



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### **Análisis de la temperatura e intensidad luminosa de distintas fuentes de luz usadas en un proyector casero de película 8 mm**

### **Temperature and light intensity analysis of different light sources used in a domestic-type 8 mm film projector**

**Castro-Aguayo, S., Medel-Ruíz, C.I., Casillas-Rodríguez, F.J., Sevilla-Escoboza, J., Mora-González, M.\***

Departamento de Ciencias Exactas y Tecnología; Centro Universitario de los Lagos; Universidad de Guadalajara; C.P. 47460, Lagos de Moreno, Jalisco, México.

[megadeth111@live.com.mx](mailto:megadeth111@live.com.mx); [carlos.medel@academicos.udg.mx](mailto:carlos.medel@academicos.udg.mx); [francisco.casillas@academicos.udg.mx](mailto:francisco.casillas@academicos.udg.mx);  
[jesus.sescoboza@academicos.udg.mx](mailto:jesus.sescoboza@academicos.udg.mx); [mmoraglez@gmail.com.mx](mailto:mmoraglez@gmail.com.mx)\*

\*Autor de correspondencia.

**Innovación tecnológica:** Aplicación de iluminación fría para proyección de películas.

**Área de aplicación industrial:** Recuperación de archivo fílmico.

Recibido: 13 enero 2022

Aceptado: 20 junio 2022

#### **Abstract**

In this work, the characteristics of light intensity and operating temperature produced by the following illumination sources are analyzed: a tungsten light source and by light-emitting diode (LED) arrangements, which are applied in an 8 mm domestic-type film projector. The temperature and light intensity parameters of the sources were measured during normal projection operation using a non-contact infrared thermometer and a silicon photodetector. From the obtained results, it was shown that the tungsten lamp is the source that generates the highest localized temperature in the lighting mechanism of the projector and the highest light intensity, but with spectral attenuation in the infrared range. LED light sources revealed advantages in the implemented coupling design because of occupying less space, being more efficient by consuming less energy and not generating excess heat. Important characteristics when trying to avoid damage to the physical integrity of the films, in addition to preserve the quality of the projected images. The use of LED lighting sources with a suitable coupling in this type of projectors, considerably reduces the temperature in the exposed films and allows their transfer to current digital formats using CCD cameras.

**Keywords:** LED, condensed lens, projection system, 8 mm, super 8.

## Resumen

En este trabajo son analizadas las características de intensidad luminosa y temperatura de operación producidas por las siguientes fuentes de iluminación: una lámpara de tungsteno y arreglos de diodos emisores de luz (LEDs, por sus siglas en inglés); las cuales son aplicadas en un proyector de película de 8 mm tipo doméstico. Las mediciones fueron realizadas durante la operación normal de proyección utilizando un termómetro infrarrojo de no-contacto y un fotodetector de silicio. Los resultados obtenidos muestran que la lámpara de tungsteno genera la temperatura más alta (localizada en el mecanismo de iluminación) y produce la mayor intensidad luminosa, registrando una atenuación espectral para el rango de infrarrojos. Las fuentes de luz tipo LED mostraron ventajas en el diseño del acoplamiento implementado, ya que ocupan poco espacio, son más eficientes al consumir menos energía y no producen calor en exceso. Lo anterior es importante cuando se busca evitar daños a la integridad física de las películas, además de preservar la calidad de las imágenes de proyección. El uso de fuentes de iluminación tipo LED acopladas adecuadamente en este tipo de proyectores, reduce considerablemente la temperatura a la cual se exponen las películas, posibilitando además su transferencia a formatos digitales actuales mediante el uso de cámaras CCD.

**Palabras clave:** LED, lente condensadora, sistema de proyección, 8 mm, súper 8.

## I. Introducción

La luz es una forma de radiación contenida en un rango específico del espectro electromagnético, el cual cuantifica la cantidad de energía en función de la longitud de onda. Por ejemplo, la luz visible se encuentra en el rango de 380 a 780 nm y puede ser generada por diferentes tipos de fuentes de luz natural o artificial. La radiación solar es la fuente de luz natural más conocida, mientras que entre las fuentes de luz artificial se pueden mencionar a las lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes, diodos emisores de luz (LEDs, por sus siglas en inglés), entre otras. El principio de funcionamiento de una lámpara incandescente consiste en calentar un filamento conductor; elaborado con tungsteno o wolframio, mediante la circulación de corriente eléctrica a través de él hasta alcanzar temperaturas del orden de los 3,000 °C, consiguiendo la emisión de luz [1]. La eficiencia luminosa de este tipo de fuentes de luz es muy baja, alcanzando

