



Medir la luz: la evolución hacia el fotómetro moderno¹

Nadia M. McGowan²

Recibido: 2 de enero de 2017 / Aceptado: 1 de abril de 2017

Resumen. El presente artículo es el resumen de una investigación histórica sobre el fotómetro realizada en torno a diversos centros de investigación extranjeros, bibliotecas y registro de patentes. En este artículo se incorporan en anexos materiales inéditos y que se han solicitado en múltiples oficinas de patentes y bibliotecas.

El fotómetro es una invención reciente y de orígenes un tanto inciertos y poco estudiados, a pesar de ser una herramienta fundamental en el arsenal del fotógrafo y director de fotografía, puesto que solo con él se podía determinar la exposición correcta del negativo. La presente investigación plantea subsanar una laguna de la historia del arte y proponer una cronología de su invención, que incluye los fundamentos científicos que permitieron el desarrollo de instrumentos de cuantificación de la luz, antecedentes fotográficos primitivos y el desarrollo del fotómetro hasta la primera instancia de su configuración moderna. Ésta requiere de un instrumento capaz de valorar la exposición según parámetros objetivos, tanto midiendo luz incidente como reflejada, incluye un difusor hemisférico que permite exponer para objetos tridimensionales y es lo suficientemente ligero como para permitir su uso fuera de un laboratorio.

Palabras clave: Fotómetro; exposición; dirección de fotografía; Don Norwood.

[en] Measuring light: the evolution towards the modern light meter

Abstract. The present article is an overview of historical research regarding the light meter performed throughout several foreign research centers, libraries and patent registries. In this article we include several unpublished materials that have been requested from multiple patent and library offices.

The light meter is a recent invention of somewhat unclear and understudied origins, despite it being an essential tool in the photographer and cinematographer's arsenal, since only with it can he determine a negative's correct exposure. This research aims to correct this gap in art history and to outline a chronology of its invention, including the scientific foundation that enabled the development of light-quantifying instruments, photographic precedents and the development of the exposure meter up to the first instance of its modern configuration. This requires an instrument capable of evaluating exposure based on objective parameters, which can measure both incident and reflected light, includes a hemispheric diffuser that enables us to expose three-dimensional objects and is light enough to allow its use outside a laboratory.

Keywords: Light meter; exposure; cinematography; Don Norwood.

¹ Este artículo recoge resultados de la investigación *Pensamiento y representación literaria y artística digital ante la crisis de Europa y el Mediterráneo* (PR26/16-6B-1) financiada por el Grupo de Investigación UCM-Santander.

² Universidad Complutense de Madrid (España)
E-mail: nmcgowan@ucm.es

Sumario. 1. Introducción. 2. Trabajo de campo e investigación. 3. Evolución. 3.1. Antecedentes primitivos. 3.2. El efecto fotovoltaico y la fotoconducción. 3.3. La célula Fritts. 3.4. Los primeros fotómetros eléctricos. 3.5. La semiesfera de Norwood. 4. Conclusión. 5. Agradecimientos. Referencias.

Cómo citar: McGowan, N.M. (2017) Medir la luz: la evolución hacia el fotómetro moderno. *Arte, Individuo y Sociedad* 29(2), 369-386.

1. Introducción y antecedentes

El arranque de esta investigación era subsanar una de las lagunas de la historia de la fotografía: saber cuál había sido el origen y la evolución del fotómetro como elemento básico de la fotografía, la iluminación cinematográfica y la publicidad. Para ello se han consultado las fuentes bibliográficas existentes, su totalidad extranjera, y se ha investigado en busca de documentos inéditos en la *British Library* (Biblioteca Británica) en Londres, *Smithsonian Libraries* en Washington D.C. (EE.UU.), Filmoteca Española y las oficinas de patentes *United States Patent and Trademark Office* en Virginia (EE.UU.), y la *Intellectual Property Office* en Newport (Reino Unido). A estas instituciones mostramos un especial agradecimiento por ceder las imágenes que se incluyen en este artículo, así como al Grupo de Investigación UCM-Santander, *Pensamiento y representación literaria y artística digital ante la crisis de Europa y el Mediterráneo* (PR26/16-6B-1) por su apoyo.

La exposición es una de las herramientas fundamentales de las que dispone un fotógrafo para la creación de una imagen o el director de fotografía para crear la estética de una obra audiovisual. Su control determina cuánta luz impresiona la película (Brown, 2012:182). Ésta se puede regular mediante el uso del diafragma, el obturador, variando la sensibilidad del soporte de captura (ISO o ASA) o adecuando la cantidad de luz presente en la escena a las circunstancias técnicas y necesidades artísticas (Brown, 2012:182-183). La dificultad principal, no obstante, es a menudo saber cuánta luz recae sobre una escena dada. La física es, por suerte, una ciencia que estudia las propiedades de la materia y la energía, y sus relaciones, según la Real Academia Española de la Lengua. Para poder realizar estos estudios, esta ciencia ha prestado especial atención a los modos de cuantificar fenómenos físicos y una rama de esta ciencia, la fotometría, versa, entre otras cosas, sobre los métodos para medir la luz. La utilidad de conocer la cantidad de luz disponible no está limitada en sus aplicaciones ni a la física ni al audiovisual, sino que se puede aprovechar en aplicaciones tan variadas como la arquitectura, urbanismo, agricultura, meteorología o astronomía. Para obtener esta información, la invención del fotómetro ha sido decisiva ya que permitió por fin que se realizaran medidas objetivas. Sin embargo, existen pocos estudios sobre la aparición y evolución de los fotómetros.

Como instrumento de uso práctico, es de suponer que la mayoría de obras al respecto versen sobre su uso, como sucede también a menudo cuando hablamos de otros equipos audiovisuales. *Understanding Exposure*, de Andy Stansfield (2011) versa sobre aspectos prácticos de la exposición, como el triángulo de la exposición, el sistema de zonas o el uso de diversos tipos de fotómetros, pero no sobre su historia. Gerald Hirschfeld publicó una obra titulada *The Hand Exposure Meter Book* (Hirschfeld, 2001), hoy en día descatalogada, centrado en la relación entre

operadores y fotómetros, publicado junto con Mamiya, empresa a la que pertenece Sekonic, uno de los fabricantes de fotómetros de más renombre en la actualidad. A este libro le precedió un pequeño panfleto, también publicado por Mamiya, titulado *Exposure Meters and the Cinematographer*, donde Hirschfeld repasa los fundamentos básicos de su uso.

