

saturadas de sodio, de lo contrario estaríamos expuestos de noche á verlo todo azul. Pero aunque no estén saturadas de sodio, son lo suficientemente amarillas para formar verde con ciertos azules, y hé aquí sin duda por qué ciertas telas azules parecen verdes de noche, y también por qué en una habitacion muy alumbrada puede suceder que se distinga con dificultad un traje verde de otro azul, pues el verde puede resultar un poco más oscuro, mientras que el azul formará verde con la luz amarilla del alumbrado.

Estos experimentos no carecen de interés por lo que respecta á las artes. Como la llama sódica tiene la propiedad de abolir los colores, por decirlo así, un cuadro iluminado por ella aparece como un dibujo cuyos contornos subsisten gracias á las medias tintas. Es poco más ó ménos el efecto que produce la fotografía. Pero creemos que no siendo la absorcion, en el primer caso, proporcionalmente igual para todos los colores, debe resultar una alteracion de los valores relativos de los tonos, como sucede también en las mejores fotografías.

CAPITULO XVI

FOTOMETRIA

I

PRINCIPIOS DE FOTOMETRÍA

Todos sabemos por observarlo diariamente, que la potencia lumínica de una luz varía con la distancia á que se encuentra del foco el objeto iluminado. Cuando leemos de noche á la luz de una lámpara ó de una bujía, podemos notar también que, sin alterar la distancia á que de ésta nos hallamos, podemos obtener grados variables de claridad, inclinando de cierto modo las páginas del libro; y finalmente, si en lugar de una bujía ponemos muchas á la misma distancia, ó si en vez de una lamparilla pequeña nos servimos de otra mayor cuya mezcla produzca una llama más ancha, no resultará ménos evidente que la claridad aumenta en cierta proporción.

Por otra parte, la potencia lumínica varía, en igualdad de circunstancias, con la naturaleza de los focos luminosos. La llama de una luz de gas nos parece mucho más deslumbradora que la de un quinqué; la luz de la Luna es muchísimo ménos intensa que la del Sol, áun cuando los discos de los dos astros tengan poco más ó ménos la misma magnitud aparente.

Así, pues, cuando se quiere apreciar la intensidad de los focos de luz hay que distinguir ciertas circunstancias, de las cuales unas son

inherentes á los focos mismos, y otras peculiares de los objetos alumbrados por ellas, como por ejemplo la distancia, la inclinacion, etc. Los problemas relativos á esta clase de apreciaciones son los que constituyen la parte de la Optica llamada *Fotometría*, voz derivada de otras dos griegas que significan *luz* y *medida*.

No hay nada tan delicado ni difícil como la medicion de las intensidades luminosas. A pesar de todos los progresos realizados en la óptica, todavía se carece de instrumentos á propósito para medirlas con una exactitud comparable á la de los otros elementos físicos. El barómetro y el termómetro marcan con extraordinaria sensibilidad la presión atmosférica y la temperatura: sábese apreciar con delicadeza suma la altura relativa de dos sonidos; pero la fotometría dista mucho de haber adelantado tanto, y la comparacion de las intensidades luminosas de dos luces deja aún mucho que desear. ¿De qué procede esta inferioridad? De que con respecto á este asunto no tenemos otro medio de apreciacion sino el órgano con el cual percibimos la luz. La sensacion de la vista es el sólo juez en esta cuestion, y á pesar de su gran sensibilidad, el ojo es poco apto para decidir acerca de las relaciones numéricas de dos ó muchas luces que se hallan simultánea ó sucesivamente ante él.

Esta dificultad no es menor áun en el caso de tener que juzgar de la identidad de dos focos. Si las observaciones no son simultáneas, la comparacion será tanto más difícil cuanto más tiempo trascurra entre ellas. Así, pues, ante todo es preciso hacer de modo que se observe las dos luces al mismo tiempo, cosa no siempre posible (1). Las más de las veces el brillo de los focos deslumbrá, hiere la vista, la incapacita para juzgar con alguna precision, y por esta razon los físicos, en lugar de comparar los focos mismos entre sí, observan superficies de igual naturaleza, alumbradas por esos focos en las mismas condiciones de inclinacion y de distancia. Finalmente, hay otra causa de incertidumbre de la cual no parece fácil eximirse, y es la diversidad de los colores de las luces que se ponen frente á frente. «Entre dos luces de diferentes colores, dice J. Herschel, no se puede establecer ningun paralelo susceptible de precision; y la incertidumbre de nuestro juicio es tanto mayor cuanto más lo es esta diferencia de coloracion.»