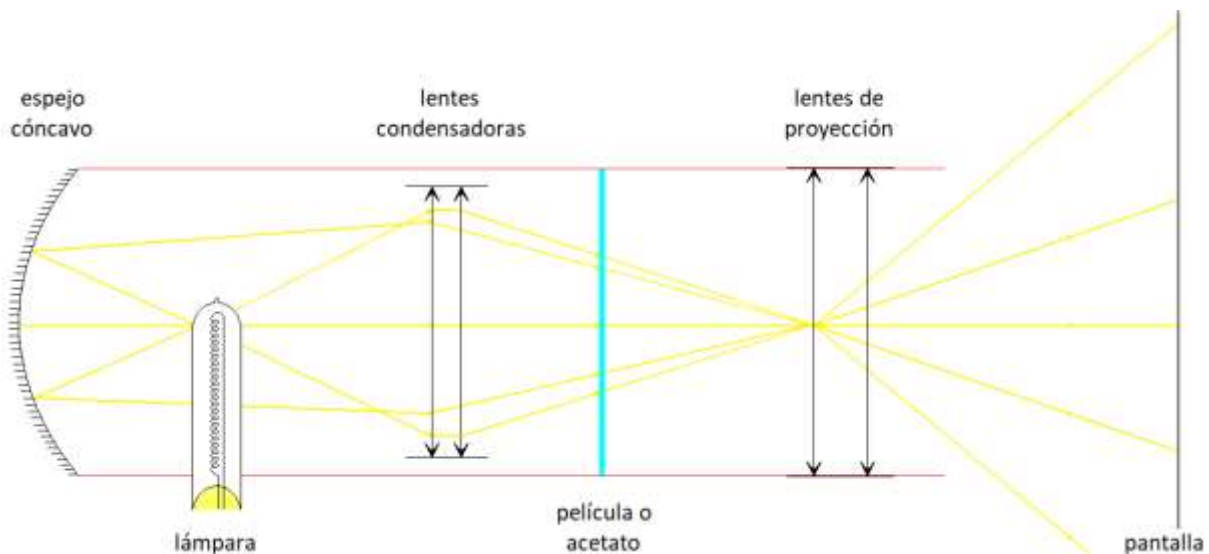
valores del orden del 3%. En comparación con lo anterior, las fuentes de luz tipo LED tienen una eficiencia luminosa del orden del 25% y funcionan al polarizar un diodo de material semiconductor. La luz generada por cada una de estas fuentes tiene un espectro de emisión particular, por lo que su eficiencia y capacidad de iluminación es distinta [2]. Algunas ventajas ofrecidas por las fuentes de luz tipo LED son: su amplia gama de colores, el ahorro que representan por su bajo consumo de energía, tamaño reducido que les permite ocupar poco espacio, presentan una alta fiabilidad gracias a la estabilidad en su potencia de salida, además de tener una vida útil más prolongada, entre otras [3]. Por otro lado, la apariencia de un objeto es significativamente influenciada por la fuente de iluminación, por lo que es importante la correcta selección de la misma en función de la aplicación deseada. Actualmente los LEDs son ampliamente utilizados en iluminación de interiores tal como en hogares, fábricas, oficinas, etc. También son empleados para el

alumbrado de avenidas, espacios públicos e incluso en fachadas de edificios [4]. Aunado a lo anterior, la tecnología LED se ha combinado con otros elementos ópticos (espejos, lentes, moduladores, etc.) para producir nuevos sistemas de iluminación, los cuales tienen la capacidad de proporcionar una distribución espacial de la luz con una alta uniformidad [5-6]. Un ejemplo del uso de estos sistemas de iluminación mejorados son los faros automotrices [7], pero también pueden ser utilizados en aplicaciones industriales, médicas, de seguridad y entretenimiento [8].

Otra área de aplicación para el empleo de los LEDs es como reemplazo de las fuentes de luz convencionales presentes en los ya obsoletos proyectores de película en formato de 8 mm o súper 8, cuyo principio de funcionamiento se basa en el iluminador de Köhler mostrado esquemáticamente en la Figura 1. August Köhler en 1893, diseñó el sistema que lleva su nombre con la finalidad de mejorar la resolución de imágenes y con esto marcar un precedente histórico en la microscopía electrónica [9], esto utilizando dos conjuntos de planos focales conjugados [10]. En dicha figura los rayos de luz emitidos por la lámpara son reflejados por un espejo

cóncavo el cual los dirige hacia un arreglo de lentes condensadoras que los enfocan entre la película y las lentes de proyección, generando la imagen resultante en una pantalla. Un parámetro importante para la correcta formación de la imagen es la intensidad luminosa, la cual se puede definir como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente de luz en todas las direcciones del espacio [11].

De las películas como tal; además de la información almacenada en ellas, también puede contener otro tipo de información grabada en la misma: material del que está elaborada, calibre, número de perforaciones, tamaños y proporciones de la imagen, entre otras. Existen una gran cantidad de factores que pueden dañar una película (en particular para las películas de video casero 8 mm o súper 8); como lo son: el paso del tiempo y las condiciones ambientales como calor, humedad, polvo, etc. Además, la fragilidad del acetato con el que están elaboradas las películas, por estos motivos se puede causar la pérdida de información grabada en ellas [12]. Por lo cual es importante respaldar la información en medios más modernos como los digitales.



**Figura 1.** Arreglo óptico básico de un proyector de video casero o de un proyector de diapositivas [11].

En este trabajo se presenta el análisis de temperatura e intensidad luminosa para una lámpara de tungsteno y varias configuraciones de fuentes de luz tipo LED, las cuales fueron utilizadas como fuente de iluminación para un proyector de películas con formato 8 mm o Súper 8 de fabricación casera. Lo anterior con la finalidad de reconstruir un antiguo proyector y lograr un prototipo con buen desempeño, calidad y eficiencia que permita incluso la digitalización de videos antiguos capturados en este formato sin dañar la película.

En nuestro conocimiento; para este tipo de proyectores, la conversión de la fuente de iluminación a una de tipo LED se ha realizado en forma de prototipos electrónicos [13-15]. Sin embargo, ninguno de ellos brinda un análisis detallado de la temperatura e intensidad luminosa para cada una de las fuentes de luz utilizadas.

