **comenzar experiencia** habrá que tener la precaución de ajustar a cero el voltímetro. Se programarán dos medidas, que seguidamente se borrarán de la Hoja, iniciándose de nuevo el experimento, contestando "no", cuando el programa solicite de nuevo el ajuste, programando unas 21 medidas (puede variar el número según las necesidades de cada experiencia). En la Hoja de Cálculo del LAO se recogerán pues los datos de la tensión existente entre los extremos de la resistencia de 100 Ω del montaje (que es proporcional a la conductividad), y del pH de la muestra al ir añadiendo el agente valorante.

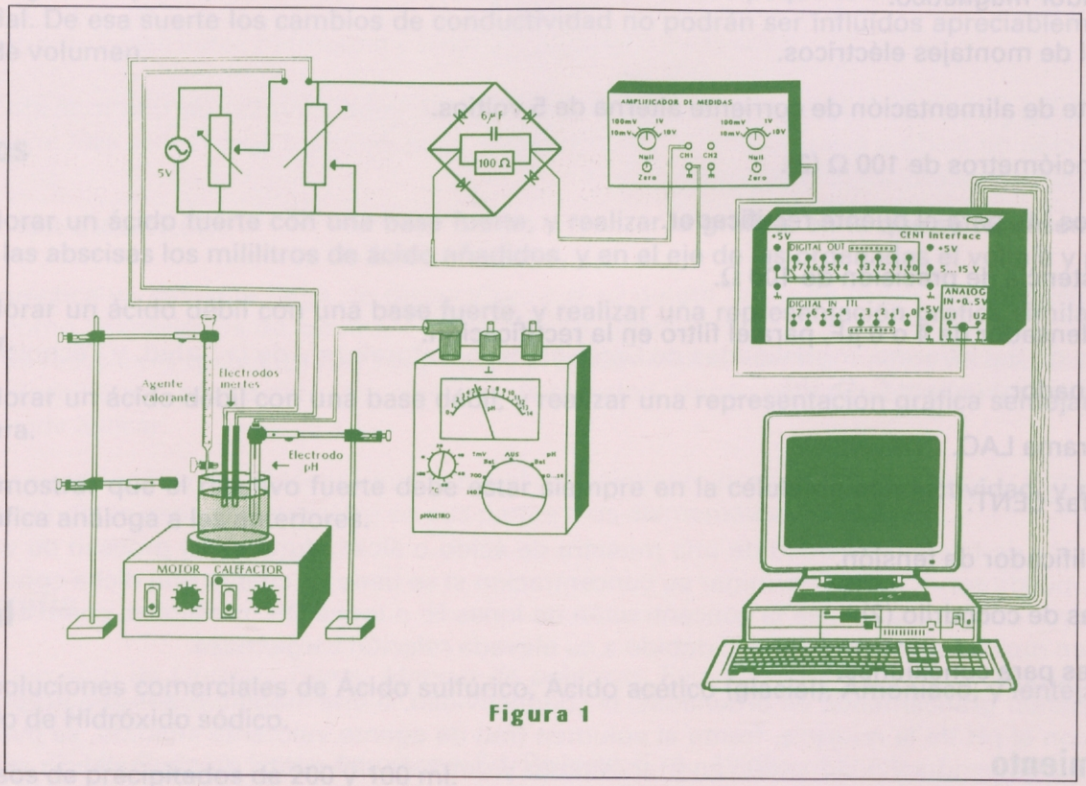


Figura 1

4. Obtener gráficos conductividad (pH)/ml añadidos desde la bureta.

5. Utilizar estas gráficas para comprobar su utilidad en valoraciones de tipo conductimétrico.

Preparación, ajustes y calibraciones de los sistemas a utilizar

Es importante darse cuenta de la necesidad de emplear corriente alterna, basta que sea de 50 Hz para evitar procesos de electrólisis de las muestras. Una vez que la corriente pasa por la célula es rectificada, pero como el programa LAO no puede medir intensidades, hay que hacer circular la corriente, rectificada y filtrada, por una resistencia de precisión de 100 Ohmios, y medir la diferencia de potencial entre sus extremos, que naturalmente será proporcional a la intensidad circulante, y por tanto a la conductividad de la muestra.

Desafortunadamente, dado el rango de pH que se cubre sólo en algunos casos, podría emplearse el pHmetro del equipo. En la experiencia se ha utilizado un pHmetro digital con aproximación de una cifra decimal. Las lecturas de este aparato se introducirán por teclado.

Antes de comenzar las medidas se fijarán con cuidado los electrodos y el pHmetro en el vaso, procurando que sus posiciones relativas no cambien durante cada proceso de medida. Un cambio de la posición de los electrodos podría hacer inservible la experiencia.

Las medidas de tensión y de pH se realizarán cada 0,5 ml de reactivo añadido desde la bureta, o quizás menos. Cuanto menor sea la cantidad de reactivo añadido desde la bureta en cada medida, mayor será la precisión en la determinación del punto de equivalencia, pero mayor será el número de medidas a realizar en cada valoración, y en consecuencia más tiempo habrá que invertir en la realización de la práctica.

Por último, antes de añadir reactivo desde la bureta habrá que ajustar la tensión inicial entre los extremos de la resistencia de precisión de 100 Ω, mediante el potenciómetro y el reostato a un valor tal, (habrá que hacer valoraciones de tanteo), que durante toda la valoración no se supere el valor de 1 voltio, no saturando a la escala.

Actividades y elaboración de conclusiones

■ *EXPERIENCIA 1: Ácido fuerte-base fuerte.*

Consistirá en valorar una muestra de 50 ml de una disolución de hidróxido sódico, aproximadamente 0.05 M (recordar que no es patrón primario), con ácido sulfúrico 0.5 M, colocado en la bureta.

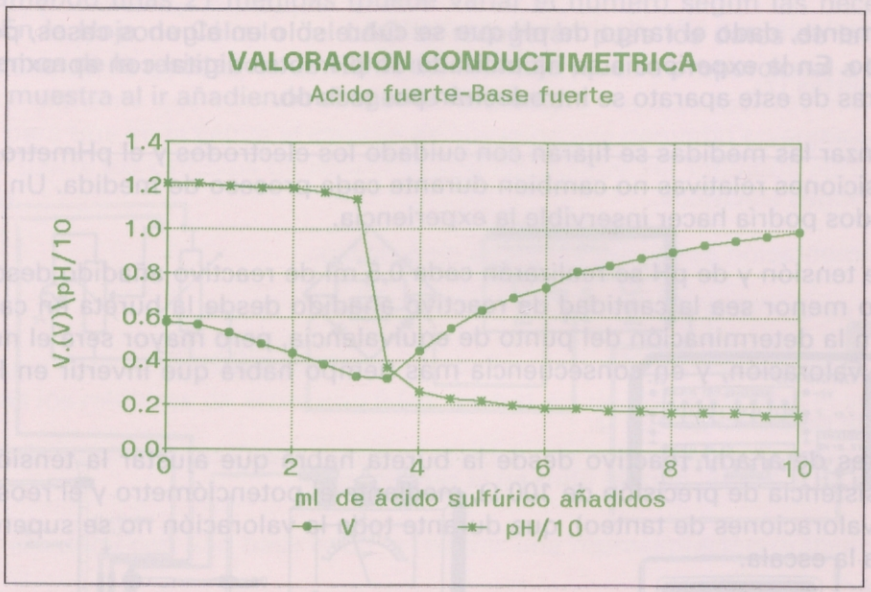
La tabla de valores está recogida en el fichero **VALCOND1.DAT**. En esta Hoja de Cálculo en la columna A se tendrá la lectura del voltímetro; en la columna B se introducirán los ml añadidos de Ácido sulfúrico; en la C el pH que indique el pHmetro y en la D los valores C/10.

En la representación gráfica que se ha realizado se ha puesto en el eje de abscisas los ml de sulfúrico añadidos, y en el eje de ordenadas el voltaje y el pH/10 (se divide entre 10 para que los valores sean del

mismo orden que los del voltaje, y por lo tanto puedan compararse en el mismo diagrama). La gráfica que corresponde a esta representación es la VALORACIÓN CONDUCTIMÉTRICA.

En la gráfica se observa que el punto de equivalencia se alcanza cuando la conductividad se hace mínima, lo que supone consumir un volumen de H_2SO_4 0,5 M de 3,25 ml, lo cual lleva a una Normalidad para el NaOH problema de:

$$3{,}3 \times 0{,}5 = 50{,}0 \times N_{NaOH} \; ; \qquad N_{NaOH} = 0{,}033$$



La desviación con respecto al valor esperado se explica por el hecho de que el NaOH no es patrón primario.

■ *EXPERIENCIA 2: Ácido débil - base fuerte.*

Se valorará una muestra de 40 ml de Hidróxido sódico, aproximadamente 0,05 M (recordar que no es patrón primario), con Ácido acético 1 M, colocado en la bureta.

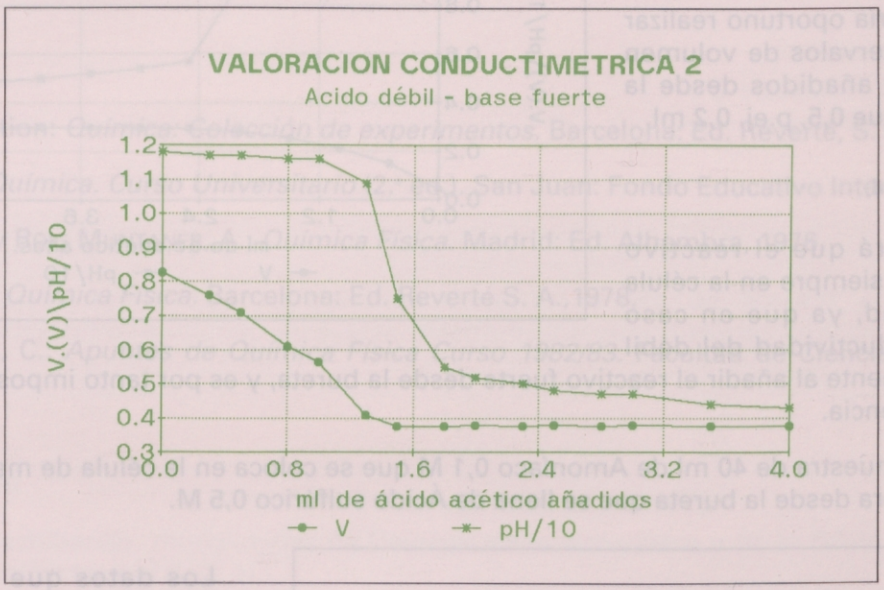
Los datos de esta experiencia están recogidos en el fichero **VALCOND2.DAT**.

