

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL DEL CURSO 1946-47

LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 13 DE NOVIEMBRE DE 1946

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. JOSÉ M.^a OTERO DE NAVASCUÉS



MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA:
VALVERDE, 22.—Teléf. 12529
1946

SOBRE CONCEPTOS, MAGNITUDES Y UNIDADES FOTOMÉTRICAS

EXCMOS. SRES. ACADÉMICOS, SRAS., SRES.:

El 8 de junio de 1939, pocas semanas antes de que estallara la segunda conflagración mundial de esta centuria, delegados franceses, ingleses, norteamericanos, japoneses, rusos, alemanes y holandeses, se reúnen en el Pabellón de Breteuil de Sévres (1), para ratificar un Tratado de Paz. Este Tratado de Paz, que instituía nueva jurisprudencia fotométrica, iba a entrar en vigor sin vencedores ni vencidos; sus únicas víctimas iban a ser la Bujía Internacional y la Bujía Hefner, patrones que diferían en un 10 por 100, partiendo por gala en dos el mundo de la técnica y de la ciencia fotométricas. Este Tratado de Paz era tanto más promotor cuanto que, además de instituir una nueva base metrológica universal, ésta se basaba en conceptos físicos adecuados como la «radiación del cuerpo negro», rompiendo con anacronismos de referirse a un patrón de medida constituido por una inconstante y frágil lámpara eléctrica que, reproducida cierto número de veces, se guardaba en lugar determinado (bujía internacional), o como la llama de una lámpara cuyas características fotométricas eran dependientes de la humedad y composición química de la atmósfera en que se opera.

Las resoluciones ratificando el patrón fotométrico constituido por el cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino habían

(1) Asistieron CRITTENDEN (U. S. A.), HAYASHI (Japón), JOUAUST (Francia), KORTE (Alemania), PÉRARD, Vicepresidente del Comité Internacional de Pesas y Medidas, SEARS (Gran Bretaña), TIKHODEEV (Rusia), ZWIKKER (Holanda), miembros del Comité Consultivo de Fotometría del C. I. P. M., su Presidente Prof. FABRY, WALSH y HOFFMANN adjuntos, y el Profesor CABRERA, Secretario del C. I. P. M.

de entrar en vigor en casi todos los pueblos cultos, el 1 de enero de 1941 (2). Esta paz fotométrica no llegó nunca a realizarse. Los estremecimientos de la conflagración pasada todavía han impedido que sus frutos puedan ser recogidos por la ciencia y la técnica, y en el lapso de tiempo transcurrido, esta última ha avanzado de tal modo que es difícil que los acuerdos del Pabellón de Breteuil puedan tener vigencia, al menos en toda su integridad.

Las unidades fotométricas, factor importantísimo para la ciencia y la técnica, llegaron a armonizarse en el Comité Internacional de Pesas y Medidas, pero los conceptos y todo el andamiaje de magnitudes usado en Radiometría y Fotometría, han sufrido embates fortísimos en los últimos años, ya que iniciados en su estructura fundamental por Lambert (3) en 1760, y aun conservando, como todo viejo edificio, indudable fortaleza y belleza, no se adaptan en absoluto a nuestras ideas actuales. La evolución de estos conceptos en pleno trance de transformación, debido principalmente a la aparición de nuevas formas de alumbrado con las lámparas espectrales en su modalidad pura, o bien con elementos fluorescentes que hacen inservibles muchas de las premisas de Lambert, al poner en tela de juicio sistemas, conceptos y unidades, me han inclinado a tratar de exponer a vuestra consideración tema tan sugestivo y prometedor como el de los conceptos, magnitudes y unidades fotométricas.

Pero aparte de esta razón fundamental, existen otras dos que han contribuido grandemente a presentaros estos mal pergeñados renglones, y éstas han sido principalmente el que plumas de otros compañeros de Corporación, mejor cortadas que la mía, se han ocupado recientemente de temas íntimamente relacionados con algunos aspectos del que nos ocupa. En efecto, el Prof. Palacios, en análoga ocasión a la presente, nos deleitó con un notable trabajo referente a las magnitudes y unidades eléctricas y magnéti-

(2) *Comité Consultatif de Photométrie auprès du Comité International de Poids et Mesures. Session de 1939. Procès verbaux des Seances, rapport et annexes.* Gautier-Villars, Paris, 1939.

(3) JOHANN HEINRICH LAMBERT, *Photometria sive de Mensura et Gradibus. Luminis colorum et Umbrarum.* Augsburgo, 1760.

I. H. LAMBERT
ACADEMIAE SCIENTIARVM ELECTO-
RALIS BOICAE ET SOCIETATIS PHYSICO-ME-
DICAЕ PASILIENSIS, MEMBRUM, REGIAE SOCIETATI
SCIENTIARVM GOETTINGENSI COMMERCIO
LITERARIO ADIUNCTI

PHOTOMETRIA

SIVE

DE

MENSURA ET GRADIBVS
LUMINIS,
COLORVM ET VMBRAE.

~~BAILL~~

Penalver



AUGUSTAE VINDELICORVM,
Sumptibus VIDVAE EBERHARDI KLETT
Typis CHRISTOPHORI PETRI DETLEFSEN.
MDCCLX.

cas (4), y recientemente el Prof. Terradas, nuestro admirado compañero, en su discurso de ingreso en la Real Academia de la Lengua (5), trata, con su maestría habitual, de la nomenclatura de los conceptos científicos y técnicos en lengua castellana. Como en ninguno de los dos trabajos se hace mención a los conceptos y unidades fotométricas, me atrevo a echar mi cuarto a espadas y a hacer una disquisición sobre este tema, lamentando que esta tarea tenga que ser realizada con mis grandes limitaciones e inexperiencia, por lo que considero este estudio como una modesta apostilla a aquéllos, y siguiendo a Kepler, al comentar a Al-Hazen y Vitelio, pudiera titularlo «Parelipomena ad Palationem et Terradaem», pidiendo tan sólo a la Divina Providencia el que mis muchos yerros no hagan renegar a mis ilustres compañeros de este su malhadado continuador.

Por otra parte, siempre es ingrato comenzar una tarea sin poder encomendarse a predecesor próximo o remoto en la materia, pues bien dijo Goethe que la historia de la ciencia es la ciencia misma. Si la tradición general sirve de punto de apoyo y de asidero indispensable, la tradición en el solar patrio arrastra además de a la inteligencia, al corazón, dándonos alientos para continuar la tarea, una vez emprendida, el contemplar lo realizado por nuestros compatriotas, seguramente con menos medios y elementos que los que la fortuna ha puesto en nuestras manos. Por ello es de saludar que en el campo de la Fotometría y de su técnica afín la Iluminación, tengamos en España una tradición cercana, fuerte y vigorosa, hecho tanto más feliz cuanto que en otras ocasiones (6) tuve desgraciadamente que reseñar el poco interés que los científicos españoles, con honrosas excepciones, han tenido para la ciencia de la luz. En la rama fotométrica, sin embargo, tenemos trabajos meritísimos, como el del Prof. Jardí, quien hace más de treinta años presentó y publicó en la Academia de Cien-

(4) J. PALACIOS, *Magnitudes y Unidades Electromagnéticas*. Discurso Inaugural del curso 1940-1941 en la Real Academia de Ciencias.

(5) E. TERRADAS, *Neologismos arcaísmos y sinónimos en plática de ingenieros*. Discurso de recepción en la Real Academia Española leído el 13 de octubre de 1946.

(6) J. M. OTERO: *Orientaciones bibliográficas para el estudio de la Óptica*, «Biblioteca Hispana», sección 2.ª, núm. 1.

cias de Barcelona (7) un acabado estudio sobre los métodos de la fotometría heterocroma, que merecieron ser citados por Walsh en su clásico «Fotometría». En el campo de la Luminotecnia, nuestro compañero el Prof. Artigas ha sido reconocido por Claude como el primer realizador del alumbrado por descarga eléctrica en tubos de gases enrarecidos, y es desde 1921 miembro de la Comisión Internacional del Alumbrado, donde su fuerte personalidad científica y meritísimos trabajos le han dado justo renombre, siendo hoy día una de las figuras más destacadas de dicha Institución Internacional, como tuve ocasión de comprobar en los últimos Congresos Internacionales celebrados antes de la pasada contienda (*) y es, en cierto modo, el responsable de cuanto he de relataros, pues por su consejo inicié el estudio de la óptica y bajo su tutela realicé mi formación científica en Suiza y Alemania.

I.—PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad reina tal anarquía en la materia, que cada grupo opera por cuenta propia, siendo preciso realizar un aprendizaje previo para poder consultar la literatura donde los nombres, unidades y conceptos nuevos surgen y desaparecen con ritmo cinematográfico convirtiéndose la fotometría, según feliz expresión de Pohl, en una ciencia esotérica. Por ello, si queremos concretar las ideas debemos plantearnos de nuevo el problema y preguntarnos de acuerdo con el Mariscal de Sajonia: ¿De qué se trata, señores? La respuesta es inmediata: Se trata de valorar subjetivamente la luz y sus atributos mediante la máquina de ver humana, dando a esta valoración subjetiva la máxima generalidad.

Esto presupone que el sistema de conceptos y unidades ha de adaptarse al proceso visual, conservando las mayores analogías de encuadramiento con el sistema puramente físico de los conceptos y unidades radiométricas.

Es decir, que si se parte como sistema general del radiométrico

(7) R. JARDÍ Y BORRÁS: *Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, Memoria 10, 1914, p. 577.

(*) El «Patentamt» de Berlín da también la primacía legal a nuestro compatriota registrando en 1905 la primera patente sobre la materia.

co con sus conceptos especializados de los que uno se escoge como fundamental; en el sistema fotométrico, si bien pueden escogerse conceptos y unidades paralelos a aquéllos, el fundamental, así como la unidad del mismo, no tienen por qué coincidir con el que se haya escogido para tal fin en el sistema radiométrico.

Por ejemplo, parece a primera vista lógico en el sistema radiométrico, escoger como concepto fundamental la energía radiante contenida en un volumen determinado y medirla en ergios o julios, pero es perfectamente absurdo considerar su concepto fotométrico equivalente, como concepto fundamental en este sistema, ya que es bien sabido que el ojo en su uso normal no «acumula» energía sino que reacciona proporcionalmente al esplendor del manantial (8).

En la selección de conceptos y unidades fotométricas habrán de tenerse en cuenta, no tan sólo las necesidades de una técnica particular, como se ha hecho hasta ahora con el alumbrado, padre y responsable directo de los aciertos y yerros de toda la sistemática actual, sino también los usos y necesidades de otras técnicas interesadas, como las medidas astrofísicas, las meteorológicas, las que se ocupan de medir y valorar los colores y, generalizando más, las sensitométricas.

Efectivamente, al técnico del alumbrado no le interesaba hasta ahora más que los manantiales puntuales, los difusores perfectos, las emisiones superficiales, etc. y los medios rigurosamente transparentes y homogéneos. Pero el astrofísico trata con manantiales puntuales y no puntuales, con medios tan sólo parcialmente diáfanos, y la ley del cuadrado de las distancias, *deus est machina* de toda la técnica fotométrica clásica, no la aplica jamás. Otro tanto le sucede al metereólogo, y esto les ha llevado a desentenderse de la fotometría luminotécnica y a plantearse su propio sistema de conceptos y unidades, con lo que la confusión ha aumentado todavía más.

Una vez lograda la formulación de conceptos y unidades, es preciso estudiar los equivalentes de conversión de un sistema en

(8) Para manantiales puntuales, como por ejemplo las estrellas, cuya imagen en la retina es menor que en un receptor elemental, el estímulo crece proporcionalmente al flujo.

otro, es decir, ciñéndonos al sistema fotométrico habrá que determinar el equivalente mecánico de la luz y la función de «peso» para reducir las magnitudes radiométricas a fotométricas.

Para las unidades y patrones habrá de seguirse un criterio análogo: unidades adecuadas a los fines y características del receptor, y patrones lo más objetivos posible, procurando además empernarles sólidamente en los conceptos físicos puros.

II.—CONCEPTOS PSICOFÍSICOS

Al plantearnos el problema fotométrico, vemos que en esencia se trata de tarar los estímulos en forma de obtener igualdad o diferencia de las percepciones. El estímulo está provocado por un proceso meramente físico; este estímulo provoca una sensación y la sensación da lugar a una percepción consciente; por tanto las medidas fotométricas son medidas psicofísicas y los conceptos fotométricos son también conceptos psicofísicos. Evidentemente, las cantidades medidas y los conceptos definidos por estas medidas psicofísicas, no son sensaciones. A este resultado no se ha llegado de una manera inmediata y las primeras definiciones de luz y color del primer Comité americano de Colorimetría, rezaban por el contrario así: «Luz es la energía radiante evaluada con respecto a su capacidad de evocar el atributo de esplendor del color», y «Color es el nombre general del componente espectral de la sensación provocada por el estímulo de la retina del ojo y los mecanismos nerviosos allí reunidos, siendo estas actividades en casi todos los casos de individuos normales una respuesta específica a la energía radiante de ciertas longitudes de onda e intensidad». Estas dos definiciones presuponen, de acuerdo con la moda psicológica de 1922, fecha en que resumió sus tareas el primer Comité de Colorimetría de la Sociedad de Óptica Americana, que la sensación era un elemento muy definidor y lleno de contenido, de tal forma que a ella y a sus variaciones habíamos de referir la medida. No obstante el concepto de sensación, aparece en realidad muy indeterminado. Hace más de cincuenta años, exactamente en 1893, el profesor William James de Harvard, dijo: «es rigurosamente im-

sible definir una sensación, y en la vida actual de las sensaciones conscientes, éstas se convierten en percepciones por grados insensibles. Todo lo que podemos decir es que, lo que consideramos como sensaciones, son procesos primarios en el camino de la conciencia; son los resultados inmediatos sobre ella de las corrientes nerviosas al entrar en el cerebro antes que hayan despertado sugerencias o asociaciones con la experiencia pasada, que en forma de recuerdos quedan almacenadas en la conciencia. Pero es obvio que tales sensaciones inmediatas puedan realizarse únicamente en los primeros días de la vida en que este acervo de experiencia y sugestión interior no existe, pero son totalmente imposibles en los adultos con memoria y asociaciones adquiridas y por tanto una sensación pura es una abstracción que no se realiza nunca en la vida adulta». Esta postura extrema del Prof. James, fué casi universalmente admitida en los tres últimos decenios en que los psicólogos de más nota casi prescindían del concepto sensación, eliminándole de sus textos, pero modernamente vuelve a entrar en liza, si bien en forma mucho más restringida, quedando la sensación como el núcleo hacia el que las percepciones se acercan indefinidamente, de tal modo que cuanto más interpretativa sea una percepción, está más distante de la sensación, y cuanto más sensorial e ininterpretativa sea la experiencia, tanto más se aproxima a la sensación pura. Los aparatos receptivos del organismo están hechos para la sensación, y sin este concepto apenas puede describirse la función sensorial.

