

Tesis de Posgrado

Estudio de un método para la calibración de emulsiones fotográficas

Genijovich de Kowalewski, Dora

1948

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Química de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Genijovich de Kowalewski, Dora. (1948). Estudio de un método para la calibración de emulsiones fotográficas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0563_GenijovichdeKowalewski.pdf

Cita tipo Chicago:

Genijovich de Kowalewski, Dora. "Estudio de un método para la calibración de emulsiones fotográficas". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1948. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0563_GenijovichdeKowalewski.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

" ESTUDIO DE UN METODO PARA LA CALIBRACION DE EMULSIONES
FOTOGRAFICAS "

Folio: 503

Trabajo de Tesis presentado para optar
al título de Doctora en Químicas por:

DOÑA G. DE KOWALEWSKI

1948

A. VALDY Y ADRIANA

Padrino de Tesis:

Prof. Dr. TEOPHILUS RENALDI

Agradesco al Director del Departamento de Física Profesor Dr. Teófilo Isnardi por el continuo interés y apoyo en todas las etapas del presente trabajo, así como por las facilidades concedidas en el Departamento de Física, en cuyos laboratorios se efectuaron las experiencias.

Al Dr. Ricardo Platzeck por sus valiosas sugerencias y críticas durante la preparación del manuscrito.

A los miembros del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por su cooperación y consejos ocasionales.

Al Señor conservador de Aparatos Don Alejandro Grosso y personal de laboratorio por la ayuda prestada.

FOFRA
ESTUDIO DE UN METODO PARA LA CALIBRACION DE EMULSIONES
FOTOGRAFICAS

La calidad de una fotografía, sea ésta una simple fotografía de aficionado, o una de espectros, con condiciones de exposición bien establecidas, está determinada principalmente por la curva característica de la emulsión utilizada (9). Dicha curva es la que indica la relación entre la intensidad de la radiación que incidió sobre la emulsión y el ennegrecimiento producido por dicha radiación. La determinación de dicha curva es una etapa imprescindible en ciertas técnicas de espectrografía cuantitativa en las que la placa fotográfica es la etapa intermedia entre la producción del fenómeno y la respuesta observada.

Los instrumentos espectroscópicos fotoeléctricos (espectrofotómetros fotoeléctricos) eliminan esta etapa, ya que la respuesta a la radiación es inmediata (corriente fotoeléctrica: proporcional a la intensidad de la radiación incidente sobre la fotocélula). En cambio, la utilización de los instrumentos espectroscópicos fotográficos hace imprescindible las siguientes etapas: 1) producción de ennegrecimientos con exposiciones conocidas; 2) determinación de la magnitud de los mismos mediante un dispositivo densitométrico; 3) establecimiento de la función que relaciona la densidad de ennegrecimiento así obtenida, con la exposición.

En el llamado "método densitométrico" ¹⁾, p. ej., lo que experimentalmente se determina (en cualquier tipo de placa) es la densidad de la línea característica del elemento cuya concentración se desea averiguar.

FOENBA

Se debe conocer la relación que liga la densidad con la exposición relativa para la placa utilizada, y aplicar el valor de la intensidad así deducido a la curva analítica previamente efectuada, que relaciona la intensidad relativa con la concentración del elemento en cuestión.

El presente trabajo tiene por objeto proponer y estudiar un método para la determinación de la curva característica de las emulsiones fotográficas. El método, cuya realización no se describe en ninguna cita bibliográfica consultada, está esbozado por Sawyer y Erll) cuando, al enumerar los distintos métodos para obtener exposiciones variables, dice: (pg. 258, obra cit.)

" Una posibilidad que parece no haber sido utilizada, consiste en variar la temperatura de una lámpara de incandescencia de la que se conoce la relación entre la intensidad luminosa y la temperatura".

El presente trabajo, basado en el anterior esbozo de Sawyer, utiliza una lámpara de incandescencia calibrada como medio de exponer la emulsión en forma conocida, estando esta calibración efectuada en unidades arbitrarias de intensidad, por ser este tipo de calibración el utilizado en los métodos espectrográficos cuantitativos.

Se divide el presente trabajo en los siguientes capítulos:

- I) Emulsión, curva característica: distintos métodos de determinación.
- II) Descripción y realización del método propuesto.
- III) Resultados experimentales.

1): EMULSION FOTOGRAFICA

La emulsión fotográfica está constituida por agregados cristalinos de distintas sales de plata fotosensibles suspendidas en gelatina que es la que mantiene dichos cristales en posición y que es transparente a las ondas electromagnéticas de un amplio intervalo de longitudes de onda. A su vez dicha emulsión está extendida en forma de capa muy delgada sobre un soporte: vidrio, película de ester de celulosa, o papel, constituyendo lo que se conoce como: placa, film, o papel sensible.

La exposición a que se somete la emulsión fotosensible está dada por el producto de: I (intensidad de la energía radiante que incide sobre la emulsión) y t (tiempo en que dicha radiación actúa). Se expresa: $E = I \times t$.

Se sabe que la emulsión fotográfica no expuesta a la luz después de revelada, sólo presente el "fondo químico" constituido por plata metálica, originada durante la manufactura de la emulsión; que expuesta a grandes cantidades de luz no necesita del revelador para presentar precipitado de plata dentro de la gelatina; que, con pequeñas cantidades de luz sólo presenta el depósito después de estar sometida a la acción del revelador (agente reductor del bromuro de plata activo). Es decir, que la luz actúa sobre un cristal de bromuro de plata (BrAg), activándolo, originando la así llamada "imagen latente" sólo evidenciable como un único grano de plata, por un revelador que no produzca, además de la reducción, el agrupamiento de distintos granos en un único conglomerado.

Al ser expuesto el agregado cristalino de BrAg adecuadamen-

te, se produce un efecto fotoeléctrico dentro de él, como consecuencia del cual el electrón separado del ion Br^- se une al ion Ag^+ , formando un átomo de plata.

Con exposición débil, un único cuanto, al ser absorbido por el agregado cristalino de Br Ag , libera por cada molécula de BrAg , un átomo único de plata de la red cristalina. Cuanto mayor es la exposición, tanto peor es el rendimiento cuántico relativo, pues tienen lugar algunas recombinaciones entre electrones y iones (8).

El ennegrecimiento de la emulsión fotográfica no es, por lo tanto proporcional a la exposición luminosa que la impresiona. Cada tipo de emulsión presenta una relación que le es característica entre: la exposición ($E = Ixt$) y el ennegrecimiento. Esta relación es la que se conoce con el nombre de "curva característica".

Se toma como medida del ennegrecimiento de la emulsión fotográfica revelada, el valor g : densidad de ennegrecimiento, definido como $g = \log_{10} I_0/I$, donde I_0 es la intensidad de la radiación incidente sobre el área de emulsión a medir, e I la de la emergente correspondiente.

El valor de g correspondiente a un valor dado de la exposición E no es único, ya que depende de cómo se expone la emulsión: 1) en forma continua o intermitente; 2) con fuentes intensas y poco tiempo de exposición, o con fuentes débiles y mucho tiempo de exposición. La propiedad 1) se conoce con el nombre de "efecto de intermitencia", la 2) con el de "falla a la ley de reciprocidad" (9).

FOOTNOTES

Efecto de intermitencia: La densidad de ennegrecimiento producida por una exposición en un número discreto de intervalos, es en general diferente de la producida por una exposición continua de la misma energía total. Este "efecto de intermitencia" desaparece en algunas emulsiones si la frecuencia de los destellos posee un valor mayor que un cierto valor denominado: frecuencia crítica.

Por lo tanto, para que un método de calibración de emulsiones no tenga error debido a "efecto de intermitencia", no debe utilizarse iluminación intermitente.

Ley de reciprocidad, su falla: Durante mucho tiempo se admitió que para las emulsiones fotográficas regía la ley de Bunsen y Roscoe, según la cual el resultado de toda reacción fotoquímica depende sólo de la cantidad total de energía $I \times t$ que ha incidido sobre los materiales durante el tiempo t , independientemente del valor de la intensidad incidente y del valor de dicho tiempo. Se comprobó posteriormente que esta "ley de reciprocidad" no es aplicable a la emulsión fotosensible. Las diferencias observadas con respecto a esta ley se denominan en general: "fallas a la ley de reciprocidad".

En las emulsiones fotográficas se observa que el resultado de la reacción fotoquímica, o sea el ennegrecimiento, depende no sólo del valor del producto (Ixt), sino de los valores de I y de t . (las diferencias en las densidades obtenidas para un mismo valor de (Ixt) son sólo observables cuando los valores de I o de t difieren en 1 o más órdenes de magnitud). Por lo tanto, se obtienen distintas curvas características de una misma emulsión, según la forma en que se ha efectuado la exposición.

La utilización de la curva característica de la emulsión

en el Análisis Espectrográfico Cuantitativo. En el caso, mediante ella se pasa de la densidad de una línea a las intensidades, sólo es correcta si el modo en que se expone las " marcas de calibración" (con las que se construye la curva de calibración) es igual al utilizado para obtener el espectro problema (2).

Como en cada rama de la espectrografía los tiempos de exposición son, en general, de un mismo orden de magnitud, las " marcas de calibración" deben obtenerse con un tiempo de exposición constante y del mismo orden de magnitud que la exposición a estudiar; e I variable,

CURVA CARACTERÍSTICA DE LA EMULSION FOTOGRAFICA

La curva característica de una emulsión fotográfica es la representación de la función que relaciona la exposición dada a una emulsión fotosensible con la densidad obtenida después del revelado. Esta curva se obtiene sometiendo al material fotosensible a una serie de exposiciones de valor relativo conocido y determinando luego la densidad de cada uno de los depósitos de plata producidos después del proceso de revelado.

A fin de no incluir la densidad correspondiente al fondo químico de la emulsión no expuesta (como sucedería de utilizar los valores I_0 e I indicados anteriormente al definir g) se determina $d = \log_{10} I_0/I$ a partir de los valores de I_0 e I correspondientes ambos a intensidades emergentes de una zona no expuesta y expuesta, respectivamente.

Los valores de g se representan en función del \log_{10} de las

exposiciones correspondientes obteniéndose la así también llamada "curva d- $\log_{10} E$ " cuyo aspecto general es el de la fig. 1. Se observa que comienza para el valor 0 de densidad, curvándose hacia arriba; llega a una región lineal después de la cual disminuye de pendiente, llega a un valor máximo de densidad y luego disminuye para valores muy grandes de la exposición. Estas cinco regiones se conocen comunmente como: región de exposición nula (A); de sub-exposición (AB); de exposición correcta (B C) en la que la densidad es proporcional al $\log_{10} E$; de sobre exposición (CD); y región de solarización o inversión (DE), nombre este último debido a que en este rango la densidad del depósito de plata disminuye con el aumento de la exposición.

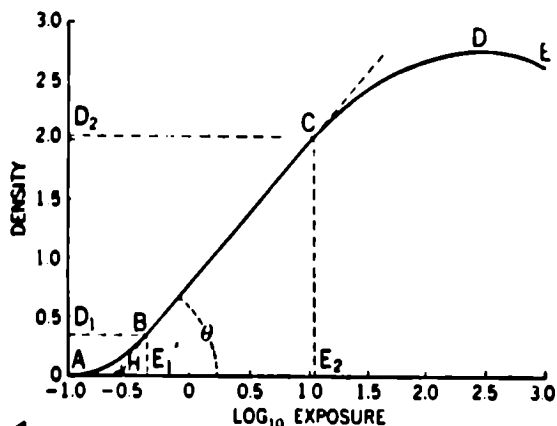


Fig. 99. The Characteristic Curve of a Photographic Emulsion.

La forma de la curva característica de cada emulsión depende, no sólo de la constitución de la emulsión fotosensible, sino también de la longitud de onda con que se expone y la técnica de revelado empleada (composición química del revelador, tiempo y temperatura del revelado).

Se definen como:

- 1) Latitud de una emulsión el rango de exposición es para las que existe linealidad entre el $\log_{10} E$ y d. La medida de la latitud está dada por: E_2/E_1 .

2) Contraste máximo C_{max} , de un material fotográfico: la diferencia en densidades entre los límites extremos de la parte lineal de la curva. De la fig.: $C_{max} = \gamma \log_{10} E_2/E_1$, donde γ (también llamado "factor de contraste") es la pendiente de la parte lineal de la curva $d - \log_{10} E = \text{tg } \theta$

3) Inercia de un dado material fotográfico es el valor de E (exposición) correspondiente al punto K de intersección entre la parte lineal de la curva característica con el eje de las abscisas. Por lo tanto, la inercia i , representa la mínima exposición capaz de producir depósito de plata, suponiendo que, desde C hasta densidad cero, la curva es lineal.

MARCAS DE CALIBRACION (11)

Se define como "marca de densidad" o "marca de calibración" una cierta marca o mancha que se produce sobre la emulsión fotográfica mediante una exposición conocida.

Una manera de variar la exposición es variar los tiempos, manteniendo constante la intensidad luminosa. Este método no se emplea, ⁽¹⁾ pues, la utilización de tiempos de exposición muy diferentes a los empleados en la exposición del espectro problema origina errores en la determinación de densidades debido a la "falta de la ley de reciprocidad", fenómeno que acontece con todas las emulsiones. Para poder utilizar este método, se requiere previamente determinar experimentalmente la magnitud de la desviación a la ley de reciprocidad, con lo que dicho método resulta doblemente trabajoso.

En el procedimiento del sector rotatorio, un disco opaco que gira a una cierta velocidad, y al que se le ha quitado un sec-

tor de ángulo ajustable está interpuesto entre la fuente luminosa y la ranura del espectrógrafo. Este método también actúa por variación de los tiempos de exposición, con lo que posee el mismo error introducido por el anteriormente citado, además del originado por el "efecto de intermitencia". Sólo debe utilizarse el método del sector rotatorio a una frecuencia de rotación que el efecto de intermitencia sea despreciable y aplicarlo únicamente a emulsiones en que no introduzca error considerable. En el caso que se desee emplear el método del sector rotatorio en emulsiones que no poseen esa frecuencia crítica, se debe medir el valor del error por intermitencia a la frecuencia de destellos empleada.

El método más inmediato de variación de intensidades es alterar la distancia entre una fuente luminosa intensa y la ranura del espectrógrafo, haciendo empleo de la ley de las inversas de los cuadrados de las diferentes distancias. Esto raramente puede ser aplicado en la práctica por el gran espacio requerido y por las dificultades existentes para mantener constante una fuente luminosa de gran intensidad.

Otros medios para reducir la intensidad consisten en insertar sucesivamente, en una sección transversal uniforme del haz luminoso; 1) diferentes aberturas de tamaño conocido (ello puede emplearse si la lente está libre de imperfecciones zonales); 2) mallas metálicas; 3) filtros neutros (constituídos por metales depositados por evaporación sobre vidrio o cuarzo). Tanto las mallas como los filtros deben estar calibrados en valores de transmisión, pudiendo emplearse en forma aditiva.

En todos los métodos anteriormente citados, las sucesivas "marcas de calibración" se obtienen una por una en cantidad neces-

ria para trazar la curva de calibración, con lo que se pueden introducir errores en la determinación del tiempo de exposición y por falta de constancia de la fuente luminosa.

A fin de eliminar dichos errores es que se utilizan métodos que registran todas las marcas de calibración simultáneamente. Como se verá, todos estos métodos adolecen, en cambio, del error introducido en la lectura de densidades, ya que el máximo alto de cada marca de calibración es de 2 mm., con lo que se introduce el error por grano de la emulsión.

Un método para registrar las marcas simultáneamente, consiste en iluminar la ranura con luz que varía en intensidad de un extremo a otro de la misma en forma escalonada. Se pueden obtener estas condiciones mediante dispositivos diferentes, como ser: una cuña neutra escalonada (de antimonio, p.ej.) sector rotatorio escalonado y ranura escalonada (también llamada Ranura de Hansen).

Se engloba bajo la denominación de cuña absorbente neutra, cualquier medio que absorba un determinado porcentaje de luz, independientemente de la longitud de onda, y esté constituido por varias zonas, cada una de las cuales posea una cierta y predeterminada transmisión.

El sector rotatorio escalonado, y la ranura escalonada están indicados en las figs. 2 y 3.



////

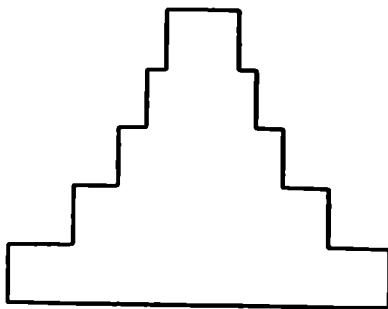


Fig. 90. Stepped Slit Aperture, with Openings in Logarithm Ratio of Width.

La ranura escalonada se utiliza conjuntamente con un sistema óptico adecuado (que incluye una lente cilíndrica) que transforma una imagen de iluminación constante y ancho variable en una de ancho constante e iluminación variable.

Empleando cualquiera de los dispositivos de registro simultáneo con luz blanca y, estando previamente la ranura del espectrógrafo uniformemente iluminada, lo que se obtiene en la placa es una serie de espectros, continuos y uxtapuestos, de la fuente luminosa, cada uno de los cuales está originado por una intensidad de luz proporcional a: la transmisión de cada escalón de la cuña absorbente; al ángulo del sector rotatorio; o al ancho de cada escalón de la ranura escalonada, valores todos que hay que determinar previamente con gran precisión.

(12), (14)

MICROFOTOMETRIA DE LAS "MARCAS DE CALIBRACION"

Se denomina densitómetro a un tipo de fotómetro destinado a medir la densidad de los ennegrecimientos efectuados sobre la emulsión fotográfica. Como la medida de la intensidad luminosa se efectúa sobre un área pequeña (ranura), el instrumento se denomina, generalmente: "microfotómetro" o "microdensímetro".

En principio, estos instrumentos están constituidos por:

1) una fuente luminosa incandescente de intensidad constante. 2) un sistema óptico y mecánico para concentrar su luz sobre una ranura, cuya imagen iluminada es enfocada sobre la porción de la placa a fotometrear, y que proyecta la porción iluminada de la placa sobre el plano en que se efectúa la medición.

Todos estos densitómetros poseen dispositivos que permiten comparar la intensidad luminosa del haz que ha atravesado la parte elegida de la emulsión con la de la misma u otra parte del haz que atraviesa una zona clara de igual área de la misma placa, sucesiva o simultáneamente.

La determinación de la densidad de la marca, puede realizarse mediante el microfotómetro del tipo subjetivo, en el que se efectúa la igualación de los brillos de dos campos, iluminado uno por un haz que atraviesa la marca, y el otro por un haz de comparación cuya intensidad se gradúa en forma conocida, mediante un dispositivo de diafragma o de cuña neutra. A pesar que este método permite efectuar lecturas de intervalos muy amplios de densidad, presenta los inconvenientes de: lentitud de operación y cansancio del operador, sumándose a ello la poca precisión obtenida en los aparatos comerciales.

A fin de obtener resultados independientes del operador, y más precisos que los obtenidos por comparación visual, es que generalmente se emplea alguna forma de densitómetro objetivo con dos o una células fotoeléctricas o fotovoltaicas, situadas de modo que la imagen de la parte iluminada de la placa se proyecte sobre la superficie fotosensible.

Los densitómetros fotoeléctricos a lectura directa aprove-

ehan la proporcionalidad existente entre la corriente fotoeléctrica y la intensidad luminosa incidente. En dichos instrumentos, se lee, mediante un galvanómetro, la intensidad de la corriente fotoeléctrica, que es la que se toma como medida de la intensidad luminosa. Una descripción de un tipo tal de instrumento se encuentra al tratar en detalle el aparato empleado en el presente trabajo (figs. 28 y 29).