A pesar de todas estas dificultades, se ha conseguido formular, ya por el raciocinio ó bien por la experiencia, unos cuantos principios que han sugerido la invencion de varios aparatos fotométricos de los cuales describiremos los más notables. Hoy, que el alumbrado público ó privado ha adquirido tan considerable extension, hoy, que se siente la necesidad de auxiliar la navegacion por las costas haciendo llegar á la mayor distancia posible la luz de los faros, los fotómetros son instrumentos de gran utilidad práctica; pero los primeros procedimientos ideados para comparar focos de luz debieron ser á personas entendidas que solamente tenían en consideracion la parte científica del problema. Auzout y Huygens en el siglo XVII, Andrés Celsio, Bouguer y Wollaston en el siguiente,

(1) «Tan poco puede servir el ojo para medir la luz, dice J. Herschel en su *Tratado de la luz*, como la mano para apreciar el peso de un cuerpo cogido al azar. Y esta incertidumbre aumenta á causa de la naturaleza misma del órgano que se halla en un estado de fluctuacion continua motivada por la abertura mayor ó menor de la pupila que se contrae ó dilata por la excitacion de la luz misma, y causada también por la sensibilidad variable de los nervios ópticos. Compárese el brillo deslumbrador de un relámpago en una noche oscura con la sensacion producida en pleno día por el mismo fenómeno; en el primer caso, el ojo sufre una impresion desagradable, y la agitacion violenta que experimentan los nervios ópticos de la retina subsiste algun rato despues, haciéndose ver una sucesion rápida y alternativa de luz y oscuridad. De día no produce este efecto un relámpago, y podemos observar los trazos sinuosos del rayo con mayor facilidad, y sin que nos moleste ese resplandor prodigioso que tan vivamente hace resaltar la oscuridad que precede y sigue al rayo.»

trataron de determinar el brillo relativo de las luces de los astros, por ejemplo, la intensidad de la luz del Sol, comparada con la de la Luna ó con la de las estrellas más brillantes.

El primer principio que formularon fué el siguiente: Cuando varía la distancia de un punto luminoso al objeto alumbrado por él, la intensidad que emana de este punto varía *en razon inversa del cuadrado de la distancia*. Y en

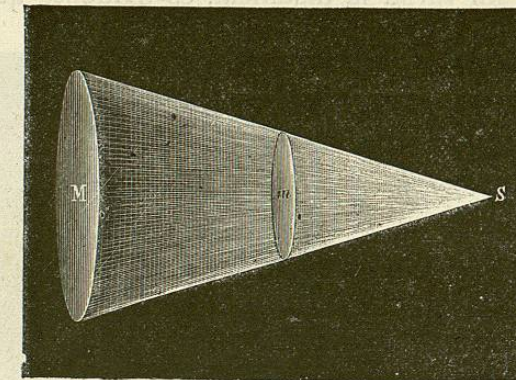


Fig. 171. — Ley del cuadrado de las distancias

efecto, el punto luminoso irradia luz en todos sentidos con igual fuerza; pero estos rayos divergen más y más conforme va aumentando la distancia. Si se detienen en la superficie de una esfera de cierto radio, producirán en un elemento *m* (fig. 171) de esta esfera una iluminacion de determinada intensidad; si, prosiguiendo su camino, se detienen en una esfera de doble radio, los mismos rayos que se difundían por la superficie *m*, se difundirán por la *M* de la nueva esfera. Ahora bien; la geometría nos enseña que *M* es cuatro veces tan extensa como *m*, y siendo la misma la cantidad de luz que se difunde por una superficie cuatro veces mayor, síguese de aquí que su intensidad será igual número de veces menor. A triple distancia, esta será nueve veces menor. Por lo general, disminuye á la par que aumenta el cuadrado de la distancia.

Por lo demás, esta ley sólo es verdadera en cuanto se hace abstraccion de la absorcion de los rayos luminosos por los medios en que se mueven. Pero también es aplicable en el caso de que el foco de luz no sea ya un simple punto luminoso y presente una superficie aparente apreciable, con tal que esté á bastante distancia del objeto alumbrado para que se le pueda considerar situado á distancia igual de todos los puntos del foco.