Tenemos, pues, tres categorías en el fenómeno fotométrico, según expone tan lucidamente Jones al prologar la memoria definitiva del Comité Americano de Colorimetría, que se encuentra en vías de publicación. Estas tres categorías son: una física, de estímulo; otra psicofísica, sensación, y la tercera psíquica, percepción. Existen por tanto tres conceptos correlativos de estas tres categorías. De la primera, estímulo, tenemos por ejemplo la densidad del flujo de la energía radiante que la medimos en ergios por cm^2 . Este flujo de energía se traduce en energía luminosa medida en lúmenes por watio, y en percepción cromática dependiente del reparto espectral de la energía: o también las tres categorías nos aparecen en los conceptos de una energía radiante con un

determinado reparto espectral que en la retina es desdoblado en energía visual tricromática, conduciendo a las sensaciones y percepciones.

Estos tres procesos paralelos, el físico, el psicofísico y el psíquico, se nos ponen más de relieve si consideramos gráficamente

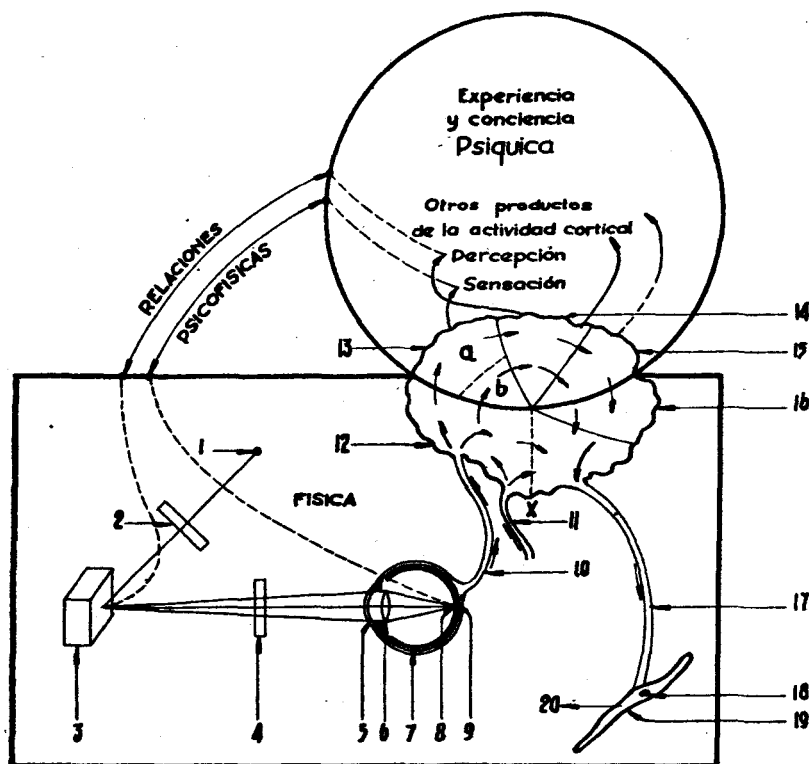


Fig. 1.—Física, Psicofísica y Psíquica de la visión.

todo el proceso visual (9). Supongamos un manantial (1) que emite energía que al propagarse encuentra un objeto (3), siendo en su camino modificado (absorción, difusión) por el medio interpuesto (2). Al llegar al objeto, parte de la energía radiante es absorbida, parte reflejada y parte le atraviesa. La porción reflejada se propaga

(9) Figura tomada del trabajo de JONES, *Psychophysics and Photography*, «J. O. S. A.», 34, 1944.

por el espacio y entra en el ojo que mira al objeto (3), modificándose en sus atributos por las propiedades absorbentes, difusoras, etcétera, del medio interpuesto (4). La parte de energía que llega al ojo, es refractada, absorbida y reflejada por los medios refringentes de aquél, y si el ojo está acomodado sobre el objeto, se formará una imagen del mismo sobre la retina (4), que recogerá la radiación reflejada por el objeto con las pérdidas y vicisitudes sufridas, tanto en el medio interpuesto entre el ojo y aquél, como las provocadas por los mismos medios del ojo. Hasta este momento, todos los cambios sufridos por la energía radiante desde el manantial (1), hasta llegar a la retina del ojo, son de carácter netamente físico y como tales podrán medirse y valorarse sin salir de los conceptos clásicos. En la retina, la imagen que se forma excita procesos fotoquímicos y fotoeléctricos, y según ha podido demostrar Granit, impulsos eléctricos en las neuronas y expansiones del nervio óptico (10) que terminan en el cuerpo geniculado del cerebro, llegando a las zonas sensoriales de la corteza cerebral (13, 14, 15 y 16). Vemos que, insensiblemente, hemos pasado del proceso físico a otro, que, indudablemente físico en su principio (absorción por las sustancias visuales, corrientes nerviosas de Granit), va perdiendo este carácter hasta aflorar como sensación en la corteza cerebral. El físico ha ido avanzando, pero se ha ido embebiendo en el proceso sensorial propiamente dicho, siendo sus límites completamente inciertos. Esto no nos quiere decir que el proceso físico no pueda avanzar más. En los griegos, la física se detenía en la córnea y allí empezaba la Fisiología y la Psicología. Con Al Hazen, la física llega al centro del ojo, y con Kepler, la física neta y pura llega a la retina. Indudablemente, las reacciones químicas de las sustancias visuales tienen un carácter netamente físico, y las fotoeléctricas también. El avance ha sido muy grande y es muy posible que por procesos físicos puros lleguemos a conocer el mecanismo de la «máquina de ver humana», según la expresión de Luckiesh, y consigamos llegar a la sensación.

La zona subcortical del cerebro (12), en sus procesos sinópticos, actúa como estaciones de conexión, controlando los impulsos que fluyen a la corteza, y también regulando los impulsos eferentes de origen no cortical, que originan ciertas reacciones motoras.

Parece demostrado que la consciencia, esto es, el paso de la sensación a la percepción, sólo comienza como indica la figura, cuando el impulso nervioso llega al área de proyección sensorial (13) de la corteza; allí se asocia con los productos de otras zonas de la misma, tales como las asociativas (14 y 15) y otras similares, dando lugar ya a fenómenos de percepción de carácter netamente psíquico. La cadena de impulsos eferentes (17, 18, 19 y 20) activa ciertos músculos, bien en forma inconsciente (contracción de la pupila, procesos de adaptación, etc.), bien semi-consciente, como los de convergencia y acomodación.

Todo el conjunto de acontecimientos, desde la excitación de conos y bastones, hasta las reacciones musculares (20), constituyen el llamado «arco físico de respuesta», designado así porque, aunque sólo parcialmente conocido, tiene un carácter físico bien definido. Su condición es radicalmente distinta de los procesos psíquicos de percepción y es de esperar que, pese a su carácter fisiológico, podrá pronto ser accesible a medidas físicas siguiendo el proceso ininterrumpido antes señalado.

Y esto no significa tomar partido por la doctrina mecanicista, que contrapuesta a la vitalista ha dividido en dos campos irreconciliables a los estudiosos de las ciencias biológicas, pues, como hace notar Heisenberg (10), así como en la física atómica el conocimiento exacto de una situación definida por conceptos químicos excluye de antemano la definición precisa de sus parámetros mecánicos, por la perturbación que inevitablemente toda observación lleva consigo, en el mundo de la vida, la definición exacta de los elementos determinantes físicos, excluyen el poder formular la afirmación de carácter vital, por la perturbación de aquellas medidas físicas, sobre la vida celular. Resultando que no hay exclusión mutua entre la tesis fundamental de los mecanicistas que en la naturaleza viva son estrictamente válidas las leyes físicas y químicas, y la afirmación de los vitalistas de que los procesos vitales tienen sus leyes particulares.

Esta larga disquisición que me ha distraído durante algunos

(10) WERNER HEISENBERG: *Die Einheit des Naturwissenschaftlichen Weltbildes*. Conferencia pronunciada el 26 de noviembre de 1941 en la Universidad de Leipzig

minutos, pero que en el Comité Americano de Colorimetría dió lugar a diez años de enconadas discusiones, ha llevado en 1944 a la novísima definición de Luz y Color que reza así (11):

«Luz es el aspecto de la energía radiante que aprecia un observador humano mediante las sensaciones que provoca la estimulación de la retina del ojo». La luz, concepto psicofísico, no es, pues, ni energía radiante ni sensación visual: es uno de los aspectos de dicha energía, como la impresión fotográfica o el efecto foto-eléctrico, son otros.

Para el color, la definición es por exclusión, y su glosa nos llevaría demasiado lejos; veámosla:

«El color consiste en las características de la luz, distintas de sus faltas de homogeneidad espacial o temporal».

Ya tenemos, por fin, la materia base «Made in U. S. A., 1944»; no nos queda sino tratar de medirla exactamente, siguiendo las tentativas iniciadas por Bouguer en 1729.

III.—CONCEPTOS Y MAGNITUDES RADIOMÉTRICAS

Una vez definida la esencia interna del proceso que trataremos de plasmar en cifras, podemos tratar de seleccionar sus magnitudes más características partiendo de sus correspondientes conceptos.

Para ello, como siempre, debemos partir de una o más ideas fundamentales cuyas relaciones mutuas expresadas en lenguaje matemático, dan lugar a ecuaciones determinadas, y si alguna combinación de símbolos se repite con frecuencia, puede ser cómodo y conveniente representarlos con nuevas magnitudes, sobre todo si tal ecuación tiene su significado físico bien definido.

El número de magnitudes a definir en un determinado capítulo de la física, es, pues, arbitrario, pero importa que sea restringido, y toda nueva magnitud debe responder a una necesidad real, so pena de cargar inútilmente la memoria y hasta de enmascarar com-

(11) *The Psychophysics of Color. Comité of Colorimetry*, Cap. VI, «J. O. S. A.», 34-245-1944.

pletamente el sentido físico, bien patente a veces en la ecuación de definición, pero oculto otras, tras el nuevo símbolo.

De todas estas magnitudes debemos escoger como primaria aquella que reúna las condiciones siguientes:

- a) Máximo sentido físico.
- b) Que permita realizar mejor un patrón de medida inalterable.

Es preciso poner de manifiesto que estando relacionada por meros equivalentes las magnitudes fotométricas a las radiométricas, y éstas a las mecánicas, en fotometría no existen magnitudes fundamentales.

Como el sistema físico, esto es, el radiométrico, es la base del fotométrico, trataremos de definir en él el concepto primario.

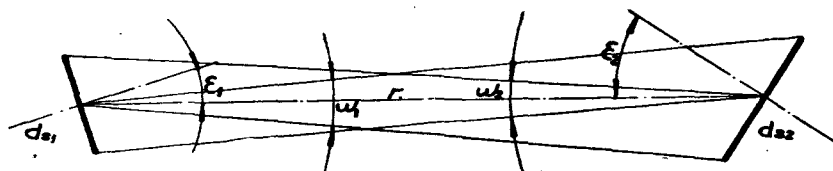


Fig. 2. (*)

Para ello, siguiendo a Pohl, consideremos un elemento superficial ds_1 (fig. 2), de un radiador que emite en todas direcciones (12). La radiación es recogida por un elemento de receptor ds_2 , situado a una distancia r del elemento emisor. Los ángulos que las normales a dichos elementos forman con la recta que les une son ϵ_1 y ϵ_2 , y los ángulos sólidos subtendidos son $d\omega_1$ y $d\omega_2$. Si suponemos el receptor constituido por un termoelemento conectado al oportuno aparato de medida que nos registra el flujo de energía radiante recibida y admitamos que el emisor radia en el intervalo espectral $d\lambda$ comprendido entre λ y $(\lambda + d\lambda)$; por consideraciones puramente elementales, podremos deducir llamando F al flujo

$$d_3 F = K ds_1 ds_2 1/r^2 \cos. \epsilon_2 d\lambda \quad [a]$$

variando la orientación del elemento emisor, experimentalmente se comprueba que el flujo elemental es proporcional al coseno del

(*) Se sobreentiende que ω_1 y ω_2 son ángulos muy pequeños, de modo que pueden sustituirse por $d\omega_1$ y $d\omega_2$.

(12) Supondremos la radiación polarizada en un plano.

ángulo que su normal forma con la recta que le une al receptor. (Ley de Lambert) (13), dependiendo la constante de proporcionalidad de la longitud de onda; con lo que la fórmula se convierte en

$$d_2 F = K_\lambda d\lambda ds_1 ds_2 1/r^2 \cos \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2 \quad [b]$$

o integrando para dimensiones finitas y un intervalo espectral dado

$$F = \iiint K_\lambda d\lambda ds_1 ds_2 1/r^2 \cos \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2$$

que también puede ponerse en la forma:

$$F = \iiint K_\lambda d\lambda d\omega_1 \cdot ds_1 \cos \varepsilon_1 \quad [c]$$

$$F = \iiint K_\lambda d\lambda d\omega_2 \cdot ds_2 \cos \varepsilon_2 \quad [d]$$

fórmulas fundamentales de la radiometría y de las que podemos deducir las ecuaciones de las magnitudes más convenientes.

Así por ejemplo, de [c] deducimos:

a) El flujo emitido por unidad de superficie del radiador

$$R = dF/ds_1 = \iint K_\lambda d\lambda d\omega_1 \cos \varepsilon_1$$

β) El flujo emitido por unidad de ángulo sólido del radiador

$$I = dF/d\omega_1 = \iint K_\lambda d\lambda ds_1 \cos \varepsilon_1$$

(13) En Óptica Geométrica se designa con el nombre de «tubo de luz» (Lichtrohr), la porción de radiación que tiene como elementos terminales ds_1 y ds_2 . Dentro de él, la ley de Lambert se deduce por consideraciones geométricas elementales, y este hecho ha inducido a error a muchos.

γ) El flujo emitido por unidad de ángulo sólido y por unidad de superficie normal a la dirección del haz elemental

$$B = dI/ds_1 \cos \epsilon_1 = \int K_\lambda d\lambda$$

Y de la fórmula [d], deducimos:

δ) El flujo recibido por unidad de superficie del receptor

$$E = dF/ds_2 = \iint K_\lambda d\lambda d\omega_2 \cos \epsilon_2$$

Estas cinco magnitudes: F, R, I, B, y E, unidas a una sexta que representa la energía emitida en un tiempo t

$$Q = \int F dt$$

son más o menos bien formuladas, según los tratadistas, las magnitudes radiométricas clásicas.

De ellas debemos seleccionar la principal de acuerdo con las dos condiciones señaladas más arriba.

Desde el punto de vista físico no cabe duda que la magnitud definida por la fórmula

$$B = \int K_\lambda d\lambda$$

es la única que define con exclusividad las propiedades físicas del cuerpo (a lo menos de la superficie externa), como manantial de radiaciones, ya que por meras consideraciones geométricas, o más ampliamente, de análisis matemático, pueden de ella deducirse el resto de las magnitudes formuladas. En el radiador de Planck (cuerpo negro), depende únicamente de la temperatura y de una constante universal. (Ley de Stefan-Boltzmann.)