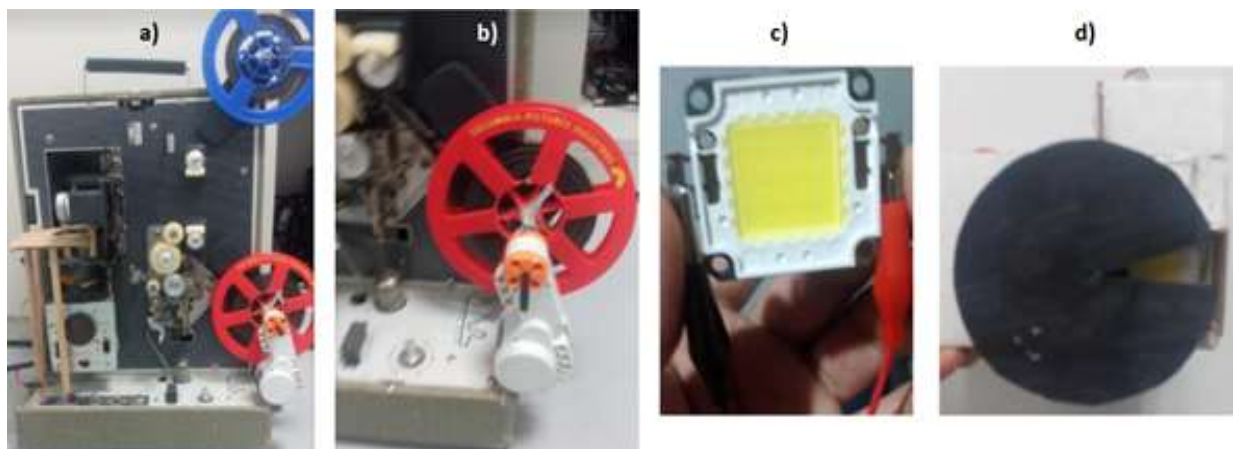
## II. Materiales y Métodos

Para la realización de este trabajo fueron utilizados componentes de reciclaje. Se tomó como base de diseño un proyector obsoleto KODAK® Sound 8 modelo 1E, el cual fue reacondicionado con la posibilidad de intercambiar la fuente de luz utilizada y la implementación de un servomotor Lego® Mindstorms utilizado para hacer funcionar

los carretes del proyector. Un circuito eléctrico de modulación por ancho de pulsos (PWM, por sus siglas en inglés) fue utilizado para accionar el ventilador de enfriamiento y controlar la velocidad de rotación de un motor-DC 5V comercial, empleado para hacer girar un obturador mecánico tipo *chopper* (elaborado con cartón). Este elemento permite sincronizar los fotogramas a 24fps (tomas por segundo). En la Figura 2 se muestran: el proyector utilizado (a), el motor incorporado para el funcionamiento de los carretes (b), un ejemplo de la fuente de luz tipo led (panel) (c) y el obturador mecánico tipo *chopper* (d).

Para la obtención de los datos experimentales, la lámpara original del proyector fue sustituida por las cuatro diferentes fuentes de luz analizadas en este trabajo: un LED ultrabrillante comercial, LED-Luxeon ultrabrillante rebelde de 800 lúmenes con lente condensadora incluida (alimentación a 5V y 700mA), panel de LEDs-Luxeon y una lámpara de tungsteno Philips® modelo GU5.3 de 50W.

La temperatura de la fuente de iluminación se obtuvo mediante un termómetro láser IR Thermometer 42512 de Extech Instruments®, el cual permite medir la temperatura en un rango de -50 a 1000 °C.



**Figura 2.** Remodelación de proyector: a) proyector; b) sistema mecánico apoyado por un motor LEGO; c) sistema de iluminación; y d) mecanismo obturador.

La intensidad luminosa fue medida mediante un sensor s120B de Thorlabs® equipado con un fotodetector *standard power*, mismo que permite realizar mediciones de intensidad en un rango de 400 a 1100 nm. Para las mediciones de intensidad luminosa de las fuentes de luz analizadas en este trabajo, se seleccionaron las siguientes longitudes de onda: 633, 670, 780, 830 y 980 nm.

En una primera etapa se procedió con la puesta a punto del sistema de proyección tipo *cine en casa*, el cual tiene como base el iluminador de Köhler descrito previamente y esquematizado en la Figura 1. Para el sistema de iluminación, se construyó un circuito electrónico que alimenta y controla la fuente de iluminación seleccionada. En la Figura 3 (a) se muestra el diagrama eléctrico utilizado

para alimentar el sistema de iluminación, el cual consiste de una fuente de voltaje variable conectado a la fuente de luz. Además de un sistema de enfriamiento controlado por un circuito PWM, así como un *chopper* para sincronizar los fotogramas de la película y observar con el ojo humano (para ver el movimiento natural en las escenas de la película). El PWM fue elaborado con un IC555 configurado como circuito astable básico [16]. En la Figura 3 (b) se muestra el diagrama óptico utilizado; con base en el iluminador Köhler, pero utilizando las lentes de proyección del proyector de reciclaje KODAK® Sound 8 modelo 1E. Algunas fuentes de luz, como la lámpara de tungsteno, se calentaban demasiado, por lo cual se optó por utilizar un ventilador de computadora comercial como sistema de enfriamiento.

