

COLORIMETRIA BASADA EN LA CELULA FOTOELECTRICA

POR EL

Dr. S. Di Rienzo

Nos proponemos analizar un fenómeno físico cuyo aprovechamiento permite efectuar un marcado progreso en la ciencia médica y en sus afines. Este fenómeno consiste en el efecto fotoeléctrico del cual tan grandes beneficios prácticos se han obtenido en todas las ciencias. Al finalizar describiremos el aparato que hemos construído para evidenciar el fenómeno y aprovecharlo, el que es un modelo semejante al construído por otros investigadores.

Nuestro estudio lo ordenaremos en:

- 1°. Estudio de las imperfecciones de nuestro ojo para el registro comparativo de los colores.
- 2°. Estudio del efecto fotoeléctrico.
- 3°. Descripción del aparato construído con el objeto de evidenciar dicho fenómeno.

IMPERFECCION DE NUESTRO OJO. —

El ojo es un admirable órgano para nuestras necesidades diarias pero no lo es cuando debemos confiarle el importante papel de juez en la comparación de dos colores cuyas tonalidades están próximas.

El ojo humano recoge una sola gama de vibraciones y es aquella comprendida entre las que determinan una longitud de onda de 4000 y 8000 A°. Dentro de esta gama no recoge el ojo

las distintas longitudes de onda — que nos dan la sensación subjetiva de los colores — con la misma sensibilidad. El máximo de la sensibilidad del ojo está entre 5000 y 6000 Å estando el punto culminante en 5550 Å. Por esto ocurre que aunque dos colores tengan la misma intensidad luminosa siempre parece más intenso aquel que tenga una longitud de onda más próxima a 5550 Å. (Fig. 1)

El ojo recoge bien la intensidad luminosa hasta cierto límite y desde allí aunque la intensidad aumente en forma franca el ojo sólo lo aprecia en forma mediocre. Pasado cierto límite no hay, pues, relación entre la luminosidad y la sensación óptica

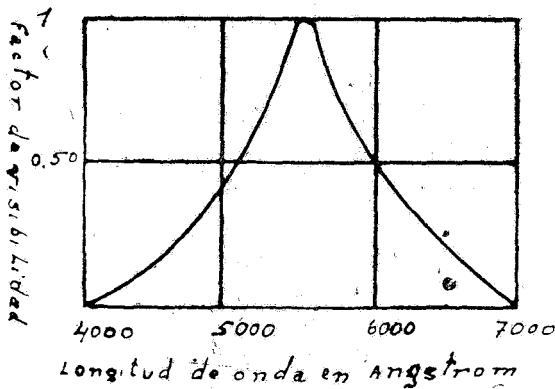


Figura 1.

tica de su intensidad. Así como estas grandes intensidades hacen perder al ojo la sensibilidad las pequeñas intensidades requieren una gran espera en cámara oscura para valorarlas.

Aparte de esta sensibilidad biológica especial de nuestro ojo contribuyen a su imperfección otros factores. Uno de ellos es la persistencia de la imagen que hace imposible pasar de una a otra rápidamente sin superponerlas. Acontece un fenómeno semejante al que ocurre en las pantallas fosforescentes. Este defecto — que no constituye un inconveniente en la vida diaria — se aprovecha para la visión cinematográfica. La visión de un color es también influenciada por el color visto anteriormente o simultáneamente.

Nos hemos referido hasta aquí a los defectos naturales que son propios de un ojo normal. Estos defectos se multiplican cuando el ojo apto para la visión corriente no lo es para el registro de los colores, como ocurre en forma franca en algunas enfermedades o en forma leve en afecciones tan disimuladas que son desconocidas por el mismo afectado.

Los admirables procedimientos colorimétricos han encontrado en estos defectos del ojo humano uno de los grandes inconvenientes para su progreso. Si a esto agregamos de que el ojo no deja registro gráfico de la tonalidad, comprenderemos cuán necesario era un método que, sin poseer los defectos del ojo, nos registrara las tonalidades en forma mecánica.

EL EFECTO FOTOELECTRICO. —

Nuevamente la física ha venido en auxilio del médico. El estudio del efecto fotoeléctrico nos permitirá comprender cómo un fenómeno electrónico puede indirectamente registrar las tonalidades, superando al ojo humano por su sensibilidad y por qué registra las variedades en forma objetiva.