El esplendor del radiador, que es como designaremos la magnitud B, llena, pues, completamente el primer requisito. Para que llenase el segundo sería preciso que un emisor tipo (radiador de

Planck) emitiese radiaciones fácilmente mensurables en watios, y aquí ya intervienen el receptor que transforma la energía radiante en otra forma de energía o en una sensación-percepción y que nos ha de condicionar la selección de la magnitud principal del sistema. Esta incertidumbre y el querer referirse lo más directamente al sistema mecánico, hace que se considere normalmente como magnitud radiométrica fundamental al flujo F .

Los conceptos expuestos tienen completa generalidad, y podrán aplicarse a cualquier receptor siempre que introduzcamos una función de peso que tenga en cuenta su selectividad y un factor de equivalencia que nos permita pasar fácilmente del sistema radiométrico (mecánico) al luminoso, fotoeléctrico, fotoquímico, etc.

En este caso la ecuación del flujo se convierte en

$$F_l = 1/M_l \iiint V_\lambda K_\lambda d\lambda d\omega_1 ds_1 \cos \varepsilon_1$$

y la de esplendor

$$B_l = 1/M_l \int V_\lambda K_\lambda d\lambda$$

siendo M_l el equivalente mecánico del atributo de la radiación a la que el receptor reacciona y V_λ la función de peso dependiente de λ .

Parece conveniente conservar todos los símbolos y únicamente indicar con sub-índices los distintos sistemas. Por ejemplo, l para el luminoso, f para el fotoquímico, e para la excitación de la piel, etc.

Este conjunto de magnitudes generalizadas representan tal vez la máxima depuración de los sistemas radiométricos y fotométricos clásicos, pero para que puedan ostentar con razón aquel título, tropiezan con tres escollos fundamentales. El primero consiste en que muchos emisores no siguen la ley del coseno, inconveniente que puede obviarse considerando K como función de ε_1 y de λ , pero la segunda dificultad es mucho más grave. En efecto, hemos prescindido por completo de la modificación que la radiación sufre en el medio interpuesto y como los medios absolutamente diáfanos

no existen, las fórmulas pierden en valor físico todo lo que ganan en rigor matemático.

Por último, hemos supuesto emisores superficiales, pero la variación de las magnitudes en función del volumen, que en manantiales de tres dimensiones es de importancia fundamental, no admite una formulación sencilla con las premisas supuestas (14).

Desde el punto de vista fotométrico, el alumbrado de fluorescencia es de carácter espacial y no obedece la ley de Lambert más que de una manera aproximada, por lo que los conceptos antiguos no son de demasiada utilidad, exigiendo este tipo de alumbrado, que es sin duda el del porvenir próximo, métodos y sistemas de verdadera generalidad que el Prof. Parry Moon del Massachusetts Institute of Technology, ha logrado formular maravillosamente y que aun temiendo abusar de vuestra atención, resumiré brevemente más adelante.

Si consideramos las magnitudes seleccionadas, vemos que una de sus características más notables es que llevan implícita una dirección (15). Tenemos magnitudes «del» y magnitudes «hacia». Por ejemplo, flujo radiado por unidad de superficie del emisor, por unidad de ángulo sólido y flujo recibido por unidad de superficie del receptor. Es decir, que implícitamente vamos dando atributos vectoriales a las magnitudes sin que saquemos de este hecho todas sus consecuencias.

Aunque la cuestión de las ecuaciones dimensionales está algo pasada de moda, el hecho de la influencia direccional, que naturalmente no recogen las ecuaciones de dimensión, harían que su uso condujese a dar las mismas dimensiones a las magnitudes de flujo emitido y recibido por unidad de superficie, intensidad y esplendor. Por ello los radiometristas y fotometristas jamás les prestaron la menor atención, anticipándose a su decadencia.

(14) Para obviar este inconveniente, algunos introducen las magnitudes dF/dv , siendo dv el elemento de volumen, pero que no tiene encuadramiento en el sistema clásico.

(15) Ver PARRY MOON: *System of Photometric Concepts*. «J. O. S. A.», 32-348-1942.

IV.—SISTEMA DE MAGNITUDES Y CONCEPTOS FOTOMÉTRICOS

La formulación matemática del flujo y el esplendor, es para el sistema luminoso:

$$F_l = 1/M_l \iiint K_\lambda d\lambda V_\lambda d\omega_1 d\epsilon_1 \cos \epsilon_1 \quad y$$

$$B_l = 1/M_l \int K_\lambda V_\lambda d\lambda$$

y vamos a referirnos al significado de M_l y V_λ .

El coeficiente M_l nos representa el equivalente mecánico de la luz, o sea, el factor de paso de la unidad de flujo en el sistema luminoso al sistema radiométrico, y como quiera que la eficacia luminosa del flujo varía con la longitud de onda, se fija para mayor comodidad el equivalente para aquella radiación de eficacia máxima, con lo que M_l queda definido invariablemente.

Su inversa $\frac{1}{M_l}$ nos representa el equivalente luminoso del flujo mecánico y nos permite convertir los flujos mecánicos en luminosos.

V_λ es el factor de eficacia o de peso de la radiación mecánica en el sistema psicofísico y su variación con λ nos da la curva de luminosidad relativa en la que arbitrariamente fijamos su valor máximo como unidad.

No es preciso subrayar la importancia técnica y práctica de una exacta determinación de $1/M_l$ y de la curva (V_λ, λ) tanto para el investigador que trata de valorar exactamente una radiación en el sistema psicofísico, como para el técnico que le interesa saber exactamente cuánta luz en el sentido restringido va a obtener de los wattios que alimentan su manantial luminoso, valor íntimamente relacionado con M_l .

Desgraciadamente, la determinación del primero, choca con dificultades grandes de tipo experimental, y no por culpa del sistema psicofísico, ya que aunque parezca paradójico, se puede medir con mucha más precisión la luz que la energía radiante, hecho que justifica plenamente un sistema de unidades independientes.

Por ello el camino que se ha seguido modernamente (16) después de multitud de tentativas, la primera de las cuales fué de Thomson (17), ha sido una determinación teórica por la fórmula de Planck, del flujo emitido por unidad de superficie normal a la dirección de medida, por el cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino para el intervalo espectral de máxima eficiencia luminosa, de acuerdo con la curva de luminosidad espectral V_λ y comparación de dicho valor con el número de unidades luminosas emitidas por el cuerpo negro a dicha temperatura y longitud de onda.

Las dificultades han sido grandes y los resultados inciertos, debido principalmente a las causas siguientes:

1.ª) Imprecisión de las constantes de la fórmula de Planck, singularmente de c_2 que fijada en 1927 en 1,432 cm./grado, fué rectificada ulteriormente a 1,436.

2.ª) Mayor imprecisión de la curva de luminosidad espectral diurna que, basada en la medida de varios investigadores, singularmente Gibson (18), trata de representar la sensibilidad espectral de un ojo promedio y fué adoptada internacionalmente en 1924 (*).

Como se sabe, existen dos mecanismos fotoreceptores diferentes en la retina, uno que opera con niveles luminosos medios y altos y otro para niveles luminosos muy bajos, mecanismos que tienen distinta sensibilidad espectral. Tenemos, pues, dos curvas distintas, una con su máximo a unas 555 m μ correspondiente al primer mecanismo y la otra con el suyo a unos 510 m μ para el segundo. Esto es, que para el ojo adaptado a una luz viva en el espectro equinergético, el color más brillante nos parece el amarillo, mientras que en el mismo espectro y con muy poca luz, el

(16) WENSEL: *J. Research, Nat. Bur. Stand*, 22-375-1939.

(17) J. THOMSON: *Das Mechanische Äquivalent des Lichts*, «Pogg. Ann», 125-348-1865.

(18) Después de la controversia con Jainski y Dresler, GIBSON resume sus puntos de vista en un trabajo publicado en el «J. O. S. A», *Spectral Luminosity factors*, 30-51 1940, recogiendo prácticamente toda la bibliografía.

(*) Un método de determinación de esta curva basada en el fenómeno de Pulfrich es descrito por J. M. Torroja en su notable conferencia sobre la Estereoscopia de los Objetos en Movimiento pronunciada en Salamanca el 26 de junio de 1923.

lugar de máximo esplendor se desplaza al verde azulado. (Fenómeno de Purkinje.)

El paso de un tipo de visión a otro, se realiza gradualmente, o sea, que al descender el nivel luminoso van entrando en juego los bastones paulatinamente y esto nos obliga a operar en condiciones tales, que se esté seguro de hallarse dentro de uno de los tipos de visión.

La visión diurna, llamada también de conos o fotópica, parece quedar restringida en toda su pureza, a la fovea, por lo que el campo visual del fotómetro donde se determinan las curvas de luminosidad, parece no debe de exceder del ángulo subtendido por ésta. Por otra parte, el método de obtener la curva, necesariamente ha de tener importancia. El usado por Gibson es el llamado de los escalones cromáticos y consiste en esencia en ir comparando sucesivamente en el fotómetro, zonas cromáticas contiguas del espectro y midiendo su eficacia luminosa relativa. Es decir, que realiza una fotometría heterocroma directa, pero con tono de colores poco distinto, método hoy ventajosamente sustituido por el de parpadeo o el de filtro.

Basándose en el de parpadeo y con una técnica muy depurada, Jainski, en su tesis doctoral resumida posteriormente en un trabajo publicado en *Das Licht* (19), da cuenta de haber comprobado que la curva de luminosidad relativa espectral está en realidad desplazada 10 mμ hacia las longitudes de onda largas, con lo que todas las medidas fotométricas basadas en la curva internacional, adolecen de este defecto fundamental. Jainski opera con campos fotométricos de 1° 12', con esplendores de 200 a 800 apostilb y empleando dobles monocromadores para evitar todas las luces parásitas. Los resultados de las investigaciones de Jainski, comprobados por Dresler, originaron como era natural un extraordinario revuelo. Discutidos ampliamente en el Congreso del Alumbrado celebrado en 1939 en Scheveningen, fueron desechados por no merecer confianza la perfecta normalidad cro-

(19) P. JAINSKI: *Neue Untersuchungen über die spektrale Hellempfindlichkeit*, «Das Licht», 8-245-1938.

mática de los observadores de Jainski (20) y por considerar que los niveles luminosos con que él operaba no se correspondían con los de la vida cotidiana, siendo posible que utilizando el método de escalones cromáticos con tales niveles luminosos, se hubiese llegado al mismo resultado. El descubrimiento por Dresler (21) de la variación en el mismo individuo de la relación de eficacia cromática de las rayas amarilla y verde del espectro del mercurio, durante el curso del año, dependiente de la dieta vitamínica, función de la alimentación estacional, terminó de justificar el rechazo de la propuesta de Jainski, que, como suya, presentó la Sección Alemana del Comité Internacional del Alumbrado a dicho Congreso. Jainski, sin embargo, había puntualizado en 1938 que, siendo condición indispensable para que un método de fotometría heterocroma sea válido, que en él se cumplan las leyes de Grassman, la segunda de las cuales no es aplicable desde luego en el método de los escalones cromáticos, la discrepancia de las curvas obedecía a razones más complejas que las apuntadas anteriormente.

Como quiera que las razones del Congreso de La Haya para rechazar la nueva curva pueden resumirse diciendo que no era necesario cambiar la curva internacional porque siendo mala, era tan mala como pudiese ser cualquiera otra que viniese a sustituirla, creo que la cuestión sigue en pie. Según mi modesta opinión, la causa fundamental de la discrepancia estriba en que las curvas de sensibilidad, desde el umbral absoluto, cuando sobre la retina inciden pocos cuantos de luz, hasta el deslumbramiento, sufren un desplazamiento monótono hacia las longitudes de onda largas (22) y que por tanto para que una curva de luminosidad quede perfectamente definida, es necesario especificar el fotome-

(20) Se le reprochaba el no haber tenido en cuenta la prueba de Ives denominada (Y/B), que sirve para discriminar la normalidad cromática de un observador. Ver GIBSON, *Loc. cit.*, y también JAGGI, *Beitrag zur Kenntnis der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges...*, «Helvetica Phisica Acta», 12-77-1939.

(21) ANTON DRESLER: *Über eine Jahreszeitliche Schwankung der spektralen Hellempfindlichkeit*, «Das Licht», 10 79-1940.

(22) Tal desplazamiento ha sido comprobado experimentalmente por Weigel y Knoll entre 0,001 y 0,01 asb. (Ver el trabajo de estos autores en «Das Licht», 12-160-1942.)

trado, tanto en lo que respecta al campo visual que nos asegure una visión fotópica pura, como por operar con un esplendor del campo fotométrico previamente convenido y que se corresponda con la iluminación normal de la retina, en la vida al aire libre. Las razones en que me fundo, aparte de los trabajos antes citados, es que en experiencias recientes que he realizado en colaboración con Plaza y que están en prensa, he podido observar que muchas de las características visuales sufren desplazamientos notables al pasar de los esplendores medios a los muy elevados. Así, por ejemplo, en dicho trabajo hemos podido deducir que operando con esplendores de campo de unos 50.000 asb. se obtienen agudezas visuales hasta un 250 por 100 mayores de las consideradas como normales, y coincidentes para manantiales de colores muy distintos. Esto es, que la agudeza visual crece notablemente hacia un valor asintótico al aumentar considerablemente el esplendor del campo.

Esta zona de los grandes esplendores del campo visual ha sido poco explorada y creemos que en su estudio puede encontrarse la solución del problema que nos ocupa. En la actualidad, en el Instituto «Daza de Valdés», estamos abordando este debatido tema de la curva estadística de eficacia luminosa espectral, y creemos que el operar con esplendores vecinos del máximo que puede soportar el ojo, nos permitirá aclarar definitivamente tan debatida cuestión. Por otro lado, el proceso fotoquímico de las sustancias visuales, refuerza nuestra tesis. Evidentemente las curvas de absorción de dichas sustancias han de depender notablemente del grado de avance de las reacciones fotoquímicas, que a su vez han de ser función del número de fotones que llegan por unidad de superficie a la retina, y por tanto del esplendor del campo.

Como resumen de todo lo dicho, tenemos la desconsoladora experiencia de que la curva de eficacia luminosa espectral sigue en tela de juicio y por tanto todas las importantísimas cuestiones que de ella dependen, entre otras la de la fijación del equivalente mecánico de la luz, quedan sin precisar (aparte del resto de factores señalados arriba), dando valores fluctuantes para distintos

investigadores, siendo el valor real más probable el de 678 nuevos lúmenes por watio (ver Wensel, loc. cit.).

