

Construcción de un fotómetro elemental

José BASSOLS SADURNÍ *
José Luis ALOS CORTÉS **
Soledad HORTA MARTÍ ***
Carmen PERIS ORTEGA ****

Teniendo como guía el poder conseguir que los alumnos «vean» por sí mismos aquello que el encerado y la explicación del profesor no consigue dejar en claro, o que por su naturaleza exige a los alumnos un esfuerzo considerable de imaginación, se planteó la construcción de un aparato que dentro de la sencillez que precisa toda experiencia realizada por los alumnos, permita la observación y posible medición de la absorción de ondas, concretamente de las ondas luminosas.

Se planteó asimismo que el aparato permitiera la obtención de unos datos con los que poder realizar la representación gráfica del fenómeno.

Si una onda alcanza la sección S_1 de un medio material en el que la onda se propaga, se trata de ver cuál es la intensidad de la onda en la sección S_2 , después de haber recorrido una distancia r en el medio y siendo I_0 la intensidad al alcanzar la sección S_1 .

Consideremos para ello (figura 1) una sección S , intermedia entre S_1 y S_2 y otra infinitamente próxima S' separada de S una distancia dx . La pérdida de intensidad debida a la absorción al atravesar la longitud dx es proporcional al espesor y a la intensidad de la onda al alcanzar la sección S , siendo la constante de proporcionalidad un coeficiente llamado coeficiente de absorción que depende del medio. Esta relación de proporcionalidad se podrá expresar mediante la igualdad

$$- dI = I \cdot b \cdot dx$$

* Profesor Agregado de física y química del I. B. «Ramón Berenguer IV», Amposta.

** PNN del I.B. «Ramón Berenguer IV», Amposta.

*** PNN del I.B. «Ramón Berenguer IV», Amposta.

**** Catedrática de dibujo del I. B. «Ramón Berenguer IV», Amposta.

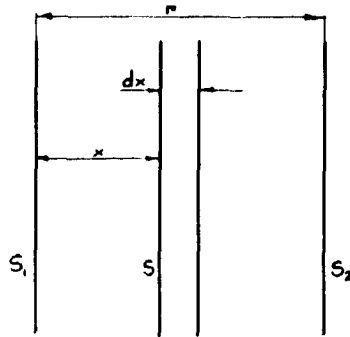


Figura 1

siendo b el coeficiente de absorción. El signo negativo es debido a que la intensidad disminuye al aumentar la distancia.

Separando las variables,

$$\frac{dI}{I} = -b \cdot dx$$

e integrando entre las secciones S_1 y S_2 donde las intensidades son, respectivamente, I_0 e I se tendrá:

$$\frac{dI}{I} = -b \, dx; \ln \frac{I}{I_0} = -br \quad \text{y operando}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-br}; I = I_0 \cdot e^{-br} \quad (1)$$

La ecuación (1) da la variación de la intensidad de la onda a medida que ésta penetra en el medio absorbente. Se observa que a medida que la onda recorre el medio pierde intensidad de modo exponencial.

Para el caso de ondas luminosas, al atravesar un líquido coloreado, el coeficiente de absorción es proporcional a la concentración de la disolución, pudiéndose escribir:

$$b = k \cdot c$$

siendo c la concentración molar de la disolución. Entonces la ecuación (1) se podrá escribir:

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot c \cdot r}$$

que se conoce con el nombre de ley de Beer-Lambert.

Para la posible comprobación de la ecuación anterior se construyó el aparato cuyo croquis se muestra en la figura 2 y que actúa a modo de fotómetro.

El elemento activo es una fotorresistencia Philips que se encuentra en cualquier tienda de artículos de electrónica a un precio muy asequible (150 pesetas unidad). La fotorresistencia es un elemento que tiene la propiedad de variar su resistencia eléctrica en función de la intensidad luminosa que le alcanza, por lo cual la intensidad eléctrica del circuito gobernado por el fotorresistor será proporcional a la intensidad de la luz.