Los instrumentos fotoeléctricos basados en el "método de cero", poseen dos células fotoeléctricas conectadas en oposición, de manera que cuando ambas reciben igual cantidad de luz, no se registra corriente fotoeléctrica. Su diseño se asemeja al microfotómetro visual. Esencialmente, la diferencia reside en que las células fotoeléctricas reemplazan al ojo en su misión de determinar la igualdad de iluminación de los dos campos, efectuando ello con mayor precisión. Pero dichos microfotómetros objetivos, son tan lentos como los subjetivos debido a la necesidad del ajuste del diafragma o cuña para llevar a cero el galvanómetro.

Cualquiera sea el tipo de microfotómetro, debe estar diseñado de modo que la única luz que llegue a la superficie fotosensible sea la transmitida por la superficie a medir de la placa.

Un error por defecto en la lectura de los ennegrecimientos (llamado efecto Schwarzschild-Villiger) se origina si se ilumina la placa con un haz de luz cuya sección sea de área mayor que la de interés. Aunque exista delante del elemento fotosensible una ranura, llega a él (además de la luz transmitida por la superficie a medir) luz difundida por los cristales de bromuro de plata iluminados situados alrededor de dicha superficie. Por ser esta luz difusa proporcional al número de cristales (que es diferente en los alrededores de cada "marca de calibración), es que la magnitud del error no es constante

en cada lectura de distintos ennegrecimientos.

Se originan otros errores en las medidas efectuadas con microfotómetro por: luz del cuarto de trabajo; luz difundida por el polvo e imperfecciones pertenecientes a la placa o a los medios ópticos interpuestos entre ella y la fotocélula; reflexiones en las superficies de las lentes; factores todos ellos que hacen aparecer menor el ennegrecimiento de la placa. Todos estas fuentes de error se pueden eliminar si se trabaja en la penumbra, se utilizan placas y lentes limpias y en perfecto estado, y cubiertas estas últimas por superficies antirreflectoras.

A fin de que en las lecturas del ennegrecimiento de distintas superficies de una misma emulsión no influya el diferente número de granos por unidad de área (en cuyo caso se origina el "error por grano") es necesario que la altura mínima de la imagen de la ranura con la cual se ilumina cada una de las superficies a medir, sea de 5 mm.

Todo tipo de microfotómetro requiere un tiempo de encendido previo al cual se verifica que el cero eléctrico se corre debido a la rápida descarga inicial de las baterías de alimentación. El voltaje de dichas baterías debe mantenerse constante dentro del 0,1 %, debido a que la variación del rendimiento luminoso es varias veces mayor que la correspondiente variación de tensión.

Antes de proceder a las mediciones con el microdensímetro, se debe verificar la constancia del "cero" del aparato, y la ausencia de luz extraña que incida sobre la superficie del elemento fotosensible.

Las lecturas que es necesario efectuar para calcular el valor: $d = \log_{10} I_0/I$ de las diferentes "marcas de calibración" son:

1) las correspondientes a las sucesivas "marcas", y 2) una perteneciente a una superficie determinada bien uniforme que se elige arbitrariamente como "placa clara", no siendo necesario que dicha zona sea verdaderamente la más clara, ya que los valores de intensidad luminosa necesarios para deducir \bar{g} son valores relativos (I_0/I).

En todo trabajo fotométrico sobre emulsiones fotográficas se debe utilizar una técnica de revelado, fijado y lavado pre-establecida en sus condiciones de: tiempo, temperatura, etc., para obtener resultados reproducibles.

Las placas deben revelarse de manera que el grano y el fondo químico sean lo menores posible. El revelador que reúne estas condiciones está constituido en base a metol e hidroquinona que produce además un contraste adecuado, y no colorea la emulsión.

La precisión obtenible en toda lectura densitométrica es tanto mayor cuanto mayor sea el contraste. Ciertos reveladores, como el llamado de: hidroquinona cáustica, producen mayor contraste que el de metol-hidroquinona, pero aumenta mucho el tamaño original del grano del agregado cristalino de bromuro de plata (pues no sólo reduce el bromuro de plata foto activado a plata, sino que agrupa varios granos de plata). Además de originar mayor error por grano", colorea la emulsión, por todo lo cual dichos reveladores cáusticos no son utilizados en los trabajos densitométricos.

Durante el revelado es necesario conservar uniforme la concentración del revelador en contacto con la emulsión, para lo que se debe agitar o "pincelar" continuamente la emulsión (9). La placa, después de lavada y fijada se somete a un prolongado lavado final, procediéndose a la limpieza de ambas superficies de la placa con la

mano húmeda; y luego al secado lento. Debe evitarse el depósito de polvo y la producción de raspaduras que introducen gran error en las lecturas.

II) DESCRIPCION Y REALIZACION DEL METODO PROPUESTO DE CALIBRACION DE EMULSIONES FOTOGRAFICAS.

El método propuesto para la calibración de emulsiones fotográficas utiliza la variación de la intensidad de una fuente luminosa incandescente mediante la variación de su temperatura. La finalidad de este trabajo es demostrar que la precisión que se puede obtener con este método es la adecuada, eliminándose además en él, causas de errores sistemáticos, inherentes a los demás métodos.

El método que se propone es el siguiente:

Determinar a la longitud de onda que interesa para la calibración de la placa, la intensidad de la luz emitida por una lámpara de incandescencia de filamento de tungsteno, en función de la diferencia de potencial entre los bornes de dicha lámpara. Las intensidades luminosas se determinan en unidades arbitrarias, ya que para la utilización de la curva de calibración sólo interesan sus valores relativos. Hecho esto, o sea calibrada la lámpara, se saca (con un espectrógrafo adecuado) y con la emulsión fotográfica a estudiar, una serie de espectros utilizando como fuente de luz dicha lámpara. Para obtener cada espectro, se utiliza el mismo tiempo de exposición y se varía, en forma conocida, la intensidad de la luz emitida por la lámpara ajustando su voltaje. Esta serie de espectros así obtenidos constituye la serie de "marcas de calibración", cuyo microdensímetra-

je da las densidades de ennegrecimiento correspondientes.

Las exposiciones relativas E están dadas directamente por las intensidades luminosas relativas I de la lámpara, ya que la exposición E_{lit} se efectúa a tiempo t constante. Las intensidades luminosas I se obtienen a partir de la curva de calibración de la lámpara; o de la ecuación empírica de dicha curva, cuyos coeficientes se obtienen aplicando el método de los cuadrados mínimos.

El primer paso lo constituye entonces, la determinación de la curva característica de la lámpara patrón $I_{\lambda} = \varphi(V)$ en la que V es la diferencia de potencial entre los bornes de la lámpara e I_{λ} la intensidad luminosa producida, correspondiente a la longitud de onda elegida, que en este caso es igual a 6000 Angstrom.

El segundo paso lo constituye la fotografía sobre la emulsión a estudiar de los diversos espectros "marcas de calibración", obtenidos (con tiempos de exposición constante) utilizando la lámpara calibrada como fuente de luz y trabajando a voltajes conocidos.

La tercera etapa consiste en la medición de las densidades de ennegrecimiento (d_{λ}) de dichas "marcas de calibración" a la longitud de onda de 6000A. De las dos últimas series de datos, se obtiene: $d = \Omega(V)$.

Finalmente, determinadas ambas funciones (φ y Ω) se pasa a la función característica de la emulsión fotográfica: $d_{6000} = f(E_{6000})$

Calibración de la lámpara: Se elige como lámpara patrón una lámpara de incandescencia de filamento helicoidal de tungsteno, del tipo utilizado en cine sonoro (la fig. 4 la representa en tamaño próximo al natural) alimentada normalmente con una corriente de 7,5 amperios, con una diferencia de potencial de 10 voltios entre sus extremos. Se

elige esta lámpara por tener su filamento gran solidez, ser de dimensiones pequeñas y de gran brillo; y, además, por ser sus características eléctricas fácilmente medibles con precisión. Se toma el voltaje como variable de referencia pues su variación total es mayor que la de la corriente, verificándose en estas experiencias que, mientras



fig. 4

el potencial varía entre 2,5 y 10,5 voltios, la corriente sólo varía entre 4 y 7,5 Amp. Ello es debido a que, como la resistencia del filamento de tungsteno aumenta con la temperatura, la corriente no aumenta proporcionalmente al voltage ($i = V/R$), sino menos que éste.

La luz de la lámpara patrón atraviesa un monocromador ajustado a 6000Å e incide luego sobre un instrumento fotosensible. (Ver fig. 10). Se ensayó como tal una termocupla Zeiss, resultando este instrumento inadecuado en su sensibilidad. Se utiliza por ello el efecto fotoeléctrico, por ser éste una función lineal de la intensidad de la luz incidente, dentro de un amplísimo rango de intensidades luminosas.

La corriente fotoeléctrica se mide haciéndola atravesar una resistencia sumamente elevada ($R = 10^9$ ohmios), y comparando la caída ohmica de potencial V en los extremos de dicha resistencia con el potenciómetro compensador de Raps.

Se ensayó medir la corriente fotoeléctrica amplificándola mediante válvulas termoiónicas, pero el hecho presente de que la luz de la lámpara debe atravesar un monocromador antes de ser medida, disminuye su intensidad a tal punto, que la corriente fotoeléctrica producida (comprendida entre: 2×10^{-12} y $3,2 \times 10^{-9}$ amp.) está por debajo del límite de sensibilidad de los amplificadores comunes. (13)

En los primeros ensayos se utilizó un amplificador electrónico que aparece en la fig. 5 y cuyo circuito es similar, en principio



al de la fig. 9, a diferencia de que: es alimentado con corriente alternada de 220 voltios, rectificada y estabilizada, en vez de baterías, y posee la lámpara 6SC7 (doble triodo) en lugar de las dos lámparas 38. Dicho circuito resultó, además de insuficientemen-

fig. 5

te sensible, excesivamente inestable, pues las fluctuaciones de tensión de la red urbana que lo alimentaban, afectaban enormemente las mediciones. Se decidió utilizar por ello: baterías de alimentación, y un sistema de "amplificador electrométrico", que se utiliza como instrumento de cero.

Este tipo de amplificador requiere lámparas especiales que no tomen una corriente apreciable del circuito en que se efectúa la medición. El amplificador anteriormente mencionado consume una co--

corriente de 10^{-9} Amp. (corriente de grilla) que es del mismo orden de magnitud que la máxima corriente a medir, lo que explica su falta de sensibilidad. Las "lámparas electrométricas", en cambio, están construídas de modo de eliminar sistemáticamente toda causa de corriente de grilla, reduciéndose ésta hasta un valor igual o inferior a 10^{-14} Amp., lo que permite amplificar y medir corrientes de hasta este orden de magnitud ⁴⁾.

Nielsen ³⁾ indica las condiciones de trabajo bajo las cuales una lámpara 38 se asemeja en su funcionamiento a una lámpara electrométrica (con corriente de grilla de 10^{-13} Amp.)

En base a todo esto se construyó, utilizando dos lámparas 38 en estas condiciones, un circuito amplificador tipo puente de Wheatstone que aparece en la fig. 9, de sensibilidad adecuada como para amplificar y medir una corriente fotoeléctrica de un valor mínimo de 2×10^{-12} Amp.

Como puede apreciarse en las figs.: 6, 7 y 8, el amplificador está construído parcialmente dentro de una caja metálica unida a tierra, hermética a la luz y pintada interiormente de negro, y en parte sobre la misma mesa de trabajo. La rama del puente de Wheatstone (ver fig. 9) correspondiente a la lámpara 38 que amplifica la corriente fotoeléctrica conjuntamente con la fotocélula y la resistencia de 10^9 ohmios están montadas dentro de la caja metálica que elimina así toda influencia de la luz y campos eléctricos exteriores.

Las demás ramas del puente de Wheatstone, conjuntamente con la lámpara 38 compensadora y sus respectivos controles están montados sobre la mesa. Las baterías que alimentan el amplificador (7 pilas de 1,5 voltios y un acumulador de 6 V de automóvil) se sitúan debajo de la mesa.

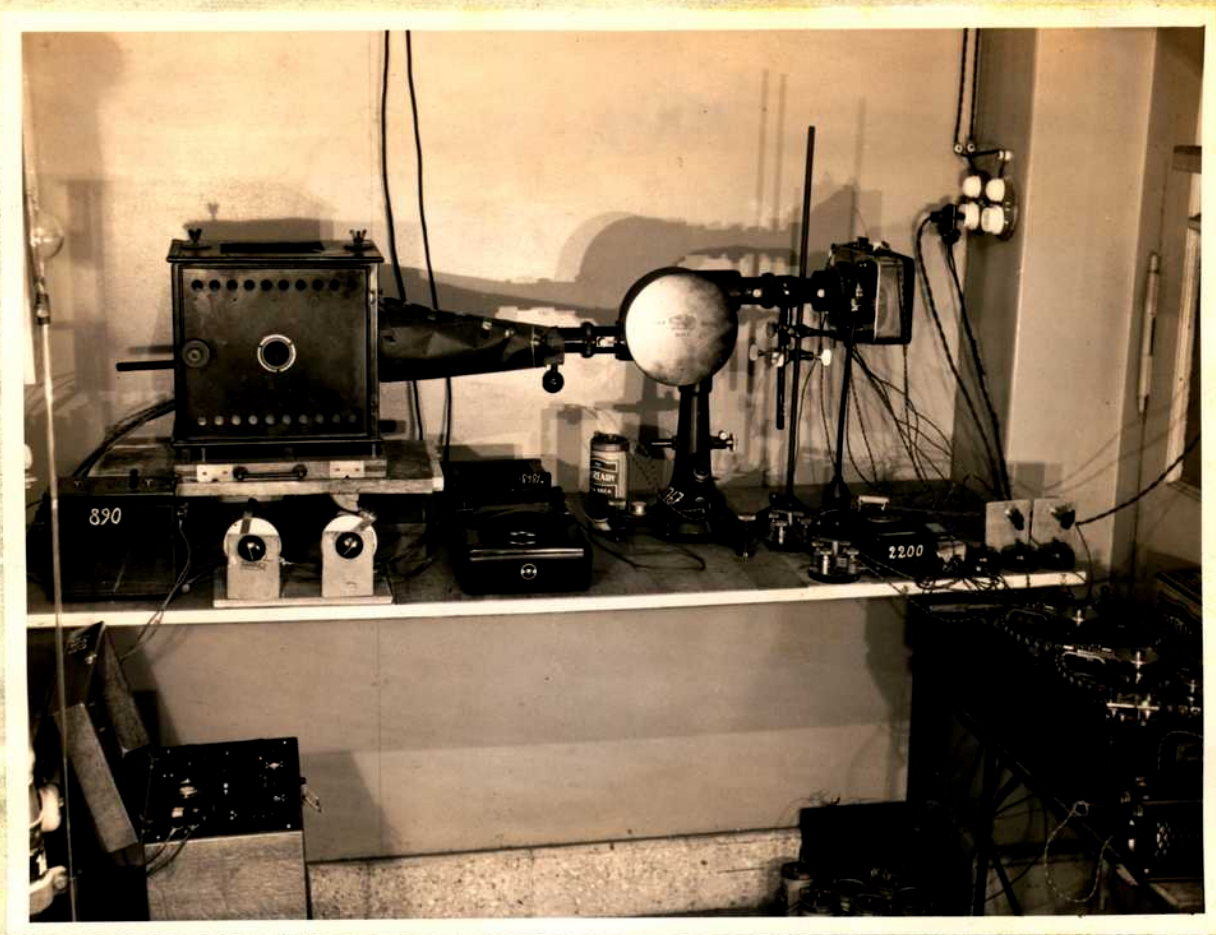


fig 6

En la fig. 7 se observa un detalle de la caja que contiene la fotocélula, visible a través del obturador abierto y en la fig. 8 se puede ver el interior de dicha caja. La célula fotoeléctrica no es visible en esta foto, pues está protegida por un papel negro, para

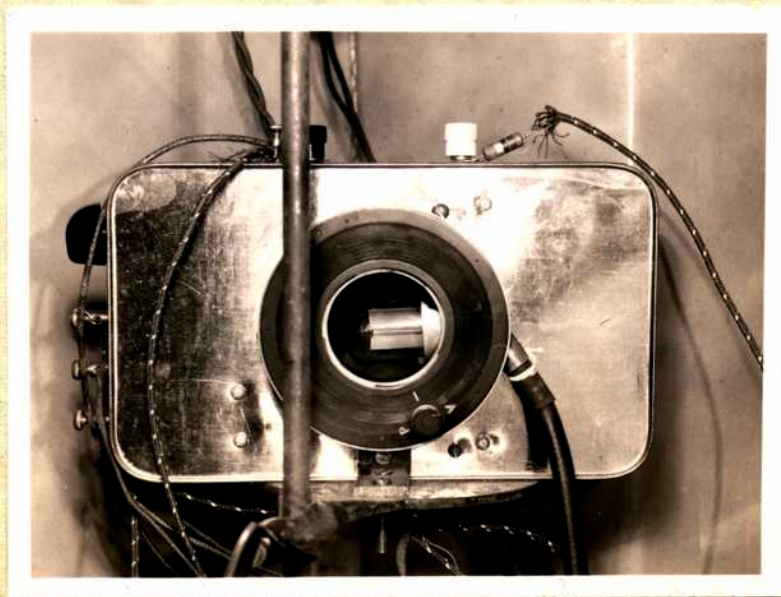


fig. 7

////

evitar la acción de la luz emitida por el filamento incandescente de la lámpara 38. Se observan, además, dicha lámpara 38, una cápsula con cloruro de calcio (imprescindible para evitar el efecto de la humedad reinante en Otoño, en que se efectuaron parte de las mediciones), y la resistencia de 10^9 ohmios, constituidas por 50 resistencias de 20 mega-ohmios, 2 wattios IRC, en serie, embebidas en ceresina.

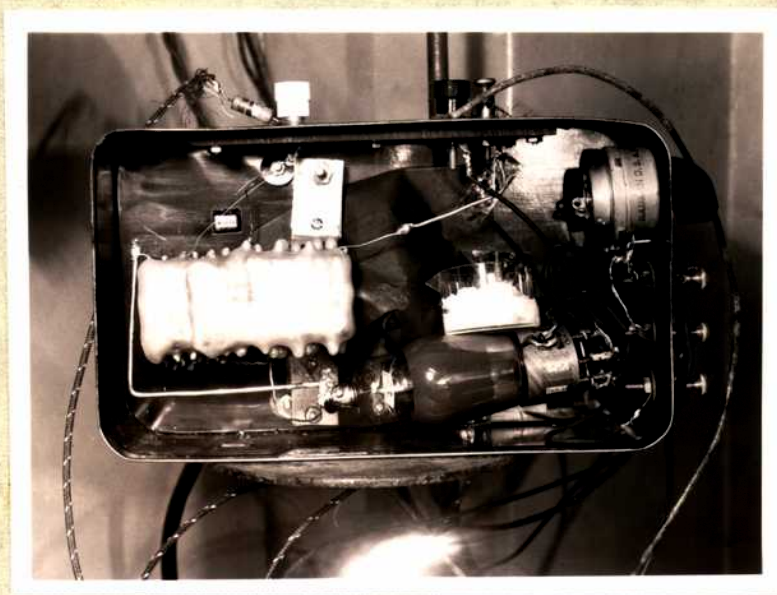


fig 8

El circuito amplificador de puente es recomendado por diversos investigadores por ser el de máxima estabilidad, ya que, prácticamente no es afectado por las variaciones de potencial de las baterías de alimentación, contrariamente a lo que ocurre con los circuitos que utilizan una única lámpara.

La puesta a punto y utilización del circuito empleado, el principio de cuyo funcionamiento está descrito por diversos autores, entre ellos Lee Du Bridge ⁶⁾, es el siguiente:

Las dos lámparas 38 (una amplificadora de la corriente fotoeléctrica y la otra compensadora) forman dos de los brazos de un puente de Wheatstone, cuyos dos brazos restantes están constituidos por

un par de resistencias de alambre de 10^5 ohmios.

Para poner a punto el amplificador, una vez conectadas todas las baterías, se cierra el obturador de la fotocélula y se pone en "cero" el potenciómetro Raps.