V.—MAGNITUD PRINCIPAL EN EL SISTEMA FOTOMÉTRICO

Dijimos al tratar de seleccionar la magnitud principal en el sistema radiométrico, que el flujo emitido por unidad de superficie normal a la dirección de detección y por unidad de ángulo sólido, representaba la magnitud física que caracterizaba mejor al emisor. El no tomarla por magnitud principal es debido más que nada, al uso y a que muchas veces los receptores físicos no reaccionan al flujo, sino a otras magnitudes. En el caso del sistema fotométrico, el ojo, salvo condiciones de uso excepcionales, trabaja exclusivamente de acuerdo con el esplendor del manantial, medido por el esplendor de su imagen retiniana y por ello creemos que en tal sistema debería considerarse el esplendor como magnitud principal, y sobre él construir el resto de las magnitudes derivadas. Esta es la tesis mantenida por Otto Reeb (23) y su desarrollo consiste en esencia en partir de la expresión analítica del esplendor:

$$B = 1/\dot{M}_l \int K_\lambda V_\lambda d\lambda$$

y obtener por sucesivas integraciones las otras cuatro magnitudes. El mismo Reeb considera sin embargo que, dado el extenso sector interesado en los problemas técnicos del alumbrado y que manejan las magnitudes fotométricas, es peligroso por su mayor abstracción, adoptar con carácter de generalidad un sistema fotométrico tomando como magnitud primaria el esplendor. Otra vez la masa sacrifica a la física. Sin embargo, las consecuencias han sido desdichadas. El proceso mental de no dar importancia al esplendor, fijándonos en las magnitudes más directamente derivadas del flujo, tales como la iluminación y por otra parte la comodidad de los receptores objetivos fotoeléctricos que reaccio-

(23) OTTO REEB: *Ein auf der Leuchtdichte als Primärgrösse aufgebautes System der lichttechnischen Grundgrössen*, «Das Licht», 5-11-1935. (Ver apéndice III.)

nan a esta última magnitud usados profusamente por los lumínicos, nos han inundado de especificaciones de alumbrado para escuelas, talleres y calles, etc., en lux (iluminación) prescindiendo por completo del factor de remisión de los objetos iluminados que convierte el flujo recibido en esplendor. Y, sin embargo, nuestras amas de casa saben perfectamente que se precisa más luz para coser con hilo negro sobre tela negra, que para realizar la misma operación sobre tela blanca, y el más modesto peón caminero pinta de blanco parte del tronco de los árboles de la carretera para hacerlos visibles. No importa el flujo que recibe el objeto sino el que devuelve, y el ojo no juzga de intensidades ni de iluminaciones, sino de esplendores.

VI.—NOMBRES DE LOS CONCEPTOS FOTOMÉTRICOS

Pasemos ahora a la cuestión más espinosa y que tal vez sea la que arroje más confusión sobre nuestro problema. Al definir simbólicamente una magnitud, tratamos de darla un nombre que la diferencia de las demás y que debe corresponderse con el concepto que nos formamos de ella, sin necesidad de recurrir al algoritmo matemático. Si el capítulo de la ciencia en que trabajamos es restringido y los conceptos tienen poco que ver con las del lenguaje cotidiano, la cosa no va mal, y con facilidad encontramos una serie de nombres que causan poca confusión, pero aun en este caso caemos bajo la tiranía del lenguaje, que al tratar necesariamente con ideas preconcebidas, evoca en nuestro inconsciente imágenes, que al corresponder a objetos distintos, provocan sombras y niebla.

Ahora bien, si la palabra que define el concepto tiene ya su marchamo en la vida cotidiana, en ese caso la catástrofe es casi segura, pues como dice Crittenden, el lenguaje es un resultado de una evolución y semejante a un organismo vivo en crecimiento sólo puede ejercer influencia sobre él hasta cierto límite y mediante un esfuerzo paciente y perseverante.

Moon, a quien su ímpetu iconoclasta lleva a tratar de cambiar todos los nombres de los conceptos fotométricos, expone con

gracejo la situación provocada por usar para conceptos científicos vocablos de la vida normal, al referir cómo un profesor trata de introducir el concepto físico de trabajo a sus alumnos:

«Todos ustedes saben lo que es realizar un trabajo; designémosle por T...», y luego sus apuros para explicar a uno de sus jóvenes alumnos que le hace una pregunta inocente, que al mantener con el brazo estirado horizontalmente una maciza pesa, no está haciendo trabajo alguno.

En el campo fotométrico tenemos las voces de brillo, visibilidad, luminosidad, etc., cuya ambigüedad causa confusiones sin cuento; por ello bien decía Von Mises: «Tengo la sensación de que muchos que se ocupan de mecánica entenderían los conceptos mucho mejor si fuesen representados por palabras latinas, que si lo fuesen por las del lenguaje ordinario. Los científicos no son sino hombres, y como tales usan el lenguaje en su sentido llano durante la mayor parte de sus vidas. Están por ello sometidos a todas las confusiones de lenguaje del hombre vulgar y sucumben a ellas demasiado a menudo.»

Porque en el lenguaje científico y técnico deseamos que cada palabra signifique siempre la misma cosa para todos nosotros, y esto es prácticamente imposible si escogemos los nombres precisos para designar los conceptos científicos del lenguaje vulgar.

Y, sin embargo, es demasiado frecuente el usar palabras de este lenguaje para los conceptos de una rama del saber. Parece como si al surgir nuevas ideas en la mente del hombre de ciencia con todas las dificultades de un alumbramiento, por un proceso mental ineludible, tuviese que buscar a modo de pasarelas mentales entre el concepto científico que trata de enunciar y algo semejante de la vida cotidiana; luego aquél se perfila y delimita, pero la pasarela —palabra— queda, y la tiranía del lenguaje hace lo demás.

Es una perturbación semejante a la que el uso y el abuso de los modelos mecánicos han introducido en la atomística. Y todo ello no indica sino nuestra limitación intelectual. Causa asombro el comprobar el lentísimo proceso de depuración de las magnitudes y conceptos científicos desde que una ciencia nace hasta que entra en la edad adulta. Con la costumbre de los Congresos In-

ternacionales, quedan, desgraciadamente, a modo de vergonzosos testimonios notariales de nuestra marcha de caracol. Por ello no debemos enorgullecernos demasiado de los avances de la técnica. El microscopio electrónico pudo realizarse en tan sólo ocho años, desde las primeras experiencias de Ruska, pero en dicho tiempo se integró el trabajo de miles y miles de técnicos. La definición y precisión de los conceptos es obra de unos pocos; aquí no hay integración posible, y el trabajo, más que de síntesis, es de análisis, separando lo superfluo, orillando lo ambiguo y sintetizando lo definitivo.

Recuerdo que en la definición de flujo luminoso hubo múltiples pláticas en diferentes Congresos de la Comisión Internacional del Alumbrado, y, por fin, surgió la definición de 1921, según la cual: «Flujo es el gasto de energía radiante evaluada según la sensación luminosa que produce».

Aparte del uso indebido del concepto, sensación que haría temblar de ira a los americanos maestros en Psicología, los definidores olvidaron el pequeño detalle de que en el ojo hay dos sistemas de receptores con sus curvas de respuesta distintas y que, por lo tanto, la definición es perfectamente indefinida. Dziobek es el primero que «cae en la cuenta» (24)... en 1935, y propone una modificación de la definición, que es inmediatamente adoptada por la Asociación Luminotécnica Alemana e introducida luego en las normas D. I. N., sin que sepamos haya recaído acuerdo internacional sobre ella. Con tal modificación, los alemanes definen así el flujo: «El flujo luminoso de un manantial es el gasto de energía radiante evaluada de acuerdo con la curva de luminosidad espectral del ojo, adaptado a la claridad».

Aquí ya no hay escapatoria posible, pero la definición precisa tardó catorce años en llegar. Y, sin embargo, cuando vamos de noche por la calle, valoramos el flujo de energía con la otra curva, con la escotópica, y toda la definición de flujo antigua es inservible.

Esto es de tal importancia, que cuando el oscurecimiento de

(24) W. DZIOBEK: *Zur Begriffsbestimmung der lichtechnischen Grundgrößen*, «Das Licht», 5-9-1935.

las grandes ciudades, secuela de la guerra, puso brutalmente de manifiesto los dos mecanismos receptores del ojo, hubo, a prisa y corriendo, que crear todo un sistema de conceptos fotométricos y de unidades, aptos para la visión nocturna (25).

Terminada esta digresión, pasemos a exponer las condiciones que debe reunir el nombre de una magnitud; éstas deben ser las siguientes:

1.º Sencillez (evitando enunciar el concepto por una frase en vez de una palabra).

2.º Que la palabra esté desprovista de ambigüedad.

3.º Que el conjunto de vocablos de un grupo forme un sistema lógico.

4.º Que se respeten terminaciones que forman sistemática en el idioma.

5.º Que sea lo más internacional posible.

6.º Que sea eufónico y se pueda pronunciar bien en las lenguas cultas.

Por lo que respecta a la primera condición el uso es implacable, y en cuanto una magnitud o concepto se repite mucho en el lenguaje de los técnicos o científicos, aparece el nombre específico para ella, aunque se trate de una magnitud derivada. Por ello, no tiene razón Pohl (26) cuando acusa a los fotometristas de haber inventado palabras distintas para las magnitudes derivadas del flujo luminoso. Los físicos radiometristas son unos pocos y pueden perder el tiempo diciendo: flujo por unidad de superficie del emisor, flujo recibido por unidad de superficie del receptor, etc. Pero los luminotécnicos y fotometristas forman legión, y, así como en marina no decimos milla por hora, sino nudo, ni los agricultores dicen cien metros cuadrados, sino hectárea, así también, al emplear las magnitudes corrientes, el técnico tiende, naturalmente, a emplear un solo vocablo para cada una de ellas.

La segunda condición es la más difícil de cumplir por el entronque con el lenguaje vulgar de que antes hemos hablado. De

(25) Para los fundamentos ver los trabajos de REEB y SCHNEIDER en «Das Licht», 10-37 y 103-1940; J. M. TORROJA hizo un notable resumen en la contestación a mi discurso de entrada en esta Casa el 6 de junio de 1945.

(26) Pohl. *Optik* Julius Springer, Berlin, 1940, pág. 303.

todas maneras, en el lenguaje español su riqueza permite hacer un espurgo de los términos más imprecisos y sustituirlos por aquellas palabras que mejor coincidan en su acepción vulgar con el concepto científico de que se trate.

Por lo que respecta a la tercera condición, esto es, que el conjunto de vocablos afines formen sistema, es una de las causas que han motivado más cambios en la nomenclatura, con objeto de conseguir conjuntos más sistemáticos.

En efecto: la lógica idiomática sale muy mal parada en los vocablos en uso para los conceptos fotométricos, y, sin embargo, las raíces latinas de muchas lenguas cultas permitirían cumplir esta condición, favoreciendo al mismo tiempo la internacionalidad. Moon ha hecho un estudio detenido sobre el significado de los sufijos en francés, inglés, alemán, italiano, español y portugués, llegando a las consecuencias siguientes:

a) La terminación *or*, común para inglés, español, portugués y alemán, denota casi siempre nombre de aparato o dispositivo. Ejemplos: motor, radiador, ascensor, reductor, etc.

b) La terminación *ción*, *tión*, *zione*, denota un proceso. Ejemplo: radiación, oxidación, ebullición, etc., pero desgraciadamente con una tendencia de superponerse al sentido de proceso el de dispositivo.

c) La terminación *ty*, inglesa, o sus equivalentes *té*, *dad*, *tät* o *schaft* y *tà*, denota propiedad de una materia. Ejemplo: densidad, capacidad, viscosidad, conductividad, permeabilidad. Siendo excepción notable, velocidad.

d) La terminación *ancia* o *encia*, *ance*, *anzia*, *anz*, denotan propiedades características de un dispositivo. Ejemplo: reactancia, impedancia, capacitancia, etc.

El estudio sistemático hecho por Moon indica que en ocho lenguas, de 554 vocablos, hay coincidencia para 466, es decir, un 83 por 100 y, si nos circunscribimos al francés, inglés, español, italiano y portugués, hay acuerdo de 347 vocablos, en un total de 355, es decir, cerca de un 98 por 100.

Este estudio nos demuestra que con buena voluntad internacional, podría llegarse a una casi completa unificación de los vocablos científicos.

Esto está limitado porque la fealdad y falta de eufonía de muchas voces elaboradas a golpe de escoplo y traducidas o adaptadas al español de prisa y corriendo, harían estremecerse de furor en sus tumbas a todos nuestros prosistas del siglo de Oro. La fealdad, sobre todo, de los terminados en *ancia*, es como para que nos pida responsabilidades la Academia de la Lengua por el destrozo del idioma. Hay que leer, pero no oír a esas reacciones y conductancias. Al único «*ancia*» del léxico fotométrico, la *radiancia*, le tengo preparado para el sacrificio y no espero más que vuestro consentimiento para extenderle la papeleta de defunción, pues aparte de ser un vocablo de raíz radiométrica introducido subrepticamente en el grupo fotométrico, es de los más feos de la familia, y tiene además un tufillo gálico que, como dirían nuestros clásicos, se percibe a tiro de ballesta.

Y ahora toca preguntarnos: ¿es que los vocablos en uso para los conceptos fotométricos siguen las normas arriba enunciadas? La respuesta es negativa. Los términos españoles adoptados por la Comisión Internacional de Electrotecnia, dan los siguientes nombres para las magnitudes fotométricas fundamentales: flujo, *radiancia*, intensidad luminosa, iluminación, brillo y cantidad de luz.

A pesar del respeto que me merecen los tres sabios españoles que formaron parte de la Comisión, de los que sólo Artigas vive y llamado a formar parte de la Corporación estamos deseando desde hace varios años que se siente por fin entre nosotros, he de rechazar los siguientes vocablos: Brillo, que designa el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido y por unidad de superficie del emisor proyectada sobre el plano normal a la línea de propagación, que debe sustituirse por ser de lo más ambiguo tanto en el lenguaje vulgar como en el científico, ya que brillo tiene entre otras la acepción de tanto por ciento de reflexión regular en una superficie pulimentada. Propongo para sustituirle la palabra esplendor, perfectamente castiza y mucho menos equívoca y que venimos usando en los trabajos de fotometría del Instituto de Física «Alonso de Santa Cruz» y más tarde en los del «Daza de Valdés» de Optica.

La palabra «*radiancia*», cuya condena os he propuesto por los

motivos aducidos antes, creo que puede cambiarse por «luminación», que aunque no existe en el Diccionario, es el paralelo de iluminación y guarda con ella el mismo parentesco que radiación e irradiación, hoy ya de uso corriente.

De los nombres de otros términos fotométricos recogidos en el vocabulario electrotécnico internacional, creo debe cambiarse también el referente a la curva de luminosidad espectral que es designada allí con el nombre de curva de visibilidad. La palabra visibilidad es equívoca y ya la Comisión Internacional del Alumbrado la ha cambiado en el sentido enunciado por nosotros, en su versión inglesa *visibility* y francesa *visibilité*.

Con estos retoques más bien tímidos, aunque no nos adaptemos a las normas que acabamos de enunciar, creemos que la situación mejora sensiblemente.