De este primer principio de fotometría resulta que si se pone ante la luz de una vela un pedazo de papel blanco, por ejemplo, y se le va retirando á distancias dos, tres ó cuatro veces mayores, el resplandor del papel será cuatro, nueve ó diez y seis veces menor; mas para esto es menester que el papel esté siempre colocado perpendicularmente á la dirección de los rayos luminosos. Si se inclina el papel en esta dirección sin variar la distancia, es evidente que el

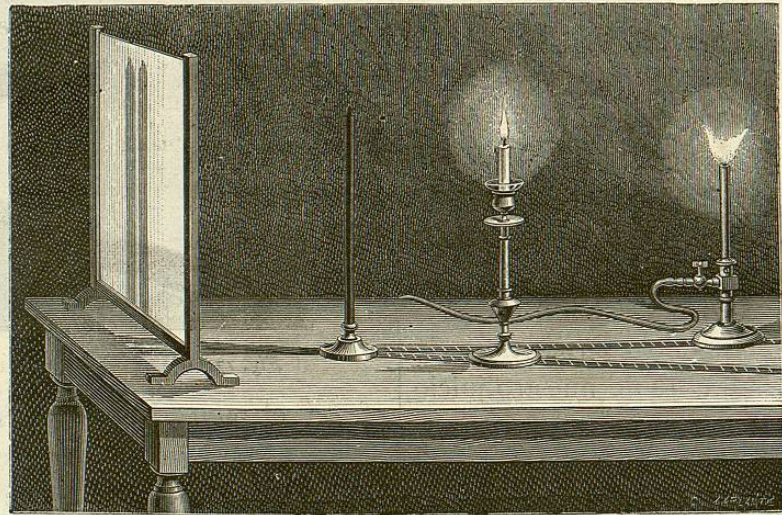


Fig. 172.—Fotómetro de Rumford

no de su brillo intrínseco. Si este último no varía, claro es que dicha potencia será tanto mayor cuanto mayor sea la superficie del foco, del propio modo que en el caso de que el brillo intrínseco aumentara, la potencia iluminadora aumentaría en la misma proporción.

Una consecuencia de los principios que preceden es que cualquier foco luminoso conserva el mismo brillo intrínseco aparente cualquiera que sea la distancia á que se encuentre de nuestra vista. A decir verdad, la cantidad de luz que penetra por la abertura de nuestra pupila, disminuye en razón inversa del cuadrado de la distancia. Pero, como emana de una superficie luminosa cuyo diámetro aparente es cada vez más pequeño y que decrece en razón directa del cuadrado de esta misma distancia, hay compensación exacta, y el brillo subsiste por igual en cada uno de los puntos de la superficie. Esta es la razón de que la luz de los planetas, como Venus, Marte, y Júpiter, nos parece siempre tan viva cuando los vemos á una misma altura sobre el horizonte, con tal que la pureza de la atmósfera sea también la misma, aún

resplandor disminuirá, puesto que la misma superficie interceptará un número menor de rayos. La cantidad de luz recibida varía entonces con arreglo á una ley llamada *ley de los cosenos*, porque es proporcional á los cosenos de los ángulos que la dirección de los rayos luminosos forma con la perpendicular á la superficie alumbrada.

En todo cuanto acabamos de decir sólo se trata de la potencia iluminadora del foco de luz,

cuando sus distancias á la Tierra sean muy variables. El Sol se ve desde los diferentes planetas, de Mercurio á Neptuno, en forma de disco cuya superficie aparente varía de 1 á 7,000 próximamente; la cantidad de luz que recibe cada uno de estos cuerpos cambia pues en la misma proporción; pero el brillo intrínseco del disco es el mismo en Mercurio que en Neptuno, suponiendo que los espacios celestes no absorban la luz, y que, en su paso al través de las atmósferas de los dos planetas, experimente el mismo grado de extinción (1).

Nadie ignora que si se mira una bala roja en la oscuridad, no se percibe su forma esférica; créese ver un disco plano cuyas partes todas presentan la misma intensidad luminosa. Si, en lugar de una bala esférica es una barra de hierro ó de plata bruñida y de forma prismática calentada al rojo, ocurrirá un fenómeno análogo. Cualquiera que sea la posición de esta barra, no se ven sus aristas, el resplandor es por todas partes igual, lo mismo en las caras

(1) Sería preferible decir que este brillo intrínseco es el mismo en el límite exterior de la atmósfera de cada planeta.

que se presentan perpendicularmente á la vista que en las que están más ó menos inclinadas; en una palabra, parecerá que se ve una placa enteramente plana. Si se da vuelta á la barra, no se conocerá este cambio sino por la variación aparente de la anchura de la cinta luminosa.

¿Qué debe deducirse de estos experimentos? Que la cantidad de luz emitida por un cuerpo

sólido incandescente en dirección determinada depende de la inclinación de su superficie sobre la dirección de los rayos luminosos. En efecto, si dos elementos iguales tomados, uno en el lado de la barra metálica que da frente á la vista del observador, y otro en una cara inclinada, emitiesen en esta dirección la misma cantidad de luz, es evidente que la cara inclinada será la que parezca de mayor brillo, puesto que el

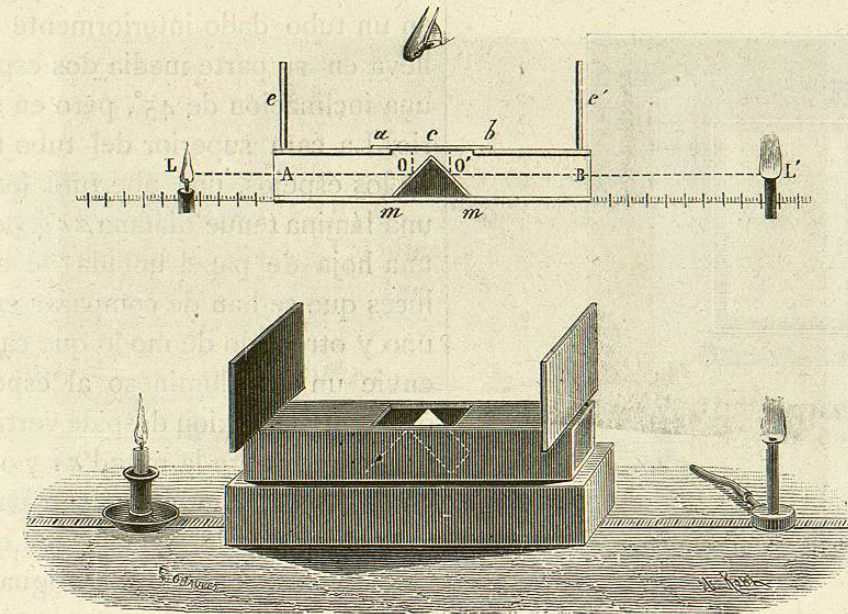


Fig. 173.—Fotómetro de Ritchie.—Corte y vista exterior

mismo número de rayos estará distribuido en una área cuya magnitud aparente será menor. El Sol es una esfera luminosa; pero el aspecto que presenta es el de un disco plano, cuyo brillo intrínseco no es mayor en los bordes que en el centro (1), lo cual confirma la ley que acabamos de enunciar y que se llama también *ley de los cosenos*, porque la cantidad de luz emitida por elementos iguales de la superficie de un foco varía como los cosenos de los ángulos que forman los rayos con la perpendicular á la superficie.

II

PROCEDIMIENTOS FOTOMÉTRICOS

Tales son los principios en que se basan los físicos para valuar la potencia lumínica ó bien el brillo intrínseco de los focos de luz. Antes de

describir los aparatos que sirven para medir estas intensidades y que se llaman *fotómetros*, conviene decir cuál es la *unidad luminosa* generalmente adoptada. La elección de esta unidad no es tan fácil como pudiera creerse, á lo menos si se exige que llene rigurosamente la condición esencial de *subsistir siempre idéntica á sí misma*. Como observa con razón M. Becquerel, aún no está resuelta esta cuestión de la que tanto se han ocupado los físicos. En sus experimentos fotométricos, tomaba Bouguer por unidad de poder lumínico la luz de una vela ó de una bujía; pero la intensidad de semejante luz depende de la pureza de la materia de que está formada, de sus dimensiones y de las de la mecha (2). Especificando la composición y el peso de la materia consumida, tomando por ejemplo como unidad la luz de una bujía esteárica que queme diez gramos en una hora, se realiza sobre

(1) Hoy está probado que las partes centrales del disco solar son las más luminosas, al contrario de lo que debería ser si hubiera igualdad en la emisión de la luz en toda la superficie. Los astrónomos han deducido de aquí que el astro está rodeado de una atmósfera absorbente.

(2) Según Rumford, representando por 100 la intensidad de la luz de una vela bien despabilada, queda reducida á 39 á los 11 minutos; 19 minutos después sólo llega á 23, y baja hasta 16 cuando se la deja arder 29 minutos sin despabilarla.