Mediante el potenciómetro de 5000 ohmios, se ajusta el potencial de grilla de la lámpara 38 amplificadora, al valor para el cual la sensibilidad del amplificador es la máxima, lo que se determina por tanteos. En lugar de determinar el valor de este potencial óptimo, se observa la correspondiente corriente de placa de la lámpara 38, valor que se determinó igual a $25 \mu\text{A}$ con un miliamperímetro de plena escala: 0-0,1 mA.

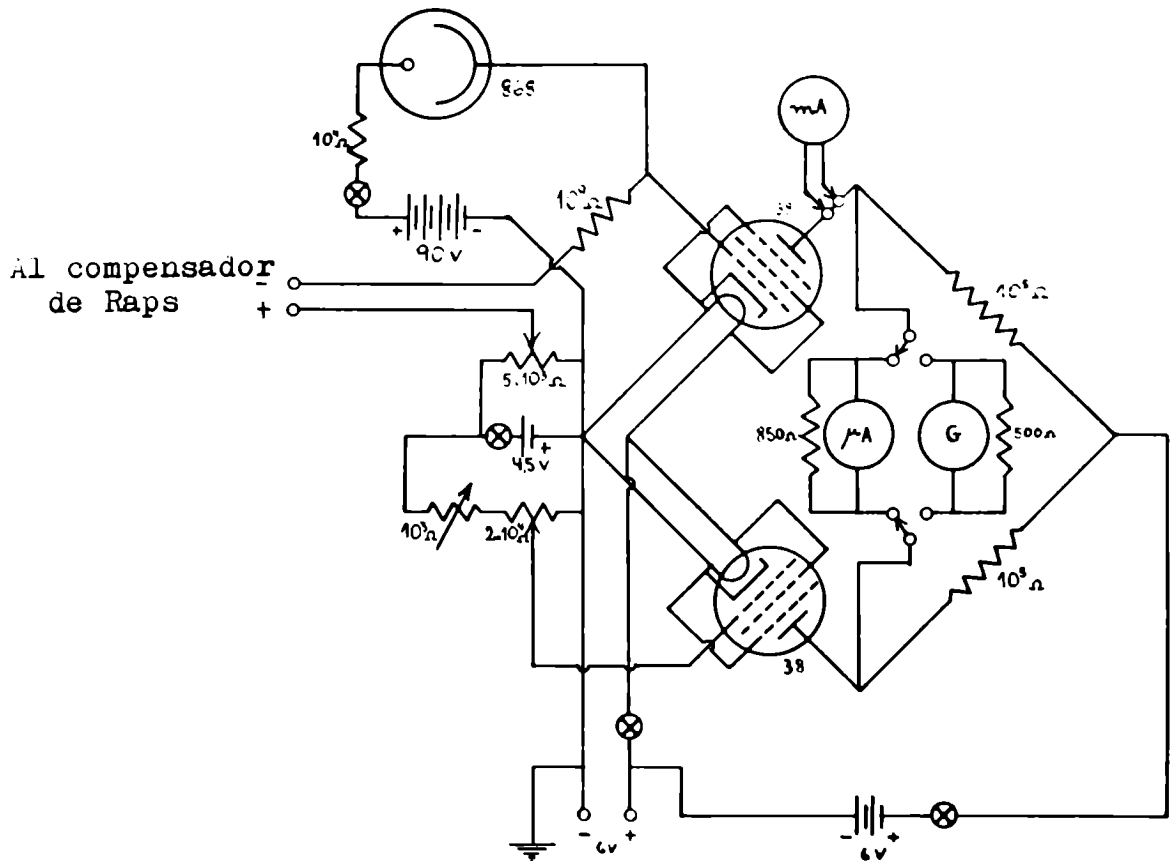


fig. 9.

////

Se equilibra el puente mediante el ajuste del potencial de grilla de la lámpara 38 compensadora, equilibrio que se determina mediante un microamperímetro Weston (escala: 0-15 μ A) que une dos de los nudos del puente de Wheatstone.

Debe esperarse dos horas para que el amplificador entre en régimen (ésto significa uniformización de los gradientes de temperatura y de los potenciales de las baterías).

Después de ello, se ajustan nuevamente, en forma sucesiva, los potenciales de las dos lámparas 38 hasta nuevo equilibrio del puente; se cambia el microamperímetro por un galvanómetro a espejo, mediante una llave inversora doble, ajustándose, si fuera necesario el potencial de grilla de la lámpara 38 compensadora hasta que el galvanómetro no registre pasaje de corriente.

Puesto a punto el amplificador tipo puente del modo antedicho, toda luz incidente sobre la fotocélula origina una corriente fotoeléctrica, la que, al atravesar la resistencia de 10^9 ohmios, produce una caída óhmica de potencial que es amplificada por el circuito puente anteriormente descrito, y leída en la escala del galvanómetro a espejo.

No se utilizan estas lecturas del galvanómetro como medida de las intensidades luminosas incidentes sobre la fotocélula, pues el rango de corriente eléctrica que puede amplificar el aparato es mucho menor que el rango de las corrientes fotoeléctricas que se deben medir.

Experimentalmente se comprobó la no linealidad del amplificador, por lo que además sería necesaria su calibración para poder utilizar directamente las lecturas del galvanómetro como medida de la

intensidad luminosa. La no linealidad se debe a que el rango de esas iluminaciones es enorme (la mayor intensidad usada es 600 veces más intensa que la más pequeña de todas). Esta no proporcionalidad en la respuesta del amplificador se observa en los siguientes datos obtenidos en su calibración, que se efectúa aplicando tensiones conocidas a la grilla y observando las lecturas del microamperímetro.

<u>mV</u>	<u>A</u>	<u>mV</u>	<u>A</u>
10	0,35	50	1,75
20	0,69	100	3,56
30	1,01	200	7,68
		300	12,24

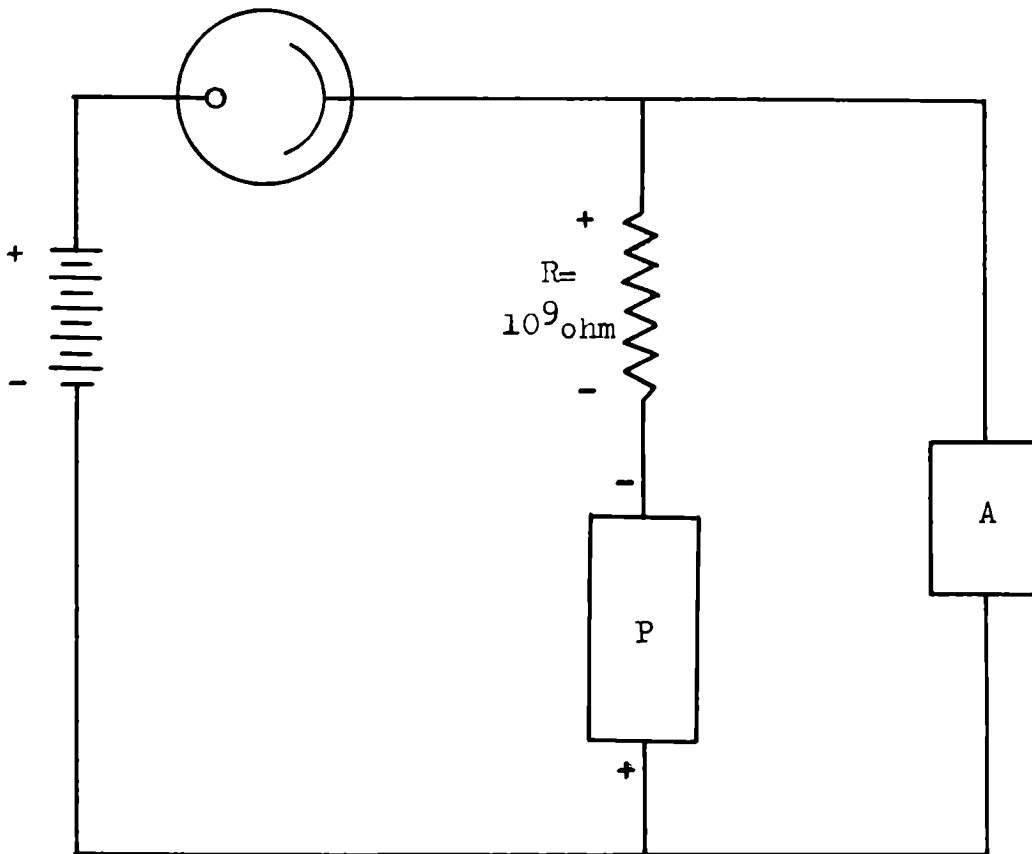
Además de no haber linealidad, existe el hecho de que la precisión obtenible en la determinación de diferencias de potencial a partir de las lecturas efectuadas sobre una escala es menor que la que se logra si se utiliza el método de oposición, con el que además se extiende el rango de la medición.

Por todo lo antedicho, se utiliza el compensador de Raps (en el que la precisión de los voltajes aplicados es de 1 en 100.000) conjuntamente con el amplificador electrométrico, para constituir un circuito en el que el amplificador se utiliza como instrumento de "cero".

El principio de este circuito puede verse en la fig. 9a: La corriente fotoeléctrica atraviesa tanto la resistencia R como el potenciómetro P. La resistencia del potenciómetro es despreciable comparada con la resistencia R ($R \approx 10^9$ ohms; $P \approx 10^4$ ohms); por consiguiente toda la caída óhmica de potencial producida aparece en los extremos de la resistencia R.

A esta caída de potencial se le suma la diferencia de potencial que aparece en los bornes del potenciómetro.

Conectando el potenciómetro en oposición con el potencial que aparece sobre R , se pueden igualar ambos potenciales, lo que se evidencia con el amplificador A, usado como instrumento de "cero".



El método de compensación tiene en el presente caso, además de la gran precisión en la determinación de diferencias de potencial, la ventaja de mantener la linealidad de la respuesta (pág. 32) de la célula fotoeléctrica, ya que mantiene constante la diferencia de potencial en los extremos de la misma. Este hecho es sumamente impor-

tante ya que la célula fotoeléctrica utilizada es del tipo gaseoso que se caracteriza por una gran dependencia de la corriente fotoeléctrica con el potencial aplicado entre sus electrodos.

La calibración de la lámpara de incandescencia se efectúa (fig. 10) determinando la intensidad luminosa emitida por la misma (en unidades arbitrarias) en función de la diferencia de potencial entre sus electrodos, determinada ésta por un potenciómetro Leeds y Northrup. El potenciómetro compensador de Raps, instalado en serie con la célula fotoeléctrica, de un número proporcional a la intensidad luminosa: son estas lecturas las que se toman como medidas relativas de la intensidad luminosa.

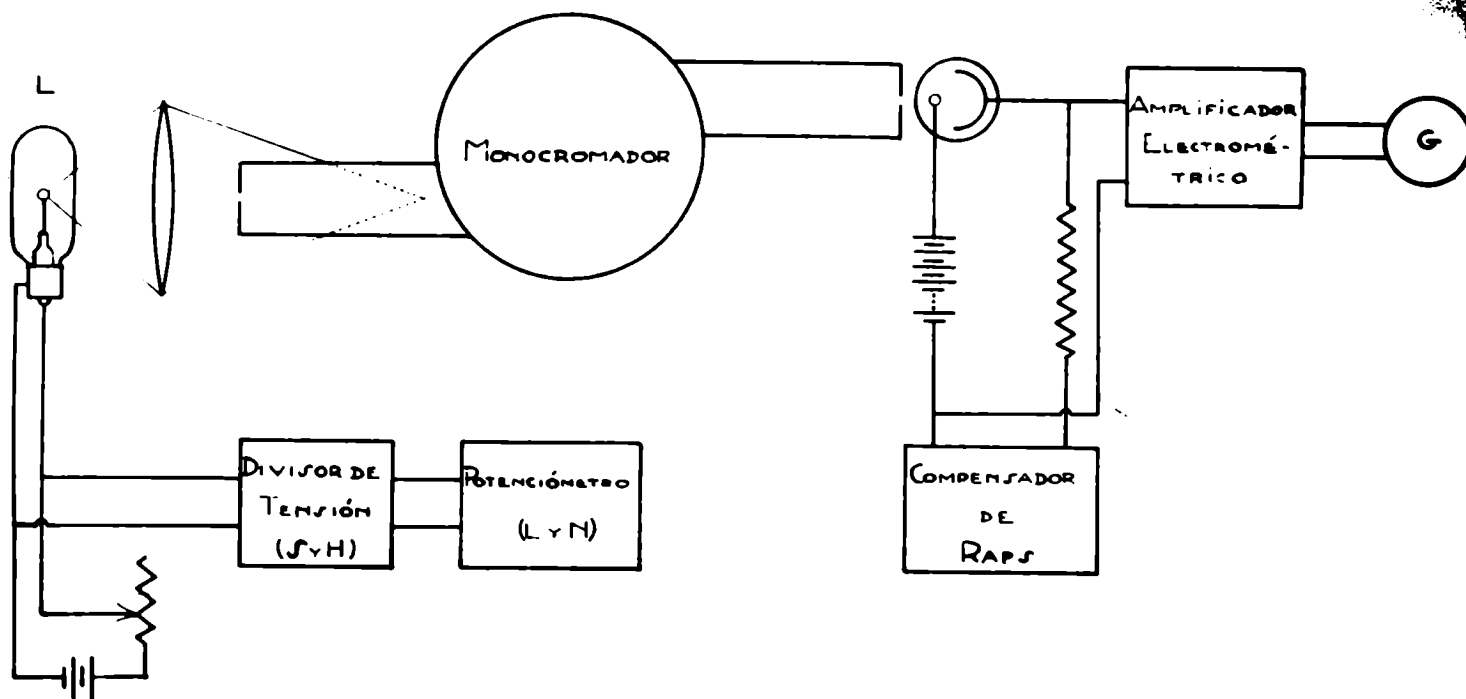


fig. 10

La figura 6 (pág. 21) muestra el conjunto de la instalación utilizada para la calibración de la lámpara. Se puede observar: en

la parte inferior izquierdo el potenciómetro Leeds y Northrup; encima de éste, marcado con el número 890, la caja conteniendo una resistencia divisora de tensión (que aumenta el alcance del potenciómetro); una caja de luz de una antigua caja de proyecciones que contiene en su interior la lámpara patrón; debajo de la caja de luz se observa dos reóstatos para el ajuste del potencial de la lámpara. A su derecha hay un voltímetro Siemens para las lecturas gruesas del dicho potencial. En el centro de la fotografía, el aparato en forma de disco es el monocromador Winkel-Zeiss. Un cono de cartón une la caja de luz con el tubo colimador del monocromador, evitándose así toda luz extraña. Unido al tubo de salida del monocromador está la caja que contiene la fotocélula y el amplificador ya descrito. El resto del circuito amplificador puede observarse instalado sobre la mesa en la cual hay, además, varias llaves para la puesta en marcha del aparato, y dos llaves inversoras, una de las cuales permite pasar de la posición "ajuste del amplificador" a la posición "medición" y la otra permite utilizar alternativamente como "instrumento de cero" un microamperímetro marcado con el número 2.2 00 en la figura, o un galvanómetro a espejo, no visible en la figura (Este galvanómetro puede observarse en la fig. 24, en la posición en que se lo utilizó para su calibración, necesaria cuando se lo empleó como parte del densímetro).

En la parte inferior derecha de la figura se observa el potenciómetro compensador de Raps junto con la resistencia de compensación; y más abajo las baterías que alimentan el amplificador.

Las lecturas de la diferencia de potencial entre los bornes de la lámpara patrón (que varía entre 2,4 y 11 V) se efectúan con una precisión de 0,01 V con lo cual el error relativo de la determinación

1.

Número de orden	V _l : Voltage L. lámpara	log ₁₀ V _l × x ₁	I: Corriente fotoeléctric. nida. arbitr.	log ₁₀ I × y ₁	(x ₁) ²	(x ₁) ³	(x ₁) ⁴	x ₁ y ₁	x ₁ ² y ₁
1	2,38	0,37658	10	1,00000	1,4181	0,05340	0,02011	0,37658	0,14181
2	2,63	0,41996	16	1,25527	0,17637	0,07407	0,02111	0,52139	0,22139
3	2,83	0,45179	26	1,41497	0,20411	0,09222	0,04166	0,63927	0,28882
4	2,97	0,47276	34	1,53148	0,23350	0,10466	0,04995	0,74202	0,34229
5	3,22	0,50786	48	1,68124	0,25792	0,13095	0,06653	0,85383	0,43363
6	3,43	0,53529	63	1,79934	0,28654	0,15738	0,08210	0,96317	0,51558
7	3,60	0,55630	80	1,90389	0,30947	0,17216	0,09577	0,95869	0,58895
8	3,81	0,58092	103	2,01284	0,33747	0,19604	0,11386	1,16930	0,67927
9	3,99	0,60097	129	2,11059	0,36116	0,21705	0,13044	1,26640	0,76227
10	4,19	0,62221	163	2,21119	0,38715	0,24069	0,14983	1,37645	0,85644
11	4,43	0,64640	212	2,31634	0,41733	0,27609	0,17074	1,50375	0,97202
12	4,58	0,66087	249	2,39633	0,43675	0,29662	0,18899	1,58358	1,04654
13	4,56	0,65896	241	2,38202	0,43423	0,29014	0,18614	1,56916	1,03434
14	4,77	0,67892	297	2,47276	0,46039	0,31138	0,21119	1,67782	1,13843
15	5,03	0,70157	384	2,59433	0,49223	0,34331	0,24226	1,81309	1,27201
16	5,19	0,71517	411	2,64444	0,51147	0,36379	0,26100	1,95122	1,43254
17	5,46	0,73126	523	2,74336	0,53345	0,40067	0,29334	2,07017	1,48923
18	5,64	0,74126	636	2,80346	0,56442	0,44404	0,33697	2,19618	1,58233
19	5,84	0,76641	736	2,88668	0,58738	0,49007	0,38501	2,33021	1,68396
20	6,00	0,77642	816	2,94275	0,60957	0,52723	0,42669	2,46656	1,76372
21	5,97	0,77297	809	2,93679	0,60377	0,52673	0,42359	2,45481	1,74966
22	6,19	0,78169	927	3,00719	0,62164	0,56308	0,46384	2,59491	1,85969
23	6,41	0,80680	1062	3,08116	0,63928	0,59948	0,49782	2,74166	1,97007
24	6,39	0,81859	1161	3,07309	0,63728	0,59812	0,49684	2,73584	1,96019
25	6,82	0,83372	1345	3,16683	0,65912	0,63704	0,52329	2,90813	2,17461
26	6,82	0,84818	1520	3,20184	0,67194	0,67127	0,54177	2,99850	2,28910
27	6,83	0,84696	1500	3,17639	0,71734	0,68716	0,57497	2,99002	2,27334
28	6,83	0,85753	1636	3,21372	0,73931	0,72322	0,60334	2,99527	2,27218
29	6,83	0,86864	1711	3,24334	0,76433	0,76226	0,63634	2,99598	2,24576
30	6,83	0,88936	2090	3,31173	0,78366	0,80333	0,67444	2,99209	2,23966
31	6,83	0,89365	2161	3,32369	0,78821	0,81119	0,67492	2,97668	2,22713
32	6,82	0,90526	2399	3,37331	0,81395	0,84233	0,71258	2,95915	2,20933
33	6,82	0,90417	2379	3,37639	0,81733	0,83945	0,70834	2,95281	2,20684
34	6,82	0,91645	1610	3,41664	0,83938	0,87097	0,76040	2,93118	2,18084
35	6,82	0,92376	2756	3,44028	0,85333	0,89837	0,78317	2,91799	2,16799
36	6,82	0,93551	3007	3,47613	0,87218	0,92674	0,79994	2,90383	2,15383
37	6,82	0,94399	3194	3,49643	0,88412	0,94111	0,79349	2,90805	2,15277
38	6,82	0,95328	3430	3,53529	0,89674	0,96610	0,82580	2,9012	2,14527
39	6,82	0,96520	3750	3,57402	0,91001	0,99219	0,86730	2,89465	2,13805
40	6,82	0,97359	3962	3,60110	0,92496	0,92262	0,89847	2,88902	2,13182
41	6,82	0,98182	4271	3,62922	0,93737	0,94645	0,92924	2,88469	2,12669
42	6,82	0,98632	4344	3,63769	0,94783	0,95921	0,94639	2,88112	2,12303
43	6,82	0,99913	4738	3,67366	0,95826	0,97339	0,96652	2,87240	2,11680
44	6,82	1,00732	5039	3,70400	0,96469	0,98212	0,97260	2,87210	2,11573
45	6,82	1,01620	5338	3,72756	0,97266	1,00042	1,00637	2,87876	2,11419
46	6,82	1,02612	5717	3,75686	0,97894	1,03042	1,10864	2,87499	2,11242
47	6,82	1,03383	6023	3,77961	0,98880	1,10436	1,14234	2,90768	2,11068
48	6,82	1,04179	6330	3,80140	1,06880	1,13061	1,17794	2,96026	2,10894
49	6,82	1,04336	6378	3,80468	1,08660	1,13960	1,18505	2,96965	2,10817
Suma total:				142,43697	32,65465	28,35036	25,38771	119,97179	104,64937