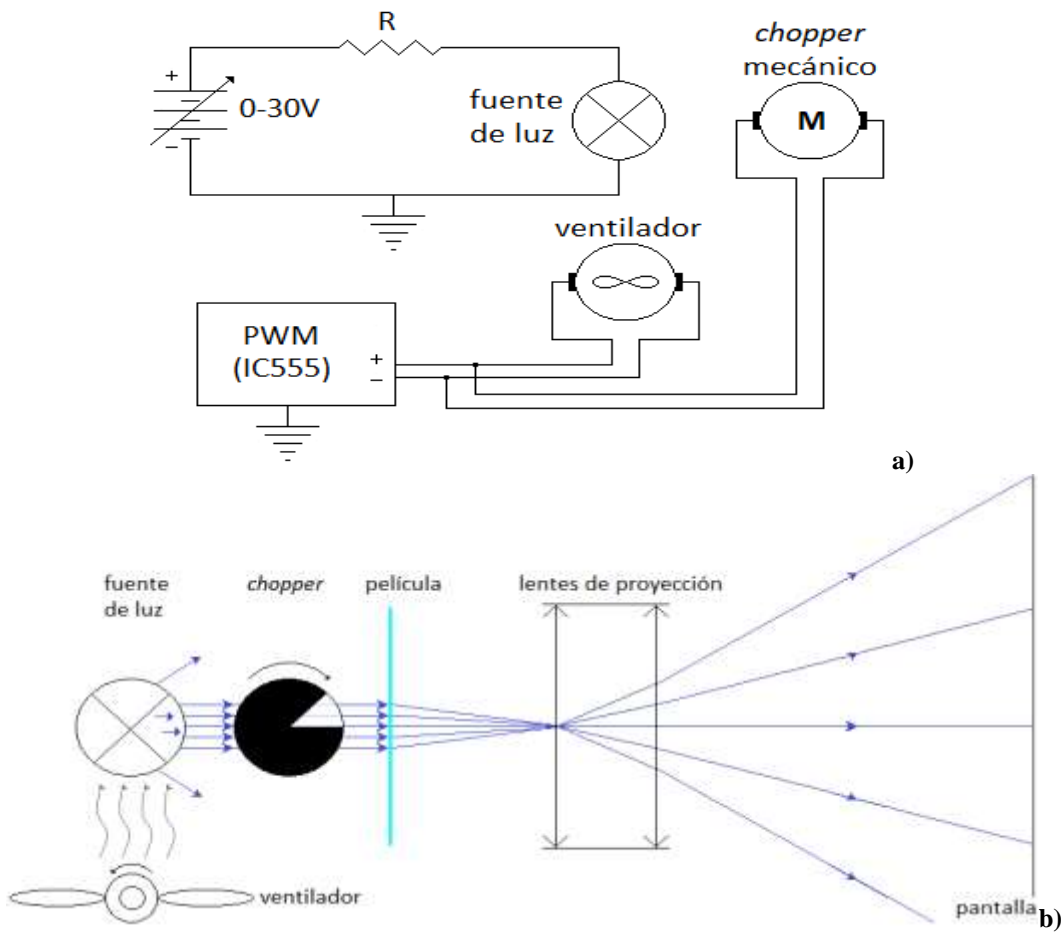
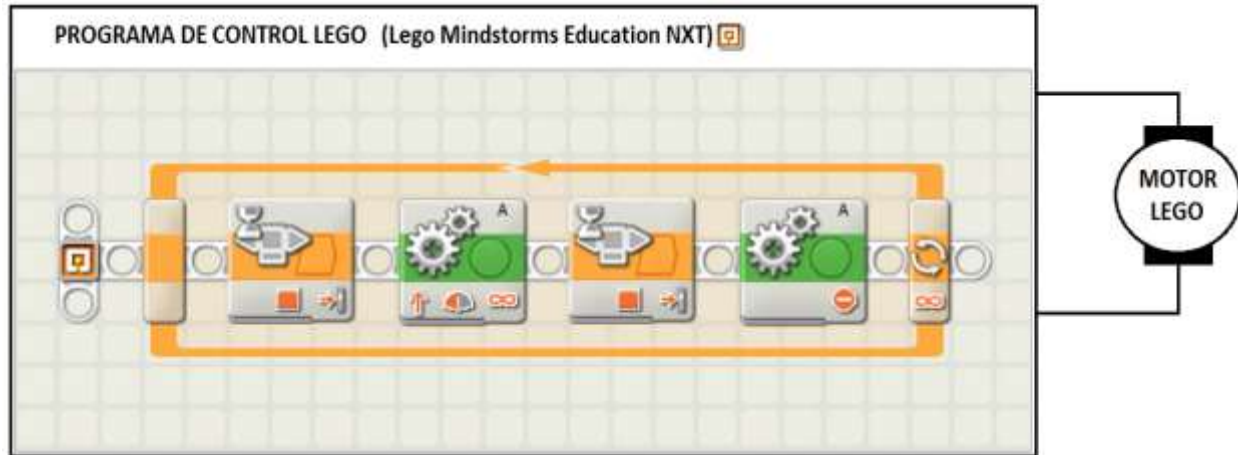


Figura 3. Diagramas utilizados: a) eléctrico y b) óptico.

Para una correcta exposición de la película se implementó un dispositivo de control de motores, el cual fue diseñado con servomotores para el adecuado control de las revoluciones por minuto del tambor o carrete en el que gira la película; logrando con esto

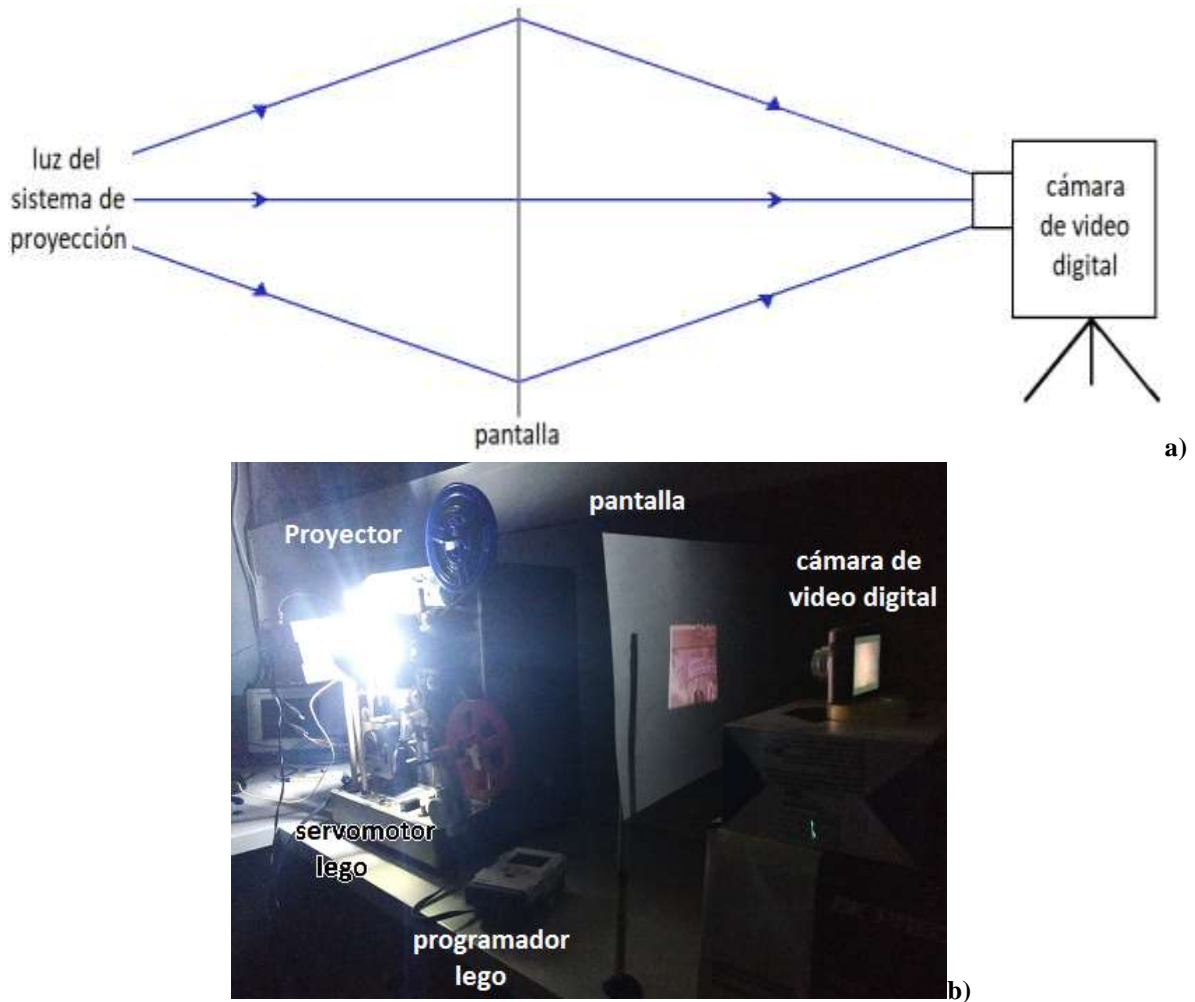
controlar la velocidad de movimiento de los fotogramas. El servomotor Lego® Mindstorms se programó para hacer girar los carretes del proyector, dicha programación se realizó en el ambiente gráfico (software NXT de Lego®) como se ilustra en la Figura 4.