La gráfica que se realizará tendrá en el eje de abscisas ml de ácido acético añadidos y en el eje de ordenadas el voltaje y pH/10. La representación gráfica corresponde a la gráfica VALORACIÓN CONDUCTIMÉTRICA 2.

La gráfica muestra que el punto de equivalencia se presenta cuando la conductividad se hace mínima y ya no vuelve a crecer, lo cual supone consumir un volumen de Ácido acético 1 M de 1,4 ml, con lo que la Normalidad del NaOH problema será:

$$1,4 \times 1 = 40,0 \times N_{NaOH}; \qquad N_{NaOH} = 0,035$$

muy similar al valor obtenido en la experiencia 1



■ *EXPERIENCIA 3: Ácido débil - base débil.*

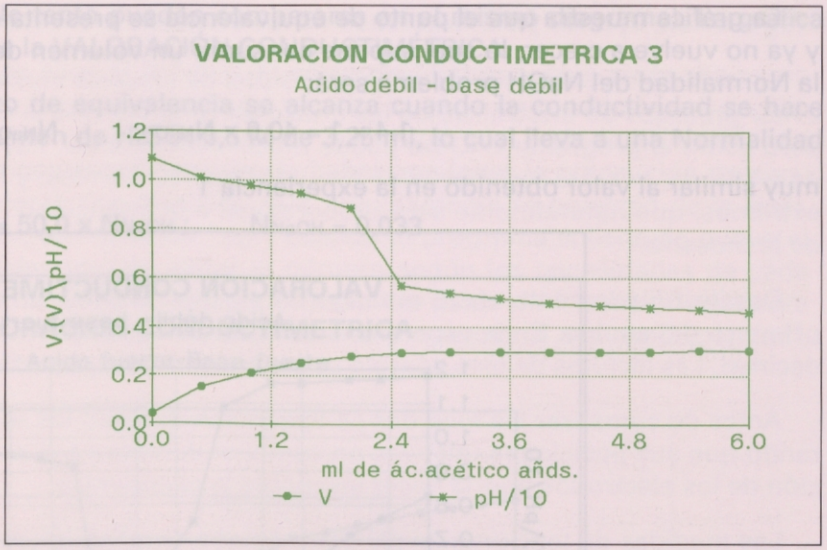
Se valorará una muestra de 40 ml de Amoníaco 0.1 M con Ácido acético 1 M, colocando en la bureta el Ácido acético. Los datos de esta experiencia se recogen en el fichero **VALCOND3.DAT**.

En la gráfica, se representa en el eje de abscisas los ml de ácido acético añadidos, y en el eje de ordenadas voltaje y pH/10. La gráfica que corresponde a esta experiencia es la VALORACIÓN CONDUCTIMÉTRICA 3.

En este caso, la conductividad crece hasta el punto de equivalencia, permaneciendo prácticamente constante al seguir añadiendo ácido. Como en este caso la conductividad es muy baja, un resultado bueno exigiría aparatos de medida de gran precisión o un amplificador de tensión. El punto de equivalencia supondría, aproximadamente, un consumo de Ácido acético 1 M de 2,5 ml, lo que lleva a una normalidad para el NH_3:

$$2,5 \times 1 = 40,0 \times N_{NH_3}; \qquad N_{NH_3} = 0,06$$

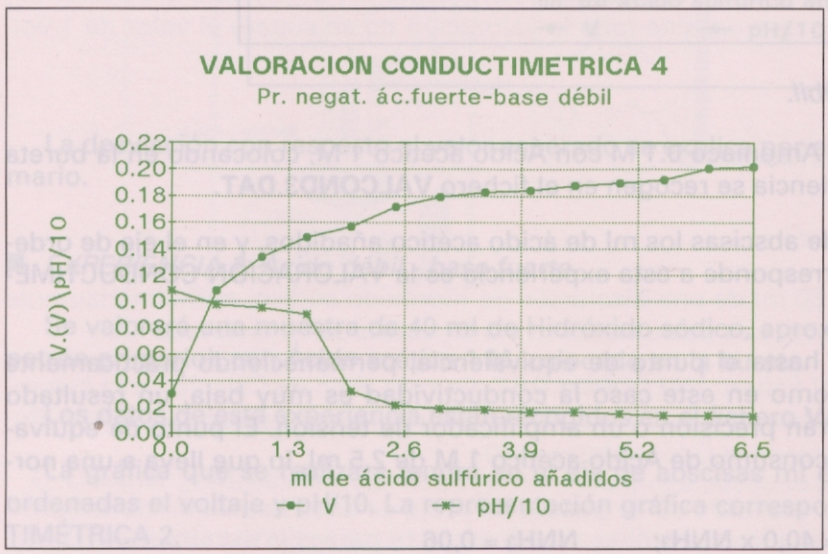
En este caso se observa que la determinación del punto de equivalencia es más complicada, y por tanto el error es mayor. Dada la baja conductividad de la muestra de Amoníaco, el voltímetro debería tener mayor precisión, con objeto de disminuir el error; también sería oportuno realizar las medidas a intervalos de volumen de Ácido acético añadidos desde la bureta menores que 0,5, p.ej. 0,2 ml.



■ *EXPERIENCIA 4.*

Se demostrará que el reactivo fuerte debe estar siempre en la célula de conductividad, ya que en caso contrario la conductividad del débil crece indefinidamente al añadir el reactivo fuerte desde la bureta, y es por tanto imposible determinar el punto de equivalencia.

Se toma una muestra de 40 ml de Amoníaco 0,1 M que se coloca en la célula de medida de conductividades, y se valora desde la bureta que se llena de Ácido sulfúrico 0,5 M.



Los datos que corresponden a esta experiencia se recogen en el fichero **VALCOND4.DAT**.

En la representación gráfica se pone en el eje de abcisas los ml de Ácido sulfúrico añadidos, y en el eje de ordenadas el voltaje y pH/10. Esta representación se recoge en la gráfica VALORACION CONDUCTIMÉTRICA 4.

Como se puede apreciar en este caso la conductividad crece indefinidamente y por lo tanto no puede servir como procedimiento de valoración.

Aplicación didáctica

Dada la complejidad del sistema, esta práctica es aconsejable realizarla como práctica de Cátedra y utilizar sólo la parte de cálculo como aplicación a realizar por los alumnos y alumnas.

Sus objetivos didácticos serían que los alumnos y alumnas interpretaran las gráficas y realizaran un análisis de la eficacia de las valoraciones conductimétricas.

Bibliografía

Nuffield Fundation: *Química: Colección de experimentos.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

Mahan, B. H.: *Química. Curso Universitario* (2.ª ed.). San Juan: Fondo Educativo Interamericano, 1978.

Díaz Peña, M., y Roig Muntaner, A.: *Química Física.* Madrid: Ed. Alhambra, 1976.

Barrow, G. M.: *Química Física.* Barcelona: Ed. Reverté S. A.,1978.

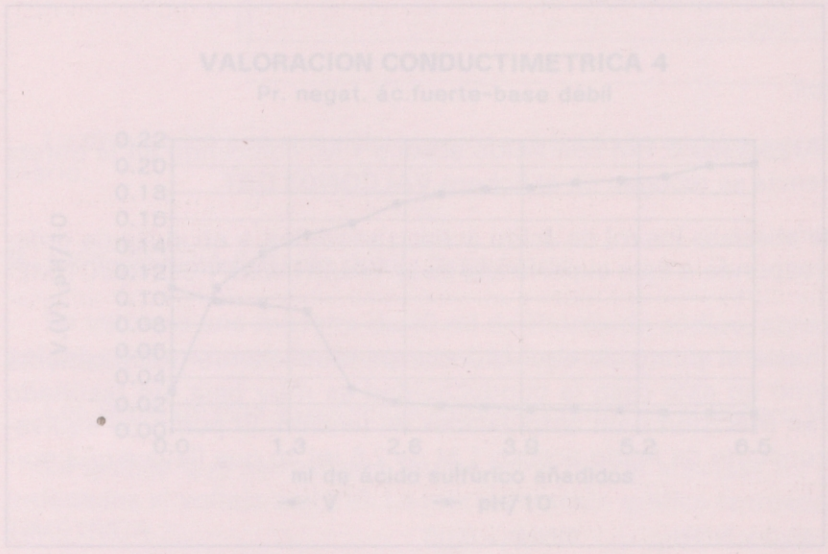
Gutiérrez Losa, C.: *Apuntes de Química Física Curso 1982/83.* Facultad de Ciencias.Universidad de Zaragoza.

En este caso se observa que la determinación del punto de equivalencia es mucho más precisa, ya que el error es mayor.

Sus objetivos didácticos serían que los alumnos y alumnas interpretaran las gráficas y realizaran un análisis de la eficacia de las valoraciones conductimétricas.

Se demostrará que el reactivo fuerte debe estar siempre en la célula de conductividad, ya que en caso contrario la conductividad del medio crece indefinidamente al añadir el reactivo fuerte desde la bureta, y es por tanto imposible hallar el punto de equivalencia.