39,00258

142,43697

32,65465

28,35036

25,38771

119,97179

104,64937

Numero de orden	Voltaje en Lámpara	$\log_{10} V_{\text{max}}$	Intensidad fotoeléctrica. Unid. arbitr.	$\log_{10} I = I_1$	$(x_1)^2$	$(x_1)^3$	$(x_1)^4$	x_1^5
1	2,40	0,38021	10	1,00000	0,14456	0,05496	0,02090	0,38021
2	2,58	0,41162	15	1,17609	0,16943	0,06974	0,02871	0,48410
3	2,80	0,44716	23	1,36173	0,19995	0,08941	0,03998	0,60891
4	2,99	0,47567	31	1,49136	0,22626	0,10763	0,05119	0,70940
5	3,00	0,47712	33	1,51851	0,22764	0,10861	0,05182	0,72451
6	3,21	0,50651	44	1,64345	0,25655	0,12995	0,06582	0,83242
7	3,25	0,51188	49	1,69020	0,26202	0,13412	0,06865	0,86518
8	3,40	0,53148	61	1,78533	0,28247	0,15013	0,07978	0,94887
9	3,63	0,55991	83	1,91908	0,31350	0,17573	0,09828	1,07451
10	3,83	0,58320	107	2,02938	0,34012	0,19836	0,11568	1,18353
11	3,85	0,58320	110	2,04139	0,34012	0,19836	0,11568	1,19054
12	4,00	0,60206	136	2,13354	0,36248	0,21823	0,13139	1,28452
13	4,22	0,62531	178	2,25042	0,39101	0,24450	0,15289	1,40721
14	4,41	0,64444	219	2,34044	0,41530	0,26764	0,17248	1,50827
15	4,59	0,66181	265	2,42325	0,43799	0,28987	0,19184	1,60373
16	4,80	0,68124	325	2,51188	0,46409	0,31616	0,21538	1,71119
17	4,97	0,69636	379	2,57884	0,48492	0,33768	0,23514	1,79566
18	5,20	0,71600	461	2,66370	0,51266	0,36706	0,26281	1,90721
19	5,08	0,70586	419	0,49824	0,49824	0,35169	0,24824	1,85091
20	5,20	0,71600	463	2,66558	0,51266	0,36706	0,26281	1,90856
21	5,44	0,73560	565	2,75205	0,54111	0,39844	0,29280	2,02441
22	5,64	0,75128	654	2,84358	0,56442	0,42404	0,31957	2,11529
23	5,80	0,76343	732	2,86451	0,58283	0,44495	0,33969	2,18665
24	6,05	0,78176	866	2,93752	0,61115	0,47177	0,37390	2,29644
25	6,20	0,79239	954	2,97955	0,62768	0,49733	0,39423	2,36097
26	6,37	0,80414	1055	3,02325	0,64664	0,51399	0,41814	2,43112
27	6,64	0,82217	1227	3,08884	0,67596	0,55375	0,45692	2,53955
28	6,80	0,83251	1336	3,12581	0,69307	0,57699	0,48035	2,60227
29	7,00	0,84510	1482	3,17085	0,71419	0,60322	0,51007	2,67969
30	7,02	0,84634	1496	3,17433	0,71629	0,60622	0,51307	2,68707
31	7,22	0,85854	1650	3,21748	0,73709	0,63382	0,54330	2,76234
32	7,43	0,87099	1823	3,26079	0,75862	0,66075	0,57551	2,84012
33	7,67	0,88480	2020	3,30535	0,78287	0,69268	0,61289	2,92457
34	7,83	0,89321	2160	3,34445	0,79782	0,71262	0,63652	2,97836
35	8,00	0,90526	2373	3,37530	0,81950	0,74186	0,67158	3,05552
36	8,00	0,90580	2380	3,37658	0,82047	0,74318	0,67317	3,05851
37	8,21	0,91540	2561	3,40841	0,83796	0,74318	0,67317	3,05851
38	8,40	0,92480	2740	3,43775	0,85526	0,79094	0,70217	3,12006
39	8,59	0,93399	2935	3,46761	0,87234	0,81476	0,76097	3,17923
40	8,80	0,94792	3243	3,51095	0,89855	0,85175	0,80739	3,23810
41	8,80	0,94792	3292	3,51746	0,90134	0,85572	0,81241	3,23944
42	9,00	0,95279	3364	3,52686	0,90781	0,86495	0,82412	3,26036
43	9,20	0,96142	3589	3,55437	0,92433	0,88867	0,85439	3,41782
44	9,40	0,97497	3947	3,59627	0,95057	0,92678	0,90358	3,50626
45	9,60	0,98408	4198	3,62304	0,96841	0,95239	0,93782	3,56536
46	9,80	0,99300	4483	3,65157	0,98605	0,97229	0,97229	3,62601
47	9,80	0,99826	4638	3,66633	0,99652	0,99479	0,99306	3,65995
48	10,00	1,00217	4769	3,67843	1,00434	1,00652	1,00870	3,68641
49	10,20	1,00604	4909	3,69099	1,01212	1,01823	1,02438	3,71328
50	10,40	1,00647	4919	3,69188	1,01298	1,01953	1,02438	3,71577
51	10,60	1,01578	5239	3,71925	1,03181	1,04809	1,06463	3,77794
52	10,80	1,02408	5547	3,74406	1,04874	1,07399	1,09985	3,85422
53	11,00	1,03463	5955	3,77488	1,07046	1,10753	1,14588	3,90560
54	11,20	1,04415	6360	3,80346	1,09025	1,13838	1,18864	3,97136

Suma totales: 42,47970 154,71319 35,30172 30,56528 27,27766 129,46842



Nº 47767

INTENSIDAD LUMINOSA

LITZ FERRANDO y Cia. S.A. BUENOS AIRES

fig. 11

de dichas diferencias de potencial está comprendido entre 0,4 y 0,1 %.

Las lecturas del compensador de Raps (que varían entre 1 y 640 mV) se efectúan con una precisión del décimo de milivoltio, con lo cual la precisión de esta lectura de intensidades luminosas queda comprendida entre el 10 y el 0,02 %.

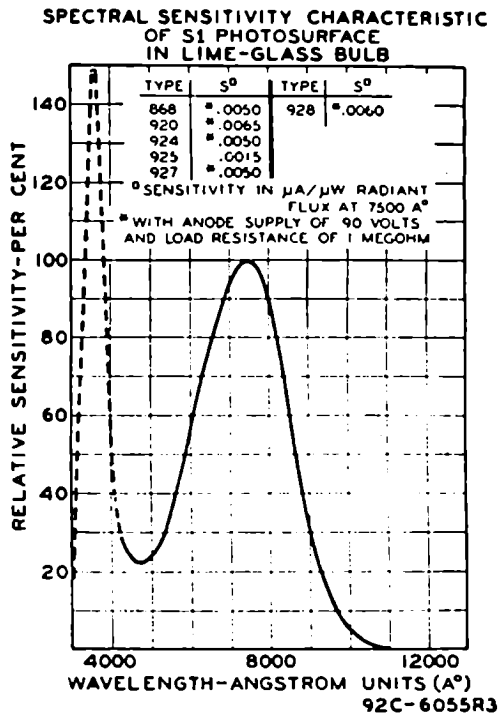
Teniendo en cuenta los valores de tensión correspondientes a estas lecturas extremas del compensador de Raps (0,05 V y 3,2 V) y el valor de la resistencia en serie con la célula fotoeléctrica ($R = 10^9$ ohmios) se ve que la corriente fotoeléctrica que produce la caída de potencial de los valores mencionados, está comprendida entre: 5×10^{-11} y $3,2 \times 10^{-9}$ A.

Después de efectuar varias calibraciones de la lámpara patrón a intervalos de un voltio a modo de ensayo, y comprobados el buen funcionamiento de todos los instrumentos y la reproducibilidad de las medidas, se procedió a la calibración definitiva de la lámpara, cuyos resultados están dados en las Tablas 1 y 2, estando representados gráficamente en la figura 11.

Las mediciones se efectuaron desde los 2,4 hasta los 11 V a intervalos de 0,2 V aproximadamente.

Célula fotoeléctrica utilizada en el amplificador.

La célula fotoeléctrica utilizada es de marca Cetrón modelo 868. Esta fotocélula es del tipo gaseoso y funciona con un potencial máximo de 90 V. Por ser una célula del tipo gaseoso, solo existe proporcionalidad entre la corriente fotoeléctrica y la cantidad de luz incidente sobre su superficie si la corriente fotoeléctrica originada



no pasa de 10^{-6} Amp. 17).

Siendo la corriente máxima de estas experiencias de 10^{-8} Amp., puede admitirse la linealidad de la anterior relación. La curva característica de sensibilidad de la superficie fotoeléctrica es adecuada para la longitud de onda utilizada como puede verse en la figura 12 pues tiene su máximo de sensibilidad en el rojo.

fig 12

La construcción de esta célula es tal que las conexiones del cátodo y ánodo salen por dos patas de una base común de lámpara de radio de 4 patas. Esto es un inconveniente importante ya que el material de dicha base no es un aislador de buena calidad, siendo la corriente de fuga sobre este material del orden de 10^{-8} A. No existiendo en plaza la célula modelo RCA 919 que posee la conexión de cátodo muy bien aislada respecto del ánodo, y habiéndose comprobado que todas las demás células fotoeléctricas existentes en el laboratorio eran de sensibilidad muy inferior, se resolvió el inconveniente quitando la célula de su base.

Instalación de la lámpara patrón. La lámpara de incandescencia a calibrar se instala en forma rígida y con las conexiones eléctricas soldadas (2 para la corriente de alimentación y 2 para el potenciómetro Leeds y Northrup) dentro de la caja de luz de una antigua lámpara de arco.

La imagen del filamento de la lámpara se enfoca sobre la lente colimadora del monocromador, de modo que en este penetre la luz correspondiente a todos los puntos del filamento de la lámpara (si se enfocase la imagen del filamento sobre la rendija del monocromador, éste recibiría solamente la luz correspondiente a ciertas partes del filamento, lo cual debe evitarse pues se introduciría un error sumamente grande en la calibración). La intensidad de la luz medida es por consiguiente la intensidad de la luz emitida por todo el filamento en una dirección normal al cilindro sobre el cual está enrollado, en forma de hélice el filamento de tungsteno.

Estos mismos detalles de instalación deben cuidarse posteriormente al utilizar la lámpara patrón en la iluminación del espectrógrafo, durante la exposición de la placa.

Monocromador utilizado.

El monocromador utilizado posee óptica de vidrio, es de marca Winkel-Zeiss, modelo N° 984.461 cuyo aspecto exterior es el de la fig. 13 y cuyo sistema de prismas de Wadsworth está indicado en la fig. 14. Dicho sistema de prismas está constituido por un prisma de 60° de flint y un prisma de reflexión total de crown.

Los colimadores de entrada y de salida son paralelos y están desplazados verticalmente entre sí 7,5 centímetros.

Ambas lentes poseen abertura de $f: 5$. Tanto la ranura de entrada como la de salida son horizontales.

La arista refrigente del prisma dispersivo es también horizontal, de manera que los diversos colores del espectro obtenido están

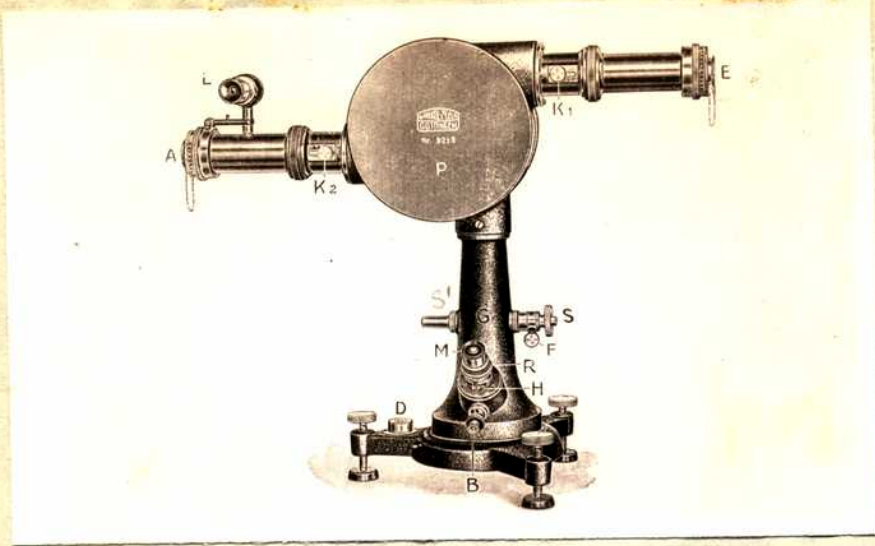


fig 13

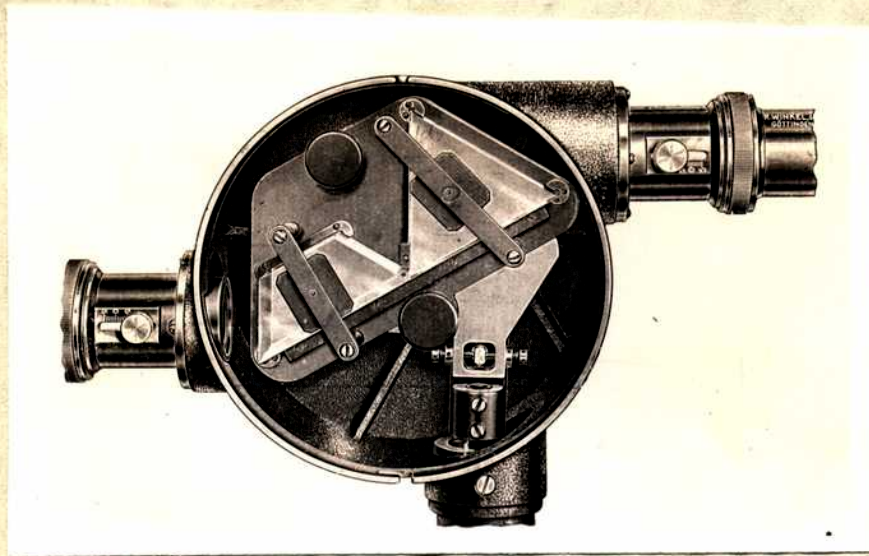


fig 14

yuxtapuestos verticalmente unos a otros.

El ajuste de la longitud de onda se efectúa mediante el tornillo S y la lectura de dicha longitud se realiza mediante el ocular M por el que se observa una escala de longitudes de onda iluminada mediante una lamparilla eléctrica. El tornillo S hace girar los prismas en un plano perpendicular a la arista refrigente, lo que permite variar la longitud de onda emergente por la ranura de salida, entre

////

los límites 4000 y 8000 Å. La longitud del espectro emergente es de 7,6 mm.

Cada una de las monturas de las dos lentes colimadoras posee un índice que se desplaza sobre una escala graduada. Para cada longitud de onda a utilizar, dicho índice debe estar en la posición dada por una tabla que suministra el fabricante. La construcción del instrumento es tal que, estando ambos índices en la división cero, ambos colimadores están enfocados para la línea amarilla del sodio. (5893 Å).

El ancho de las ranuras de entrada y salida se ajusta de acuerdo a la pureza del espectro deseada.

Se verificó la exactitud de la escala de longitudes de onda por comparación con el espectro de líneas del mercurio.

Principio general de los potenciómetros utilizados.

Los potenciómetros utilizados se basan en el método de oposición de Poggendorff para la medición de fuerzas electromotrices. El principio de este método está representado esquemáticamente en la Fig. 15 (pág. 36). Siempre que $e < E$, es posible hallar una posición del cursor C, para la cual no fluye corriente a través del galvanómetro G. En esas condiciones se cumple que: $\frac{e}{E} = \frac{r}{R}$

En la práctica, la fuerza electromotriz e_x a medir se compara con una fuerza electromotriz e_n que se toma como patrón; esta fuerza electromotriz patrón es generalmente la de una pila Weston. En estas condiciones se tiene que: $\frac{e_n}{e_x} = \frac{r_n}{r_x}$.

Los potenciómetros se construyen de modo que sean instrumen-

fig. 15

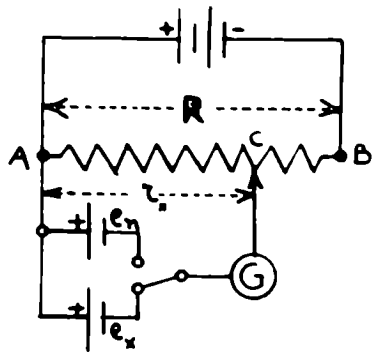


fig. 16

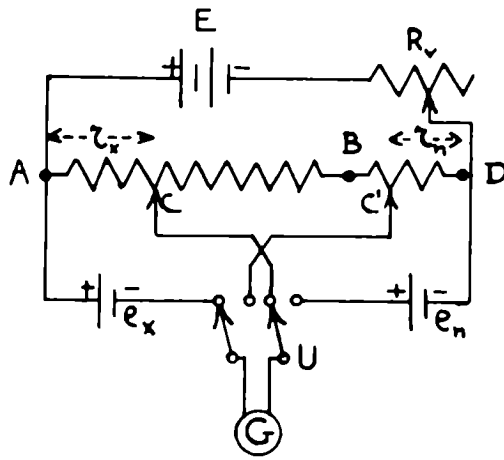
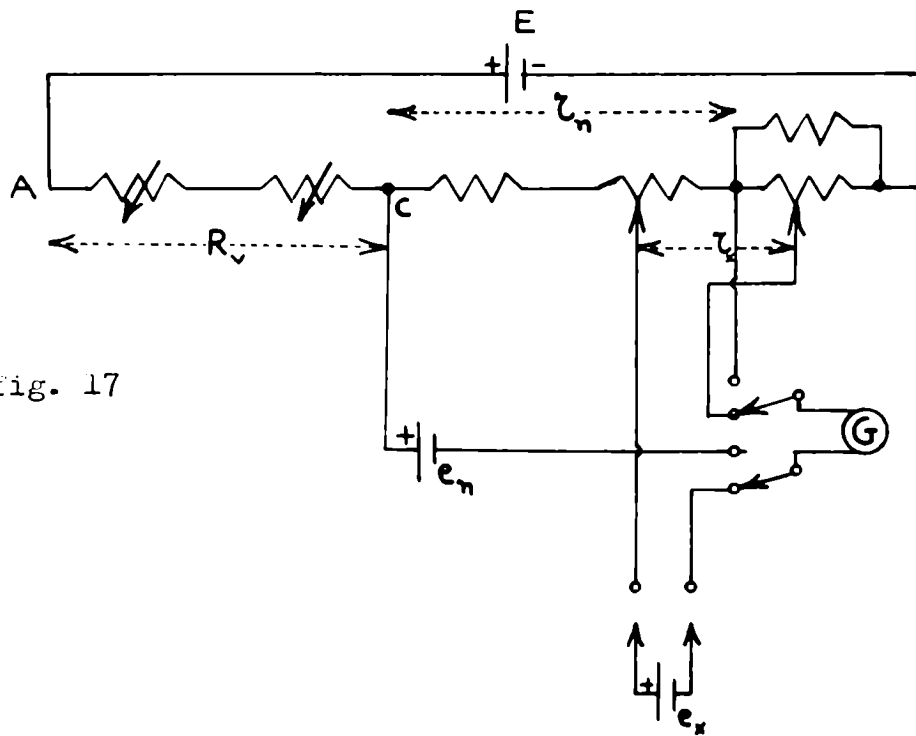


fig. 17



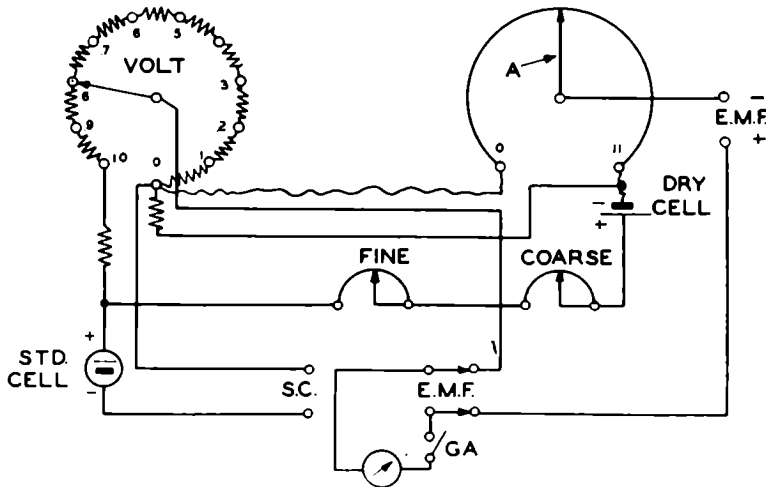
tos a lectura directa haciendo que la corriente que circula a través de la resistencia R sea una fracción decimal entera de la unidad de corriente (10^{-3} o 10^{-4} A). En estas condiciones la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia es, a menos de la coma, numéricamente igual al valor óhmico de la misma. El ajuste del potenciómetro se efectúa entonces haciendo r_n numéricamente igual al potencial de la pila patrón y ajustando el valor de la resistencia R mediante un reóstato auxiliar R_v (fig. 16) hasta obtener equilibrio. El valor r_x que se obtiene en estas condiciones da directamente el potencial e_x .