**Figura 4.** Diagrama a bloques de programación de motores Lego®.

Finalmente se consideró efectuar la captura y conversión de vídeo, para lo cual se utilizó una página estirada de “papel mantequilla”, como pantalla, en donde se llevó a cabo la proyección de los videos. La captura de los mismos se realizó con una cámara de video digital de alta resolución (ST66 de Samsung®) colocada a una distancia adecuada de la pantalla para que la información de la imagen capturada no se corte ni se pierda. La cámara digital se conectó a una computadora con software de captura de video, en donde se procedió a

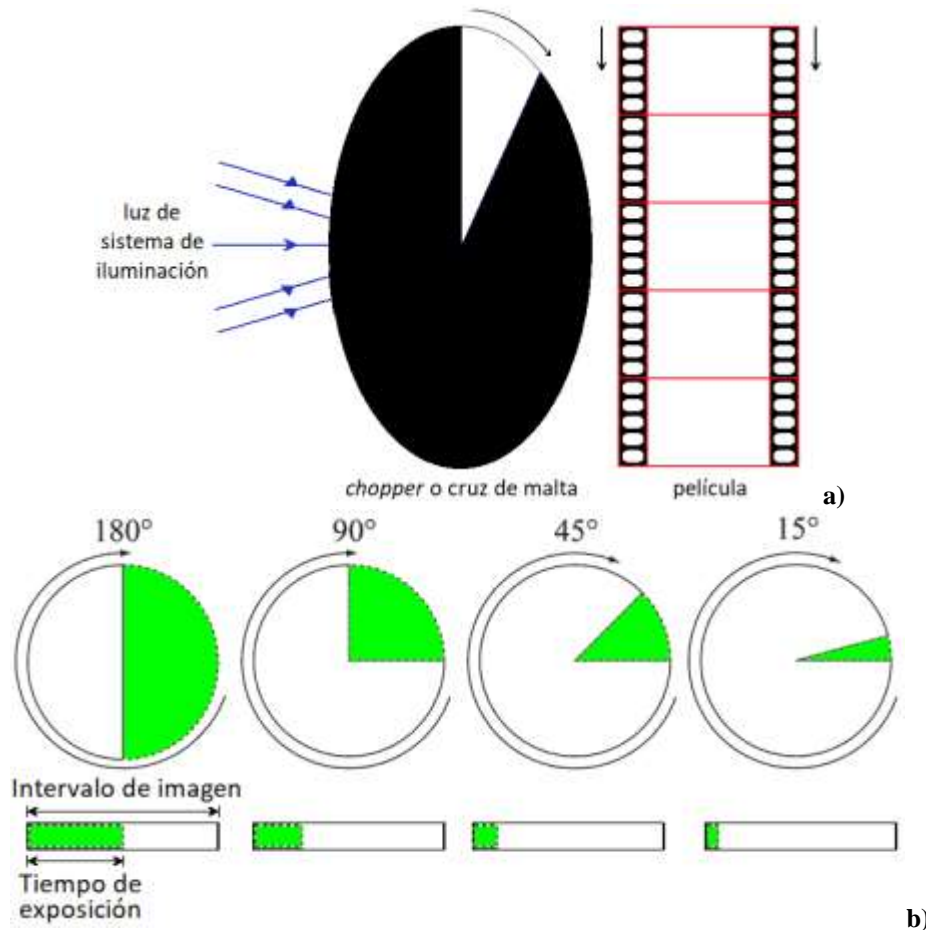
almacenar la película en formato digital. En la Figura 5a se observa el diagrama óptico del sistema de captura de datos para la conversión de vídeo digital a utilizar. En la Figura 5b se observa el sistema físico en funcionamiento. Las fuentes de iluminación LED tiene mucho potencial cuando se ilumina a cortas distancias, esto debido a su patrón de irradiancia gaussiano y a su potencia emitida [17], por lo cual se sugiere colocar la cámara de video digital muy cercana a la pantalla, esto con la finalidad de digitalizar los fotogramas con la mayor fidelidad posible.