La situación del vocabulario internacional se ha hecho extraordinariamente caótica en los últimos tiempos. Las normas de la Comisión Internacional del Alumbrado han encontrado muchos disidentes. Por ejemplo en América, el Comité de Colorimetría de la Sociedad Americana de Óptica, ha propuesto una serie de nombres en desacuerdo total con los cánones de todo orden y que resumiremos al hablar de las unidades. Parry Moon, por no ser menos, y mejor dicho, avanzando mucho más, propone desde 1939 abolir todos los nombres actuales que considera, y con razón, que al estar relacionados con otros actos de la vida lega, han de producir siempre confusión. Por ello no hay más que dos soluciones: o inventar palabras nuevas (de las que «gas», según me indicó nuestro compañero Palacios, es un buen ejemplo y se internacionalizó rápidamente), o buscarlas en las lenguas muertas. Moon desecha el latín por su demasiado parecido con lenguas vivas y se decide por el griego. A los vocablos griegos les pone unos sufijos arbitrarios para indicar longitud, superficie y volumen, que son:

ent.....	por	unidad	de	distancia
age.....	»	»	»	área
um.....	»	»	»	volumen.

Ahora bien, en su sistema, del que más adelante nos ocuparemos,

no conserva de los conceptos clásicos más que el del flujo luminoso que lo designa con la voz griega de *Pharos* y el de cantidad de luz que designa con el nombre de *Phos*. Como tercera magnitud principal emplea *Moon* una especie de esplendor generalizado, que primero designó con el nombre de *Selancia* (*selance*) y más tarde con el de *Helios*, que es el que emplea en sus trabajos a partir de 1942. El resto de las magnitudes se refieren a las anteriores y las forma con los sufijos arriba dichos.

En conjunto con los últimos disidentes que han venido a reunirse a los físicos radiometristas, astrofísicos, meteorólogos y médicos, quienes de antiguo formaron su rancho aparte en la nomenclatura de los conceptos radiométricos y fotométricos de uso en sus respectivas actividades, el vocabulario internacional creo que no lo seguirán en los momentos actuales ni sus progenitores, con lo que la dificultad de lectura de los trabajos sobre fotometría convierte aquélla en un verdadero jeroglífico. Como no es cosa de molestar vuestra atención con la multiplicidad de nombres de conceptos y unidades usados en los últimos años, que por otra parte, irán resumidos en un cuadro al final de este trabajo, sólo referiré como curiosidad, lo ocurrido con el nombre de la unidad de energía luminosa, propuesto por el Comité Americano de Colorimetría en 1937. Para este nombre iba en cabeza de turno la palabra *Lucifer*, basándose en su significado latino, pero alguno de los miembros del Comité pensó, con ortodoxia, que era algo fuerte glorificar de este modo, aunque no fuese más que fotométricamente, al Príncipe de las tinieblas, y después de prolijas discusiones y pertinentes votaciones fué desechado finalmente por diez votos contra siete, por las «desagradables concomitancias que tal nombre pudiera despertar en muchos», según reza el informe oficial del Comité (27).

(27) LLOYD A. JONES: *Nomenclature and definitions*, «J. O. S. A.», 27-207-1937

VII. PATRONES FOTOMÉTRICOS

Ya dijimos al iniciar este discurso, que desde 1.º de enero de 1941 (28), debería estar vigente en todos los países, como patrón y unidad fundamental de la fotometría, la nueva bujía cuya definición oficial es como sigue:

«Patrón primario: Este patrón adoptado en principio por la Comisión Internacional de Pesas y Medidas, en 1930 y 1933, es un radiador de Plank (cuerpo negro), a la temperatura de solidificación del platino y el valor de la unidad de intensidad luminosa (adoptada en 1937) es tal, que el esplendor de dicho patrón sea de sesenta unidades por cm^2 . La forma bajo la cual se realiza este patrón actualmente, es en sus líneas esenciales, la concebida por el National Bureau of Standards de Washington y que se encuentra descrita en las Actas del Comité Internacional de Pesas y Medidas (pág. 249). El color de la luz suministrada por el patrón no difiere sensiblemente de la emitida por los patrones de llama y las lámparas de filamento, de las que se ha hablado en el párrafo número 1.»

El camino para llegar a esta resolución fué largo y trabajoso y lo resume hasta 1932 el actual Director del Instituto de Óptica de París, Pierre Fleury, en su notable trabajo «Etalons Photométriques» (29), así como Hoffman, Korte y Willenberg (30) y Köhler (31).

Partiendo de las antorchas de Bouguer (1698-1758), autor del primer fotómetro y del primer Tratado de Fotometría que se

(28) Por carta de 1.º de enero de 1940 de la Comisión Internacional de Pesas y Medidas, a los países interesados y a los Laboratorios Nacionales, fué suspendido el cambio de unidades hasta nuevo aviso.

(29) PIERRE FLEURY: *Etalons Photométriques*, «Encyclopedie Photométrique», tomo II, ed. *Revue d'Optique*, París, 1932.

(30) FR. HOFFMANN, H. KORTE y H. WILLENBERG: *Der Werdegang der neuen Lichteinheit*. Comunicación del Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, publicado en «Das Licht», 11-207-1941.

(31) W. KÖHLER: *Zur Einführung der neuen internationalen Lichteinheit*, «Das Licht», 10-175-1940.

ESSAI
D'OPTIQUE,
SUR
LA GRADATION
DE LA LUMIERE.

Par M. BOUGUER, *Professeur Royal en
Hydrographie.*
Penalver.



A PARIS,

Chez CLAUDE JOMBERT, rue S. Jacques,
au coin de la rue des Mathurins,
à l'Image Notre-Dame.

M. DCCXXIX.

Avec Approbation & Privilège du Roi.

conoce (32), los primeros patrones fueron, en sonsonancia con el sistema de alumbrado de su época, bujías. Con ello no se cumplía sino una de las condiciones que debe satisfacer todo patrón de medida y que podemos resumir así:

- 1.º Invariabilidad.
- 2.º Fácil contraste de la misma.
- 3.º Reproductibilidad mediante especificaciones adecuadas.
- 4.º Que esté en consonancia con el tipo de magnitudes con que se ha de comparar.
- 5.º Facilidad de esta comparación (33).
- 6.º Sencillez.

Pues bien, las primeras bujías patrones no satisfacían más que a las condiciones 4.ª, 5.ª y 6.ª, y buscando una invariabilidad se procuraron tipificar la composición de la materia prima de la bujía y la mecha, y asimismo mediante el peso del combustible consumido, se daba valor a la unidad cuando éste era el previsto en la unidad de tiempo.

Tales bujías patrones que, al no estar hechas con especies químicas bien definidas, hacían prácticamente imposible una reproducción ni aun aproximada, arrastraron una vida lánguida durante todo el siglo pasado y de ellas no se conserva hoy sino el nombre para la unidad patrón de Fotometría.

Un progreso notable fué la lámpara Carcel, que data de 1800 y que sirvió durante varios años de patrón oficial en Francia. En ella el combustible estaba constituido por aceite de colza que un pequeño mecanismo de relojería enviaba mediante una bomba a la mecha. La lámpara, que consumía 42 gramos de combustible por hora, era considerada como el patrón de la bujía. El consumo se verificaba mediante una balanza especial, que consentía tener la lámpara encendida durante las pesadas de contraste.

(32) *Essai d'Optique sur la gradation de la lumière*, París, 1729.

(33) El tarado del metro en longitudes de onda iniciado por Michelson con la raya roja del cadmio y perfeccionado notablemente por Kōsters al usar la raya roja del krypton y una técnica refinadísima, hacen que el actual patrón de longitud referido así a una magnitud física invariable, sea un modelo de patrón unidad, satisfaciendo todas las condiciones arriba enunciadas. Es un patrón de primera especie, según la clasificación de FLEURY (ver *Loc. cit.*, pág 7).

Aunque representando un positivo progreso y habiendo prestado servicios notables, la lámpara Carcel adolecía de los defectos de no tener tipificada la altura de la llama, ser poco definido el combustible y tener una gran influencia la composición y características de la mecha que había que cambiar tras cada serie de medidas. El mecanismo de relojería le daba una complicación más y por todo ello los patrones no eran fácilmente reproducibles.

En Inglaterra fué patrón oficial la lámpara de pentano de Vernon Harcourt, que primitivamente quemaba una mezcla de vapor de pentano y aire, sin mecha, y más adelante usaba pentano líquido y una mecha que no entraba en la llama. Esta lámpara fué construída en dos modelos, el uno para una intensidad de una bujía y el otro para diez. Evidentemente este patrón, que data de 1887, constituía una mejora sobre los anteriores de llama, y el usar un compuesto definido le daba mayor estabilidad; pero su complicación hacía difícil su reproducción, adoleciendo, además, de todos los defectos comunes a los patrones de llama, de los que hablaremos seguidamente.

El último superviviente de los prototipos de llama, y que aún tenía vigencia oficial hasta la paz Fotométrica de Sèvres, era la lámpara diseñada por Von Hefner-Alteneck, en 1884. Esta lámpara usa como combustible el acetato de ámilo, con una mecha tipificada que no arde y una altura de llama de 40 mm. que puede contrastarse con facilidad durante la operación. La lámpara fué declarada como patrón normal en 1893 por el P. T. R. y reconocida como tal por todos los países de lengua alemana.

Inconvenientes comunes a todos los patrones de llama son: el que sus características fotométricas dependen de la composición del aire, singularmente de su riqueza de anhídrido carbónico, la proporción de humedad en la atmósfera y la presión. Aunque existen fórmulas de corrección para eliminar todos estos factores perturbadores, lo cierto es que aquellos se hacen siempre sentir dando poca precisión a las medidas. Desde este punto de vista, la lámpara Hefner es superior al resto de los patrones de llama y, como además es sencilla y de fácil reproducción, no es extraño el favor que ha gozado hasta el presente.

• De todas formas, el patrón Hefner, aparte de los inconve-

nientes antedichos, es muy incómodo para su uso en el laboratorio fotométrico, su temperatura de color es demasiado baja en relación con la de los manantiales que se usan en el alumbrado corriente y su cuantía de una bujía es demasiado pequeña. Por ello, aunque conservándola Alemania como patrón oficial, usaba patrones secundarios constituidos por lámparas eléctricas de incandescencia, que fueron ganando terreno de tal forma, que habiendo tarado el P. T. R., centro metrológico oficial y encargado por tanto de la conservación de los patrones en Alemania, 1.300 lámparas Hefner de 1893 a 1905, su número decreció entre 1920 y 1926 a 333, habiendo contrastado, por el contrario, en este lapso de tiempo 1.907 lámparas de incandescencia.

Hay que hacer notar que al no adherirse Alemania al convenio de 1909, que unificó los patrones usados en Francia, Inglaterra y Estados Unidos, la bujía Hefner quedó con un valor tan sólo de un 90 por 100 del de la bujía internacional, originándose trastornos sin cuento, ya que Alemania era uno de los países de máxima exportación y producción de lámparas eléctricas, inundando gran parte del mercado mundial, habiéndose fabricado en 1936 más de 200 millones de lámparas de esta clase.

El usar lámparas eléctricas como patrones, tentó a fotometristas y técnicos desde la realización industrial de las primeras lámparas de incandescencia con filamento de carbono. Era condición indispensable para ello que la intensidad luminosa permaneciese rigurosamente constante durante un plazo de tiempo prudencialmente largo. Desgraciadamente, esta constancia no se logra aun manteniendo con todo rigor un voltaje de alimentación con variaciones inferiores a 0,01 por 100. Las mejores condiciones de funcionamiento se consiguen envejeciendo previamente las lámparas, esto es, haciéndolas funcionar durante unas 170 horas, con un régimen de voltaje algo inferior al normal, lo cual es muy importante para la buena conservación de las mismas. Estas, en el período de estabilidad que dura algunas decenas de horas, mantienen constante su intensidad con una tolerancia de ± 1.5 por 100, variación que pondría fuera de sí a nuestras esposas si les vendiesen sus telas con este tanto por ciento de error en metro, pero que satisface al fotometrista que es más tolerante.

Las lámparas de filamento de carbono en el vacío han demostrado ser más «serias» que las de wolframio, por lo que a pesar de su más baja temperatura de color, eran casi las exclusivamente usadas como patrones primarios, quedando las de filamento metálico para ser utilizadas como patrones secundarios, siendo más cómodas si bien menos precisas.

La construcción de las lámparas patrones ha dado lugar a discusiones inacabables y no ha recaído acuerdo sobre especificación alguna, salvo unos pocos detalles fundamentales, como el de disponer el filamento en un solo plano que, colocado perpendicularmente al eje del banco fotométrico, asegura un origen de distancias de medición.

El ser indudablemente la lámpara de incandescencia tuerto en tierra de ciegos, hizo que desde 1921 existiese acuerdo internacional sobre su uso como patrón fotométrico fundamental, pero el hecho de estar todavía Alemania excluida de las reuniones internacionales, como consecuencia de la primera guerra mundial, y el no considerar los físicos de este país que existiera ventaja alguna de dicho patrón sobre la lámpara de Hefner, ratificó el cisma iniciado en 1909.

Los defectos señalados hicieron que la definición de bujía internacional no fuese demasiado reconfortante, y por acuerdo del Congreso de 1924 de la Comisión Internacional del Alumbrado, que tuvo lugar en Ginebra, quedó fijada en los siguientes términos:

«La unidad de intensidad luminosa es la *bujía internacional* tal como resulta de los acuerdos efectuados entre los tres Laboratorios de Tipificación de Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos (34) en 1909. Esta unidad se ha conservado desde entonces por medio de lámparas de incandescencia en dichos Laboratorios, que continúan encargados de esta tarea.»

Como quiera que sería peligroso, dada la fragilidad de los patrones, así como su inestabilidad, mantener uno solo como pri-

(34) Los tres laboratorios mencionados son: Le Laboratoire Centrale d'Electricité de Paris, el National Physical Laboratory de Teddington y el Bureau of Standards de Washington.

mario, se tiene un patrón colectivo constituido por un número de lámparas que han dado muestras de gran homogeneidad de funcionamiento, y de vez en cuando se les pasa revista comparando cada una con todas las demás. Aparte de ello existen lámparas patrones viajeras que aseguran que las variaciones colectivas de cada establecimiento asociado no pasen desapercibidas.

Es decir, hablando con llaneza, que se considera como patrón primario una serie de objetos que tengo cuidadosamente guardados en un mueble y cuyas variaciones no se pueden contrastar sino fiados en la probabilidad. O sea, que se trata de patrones de segunda especie y que en caso de que una catástrofe los destruyese, no habría receta para reconstruirlos de nuevo, siendo desde este punto de vista netamente inferiores a la lámpara Hefner y explican la falta de entusiasmo de los alemanes para adherirse al acuerdo de 1909.

Un primer intento para eliminar todos los inconvenientes reseñados construyendo un patrón de primera especie fundado en un fenómeno físico perfectamente verificable, fué ya realizado por Violle (35), hace sesenta y seis años. Como hemos dicho, el esplendor de la superficie de un cuerpo incandescente depende de la naturaleza del mismo y de su temperatura. El sabio francés pensó fijar la primera utilizando un cuerpo simple e inalterable, el platino, y una temperatura bien definida, como es el punto de solidificación de los metales puros, y como además se daba la circunstancia de que el punto de solidificación de aquel metal es de 1.773°C , es decir, lo suficientemente elevado para que su temperatura de color sea próxima a la de los manantiales luminosos más usados, el problema parecía haber encontrado una solución satisfactoria. Desgraciadamente, después de unos primeros resultados prometedores que llevaron hasta definir legalmente la bujía como la vigésima parte del esplendor de un centímetro cuadrado de la superficie libre de platino en el momento de su solidificación y observando normalmente a la superficie (Congreso de Electricidad de París de 1889), las experiencias de Lummer

(35) J. VIOLLE: *Etalon absolu de lumière*, Com. Ren. 881-171-1879 y 92-166-1881.

comprobaron discrepancias de mucha consideración a causa de una serie de factores de difícil control.