Cuando se trata de medir una única fuerza electromotriz es adecuado el circuito de la figura 15, pero cuando es necesario efectuar una serie de mediciones es necesario verificar cada tanto la constancia del valor de la intensidad de la corriente circulante. Ello se efectúa en los aparatos comerciales utilizando dos resistencias r separadas, una r_n para el ajuste del potenciómetro con la pila patrón y otra resistencia r_x para la medición, como puede verse en la fig. 16. La posición de la doble llave inversora a la derecha (posición "ajuste") intercala la pila patrón en el circuito, permitiendo el ajuste del aparato, y la posición de dicha llave a la izquierda (posición "medición") desconecta la pila patrón e intercala la pila cuya fuerza electromotriz se quiere medir.

En algunos modelos de aparatos comerciales, como por ejemplo el potenciómetro Leeds & Northrup modelo N° 7655, parte de la resistencia r_x es también parte de la resistencia r_n (ver fig. 17), por lo demás el principio de operación es idéntico.

En el potenciómetro Leeds & Northrup, la resistencia r_n está constituida por: 1) un juego de 10 resistencias iguales que se puede

intercalar en el circuito en número arbitrario mediante una llave selectora de 11 posiciones; 2) una resistencia continuamente variable constituida por un cursor (A en la fig. 18) que se desliza sobre un alambre homogéneo. La posición de la llave selectora da directamente



los décimos de voltio, mientras que una escala graduada que se mueve conjuntamente con el cursor A, da directamente los centésimos y milésimos de voltio (valor mínimo de la graduación de la escala y límite de precisión del instrumento) (Obsérvese que el circuito de la fig. 18 es idéntico al de la fig. 17).

fig. 18

Potenciómetro Leeds & Northrup.

El potenciómetro Leeds & Northrup modelo 7655 (figs. 18 y 19) es el instrumento que se utiliza para medir la diferencia de potencial entre los bornes de la lámpara patrón de intensidades luminosas. A pesar de que la baja resistencia interna de dicha lámpara (posee una tensión normal de trabajo de 10V y una corriente normal de 7,5 A) permitió durante los ensayos el empleo de un buen voltímetro para medir la diferencia del potencial de la lámpara, se utiliza el potenciómetro, por la mayor precisión con que se obtienen las medidas. El potenciómetro utilizado está destinado a mediciones de pH, en sistemas cuya resistencia interna no pase de 10.000 ohmios. Su alcance má-

ximo es de 1,11 V. Viene montado con una unidad dentro de una caja de madera, conteniendo en su interior, además del circuito potenciométrico en sí el galvanómetro de "cero", una pila patrón y una pila seca de 1,5V.

Abriendo la tapa del aparato aparece el tablero cuya disposición está indicada en la figura 19 y cuyo esquema de conexiones se ve en las figs. 17 y 18.

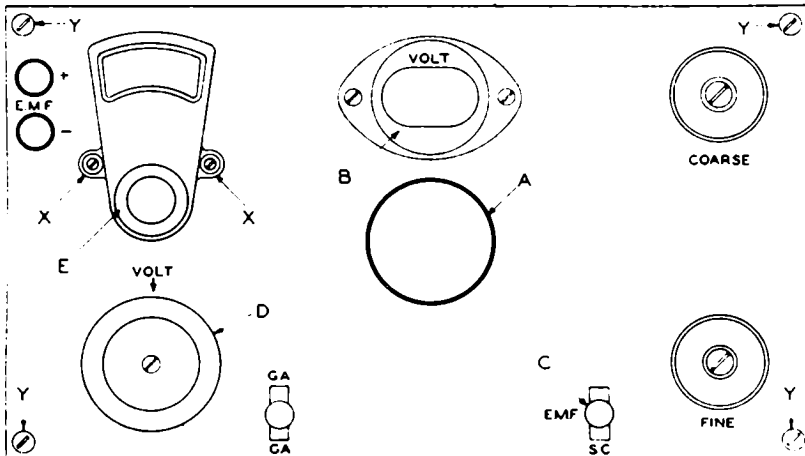


fig. 19

En la fig. 19, es la perilla de "puesta en cero mecánico" del galvanómetro; D es la perilla que mueve la llave selectora en la que se lee los décimos de voltio; A es la perilla que mueve el cursor correspondiente a las fracciones menores y B: es la ventanilla a través de la

cual se efectúan las lecturas correspondientes. La llave de dos posiciones C sirve, en su posición S C, conjuntamente con los reóstatos "Coarse" y "Fine" (R_v de la fig. 17) para la puesta a punto por comparación con la pila patrón. Para efectuar las mediciones, dicha llave debe estar en la posición EMF; la llave marcada con GA es la que conecta el galvanómetro al circuito. Durante la calibración esta llave se mueve hacia arriba; durante las mediciones, hacia abajo.

Debido a que el alcance normal del potenciómetro Leeds & Northrup es de sólo 1,11 voltios, para aumentar su alcance se utiliza una resistencia divisora de tensión Siemens y Halske de alta precisión, de 100.000 ohmios con derivaciones a los 100; 1000; y 10.000 ohmios, que forma parte (como accesorio) del compensador de Haps.

El potencial a medir se aplica a los extremos de la resistencia de 100.000 ohmios y el potenciómetro a una de las derivaciones, extendiéndose de este modo el alcance del instrumento en un factor de: 10, 100 o 1.000, según que se efectúe la conexión en la derivación de: 10.000; 1.000 o 100 ohmios respectivamente.

Esta manera de extender el alcance de un potenciómetro sólo es adecuada cuando la fuente cuya diferencia de potencial se desea medir, (lámpara patrón) posee una resistencia interna pequeña comparada con la resistencia divisora de tensión. No siendo así; o, cuando se utiliza el potenciómetro como fuente de un potencial bien conocido para oponer a otro desconocido en un método de "cero" (caso de la presente medición de la corriente fotoeléctrica mediante el potenciómetro de Haps, en que, además, la resistencia es de 10^9 ohmios) la única manera de aumentar el alcance de medida del potenciómetro consiste en aumentar el valor de la corriente que circula por el circuito.

Potenciómetro compensador de Haps (16)

El potenciómetro compensador de Haps se caracteriza por poseer varios juegos de resistencias en décadas. Estos juegos de resistencias se van ajustando sucesivamente, dando los sucesivos decimales de la fuerza electromotriz a medir. El esquema del aparato aparece en la fig. 20. Las resistencias r_n y r_x están separadas. La resis-

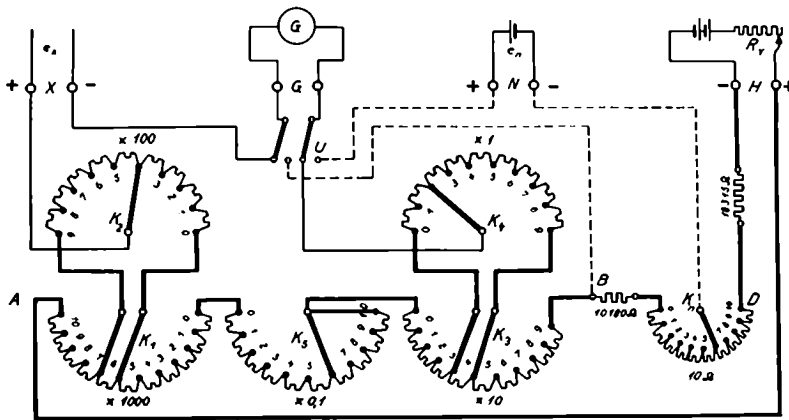


Fig. 20

tencia r_n es la comprendida entre los puntos B y K_n . La resistencia r_x tiene su valor máximo entre los puntos A y B. Para la medición, la resistencia r_x se toma entre los puntos K_2 y K_4 . La posición de la llave selectora K_1

da la primer cifra del potencial a medir. El conjunto de resistencias unidas a la llave K_2 permite tomar una décima parte de la caída de potencial existente entre los extremos de una cualquiera de las resistencias montadas sobre la llave K_1 ; en consecuencia, la posición de la llave K_2 da la segunda cifra decimal (se habla de segunda cifra decimal, porque el alcance máximo de los potenciómetros es en general de 1 voltio). Las resistencias instaladas en la llave K_3 tienen un valor igual a 0,01 de las instaladas en la llave K_1 ; en consecuencia, su ajuste da la tercera cifra decimal. En forma análoga a la llave K_2 , la K_4 da la cuarta cifra decimal. La llave K_5 da la quinta cifra decimal. Puede observarse que la llave K_5 no funciona como potenciómetro, sino como reóstato; sin embargo esto no altera fundamentalmente el ajuste del potenciómetro, dado el pequeño valor de las resistencias conectadas a esta llave, comparadas con la resistencia total del circuito. En la fig. 20 el número situado al lado de cada una de las llaves K_1 indica, en ohmios, el valor de la resistencia conectada entre cada par de topes contiguos.

El ajuste de este potenciómetro se efectúa pasando a la derecha la llave doble inversora U. La resistencia r_n está constituida

por una resistencia fija de 10,180 ohmios y una resistencia ajustable, de ohmio en ohmio, desde 0 hasta un valor de 10 ohmios. Esta última se ajusta de modo que el valor de la resistencia r_n sea un múltiplo decimal entero (10^4) de la fuerza electromotriz de la pila patrón Weston a la temperatura a la cual se está trabajando. El potencial de la pila normal Weston es de 1,0183 voltios a la temperatura de 20°C, siendo una función de ésa. La función es:

$$E_t = 1,0183 \left[1 - 0,0000406(t-20) - 0,00000095(t-20)^2 + 0,00000001(t-20)^3 \right] \text{ volt}$$

La corriente que circula normalmente por el compensador de Raps es de 10^{-4} Amp.

El aparato está construido para ser alimentado mediante dos acumuladores de plomo con un potencial E próximo a los 4 voltios. Es por esta razón que tiene instalada la resistencia de 18.315 ohmios, de modo que la resistencia R_v debe tener un valor de sólo 100 ohmios como máximo, permitiendo así un ajuste suave y preciso.

La disposición del tablero del compensador de Raps, conjuntamente con la disposición real de las conexiones, puede verse en la fig. 21. La diferencia entre este esquema y el anterior está fundamentalmente en el sentido de la numeración de las resistencias, que en el último caso se ha hecho, por comodidad, en valores crecientes de izquierda a derecha. Además, se observa la existencia de una llave T que sirve para conectar el galvanómetro, en forma momentánea o permanente y, ya sea directamente, o a través de una resistencia de seguridad de 50.000 ohmios.

Dada la gran precisión del compensador de Raps, y el pequeño valor de la corriente que circula por el mismo, es necesario utilizar como instrumento de cero un galvanómetro de cero de buena sensibilidad (10^{-9} Amperios).

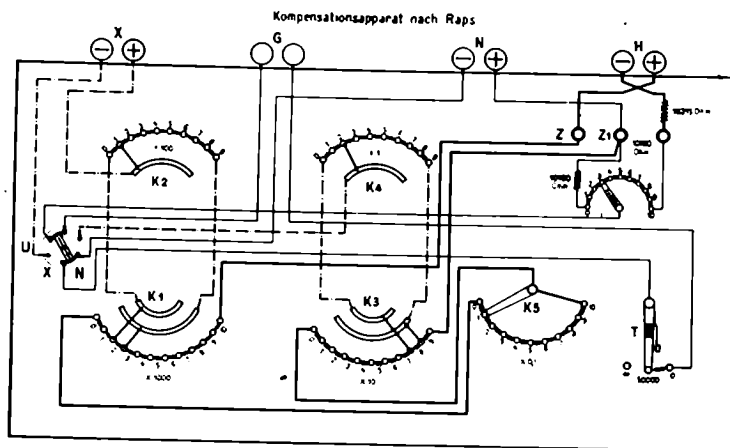


fig. 21.

Utilización del compensador de Raps; Extensión de la escala de medida.

El alcance máximo del compensador de Raps es de 1 voltio, es decir que la diferencia de potencial que aparece entre los bornes X de la fig. 21, es a lo sumo de 1 voltio. Al medir la corriente fotoeléctrica, la caída de potencial sobre la resistencia de 10^6 ohmios es, para las iluminaciones fuertes, del orden de 3 voltios; por consiguiente el potencial en oposición aplicado por el compensador de Raps es insuficiente.

Es posible extender el rango del compensador de Raps (o sea aumentar la máxima diferencia de potencial entre los bornes X), aumentando la intensidad de la corriente que circula por el aparato, para lo cual debe aumentarse proporcionalmente la diferencia de potencial E que se aplica en los bornes H.

Deseando aumentar la escala del aparato cinco veces, se eligió como corriente circulante: 5×10^{-4} Amperios, para lo cual el potencial E debe ser de $4 \times 5 = 20$ voltios. Este potencial puede dis-

minuirse a 12 voltios, suprimiendo la resistencia de 18314 ohmios y colocando, en su lugar un reóstato de 3000 ohmios.

En estas condiciones, la máxima diferencia de potencial que aparece en los bornes X es de 5 voltios. Por la misma razón, la diferencia de potencial que aparece entre los puntos B y K_n no es más $(1,0180 + n)$ voltios, sino 5 veces ese valor. En consecuencia, el ajuste del potenciómetro no puede efectuarse conectando la pila patrón a los bornes N. El ajuste se efectúa conectando la pila patrón a los bornes X y colocando las llaves K_1 en el valor $(1,0180+n)/5 = 0,2036 + n/5$, ajustando luego la resistencia R_v de 3000 ohmios hasta equilibrar el puente. En estas condiciones la corriente circulante es de 5×10^{-4} Ampere.

Galvanómetro utilizado.

El galvanómetro a espejo utilizado como "instrumento de cero" durante la calibración de la lámpara, y como instrumento a lectura directa en el microfotómetro, es un galvanómetro Hartmann y Braun, tipo 150; N° 2687, cuyas características generales son las siguientes:

Circuito eléctrico: es el indicado en la fig. 22.

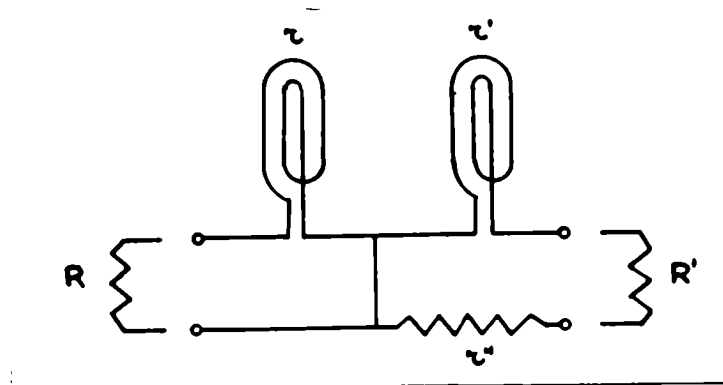


fig 22

Resistencia de los devanados:

Bobina r: 5,2 ohmios
" r': 51 "
" r" + r: 100 "

Resistencias críticas:

de la bobina r : 3 ohmios
" " " r' + r": 500 ohmios

Sensibilidad a la corriente (un mm. de desviación a 1m. de distancia):

Con la bobina r : $3,55 \times 10^{-8}$ amperios
" " " r' : $0,41 \times 10^{-8}$ "

Sensibilidad a la tensión (id., id.):

Con la bobina r (con $R_g = 3$ ohmios) : $0,29 \times 10^{-6}$ voltios
" " " r' (" $R_g = 500$ ") : $2,46 \times 10^{-6}$ "

Para ser utilizado como instrumento de cero, el galvanómetro debe tener gran sensibilidad a la corriente, por lo que se emplea el devanado de alta resistencia interna y se lo amortigua con la resistencia crítica correspondiente a dicho devanado, que es de 500 ohmios.

Al emplear el galvanómetro en el microdensímetro, y debido a que la respuesta a la luz de la célula fotoeléctrica utilizada de sólo es lineal cuando la resistencia externa del circuito es baja, se utiliza el bobinado de baja resistencia. No se coloca en paralelo la resistencia crítica de dicho devanado porque ello disminuye la sensibilidad a la corriente. A fin de amortiguar el galvanómetro sin pér-

dida de sensibilidad, se intercala en el otro bobinado una resistencia igual a su resistencia crítica (500 ohmios).

La observación de las desviaciones del galvanómetro se efectúa (fig. 23) mediante un fino índice luminoso obtenido por proyección de la imagen de una rendija delgada D sobre una escala translúcida de 500 mm., mediante una lente L_2 de foco 1,25 m. En la fig. 23, E_g es el espejo móvil del galvanómetro. Al utilizar el galvanómetro en la calibración de la lámpara, se ajusta el "cero mecánico del galvanómetro" hasta que coincida con el cero de la escala (situado en el medio de la misma), siendo por lo tanto este punto también el "cero" del amplificador.