**Figura 5.** Sistema de conversión a vídeo digital: a) diagrama óptico del sistema; b) funcionamiento del sistema.

Para sincronizar los fotogramas de la película con la velocidad de respuesta de la visión humana se estableció una velocidad de giro de 24 revoluciones por segundo. Es importante utilizar el obturador sincronizado con los fotogramas a la velocidad adecuada para que sea apreciada adecuadamente por el

ojo humano. Esto evita efectos de parpadeo o *flickering* en la proyección de la película [18]. En la Figura 6a se presenta un esquema del obturador con la película. Además, en la Figura 6b se observa el diagrama del ángulo de corte vs tiempo de obturación de un *chopper* tipo PacMan [19].



**Figura 6.** Sistema obturador. a) Inserción de chopper para sincronizar fotogramas; b) tiempo y ángulo de obturación del *chopper* [20].

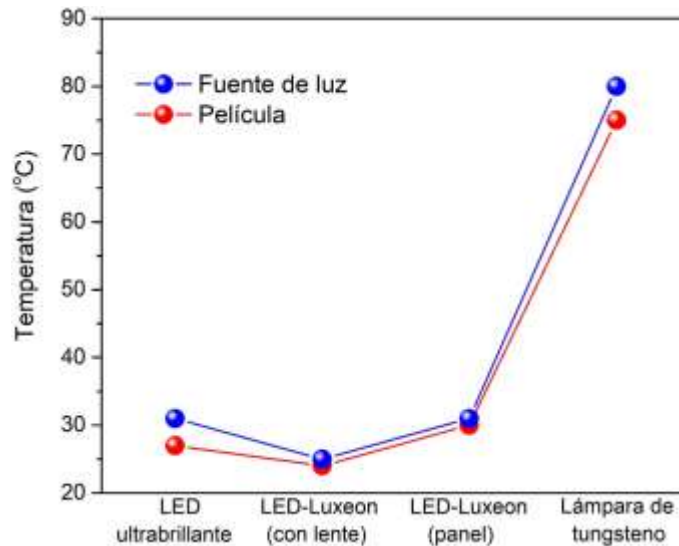
### III. Resultados

Con la finalidad de descartar posibles fluctuaciones transitorias, los resultados presentados a continuación fueron obtenidos una vez que el sistema de iluminación se encontraba operando en condiciones estables. Esto es, esperando un minuto después del encendido de la respectiva fuente de luz para efectuar la adquisición de datos. Las esferas azules mostradas en la Figura 7, corresponden a las mediciones de temperatura efectuadas para cada una de las distintas fuentes de iluminación. Las esferas rojas en la misma figura representan el valor de temperatura alcanzado en la película. En la misma figura es posible observar el gran incremento de

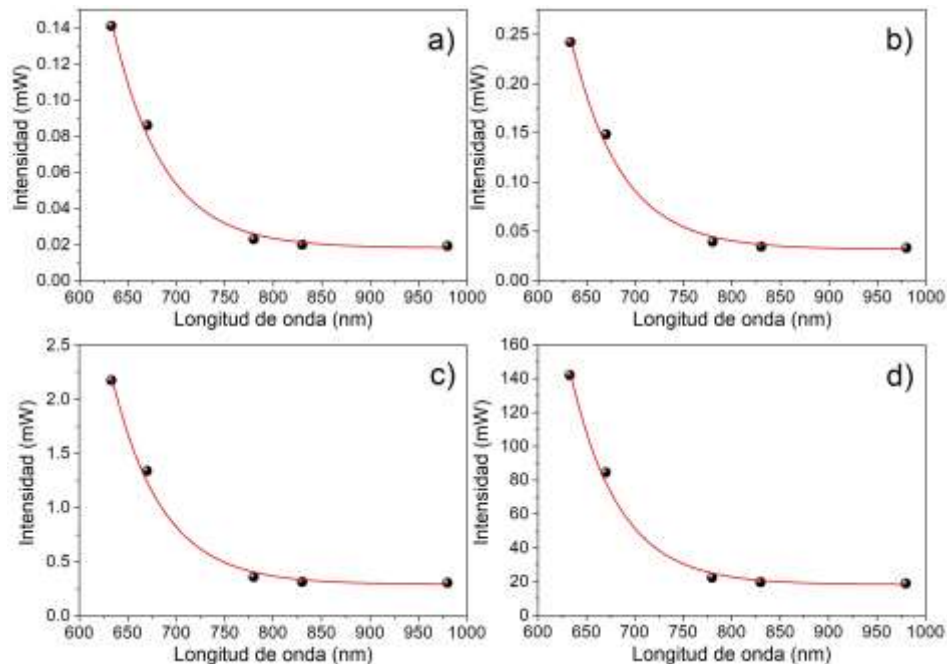
temperatura producido por la lámpara de tungsteno, que, en comparación con el promedio de las fuentes tipo LED, tiene un incremento del 166%.

Las esferas negras mostradas en los gráficos de la Figura 8, corresponden a las mediciones de la intensidad luminosa para cada una de las fuentes de iluminación. Estas presentan una mayor intensidad en las longitudes de onda de 633 y 670 nm, correspondientes a tonalidades rojas. Un considerable decaimiento en la intensidad luminosa es registrado para todas las fuentes de iluminación en valores de longitud de onda en el rango de 780 a 980 nm, correspondientes a la región infrarroja del espectro electromagnético.





**Figura 7.** Comparación de la temperatura en las diferentes fuentes de luz y la película de acetato. Las líneas continuas son ayuda visual.



**Figura 8.** Intensidad de iluminación en función de la longitud de onda para: a) LED ultra brillante; b) LED Luxeon con lente colimadora; c) panel LED; d) lámpara de tungsteno. Los puntos negros son los datos experimentales y la línea continua es el ajuste.