Los trabajos de Petavel en el N. P. L. pusieron de manifiesto que para que el método diese resultados satisfactorios era preciso emplear platino químicamente puro, crisoles de magnesia, procedimientos de calentamiento que no pongan en presencia el carbono libre o combinado con el platino a alta temperatura y una masa de platino suficientemente grande (de uno a dos kilogramos) para que el período de solidificación fuese largo (medio minuto al menos); pero, a pesar de todas estas precauciones, los resultados obtenidos fueron desfavorables.

La razón fundamental del fracaso radicaba en que el esplendor dependía no sólo de la temperatura del metal, sino también de la calidad de la superficie y de la radiación de las paredes del crisolito donde se fundía.

Por ello los esfuerzos se dirigieron a buscar un tipo de radiación en que ésta fuese independiente de las propiedades de los materiales y, naturalmente, se pensó en el cuerpo negro. El metal quedaba relegado a marcar un punto fijo en la escala termométrica, situado en la zona conveniente para que el patrón fuese adecuado a la medida de los medios de alumbrado usuales, y éste fué el pensamiento genial de Waidner y Burgess en 1908 (36).

Las dificultades técnicas de tales medidas eran muy grandes y explican que se haya tardado más de treinta años y el esfuerzo y los medios de los grandes Laboratorios Físicos Nacionales para llegar a un resultado práctico. En efecto, basta la variación de un grado para que el esplendor aumente en 0,6 por 100 por debajo de los 2.000° K. y las dificultades de medir con precisión de este orden las altas temperaturas de fusión de los metales adecuados son extraordinariamente grandes. Por ello los primeros intentos se dirigieron a emplear temperaturas más bajas, siendo usado el cobalto por los investigadores norteamericanos y el oro, cuyo punto de fusión es de 1.336° K. por Lummer y Kurlbaum en sus investigaciones que comenzaron en 1893.

Se han usado dos métodos: el del alambre fundido y el de in-

(36) WAIDNER y BURGESS: *Bur. Stand. Bull.*, 3-163-1907; *Elec. World.*, 52-625-1908.

mersión. El primero consistía en esencia en emplear un cuerpo negro, dentro del cual se registraba la temperatura poniendo en presencia dos pares termoelectricos: uno que servía de testigo, y el otro muy próximo a él cuya soldadura estaba sustituida por un hilo o laminilla químicamente pura del metal cuya temperatura de solidificación se quería registrar. Al elevarse la temperatura y registrarse convenientemente las fuerzas termoelectricas de ambos pares, la fusión del hilo o laminilla acusaba un descenso brusco en uno de ellos, que servía para tarar al otro, permitiendo, previa eliminación del par con el hilo, el tener un punto de referencia fijo para el control de la temperatura. Este método con sucesivos refinamientos permitió medir el esplendor del cuerpo negro a las temperaturas de fusión del oro y del paladio.

El éxito obtenido con estas medidas llevó a la construcción de un cuerpo negro formado por un horno de resistencia en el que el calentamiento se obtenía por medio de un tubo de iridio embutido en un lecho de magnesia, usando un termoelemento de iridio rodio-rutenio.

Tomando ideas del método de inmersión de que hablaremos en seguida, el cuerpo hueco cuyo orificio constituía el cuerpo negro estaba sumergido en el que pudiéramos llamar cuerpo negro principal, con lo que se lograba una radiación más pura:

Con este horno, Brodhun y Hoffmann (37), realizaron en 1924 la medida del esplendor a la temperatura de fusión del paladio y el platino, expresándola en bujías Hefner por cm^2 y obteniendo como resultado para la temperatura de fusión del platino que el cuerpo negro radiaba, 65,24 HK por cm^2 , con un error de $\pm 0,5$ por 100, lográndose con ello la construcción de un patrón de primera especie superior a la lámpara Hefner.

A este método, se le podría reprochar el peligro de contaminación de la pequeña masa de platino en contacto a altas temperaturas, bien con la soldadura principal del par o con las paredes del horno. Por ello, no son de extrañar las discrepancias

(37) BRODHUN y HOFFMANN: *Die gesamthelligkeit des schwarzen Strahlers beim Pd. und Pt. schmelzpunkt und ihre Verwendbarkeit für eine Lichteinheit*, «Zeit. f. Inst.», 44-127-1924, 45-228-1925 y 46-172-1926.

que ha encontrado Ives al comparar estos resultados con los de su método de cilindro de platino con hendidura (38) (39).

El método de inmersión, que fué el primitivamente usado por Weidner y Burgess, fué mejorado ulteriormente, siendo en realidad el que ha resuelto el problema de que la radiación del cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino, pueda constituir un patrón fotométrico de primera especie.

Hoffmann y Meissner (40), en 1911 mejoraron considerablemente el dispositivo de los investigadores americanos, construyendo un cuerpo negro constituido por una esfera hueca prolongada en un tubo cónico que permitía la salida de la radiación. La esfera y tubo cónico hechos de un material refractario análogo a la porcelana, se sumergían en el metal fundido depositado en el fondo de un crisol de material refractario, que a su vez se introducía en un segundo crisol con un medio aislante interpuesto. La radiación se observaba mediante un pirómetro que se orientaba al interior de la esfera hueca. El crisol que contenía el metal fundido podía ir perfectamente tapado, con lo que se evitaba alteración de éste por su contacto con el aire. Los investigadores alemanes midieron con este dispositivo el esplendor del cuerpo negro a las temperaturas de fusión del oro y del paladio. No quedaba más que emplear el método con el platino cuyo punto de fusión más elevado proporcionaba una radiación de temperatura de color adecuada. Las dificultades eran grandes, pues era preciso a toda costa preservar al platino de toda impureza, para lo cual los materiales corrientes utilizados en la fabricación de los crisoles eran inadecuados. La solución la encontraron Wensel, Roeser, Barbrov y Caldwell del Bureau of Standards de Washington en 1931 (41). Para ello usaron como material de los cri-

(38) H. IVES: *A primary standard of light following the proposal of Weidner and Burgess*. J. Frank. Inst., 197-147 y 359-1924.

(39) Como quiera que los resultados de Wensel y sus colaboradores concordaron por completo con los de Brodum y Hoffmann, no cabe duda que las medidas del investigador americano van afectadas de un error sistemático.

(40) HOFFMANN y MEISSNER: *Tat-Ber der P. T. R.*, 1911. «Zeitsch. Inst», 32-201-1912. *Ann. der Phys.*, (4) 60-201-1918.

(41) WENSEL, ROESER, BARBROW, CALDWELL: *B. Stand. J. Res.*, 6-110-1931.

soles el óxido de torio, hicieron éstos mucho más pequeños (figura 3, izquierda), siendo el contenido de platino de unos 7 cm³. El cuerpo negro propiamente dicho está constituido por un tubito de la misma sustancia que el crisol y de unos 2 mm. de diámetro interior. El tubito que se apoya por su parte inferior en un tintero del fondo del crisol, va lleno en su último tercio por polvo

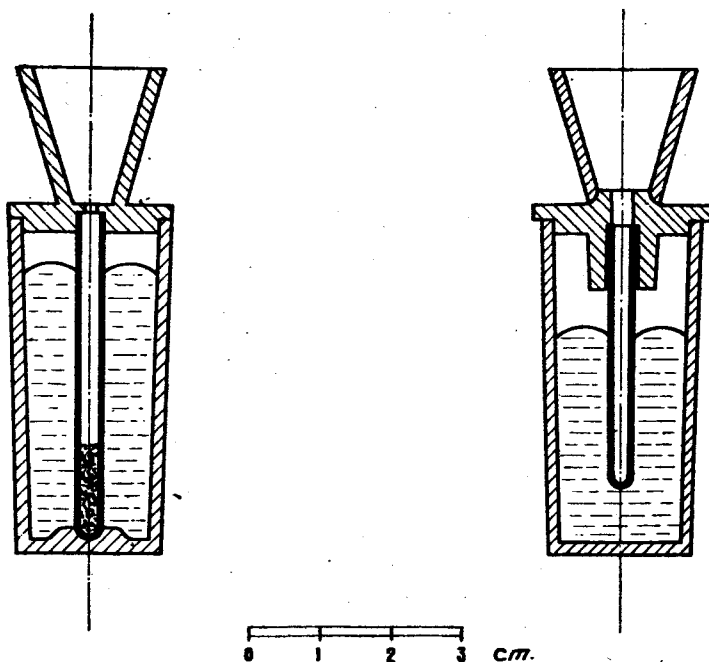


Fig 3.

de óxido de torio, con el fin de que la parte del cilindrito que constituye el cuerpo negro propiamente dicho tome con mayor seguridad la temperatura del platino. La pureza de éste se comprueba por medidas de resistividad eléctrica, siendo la proporción de impurezas inferior a 3 en 100.000. El crisol, de una altura de 45 mm., está cerrado por una tapa de óxido de torio aglomerado atravesado por un orificio cuyo diámetro es de alrededor de 1,2 milímetros. Por encima de la tapa va un cono que tiene por objeto evitar que el aislante constituido por una gran masa de óxido de

torio fundido y triturado, que forma la primera capa, y de otra no fundida que constituye la capa externa, puedan caer dentro del cuerpo negro. El conjunto va dentro de un recipiente de cerámica rodeado por una bobina de alta frecuencia que por inducción funde al platino.

La corriente de inducción mantiene en agitación constante al baño, con lo que resulta una temperatura más uniforme, y la corriente tiene una intensidad tal que el proceso de solidificación dura tres minutos como mínimo.

En el P. T. R. se ha fabricado un cuerpo negro con las mismas características, sin más diferencia que el tubo no llega al fondo del crisolito (fig. 3 derecha).

Las medidas realizadas con este dispositivo han dado un valor de 65,31 bujías Hefner por cm^2 , para el esplendor del cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino, estando en concordancia con un error menor del uno por mil con los valores hallados por Brodhun y Hoffmann en 1924.

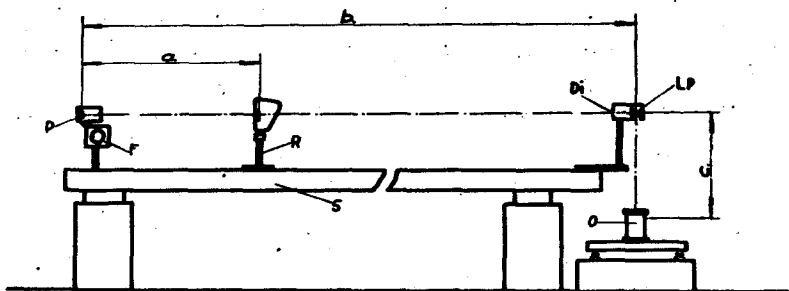


Fig. 4.

Con esto no quedaban terminadas las dificultades, era preciso buscar el patrón de intensidad que era la incógnita definitiva, y en el P. T. R. se procedió para ello de la manera siguiente: Del interior del cuerpo negro situado en 0 (fig. 4), se obtiene una imagen aumentada, mediante un prisma recto isósceles de reflexión total, que lleva tallada una lente LP sobre uno de sus catetos, imagen que se forma sobre una de las superficies de proyección de un fotómetro. Un diafragma colocado ante la lente, aparece plenamente iluminado por la radiación del cuerpo negro, y

actúa como manantial de superficie y esplendor conocido y por tanto de intensidad también conocida. Las pérdidas por reflexión y transmisión en LP, es preciso determinarlas experimentalmente con toda precisión y tomarlas en cuenta en el cálculo (Hoffmann, Korte y Willenberg, loc. cit.).

Para el tarado de patrones secundarios se emplea el método de sustitución indicado en la fig. 4. En el extremo izquierdo del banco fotométrico se coloca un fotómetro de Lummer-Brodhun con su lámpara de comparación y sector rotatorio. Por debajo del extremo de la derecha del banco se sitúa la bobina de inducción con su cuerpo negro O. El sistema de prisma y lente LP, forma la imagen del orificio sobre la pantalla del fotómetro, siendo DI el diafragma de apertura cuyas dimensiones es preciso conocer con una precisión de 1 en 10.000. Con esta disposición se puede tarar el fotómetro en Lux nuevos y medir después en el banco los patrones secundarios R.

Los crisoles es preciso cambiarlos con frecuencia para evitar que con un uso continuado pudiesen impurificar el platino.

El sistema usado por el National Bureau of Standards, no difiere en esencia del de P. T. R., por lo que no lo describimos.

La nueva bujía está definida por el hecho de que el esplendor del cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino, contiene 60 bujías, siendo su valor intermedio entre la bujía internacional y la bujía Hefner, con lo que la paz fotométrica pudo realizarse sin vencedores ni vencidos, como dije al principio.

El nuevo patrón, aun siendo muy superior a los antiguos, tiene todavía algunos defectos que conviene manifestar. Hoffmann, por ejemplo, del P. T. R., señala la importancia de uniformar la profundidad del tubo de mira en el baño de platino, así como el espesor de las paredes del crisol, encontrando diferencias de temperatura de 1° y $1,5^{\circ}$, con lo que los devíos de los valores medios pueden llegar a 0,7 por 100.

Por otra parte, el punto de fusión del platino es una temperatura demasiado baja, ya que casi todas las lámparas de alumbrado modernas trabajan a temperaturas de hasta 2.800° K., es decir, 753 más que el punto de fusión del platino; con ello, la comparación de estas lámparas con los patrones se convierte en un problema de

fotometría heterocroma, con todos los inconvenientes que esto lleva consigo, por lo que se ha intentado sustituir al platino por metales de punto de fusión más alto, ensayándose el rodio que funde a unos 2.200° K., pero que no puede usarse porque al solidificar desprende gases que provocan salpicaduras de la masa fundida. El iridio, cuyo punto de fusión a 2.727° K. le haría ideal, no puede tampoco entrar en consideración por vaporizarse rápidamente a esas temperaturas. Por otra parte, un aumento de tal calibre en la temperatura de trabajo, implicaría problemas de muy difícil solución para los materiales de los crisoles, tubos, etc. Por ello hay que conformarse por el momento con lo alcanzado, que no es poco, y esperar que nuevos avances de la técnica nos permitan en el futuro obtener patrones aún más perfectos.

VIII.—UNIDADES Y SUS NOMBRES

Hemos visto que el patrón primario de primera especie es en realidad un patrón de esplendor. El antiguo patrón, la bujía internacional, lo era de intensidad y parecería natural ir definiendo las magnitudes fotométricas partiendo de aquellas con más contenido físico, como repetidas veces hemos manifestado y que además se hayan materializado en patrones de primera especie.