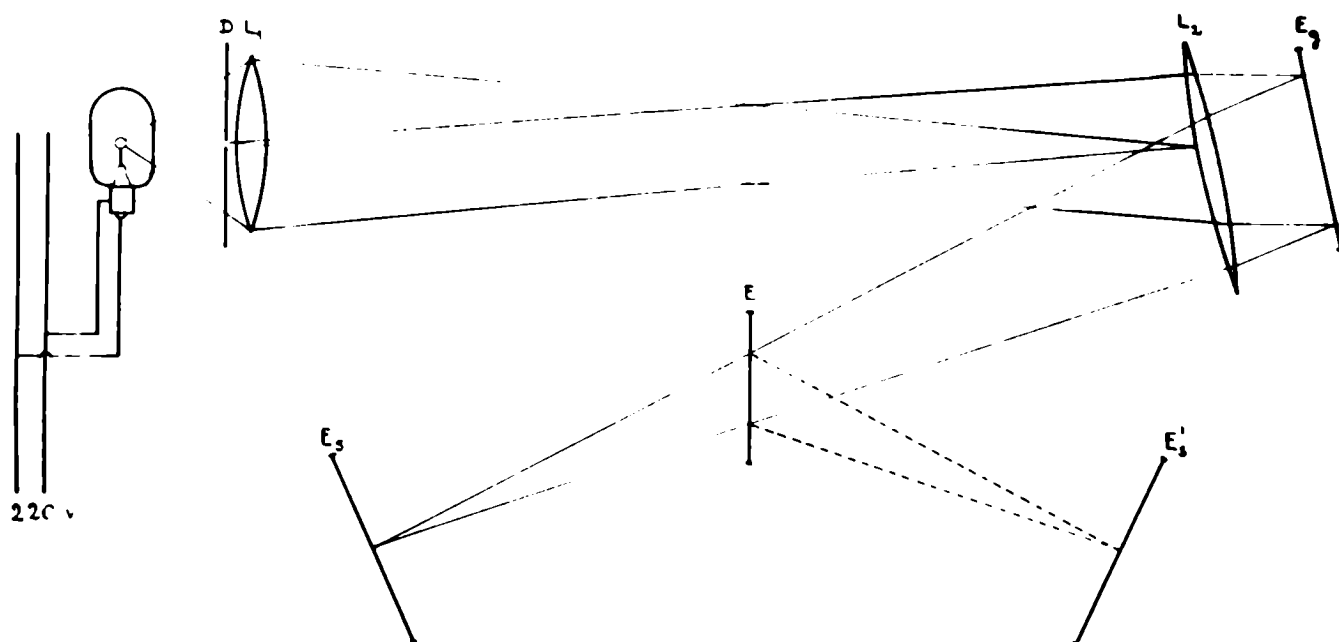
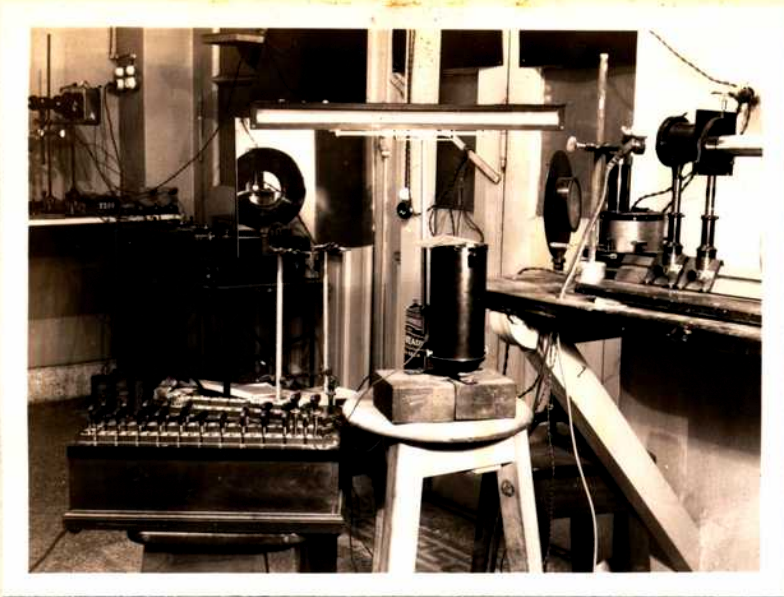


fig. 23

Al utilizar el mismo galvanómetro en el microdensímetro, se instala un espejo auxiliar E (ver figs. 23 y 24), de modo que las des-



viaciones del galvanómetro (cuya posición no se modificó) fuesen visibles para el operador del microden ^{simetro} sobre la escala situada en la posición E'g.

Para desviaciones tan grandes como las presentes al efectuar la microfotometría de los espectros, la escala del galvanómetro no es lineal.

fig 24

Por ello es necesario calibrar el galvanómetro, utilizando el circuito y valores indicados en la Tabla 5. La fórmula:

$$i = \frac{P \times E}{(P+Q) (R+R_g) + P \times Q}$$

que da la corriente que circula por el galvanómetro, se deduce aplicando las reglas de Kirchoff. La deducción (en la que se considera por simplicidad la resistencia del galvanómetro con su resistencia crítica en paralelo, como una unidad llamada resistencia equivalente R_e) es la siguiente:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_g} \quad \frac{R_c + R_g}{R_c \times R_g} \quad \dots \quad R_e = \frac{R_c \times R_g}{R_c + R_g}$$

Por leyes de Kirchoff:

$$\sum i_1 = 0$$

$$\sum R_1 i_1 = E_1$$

• Tabla 2 •

$$P_{\text{total}} = \frac{E \cdot I}{(P+1)(R+1) + 1}$$

Variables:

$P = 0,1$ a $1,0$ Jim

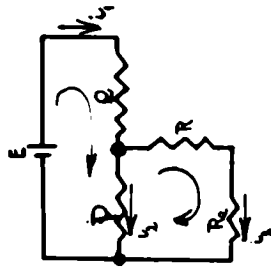
$R = 1,000$ Ohms

$E = 1,000$ V

$I = 100$ Ohms ; $I_C = \frac{R \cdot I}{R + I_C} = \frac{20 \cdot 100}{60 + 100} = 83,3$ Ohms

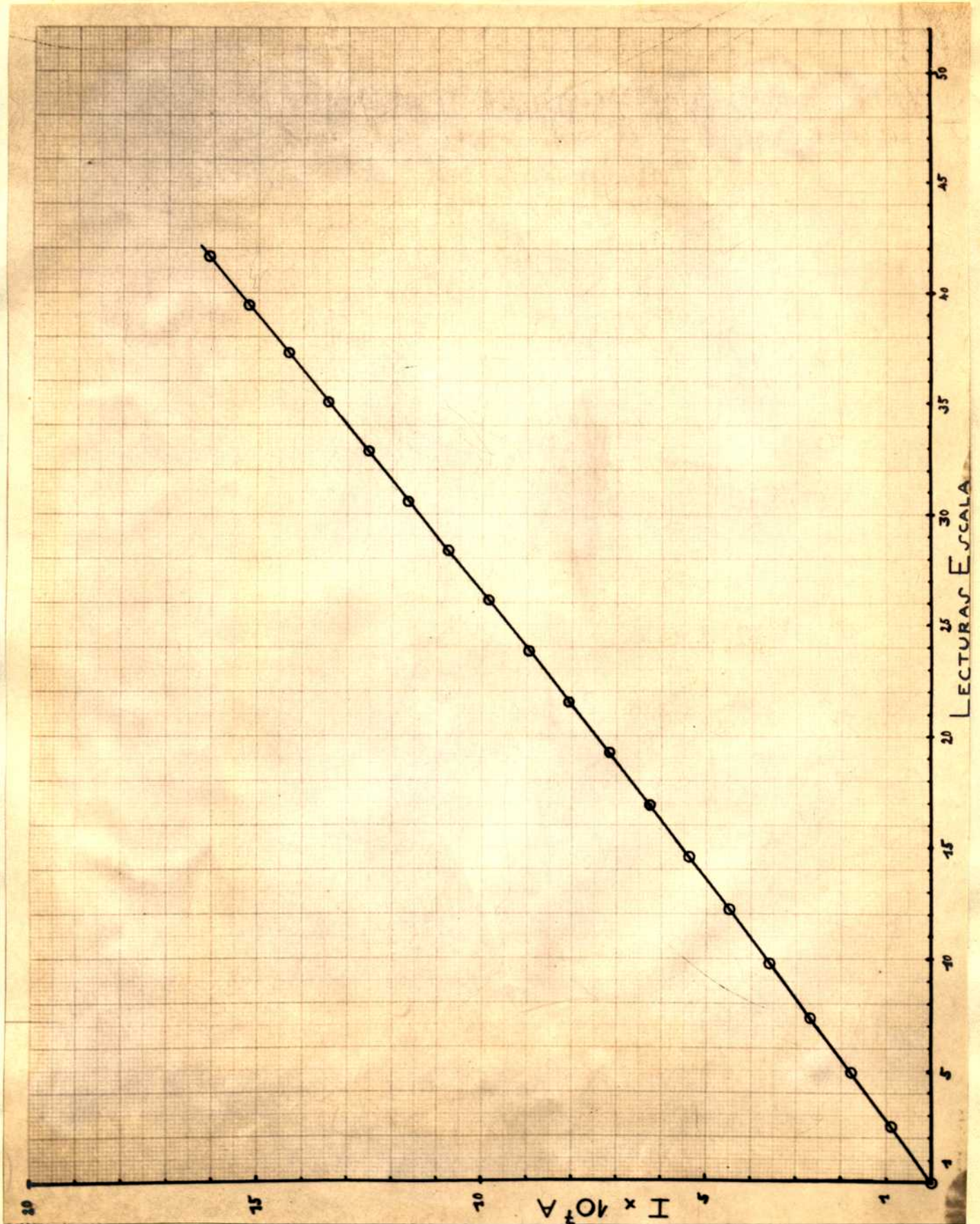
$I = 1,458$ V

$$I = \frac{1,458 \times 100}{(1+100)(1.000+1) + 1} = \frac{1,458 \times 100}{2553,3 + 1.600,000}$$



P _{total} (1)	Desviación o galvanómetro				20 - p.p.m. (8)	
	Numerador (2)	Denominador (3)	(i.c.) ⁷ A (4)	Antes de (5)		Antes de vuelta a cero (6)
0,0	6,0000	6,00000	0,000	+40,00	+2,010	-0,010
0,1	0,1450	1,625260	0,097	+17,51	+17,515	2,705
0,2	0,2916	1,625260	1,724	+19,06	+19,069	4,939
0,3	0,4374	1,625730	2,631	+1,67	+12,65	7,340
0,4	0,5832	1,626040	3,587	+10,28	+10,295	9,745
0,5	0,7290	1,626300	4,489	+7,87	+7,81	12,160
0,6	0,8748	1,626500	5,378	+2,47	+2,45	14,540
0,7	1,0206	1,626820	6,274	+5,15	+3,10	16,005
0,8	1,1664	1,627080	7,169	+1,81	+0,78	19,209
0,9	1,3122	1,627340	8,060	-1,51	-1,52	21,529
1,0	1,4580	1,627600	8,950	-3,80	-3,82	23,010
1,1	1,6038	1,627860	9,852	-6,09	-6,12	20,109
1,2	1,7496	1,628120	10,746	-8,33	-8,37	28,350
1,3	1,8954	1,628380	11,640	-10,56	-10,59	30,575
1,4	2,0412	1,628640	12,535	-12,80	-12,82	32,810
1,5	2,1870	1,628900	13,426	-15,02	-15,04	35,050
1,6	2,3328	1,629160	14,319	-17,22	-17,24	37,290
1,7	2,4786	1,629420	15,212	-19,42	-19,44	39,530
1,8	2,6244	1,629680	16,103	-21,59	-21,599	41,770

fig. 25



P. U. I. P. U. I. P. U. I.

Para el nudo, y la malla (1) y (2), respectivamente:

$$1) \quad i_1 = i_2 + i_3$$

$$2) \quad Q \cdot i_1 + P \cdot i_2 = E$$

$$3) \quad (R+R_0) \cdot i_3 - P \cdot i_2 = 0 \quad ; \text{ De este sistema de 3 ecuaciones,}$$

se despeja i_3 en la siguiente forma:

$$\text{Reemplazando la 1) en 2): } Q \cdot i_2 + Q \cdot i_3 + P \cdot i_2 = E ;$$

$$i_2(Q + P) = E - Q \cdot i_3 \quad \therefore \quad i_2 = \frac{E - Q \cdot i_3}{P + Q}$$

Reemplazando en 3):

$$(R+R_0) i_3 - \frac{P}{P+Q} \cdot (E - Q \cdot i_3) = 0 ; \quad \left[(R+R_0) + \frac{PQ}{P+Q} \right] i_3 = \frac{PE}{P+Q}$$

$$\therefore i_3 = \frac{P \cdot E}{P+Q} \cdot \frac{P+Q}{(P+Q)(R+R_0) + P \cdot Q} = \frac{P \cdot E}{(P+Q)(R+R_0) + P \cdot Q} ;$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$i = \frac{1.458 \times P}{2.583,3 \cdot P + 1.625.000} ; \quad \text{Los resultados obtenidos}$$

son los de la Tabla 5 y fig. 25.

La calibración del galvanómetro se efectúa con el devanado de mayor resistencia, a pesar de haberse utilizado el de menor resistencia para medir la corriente generada por la célula fotovoltaica, pudiéndose ésto hacer ya que para la medición de densidades interesan sólo los valores relativos de las intensidades luminosas (I_0/I).

Se observa que la curva de respuesta del galvanómetro (fig. 25) difiere poco de una recta, pero lo suficiente como para que las

lecturas de las intensidades luminosas se tomen en unidades de corriente a partir de esta curva de calibración, y no en mm. de desviación en la escala, pues ello introduciría un error de 3%, aproximadamente.

Determinación de las constantes empíricas de la curva de calibración de la lámpara de incandescencia.

Las Tablas 1 y 2 (pág. ²⁸⁷29) dan los resultados obtenidos en la calibración de la lámpara. Dicha calibración se efectúa (como ya fué indicado) desde 2,4 hasta 11 voltios, en intervalos de 0,2 voltios, aproximadamente.

La Tabla 1 da los valores obtenidos al efectuar la experiencia con valores crecientes del voltaje de la lámpara, y la Tabla 2 da los valores obtenidos al efectuar la experiencia con valores decrecientes.

La columna 1, que indica el número de orden, da el número total de observaciones n , que es de 103; la columna 2 el voltaje de la lámpara, y la 3 los logaritmos decimales correspondientes. La columna 4 da la intensidad luminosa en unidades arbitrarias y la 5 los logaritmos decimales correspondientes. Las columnas 6, 7 y 8 dan las potencias segunda, tercera y cuarta, respectivamente del \log del voltaje de la lámpara. La columna 9^a da los productos mixtos del logaritmo del voltaje por el logaritmo de la intensidad luminosa y la décima los productos del cuadrado del logaritmo del voltaje por el logaritmo de la intensidad luminosa.

Estos resultados están representados gráficamente en la fig. 11. Como puede verse, el gráfico difiere muy poco de una recta y es

casi con seguridad un arco de parábola. Admitiendo ésto, es posible hallar la ecuación de dicha curva mediante el método de los cuadrados mínimos.

Se supone entonces que la ecuación es del tipo:

$$y = p + qx + rx^2$$

Para este caso, el método de los cuadrados mínimos, da el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\left\{ \begin{array}{l} p \sum x_i^2 + q \sum x_i^3 + r \sum x_i^4 = \sum y_i x_i^2 \\ p \sum x_i + q \sum x_i^2 + r \sum x_i^3 = \sum y_i x_i \\ p \cdot n + q \sum x_i + r \sum x_i^2 = \sum y_i \end{array} \right.$$

Efectuando las sumatorias y reemplazando valores, se obtiene:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 67,95637 p + 58,95564 q + 52,66537 r = 217,16955 & \text{(I)} \\ 81,48228 p + 67,95637 q + 58,95564 r = 249,44021 & \text{(II)} \\ 103 p + 81,48228 q + 67,95637 r = 297,15016 & \text{(III)} \end{array} \right.$$

Multiplicando la primera ecuación por el coeficiente de p de la segunda y restándole la segunda ecuación multiplicada por el coeficiente de p de la primera, se obtiene la siguiente ecuación:

$$185,77175 q + 284,88313 r = 744,41888$$

Procediendo análogamente con las ecuaciones (II) y (III), se obtiene:

$$360,14416 q + 535,19095 r = 1479,86909$$

Esta ecuación constituye, con la anterior, un sistema reducido que resuelto por el método de determinantes da:

$$q = \frac{23.153.48261}{3.178,63618} = 7,300426$$

$$r = \frac{-6.819,76026}{3.178,63618} = -2,147526$$

; Reemplazando estos valores en la III, se obtiene para p el valor:

$$p = -\frac{151,76707}{103} = -1,473467$$

Puede verificarse que estos valores de p , q y r satisfacen también a las ecuaciones I y II.

En consecuencia, la ecuación empírica que más probablemente representa el gráfico de la figura 11 es:

$$\log_{10} I = -1,473467 + 7,300426 \log_{10} V - 2,147526 (\log_{10} V)^2$$

(en los párrafos sucesivos se la denominará: "ecuación característica de la lámpara").

Dicha ecuación, que permite calcular con error probable mínima la intensidad luminosa I correspondiente a un determinado voltaje V de la lámpara, es la que se aplica al utilizar la lámpara para la obtención de las marcas de calibración.

Los valores de la intensidad luminosa I calculados mediante la ecuación empírica de la curva coinciden con los valores determinados experimentalmente a menos de los errores experimentales, por lo que resulta suficiente tomar una función de segundo grado como ecuación empírica de la curva de calibración de la lámpara.

El anterior método de cálculo es especialmente útil cuando se dispone de una lámpara fiel durante cientos de horas de uso, como

sucede con las lámparas construídas especialmente para servir de "standards" de iluminación ⁽³⁾. En la práctica es suficiente construir un gráfico con los valores obtenidos experimentalmente en papel semilogarítmico como en la fig. 11 y utilizar dicha gráfico para la determinación de las intensidades luminosas, evitándose así el trabajo engorroso derivado de la aplicación del método de los cuadrados mínimos.

Obtención de las "marcas de calibración"

Las "marcas de calibración" están constituidas por una serie de espectros situados sobre la placa fotográfica a calibrar (ver figs. 31 y 32) obtenidos variando en forma conocida la exposición de cada uno de ellos mediante la lámpara calibrada. La instalación utilizada para la obtención de las "marcas de densidad" está indicada en la fig. 26, en la que: L presenta la lámpara calibrada conectada a una batería, un reóstato de control y al potenciómetro Leeds y Northrup (con su resistencia divisora de tensión) que es el que mide el voltaje de la lámpara; D es un diafragma circular que limita el flujo luminoso; P_1 y P_2 son dos placas de vidrio difusor que homogeneizan la luz y disminuyen la intensidad luminosa incidente sobre la ranura de espectrógrafo E; P indica la posición de la placa sobre la que se impresionan los espectros "marcas de calibración".