Se toma una muestra de 40 ml de Amoníaco 0,1 M que se coloca en la célula de medida de conductividades, y se valora desde la bureta que se llena de Ácido sulfúrico 0,5 M.



Los datos que corresponden a esta experiencia se recogen en el fichero VALCOND4.DAT.

En la representación gráfica se pone en el eje de abcisas los ml de Ácido sulfúrico añadidos, y en el eje de ordenadas el voltaje y pH/10. Esta representación se recoge en la gráfica VALORACION CONDUCTIMETRICA 4.

Como se puede apreciar en este caso la conductividad crece indefinidamente y por lo tanto no puede servir como procedimiento de valoración.

Comprobación de la Ley de Nernst

Piedrafita Hijós, A.
Seminario de Física y Química
I. B. Goya. Zaragoza (Zaragoza)
Tomás Herrero, A.
Seminario de Física y Química
I. B. Valdehierro. Madridejos (Toledo)

Resumen

Se trata de comprobar experimentalmente la ley de Nernst en una pila $Cu/CuSO_4//PbSO_4/Pb$, midiendo su fuerza electromotriz para distintas concentraciones de Cu^{2+} y Pb^{2+}.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Química (actual C. O. U.).

Introducción teórica

Es sabido que los potenciales electródicos dependen no sólo de la temperatura de trabajo, sino también de las concentraciones de las especies disueltas y de las presiones parciales de los gases participantes. Como la fuerza electromotriz de cualquier pila electroquímica es consecuencia directa de la diferencia de los potenciales electródicos, aquélla se verá influida, a su vez, por los factores arriba mencionados.

Así, para un proceso redox genérico:

$$aA + bB \longrightarrow cC + dD$$

la fuerza electromotriz de la celda o pila galvánica correspondiente vendría dada por:

$$E = E_o - (0{,}059/n)\log\{[C]^c[D]^c/[A]^a[B]^b\}$$

donde E_o es la fuerza electromotriz estándar y n es el número de electrones transferidos en la reacción. El factor 0,059 es común a todas las pilas que operan a 25° C. Esta expresión, llamada ecuación de Nernst, ha sido comprobada por gran cantidad de datos experimentales, y también se puede derivar de los más fundamentales principios de la termodinámica.

El objetivo fundamental va a consistir en comprobar la ecuación de Nernst en la siguiente pila galvánica:

$$Cu/Cu^{2+} // Pb^{2+}/Pb$$

Como el proceso global es:

$$Cu^{2+} + Pb \longrightarrow Pb^{2+} + Cu$$

que conlleva un intercambio de dos electrones. Por tanto la ecuación de Nernst toma el siguiente aspecto a 25° C:

$$E = 0{,}463 - (0{,}059/2)\log\{[Pb^{2+}]/[Cu^{2+}]\}$$

Objetivos

— Construir la pila galvánica referida anteriormente.

— Manejar los periféricos y el programa LAO para medir fuerzas electromotrices en pilas con distintas concentraciones de iones Cu^{2+} y/o iones Pb^{2+}.

— Representar gráficamente, mediante el programa LAO, la fuerza electromotriz frente al $\log\{[Pb^{2+}]/[Cu^{2+}]\}$ y ajustar a la mejor recta.

— Analizar los semiprocesos de electrodo en la pila estándar.

— Una vez impresa la gráfica mencionada, determinar por medio de ella la fuerza electromotriz estándar, comparándola con el valor teórico e intentando explicar las desviaciones observadas.

— Mediante extrapolación en la gráfica anterior, determinar el valor de K_c e interpretarlo.

Material

— Amplificador de medidas.

— Interfaz CENT.

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Impresora.

— Disoluciones de $CuSO_4$ y $Pb(NO_3)_2$ 0,8 M.

— Un electrodo de cobre y otro de plomo, bien lijados.

— Disolución saturada de KCl para el puente salino.

— Tubo de vidrio en U para el puente salino.

— Papel de filtro para tapar los extremos del puente salino.

— Dos vasos de precipitados de 200 ml.

— Dos cables y dos pinzas para la conexión eléctrica.

Procedimiento

1. Se realiza el montaje experimental que muestra la figura 1.

2. Una vez vertidos 50 ml de cada disolución 0,8 M en sus respectivos vasos, se hacen las medidas de fuerza electromotriz siguiendo las pautas de la tabla 1.

3. El procedimiento a seguir será cargar el programa LAO, elegir el **voltímetro 1** con un fondo de escala de 1 voltio, el **teclado 1** y el **teclado 2**, teniendo la precaución de ajustar el voltímetro a 0 voltios.

4. Para poder realizar el ajuste se programarán dos medidas. Dichas medidas se borrarán de la Hoja para iniciarse de nuevo el experimento contestando "no" cuando el programa solicite de nuevo el ajuste, y tecleando 10 medidas, que corresponden a las 10 pilas galvánicas descritas en la tabla 1.

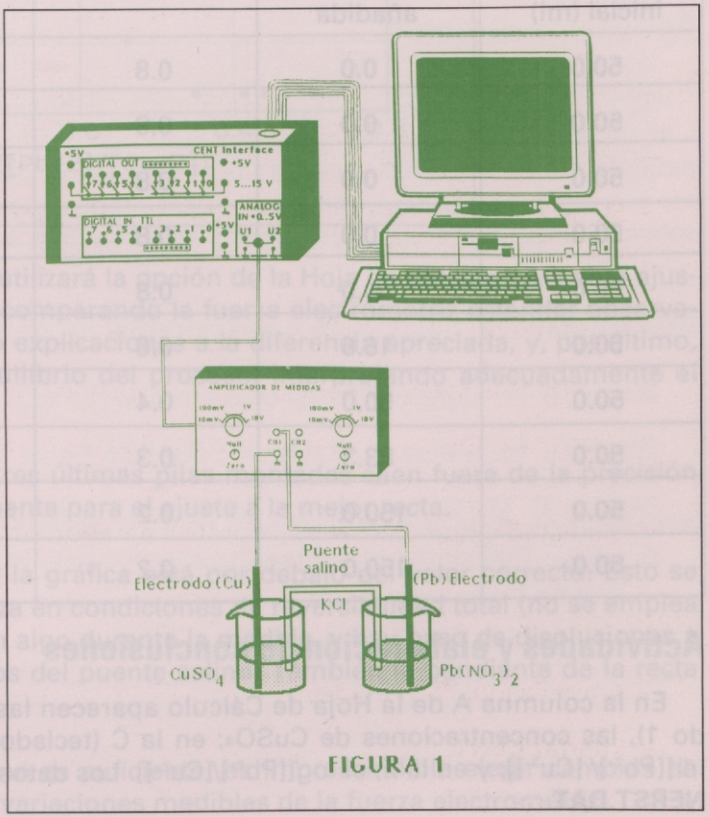


FIGURA 1

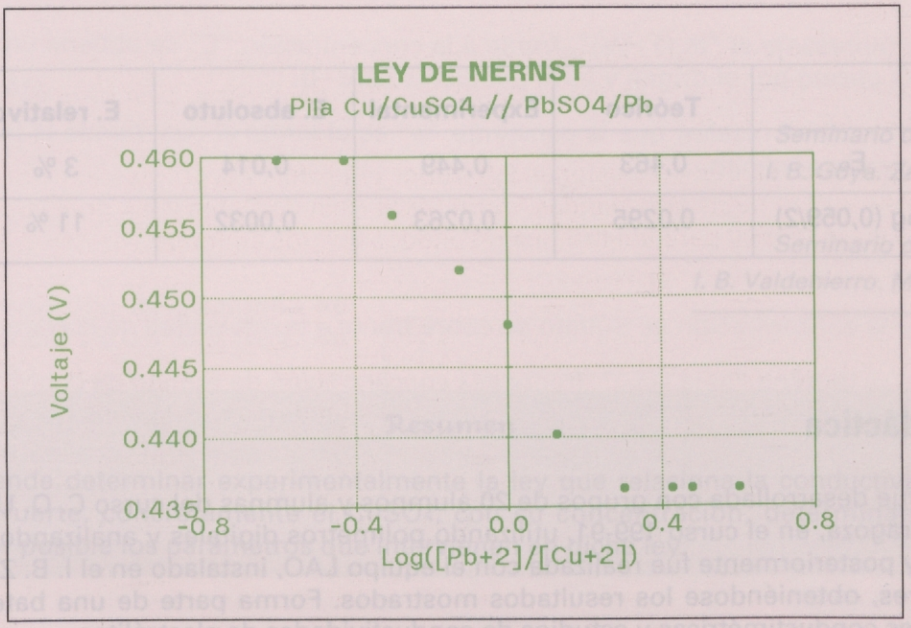
5. Para conseguir disminuir la molaridad de las dos disoluciones se irán añadiendo sucesivamente las cantidades de agua que están indicadas en la tabla 1 (nótese que son ml totales añadidos de agua). Este procedimiento que se está utilizando es aproximado, pero tiene validez suficiente para esta experiencia.
6. Conviene lijar muy bien los electrodos, incluso después de cada medida, para evitar en lo posible el problema de pasivado. Asimismo, el papel de filtro del puente salino debe quedar muy bien ajustado a las paredes del tubo.
7. Una vez preparadas las dos disoluciones 0,8 M por el profesor o profesora, se precisará una hora de clase práctica para hacer las medidas, imprimir la Hoja de Datos y las gráficas. Se dedicará una hora más de clase teórica para analizar los resultados con los alumnos.

