

CORRECTOR DE LINEALIDAD PARA EL REGISTRO DE PLACAS ESPECTROGRAFICAS

O.H. González Ferro
(Observatorio Astronómico, La Plata)

En el Observatorio de La Plata se dispone de un microfotómetro Hilger and Watts, aparato cuya finalidad es trazar sobre una banda de papel el registro correspondiente a un espectro cualquiera.

EL SISTEMA. Comencemos con una descripción del sistema completo. Su entrada es la luz que incide sobre la placa, colocada esta última dentro del espectrógrafo, que es de intensidad I variable a lo largo de la misma (coordenada lineal x).

Para facilitar nuestro análisis nos referiremos en lo sucesivo a una placa hipotética impresionada con una luz de intensidad linealmente proporcional a x , (Fig. 1a.)

Una vez revelada, la placa presentará variaciones de la transparencia a lo largo de x , dependientes de la luz que la impresionó en cada lugar (Fig. 1b) (transparencia $T = \text{luz que atraviesa la placa} / \text{luz incidente}$) Como desgraciadamente las placas fotográficas tienen respuesta lineal la transparencia no es proporcional a la intensidad.

La sensibilidad de la placa dT/dI disminuye al aumentar la intensidad luminosa.

En el microfotómetro la placa es explorada por un haz luminoso de intensidad constante. Una fracción T de esa luz logra atravesar la placa e incide sobre una fotocélula, la cual produce una tensión que una vez amplificada se registra sobre una banda de papel: este registro es la salida del sistema.

viene del trabajo anterior

Gingerich O., 1961. Ap.J. 134. 653.

Gould R.J. and Salpeter E.E., 1963. Ap.J. 138. 393.

Hunter C., 1962. Ap.J. 136. 594.

McDowell M.R.C., 1961. Observatory. 81.240.

McNally D., 1964. Ap.J. 140. 1088.

Pöppel W.G.L., 1963. Bol. Asoc. Argentina Astr. N° 5. 31.

Unsold A., 1958. Physik der Sternatmosphären. (Berlín: Springer-Verlag).

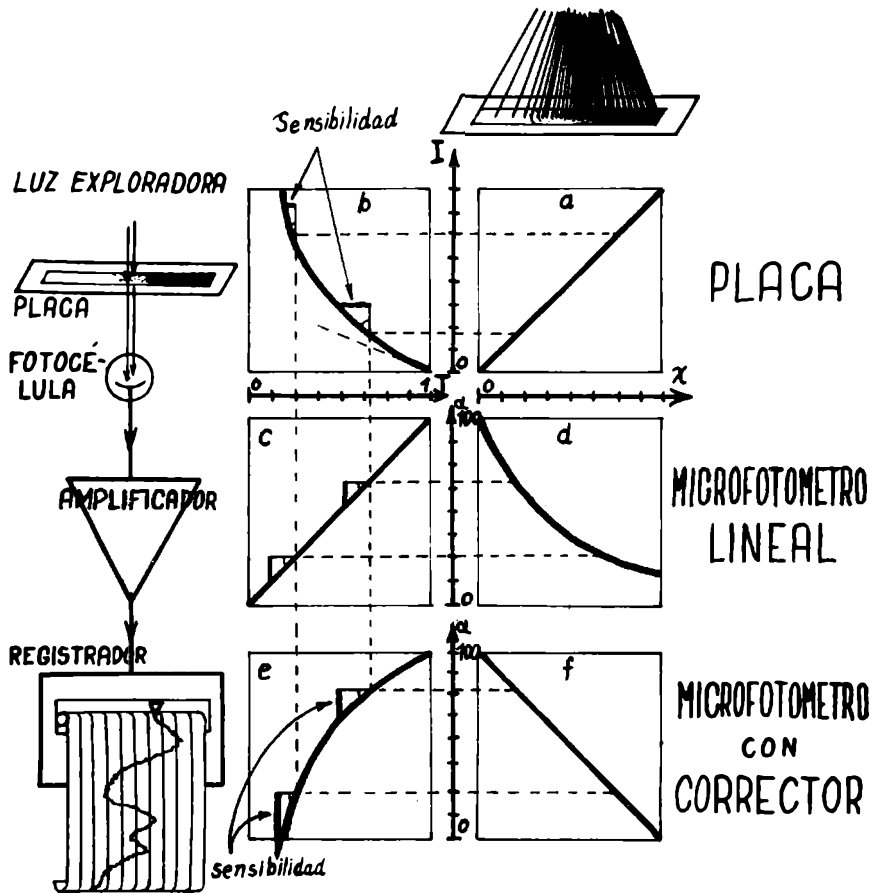


Fig. 1

EL PROBLEMA. La primera parte del sistema, la placa, (Fig. 1b), tiene una característica de transferencia (salida en función de la entrada) no lineal. En cambio, la segunda parte (Fig. 1c), que comprende la fotocélula, el amplificador y el registrador, es lineal.