Cabe resaltar la aportación realizada por Richard Miles en su artículo *A Light History of Photometry: from Hipparchus to the Hubble Space Telescope* (Miles, 2007), donde recorre la fotometría astronómica desde la primera mención realizada por Hiparco de Nicea (129 a.C.) hasta la aparición de la fotometría con CCDs³ a partir de 1976 y su posterior comercialización. Sin embargo, es un texto centrado en aplicaciones astronómicas, que si bien parten de principios similares a los del cine, tienen finalidades y procesos diferenciados.

En la *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography* (Hannavy, 2013) se mencionan los sistemas primitivos de medida de la luz, como las tablas de exposición y actinógrafos, pero por acabar su periodo de interés con el siglo XIX y estar centrado en fotografía, ni cubre los avances realizados en el siglo veinte ni sus aplicaciones cinematográficas.

La *Focal Encyclopedia of Photography: Digital Imaging, Theory and Applications, History and Science* (Peres, 2007) incluye un capítulo muy interesante titulado *Photometry, Radiometry and Measurement* (Salvaggio, 2007) que trata sobre principios físicos y básicos de funcionamiento del fotómetro, con una somera vista de pájaro sobre su evolución, pero siendo más un texto de descripción científica que de historiografía del invento.

Así pues, si bien el uso del fotómetro se cubre en la mayoría de manuales técnicos de manera más o menos extensa, y se menciona al menos en enciclopedias de alcance histórico, no se ha tratado de manera adecuada la historia de este invento y su relevancia para la fotografía cinematográfica.

Su importancia no puede dudarse: es uno de los atributos identificativos del director de fotografía. Si se consulta la revista *American Cinematographer Magazine*, publicada por la Asociación Americana de Directores de Fotografía desde casi los inicios del cine, noviembre de 1920 concretamente, puede comprobarse cómo es frecuente ver a los operadores sujetando un fotómetro cuando aparecen en fotografías. También se menciona de forma explícita la exposición (seleccionar el diafragma) en un listado de labores que pertenecen a dicha posición en la lista publicada por el editor de la mencionada revista en 2003 (Pizzello, 2003).

Por su eminente finalidad práctica, casi todas las publicaciones al respecto buscan orientar al usuario sobre cómo es mejor utilizar el fotómetro y cuál es el más adecuado para según qué tipo de producción, pero sin realizar una historia ni historiografía del invento. Ahora nos proponemos como objetivo, para paliar esta carencia, realizar una breve indagación en sus orígenes y desarrollo.

³ Del inglés *charge-coupled device* o “dispositivo de carga acoplada”, un tipo de sensor de imagen utilizado en sistemas analógicos y hoy en día una de las principales opciones de cinematografía digital, junto con los sensores CMOS, *complementary metal-oxide-semiconductor* o semiconductor complementario de óxido metálico (Wheeler, 2009).

2. Trabajo de campo e investigación

Esta investigación se centra únicamente en herramientas capaces de medir la parte visible del espectro luminoso, por lo que se omiten los avances en espectrografía, y versa esencialmente sobre aquellos avances relativos a fotografía y cinematografía hasta la configuración de lo que ya puede considerarse un fotómetro moderno. Con esta condición marcada, el estudio empezará con los antecedentes primitivos para determinar la exposición y el descubrimiento del efecto fotovoltaico, como base científica necesaria para todo el desarrollo posterior, y acabará cuando se llegue a las siguientes condiciones como definitorias de la existencia de fotómetros modernos:

1. El valor de exposición se decide en base a parámetros objetivos.
2. Es posible realizar mediciones de luz incidente y reflejada, sin necesidad de cálculos ni accesorios externos.
3. Incluye un difusor hemisférico que cubre la célula fotosensible y permite exponer objetos tridimensionales.
4. Es portátil o razonablemente ligero como para permitir su uso fuera del laboratorio.

Para obtener esta información, se han consultado tanto obras especializadas, como la *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography*, como publicaciones originales en revistas académicas y científicas del siglo diecinueve y principios del veinte, como *Scientific American*, *Popular Mechanics*, *Proceedings of the Royal Society of London* o *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*.

Esta información se ha complementado con el vaciado digital, ofrecido por las instituciones citadas arriba y por Archive.org, de las siguientes revistas especializadas y catálogos de venta fotográfica del siglo XIX y principios del XX:

1. *American Cinematographer Magazine*
2. *Photographic Scraps*
3. *Kodakery*.

Se ha recurrido también a libros de técnicas fotográficas de la época, como el *Watkins Manual of Exposure and Development* (Watkins, 1908) o *American Photography Exposure Tables and Hand Book* (Fraprie, 1925).

En casos más prácticos de invenciones, se han buscado las patentes originales e inéditas, bien de la oficina de patentes norteamericana, a través de copias digitales, o del archivo de patentes de la *British Library* (Biblioteca Británica). Ambas instituciones conservaban muestras que han sido fundamentales para elaborar una cartografía básica de la evolución del fotómetro y de los cambios más significativos hasta alcanzar un aparato portátil, o suficientemente ligero, que midiese la luz y pudiera acompañar al fotógrafo.

Además, se ha consultado la *Smitsonian Library* y la *Congress Library* (Biblioteca del Congreso de los EE.UU.), de donde se han obtenido algunos de los documentos que se adjuntan en imágenes y que reflejan aspectos clave en la evolución del fotómetro, como el diseño original de la semiesfera que permitió medir adecuadamente la exposición de sujetos tridimensionales.

A través de este trabajo de campo y de esta investigación se intenta trazar una cronología breve y concisa de los elementos más importantes para el desarrollo del fotómetro, a saber: antecedentes fotográficos primitivos, antecedentes y fundamentos científicos, desarrollo de los primeros fotómetros, configuración del fotómetro moderno.

3. Evolución

3.1. Antecedentes primitivos

Desde la aparición de la fotografía se buscaron métodos que permitieran evaluar la cantidad de luz para así poder determinar el tiempo de exposición, pero dado que durante la mayor parte del siglo diecinueve muchas emulsiones eran de fabricación casera y de muy baja sensibilidad, no existían métodos viables para realizar estos cálculos. Cuando se realizó una estandarización de los materiales fotográficos y disminuyeron los tiempos de exposición, conocer ésta adquirió una importancia creciente.