Disolución de $CuSO_4$			*Disolución de $Pb(NO_3)_2$*		
Volumen inicial (ml)	Agua (ml) añadida	M	Volumen inicial (ml)	Agua (ml) añadida	M
50.0	0.0	0.8	50.0	0.0	0,8
50.0	0.0	0.8	50.0	16.6	0,6
50.0	0.0	0.8	50.0	50.0	0,4
50.0	0.0	0.8	50.0	83.3	0,3
50.0	0.0	0.8	50.0	150.0	0,2
50.0	16.6	0.6	50.0	0.0	0,8
50.0	50.0	0.4	50.0	0.0	0,8
50.0	83.3	0.3	50.0	0.0	0,8
50.0	150.0	0.2	50.0	0.0	0,8
50.0	150.0	0.2	50.0	16.6	0,6

Actividades y elaboración de conclusiones

En la columna A de la Hoja de Cálculo aparecen las fuerzas electromotrices medidas; en la B (teclado 1), las concentraciones de $CuSO_4$; en la C (teclado 2), las concentraciones de $Pb(NO_3)_2$; en la D, el ln $[[Pb^{2+}]/[Cu^{2+}]]$; y en la E, el log$[[Pb^{2+}]/[Cu^{2+}]]$. Los datos de esta experiencia están recogidos en el fichero **NERST.DAT.**

Los alumnos representarán en el gráfico 1 (Ley de Nernst, pila $Cu/CuSO_4//PbSO_4/Pb$) en el eje X el $\log[[Pb^{2+}]/[Cu^{2+}]]$ (columna E), y en Y1 la fuerza electromotriz (columna A), eligiendo puntos.



Se hará un ajuste a la mejor recta (para ello se utilizará la opción de la Hoja de Cálculo LAO para ajustar a la mejor recta), analizando las desviaciones, comparando la fuerza electromotriz estándar observada con la tabulada en libros de química, buscando explicaciones a la diferencia apreciada, y, por último, calculando por extrapolación la constante de equilibrio del proceso, interpretando adecuadamente el valor obtenido.

Las diferencias de fuerza electromotriz de las tres últimas pilas montadas caen fuera de la precisión del voltímetro, y, por tanto, no se han tenido en cuenta para el ajuste a la mejor recta.

La fuerza electromotriz estándar observada en la gráfica está por debajo del valor correcto. Esto se supone que es debido a que la medida no se realiza en condiciones de reversibilidad total (no se emplea el método de oposición), los electrodos se pasivan algo durante la medida, y hay paso de disoluciones a través del papel de filtro colocado en los extremos del puente salino. También la pendiente de la recta experimental está bastante cerca del valor teórico.

Debido a que la precisión de los voltímetros no es suficiente, es imprescindible elegir cambios de concentración en las disoluciones que provoquen variaciones medibles de la fuerza electromotriz.

Las mostradas en las tablas anteriores dan buenos resultados, pero naturalmente podrían proponerse otras. Si se ha utilizado esta pila, es porque permite utilizar la escala de un voltio; de esta suerte, pequeñas variaciones de la fuerza electromotriz podrán detectarse con suficiente precisión:

	Teórico	Experimental	E. absoluto	E. relativo
E_0	0,463	0,449	0,014	3 %
log (0,059/2)	0,0295	0,0263	0,0032	11 %

Aplicación didáctica

Esta práctica fue desarrollada con grupos de 20 alumnos y alumnas del curso C. O. U. de Química del I. B. Goya, de Zaragoza, en el curso 199-91, utilizando polímetros digitales y analizando los datos con el paquete Works, y posteriormente fue realizada con el equipo LAO, instalado en el I. B. Zurita, de Zaragoza, por los autores, obteniéndose los resultados mostrados. Forma parte de una batería de prácticas sobre valoraciones conductimétricas y estudios de conductividades de electrólitos.

Bibliografía

MAHAN, B. H.: *Química. Curso Universitario* (2.ª ed.). San Juan: Fondo Educativo Interamericano, 1978.

DÍAZ PEÑA, M., y ROIG MUNTANER, A.: *Química Física*. Madrid: Ed. Alhambra, 1976.

BARROW, G. M.: *Química Física*. Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1980.

GUTIÉRREZ LOSA, C.: *Apuntes de clase de Química Física Curso 1983-84*. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.

Variación de la conductividad de un electrólito fuerte en función de su concentración

Piedrafita Hijós, A.
Seminario de Física y Química
I. B. Goya. Zaragoza (Zaragoza)
Tomás Herrero, A.
Seminario de Física y Química
I. B. Valdehierro. Madridejos (Toledo)

Resumen

Se pretende determinar experimentalmente la ley que relaciona la conductividad de un electrólito fuerte, concretamente el $CuSO_4$, con su concentración, determinando con el menor error posible los parámetros que intervienen en dicha ley.

Nivel educativo

Segundo de Bachillerato, modalidades de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, y de Tecnología; asignatura de Química (actual C. O. U.).

Introducción teórica

Tanto la conductividad como la intensidad de corriente, para un electrólito fuerte, están relacionadas con la concentración mediante una curva exponencial que responde a la siguiente ecuación:

$$I = a\,(1 - e^{-bC})$$

donde I es la intensidad de corriente, a y b constantes características de cada electrólito, y C la concentración molar. Haciendo las siguientes transformaciones se puede llegar a la expresión:

$$I/a - 1 = -e^{-bC}$$

$$1 - I/a = e^{-bC}$$

y tomando logaritmos neperianos:

$$\ln (1 - I/a) = -bC$$

Así pues, si se representa el "ln (1 –I/a)", frente a la concentración "C" se obtiene una línea recta, que al menos en teoría pasará por el origen y cuya pendiente será –b.

Para terminar, conviene resaltar que la constante "a" es el límite al cual tiende la intensidad cuando la concentración tiende a infinito.

Objetivos

— Representar la concentración de Sulfato de cobre frente a la intensidad de corriente.

— Representar el termino "ln (1 –I/I_o)", frente a la concentración de Sulfato de cobre.

Material

— Electrodos de cobre (2).

— Corcho (dos trozos).

— Lija.

— $CuSO_4 . 5 H_2O$.

— Matraz aforado de 0,5 litros.

— Balanza.

— Pipetas.

— Vasos de precipitados (uno de 100 ml y otro de 50 ml).

— Agitador magnético para disolver mejor el sulfato de cobre (II) (opcional).

— Soportes metálicos y nuez para fijar los electrodos.

— Panel de montajes eléctricos.

— Cables de conexión (4).

— Pinzas de cocodrilo (2).

— Fuente de alimentación de corriente continua de 12 voltios.

— Resistencia de precisión de 100 Ω.

— Ordenador.

— Programa LAO.

— Interfaz CENT.

Procedimiento

1. Preparar medio litro de disolución de sulfato de cobre (II) 0,5 M a partir de $CuSO_4 . 5 H_2O$.
2. Diluir adecuadamente la disolución de partida para obtener muestras de 50 ml de las siguientes molaridades: 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, y 0,50.
3. Construir una célula para medir conductividades, según se muestra en el dibujo.
4. Realizar el montaje eléctrico de la figura 1.
5. Conectar adecuadamente el sistema eléctrico a la entrada de medida de tensiones del CENT.
6. Seguidamente se cargará el programa LAO, eligiendo el *módulo* de **corriente continua**, seleccionando como *instrumentos* el **voltímetro 1**, con un fondo de escala de 10 voltios, y el **teclado 1**, ajustando a 0 y programando 10 medidas, que supondrán en todos los casos tomar 50 ml de disolución de la forma y de las concentraciones que indica la tabla siguiente.

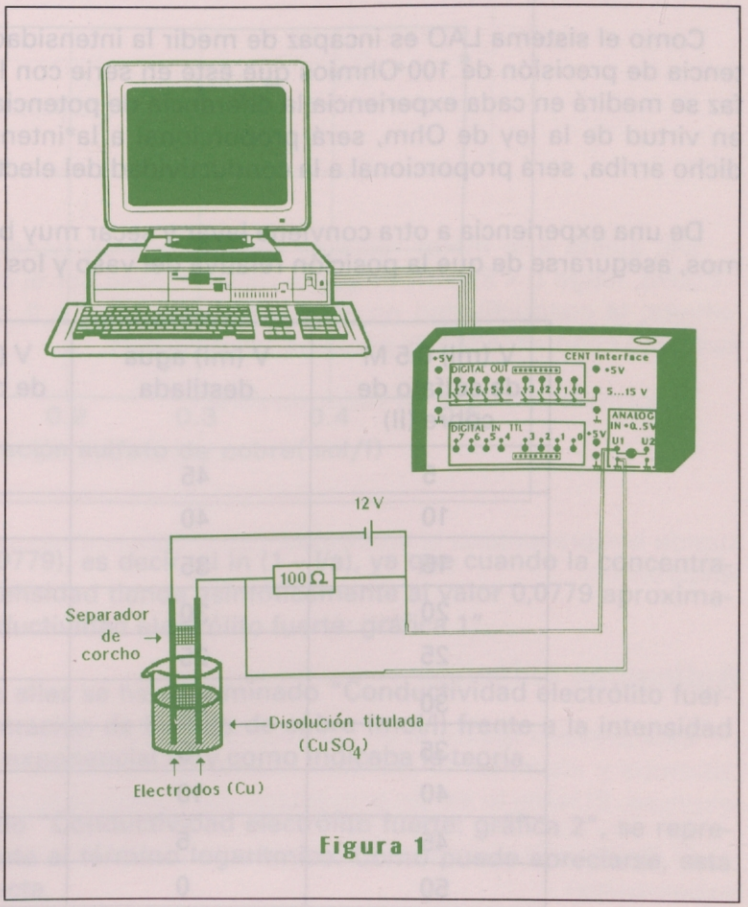


Figura 1

Preparación previa de los sistemas a utilizar

Los dos electrodos de cobre se lijan hasta que desaparezca completamente el óxido. Seguidamente se pegan entre sí, mediante dos trozos de corcho aproximadamente iguales (veáse figura 1).