La luz, como otras radiaciones, puede ocasionar tres tipos principales de fenómenos eléctricos:

- a) Puede disminuir la resistencia óhmica de algunos cuerpos (**efecto fotoconductor**).
- b) Puede provocar una reacción química que motiva a su vez el nacimiento de una fuerza electromotriz (**efecto foto-voltáico**).
- c) Puede causar una liberación electrónica (**efecto fotoemisor o fotoeléctrico**).

El primer fenómeno — **efecto fotoconductor** — fué descubierto por Smith en 1873 y es fácil de evidenciar en el selenio. Este cuerpo cuando cierra un circuito eléctrico en la obscuridad ofrece una gran resistencia al paso de la corriente; pero cuando se le ilumina con un haz de luz se transforma en un buen conductor. Muchos luxómetros para uso fotográfico están basados en este fenómeno.

El segundo fenómeno — **efecto fotovoltaico** — llamado también **efecto Becquerel**, se evidencia por el nacimiento de una fuerza electromotriz cuando la luz incide los electrodos de determinadas pilas. Una de estas pilas se compone de un electrodo uniformemente revestido de óxido cuproso que hace de cátodo y de otro electrodo compuesto de plomo que hace de ánodo. Ambos elementos están sumergidos en un electrolito compuesto de nitrato de plomo.

El tercer fenómeno fué descubierto por **Hertz** en 1887 y estudiado por **Hallwachs** en 1888 y años subsiguientes. Por eso se llama también **efecto Hertz - Hallwachs**.

El fenómeno consiste en el desprendimiento de electrones de la superficie de algunas sustancias cuando son incididas por la luz o aun por otras radiaciones. Las sustancias que poseen esta propiedad son numerosas y cada una de ellas tiene sensibilidad a determinada longitud de onda. Así el hidruro de potasio tiene el máximo de sensibilidad en la parte media del espectro visible; el rubidio es sólo sensible a los rayos infrarrojos y el cadmio a los rayos ultravioleta.

El desprendimiento del electrón de la superficie de los cuerpos incididos por la radiación ha sido posible explicarlo admitiendo que el quantum de energía incidente sea absorbido por el electrón. Por esto el electrón adquirirá una energía cinética igual al quantum incidente disminuído por el trabajo de liberarlo, lo que expresado en fórmula matemática lo sería así:

$$\frac{1}{2} M V^2 = h\nu - P \quad (\text{fórmula de Einstein})$$

Donde la energía cinética del electrón, sería igual al producto de la constante de Planck (h) por la frecuencia (ν) (quantum incidente) disminuído por el trabajo de liberación (P).

Esto ya había sido hallado empíricamente por **Lenard** y otros investigadores quienes determinaron las relaciones que existen entre la intensidad y la frecuencia incidente con la liberación electrónica. Estas leyes son las siguientes:

- 1°. El número de electrones liberados en la unidad de tiempo sobre una superficie fotoeléctrica es directamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente.

- 2°. La energía cinética de los electrones liberados de una superficie fotoeléctrica no es proporcional a la intensidad sino a la **frecuencia** de la radiación incidente.

En consecuencia podemos decir que el número de electrones es función de la intensidad de la radiación incidente y que la velocidad de los electrones es función de la frecuencia de dicha radiación.

LA CELULA FOTOELECTRICA. —

El elemento que nos revela el efecto fotoeléctrico se llama **célula fotoeléctrica** o también "ojo eléctrico", pues reemplaza al ojo humano superándolo a veces.

La célula fotoeléctrica consta esencialmente de un electrodo revestido de substancia foto-sensible (cesio, potasio, rubidio, cadmio, etc.) y de otro electrodo colocado en su vecindad que puede tener la forma de una red o de un filamento. Ambos elementos están contenidos en un tubo que es en general de vidrio común, y en el que se ha hecho el vacío o contiene determinados gases a baja presión. Cuando las células son para rayos ultravioleta el tubo es de cuarzo porque sino el vidrio común los detendría. El gas utilizado es alguno de los que pertenece al grupo de los llamados gases nobles, pues son químicamente inertes y no alteran por lo tanto la célula fotoeléctrica. De estos el más empleado es el **argón** porque es barato y tiene un potencial de excitación bajo.