En 1844, C.F. Albanus publicó la primera tabla de exposición y tanto revistas como manuales incluyeron tablas que informaban al fotógrafo de los tiempos de exposición recomendados según el tipo de iluminación que hubiera (Hannavy, 2013), pero estas tablas presentaban varios problemas: el primero de ellos era el de la fiabilidad de la medida, puesto que no se explicaban los parámetros bajo los cuales se había llegado a sus cifras; el segundo era el de la subjetividad de su aplicación, puesto que requerían que el fotógrafo estimara la intensidad según la hora del día u otros datos similares. W. K. Burton solventó al menos el problema de la fiabilidad con una serie de tablas que publicó en 1886, que siguieron en uso hasta fin de siglo (Hannavy, 2013), cuando publicó una versión revisada (Burton, 1899).

Estas tablas se siguieron publicando hasta entrado el siglo veinte, tanto en revistas y libros como en formato de mano. En la revista amateur de Kodak, *Kodakery: A Journal for Amateur Photographers*, podemos encontrar unos ejemplos en sus artículos *How Much Exposure Should we Give?* (Mees, 1916:22) en la Figura 1, o *Outdoor Exposures* de mayo de 1919 (“Outdoor exposure”, 1919:18-23). Un libro popular parece haber sido el *American Photography Exposure Tables and Hand Book* (Fraprie, 1925), del cual se imprimieron, según el prefacio de la edición de 1926, 106.000 copias. Respecto a tablas de mano, F. Dundas Todd publica sus tablas en 1896, *The Photo-Beacon Exposure Card*, cuya revisión apareció en 1906 (Todd, 1906:157-158). El autor atribuyó su éxito, con 51.500 copias vendidas en diez años, a que, si bien existían otras disponibles en Estados Unidos, eran meras copias de las británicas, y por tanto, inservibles.

EXPOSURE GUIDE				
Subject	Figure	EXPOSURE TABLE		
		Index No.	Shutter	Stop
Snow, sea and beach scenes	1/2	1/2	50	16
Ordinary landscapes showing sky	1	1	50	8
Groups, street scenes, landscape no sky	2	2	50	4
Portrait (outdoors) shaded scenes	4	4	25	4
Interiors, portraits indoors, etc.	100	8	*B	16
TIME OF YEAR AND DAY				
Spring and summer—middle of day	1	16	*B	8
Morning and late afternoon	2	32	*B	4
Fall and winter—middle of day	2	400	†T 4 Secs.	4
Morning and afternoon	4	800	†T 8 Secs.	4
WEATHER				
Sunny	1			
Light clouds over sun	2			
Cloudy, dull	4			
Heavy clouds, very dull	8			

Above 800 give proportionate extra time.

* Use a tripod or place the camera on something rigid to hold it still, press and release shutter quickly (1/4 second).
 † Use a tripod and give exposure indicated.
 For sharp results take care to judge distance correctly.

Figura 1. Tabla de exposición en la revista Kodakery (Mees, 1916).
 Cortesía de Archive.org.

Una de las variantes más interesantes de las tablas de exposición fue el *Ilford Exposure Meter*, inventado por John Alfred Scott y anunciado a partir de 1892 en la revista que el fabricante publicaba, *Photographic Scraps* y por fin comercializado en Julio de 1893 (Ross, 1893). Su diseño, tal y como aparece en la patente original, puede consultarse en la Figura 2. Sin tratarse de un fotómetro propiamente dicho, puesto que no es capaz de medir la intensidad de la luz, consistía en varios discos concéntricos de metal, tres móviles y dos fijos, con un diámetro de tres pulgadas y que permitía, con su rotación, calcular la exposición para diferentes sensibilidades, velocidades y circunstancias lumínicas. Su diseño es, esencialmente, un antecedente de las *Kelly* utilizadas para calcular la profundidad de campo.

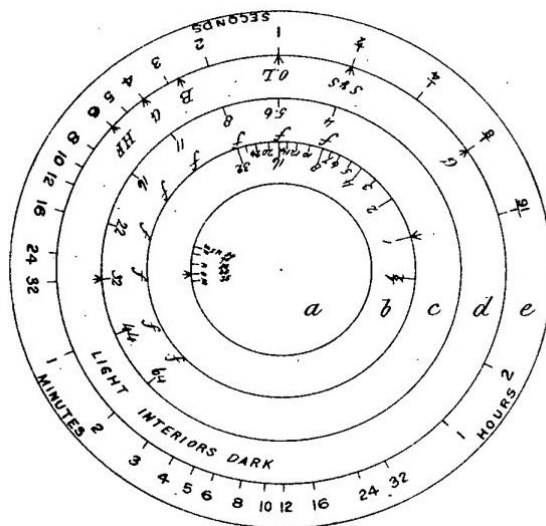


Figura 2. Ilford Exposure Meter (Scott & Howson, 1892). Cortesía de la British Library.

El fotografómetro fue presentado por A. Claudet en la Academia de Ciencias de París en 1849 (Claudet, 1849), donde se describe como “instrument pour mesurer l’intensité de l’action chimique des rayons de la lumière sur toutes les préparations photographiques, et pour comparer la sensibilité de ces diverses préparations⁴”. *Scientific American* se hizo eco del invento y publicó que su uso era “indicating to the Photographer, the intensity of the chemical rays and the same time [sic] the sensitiveness of his preparation⁵” (“The Photographometer”, 1849). En el libro *The History And Practice Of The Art Of Photography; Or The Production Of Pictures Through The Agency Of Light* de Henry H. Snelling se dedica un capítulo entero a este invento (Snelling 1949:135-139). Dice de él lo siguiente:

Since the photographic power of the solar rays bears no direct relation to their luminous influence, it becomes a question of considerable importance to those who practice the beautiful art of photography, to have the means of readily measuring the ever changing activity of this force. (...) The great difficulty which continually annoys the photographic amateur and artist, is the determination of the sensibility of each tablet employed, relative to the amount of radiation, luminous and chemical, with which he is working. With the photographometer of Mr. Claudet this is easily ascertained. The following woodcut and concise description will sufficiently indicate this useful and simple apparatus.⁶ (Snelling, 1948:135-136).