Pesar en la balanza 62,375 g de Sulfato de cobre pentahidratado. Echarlo en el vaso de 200 ml y utilizar el agitador magnético para que se disuelva más rápidamente calentando a la vez suavemente. Verter esta disolución en el matraz aforado de medio litro y enrasarlo con más agua destilada.

Hay que conseguir que en cada medida la posición relativa del vaso y los electrodos de cobre sea la misma; de lo contrario, la medida de conductividad se vería afectada por el cambio de disposición de la cubeta, cosa que, naturalmente, hay que evitar a toda costa.

Como el sistema LAO es incapaz de medir la intensidad directamente, es preciso intercalar una resistencia de precisión de 100 Ohmios que esté en serie con la cubeta. Así pues, con el voltímetro del Interfaz se medirá en cada experiencia la diferencia de potencial entre los extremos de dicha resistencia, que, en virtud de la ley de Ohm, será proporcional a la intensidad circulante, y ésta a su vez, como se ha dicho arriba, será proporcional a la conductividad del electrólito.

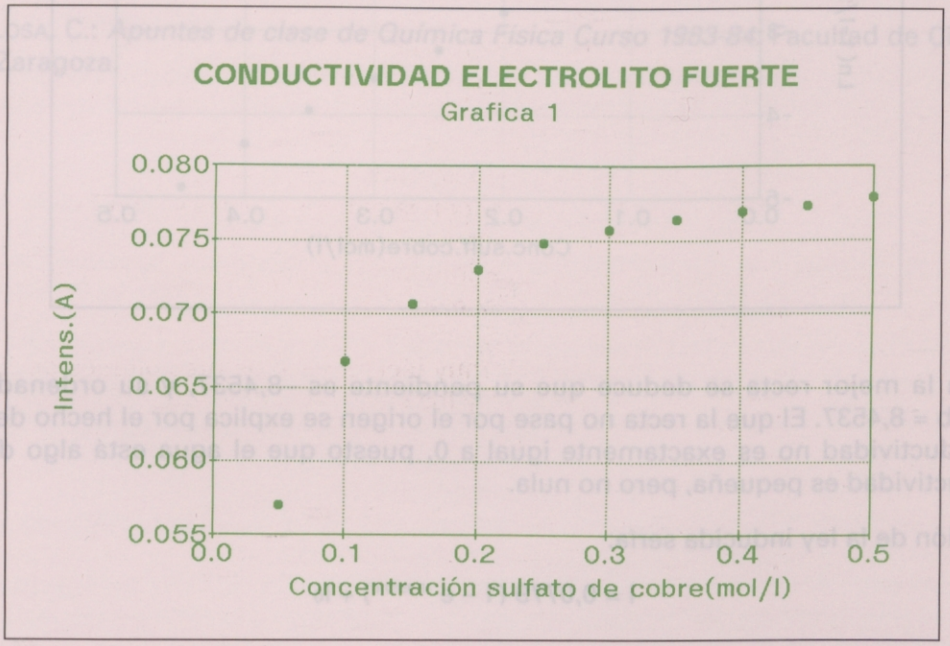
De una experiencia a otra conviene lavar y secar muy bien el vaso de precipitados de 100 ml e, insistimos, asegurarse de que la posición relativa del vaso y los electrodos de cobre sea la misma.

V (ml) 0,5 M de sulfato de cobre (II)	V (ml) agua destilada	V (ml) total de disolución	Molaridad de la disolución
5	45	50	0,05
10	40	50	0,10
15	35	50	0,15
20	30	50	0,20
25	25	50	0,25
30	20	50	0,30
35	15	50	0,35
40	10	50	0,40
45	5	50	0,45
50	0	50	0,50

Actividades y elaboración de conclusiones

Los datos referentes a esta práctica están en el fichero **CONCU.DAT**.

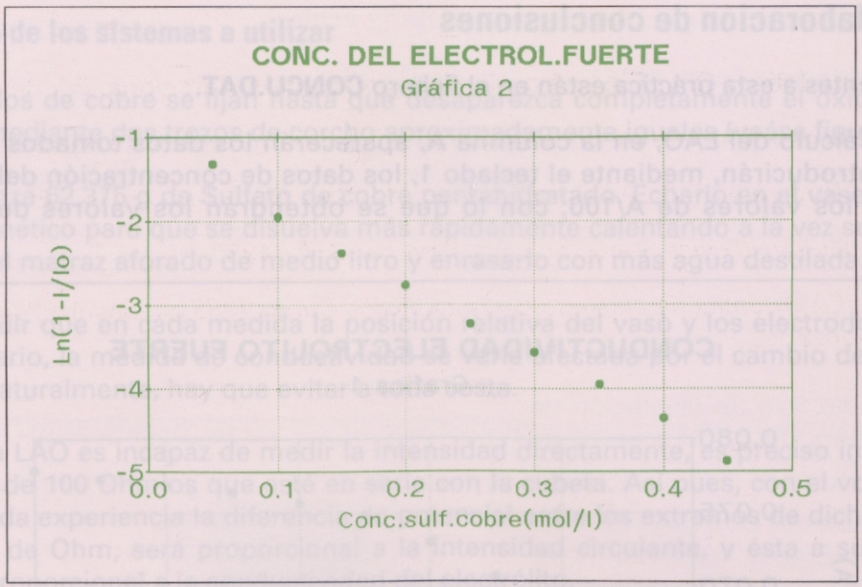
En la Hoja de Cálculo del LAO, en la columna A, aparecerán los datos tomados del voltímetro; en la columna B se introducirán, mediante el teclado 1, los datos de concentración del Sulfato de cobre; en la columna C, los valores de A/100, con lo que se obtendrán los valores de la intensidad de corriente.



En la columna D se ha calculado ln (1 – C/0,0779), es decir, el ln (1 – I/a), ya que cuando la concentración de Sulfato de cobre tiende a infinito, la intensidad tiende asintóticamente al valor 0,0779 aproximadamente, como puede verse en el gráfico "Conductividad electrólito fuerte: gráfica 1".

Se van a realizar dos gráficas. La primera de ellas se ha denominado "Conductividad electrólito fuerte: gráfica 1", y en ella se representa la concentración de Sulfato de cobre (mol/l) frente a la intensidad de corriente, observando que resulta una curva exponencial tal y como indicaba la teoría.

En la segunda gráfica, que se ha denominado "Conductividad electrólito fuerte: gráfica 2", se representa la concentración de Sulfato de cobre frente al término logarítmico. Como puede apreciarse, esta segunda gráfica se ajusta bastante bien a una recta.



Del ajuste a la mejor recta se deduce que su pendiente es –8,4537, y su ordenada en el origen –1,0393, luego b = 8,4537. El que la recta no pase por el origen se explica por el hecho de que a dilución infinita, la conductividad no es exactamente igual a 0, puesto que el agua está algo disociada y, por tanto, su conductividad es pequeña, pero no nula.

La formulación de la ley inducida sería:

$$I = 0{,}0779\ (1 - e^{-8{,}4537\ C}) + I_0$$

donde I_0 representaría la intensidad que circula cuando se echan 50 ml de agua destilada en la cubeta de electrólisis.

Aplicación didáctica

Está previsto realizarla en Química de C. O U., durante el curso académico 1991-92, con grupos de 20 alumnos y alumnas. El profesor montaría y realizaría la práctica ayudado por unos cinco alumnos y alumnas. El resto lo verían proyectado por medio de la pantalla de cristal líquido.

El Objetivo didáctico consistirá en interpretar las gráficas obtenidas, y a partir de ellas deducir la Ley experimental.

Bibliografía

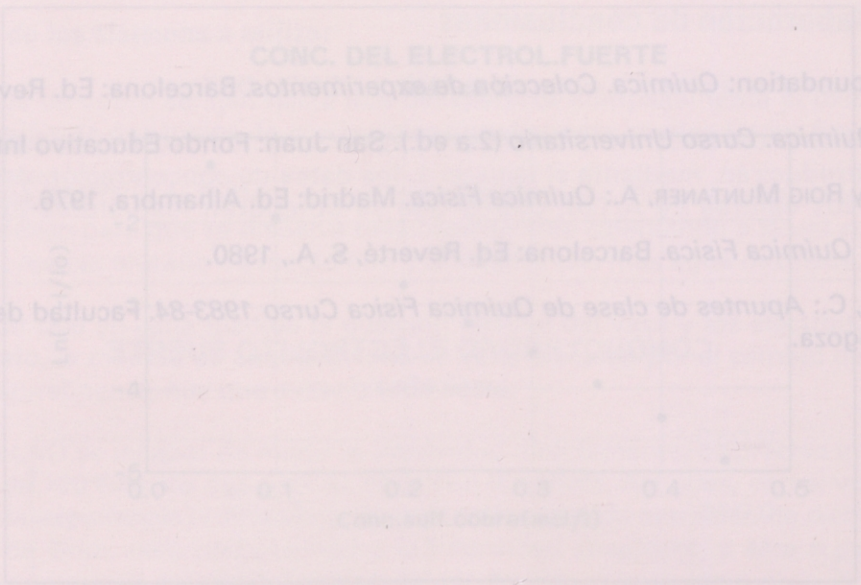
The Nuffield Foundation: *Química. Colección de experimentos.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1978.

Mahan, B. H: *Química. Curso Universitario* (2.a ed.). San Juan: Fondo Educativo Interamericano, 1978.

Díaz Peña, M., y Roig Muntaner, A.: *Química Física.* Madrid: Ed. Alhambra, 1976.

Barrow, G. M.: *Química Física.* Barcelona: Ed. Reverté, S. A., 1980.

Gutiérrez Losa, C.: *Apuntes de clase de Química Física Curso 1983-84.* Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.