El valor de la exposición de cada espectro está definido únicamente por un voltaje medio (V_m) de la lámpara calibrada, ya que el tiempo de exposición de todos los espectros es el mismo e igual a $60 \cdot 2/10$ seg.- Se elige este valor (que puede ser determinado con ese error con un cronómetro al décimo de segundo) por no ser un tiempo excesivamente largo, factor importante, ya que así se evita inestabi-

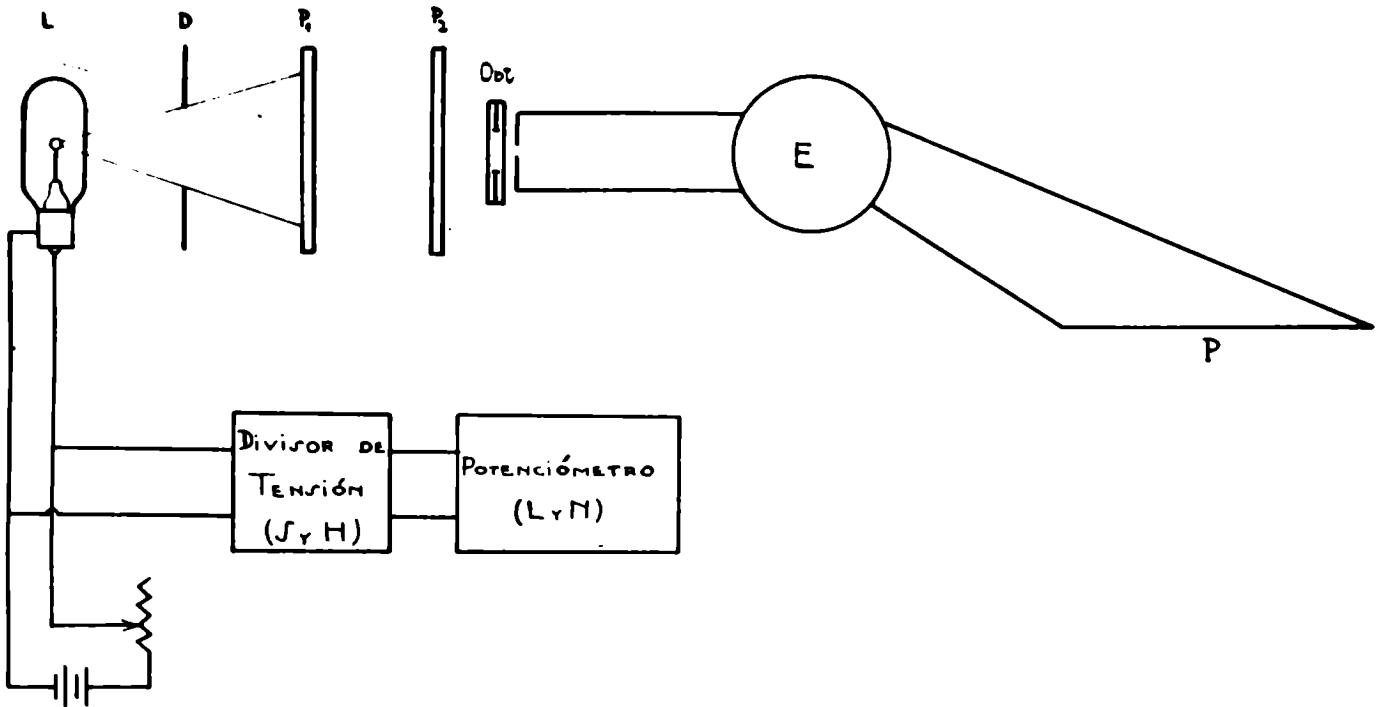


Fig. 26

lidades de la lámpara por descarga de la batería alimentadora, no demorando el total de la experiencia (para la obtención de las "marcas de calibración") más de 45 minutos.

Elegido el tiempo de exposición de la lámpara y de la escala; calibrada esta última respecto al espectro de mercurio; elegido el ancho óptimo de ranura y enfocado el espectrógrafo (todo ello respecto a un espectro de líneas) se procede a sacar una serie de espectrogramas de la luz emitida por la lámpara, ajustando el voltaje de la misma a un valor determinado para cada uno de los espectros.

El ancho utilizado de la ranura del espectrógrafo es el mínimo que produce un espectro de líneas nítido; y el alto fué ajustado de manera que el espectro obtenido tuviera un alto de 6 mm., con lo que se hace mínimo el error debido al grano de la emulsión durante el microfotometraje.

Como por las descargas de las baterías, el voltaje V_L varía, es que se considera un voltaje medio V_M , calculado entre los dos leídos a: 0 seg. y 60 seg. (V_i y V_f respectivamente) de cada exposición.

Es necesario efectuar una serie de tanteos con varias porciones de placa antes de efectuar la exposición definitiva, hasta llegar a obtener sobre una misma placa ^{todo} el rango de ennegrecimientos, entre el apenas perceptible hasta el más intenso, necesarios para construir la curva de calibración.

Para esta operación preliminar, y a fin de prolongar la vida de la lámpara patrón, se utiliza una lámpara auxiliar, gemela de la patrón, alimentada con corriente alternada mediante un transformador reductor de tensión y un "variac" en el primario. El voltaje de la lámpara se lee con un voltímetro para corriente alternada.

Se observa en las figs. 31 y 32 que, para las longitudes de onda elegidas (6000A), el ennegrecimiento de la placa ("aclaramiento" en la copia positiva), pasa desde un valor máximo hasta un valor apenas perceptible en ambos tipos de placas empleadas (Eastman Spectroscopic Plates; Types: III-F y I-F).

En las columnas (2), (3) y (4) de la Tabla 8 están indicados los V_i y V_f medidos y los V_M calculados con los que se impresionó el tipo de emulsión III-F; e, igualmente, en la Tabla 9, los voltajes correspondientes con que se impresionó la placa I-F.

En dichas Tablas 8 y 9, la columna (5) indica las intensidades luminosas I , en unidades arbitrarias calculadas en base a la ecuación característica de la lámpara patrón (ver pg. 53), correspondientes a los voltajes V_M . Dichos cálculos están resumidos en las Tablas 3 y 4, en las cuales: $a = p$; $b = q \log_{10} V_M$; $c = r (\log_{10} V_M)^2$.

Una vez expuesta la placa en la forma indicada, se procede a su revelado, fijado y lavado, operaciones todas efectuadas a la temperatura de $18 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Se utilizó el revelador y fijador ácido de la casa Eastman Kodak, operándose durante el tiempo correspondiente a la temperatura antedicha, dato éste indicado por el fabricante.

Después de fijada, la placa se lava con agua corriente durante una hora, luego se la deja secar espontáneamente y se procede a la microfotometría de cada uno de los espectros resultantes a la longitud de onda de 6000A.

Espectrógrafo utilizado

El espectrógrafo utilizado posee óptica de cuarzo. Es un mo-



delo de la casa Adam Hilger, denominado E3, cuyo aspecto exterior es el de la fig. 27.

Las dos lentes del colimador y objetivo son iguales; tienen un diámetro de 5,1 cm. y una

fig. 27
distancia focal de 61 cm., lo cual corresponde a una abertura numérica de $f: 12$. El prisma es del tipo Cornu de 41 mm. de altura y un ancho de base de 65 mm.

El instrumento da un espectro que se extiende desde 2100 A hasta los 8000 A y que mide 20 cm. El tamaño de la placa empleada es de 10 x 4 pulgadas (25 x 10 cm). La placa es de vidrio delgado a fin de poderse adosar a la superficie interior del chasis, cuya curvatura

a 8 .

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	8,992	8,990	8,993	3438	1,671
2	8,558	8,552	8,555	2923	1,449
3	8,000	8,000	8,003	2337	1,159
4	7,669	7,665	7,662	2010	1,008
5	7,310	7,313	7,317	1707	0,541
6	7,035	7,029	7,032	1478	0,777
7	6,649	6,640	6,643	1196	0,549
8	6,348	6,344	6,346	1005	0,422
9	6,000	5,993	6,000	807	0,285
10	5,726	5,724	5,726	670	0,209
11	5,504	5,500	5,502	569	0,150
12	5,263	5,259	5,261	472	0,101
13	4,986	4,985	4,987	376	0,050
14	4,750	4,728	4,729	298	0,036
15	4,490	4,487	4,489	237	0,020
16	4,243	4,238	4,241	183	0,009
17	3,997	3,993	3,995	138	0,003

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	11,028	11,020	11,024	6351	1,344
2	9,986	9,980	9,983	4756	1,148
3	8,981	8,977	8,979	3421	0,985
4	8,004	7,992	7,998	2332	0,788
5	7,518	7,514	7,516	1878	0,697
6	7,006	6,990	7,002	1455	0,585
7	6,534	6,530	6,532	1122	0,493
8	6,073	5,969	5,971	792	0,370
9	5,600	5,672	5,676	646	0,305
10	5,354	5,350	5,352	507	0,231
11	5,017	5,013	5,015	385	0,154
12	4,607	4,604	4,606	260	0,090
13	4,301	4,363	4,365	209	0,050
14	3,980	3,977	3,979	136	0,035
15	3,603	3,604	3,606	85	0,018

Table 3.

V_m	$\log_{10} V_m$	$(\log_{10} V_m)^2$	c	b	$c + a$	$a - (c+a) =$ $\log_{10} I$	I
8,953	0,95390	0,90993	1,95449	6,96666	3,42756	3,53632	2438
8,955	0,95222	0,90583	1,86627	6,89267	3,33974	3,46206	2923
8,903	0,90325	0,81580	1,79209	6,59411	3,22555	3,36656	2337
7,862	0,88434	0,78226	1,67949	6,45606	3,15296	3,30310	2010
7,317	0,86433	0,74707	1,60434	6,30998	3,07781	3,23217	1707
7,032	0,84708	0,71732	1,54095	6,18464	3,01441	3,16863	1478
6,643	0,82236	0,67628	1,45222	6,08358	2,92679	3,07779	1196
6,346	0,80250	0,64404	1,38302	5,99559	2,85649	3,00210	1005
6,000	0,77815	0,60932	1,31036	5,93083	2,77383	2,90700	807
5,726	0,75785	0,57434	1,23340	5,87263	2,70687	2,82576	670
5,502	0,74052	0,54837	1,17764	5,81611	2,65111	2,75501	569
5,261	0,72107	0,51994	1,11659	5,76412	2,59006	2,67406	472
4,987	0,69784	0,48698	1,04580	5,70943	2,51927	2,57536	376
4,725	0,67477	0,45332	0,97730	4,98611	2,45127	2,47484	298
4,489	0,65245	0,42530	0,91334	4,78097	2,38681	2,37416	237
4,241	0,62747	0,39372	0,84952	4,58080	2,31699	2,26181	183
3,955	0,60152	0,36183	0,77703	4,39105	2,25050	2,14085	138

Table 4.

V_m	$\log_{10} V_m$	$(\log_{10} V_m)^2$	c	b	$c + a$	$b - (c+a) =$ $\log_{10} I$	I
11,024	1,04234	1,08647	2,33323	7,60952	3,80669	3,80283	120
9,983	0,99826	0,99852	2,14435	7,29502	3,61782	3,67721	175
8,979	0,95323	0,90865	1,95134	6,95836	3,41481	3,52417	143
7,996	0,90298	0,81537	1,75104	6,59214	3,22450	3,36764	183
7,510	0,87599	0,76736	1,64792	6,39510	3,12139	3,27371	1878
7,002	0,84522	0,71440	1,53419	6,17047	3,00762	3,16281	1455
6,532	0,81505	0,66431	1,42662	5,95021	2,90008	3,05013	1122
5,971	0,77605	0,60225	1,29336	5,66550	2,76682	2,89867	798
5,670	0,75404	0,56858	1,22103	5,50481	2,69450	2,81031	646
5,352	0,72852	0,53074	1,13978	5,31851	2,61325	2,70526	507
5,015	0,7027	0,49038	1,05310	5,11227	2,52627	2,58970	385
4,606	0,66332	0,43959	0,94490	4,84252	2,41836	2,42416	266
4,365	0,63998	0,40957	0,87957	4,67213	2,35304	2,31909	209
4,175	0,59977	0,35972	0,77252	4,37858	2,24598	2,13259	136
3,606	0,55703	0,31028	0,66634	4,06656	2,13981	1,92675	85

coincide con la superficie focal del instrumento.

El chasis se desplaza verticalmente por un sistema de piñón y cremallera, lo que permite efectuar varias exposiciones, obteniéndose una sucesión de espectros, uno debajo de otro. El espectrógrafo posee una escala translúcida, graduada en longitudes de onda, montada interiormente de tal modo que, mediante una manivela exterior puede adosarse la escala a la placa. Iluminando la escala, mediante una lámpara auxiliar montada en el interior del aparato, se obtiene sobre la placa una copia de contacto de la escala.

Los ajustes que es necesario efectuar en este instrumento son: ancho óptimo de ranura a utilizar; enfoque de la lente colimadora sobre el plano de la ranura, y calibración de la escala de longitudes de onda. Todo ello se efectúa mediante una lámpara de mercurio de baja presión hasta tanto obtener un espectro de líneas nítido, cuyas longitudes de onda son utilizadas para verificar la correcta posición de la escala.

Microfotometría de las "marcas de calibración".

La medición del ennegrecimiento de la placa fotográfica en cada uno de los espectros fotografiados y a la longitud de onda de 6000 Å se efectúa con el dispositivo indicado esquemáticamente en la figura 28 y cuya vista de conjunto es la de la fig. 29.

Debido a la carencia de un instrumento comercial, fué necesario armar uno, utilizando para ello el material del banco óptico Zeiss y un microscopio Leitz, entre otras cosas.

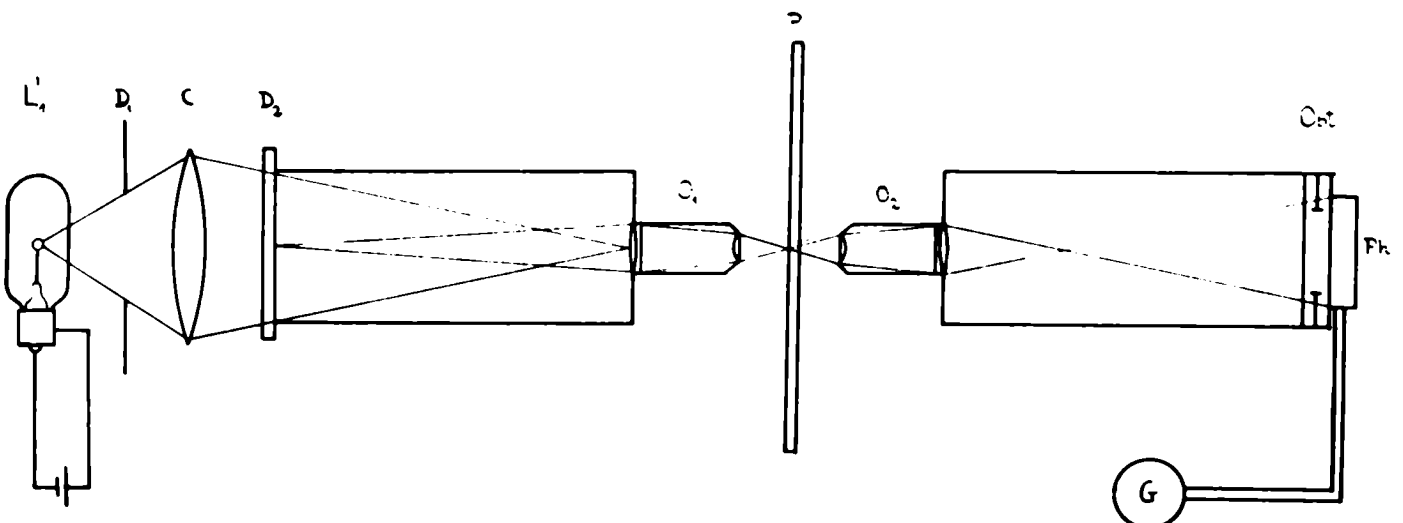
En un principio se intentó utilizar como instrumento receptor medidor de la energía luminosa, una termocupla Zeiss. Este instrumen-

to resultó de una sensibilidad suficiente para esta aplicación, pero posee una enorme inercia que lo hace muy poco práctico, teniendo en cuenta la gran cantidad de mediciones que deben efectuarse. En base a esto se utiliza en su reemplazo una célula fotovoltaica Weston, cuya curva de respuesta en las condiciones en que se la utiliza, es absolutamente lineal.

Una vez montado el microscopio monocular bien rígido en su posición horizontal, se montan y ajustan todos los demás elementos del microdensímetro.

La siguiente es la descripción del tipo de instrumento no registrador utilizado:

La fuente de luz L_1' es una lámpara de proyección de cine sonoro, gemela de la utilizada como patrón, alimentada por una batería de acumuladores de hierro-níquel de 10 voltios. El brillo después de una hora de encendido, permanece constante, lo cual se verifica con el mismo instrumento. D_1 es un diafragma iris. El filamento de la lámpara se sitúa vertical y, después de concentrada la luz mediante una lente condensadora C se proyecta mediante el objetivo de microscopio O_1 , (de distancia focal ~ 2 cm) la imagen del diafragma de ranura D_2 sobre el



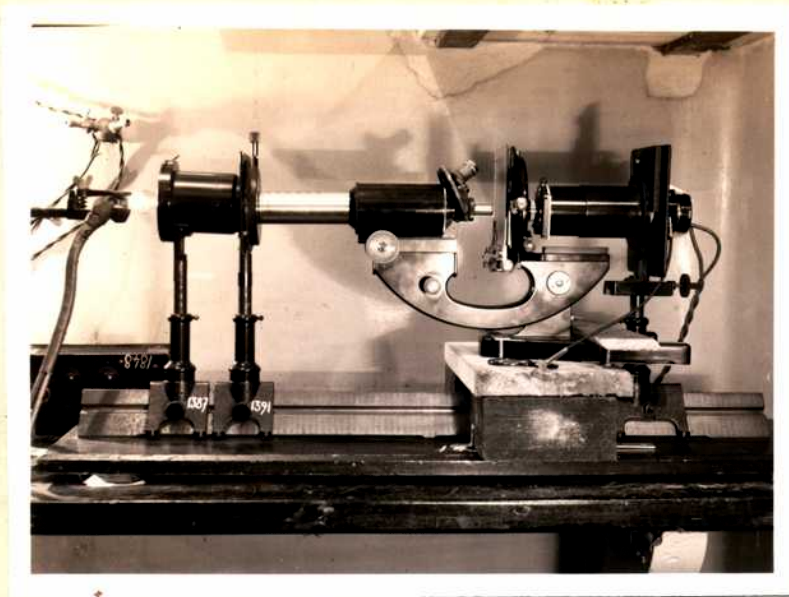


fig. 29

rada en la célula fotoeléctrica va al devanado de baja resistencia (5,2 ohmios) del galvanómetro G.

En la fig. 29, se observa el montaje total del microfotómetro. De izquierda a derecha se vé: La lámpara encendida, la lente condensadora con su diafragma iris (marcada con el número 1387); el diafragma de ranura N° 1391); el microscopio Leitz montado en posición horizontal provisto de platina de movimiento micrométrico; y el tubo que soporta: el objetivo O_2 , el obturador fotográfico y la célula Weston; provisto también de un movimiento micrométrico.

El obturador Obt. permite verificar en cualquier instante el "cero mecánico del galvanómetro" (cerrando el obturador, el índice luminoso se sitúa a la extrema derecha de la escala translúcida en la división: + 20); y además, mediante su diafragma iris es posible ajustar la cantidad de luz incidente sobre la célula fotoeléctrica de modo que, en la posición de "Placa clara", la indicación del galvanómetro coincida con la división extrema izquierda (-20) de la escala (posición "cero del densímetro"; placa clara de Tablas 6 y 7).

lado de la gelatina de la placa espectrográfica P. Otro objetivo semejante, O_2 proyecta una imagen de la porción iluminada del espectro sobre una célula fotoeléctrica fotovoltaica Ph., delante de la cual hay un obturador Obt..

La corriente gene-

La placa espectrográfica se monta sobre la platina del microscopio de movimiento universal micrométrico, de modo de obtener un desplazamiento horizontal para buscar las longitudes de onda, y vertical para elegir los espectros (La placa se coloca de modo que los espectros "marcas de densidad" están situados horizontalmente).

Para verificar el buen ajuste del movimiento vertical de la platina del microscopio, se traza sobre la placa una línea de referencia que une las dos marcas de la escala de longitudes de onda correspondientes a los 5000Å (visibles como una línea blanca en las figs. 31 y 32).

El movimiento vertical de la platina se ajusta de modo que el desplazamiento se mantenga paralelo a esa recta.

Se ilumina la placa con un alto de imagen de ranura de 5 mm. , de modo que el "error por grano" es mínimo; el ancho es del orden del 1/10 mm., dimensión mínima que no produce efecto de difracción.

La fotocélula se encuentra en un tubo hermético a la luz exterior que no sea la que entra por el objetivo O_g .

A fin de eliminar toda luz que no sea la emergente de la zona de interés de la placa, se mantienen las distintas partes del instrumento en cámaras oscuras, iluminando sólo el área a "fotometrear" y trabajando en la penumbra. La disposición de la ranura entre la fuente luminosa y la placa ^{disminuye} ~~minimiza~~, además, el error por defecto en la lectura de densidades, error que se produciría de existir el efecto Schwarzschild-Villiger.

Como todo tipo de microfotómetro, este instrumento requiere un tiempo de alrededor de una hora, previo a las mediciones, para entrar en régimen.

Puesto a punto el microdensímetro, y utilizando la curva de calibración del galvanómetro (fig. 25), se procede a calcular los ennegrecimientos de cada una de las "marcas de calibración" a la longitud de onda de 6000Å, a partir de las deflexiones leídas, considerando el "cero del densímetro" a la extrema izquierda de la escala del galvanómetro (Posición "Placa clara").