Este extracto refuerza la idea de la necesidad de un mecanismo para medir cuánto oscurecerá la luz una imagen, pero es interesante también por cómo refuerza el concepto de que éste debe ser sencillo de utilizar. Sin embargo, el invento no era precisamente portátil, compuesto por varias tablas de madera móviles de gran tamaño, y requería cálculos posteriores para poder obtener la exposición correcta.

Las investigaciones posteriores de Ferdinand Hurter y Vero Charles Driffield, que fundaron la densitometría y sensitometría actuales, derivaron en el Actinógrafo, una calculadora de la exposición que se patentó en 1888 y comercializó a partir de 1892. Lo describen de la siguiente manera en la petición de patente:

Our improvement consists in so arranging logarithmic scales as to enable a photographer to ascertain at a glance, and with a considerable degree of certainty, the length of time during which the sensitive plate must be exposed in the camera in order to procure a satisfactory negative.⁷ (Hurter & Driffield, 1888).

⁴ Instrumento para medir la intensidad de la acción química de los rayos de luz en todas las preparaciones fotográficas, y para comparar la sensibilidad de estas diversas preparaciones.

⁵ Indicar al Fotógrafo [sic] la intensidad de los rayos químicos y al mismo la de la sensibilidad del preparado.

⁶ Dado que el poder fotográfico de los rayos solares no tiene relación directa a su influencia luminosa, es una cuestión de considerable importancia para aquellos quienes practican el bello arte de la fotografía, el tener medios para medir fácilmente la siempre cambiante actividad de esta fuerza. (...) La gran dificultad que continuamente acosa al aficionado y artista de la fotografía, es la de determinar la sensibilidad de cada tableta utilizada, relativa a la cantidad de radiación, luminosa y química, con la que esté trabajando. Con el fotografómetro del Sr. Claudet esto se determina fácilmente. Los siguientes grabados y descripciones concisas serán recomendarán suficientemente este útil y simple aparato.

⁷ Nuestra mejora consiste en escalas logarítmicas organizadas de manera tal que permitan a un fotógrafo determinar a golpe de vista, y con un considerable grado de certeza, la cantidad de tiempo que una placa sensibilizada debe estar expuesta en la cámara para procurar un negativo satisfactorio.

Este instrumento contaba con cuatro escalas y una tabla de intensidades de luz según la hora del día y época del año que, combinadas con la sensibilidad de la placa y la distancia focal y características de la óptica, permitían calcular el tiempo de exposición según la hora del día, latitud y época del año, Figura 3. Más que un instrumento de medición, era un instrumento de cálculo, que obtenía una aproximación del poder actínico de la luz y a partir de ahí, permitía el cómputo de un tiempo de exposición.

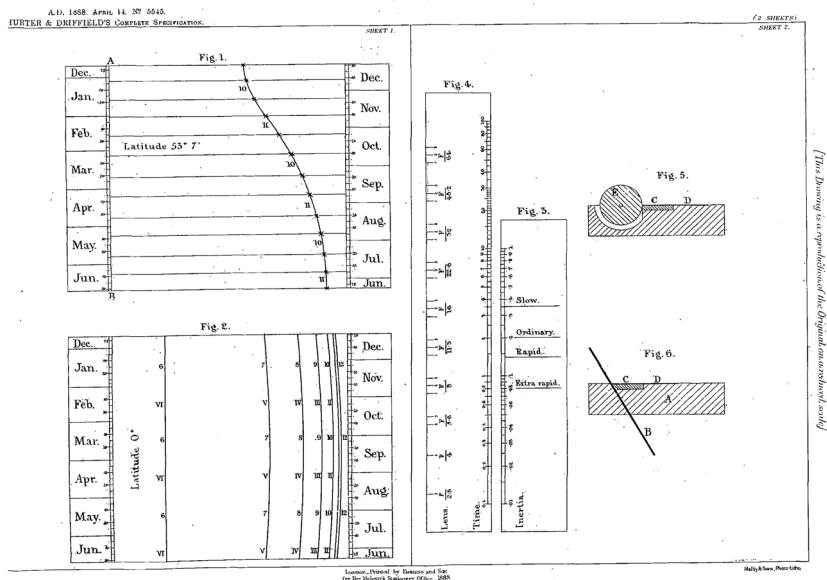


Figura 3. Diagrama del Actinógrafo (Hurter & Driffeld, 1888).

Cortesía de la British Library.

Otros métodos primitivos de evaluación de la exposición óptima incluyeron los actinómetros y fotómetros de extinción. Los actinómetros utilizaban papel fotosensibilizado cuya exposición se calculaba según el tiempo que tardaba en llegar a una cierta sombra de gris. Esto implica una cierta subjetividad en su uso, lo cual dificulta su implementación. Según un documento de 1866 escrito por George C. Hodgkinson, “considerable practice is necessary to acquire expertness in the use of the actinometer employed⁸” (Hodgkinson, 1866:323), “since the scale of each actinometer is empirical, in order that observations with different instruments may be comparable, a standard reference is necessary⁹” (Hodgkinson, 1866:324), y aduce que la carencia de tal referencia imposibilita cualquier avance al respecto. Watkins, en su libro de exposición y revelado fotográfico, también comenta el problema que supone que el papel sea ligeramente ortocromático por lo que su sensibilidad al color no es homogénea, su sensibilidad varía en función de la humedad y mide luz incidente en vez de reflejada (Watkins, 1908:122).

⁸ Es necesaria una práctica considerable para volverse experto en el manejo del actinómetro utilizado.

⁹ Dado que la escala de cada actinómetro es empírica, para que la observación con diferentes instrumentos sea comparable, es necesaria una referencia estándar.

El fotómetro de extinción utilizaba la visión humana para determinar la exposición correcta. Roebuk y Staehle los describen como una cuña de “cristal gris (densidad neutra)” que se sujeta frente al ojo. Tras esta cuña hay una serie de números transparentes con variante opacidad, y cuanto más intensa sea la luz hacia la que se mire, mayor será el número que pueda leerse. Este número, con las tablas adecuadas, se convertía después en un valor de exposición. Descrito el fotómetro, hay que afirmar también sus carencias:

The most serious drawback of this type of instrument is the fact that it does not always take into consideration the variations of sensitivity of the eye at different intensity levels of illumination. (...) Color photography requires considerably greater accuracy of exposure than black and white and the extinction meter can not be relied upon.¹⁰ (Roebuk & Staehle, 1942:62-63).