Pero como la lógica muchas veces no tiene que ver nada con los fotometristas, nos encontramos según hace notar Reeb con las siguientes anormalidades: Se comienza con la definición del flujo luminoso en la que según todos los tratadistas de la lógica no debería intervenir para nada magnitud alguna derivada de él, y después de dar la definición que ya conocemos se enuncia su unidad, el Lumen, del siguiente modo: «La unidad de flujo luminoso es el Lumen y es igual al flujo emitido en el ángulo sólido unidad, por un manantial puntual uniforme de una bujía.» Pero las cosas se ponen aún peor al tratar de la intensidad; la intensidad presupone manantiales puntuales, abstracción matemática muy interesante si no fuese porque para cerciorarnos de que un manantial es o no puntual hemos de recurrir al banco fotométrico y comprobar que las iluminaciones que en él se miden a diferentes

distancias, siguen la ley del cuadrado. Pero para ello es preciso calcular dichas iluminaciones, que como se trata de manantiales finitos, es preciso hacerlo partiendo de esplendores, caballero que aún no nos ha sido presentado por los señores de la Comisión Internacional del Alumbrado y a quien por tanto no tenemos el gusto de conocer. O sea, que al definir la intensidad mantenemos cuidadosamente escondido dentro de la definición, como un buen prestidigitador hace con un conejo de indias, el concepto esplendor. Pero todo este galimatías parece dejar completamente fríos a los definidores.

Esto me recuerda un ejemplo que trae a colación Goethe en la áspera controversia con la doctrina cromática de Newton que ocupa buena parte de su *Farbenlehre*. Un amigo del gran hombre llamado Basedow, parece ser que en los mejores años de su vida se complacía en hacer copiosos sacrificios ante el altar del dios Baco, considerando que cualquier circunstancia era pertinente para ello y empleando como fórmula ritual un «ergo bibamus»: que hacía buen tiempo, la vida es alegre «ergo bibamus»; que hacía mal tiempo, para consolarse, «ergo bibamus»; que estaba entre amigos, buena ocasión «ergo bibamus»; que había en la compañía gente insoportable, pues para no caer en la melancolía «ergo bibamus». En la sucesión de conceptos y unidades fotométricas pasa algo parecido: que los manantiales puntuales no existen físicamente, no importa, los hacemos figurar en todas las definiciones; que la magnitud principal es el esplendor, pues queda relegado a último lugar; que la definición de intensidad no tiene sentido sin introducir previamente el concepto de esplendor, pues al contrario, definiremos el esplendor en función de la intensidad. No cabe duda que aunque en un campo rigurosamente abstemio, Basedow ha dejado sucesores.

En la actualidad parece que hay un tímido cambio de rumbo y así en la Memoria del Comité Consultivo de Fotometría, ya citada, vemos que a pesar de la protesta rusa que sigue insistiendo en el flujo como magnitud fundamental, encabeza la definición de unidades la de la bujía nueva, y de ella deriva la del flujo; ahora bien, con su contumacia habitual y como no podía menos de su-

ceder, define la bujía (intensidad) primero, pero en función del esplendor, de la forma siguiente:

La bujía nueva es la unidad de intensidad luminosa y su cuantía es tal *que el esplendor* del radiador integral a la temperatura de solidificación del platino es de 60 nuevas bujías por cm^2 .

El Lumen queda definido en función de la bujía, como el flujo emitido en el ángulo sólido unidad por un manantial puntual uniforme de intensidad luminosa igual a una nueva bujía.

La unidad de iluminación en el Lux, que es la de una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo de un Lumen uniformemente repartido.

Tomando como unidad de superficie el centímetro cuadrado, la unidad de iluminación es el Phot, que apenas se usa y que corresponde a la iluminación de una superficie que recibe uniformemente un Lumen por cm^2 .

Para la luminación pueden usarse las mismas unidades que para la iluminación.

En los países anglosajones se usa también como unidad de iluminación la bujía-pie (foot-candle), que como su nombre indica es la iluminación de una superficie que recibe uniformemente un Lumen por pie cuadrado. El paso de esta unidad al ortodoxo Lux es fácil, pues una bujía-pie son 10,764 Lux, o sea, 10 aproximadamente.

La unidad teórica de esplendor sería el de un manantial que emitiese normalmente a la línea de detección una bujía por centímetro cuadrado. Esta unidad designada con el nombre de Stilb, es poco práctica y únicamente se emplea para caracterizar a los emisores de gran potencia lumínica (sol, cráter de un arco, filamento de una lámpara de incandescencia, etc.). Por el contrario, los manantiales secundarios, por ejemplo, los muros iluminados, pavimentos, paredes, etc., tienen esplendores muy inferiores y sería incómodo el usar para ellos números decimales muy bajos.

Por otro lado, ocurre con frecuencia, el querer calcular rápidamente el esplendor de un objeto iluminado por una cierta cantidad de luz, conociendo el factor de remisión de su superficie; y para esto se han inventado a uno y otro lado del Atlántico dos unidades heterodoxas, condenadas repetidas veces y hasta puestas en

el Indice (42). Nos referimos al Lambert, Mililambert y Apostilb.

El Lambert se define como el esplendor de un difusor perfecto de coeficiente de remisión igual a 1, que está iluminado por un Lumen por cm^2 .

Como la relación entre el esplendor y la iluminación para estos difusores perfectos y suponiendo el flujo uniformemente repartido, es:

$$E_l = \pi B_l$$

deducimos que un Lambert $= 1/\pi$ stilb.

Como esta unidad es demasiado grande para los usos normales, se emplea un submúltiplo, el mililambert, que vale: 0,001 Lambert.

En Alemania se emplea en el mismo orden de ideas el Apostilb, que es el esplendor de un difusor perfecto, que con un factor de remisión igual a la unidad, recibe una iluminación de un Lux; vale, pues

$$1 \text{ asb} = \frac{1}{\pi \cdot 10^4} \text{ sb.}$$

o 10 mililambert.

Ambas unidades por su comodidad se han impuesto, pese a todas las condenas oficiales, por la misma razón que mientras se mantengan los grados sexagesimales, los oficiales de marina seguirán usando la milla como unidad de longitud.

El resto de las unidades tienen un interés y uso mucho más restringido y no reciben por ello nombre especial alguno; citemos tan sólo la de cantidad de luz que es el lumen hora, y la de exposición, interesante en fotografía, que recibe el nombre de lux-segundo.

(42) FABRY en su notabilísima *Introduction Generale a la Photometrie*, define así el Lambert: «Unité incorreste de brillance...».

IX.—NUEVA FOTOMETRÍA DE PARRY MOON

El Prof. de Boston (43) propugna cambios fundamentales tanto en la selección de las magnitudes como en el nombre de los conceptos y de las unidades.

En primer lugar considera que hay una fotometría geométrica que en analogía con la óptica de tal nombre, tiene sus leyes propias independientes de la longitud de onda y del receptor de las radiaciones, por lo que sus resultados pueden aplicarse a toda la radiometría.

Al estudiar los conceptos y magnitudes se fija como meta el que su definición y formulación permita atacar los problemas en su máxima generalidad, y para ello no toma en consideración aquellas magnitudes clásicas que responden a casos particulares. Por ello la intensidad con su premisa de manantial puntual desaparece de su sistema. Y por último, considerando que casi todas las magnitudes fotométricas tienen un carácter vectorial, emplea a fondo este poderoso algoritmo, con lo que simplifica mucho una parte considerable de los problemas seleccionando al mismo tiempo las magnitudes que poseen más acusado este carácter, dándoles si es preciso los atributos convenientes para ello.

La idea de que las magnitudes fotométricas tienen carácter vectorial es antigua y el propio Moon hace en su primer trabajo (44) un resumen bibliográfico de sus predecesores, que proceden en su mayoría del campo de la Óptica Geométrica singularmente de Fock (45), Gershun y sus colaboradores del Instituto de Óptica de Leningrado, cuyos trabajos sólo he podido seguir directamente en contadas ocasiones por dificultades de todo orden, no siendo la menor la del lenguaje.

(43) Las ideas de Moon sobre una selección de nuevas magnitudes y conceptos fotométricos, se expone por vez primera en su libro *Scientific Basis of Illuminating Engineering*, Mc Graw-Hill, 1936, 546 págs.

(44) PARRY MOON: *Basic principles in Illumination calculations*, «J. O. S. A.», 29-108-1939.

(45) V. FOCK: *Zur Berechnung der Beleuchtungsstärke*, «Zeits. f. Physik», 33-102-1924.

Pero el mérito de nuestro investigador radica en que así como los otros físicos estudian las posibilidades vectoriales en los conceptos clásicos, como por ejemplo hace Gurevich en su notable trabajo sobre la representación vectorial de las magnitudes fotométricas (46) para la iluminación, el esplendor y la intensidad, Moon se forja una potentísima herramienta introduciendo nuevos conceptos aptos para sacar el máximo partido de las propiedades generales del campo de luz. Para ello, parte del flujo en abstracto que ineludiblemente tiene que considerar como magnitud fundamental, y no define por esta razón, y pasa después a introducir el concepto de vector de densidad $\vec{D}$ de flujo en un punto cualquiera del campo de luz, como un vector dirigido hacia el máximo flujo de la energía radiante y con una magnitud igual a dicho máximo neto por unidad de área. Es decir, que generaliza el concepto de iluminación no circunscribiéndole a un plano iluminado sino a cualquier punto del campo.

Con ello quedan englobados en este concepto como casos particulares:

- 1) $D_i = \frac{dF}{ds_2}$ o densidad de flujo incidente (nuestra iluminación),
- 2) $D_o = \frac{dF}{ds_1}$ densidad de flujo emitido (nuestra luminación o radiancia),
- 3) $D_m = \frac{F}{S}$ o flujo promedio en una superficie; y
- 4) D_v , o densidad espacial de flujo definida por la ecuación:

$$D_v = \frac{1}{\pi} \int_{\omega} H d\omega \quad (47)$$
 cuyo significado más adelante veremos.

Siendo las magnitudes D_i y D_o funciones escalares dependientes de cinco variables (tres para fijar el punto en el campo de luz y dos para orientar el elemento de superficie) y D_o tan sólo de tres que fijan el elemento de volumen, mientras que el vector $\vec{D}$ la fijan otras tres variables.

(46) M. M. GUREVIČ: *Eine Vekterdarstellung de Photometrischen Grössen*. Physik, Zeitsch., 30-640-1929.

Como tercer concepto fundamental escoge Moon un esplendor generalizado H , localizado en cualquier punto del campo, con lo que integra las variaciones que haya tenido el esplendor del manantial al atravesar el medio interpuesto entre él y el punto de observación.

En un punto cualquiera del campo H puede expresarse por

$$H = \pi \left(\frac{dD}{d\omega} \right) \cos \phi$$

en el que ω es un ángulo con su vértice en el punto del campo y cuyos lados se dirigen en aquella dirección cuya H se desee medir, siendo ϕ el ángulo de incidencia del rayo que forma el eje del ángulo haz.

La introducción de π en la fórmula no nos representa otra cosa que haber formulado nuestro viejo esplendor como

$$B = \pi \int \frac{K_\lambda}{\pi} V_\lambda d\lambda$$

Con ello conseguiremos que la unidad «natural» de esplendor fuese el apostilb que es lo que persigue Moon para H . El paso de H a D se deduce inmediatamente, pues bastará integrar H para obtener D , con lo que queda justificada la fórmula de

$$D_v = \frac{1}{\pi} \int_\omega H d\omega$$

expresión que como hace notar Moon es el *Raumbeleuchtung* de Arndt.

Estos son los tres conceptos fundamentales cuya generalidad y capacidad de maniobra quedan de manifiesto. Hemos acabado con los manantiales puntuales, con la ley del cuadrado, con los conceptos «del» y «hacia», y hemos introducido las propiedades modificativas del medio interpuesto, con lo que pronto firmaremos tratados de paz y amistad con meteorólogos, astrofísicos y físicos, tout court.

Los tres conceptos fundamentales los completa Moon con una especie de gradiente de H , o sea, la variación que éste experimenta por unidad de camino (espesor) recorrido a lo largo del rayo en un manantial de volumen.

Su expresión analítica es:

$$G = \frac{dH}{dr}$$

Los dos últimos conceptos son viejos conocidos nuestros; se refieren a cantidad, esto es:

$$Q = \int F \cdot dt$$

y exposición (generalizada)

$$W = \int D \cdot dt$$

con el utillaje que se ha preparado, Moon ataca los problemas generales de la fotometría geométrica que, llevados por el camino del análisis algebraico conducían a laboriosísimas integraciones o cálculos complicados (48) y los resuelve con toda elegancia, mereciendo ser destacados el planteo de las Intereflecciones, medios absorbentes, manantiales volumétricos y medios difusores.

No querría cerrar este capítulo sin enunciar, aunque no fuese sino brevisísimamente, las propiedades del campo de luz.

Las características de este campo las describe Gurevič (49), y como todas las de su clase quedan completamente caracterizadas por la divergencia y el rotacional de su vector $\vec{D}$.

Para el primero no hay dificultad, pues allí donde no haya ma-

(47) PARRY MOON: *Basic Concepts of Photometric concepts*, «J. O. S. A.», 32, 357-1942.

(48) Ver p. ej. P. SATCHE, *Sur le problème fondamental de la Photometrie Geometrique*, «Rev. d'Opt.», 18-20-1939.

(49) *Loc. cit.*

nantiales ni medios absorbentes tendremos evidentemente en virtud de la ley de conservación de la energía

$$\operatorname{div} \vec{D} = 0$$

Si con esta condición tuviésemos también

$$\operatorname{rot} \vec{D} = 0$$

estaríamos en las mismas condiciones del campo electrostático, pero como en general,

$$\operatorname{rot} \vec{D} \neq 0$$

los que por las analogías que presentan, identifican las propiedades de ambos campos, yerran fundamentalmente.

Para que

$$\operatorname{rot} \vec{D} = 0$$

se precisaría que la integral lineal (ver ref. 31) referente al contorno alrededor del punto de medida fuese nulo, o sea,

$$\oint \vec{D} ds = 0$$

que sólo se cumple si el manantial es pequeño y uniforme, pero que en los manantiales grandes y heterogéneos no se realiza, con lo que en estos casos no puede existir un potencial de iluminación.

Cuando este potencial existe por cumplirse la condición $\operatorname{rot} \vec{D} = 0$, o bien hay el cuasi potencial de Yamauti, caracterizado por la condición

$$\vec{D} \cdot \operatorname{rot} \vec{D} = 0$$

pueden trazarse analítica o gráficamente las líneas de luz (fig. 5) y servirnos para calcular $\vec{D}$ (ver Moon ref. 31).

Si Moon se ha mostrado revolucionario en los conceptos, es iconoclasta en los nombres y únicamente conservador en las unidades.