Los resultados obtenidos, correspondientes a los tipos de emulsión III-F y I-F, están dados en las Tablas 6 y 7.

La columna (2) de dichas tablas, indica las deflexiones (promedio de 5 lecturas) leídas considerando el cero de la escala en el punto medio de la misma; la (3) si se lo toma a la extrema izquierda. En la curva de calibración del galvanómetro se leen los valores de intensidad de corriente correspondientes, los que están indicados en la columna (4). Por ser, como se ha dicho, la respuesta de la fotocélula Weston, lineal respecto de la intensidad luminosa incidente, es que los valores de la columna (4) se consideran proporcionales a la intensidad luminosa transmitida por la parte iluminada de la placa. Se toma como valor I_0 no la intensidad luminosa incidente sobre la placa, sino la transmitida por la parte clara elegida de la placa (su valor se verifica constante a lo largo de toda la medición, e igual a 15,47 unidades arbitrarias de intensidad luminosa).

La columna (5) da los valores de I_0/I correspondientes a cada "marca de calibración"; y la (6) sus logaritmos decimales, que constituyen las densidades de ennegrecimiento correspondientes ($d_{6000Å}$).

Curva característica de la célula fotovoltaica empleada.

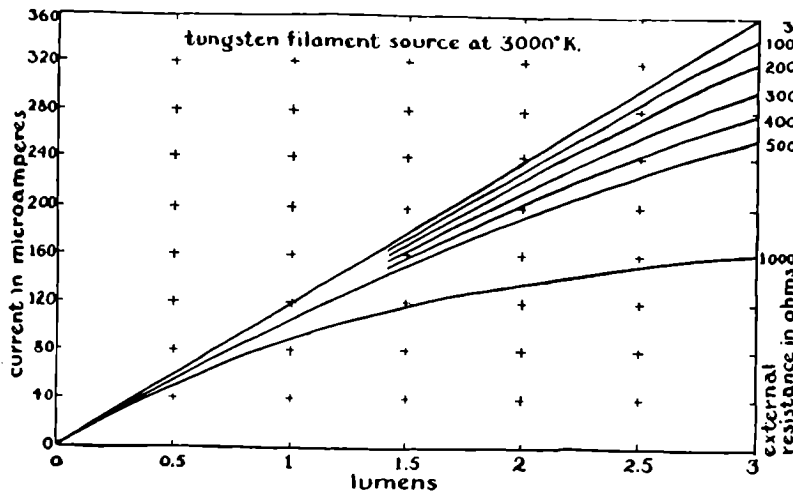
La fig. 30 representa la respuesta de una célula del tipo fo-

Espectro Nº: (1)	A: Desviación (promedio 5 lecturas) (2)	20 - A (3)	I: de curva de calibra- ción (4)	$\frac{I_0}{I}$ (5)	$d = \log_{10} \frac{I_0}{I}$ (6)
..ciara	-20,00	40,00	15,47	1,000	0,000
1	19,10	0,90	0,33	46,9	1,671
2	18,47	1,53	0,55	28,1	1,448
3	17,24	2,76	1,00	15,47	1,180
4	16,00	4,00	1,45	10,67	1,070
5	14,20	5,80	2,18	7,096	0,850
6	12,14	7,86	2,90	5,335	0,770
7	8,19	11,86	4,37	3,540	0,550
8	4,24	15,76	5,85	2,644	0,440
9	-1,40	21,40	8,03	1,927	0,280
10	-5,33	25,33	9,57	1,617	0,220
11	-8,86	28,86	10,95	1,413	0,180
12	-12,09	32,09	12,25	1,263	0,140
13	-15,38	35,38	13,60	1,138	0,090
14	-17,00	37,00	14,25	1,086	0,070
15	-18,22	38,22	14,77	1,047	0,050
16	-19,24	39,24	15,15	1,021	0,040
17	-19,70	39,70	15,35	1,008	0,030
18	-20,00	40,00	15,47	1,000	0,000

Tabla 7.

Espectro Nº: (1)	A: Desviación (promedio 5 lecturas) (2)	20 - A (3)	I: de curva de calibra- ción (4)	$\frac{I_0}{I}$ (5)	$d = \log_{10} \frac{I_0}{I}$ (6)
..ciara	-20,00	40,00	15,47	1,000	0,000
1	18,09	1,91	0,70	22,1	1,344
2	17,03	2,97	1,10	14,06	1,148
3	15,61	4,39	1,60	9,669	0,985
4	13,16	6,84	2,52	6,139	0,788
5	11,60	8,40	3,11	4,974	0,697
6	9,14	10,86	4,02	3,848	0,585
7	6,55	13,45	4,97	3,113	0,495
8	2,31	17,69	6,60	2,344	0,378
9	-0,45	20,45	7,67	2,017	0,307
10	-4,08	24,08	9,08	1,704	0,251
11	-8,65	28,65	10,85	1,426	0,154
12	-12,52	32,52	12,42	1,246	0,099
13	-15,22	35,22	13,53	1,143	0,058
14	-17,84	37,84	14,60	1,060	0,029
15	-18,46	38,46	14,85	1,042	0,022
..ciara	-20,00	40,00	15,47	1,000	0,000

tovoltaico (Weston Photronic) para diversos valores de la resistencia



del circuito exterior (7). Para un valor de 5,2 ohmios de la misma, la curva característica es lineal. Teniendo en cuenta, además, que la célula es utilizada en el microdensímetro con bajas intensidades de iluminación queda justificada

fig 30

la suposición acerca de la absoluta linealidad de la célula fotoeléctrica fotovoltaica.

Termocupla ensayada

La termocupla que se intentó utilizar en las mediciones de energía radiante durante la calibración de la lámpara y en el microdensímetro, es el así llamado "elemento termoeléctrico simple para fotometría espectral" de la casa Carl Zeiss. Consta de un elemento termoeléctrico montado al aire, provisto de un reflector cóncavo dorado, con tornillo y anteojo de enfoque, todo cerrado dentro de una caja cilíndrica, provista por delante de un diafragma de ranura de precisión, y ventanas intercambiables (vidrio, cuarzo, fluorita). La caja puede ser montada sobre un pedestal con movimiento micrométrico.

Este elemento termoeléctrico, utilizando conjuntamente con el galvanómetro Hartmann y Braun modelo 150 (que es el recomendado por la casa Zeiss) resulta de una sensibilidad insuficiente como para ser uti-

lizado para medir la energía radiante de la lámpara calibrada, emergente del monocromador.

En el caso del microdensímetro, la energía disponible es mucho mayor, pudiéndose utilizar el termoelemento, pero su gran inercia térmica lo hace muy poco práctico y fácilmente sujeto a errores (Basta toca por un instante la envoltura de la termocupla para que el galvanómetro sufra una desviación que no desaparece sino al cabo de un cuarto de hora, aproximadamente).

Por todos estos motivos es que se emplea en el microdensímetro una célula fotovoltaica, que resulta adecuada para el caso, ya que no se necesita determinar ni valores absolutos de intensidad luminosa, ni emplear un elemento detector de las radiaciones que sea igualmente sensible para todas las longitudes de onda (como sucede, aproximadamente con los termoelementos.)

III) RESULTADOS EXPERIMENTALES

Determinación de la función: $d_{6000A} = f(E_{6000A})$

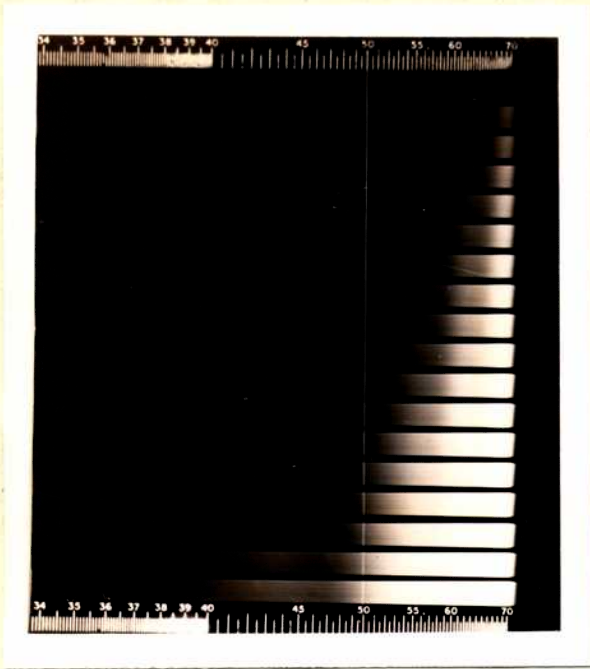


fig 31

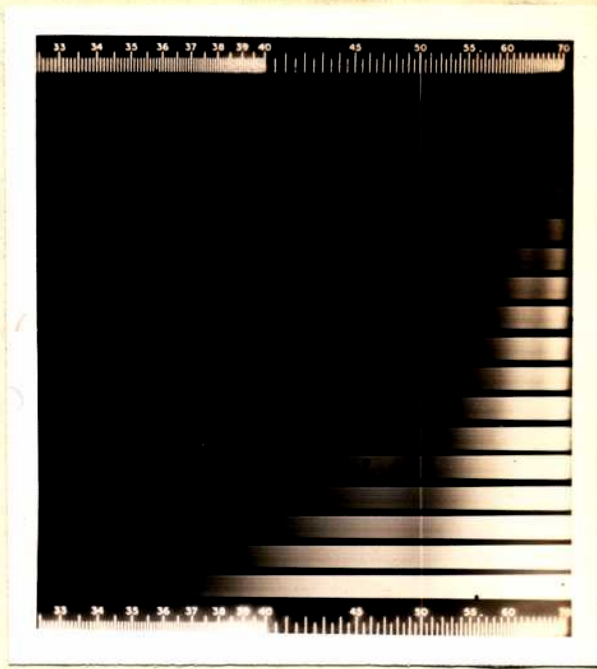


fig 32

En la columna (4) de las ^{Tablas} 8 y 9 pág. 58 están indicados los voltajes medios V_m , de la lámpara calibrada, que fueron los utilizados para obtener las "marcas de calibración" (figs. 31 y 32) correspondientes a los tipos de emulsión: III-F y I-F, respectivamente.

Mediante la ecuación característica de la lámpara patrón, se determina las intensidades luminosas relativas I , correspondientes a dichos voltajes V_m , valores que constituyen la columna (5).

La columna (6) transcribe los valores de las densidades d de las "marcas de calibración" calculados a partir de los datos incluidos en las Tablas 6 y 7. Como el tiempo utilizado para exponer ambos tipos de placas(III-F y I-F) es constante dentro del 0,5%, los valores de la columna (6) representan las exposiciones relativas E , con que se

////

exponen las placas.

Con la serie de valores de las columnas (5) y (6) se construye la curva de calibración: $d-\log_{10} E$ de los dos tipos de emulsión empleadas: III-F y I-F (figs. 33 y 34).

La emulsión del tipo I-F es rápida, por lo que posee mayor fondo químico, mayor grano y menor contraste que la III-F (que es lenta), factores todos aquellos que limitan la precisión de las mediciones fotométricas.

La menor suavidad en el aspecto de la curva $d-\log_{10} E$ obtenida para el tipo I-F, indica la presencia de errores accidentales (mayores en magnitud que para la III-F) debidos a las características anteriormente mencionadas y a la mayor inhomogeneidad del fondo químico de la emulsión. (15)

En las curvas indicadas en las figs. 33 y 34 no se observa la región de sobre-exposición, ya que el rango de intensidades de la lámpara patrón, a pesar de ser grande, no permite determinarla con un valor único del tiempo de exposición. Esto no constituye un inconveniente, pues el rango de densidades representado es el único de interés en la práctica, por lo que es necesario determinarlo con la mayor cantidad posible de puntos. La determinación de una curva de calibración completa sobre una única placa efectuada exponiendo ésta con la lámpara patrón durante dos tiempos de exposición (1 y 5 minutos, p.ej), da como resultado una menor precisión en la parte lineal de la curva $d-\log_{10} E$, por estar los puntos experimentales más distanciados entre sí.

fig. 33

fig. 33

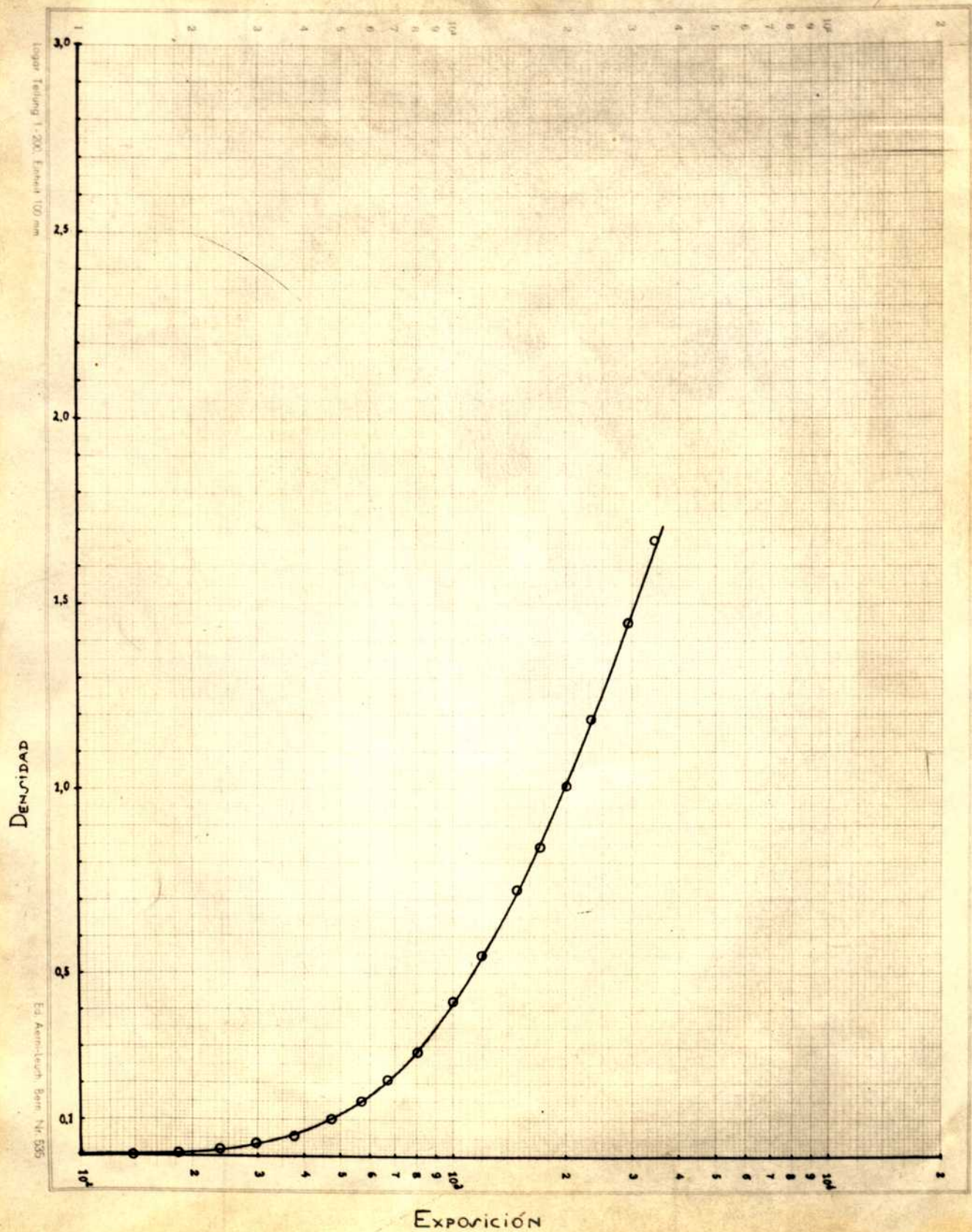


Fig. 34



CONCLUSIONES

En base a todo lo anterior se puede afirmar que el método descrito permite determinar la curva característica de las emulsiones fotosensibles con buena precisión estando libre de error por intermitencia, del error por falla de la ley de reciprocidad y del error por grano que poseen, en general, los demás métodos.

R E S U M E N

- 1.- Se describe la emulsión fotográfica y sus propiedades en lo que respecta a la forma en que dicha emulsión responde a la luz (efecto de intermitencia; falla a la ley de reciprocidad; curva de calibración); definiéndose la curva de calibración de una emulsión fotosensible como la función que relaciona el logaritmo del ennegrecimiento de la misma con el logaritmo de la exposición que la impresiona.

- 2.- Se describen las distintas técnicas habitualmente empleadas para variar la exposición y para determinar los ennegrecimientos producidos por las mismas. En ambos casos se indica el principio de operación y se citan las fuentes posibles de error de cada método.

- 3.- Se propone y describe la realización de un método para determinar la "curva característica de la emulsión fotográfica", en el cual se evitan los errores anteriormente mencionados, basado en la posibilidad de variar directamente la intensidad de la luz incidente.

Como fuente luminosa se utiliza una lámpara de incandescencia de la que previamente se determina la relación entre su voltaje de trabajo y la intensidad correspondiente de la luz que emite a una longitud de onda determinada.

Con la lámpara así calibrada en unidades arbitrarias de intensidad luminosa monocromática, se saca una serie de espectrogramas cada uno de los cuales se obtiene exponiendo la emulsión en

forma sucesiva durante un intervalo constante de tiempo y ajustando en cada caso el voltaje de trabajo de la lámpara a valores definidos.

En la emulsión fotográfica revelada se obtienen en cada caso ennegrecimientos cuya medida se determina por microfotometría, a la longitud de onda en que se calibra la emulsión fotográfica.

- 4.- Se indican los resultados experimentales derivados de la aplicación del método propuesto, a dos tipos diferentes de emulsión fotográfica, verificándose la aplicabilidad del método y la precisión del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) GROSSMAN H.H.; SAWYER R.A. Y VINCENT H.B. "Spectrochemical light source errors and their compensation" J.O.S.A. 33, 185 (1943).
- (2) SAWYER R.A. Y VINCENT H.B.: "Plate calibration problems" J.O.S.A. 33, 247 (1943).
- (3) FORSYTHE W.E. Y ADAMS E.Q.: "Radiating characteristics of tungsten and tungsten lamps" J.O.S. A. 35, 108 (1945)
- (4) KOWALEWSKI V.J.: "La lámpara termoiónica como instrumento para la medición de corrientes débiles". Trabajo de Seminario. Dpto. de Física. Univ. de Bs.Aires.
- (5) NIELSEN C.E.: "Measurements of small currents". R.S.I. 18, 18 (1947)
- (6) DU BRIDGE L.A.: "The amplification of small direct currents" Phy. Rev. 37, 392 (1931).
- (7) ROMAIN B.P.: "Current characteristics of photovoltaic cells" R.S.I. 4, 83 (1933)
- (8) TOLANSKY S.: "High Resolution Spectroscopy".
- (9) REES C.E.K.: "The theory of the photographic process" New York; The Macmillan Co., (1942).
- (10) HENNEY K., Y DUDLEY B.: "Handbook of Photography". New York;Whittlesey House, (1939)
- (11) SAWYER R.A.: "Experimental Spectroscopy". New York; Prentice Hall (1944)
- (12) BRODE W.R.: "Chemical Spectroscopy". New York; J. Wiley & Sons (1943)
- (13) STRONG J.: "Procedures in experimental Physics" New York; Prentice Hall, (1944)
- (14) FORSYTHE W.E. Y COLAB.: "Measurement of Radiant Energy". N.York; Mc Graw Hill Book Co., (1937)
- (15) "Photographic plates for use in Spectroscopy and Astronomy, 5th ed. Rochester; Eastman Kodak Company, (1943).
- (16) "Manual Siemens de medidas eléctricas". Berlín. W.de Gruyter, 1930
- (17) HUGHES A.L. y DU BRIDGE L.A.: "Photoelectric Phenomena" Mc Graw Hill Book Co. Inc. New York- 1ª ed. 1932.

José Kowalewski, K.