

FICHA TECNICA

Continuando con el tema desarrollado en la nota anterior se describen aplicaciones de los conceptos vertidos anteriormente a fin de comprender el funcionamiento de los instrumentos capaces de realizar mediciones fotométricas.

PRINCIPIOS DE FOTOMETRIA

Instrumentos de medición

Lic. RICARDO A. ARIZAGA

Laboratorio de Investigaciones
Sensoriales - Conicet

C.C. 53 - Suc. 53 - Buenos Aires

Quando se desea evaluar la intensidad de cualquier fuente luminosa, es necesario contar con un standard o patrón de intensidad y un instrumento que permita realizar la comparación entre ambas. Un fotómetro, aunque no mide directamente intensidades luminosas, nos permite obtener valores cuantitativos de la intensidad de una fuente en base a la iluminación que ésta produce. Para esto se hace necesario conocer qué relación existe entre la intensidad de una fuente y la iluminación que ella produce.

Como es sabido la fotometría se basa en la hipótesis de que las fuentes luminosas son puntuales y que iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (ley de la inversa del cuadrado). Veamos como se llega a esta afirmación basándose en las definiciones de las magnitudes fotométricas, y cuáles son las condiciones para que sea válida la ley anteriormente enunciada.

Ley de la inversa del cuadrado

Un elemento de superficie dA es iluminado por una fuente puntual S , que

es encuentra a la distancia r de la misma (fig. 1). La distancia r forma un ángulo θ con respecto a la normal n . El ángulo sólido ($d\omega$) subtendido por la superficie dA y la fuente S está definido como:

$$d\omega = \frac{dA \cos \theta}{r^2}$$

El flujo luminoso emitido por la fuente de intensidad I , de acuerdo con la definición será:

$$d\phi = I \cdot d\omega = \frac{I \cdot dA \cdot \cos \theta}{r^2}$$

Por lo tanto la iluminación (E) que llega al elemento de superficie dA será:

$$E = \frac{d\phi}{dA} = \frac{(I \cdot dA \cdot \cos \theta) / r^2}{dA} = \frac{I \cdot \cos \theta}{r^2}$$

Esto implica que la iluminación es directamente proporcional a la intensidad e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente a la superficie.

Dicha Ley puede considerarse válida en el caso de que las dimensiones de la fuente, sea diez veces menor que la distancia a la superficie que ilumina.

Fotómetros

Un fotómetro es un dispositivo que permite medir energía radiante en la zona visible del espectro. La luz que llega al instrumento se refleja o difunde en un pantalla y es detectada, ya sea visualmente (fotómetros visuales)

o por medio de algún elemento fotosensible, como ser una célula fotoeléctrica, una termopila, un fotomultiplicador, etc. (fotómetros físicos).

Los fotómetros visuales comparan la iluminación de dos pantallas; sobre una de ellas incide luz proveniente de una fuente de intensidad conocida (fuente patrón) y sobre la otra llega luz de la fuente cuya intensidad se desea medir.

Podemos distinguir diferentes clases de fotómetros visuales de acuerdo a la propiedad utilizada para la medición:

- 1) Los que dependen de la capacidad del ojo para distinguir diferencias o igualdad de brillo de las dos pantallas observadas simultáneamente como dos zonas contiguas.
- 2) Los que dependen de la capacidad del ojo para igualar diferencias de brillo entre dos zonas de contraste.
- 3) Los que dependen de la capacidad del ojo para distinguir diferencias o igualdad de brillo de las dos pantallas observadas alternadamente (parpadeo).

Para obtener el equilibrio fotométrico, es decir la igualdad de iluminación en las dos pantallas pueden utilizarse los siguientes métodos.

- a) Variación de la distancia entre las fuentes y las pantallas: utiliza la relación que nos da la ley de la inversa del cuadrado de manera que la comparación de intensidades se obtiene indirectamente por la medición de las distancias entre las fuentes y la pantalla.