Como consecuencia, el todo no es lineal, es decir, que la deflexión de la aguja del registrador (α) no es proporcional a la intensidad luminosa que impresionó la placa en el lugar correspondiente.

Este hecho puede constituir un serio inconveniente en la realización de ciertos trabajos. Para obtener el ancho equivalente de una línea, por ejemplo, es necesario calcular la integral de la intensidad sobre la misma. Para hacer esto es necesario un largo cómputo punto por punto que compense por la alinealidad de la placa. Modificando el sistema para que sea lineal en su totalidad, dicha tarea se efectúa mediante una simple integración gráfica.

Una forma de lograrlo es modificar la función de transferencia de la segunda parte del sistema (Fig. 1c) de manera que compense exactamente la alinealidad de la primera parte: el producto de ambas curvas debe ser una línea recta. Como la sensibilidad de la placa disminuye al aumentar la iluminación debemos hacer que la sensibilidad de algún otro elemento de la cadena aumente en las condiciones correspondientes, o sea para menores deflexiones (α) de la aguja del registrador.

El problema queda concretamente planteado en estos términos: debe modificarse el micro-fotómetro para obtener a su salida deflexiones que sean linealmente proporcionales a la intensidad luminosa que impresionó la placa, llenando además las siguientes condiciones: errores adicionales introducidos inferiores al 1 o 2%; posibilidad de ajuste para compensar las características de distintas placas fotográficas; tiempo de ajuste mucho menor que el necesario para hacer la reducción por el método convencional; estabilidad suficiente para hacer registros de varias horas de duración, y en distintos días, sin reajustes importantes.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se decidió modificar el registrador para lograr que su función de transferencia sea ajustable dentro de ciertos límites.

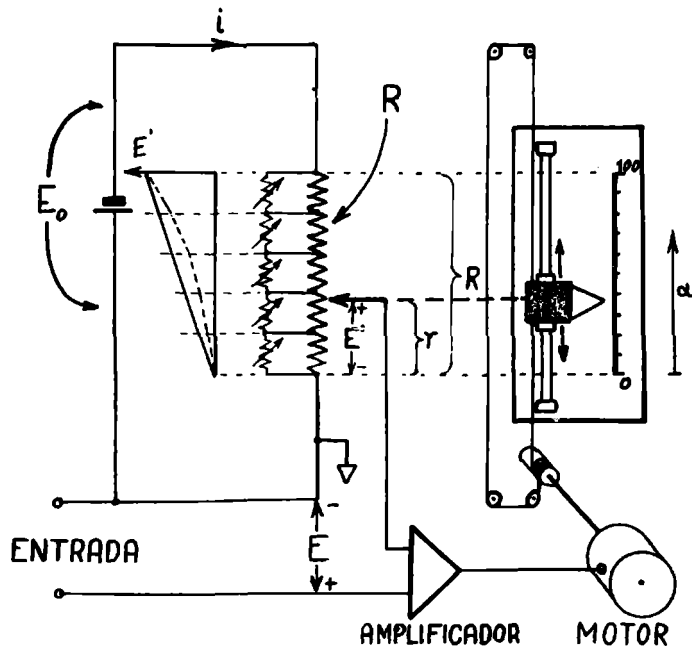


Fig. 2

EL REGISTRADOR. (Fig. 2). Su aguja inscriptora está montada sobre un carro deslizante movido por un motor eléctrico. Dicho carro mueve también un contacto que se desliza sobre una resistencia R por la que circula una corriente i constante. El motor es alimentado por un amplificador, cuya tensión de entrada es la diferencia entre

E , la tensión que se registra y
 E' , producto de i por la porción de R comprendida entre el cursor y su extremo común con el circuito de entrada.

Las conexiones están hechas de tal manera que cuando E es distinta de E' la diferencia resultante, luego de pasar por el amplificador, pone en movimiento el motor en la dirección adecuada para que el carro se deslice en el sentido que hace tender a cero dicha diferencia.