— Cuando se quiere evidenciar el desprendimiento de electrones de la substancia foto-sensible se conecta el electrodo que posee esta substancia al polo negativo de una batería de un centenar de volts (cátodo) y el otro electrodo al polo positivo de la misma fuente de energía (ánodo). En esta forma se crea entre ambos un campo electrostático cuyas líneas de fuerza seguirán los electrones liberados. Si en el circuito intercalamos un microamperímetro este nos demostrará que cuando la célula fotoeléctrica es excitada por la luz fluye una corriente a través del circuito que es proporcional, dentro de ciertos valores, a la intensidad de la luz incidente. (Fig. 2)

El fenómeno que ocurre en una célula fotoeléctrica es el inverso del que ocurre en un tubo Coolidge.

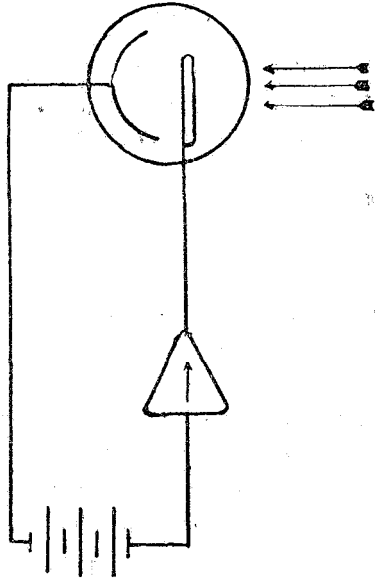


Fig. 2. — Circuito de una célula fotoeléctrica. Las flechas indican la dirección de la luz.

En éste los electrones, acelerados por el campo eléctrico, chocan contra el ánodo y su energía cinética se transforma en energía ondulante. Así se producen los rayos X. En la célula fotoeléctrica es el quantum de energía ondulante que se transforma al liberar el electrón en energía cinética. La ecuación de Einstein caracteriza, pues, un fenómeno reversible. La profundización de este párrafo nos llevaría al análisis de fenómenos interesantísimos de los cuales se han ocupado los físicos más esclarecidos. Nuestra tarea de hoy tiene otro objeto.

La energía liberada por el haz de la radiación incidente es sólo del orden de algunos microamperes. Esta energía puede ser unas cien veces mayor cuando la célula contiene determinados gases.

Amplificación de la corriente fotoeléctrica. —

La energía que libera la radiación en forma electrónica o sea la corriente fotoeléctrica se revela con dificultad como acabamos de manifestarlo. Para mover un relés o accionar los aparatos de medida comunes requiere ser amplificada. Este ha sido el motivo por el cual a pesar de haber sido descubierto el fenómeno mucho antes de que fuera inventada la lámpara triodo, sólo desde cuando ésta existe han podido multiplicarse sus aplicaciones. Esto se debe a que la lámpara triodo permite amplificar cómodamente la corriente fotoeléctrica.

La lámpara triodo o sea la común lámpara de radiotelefonía posee, entre otras propiedades notables la de revelar amplificadas las corrientes que actúan sobre la grilla. Este elemento gobernando el paso electrónico entre el cátodo y el ánodo causa en el circuito que se cierra en estos electrodos (circuito de placa)

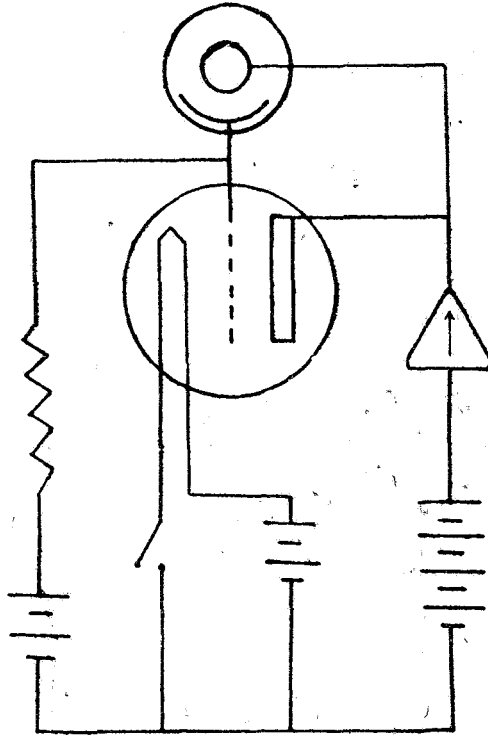


Fig. 3. — Esquema de cómo se conecta una célula fotoeléctrica a un triodo para amplificar la corriente de la célula.

variaciones de intensidad según un factor que se llama **factor de amplificación**, que es característico de la construcción de cada lámpara y de la tensión aplicada.