Así pues, si bien se había conseguido un instrumento portátil, no solventaba el problema de la subjetividad de la medida.

3.2. El efecto fotovoltaico y la fotoconducción

Una célula fotovoltaica es aquella que, al ser expuesta a la luz, genera voltaje eléctrico. Este efecto fue descubierto por un joven Edmond Becquerel en 1839, quien presentó el hallazgo en la Academia de las Ciencias de París (Becquerel, 1939). En él, de manera similar a Volta, experimenta con células húmedas (*wet cell*), probando diferentes materiales y midiendo la corriente generada con un galvanómetro. Observó un incremento en su lectura cuando realizaba los experimentos al sol y los electrodos eran del mismo material, a diferencia del descubrimiento de Volta, que se basaba en utilizar metales diferentes bañados en líquido. Sin embargo, y quizás extrañamente, este descubrimiento que será la base de inventos tan relevantes como los paneles solares, quedó apartado como poco más que una curiosidad química durante décadas.

En 1873, Willoughby Smith experimentó con barras de selenio para un sistema de comunicaciones con cables submarinos pero le consternó la discrepancia en las mediciones: “while investigating the cause of such great differences in the resistance of the bars, it was found that the resistance altered materially according to the intensity of the light to which it was subjected¹¹” (Smith, 1873). Smith habla del efecto fotoconductor, que provoca cambios en la conductividad de un material, sin que haya cambios químicos o físicos aparentes en él (Hempstead, 1977:30). Sin embargo, al igual que con el efecto fotovoltaico, el desarrollo de la fotoconducción fue lento, aunque jugó un papel importante en la Segunda Guerra Mundial, donde se utilizaron células fotoconductoras para comunicaciones por infrarrojos, longitud de onda a la que son más sensibles (McCluney, 2014).

¹⁰ El mayor inconveniente de este tipo de instrumento es el hecho de que no siempre tiene en consideración las variaciones en la sensibilidad del ojo a diferentes niveles de intensidad de la iluminación. (...) La fotografía en color requiere una precisión en la exposición considerablemente mayor que el blanco y negro y no se puede confiar en el fotómetro de extinción.

¹¹ Al investigar la causa de tan gran diferencia en la resistencia de las barras, se descubrió que la resistencia se veía considerablemente alterada de acuerdo con la intensidad de la luz a la que se veía sometida.

Poco después, en 1877, Adams y Day publicaron sus descubrimientos sobre el efecto fotovoltaico en el selenio (Adams & Day, 1877), tras experimentar con él durante año y medio a raíz del artículo de Willoughby Smith, con cuya ayuda contaron.

3.3. La célula Fritts

A partir de estos descubrimientos, ya estaba disponible la base científica necesaria para desarrollar células que pudieran medir la intensidad de la luz. Hubo múltiples diseños basados en selenio, media docena de ellos recogidos en el libro *Selenium Cells. The construction, care and use of selenium cells, with special reference to the Fritts cell* (Benson, 1919:16), pero la que destaca es la célula de Fritts. Benson menciona que la célula de Fritts es “little known except by name but is superior to the others both in simplicity of construction and correctness of design¹²”

Charles E. Fritts publicó en 1883 una investigación titulada *On a New Form of Selenium Cell, and some Electrical Discoveries made by its use*, donde habla de un nuevo tipo de célula de selenio mucho más sensible que experimentos previos al de Werner Siemens que cita el autor (Fritts, 1883:466). El diseño de su célula se basa en el uso de oro para formar un electrodo, frente a sus experimentos previos donde decía tener preferencia por el latón, zinc, hierro, estaño o cobre. Esta célula era la más sensible de la época, pero se perdía mucha luz por tener ésta que traspasar una lámina de oro para llegar al electrodo.

Estas células, en principio, hubieran sido una buena base para la construcción de un fotómetro, excepto por dos problemas. El primero es que sólo dejaban pasar luz de color verde, todavía faltaba encontrar un conductor transparente para que se pudiera medir el espectro visible al completo (Benson, 1919:52). En segundo lugar, generaban muy poca electricidad, por lo que eran necesarios instrumentos muy sensibles para medirla, algo realizable en un laboratorio, pero en modo alguno en forma portátil.

3.4. Los primeros fotómetros eléctricos

Si bien la electricidad generada por el selenio era difícil de medir, lo que sí era relativamente sencillo era medir la resistencia. Basándose en este principio, un pequeño fabricante de piezas eléctricas llamado John Thomas Rhamstine comercializó en 1931 el que quizá sea el primer fotómetro de mano comercial, el *Electrophot DH* (Figura 4).

¹² Es poco conocida excepto por su nombre pero es superior a las demás tanto por la simplicidad de su construcción como por la corrección de su diseño.



Figura 4. Electrophot DH.

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/41609327@N04/7153892085>.

El invento aparece recogido en la revista *Popular Mechanics*, en su edición de enero de 1932 (Windsor [ed.], 1932:72) bajo el encabezado “*Electric eye*” helps camera by timing exposure¹³. Dice el artículo que gracias a esta innovación ahora la exposición puede medirse “without guesswork on the part of the photographer¹⁴”, es portátil con un peso de algo menos de kilo y medio, y de uso relativamente sencillo. Este fotómetro requería de una batería para poder funcionar, puesto que al basarse en fotoconducción, no generaba electricidad por sí mismo. En 1936 comercializó un modelo mejorado, el *Electrophot M-S-B*, Figura 5, que ya no requería batería y era mucho más ligero.

MODEL M-S-B ELECTROPHOT
SOME OUTSTANDING FEATURES:

- MEETS MODERN REQUIREMENTS.
- READS DIRECT IN “f” STOPS.
- HELD IN NATURAL POSITION.
- COMPACT AND ATTRACTIVE.
- REFLEX VIEW FINDER.
- BUILT IN BLACK BAKELITE CASE.
- GENUINE LEATHER CASE AND STRAP.
- ONE MODEL FOR ALL CAMERAS.
- USED WITH ALL FILM.
- SILVER DIAL—BLACK FIGURES.
- LOW PRICE.