#### IV. Discusión

Los valores de temperatura para cada una de las fuentes de iluminación presentados en la Figura 7, muestran que las fuentes de luz tipo LED son las que menos radiación térmica producen, alcanzando un valor promedio de 30 °C independientemente de la configuración en la que se encuentren. Lo

anterior es favorable para mantener la integridad física de la película ya que no se produce un incremento considerable en la temperatura de la misma, manteniéndose en promedio a la temperatura ambiente. Por el contrario, para el caso de la lámpara de tungsteno, la temperatura que esta alcanza es casi 50 °C más que las de tipo LED, lo que

produce un notable calentamiento en la película. Lo que podría ocasionar un daño físico en ella o incluso iniciar un proceso de combustión. De acuerdo con las hojas de datos de las películas de acetato de celulosa, la temperatura de operación para evitar daños físicos debe ser menor a los 110 °C [21]. Otros tipos de daños, podrían presentarse cuando la película se atora, por lo cual ésta quedaría sobreexpuesta al calor de la fuente de iluminación [15].

Por otro lado, la Figura 8 muestra que la intensidad luminosa de la lámpara de tungsteno (d) es varios órdenes de magnitud mayor a la producida por las fuentes tipo LED (a-c); sin embargo, todas ellas presentan una marcada disminución en el rango infrarrojo. Para describir este comportamiento, se procedió a efectuar un ajuste de la intensidad luminosa en función de la longitud de onda, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$I(\lambda) = I_0 e^{-\alpha\lambda} + I_{fondo}, \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde  $\lambda$ ,  $I_0$ ,  $I_{fondo}$  y  $\alpha$  son la longitud de onda, la intensidad de iluminación, la intensidad de fondo y el coeficiente de atenuación definido por  $\alpha = \frac{1}{t}$ , siendo  $t$  un parámetro de ajuste, respectivamente. Por lo cual, las líneas rojas continuas mostradas en

la Figura 8 corresponden a los ajustes obtenidos al aplicar la Ec. (1) a los datos experimentales representados por las esferas negras en la misma figura.

Los parámetros de ajuste utilizados para cada una de las fuentes de iluminación son presentados en la tabla 1.

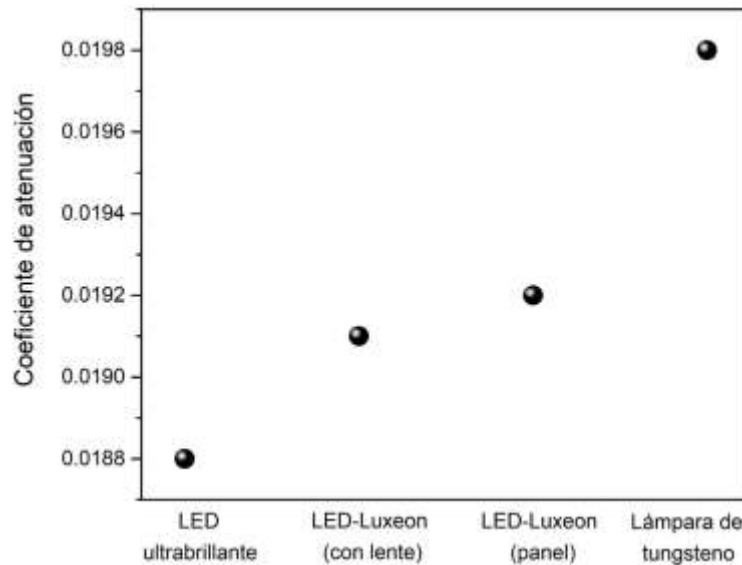
A partir de los ajustes obtenidos, es posible conocer el coeficiente de atenuación de cada una de las fuentes de iluminación analizadas, el cual representa el decaimiento exponencial de la intensidad de iluminación en términos de la longitud de onda, cuyo valor es mostrado con esferas negras en la Figura 9.

En la Figura 9 se observa que la lámpara de tungsteno tiene el mayor coeficiente de atenuación espectral y que esta atenuación se manifiesta en la región del infrarrojo, como se ha mencionado anteriormente.

Este resultado es relevante por el hecho de que una cámara CCD suele tener un espectro de sensibilidad extendido a la región infrarroja, por lo que, si en un sistema de proyección se utiliza como fuente de iluminación una lámpara de tungsteno, la captura o digitalización de la película mediante un dispositivo CCD se verá disminuida en su calidad.

**Tabla 1.** Parámetros de ajuste utilizados en la Ec. (1).

Sistema	Tiempo de operación (en segundos)	$I_0$	$t$	$I_{fondo}$
Led Ultrabrillante	60	19587.569	52.936	0.0181
Led-Luxeon Lente	60	40611.003	52.108	0.0316
Led-Luxeon Panel	60	367820.26	52.065	0.2900
Lámpara de Tungsteno	60	3.58183	50.418	18.1415



**Figura 9.** Coeficiente de atenuación obtenido para cada una de las fuentes de luz.

## V. Conclusiones

En este trabajo se analizó la temperatura e intensidad luminosa de una lámpara de tungsteno y configuraciones de LEDs, utilizadas como fuentes de iluminación para un proyector casero de películas en formato 8 mm y súper 8 reacondicionado. En relación a la temperatura, los resultados obtenidos muestran que la lámpara de tungsteno es la fuente de luz que genera más calor, comprometiendo la integridad de la película. En contraste, las fuentes de luz tipo LED sólo elevaron su temperatura unos pocos grados centígrados, con lo que la temperatura de la película se mantuvo prácticamente a la temperatura ambiente. Con respecto a la intensidad luminosa, la lámpara de tungsteno alcanzó los valores de iluminación más altos, sin embargo, fue la que mostró mayor atenuación espectral en el rango del infrarrojo en comparación con las fuentes de luz tipo LED.

Los resultados anteriores nos permiten enunciar las siguientes ventajas presentadas por las fuentes de luz tipo LED: i) debido a su reducido tamaño, ocupan menos espacio, lo que brinda libertad en el diseño de un sistema de iluminación; ii) al utilizar las fuentes tipo

LED se logró una mejor proyección de la imagen proveniente de los fotogramas, alcanzando una mejor resolución y colores más nítidos; iii) Las fuentes de luz tipo LED tienen una mayor eficiencia en su conversión energética, lo que se traduce en menos calor emitido, con lo cual no se compromete la integridad física de la película.