El aparato no permite calcular valores absolutos de las intensidades luminosas, pues para ello haría falta una calibración precisa del aparato frente a un fotómetro, pero para el estudio de la ecuación de Beer-Lambert sólo se necesitan medir variaciones de la intensidad luminosa y ello sí es posible.

El aparato se construyó en madera y para evitar en lo posible las interferencias debidas a la luz ambiental se pintó con pintura negra, cerrándose asimismo con masilla negra las uniones entre los distintos elementos.

El circuito eléctrico es de gran sencillez y su esquema se muestra en la figura 3. La resistencia R es el fotorresistor y la fuente de alimentación es una pila de 1,5 V. Para la medida de las intensidades de corriente se empleó un Tester tipo ICE, que proporciona gran exactitud y permite medir intensidades del orden de pocos microamperios; sin embargo, se puede emplear un amperímetro de ENOSA (polímetro) conectado directamente a la corriente, es decir, sin Shunt, o bien con el Shunt de 3 miliamperios.

Como fuente de alimentación se puede emplear una bombilla corriente de 40 vatios. La luz se introduce en la fotorresistencia mediante uno de los diafragmas del equipo ENOSA de óptica de abertura circular de 5 mm. de diámetro, acoplado a un filtro obscuro del mismo equipo de color verdoso. El objeto de limitar la cantidad de luz que entra en la fotorresistencia es protegerla de una sobreintensidad que pudiera dañarla. El máximo de intensidad está alrededor de los 0,25 A. Por otra parte, las variaciones de intensidad se registran mejor si la luz es débil.

La experiencia se puede realizar en dos partes:

1. Medir la intensidad de corriente que registra el amperímetro en función de la concentración de la disolución coloreada, a espesor constante de líquido. Ello se logra empleando siempre el mismo volumen de disolución en tubos de ensayo iguales.

Después de varios tanteos, buscando una sustancia que fuera fuertemente coloreada, con una elevada dependencia del color en relación a la concentración, y que además su peligrosidad fuera lo más reducida posible, teniendo en cuenta que la manejan los alumnos, se escogió el complejo $(SCNFe)^{++}$

obtenido al saturar con disolución 0,5 molar de cloruro férrico disoluciones de KSCN muy diluidas y de concentración conocida.

Si bien la reacción:

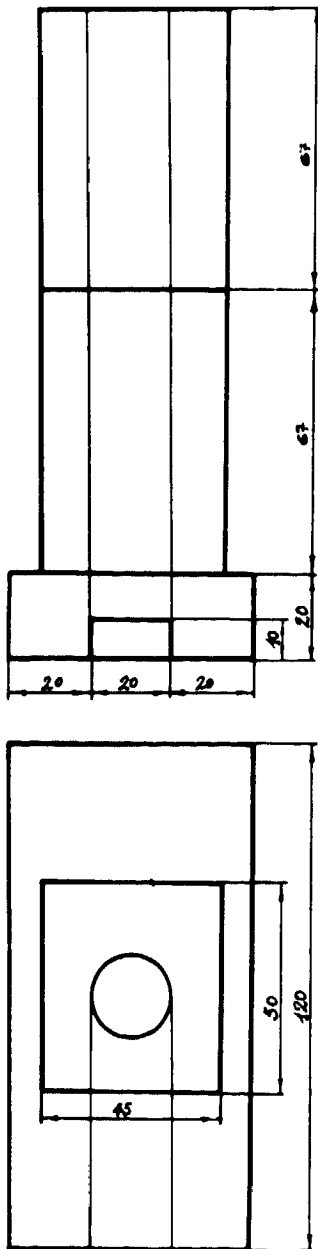
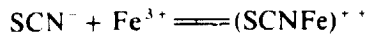
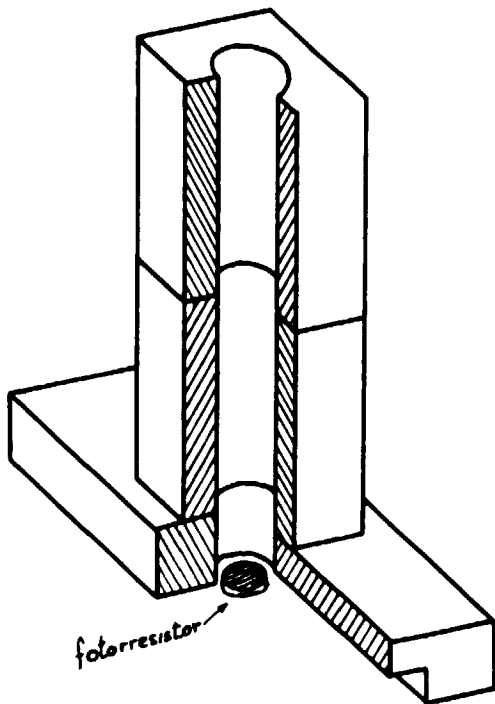