The ELECTROPHOT is built to meet the needs of the practical photographer, amateur and professional. Accordingly it reads direct in “f” stops, to correspond with the diaphragm stops on your camera without adjustments or any dial setting, for the most commonly used speeds and films. For the unusual conditions, readings are quickly obtained from the conversion chart right on the instrument. Correct readings are obtained quickest with the ELECTROPHOT without possibility of the scene or light changing while the reading is being calculated.

Manufactured by
J. THOS. RHAMSTINE*
Manufacturer of Precision Electrical Apparatus
301 Beaubien Detroit, Mich.

FORM NO. 109


REFERENCE CATALOGUE LIBRARY
DEC 22 1936

Now!

RHAMSTINE*

ELECTROPHOT
MODEL M-S-B
EXPOSURE METER

MEETS ALL
MODERN
NEEDS



FOR MOVIES
AND STILL

Figura 5. Electrophot M-S-B. Cortesía de la Smithsonian Library.

¹³ “Ojo eléctrico” ayuda a la cámara al cronometrar la exposición.

¹⁴ Sin que el fotógrafo tenga que adivinar.

Casi simultáneamente aparecieron otros dos más, pero basados en el efecto fotovoltaico por lo que no requerían alimentación externa. No está del todo claro cuál se comercializó primero.

El Weston modelo 617 se comercializó en 1932, aunque la patente no se aprobó hasta 1935, de célula fotoeléctrica de selenio y un medidor de corriente. Dice la patente:

A photoelectric exposure meter comprising a housing enclosing a photocell capable of generating current which is a function of the illumination at the photocell, a measuring instrument in series circuit with said photocell, said instrument including a scale having a fiducial index and a pointer movable over said scale and controlled in its movement solely by the magnitude of the current flow established in said series circuit¹⁵. (Weston, 1931).

Aunque es la patente USD97827, *Design for a photoelectric exposure meter*, de 10 de diciembre de 1935 la más parecida al fotómetro Weston 617 en su diseño. Presentamos en Figura 6 su ficha de patente no publicada con anterioridad en ningún catálogo o publicación de fotografía.

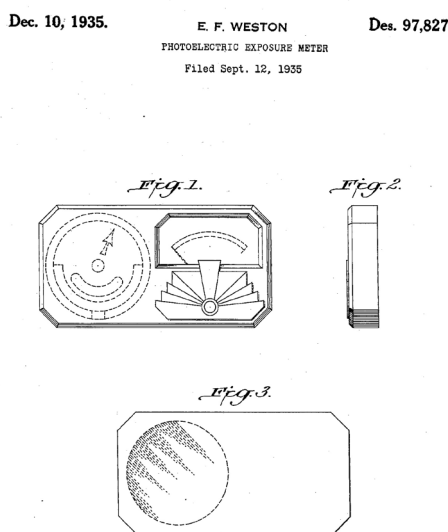


Figura 6. Ilustración de patente Weston USD97827. Cortesía de la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos.

En 1933, Weston comercializó el modelo 627 adaptado para cine a 16 fotogramas por segundo. A partir de 1939 comercializó el modelo Weston Master 715 y Weston Master Cine 720, adaptados para cine y con la opción de elegir entre varias opciones

¹⁵ Un exposímetro fotoeléctrico que incluye una fotocélula cubierta capaz de generar una corriente en función de la iluminación de esa fotocélula, un instrumento de medición en circuito en serie con dicha fotocélula, dicho instrumento incluyendo una escala con un índice fiduciario y un indicador móvil sobre dicha escala y controlado en su movimiento únicamente por la magnitud del flujo de corriente establecido por dicho circuito en serie.

de fotogramas por segundo. De aquí en adelante, la serie Weston Master (modelos 700) será la destinada al mundo profesional cinematográfico.

En 1933, la revista de fotografía amateur *Fotografische Rundschau und Mitteilungen* recogía en su número del 7 de abril de 1933 un artículo titulado *Photo und Kinomesse in Leipzig* donde se habla de un mecanismo fabricado por P. Gossen & Co. Para medir la luz, conocido como *Photolux*, después rebautizado como *Ombrux*, con una célula Fritts, de selenio y fotovoltaica (Halle, 1933). Con este fotómetro se fundó la compañía Gossen, que aún fabrica instrumentos de gran calidad.

Las células de selenio eran prohibitivamente caras en esa época e impedían lanzar fotómetros a precio asequible. El Weston 617 se comercializaba por alrededor de 33\$, pero Gossen llegó a un acuerdo con Electrocell Berlín, por el cual acordaron comprar más de 100.000 células de selenio, lo que le permitió comercializar sus fotómetros a 26.50RM. En 1933, un Reichmark equivalía 4.2\$, por lo que el fotómetro costaba el equivalente en la época de 6.30\$ (Bildwell, 1970:22-24).

Si bien estos fotómetros ya presentan medidas objetivas, tienen todavía una carencia, y es que no son plenamente funcionales como fotómetros de luz incidente a la hora de medir superficies tridimensionales.

3.5. La semiesfera de Norwood

Los fotómetros de luz reflejada hasta este momento permitían incorporar difusores planos sobre la célula para obtener lecturas incidentes, pero esto sólo funcionaría con luces frontales, no con luces laterales ni contraluces, es decir: no existía un fotómetro de luz incidente adecuado para medir la exposición de un actor sin tener que realizar cálculos para compensar la exposición según la dirección de la luz (Salvaggio, 2013).

Parte de la urgencia por solventar este problema vino por la aparente obsolescencia de los fotómetros de mano. En 1935 apareció la primera cámara de cine con fotómetro incorporado, la Eumig C 2, para película de 9.5mm (Racine, 2014). Al aparecer cámaras con fotómetro incorporado, el mercado para éstos se vio paulatinamente reducido, por lo que era necesario ofrecer mejores funciones, como la de ser capaz de medir la luz incidente.

La solución vino en 1940 por parte de Don Norwood, fotógrafo del ejército americano en la Primera Guerra Mundial, con un nuevo diseño de fotómetro de luz incidente. Relatan en la revista *American Cinematographer*:

“Don basically invented the incident principle when he came up with the ingenious idea of slicing a baby’s rattle in half and adding it to the old Weston meter”, Branch noted. “Karl Freund took over the development and manufacturing of the new meter in the Forties, and this year we’re celebrating the 50th anniversary of the original patent”.¹⁶ (“From the Clubhouse”, 1992:91).