CONC. DEL ELECTROL. FUERTE

Anexo I

Utilización del Programa Works para gestionar los datos registrados con el Equipo LAO

El objetivo de la utilización del Programa WORKS no es estrictamente calcular con él, sino aprovechar la mejor calidad que tienen tanto la presentación de la Hoja de Cálculo como los gráficos de WORKS. Además, WORKS permite almacenar en los ficheros de la Hoja de Cálculo los gráficos elaborados, lo que no permite LAO en la actualidad.

Supóngase una experiencia realizada con el Equipo LAO en la que se ha medido la iluminación (lx) frente al tiempo (s). El fichero correspondiente se ha guardado en C:\LAO con el nombre HOJA1.DAT.

Operaciones con LAO

1. Una vez arrancado el ordenador y situados en el directorio LAO, se ejecuta el programa. Se recupera la Hoja *HOJA1.DAT*.
2. Se elige **Utilidades** y a continuación **Exportar Hoja**. En la línea inferior de mensajes aparecerá *C:\LAO\HOJA1.CSV*. Pulsar **Retorno** y esperar hasta que desaparezca el mensaje anterior.
3. Abandonar el programa LAO.

Operaciones con Works

1. Cargar el programa WORKS. Hay que tener en cuenta que este programa corre con *ratón* —y también con el teclado utilizando la tecla *ALT* + *(letra resaltada en las opciones del menú)*— por lo que todas las selecciones dentro del menú de WORKS se podrán realizar utilizando el *botón izquierdo* del ratón (*"clic"* indicará una pulsación, *"clic clic"* dos pulsaciones consecutivas).
2. Antes de realizar ninguna operación es necesario *configurar WORKS* de forma adecuada, para lo cual en el menú se elige **Opciones** y en éstas **Configurar Works...** En la pantalla de configuración que aparece hacer *"clic clic"* sobre la especificación de **País**, y en **Estados** elegir **España**. Esto es necesario para que WORKS reconozca la notación decimal de LAO.
3. Elegir en el menú de WORKS **Archivo** y dentro de éste **Abrir archivo existente...** En la ventana de **DIRECTORIOS** hacer *"clic clic"* sobre...
4. Aparecerán todos los directorios del disco duro (C:), de los que *se selecciona LAO*, mediante un *"clic clic"*. Aparecerán todos los ficheros DAT y CSV existentes. Situarse sobre el fichero *HOJA1.CSV* y hacer *"clic clic"*.

Anexos

Anexo I

Utilización del Programa Works para gestionar los datos registrados con el Equipo LAO

El objetivo de la utilización del Programa WORKS no es estrictamente calcular con él, sino aprovechar la mejor calidad que tienen tanto la presentación de la Hoja de Cálculo como los gráficos de WORKS. Además, WORKS permite almacenar en los ficheros de la Hoja de Cálculo los gráficos elaborados, lo que no permite LAO en la actualidad.

Supóngase una experiencia realizada con el Equipo LAO en la que se ha medido la iluminación (lx) frente al tiempo (s). El fichero correspondiente se ha guardado en C:\LAO con el nombre HOJA1.DAT.

Operaciones con LAO

1. Una vez arrancado el ordenador y situados en el directorio LAO, se ejecuta el programa. Se recupera la Hoja *HOJA1.DAT.*
2. Se elige **Utilidades** y a continuación **Exportar Hoja.** En la línea inferior de mensajes aparecerá *C:\LAO\HOJA1.CSV.* Pulsar **Retorno** y esperar hasta que desaparezca el mensaje anterior.
3. Abandonar el programa LAO.

Operaciones con Works

1. Cargar el programa WORKS. Hay que tener en cuenta que este programa corre con *ratón* —y también con el teclado utilizando la tecla *ALT* + (*letra resaltada en las opciones del menú)*— por lo que todas las selecciones dentro del menú de WORKS se podrán realizar utilizando el *botón izquierdo* del ratón ("*clic*" indicará una pulsación, *"clic clic"* dos pulsaciones consecutivas).
2. Antes de realizar ninguna operación es necesario *configurar WORKS* de forma adecuada, para lo cual en el menú se elige **Opciones** y en éstas **Configurar Works**... En la pantalla de configuración que aparece hacer *"clic clic"* sobre la especificación de **País**, y en **Estados Unidos**. Esta operación es necesaria para que WORKS reconozca la notación decimal de LAO.
3. Elegir en el menú de WORKS **Archivo** y dentro de éste **Abrir archivo existente**... En la ventana de **DIRECTORIOS** hacer "*clic clic*" sobre...
4. Aparecerán todos los directorios del disco duro (C:), de los que *se selecciona LAO,* mediante un *"clic clic".* Aparecerán todos los ficheros DAT y CSV existentes. Situarse sobre el fichero *HOJA1.CSV* y hacer *"clic clic".*

5. Como resultado de lo anterior, WORKS muestra una pantalla en la que hay que elegir la opción de **Hoja de Cálculo** mediante un *"clic clic"*; aparecerá la Hoja de Cálculo de WORKS con los datos experimentales del fichero HOJA1.CSV. En las celdas de la primera línea aparecerán los nombres de las magnitudes de cada columna. A partir de este momento se podrán tratar estos datos mediante las utilidades de WORKS, de las cuales sólo se referirán las correspondientes a la realización de gráficos y fusión de Hojas de Cálculo.

Confección de gráficos con Works

1. Seleccionar **Ver** en el menú de la Hoja, y a continuación **Nuevo gráfico** haciendo *"clic"*, con lo cual se entra en el modo gráfico de WORKS, y aparece un mensaje: **No hay serie seleccionada**. Hacer *"clic"* sobre **<SI>**. Hay que reseñar que en este modo no se puede realizar ningún tratamiento matemático con los datos.

2. Por medio del menú del modo gráfico se permite seleccionar abscisas y ordenadas, escalas, rotulación de ejes, insertar títulos, etc.

3. *Selección de abscisas y ordenadas* (en este caso se desea asignar al eje X el tiempo, columna A, y al eje Y la iluminación, columna B).

   Hacer *"cllic"* sobre el valor de la celda A2 (en la celda A1 se encuentra el nombre reloj), pulsar **F8** y posteriormente **Control + Fin**. Quedarán resaltados valores de la columna A y de las columnas situadas a su derecha; con las teclas de desplazamiento (derecha e izquierda) se seleccionan los datos de la columna A (quedará resaltada). Todo este proceso puede simplificarse haciendo *"clic"* sobre la letra identificativa de la columna correspondiente. En el caso de actuar de esta última manera quedarán seleccionadas (resaltadas en la pantalla) la totalidad de las celdas de la columna (2047). Por tanto, se aconseja actuar de la forma inicial descrita. También se podrían seleccionar los datos haciendo *"clic"* sobre el primer valor de la columna y arrastrando el ratón, sin dejar de presionar sobre el botón izquierdo, hasta el último dato deseado.

   Se selecciona en la barra del menú **Datos**, y en la ventana que se ofrece se hace *"clic"* sobre **Serie X**. Los valores de la columna A corresponderán a las abscisas.

   Para seleccionar la columna B, pulsar **Control + Inicio** para volver a la cabecera de la Hoja, y a partir de aquí situarse sobre la celda B2 y proceder de la misma forma que en el caso anterior (**Serie X**), salvo que en este caso hay que seleccionar **1.ª Serie Y**. En el caso de que se quiera una segunda columna en ordenadas, se seleccionaría, volviendo previamente a la cabecera de la Hoja, **2.ª Serie Y,** y así sucesivamente de la forma ya descrita.

   Para confirmar las asignaciones realizadas, se elige en **Datos** la opción **Serie...** La pantalla mostrará, entre paréntesis, la primera y la última celda de los valores que corresponden a cada eje, por ejemplo: X(A2:A1203), Y(B2:B1203), etc.

Si la asignación es correcta, se hará "clic" sobre **Aceptado**; en caso contrario se haría "clic" sobre **Eliminar** y se comenzaría de nuevo.

4. Para *visualizar la gráfica* se selecciona **Ver** y en ella **Gráfico 1.** Por defecto la representación será de barras. Para modificarla, pulsar **ESC** y seleccionar en el menú **Formato,** y dentro de éste **Líneas** o **X-Y** con un *"clic"*.

   Dentro del menú **Formato** puede seleccionarse tanto el *formato* de los Títulos, en **Fuente para el título**, como el de los subtítulos y rotulación de los ejes, en **Otras fuentes.** Asímismo puede escogerse el formato para la representación de los datos (◆ ❍ ●,...) mediante **Formato de datos:** para cada serie seleccionada puede elegirse **Colores, Diseño** (en **Sólido** los datos representados se unirían punto a punto) y **Marcadores**. Una vez seleccionado el trío deseado para cada Serie se pulsaría sobre **<Formato>** y se repetiría el proceso anterior para cada Serie. Una vez finalizada la elección para las distintas Series se pulsaría sobre **<Aceptado>**.

5. *Leyendas y Títulos en la gráfica.*

   En la ventana de **Títulos** de la opción **Datos** del menú, se pueden incluir las siguientes posibilidades de rotulación:

   Poner un título y un subtítulo general al gráfico.

   Especificar la magnitud correspondiente al eje Y.

   Especificar la magnitud correspondiente al eje X.

   En la ventana de **Leyendas** de la opción **Datos** pueden añadirse las claves identificativas de los datos registrados en diferentes condiciones, o simplemente para diferenciarlos. Abierta la ventana citada, se presentan las diferentes series del eje Y. Señalando la serie deseada se selecciona a continuación **Leyendas [...]**, escribiendo la clave deseada, por ejemplo 37° C, y pulsando finalmente sobre **Crear**; a continuación se seleccionaría otra serie y se seguiría el mismo proceso. Una vez asignadas las diferentes Leyendas se realizaría *"clic"* sobre **Aceptar**. En la parte inferior del gráfico aparecería para cada Serie el Marcador seleccionado junto con la Leyenda asignada.