A medida que el carro se desliza, $E - E'$, y la fuerza del motor, disminuyen, el carro se mueve cada vez más lentamente, hasta que en cierta posición $E' = E$, quedando el sistema en equilibrio. En esta condición, la tensión de entrada al registrador es

$$E = i \cdot r$$

y si deseamos ponerla en función de la posición α de la aguja, y suponiendo que el potenciómetro es lineal ($r = \alpha \cdot R/100$, α varía de 0 a 100), obtenemos

$$E = i R \alpha / 100 = E_0 \alpha / 100$$

Pero la variación de tensión a lo largo del potenciómetro no debe necesariamente ser lineal. Podemos describirla como una función

$$E' = F(\alpha) = E \text{ (En equilibrio)}$$

Otro detalle que debe ser considerado es la ganancia del amplificador del registrador. Debe ser suficiente para que la tensión de entrada capaz de mover el carro sea mucho menor que la necesaria para producir plena deflexión. De lo contrario, pequeñas variaciones en E no son registradas, produciéndose una zona muerta, que es inversamente proporcional a la ganancia.

Además, cuando la tensión de entrada varía rápidamente, el motor debe ser capaz de aplicar al carro la aceleración necesaria para seguir estas variaciones sin atraso: así se fija otro límite mínimo a la ganancia.

También hay un límite máximo. Si la ganancia es muy grande, cualquier variación de la tensión de entrada hace que el motor aplique al carro una fuerza muy grande, el que se mueve entonces con gran velocidad hacia la posición de equilibrio, la sobrepasa, la fuerza se invierte, el movimiento también, y el fenómeno se repite. Según sea la magnitud del exceso de ganancia, puede producirse un simple "overshoot", una oscilación amortiguada, o una oscilación continua.

Como es fácil demostrar, los límites de la ganancia del amplificador del registrador dependen directamente de la sensibilidad del mismo en cada punto, o sea de la pendiente de la curva de transferencia. A mayor sensibilidad corresponde una ganancia mayor, ya que el carro debe moverse con menores variaciones en la entrada. Para menores sensibilidades, debe disminuirse la ganancia, pues de lo contrario las grandes variaciones en la tensión de entrada que se presentarían en esta condición generarán demasiada fuerza en el motor, produciéndose oscilaciones.

Pero como la ganancia del amplificador es constante, si pretendiéramos modificar el registrador para obtener una $F(\alpha)$ muy curvada, o sea una relación muy grande entre las

pendiente máxima y la mínima, encontraríamos un grave inconveniente: en la zona de menor pendiente (baja sensibilidad) el aparato oscilaría por exceso de ganancia, y en la de mayor pendiente la ganancia sería insuficiente para tener una adecuada velocidad de respuesta y una zona suficientemente restringida.

Esto impone una limitación fundamental en las funciones $F(\alpha)$ que pueden usarse. En nuestro aparato se determinó experimentalmente que esa relación es de 3 ó 4 veces, si se desea mantener los errores introducidos por este motivo inferiores al 0,5%.

LA SOLUCION. Se tomaron 18 derivaciones aproximadamente equidistantes sobre el potenciómetro del registrador, conectado en paralelo, con cada uno de los segmentos en que quedó así dividido (de unos 10 ohms), una resistencia variable de 50 ohms. Podemos de esta manera derivar una parte ajustable de la corriente i que circula por el potenciómetro, y regular individualmente el gradiente de tensión en cada uno de los segmentos. Obtenemos así funciones $E' = F(\alpha)$ en forma de línea quebrada de 20 segmentos, ajustable de acuerdo a las necesidades dentro de los siguientes límites:

- 1) La función debe ser monótona creciente.
- 2) La relación de pendientes debe ser menor que la mencionada arriba, 3 ó 4 veces, para que el funcionamiento del registrador sea siempre correcto.
- 3) La relación de pendientes está limitada también por los valores máximo y mínimo que pueden asumir las resistencias de ajuste (El límite mínimo está dado por la posibilidad de ajustar la resistencia sin error ni discontinuidades. Conviene usar resistencias de variación logarítmica).

Las resistencias de ajuste y el calibrador que, como se verá más adelante, se necesita, se colocaron en una caja aparte, junto con llaves en serie con las derivaciones, que permiten inutilizar las que se desee. En realidad, las derivaciones no se tomaron del potenciómetro original del aparato, sino de otro que se montó mecánicamente acoplado al carro.