Norwood cubrió la célula con un difusor semiesférico que permitía que la luz llegara desde una mayor cantidad de ángulos, según el principio de que, al desplazar una luz frontal hacia un lateral, ésta disminuye su intensidad (Norwood, 1949). Si

¹⁶ “Don básicamente inventó el principio de luz incidente cuando se le ocurrió la ingeniosa idea de cortar el sonajero de un bebé por la mitad y añadirsele al viejo fotómetro Weston”, indicó Branch. “Karl Freund se hizo cargo del desarrollo y fabricación del nuevo fotómetro en los años cuarenta, y este año celebramos el quincuagésimo aniversario de la patente original”.

use of photometric meters¹⁷ (Stull, 1942:45). En el mismo artículo se menciona que este fotómetro, con el “Norwood’s hemispherical incident-light collector¹⁸” ha sido recibido con “an unusually favorable reception; one studio, at least, having standardized on this meter to be supplied by the studio to all the staff cinematographers¹⁹.” Para Agosto de 1942, esta misma revista decía:

With an emulsion of such limited latitude as the Kodachrome, the determination of correct exposure should certainly be entrusted to a dependable photoelectric exposure-meter which measures *all* the light falling on the subject (...) for professional production in Kodachrome by far the best exposure-meter now available is the Norwood.²⁰ (Larsen, 1942:349).

4. Conclusión

El fotómetro es una invención relativamente reciente y de orígenes un tanto inciertos, puesto que no puede determinarse un año o momento conclusivo en su aparición. No obstante, gracias a diversos documentos y patentes encontradas hemos podido organizar una cartografía de la evolución del fotómetro. En esta evolución hemos constatado que han sido necesarios tanto una serie de avances científicos en los campos de la física y la química, como antecedentes fotográficos a este instrumento de medición de la intensidad de la luz.

Los antecedentes fotográficos, donde ya es visible la preocupación por conocer la exposición adecuada, incluyeron tablas de exposición, fotofotómetro, actinógrafos, actinómetros y fotómetros de extinción. Algunos de estos documentos los exponemos en esta investigación por primera vez. Estos presentaban problemas múltiples, pero el mayor era que dependían de la interpretación subjetiva del fotógrafo para determinar el tiempo de exposición.

Las bases científicas para el desarrollo del fotómetro empezaron con el descubrimiento del efecto fotovoltaico por Becquerel en 1839 y el efecto fotoconductor, descubierto por Smith en 1873. Estos efectos, utilizando las habilidades fotovoltaicas del selenio que en 1877 investigaron Adams y Day, sentaron las bases teóricas del desarrollo posterior de los fotómetros, que se basarían bien en medir la electricidad generada por el selenio al ser expuesto a la luz, o las variaciones en su resistencia, según se aplicara un efecto u otro como principio para su funcionamiento. Se desarrollarán multitud de células, pero destaca la célula Fritz, diseñada en 1883.

El primer fotómetro eléctrico portátil puede atribuirse a John Thomas Rhamstine, quien comercializa el Electrophot en 1931, seguido muy de cerca por el Weston 617 en 1932 y el Gossen Ombrux en 1933. El problema de la medición de luz incidente no se solventó hasta que en 1940 Don Norwood inventó un colector hemiesférico

¹⁷ Una moda creciente entre directores de fotografía profesionales de utilizar fotómetros eléctricos.

¹⁸ Colector hemisférico de luz incidente de Norwood.

¹⁹ Una recepción extrañamente cálida; un estudio, por lo menos, habiendo tomado este fotómetro como estándar para ser suministrado a todos los directores de fotografía en su plantilla.

²⁰ Con una emulsión con una latitud tan limitada como la de la Kodachrome, determinar la exposición correcta ciertamente debería confiarse a un fotómetro fotoeléctrico fiable que mida *toda* la luz que recae sobre el sujeto (...) para producciones profesionales con Kodachrome, el Norwood es con diferencia el mejor fotómetro disponible.

que cubría la célula fotosensible y permitía promediar las luces que provenían de ángulos múltiples, por fin consiguiendo un valor de exposición fiel para superficies con volumen.

Esta investigación ofrece una cartografía básica del nacimiento y la evolución de los primeros fotómetros. Con ella no se subsana plenamente los objetivos propuestos, pero sirve para posteriores indagaciones y estudios. En especial es reseñable que estas investigaciones pueden aumentar con facilidad ya que la casi totalidad de estos inventos fueron patentados en registros estadounidenses y europeos y el acceso a los mismos es factible. Resulta necesario manifestar en este artículo que es gracias a los centros de patentes y las bibliotecas nacionales que se ha logrado el acceso a la documentación inédita.

Sin embargo, esta construcción de la evolución del fotómetro debe realizarse siempre de una doble perspectiva. La primera la documental e histórica rigurosa, consultando esos documentos inéditos, pero no menos importante es la revisión tecnológica de las posibilidades de los fotómetros, es decir, desde una perspectiva técnica propia de los estudios de fotografía y, en menor medida, de cinematografía. Es, precisamente, este un aspecto clave de la evolución del fotómetro, que no solo era un invento tecnológico sino también una herramienta para la construcción estética.

5. Agradecimientos

Este artículo se enmarca dentro del Grupo de Investigación UCM Santander (PR26/16-6B-1), *Pensamiento y representación literaria y artística digital ante la crisis de Europa y del Mediterráneo*.

Esta investigación tampoco hubiera sido posible sin la generosidad de diversas instituciones públicas y privadas que han facilitado la documentación, el acceso a materiales de difícil localización.

En primer lugar, a la *British Library* (Biblioteca Británica) en Londres, *National Museum of American History Library* (Biblioteca del Museo Nacional de Historia Americana), parte de la *Smitsonian Institution Libraries* en Washington D.C., Filmoteca Española y de las oficinas de patentes *United States Patent and Trademark Office* en Virginia (Estados Unidos), y la *Intellectual Property Office* en Newport (Reino Unido).

También a las universidades Notre Dame Louaize y a la Universidad Complutense de Madrid.