   Para realizar *cambios de escala en el eje Y,* elegir en la barra del menú **Opciones** y en ella **Eje-Y.** En la ventana que aparece se representa **Mínimo, Máximo, Intervalo**. Actuando sobre la tecla de **Retorno** se elimina la palabra **auto,** y a continuación se puede escribir el valor mínimo que se desea adjudicar al eje Y.

   Si se quiere poner un valor máximo para el eje Y, hacer *"clic"* sobre **auto** en la línea de **Máximo,** actuar sobre la tecla de **Retorno** y escribir el valor máximo que se quiere adjudicar al eje Y.

   Si deseamos modificar el **Intervalo** se procederá de igual forma que en los casos anteriores.

Para aceptar todos los cambios realizados hacer *"clic"* sobre **<SI>**.

Nota: Si se selecciona en la barra de menú **Opciones,** y en ella **Eje-X** o **Eje-Y**, se pueden poner o quitar en ambos casos líneas de división en la gráfica, que según qué casos pueden resultar muy útiles. Para ello, hacer *"clic"* sobre **[ ] líneas de división**. Si aparece **[X],** el fondo de la gráfica quedará reticulado. Si se selecciona **( )**, entonces el fondo de la gráfica aparecerá en blanco.

Trabajando en la Hoja de Cálculo de WORKS se pueden realizar hasta **siete representaciones gráficas distintas**. Si se desea una segunda gráfica conservando la primera ya realizada, se empezará el proceso desde el punto **3.**

6. Antes de proceder a la *impresión de cualquier gráfica* que se haya podido realizar es conveniente comprobar el producto final por si fuera necesario hacer alguna modificación no prevista.

   Para ello se selecciona en la barra del menú **Imprimir**, y desde aquí **<Pre-ver>**. En esta misma opción, en **Configurar páginas y márgenes** se pueden seleccionar las dimensiones del gráfico y su orientación, horizontal o vertical. Es importante utilizar la opción de **Pre-ver** antes de imprimir la gráfica, dado que ocurre frecuentemente que los Títulos de la gráfica y de los ejes no quepan en la gráfica impresa debido a un desajuste con el tamaño configurado.

7. En cualquier momento se puede abandonar el modo gráfico y volver a la Hoja de Cálculo. Para ello en la opción **Ver** se selecciona **Hoja de Cálculo**. Es en esta opción donde pueden realizarse cálculos numéricos, imprimir los datos, formatear los datos (número de decimales, alineamiento, anchura de columna, etc.), colocar un título a la Hoja de Datos para su impresión (opción **Imprimir**), etc.

Almacenar/recuperar ficheros

En el directorio LAO

Seleccionar **Archivo** y en éste hacer *"clic"* sobre **Guardar**. En la esquina inferior izquierda de la pantalla aparece **0%**; se deberá esperar hasta que llegue a **100%**. El fichero quedará almacenado en C:\LAO\HOJA1.CSV.

En el directorio WORKS

Seleccionar en **Archivo Guardar como**... En la ventana que aparece hacer *"clic clic"* sobre... y aparecerán los directorios de C:\. A continuación, hacer *"clic"* sobre **WORKS**. En la parte superior de la venta-

na aparecerá (WORKS\...); hacer *"clic clic"* sobre el primero de los puntos suspensivos, y a continuación escribir HOJA1.WKS.

Debe quedar **(WORKS\HOJA1.WKS...)**; hacer *"clic"* sobre **<SI>** en la parte inferior derecha, y esperar al igual que en el caso anterior a que llegue al **100%**, lo que indicará que el fichero queda almacenado en el directorio WORKS.

Nota importante. Hay que señalar que tanto si se almacena en WORKS como en LAO, los gráficos generados con WORKS se guardan, pero no se pueden representar desde LAO.

En unidad de disco

Seleccionar en **archivo guardar como...**; en la ventana que aparece hacer *"clic clic"* sobre la unidad deseada (–A), (–B)... Actuar sobre la tecla de **Retorno** y escribir sobre la línea de puntos y la extensión que figura en la pantalla de Hoja de Cálculo, por ejemplo Hoja1.WKS.

Hacer *"clic"* sobre **<SI>** y esperar a que llegue el **100 %,** en este caso el proceso es más lento que los anteriormente descritos.

En el caso de ficheros con extensión CSV se procede de igual forma.

Recuperar archivos desde diskettes

Seleccionar en **Archivo Abrir archivo existente...; en la ventana que aparece hacer** *"clic"* sobre la unidad deseada [-A], [-B-],... En la ventana de la izquierda aparecerán los archivos de la unidad seleccionada; actuar sobre la tecla de **Retorno,** y con el ratón hacer *"clic"* sobre el fichero que se desea recuperar. A continuación hacer *"clic"* sobre **<SI>** y esperar a que aparezca la Hoja de Cálculo con los datos.

Fusión de Hojas de Cálculo en WORKS

Frecuentemente es interesante representar gráficamente, y de forma conjunta, *datos homogéneos que han sido registrados en Experiencias que se diferencian por la variación de una de las condiciones iniciales,* como, por ejemplo, la variación de la iluminación registrada en función del tiempo para diferentes temperaturas de una disolución.

Supóngase que para cada temperatura, y para iguales intervalos temporales, se ha registrado con el equipo LAO una Hoja de Datos, y que todas ellas ya están archivadas en:

a) C:\LAO como HOJA1.CSV, HOJA2.CSV..., o en

b) C:\LAO como HOJA1.WKS, HOJA2.WKS..., o en

c) C:\WORKS como HOJA1.WKS, HOJA2.WKS..., o en

d) C:\WORKS como HOJA1.CSV, HOJA2.CSV..., o en

e) Unidad de disco flexible, bien con extensión WKS o CSV.

Para fusionar todos los datos en una sola Hoja se procedería de la forma siguiente:

1. Se abre una de las Hojas, por ejemplo, HOJA1.WKS, de la forma ya descrita.
2. Una vez en pantalla los datos de HOJA1.WKS, se elige de nuevo **Abrir archivo existente...**, y en esta opción se selecciona, por ejemplo, HOJA2.WKS. Una vez que se ha pulsado **Retorno** aparecerán en pantalla los datos de la última Hoja.
3. En la HOJA2.WKS se marcan los datos que se desean incorporar a la Hoja HOJA1.WKS. Para marcar los datos se utiliza bien el arrastre del ratón, o bien situados en el primer dato después de pulsar **F8** mediante las teclas de cursor se realiza la selección.
4. Una vez marcados los datos en la opción del menú **Editar** se elige **Copiar**; el programa pide que se le suministre la posición donde se quieren copiar los datos seleccionados.
5. Eligiendo la opción **Ventana,** una ventana muestra ordenados los ficheros hasta ese momento abiertos, en este caso HOJA1.WKS y HOJA2.WKS.
6. Dado que los datos seleccionados de HOJA2.WKS se desean incorporar a la Hoja HOJA1.WKS, en la opción anterior se elige **HOJA1.WKS**. En pantalla se muestran los datos de HOJA1.WKS.
7. Se sitúa el cursor en la celda de la Hoja HOJA1.WKS donde se desean colocar los datos seleccionados de HOJA2.WKS, y en concreto el primer dato seleccionado, ya que se van a copiar manteniendo la misma disposición con que se encuentran en HOJA2.WKS.

   Una vez seleccionada la celda aludida, pulsar **Retorno**. Los datos seleccionados de HOJA2.WKS aparecerán junto con los de HOJA1.WKS.
8. Para incorporar los datos de otras Hojas, HOJA3.WKS, HOJA4.WKS, etc., se procedería de nuevo de acuerdo con los apartados anteriores, siendo siempre la Hoja de incorporación HOJA1.WKS.
9. Una vez que se ha realizado la fusión de todos los datos, éstos se encuentran en una Hoja que tiene el nombre de HOJA1.WKS, la primera de las Hojas que se abrieron. En esta Hoja-fusión pueden realizarse los gráficos del conjunto de los datos tal como ya se ha descrito. Hay que recordar que el programa WORKS admite como máximo siete Series en el eje Y.

10. En la Hoja resultante de la fusión será frecuente que una o varias columnas se encuentren repetidas, dado que si, por ejemplo, cada una de las distintas Hojas individuales (1, 2, 3...) han registrado iluminación frente al tiempo en intervalos idénticos, la columna de tiempos se encontrará repetida tantas veces como Hojas hayan sido abiertas.

    Para *eliminar estas columnas repetidas* se marca cada una de ellas, de la forma descrita en **3,** y en la opción **Editar** se selecciona **Eliminar línea\columna,** y dentro de ésta, **Columna.**

11. Tal como se ha referido, la Hoja-fusión tiene el nombre de la primera Hoja abierta, en este caso HOJA1.WKS. Obviamente, si se desean *guardar los datos fusionados* y conservar las Hojas individuales, a la hora de almacenar el fichero debe cambiarse el nombre a la Hoja que se tiene en pantalla.

    En la opción **Archivo** se elige **Guardar como...,** preguntando el programa el nombre y directorio del archivo. Si se desea mantener el directorio, como es usual, se escribirá únicamente el nombre del archivo-fusión, por ejemplo, HOJASUMA.WKS, y se pulsará **Retorno.**

Bibliografía

LUENGO MARQUINA, J. C.: *Works-2.* Madrid: Ed. Paraninfo, 1992.