Por esto el cátodo de la célula fotoeléctrica conectado al electrodo-grilla de la lámpara triodo revelará amplificadas todas las variaciones que ocurran en dicha célula y esto con un factor característico que podemos variar dentro de ciertos límites. (Fig. 3)

Aplicaciones de la célula fotoeléctrica. —

El campo de utilización de la célula fotoeléctrica es muy amplio. Su función más frecuente consiste en el registro de las imágenes para televisar y en la reproducción sonora del fonofilm. Puede prestar también grandes beneficios formando parte esen-

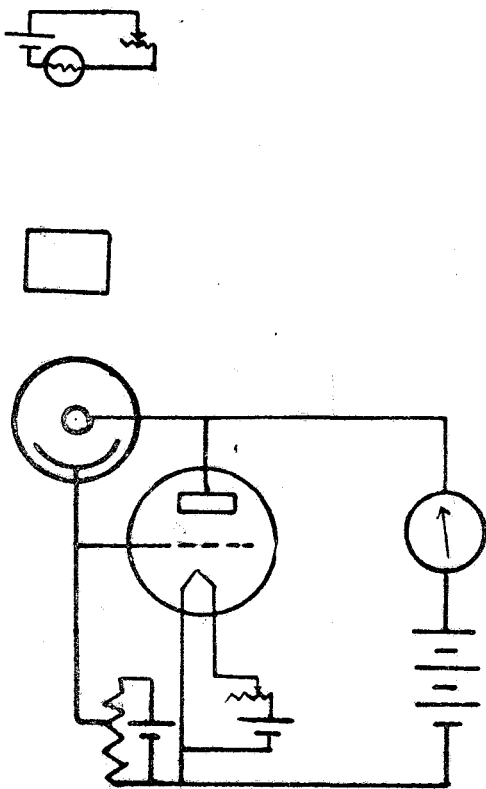


Fig. 4. — Esquema del fotocolorímetro.

cial del circuito de un relays de alarma o con otro objeto: contador automático, etc.

En Medicina tiene una aplicación importante en la determinación colorimétrica para lo cual ha demostrado ser superior al ojo humano, la que ha entrado ya en el terreno aplicado; la casa

Rhône Poulenc, la casa **Leitz** y la **Eimer y Amend** poseen diversos aparatos destinados a ese objeto.

Para este objeto se procede intercalando entre la lámpara excitadora y la célula fotoeléctrica el recipiente de paredes transparente que contiene la solución. Esta, según su concentración, determinará una absorción mayor o menor del haz de luz que parte de la lámpara excitadora y esta absorción será proporcional a la concentración.

Determinando entre abscisas y ordenadas la intensidad registrada en el miliamperímetro y los distintos valores de la concentración de un líquido conocido, podremos trazar una curva en cuyo trayecto encontraremos el valor de la concentración de una solución desconocida.

Es necesario calibrar el aparato para los dosajes corrientes y construirlo en forma de permanecer en condiciones siempre iguales. Nosotros hemos construído un aparato en el cual la energía eléctrica se toma directamente del sector de canalización urbana, teniendo algunos inconvenientes cuando la sección local está sometida a grandes oscilaciones de corrientes. Tiene en cambio, la ventaja de que reduce el tamaño del aparato y de su peso ganando a la vez en presentación.

Hemos construído además un fotocolorímetro a pilas y baterías que es con el cual efectuamos las determinaciones. (Fig. 4)

UTILIZACION EN EL ANALISIS QUIMICO. —

Para efectuar una investigación colorimétrica con el fotocolorímetro es necesario primero haberlo calibrado. Esta tarea se debe cumplir cada vez que haya variado algún factor del fotocolorímetro o de la substancia o el color a investigar. Por lo tanto no hay que pedir al colorímetro:

- a) Ni que posea una calibración definitiva.
- b) Ni que valore la intensidad de colores diferentes.
- c) Ni que de medidas de concentración, absolutas.

El nos puede prestar grandes beneficios como juez en la determinación de la concentración de las soluciones efectuando com-

paraciones entre ellas y dándonos valores relativos si precedentemente hemos tomado alguno por unidad.

Esto es lo que se ha conseguido por ahora. Mucho más se puede esperar de los perfeccionamientos a que puede estar sujeto el método.

Agradezco al Dr. V. Arreguine, Profesor de Química Analítica especial el haberme facilitado una célula de la casa Rhône-Poulenc, la que fué encargada con dicho objeto, así como otros elementos que han sido utilizados en la realización del presente trabajo.