Especialmente, queremos agradecer, su apoyo y su ayuda a Juan Mariné, decano de los directores de fotografía de España.

Referencias

- Adams, W., & Day, R. (1877). The Action of Light on Selenium. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 167, 313-349. <http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/167.toc>
- Becquerel, A. E. (1839). Recherches sur les effets de la radiation chimique de la lumière solaire au moyen des courants électriques. *Comptes rendus de l'Academie des sciences*, v. 9, pp. 145-149.

- Benson, T. W. (1919). *Selenium Cells. The construction, care and use of selenium cells, with special reference to the Fritts cell*. New York: Spon & Chamberlain.
- Bildwell, R.L. (1970). *Currency Conversion Tables: A Hundred Years of Change*. Rex Collings:Londres.
- Brown, B. (2012). *Cinematography: Theory and practice: Imagemaking for cinematographers and directors*. Londres:Focal Press.
- Burton, W.K. (1899) *Burton's modern photography: comprising practical instructions in working gelatine dry plates, printing, etc.* Londres:Carter & Co.
- Claudet, A. (1849). Description d'un photographe, instrument pour mesurer l'intensité de l'action chimique des rayons de la lumière sur toutes les préparations photographiques, et pour comparer la sensibilité des ces diverse préparations. *Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences*, v.27, pp. 370-372.
- Fraprie, F. R. 1874-1951. (1925). *American photography exposure tables and hand book*. Boston: American photographic publishing co.
- Fritts, C. E. (1883). *On a New Form of Selenium Photocell and some Electrical Discoveries made by its use*. *American Journal of Science*, 26:465-472.
- From the clubhouse (1992). *American Cinematographer Magazine*, v.73 (7), pp.91.
- Halle, S. [ed.] (1933). Photo und Kinomesse in Leipzig. *Fotografische Rundschau und Mitteilungen* v.70, 7 de abril.
- Hannavy, J. (Ed.). (2013). *Encyclopedia of nineteenth-century photography*. Routledge.
- Hempstead, C.A. (1977). Semiconductors 1853-1919: an historical study of selenium and some related materials (Tesis doctoral). Durham University, Durham, Reino Unido.
- Hirschfeld, G. (2000). *Exposure Meters and the Cinematographer*. Nueva York: Photo Books Division, Mamiya America Corp.
- Hirschfeld, G. (2001). *The hand exposure meter book*. Nueva York: Photo Books Division, Mamiya America Corp.
- Hodgkinson, G. (1866). Actinometrical Observations among the Alps, with the Description of a New Actinometer. *Proceedings of the Royal Society of London*, 15, 321-330.
- Hurter, F. & V. C. Driffeld (1888). Patente n° 5545, *Improvements in the instruments for calculating photographic exposure*. Londres:Oficina Nacional Británica de Patentes.
- Larsen, J.A. (1942). Kodachrome for professional pictures. *American Cinematographer Magazine*, v.23(8), pp.348-349, 377-379.
- McCluney, W. R. (2014). *Introduction to Radiometry and Photometry*. Boston:Artech House.
- Mees, C.E.K. (1916). How Much Exposure Should we Give? *Kodakery*, v.4 (3), pp.18-23
- Miles, R. (2007). A light history of photometry: from Hipparchus to the Hubble Space Telescope. *Journal of the British Astronomical Association*, v.117(4), pp.172-186.
- Norwood, D. (1949) US Patent n° US2214283A, *Exposure Meter*.
- Outdoor exposure (1919). *Kodakery: A Journal for Amateur Photographers* v.5 (9):18-23. <https://archive.org/details/kodakery1918torouft>
- Peres, M. R. (2007). *Focal encyclopedia of photography: Digital imaging, theory and applications, history, and science*. Oxford: Focal Press.
- Pizzello, S. (2003). Responsibilities of the cinematographer. *American Cinematographer*, 84 (1), 110-112.
- Racine, O. (2014). Les films 8 mm de heinz brockmann, cinéaste et chauffeur dans la marine de guerre allemande (kriegsmarine). *1895*, (74), 112-131. doi:10.4000/1895.4904
- Roebuck, J. R.; Staehle, H.C. (1942). *Photography, its science and practice*. New York: D.Appleton-Century.
- Ross, J. A. (1893). Ilford Exposure Meter. *Photographic Scraps*, n°47, pp.195-196.

- Salvaggio, N.L. (2007). Photometry, Radiometry and Measurement. En *Focal encyclopedia of photography: Digital imaging theory and applications, history and science*. Oxford: Focal Press.
- Salvaggio, N. L. (2013). *Basic photographic materials and processes* (3^a ed.) Focal Press.
- Scott, J.A. & Howson, J. Patente n° 17642, *An improved instrument for calculating the duration of photographic exposures*. Londres: Oficina Nacional Británica de Patentes.
- Smith, W. (1873). Effect of Light on Selenium During the Passage of An Electric Current. *Nature* v.7(173), pp.303. Doi: 10.1038/007303e0
- Snelling, H. (1849). *The History And Practice Of The Art Of Photography; Or The Production Of Pictures Through The Agency Of Light*. Nueva York: G.P. Putnam.
- Stansfield, A. (2011). *Understanding Exposure*. Ammonite Press.
- Stull, W. [ed.] (1942). Technical progress in 1941. *American Cinematographer Magazine*, v.23 (1), pp.6-7, 45-46.
- The Photographometer (1849). *Scientific American*, v.4(28), pp. 219. Consultado en <http://archive.org/details/scientific-american-1849-03-31>
- Todd, F. D. (1906) New form of exposure tables. *The Photo-Beacon*, v. 18 (5), pp. 157-158.
- Watkins, A. (1908). *The Watkins manual of Exposure and Development*. Chicago: Burnes & James Inc.
- Wheeler, P. (2009). *High Definition Cinematography* (3^a ed.). Amsterdam; Londres; Boston:Focal Press. doi:10.4324/9780080952123
- Weston, E. F. (1931). U.S. Patent n° 2016469, *Exposure Meter*.
- Weston, E. F. (1935). U.S. Patent n° D97827, *Design for a photoelectric exposure meter*.
- Windsor, H. H. [ed.] (1932). “Electric eye” helps camera by timing exposure. *Popular Mechanics*, v.57 (1), pp.72.