Anexo II

Relaciones generales

Códigos

B/METn-m: Experiencia n.°n de Metabolismo y n.° de Biología

B/FISn-m: Experiencia n.° n de Fisiología y n.° m de Biología

B/BIQn-m: Experiencia n.° n de Bioquímica y n.° m de Biología

F/MECn-m: Experiencia n.° n de Mecánica y n.° m de Física

F/TERn-m: Experiencia n.° n de Termodinámica y n.° m de Física

F/ELn-m: Experiencia n.° n de Electromagnetismo/Electrónica y n.° m de Física

F/OPn-m: Experiencia n.° n de Óptica y n.° m de Física

G/n: Experiencia n.° n de Geología

Q/ANALn-m: Experiencia n.° n de Química Analítica y n.° m de Química

Q/CINn-m: Experiencia n.° n de Cinética Química y n.° m de Química

Q/ABn-m: Experiencia n.° n de Equilibrios Ácido-Base y n.° m de Química

Q/RDXn-m: Experiencia n.° n de Procesos Redox y n.° m de Química

Biología		
Código	**Título**	**.DAT**
B/MET1-1	Demostración de la capacidad reductora de cloroplastos	FOTO40W FOTO100W
B/MET2-2	Demostración de la capacidad reductora de las mitocondrias	INDO INDO1
B/MET3-3	Determinación del oxígeno producido en la fotosíntesis con pirogalol	PIRO5AB PIRO5B
B/MET4-4	Estudio del aumento de la temperatura debido al desprendimiento de energía respiratoria	CHAMPI
B/MET5-5	Estudio sobre la pérdida de calor corporal en animales	ECOTEMP1
B/MET6-6	Fermentación alcohólica de la glucosa	FERMCERO FERMDIA0 FERMDIA1 FERMDIA2 FERMDIA3 FERMINFI
B/FIS1-7	Electrocardiograma	EKGREP5 EKGACT6
B/BIQ1-8	Influencia de la temperatura y de la luz sobre la vitamina C	NARANJA
B/BIQ2-9	Análisis comparativo del contenido en vitamina C de diferentes muestras	NARANT1 FANTA1 TOMATE2 MELON1

Código	Título	.DAT
B/BIQ3-10	Inversión de la sacarosa	INVE0H15 INVE0H35 INVE1H10 INVE1H30 INVE1H55 INVE2H15 INVE2H40 INVE3H10 INVEINFI
B/BIQ4-11	Mutarrotación de la glucosa	MUTAINFI MUTA0H15 MUTA0H30 MUTA0H45 MUTA1H00 MUTA1H15 MUTA1H30 MUTA2H00
B/BIQ5-12	Estudio de la actividad y condiciones de actuación enzimática	PTIA2 PTIA7 PTIA10

Física		
Código	**Título**	**.DAT**
F/MEC1-1	Estudio de un movimiento uniformemente acelerado	MOVIM0 MOVIM
F/MEC2-2	Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado	MOV
F/MEC3-3	Estudio dinámico del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado	CINHL10 CINHC15 CINHC10 CIN9L10 CIN9L15 CIN9C25
F/MEC4-4	Estudio del péndulo simple	PENDULO
F/MEC5-5	Estudio del péndulo y determinación de g	PENDICAT
F/MEC6-6	Conservación del Momento Angular	VMIFIG3
F/TER1-7	Factores de dependencia del calor	TEMP1 TEMP2 TEMP3 TEMP4 TEMP0
F/TER2-8	Calor y temperatura	TEMFIG2
F/TER3-9	Transmisión del calor por conducción	CONDUC1 CONDUC2 CONDUC3
F/TER4-10	Transmisiones del calor. Calor específico	CALAGUA CALACEIT CALAGAG CALAGAC
F/TER5-11	Calorimetría: determinación de calores específicos de líquidos	CACEOL1 CACEOL2
F/TER6-12	Determinación del equivalente en agua de un calorímetro	CALORIEQ
F/TER7-13	Presión de vapor: sublimación del iodo	LUX

Código	Título	.DAT
F/EL1-14	Ley de Ohm: asociación de resistencias	OHM1 OHM2
F/EL2-15	Descarga de un condensador. Medida de la resistencia interna del amplificador	C1 C2 C3
F/EL3-16	Estudio comparativo del comportamiento de una resistencia óhmica y diodos semiconductores	GERMANIO RESIST2
F/OP1-17	Actividad óptica	MALT1000 MALT0750 MALT0500 MALT0250 FRUC1000 FRUC0750 FRUC0500 FRUC0250
F/OP2-18	Polarización de la luz. Ley de Malus	LMALUS
F/OP3-19	Ley de Malus	MALUSCRU MALUSPAR
F/OP4-20	Atenuación de las microondas	MICRO1 MICRO2
F/OP5-21	Absorción de la luz. Ley exponencial-logarítmica	ABSORCIO
F/OP6-22	Variación de la intensidad luminosa con la distancia. Ley del inverso del cuadrado	INVCUADR
F/OP7-23	Medida de la longitud de onda	ES3 ES4
F/OP8-24	Célula solar. Una investigación para alumnos de Física en el Bachillerato	LUTOTA1 LUTOTB LUTOTA2

Geología

Código	Título	.DAT
G/1	Factores que determinan la velocidad de sedimentación de arcillas en un tubo de ensayo	ARCILLA7 ARCILLA
G/2	Estudio del proceso kárstico	PHCO2 DISOLUC BICARB LUXOM
G/3	Prospección eléctrica	POEWO5V1 P2NS12V1 P6NS12V1 P7EW12V1 PQ9W12V1 SO3NS12V SO5NS12V P1EW12VF P7EW12VF P1NS12VF P5NS12VF P8NS12VF

Química

Código	Título	.DAT
Q/ANAL1-1	Valoración de cloruros por turbidimetría	LUX2
Q/ANAL2-2	Valoración por colorimetría	DICRO2 CROMATO1 COLORCU1
Q/CIN1-3	Determinación experimental de la constante de equilibrio	CTEEQUIL
Q/CIN2-4	Simulación de un espectrofotómetro. Determinación de la velocidad de reacción	PT53 PT32 PT23 PT43 ALFPT53 ALFPT32 ALFPT23 ALFPT43
Q/AB1-5	Valoraciones conductimétricas Ácido-Base	VALCOND1 VALCOND2 VALCOND3 VALCOND4
Q/RDX1-6	Comprobación de la Ley de Nernst	NERSCUPB
Q/RDX2-7	Variación de la conductividad de un electrólito fuerte en función de su concentración.	CONCU

Código	Autor/es	Centro/Localidad
B/MET1-1 B/MET2-2 B/MET3-3 B/MET4-4 B/BIQ1-8 B/BIQ2-9	Lorenzo Gondar, E. Sanz Rodríguez, R. María	I. B. María Zambrano Leganés (Madrid)
B/MET5-5	Sánchez Vaquero, J. Llorente Álvarez, G. Vázquez Gallardo, F.	I. B.Francisco Giner de los Ríos Segovia (Segovia)
B/MET6-6 B/BIQ3-10 B/BIQ4-11 G/3 F/OP1-17 F/OP2-18	Barrio Alonso, C. Fernández de Diego, F. J. Peláez de Lucas, María C.	I. B. Número 7 Oviedo (Asturias) I. B. Virgen de la Luz Avilés (Asturias)
B/FIS1-7	Campo Viguri, J. Nadal Martín, María A. Serrano Molina, María P.	I. B. Miguel Servet Madrid (Madrid)
B/BIQ5-12	Parrilla Parrilla, J. L. Lorenzo Gondar, E.	I. B. María Zambrano Leganés (Madrid)
G/1	Sanz Rodríguez, R. María	I. B. María Zambrano Leganés (Madrid)
G/2	Ruiz Sáenz de Miera, A. Blanco Honrado. L. F. Bayón Fernández, A.	I. B. Silverio Lanza Getafe (Madrid)
Q/ANAL1-1	De Bobes Picornell, C. Jordá Real, A. Bonet Oliver, B.	I. B. Berenguer d'Anoia Inca (Baleares
Q/ANAL2-2 Q/CIN2-4 Q/AB1-5 Q/RDX1-6 Q/RDX2-7 F/MEC3-3	Piedrafita Hijós, A. Tomás Herrero, A.	I. B. Goya Zaragoza (Zaragoza) I. B. Valdehierro Madridejos (Toledo)

Continúa

Continuación

Código	Autor/es	Centro/Localidad
Q/CIN1-3	Cordero Guerrero, P. A. Cordero Guerrero, S.	I. B. Obispo Mérida Astorga (León)
F/MEC1-1 **F/MEC4-4** **F/TER4-10**	San Emeterio Peña, J. L. Blanco García, María D. García Sánchez, María T.	I. B. Giner de los Ríos Alcobendas (Madrid)
F/MEC2-2 **F/TER3-9** **F/TER7-13** **F/EL1-14**	Gómez del Campo Bravo, J. C. Pérez Serrano, S. Rodríguez Martín, J.	I. P. F. P. Virgen de la Paloma Madrid (Madrid)
F/MEC5-5	Granados Zamora, M.	I. B. Isabel la Católica Madrid (Madrid)
F/MEC6-6	Hernando Benito, F. A.	I. B. Buero Vallejo Guadalajara (Guadalajara)
F/TER1-7	Gómez-Menor Robles, J. M. Cerezuela Fernández, F.	I. B. Isaac Peral Cartagena (Murcia)
F/TER2-8	Hernando Benito, F. A. Novella Felipe, E.	I. B. Buero Vallejo Guadalajara (Guadalajara)
F/TER5-11 **F/TER6-12** **F/OP8-24**	Francia Verde, R.	I. B. Escultor Daniel Logroño (La Rioja)
F/EL2-15 **F/OP4-20** **F/OP7-23**	Hernández Pérez, J. L.	I. B. La Estrella Madrid (Madrid)
F/EL3-16	Pérez Moreno, J. M. Franco Gómez, A.	I. B. Mariano Baquero Murcia (Murcia)
F/OP3-19	Herrán Martínez, C.	I. B. María Zambrano Leganés (Madrid)
F/OP5-21 **F/OP6-22**	Calderón Fernández, R.	I. B. Francisco Giner de los Ríos Segovia (Segovia)

SECUNDARIA

EL ORDENADOR EN EL LABORATORIO

atenea

Ministerio de Educación y Ciencia

Secretaría de Estado de Educación

Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación