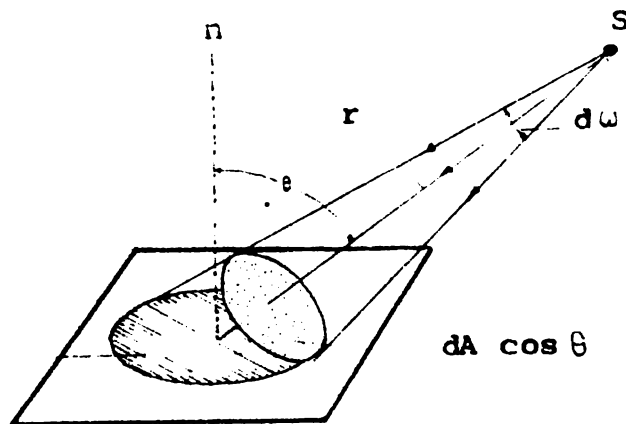


FIGURA 1

b) Utilización de medios absorbentes: manteniendo fija las distancias entre fuentes y pantallas se iguala la iluminación de ambas pantallas interponiendo filtros neutros. El cálculo de la intensidad de la fuente se realiza en base a la transmitancia de los filtros.

c) Utilización de sectores rotantes: mediante estos elementos es posible reducir la cantidad de luz que llega a la pantalla. El principio de este dispositivo aplicado a la fotometría se basa en la "ley de Talbot" la cual dice que "Si una zona cualquiera de la retina es iluminada intermitentemente con períodos regulares y suficientemente cortos, el ojo percibe una impresión continua igual a la que percibiría por una iluminación continua. Cuya magnitud fuera igual al valor medio de la iluminación intermitente".

Conviene aclarar que estos métodos de igualación pueden ser utilizados en cualquiera de los tipos de fotómetros visuales antes mencionados.

Cabezales Fotométricos

Los fotómetros visuales poseen un cabezal fotométrico que permite visuali-

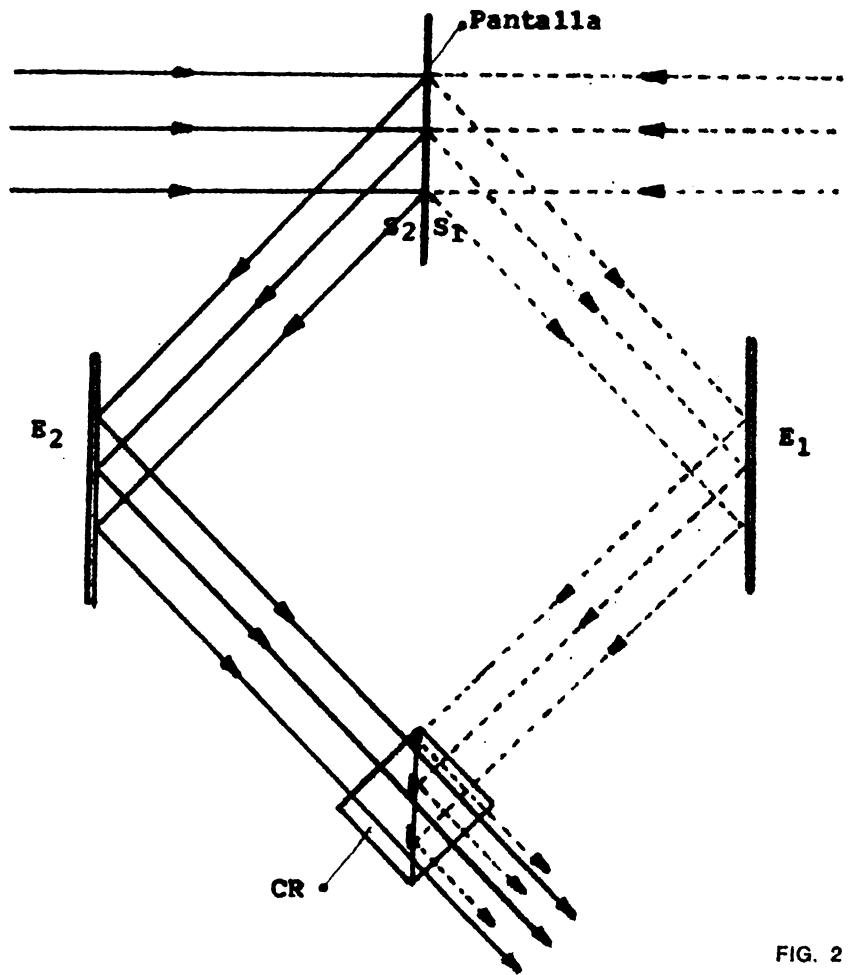


FIG. 2

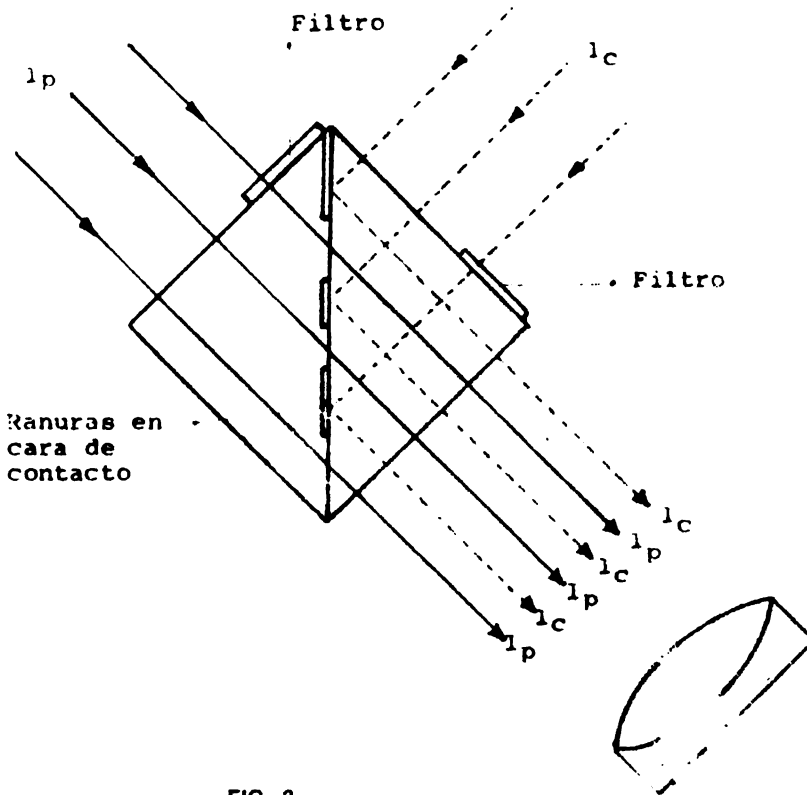


FIG. 3

zar ambas pantallas como dos zonas contiguas y así poder realizar la igualación de iluminación.

Dentro de la variedad de cabezales fotométricos, podemos mencionar el de LUMMER-BRODHUN. Consiste en una combinación puramente óptica para visualizar los dos lados de una pantalla difusora de gran poder de reflexión (ver fig. 2). Esta se encuentra dispuesta de manera que la luz proveniente de la fuente patrón (F) se

refleja en la superficie \$S_1\$ y la que proviene de la fuente a medir (F) es

reflejada por la superficie \$S_2\$.

La luz proveniente de cada lado de la pantalla es reflejada en los espejos \$E_1\$ y \$E_2\$ y luego son superpuestas por medio del cubo recombinedor CR. El detalle de la marcha de rayos dentro del cubo puede observarse en la fig. 3.

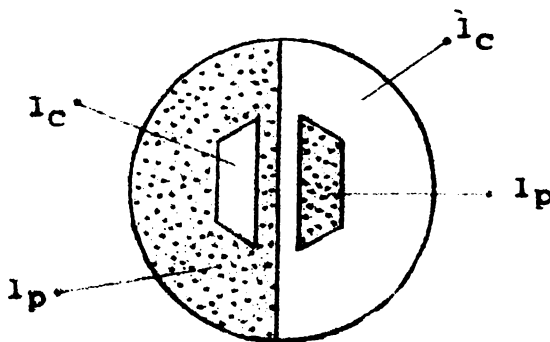


FIG. 4

Los rayos provenientes de la fuente patrón (i) continúan su recorrido sin alterar (i_p línea llena) mientras que los provenientes de la fuente a medir (i_c) son reflejados por la cara interna del prisma de la derecha (línea de trazos). Para que esto sea posible, sobre la superficie de contacto de los prismas, se han practicado ranuras como indica la figura 3. De esta manera el campo visual observado desde la posición 0 tiene la configuración mostrada en la figura 4.

Los filtros indicados en la figura 3 se colocan a fin de reducir la luminancia de los trapecios vistos en la figura 4, de manera que cuando se establece el equilibrio se ven ambos semicírculos con igual luminancia y el contraste con las zonas oscuras es el mismo. El observador deberá igualar diferencias de contrastes.

Es importante asegurarse que el ángulo visual se mantenga inferior a 2° para que toda la configuración entre en el campo focal, a fin de que la sensibilidad sea máxima.

El cabezal de Lummer-Brodhun es una de las más utilizadas, ya que por sus características de igualación por contraste, es considerado como uno de los que posee mayor sensibilidad y precisión.

En el caso que se desee comparar fuentes luminosas de colores diferentes se hace difícil la comparación mediante fotómetros de igualación de brillo o de contraste; por ello se utiliza otro tipo de fotómetros llamados de parpadeo (flicker). Este tipo de cabezal fotométrico hace que se presente al ojo la luz de las dos pantallas (o ambas caras de una pantalla)

en rápida sucesión. Su principio se basa en que cuando dos superficies de diferente color son observadas alternadamente y en rápida sucesión desaparece la sensación de color, o se combinan las dos sensaciones y se pierde la diferencia de color. La sensación de parpadeo puede persistir debida a la diferencia de luminancia entre ambas pantallas.

El cabezal de parpadeo de Bechstein utiliza este método para la comparación de dos fuentes. Consiste en su parte principal de un prisma de Ritchie. El campo observado por el ojo es de tipo circular central rodeado por un anillo concéntrico adyacente. El prisma que hace que la luz proveniente de la fuente patrón, ocupe la parte central del campo visual mientras que la que proviene de la fuente a medir se presenta en el anillo; cuando el prisma se lo gira a 180° , la situación se revierte, la parte central es iluminada por la fuente a medir y el anillo por la fuente patrón. Si se hace girar el prisma a una velocidad suficientemente alta, el ojo no veía no sólo diferencia de color si no tampoco de intensidad; bajando la frecuencia de cambio, llegará un momento en que se podrá apreciar el parpadeo sin que cambie la impresión de color debido a la diferencia de luminancia de las pantallas. Una vez hecho esto se variará la posición de las fuentes o se colocarán los filtros adecuados (según el método de igualación utilizado) hasta que no se observe parpadeo. Se vuelve a repetir el procedimiento y así, por aproximaciones sucesivas, se obtiene la situación en que no se observa centelleo, utilizando la frecuencia mínima posible. De esa manera se asegura una igualación de luminancia de las pantallas pese

a que la luz que las ilumina proviene de fuentes con apreciable diferencia de color.

La fotometría visual: involucra una serie de dificultades y posibilidades de error tales como incerteza en la comparación de radiaciones con marcadas diferencias de color, variación de las lecturas obtenidas de un mismo estímulo por un mismo observador en circunstancias diferentes, error debido a la fatiga del ojo, etc. Todos estos inconvenientes pueden ser evitados utilizando como detector elementos fotosensibles cuyas características de respuesta sean conocidas. Este es el fundamento en que se basan los fotómetros físicos.

En general las respuestas de los elementos fotosensibles utilizados en este tipo de fotómetros poseen una respuesta que difiere de la del ojo normal (función sensibilidad relativa espectral del observador normal), pero éstas pueden ser modificadas por medio de filtros selectivos y aproximaría a la respuesta del ojo.

Existe una gran variedad de sofisticados diseños de fotómetros físicos que van desde una simple fotocélula y un amperímetro hasta los más complejos sistemas espectrofotométricos, los cuales se adecuan al tipo de medición y al nivel de precisión requeridos. Un detalle elemental de su funcionamiento sería excesivamente extenso para desarrollar en esta nota. Este tema será tratado en un próximo trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. I. E. S. LIGHTING HANDBOOK. *Illuminating Engineering Society*, 5th Edition, (1972).
2. ARIZAGA, R.; *Ficha Técnica: ¿Qué es la luz?*, Luminotecnia, Vol. 10 Nº 10 Nº 3/4, pp. 60-62 (1976).
3. WYSZECKI and STILES. *Color Science*. J. WILEY y SONS. New York (1967).
4. BILLMEYER and SALTZMAN, *Principles of Color Technology*, J. Wiley y Sons (1966).
5. BARROWS, W. E. *Luz Fotometría y Luminotecnia*, Ed. Hispano Americana (1960).
6. LOZANO, PRIU y YASAN. *Estudio sobre diferentes cabezales fotométricos. I Precisión*. *Optica Pura y Aplicada*, 6 (5), p. 15 (1973).
7. MATTIELLO y LOZANO. *Estudio sobre diferentes cabezales fotométricos. II Sensibilidad*. *Optica Pura y Aplica* 7, (1) pp. 21-26 (1974).