Figura 2.—Croquis del fotómetro.



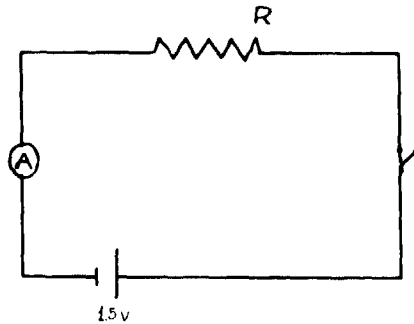


Figura 3

es un proceso en equilibrio, el empleo de una elevada concentración de ión férrico en relación a la del ión tiosulfato desplaza por completo el equilibrio hacia la formación del complejo coloreado, de modo que su concentración se puede tomar como la del ión tiosulfato.

Para proceder a las mediciones se preparan las disoluciones de tiosulfato potásico (no se pueden preparar las disoluciones del complejo porque su coloración varía con el tiempo, hay que prepararlas en el momento de usarlas) de concentración conocida y se vierten en tubos de ensayo iguales, siempre en la misma cantidad. Se añade a cada tubo la misma cantidad de disolución de cloruro férrico, y se observa la intensidad de corriente que circula por el circuito para cada una de las disoluciones. Los resultados se tabulan y se representan gráficamente. Si la representación se efectúa sobre papel milimetrado se obtiene una curva exponencial, como corresponde a la ecuación (1). Por otra parte, es también interesante que los alumnos aprendan el manejo del papel semilogarítmico, en el que la curva exponencial se convierte en una recta de más fácil representación. En efecto, si en la ecuación (1) tomamos logaritmos se tiene:

$$\ln I = \ln I_0 - kcr$$

y al pasar de logaritmos neperianos a logaritmos decimales queda:

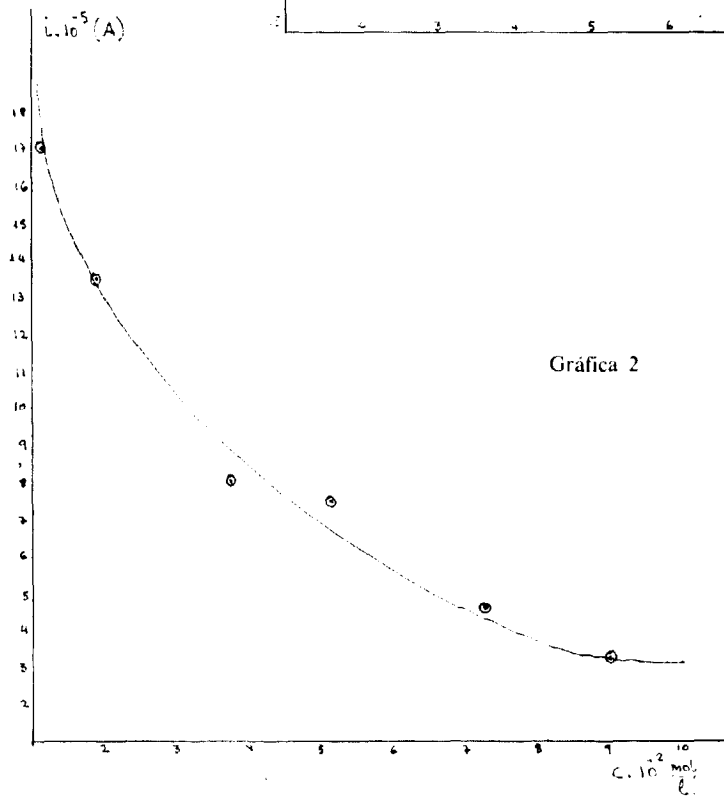
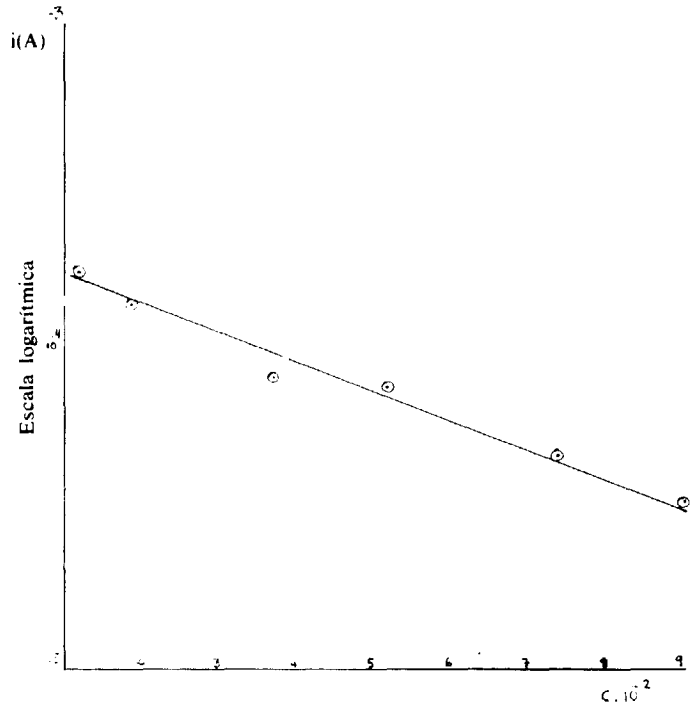
$$\log I = \log I_0 - k'cr \quad (2)$$

donde en la constante k' se ha englobado el factor de conversión $\log e$

La ecuación (2) es la de una recta de cuya pendiente se podría calcular el coeficiente de absorción.

Los resultados que se reseñan en la tabla 1, así como los gráficos 1 y 2 que representan en papel semilogarítmico y milimetrado normal los datos mencionados, fueron obtenidos por un grupo de alumnos de COU del Instituto en una sesión de prácticas de dos horas de duración.

Gráfica 1

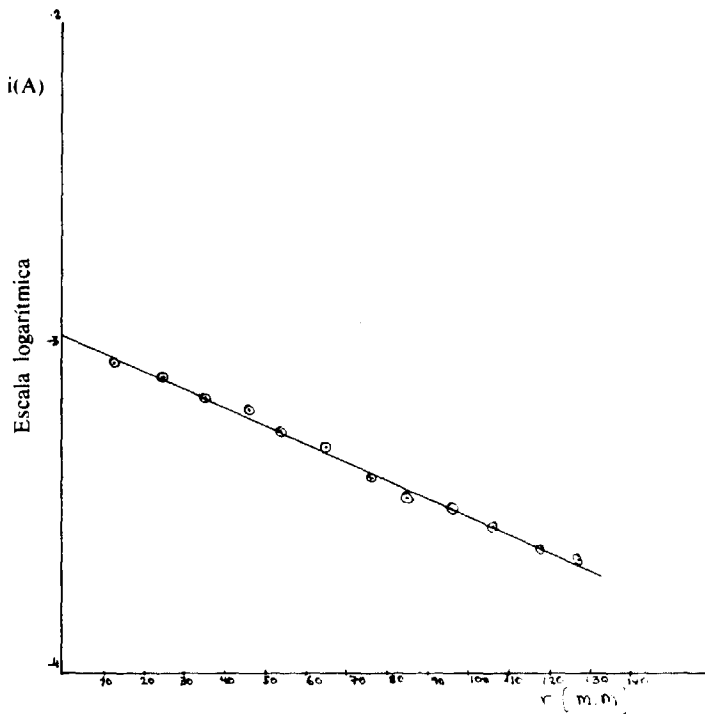


Gráfica 2

2. La segunda parte de la experiencia consiste en la medición de la intensidad de corriente que circula por el circuito en función del espesor del líquido coloreado empleando siempre la misma disolución.

Dado que la medición mínimamente precisa del nivel de líquido en un tubo de ensayo puede revestir alguna dificultad, se puede realizar la medida de la intensidad de corriente en función del volumen de disolución contenida en el tubo de ensayo. Para ello se prepara una disolución del complejo coloreado de concentración cualquiera y en varios tubos de ensayo iguales se vierten volúmenes conocidos de la misma, procediéndose a la medición de la intensidad de corriente que circula en cada caso. Los resultados se tabulan y representan como en el caso anterior.

Los resultados que se exponen en la tabla 2, así como las gráficas 3 y 4, han sido también obtenidos por un grupo de alumnos de COU del Instituto en una sesión de prácticas de Física de una hora de duración.



Gráfica 3

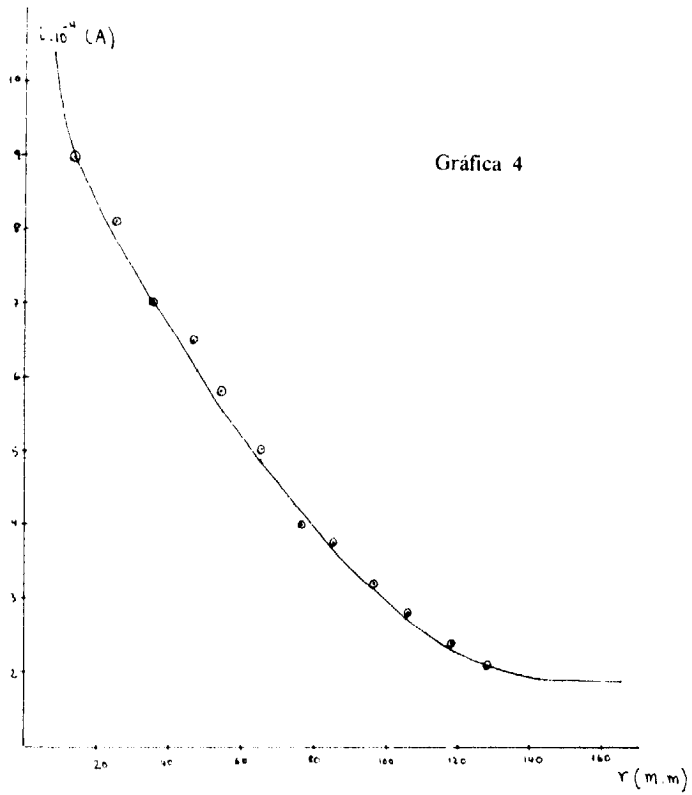


TABLA I
Variación de la intensidad con la concentración

$c \cdot 10^{-2}$ (mol/litro)	i (Amperios)
1,10	$1,70 \cdot 10^{-4}$
1,86	$1,35 \cdot 10^{-4}$
3,70	$8,00 \cdot 10^{-5}$
5,20	$7,50 \cdot 10^{-5}$
7,40	$4,60 \cdot 10^{-5}$
9,00	$3,30 \cdot 10^{-5}$

TABLA 2

Variación de la intensidad con el espesor

$i \cdot 10^{-4}$ (Amperios)	espesor, r (mm)
9,00	13
8,10	25
7,00	35
6,50	46
5,80	54
5,00	65
4,00	76
3,75	85
3,20	96
2,80	106
2,40	118
2,20	128