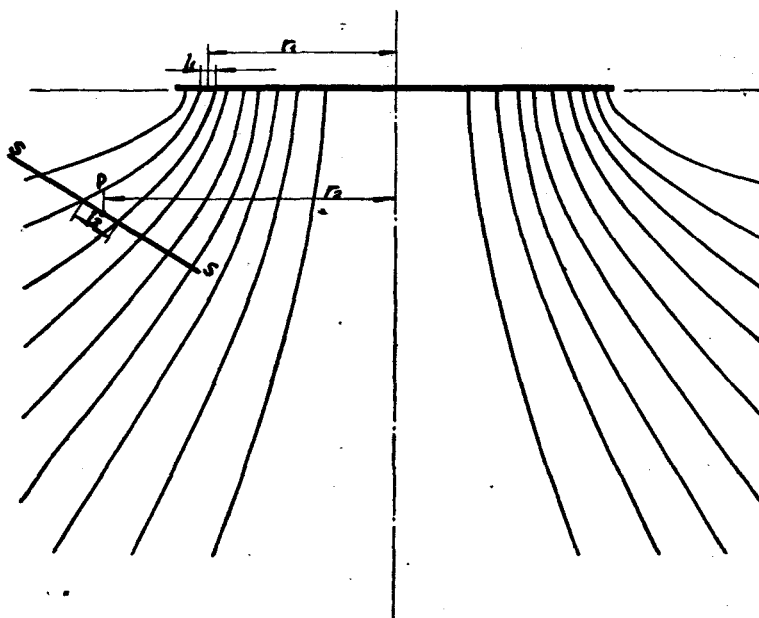


Fig. 5. —El campo luminoso de un manantial plano circular uniformemente iluminado según Moon.

Para sus conceptos y con objeto de lograr plenamente las condiciones básicas de precisión, sencillez, internacionalidad y eufonía, escoge nombres griegos y usando además las terminaciones arbitrarias ya reseñadas, las designa con las voces de:

- Pharos. al flujo,
- Pharosage. . . al vector densidad del flujo,
- Helios al esplendor generalizado,
- Heliosent. . . . a la variación de esplendor por unidad de espesor,
- Phos. a la cantidad de luz; y
- Phosage. a la exposición.

Con unidades se decide por el sistema M. K. S., usando el lumen, lumen por m^2 ., Blondel equivalente al apostilb, el Blondel por metro, el lumen/segundo y el lumen/segundo por m^2 .

A las unidades radiométricas las designa como de costumbre en watios con excepción del helios radiante, que como a su paralelo el luminoso, le da nombre nuevo, el Hersehel, ya que yendo por medio el factor π , una aplicación estricta de las unidades clásicas, sería de enunciación larga e inelegante.

Toda la doctrina de Moon es coherente y lógica, representa un gran avance y es sencilla dentro de su complejidad. Los nombres de las unidades, si bien nuevos, y requiriendo por tanto esfuerzos de memoria, son eufónicos y con buena voluntad se internacionalizarían pronto; además, hasta ha tenido el rasgo de dar el nombre de Blondel a una nueva unidad para honrar aquel genial impedido, que desde su lecho de dolor tantos años trabajó para la Fotometría y bautizó a buena parte de los conceptos hoy en uso, y que perpetuará el recuerdo del sabio francés cuando hayan desaparecido casi todos los nombres que su genio supo imponer al mundo fotométrico.

Por todas estas razones no es de extrañar la indignación de Parry Moon (50) cuando recientemente haya visto que buena parte de sus colegas abandonan en su país los nombres clásicos para tomar nuevos derroteros que, sobre no mejorar nada, vulneran todas las reglas y al repetir el mismo nombre para conceptos distintos, han de sembrar aún más la confusión. Sirva mi homenaje a sus esfuerzos como pequeño desagravio.

X.—CONCLUSIÓN

¿Será Parry Moon el Giorgi de las nuevas unidades y conceptos fotométricos? Si la respuesta afirmativa dependiese tan sólo de la lógica de sus propuestas, originalidad y generalidad de su nueva sistemática, claridad de conceptos y decisivas ventajas sobre lo actual, no cabe duda que la reforma por él propuesta se llevaría a cabo inmediatamente. Pero además, juegan factores ajenos al fondo de la cuestión, tales como inercia, rutina y sobre todo

(50) PARRY MOON y DOMINA EBERLE SPENCER: *Carta al editor de la Optical Society of America, sobre «International Names and Colorimetry»*. «J. O. S. A.», 36: 427-1946.

la sensación general de hallarnos en pleno período evolutivo, ya que todo el mundo se da cuenta de que con el utillaje actual no es posible hacer frente a los problemas planteados, ni en su aspecto particular de medida de la luz, ni en el más general de medida de cualquier radiación.

Por ello, hasta que se depure la nueva doctrina y la potente herramienta de la teoría del campo luminoso pueda dar todo su fruto, parece prudente no abandonar todos los conceptos clásicos cuyos cimientos fueron colocados por Bouguér y Lambert, pronto hará doscientos años.

Ahora, eso sí, precisa hacer el viejo castillo más moderno y confortable, quitarle las telarañas y expulsar violentamente de él todos los moradores cuya presencia constituye un estorbo o un atentado a la lógica, la inteligencia o el idioma.

Nos acercamos al tiempo de adviento, época de penitencia, y no ha sido pequeña para vosotros el escucharme, pero también toda la liturgia católica de estos días nos recuerda el deber de preparar los caminos del Señor. Los que para servirle a El servimos a la Ciencia, tenemos cumplida tarea en preparar los avances de ésta tratando de enderezar lo torcido y allanar lo escarpado. Por ello, en espera de la nueva fotometría de la que Moon es brillante heraldo, nos conformamos con tratar en nuestras investigaciones de contribuir a aclarar el fundamental problema de las curvas de luminosidad espectral, base y cimiento del equivalente mecánico de la luz. En este discurso, mi intento aún ha sido más modesto, he tratado sólo de limpiar y acicalar los conceptos clásicos para que como viejas espadas tengan decoroso acomodo en una panoplia cuando las nuevas magnitudes vengan a sustituirlos como herramienta más eficaz.

Por último he tratado de afirmar la naturaleza psicofísica del fenómeno luminoso clave de su plena comprensión.

Sin esta interdependencia de la luz y el alma, del alma y la luz, nada puede lograrse, pues como dijo Goethe, que tan bien supo tratar científicamente de luz, color y psique

«Si el ojo no fuese él mismo luz
Nunca podría contemplar el sol,
Y para que nos subyugue lo divino
Es preciso que Dios aliente en nosotros.»

o para no traicionar al genio de Frankfurt:

«Wär' nicht das Auge Sonnenhaft
Die Sonne Könnt' es nie erblicken,
Läg nicht in uns des Gottes eigne Kraft
¿Wie könnt' uns Göttliches entzücken?»

HE DICHO.

APENDICE CORRESPONDENCIA DE LOS PRINCIPIALES

Concepto, Magnitudes, nombres y unidades más importantes	Comisión internacional del alumbrado. C. I. E.	Sociedad de Ingenieros de Iluminación. I. E. S.
Concepto: <i>Flujo luminoso.</i>		
Nombre.....	Flux lumineux	Luminous Flux
Símbolo o ecuación.....	F	F
Unidad { M. K. S..... C. G. S.....	Nuevo Lumen	Nuevo Lumen
Concepto: <i>Flujo recibido por unidad de superficie.</i>		
Nombre.....	Eclaircissement	Iluminación
Símbolo o ecuación.....	$E = \frac{dF}{dS}$	$E = \frac{dF}{dS}$
Unidad { M. K. S..... C. G. S.....	Lux = Lumen/m ² Phot = lumen/cm ²	— —
Concepto: <i>Flujo emitido por unidad de ángulo sólido.</i>		
Nombre.....	Intensité lumineuse	Luminous Intensity
Símbolo o ecuación.....	$I = \frac{dF}{d\omega}$	I
Unidad { M. K. S..... C. G. S.....	Bougie nouvelle	New candle
Concepto: <i>Flujo emitido por una unidad de ángulo sólido y por unidad de superficie normal a la dirección de dirección.</i>		
Nombre.....	Brilliance	Brightness
Símbolo o ecuación.....	$B = \left(\frac{dI}{dS} \right) \sec \epsilon_1$	B
Unidad { M. K. S..... C. G. S.....	Stilb = bujía/cm ²	—
Otras unidades.....	—	Lambert = $\frac{1}{\pi}$ Stilb Millilambert = $\frac{\text{Lambert}}{1000}$
Concepto: <i>Energía.</i>		
Nombre.....	Quantité de lumière	Quantity of light.
Símbolo o ecuación.....	$Q = \int F dt$	$Q = \int F dt$
Unidad { M. K. S..... C. G. S.....	Lumen-seg	Lumen-seg

Estos son los conceptos comunes. Se usan también aunque no tan generalmente, la luminación o dad de volumen llamado también densidad.

C E I ALES CONCEPTOS FOTOMETRICOS ades

Sociedad Alemana de Luminotecnica. D. L. T. G.	Comité de Colorimetría de la O. S. A. C. C. O. S. A.	Instituto «Daza de Valdés»	Parry Moon.
Lichtstrom Φ Nuevo Lumen	Luminous Flux F Nuevo Lumen Lumerg./seg.	Flujo luminoso F ₁ Nuevo Lumen	Pharos F Lumen
Beleuchtungsstärke. $E = \frac{d\Phi}{dF}$ lux Phot	Iluminance $E = \frac{dF}{dS}$ Lumen/m ² (lux) Lumerg/seg × cm ²	Iluminación $E = \frac{dF}{dS_2}$ Lux Phot	— — — —
Lichtstärke $I = \frac{d\Phi}{d\omega}$ Neue Kerze	Luminous Intensity $I = \frac{dF}{d\omega}$ New candle Lumerg/seg × ω	Intensidad luminosa $\frac{dF}{d\omega_1}$ Bujía nueva	— — — —
Leuchtdichte $B = \frac{dI}{dF \cos \epsilon}$ stilb Apostilb = $\frac{1}{\pi 10^4}$ Stilb	Luminance B bugia/m ² Lumerg/seg × ω × cm ²	Esplendor $B = \frac{dI}{dF_1 \cos \epsilon}$ stilb Apostilb = $\frac{1}{\pi 10^4}$ Stilb	— — — — — —
Lichtmenge $Q = \int \Phi dt$ Lumen-seg.	Luminous energy $Q = \int F dt$ Talbot Lumerg	Cantidad de luz $Q = \int F_1 dt$ Lumen-seg.	Phos. $Q = \int F dt$ Lumen-seg

radiancia, la exposición o sea la cantidad de luz recibida por unidad de superficie $\frac{dQ}{dS}$, y el flujo por uni-

A P E N D I C E I I

CORRESPONDENCIA DE CONCEPTOS, NOMBRES Y UNIDADES RADIOMÉTRICAS Y FOTOMÉTRICAS USADAS POR EL COMITÉ DE COLORIMETRÍA Y FOTOMETRÍA DE LA OPTICAL SOCIETY OF AMERICA CON SU POSIBLE TRADUCCIÓN

Sistema Físico (Radiométrico). Radiator (Radiador).—Manantial de energía radiante. Radiation (Radiación).—Proceso.			
CONCEPTO	Símbolo	Unidad C. G. S.	Unidad M. K. S.
I) Radiant energy (energía radiante).....	U	ergio	julio
II) Radiant density (densidad energética).....	u	ergio/cm ³	julio/m ³
III) Radiant flux (Flujo radiante).....	P	ergio/segundo	Watio
IV) Radiant emittance (Emitancia radiante) (<i>Radiación</i>).....	W	ergio/seg × cm ²	Watio/m ²
V) Radiant intensity (Intensidad de radiación)....	J	ergio/seg × ω	Watio/ω
VI) Radiance (Radiancia) (1) Esplendor radiométrico.	N	ergio/seg × ω × cm ²	Watio/ω × m ²
VII) Irradiance (Irradiancia) (<i>Irradiación</i>).....	H	ergio/seg × cm ²	Watio/m ²

(1) Nombre particularmente designado por haber sido usado y usarse aún internacionalmente para un concepto radicalmente distinto. Además el parentesco que parece indicar con VII es mucho menor del de este último concepto con el IV, que tiene las mismas unidades.
El concepto (II) de cada grupo lo reputo muy acertado.

Sistema Psicofísico (Fotométrico). Luminator. (Manantial de energía luminosa). Lumination (Luminación).—Proceso.			
CONCEPTO	Símbolo	Unidad C. G. S.	Unidad M. K. S.
I) Luminous energy (energía luminosa).....	Q	Lumerg.	Talbot.
II) Luminous density (Densidad luminosa).....	q	Lumerg/cm ³	Talbot/m ³
III) Luminous flux (Flujo luminoso).....	F	Lumerg/seg	Lumen
IV) Luminous emittance (Emitancia luminosa) (<i>Luminación</i>).....	L	Lumerg/seg cm ²	Lumen/m
V) Luminous intensity (Intensidad luminosa).....	I	Lumerg/seg ω	Lumen/ω (bujía)
VI) Luminance (Luminancia) (<i>Esplendor</i> (2).....	B	Lumerg/seg × ω × cm ²	Lumen/ω × m ²
VII) Illuminance (Iluminancia) (<i>Iluminación</i>).....	E	Lumerg/seg × cm ²	Lumen/m ² (lux)

(2) También ha de provocar confusión.
Los nombres usados en el Instituto de Óptica «Daza de Valdés» van en cursiva.

APENDICE III

SISTEMA DE MAGNITUDES FOTOMETRICAS DEDUCIDAS PARTIENDO DEL ESPLENDOR COMO MAGNITUD PRINCIPAL (REEB)

De la fórmula del esplendor

$$B = \frac{1}{M_l} \int K_\lambda \cdot V_\lambda \cdot d\lambda \quad [1]$$

deducimos que la unidad de superficie del radiador inclinado ($90 - \epsilon_1$) con relación a la línea de detección emitirá para un ángulo sólido ω_1

$$R = \int_{\omega_1} B_{\epsilon_1} \cdot \cos \epsilon_1 \cdot d\omega_1 \quad [2]$$

que integrada para una superficie finita s_1 dará el flujo total emitido en el ángulo sólido ω_1

$$F = \int R d s_1 = \iint B_{\epsilon_1 s_1} \cdot \cos \epsilon_1 d\epsilon_1 d\omega_1 \quad [3]$$

El ángulo $d\omega_1$ delimita en el receptor situado a la distancia r un elemento superficial $d s_2$ cuya normal forma un ángulo ϵ_2 con la línea de detección. Tendremos pues

$$d\omega_1 = \frac{d s_2 \cos \epsilon_2}{r^2}$$

que sustituido en [3] da

$$F = \iint B_{\epsilon_1 s_1} \frac{\cos \epsilon_1 \cos \epsilon_2}{r^2} d s_1 \cdot d s_2 = \iint B_{\epsilon_1 s_1} \cos \epsilon_2 d s_2 \cdot d\omega_2$$

de aquí deducimos inmediatamente E

$$E = \frac{dF}{d s_2} = \int B_{\epsilon_1 s_1} \cos \epsilon_2 d\omega_2 \quad [4]$$

La intensidad se deduce de

$$I = \lim. \left(\int B_{\epsilon_1 s_1} \cos \epsilon_2 d s_1 \right)_{r \rightarrow \infty}$$