Una llave permite conectar uno u otro en el circuito.

EL AJUSTE Y LOS ERRORES. Debe comenzarse por obtener la curva de calibración de la placa (relación entre la intensidad que la impresionó y la transparencia), midiendo, con el microfotómetro, funcionando en la forma convencional (lineal), la transparencia de las marcas de calibración de la placa.

Para realizar el ajuste es necesario reemplazar, en la entrada del registrador, el amplificador del microfotómetro por un circuito especial, el calibrador, que nos permite inyectar al registrador tensiones ajustables entre 0 y 10 mV. Se conecta, por supuesto, el potenciómetro con derivaciones.

Comenzando de cero, se introducen tensiones proporcionales a las transparencias, y se ajustan, una por una, las resistencias variables para que en cada caso la deflexión sea linealmente proporcional a las intensidades correspondientes de acuerdo con la curva de calibración de la placa.

Repetiendo este procedimiento 2 ó 3 veces (ya que hay cierta interacción entre las diversas secciones), el aparato queda listo para ser usado. Esto insume pocos minutos a un operador experimentado.

La preparación de la curva de ajuste es en realidad algo más complicada, ya que normalmente deben modificarse sus extremos para evitar pendientes inmanejables, facilitar el ajuste y/o disminuir los errores, registrando en forma lineal sólo la porción del rango de

intensidades que más interese. En el caso de placas con mucha exposición en las que sea de interés registrar un rango amplio de intensidades, puede llegar a ser necesario hacerlo en dos veces, para evitar relaciones de pendientes muy altas: en un registro se ajusta el aparato para que funcione linealmente sólo para intensidades bajas, y en el otro para las más altas.

Si el calibrador tiene una linealidad mejor que el 0,5%, como en nuestro caso, los errores más importantes de todo el sistema se deben a las variaciones en las características de la placa de punto a punto, desgraciadamente debemos despreciar.

El error que introduce el hecho de aproximar la curva de calibración por una serie de segmentos es inferior al 1 ó 2% si se cuenta con más de 10 segmentos, en las condiciones comunes. Será todavía menor si en lugar de tomar las derivaciones equidistantes se las coloca más juntas hacia el extremo correspondiente a menor transparencia, ya que aquí es donde con más rapidez varía la sensibilidad de la placa, resultando una característica más curvada.

Para mantener los errores bajos, es necesario también que la estabilidad de la parte eléctrica sea muy buena, mejor que la necesaria para el funcionamiento lineal, convencional.

En esas condiciones, un corrimiento constante del cero es fácilmente compensado en la reducción del registro mediante una simple interpolación gráfica, eliminando completamente su efecto de los resultados.

Al usar el corrector, en cambio, la sensibilidad del registrador es distinta según sea la posición de la pluma, correspondiente a un cierto valor de transparencia si se corre el cero, por ejemplo, a dicha transparencia le corresponderá una posición distinta de la pluma del registrador, y por lo tanto otro valor de sensibilidad. Cada punto de la placa no es ya registrado con el valor de sensibilidad justo para compensar la característica de la emulsión, introduciéndose así un error adicional.

En la construcción y puesta en marcha del aparato no se encontraron problemas importantes. El corrimiento del cero bastante importante que tenía el microfotómetro original desapareció al reconstruirse toda la parte electrónica del equipo, tarea que fue realizada por el Ing. R. Marabini con la finalidad principal de aumentar la sensibilidad.

La Lic. Zulema González ha estado usando el equipo intensivamente sin tropezar con inconvenientes dignos de mención. Entre otras comprobaciones, comparó resultados obtenidos con el linealizador con otros en que usó el método convencional, sin encontrar diferencias atribuibles al aparato; si estas existen son disimuladas por errores de otro origen.

NOTA: A fin de obtener una mayor claridad, se ha descrito el microfotómetro en forma esquemática, sin detallar todas las partes. Ejemplo: el mismo, en realidad, contiene dos sistemas de medición, y se registra la relación (el cociente) entre la señal deseada y otra señal constante. Se logra así aumentar mucho la estabilidad del cero, compensando en especial las variaciones de la fuente de luz.

Bibliografía

- Beals C. S., 1944. J. Royal Astro. Soc. of Canada. 38. 65
 Phillips J. G., 1959. Journal of the Optical Soc. of America. 49. 972.