Una adecuada calidad en la proyección de imágenes permite la incorporación de medios electrónicos adicionales para la captura y digitalización de las mismas, utilizando por ejemplo una cámara CCD que permita la captura en formato digital y su respectivo almacenamiento en medios electrónicos. Lo anterior facilita su visualización, transportación e incrementa la capacidad de compartirlas y perpetuarlas en el tiempo.

Las aplicaciones del sistema propuesto es la conversión a formato digital de las películas analógicas contenidas o resguardadas por videotecas públicas, privadas o familiares, en donde el contenido fílmico es relevante y resulta imperativo el mantener la información para las próximas generaciones. Además, la información de las películas convertidas a formato digital es de fácil difusión a través de

medios electrónicos, lo que permitirá a los amantes del cine poder disfrutar de las películas de antaño en sus computadoras personales sin la necesidad de acudir a una sala de exhibición.

Debido a la importancia del sonido en los videos y películas antiguas, se propone como trabajo a futuro investigar sobre la digitalización del audio y el acoplamiento con el video, con la finalidad de tener la digitalización completa.

## VI. Referencias

[1] Malacara, D., (2015). *Óptica Básica*, 3a ed. Fondo de Cultura Económica, México, Pp. 583-584.

[2] Lingard, R., (2009). "Energy Efficiency of White LEDs", US Department of Energy, PNNL-SA-50462.

[https://www.fcgov.com/utilities/img/site\\_specific/uploads/led-efficiency.pdf](https://www.fcgov.com/utilities/img/site_specific/uploads/led-efficiency.pdf)

[3] Lo, Y.C., Cai, J.Y., Tasi, M.S., Tasi, Z.Y., Sun, C.C., (2014). "Side-illuminating LED luminaires with accurate projection in high uniformity and high optical utilization factor for large-area field illumination", *Opt. Express*, 22, Pp. A365-A375. <https://doi.org/10.1364/OE.22.00A365>

[4] Sun, W.S., Tien, C.L., Pan, J.W., Yang, T.H., Tsuei, C.H. and Huang, Y.H., (2013). "Simulation and Comparison of the Lighting Efficiency for Household Illumination with LEDs and Fluorescent Lamps", *Journal of the Optical Society of Korea*, 17(5), Pp. 376–383.

<https://doi.org/10.3807/JOSK.2013.17.5.376>

[5] Liu, Y., Cheng, D., Yang, T., Chen, H., Gu, L., Ni, D. and Wang, Y., (2022). "Ultra-thin multifocal integral LED-projector based on aspherical microlens arrays", *Opt.*

*Express*, 30, Pp. 825-845. <https://doi.org/10.1364/OE.443682>

[6] Wu, R., Yang, L., Ding, Z., Zhao, L., Wang, D., Li, K., Wu, F., Li, Y., Zheng, Z. and Liu, X., (2019). "Precise light control in highly tilted geometry by freeform illumination optics", *Opt. Lett.*, 44, Pp. 2887-2890. <https://doi.org/10.1364/OL.44.002887>

[7] Lee, J.H., Han, S.G. and Jin, M.J., (2021). "Minimum achievable height of a single-module LED low-beam projection headlamp", *Appl. Opt.*, 60, Pp. E8-E16. <https://doi.org/10.1364/AO.417144>

[8] Shadalou, S., Cassarly, W.J. and Suleski, T.J., (2021). "Tunable illumination for LED-based systems using refractive freeform arrays", *Opt. Express*, 29, Pp. 35755-35764. <https://doi.org/10.1364/OE.441304>

[9] Köhler, A. (1893). "Gedanken zu einem neuen Beleuchtungsverfahren für mikrophotographische Zwecke". *Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie*.

[10] García-Escudero, A., Navarro-Bustos, G., Umbría-Jiménez, S., González-Cámpora, R., Galera-Davidson, H., (2017). "Planos conjugados y sistema de iluminación de Köhler en microscopía óptica", *Revista Española de Patología*, 50(2), Pp. 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.patol.2016.11.002>

[11] Malacara, D. & Malacara, Z., (2004). *Handbook of Optical Design*, 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York, Pp. 429-439.

[12] Read, P. & Meyer, M., (2000). *Restoration of Motion Picture Film*. Butterworth-Heinemann, Oxford, Pp. 53-82.

[13] Herman, J., (2017). "DIY Film Digitizer A modified projector can convert old movie reels", *Spectrum*, Pp. 17-18. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7802733>

- [14] Herman, J., (2016). "How to Convert Old Film Reels With a Raspberry Pi", *Spectrum*. <https://spectrum.ieee.org/how-to-convert-old-film-reels-with-a-raspberry-pi>
- [15] <https://www.dbwbp.com/index.php/10-electronic-projects/40-8mm-film-projector-led-conversion>
- [16] Mims, F.M., (1993). *Engineer's Mini-Notebook. 555 Timer IC Circuits*, 3th ed. Radio Shack®, USA, Pp. 7-9.
- [17] Kokaram, A., (1998). Motion Picture Restoration. Digital Algorithms for Artefact Suppression in Degraded Motion Picture Film and Video. Springer-Verlag, London, Pp. 1-9. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3485-5>
- [18] Moreno, I. & Viveros-Méndez, P.X., (2021). "Modeling the irradiation pattern of LEDs at short distances", *Opt. Express*, 29(5), Pp. 6845-6853. <https://doi.org/10.1364/OE.419428>
- [19] Wolfcrow (2017). What is shutter speed, shutter angle and how to get the film look? <https://www.youtube.com/watch?v=Uff1xuwLD8g>
- [20] Balanta, D., (2015). "Ángulo de obturación en cine y video", *Revista Enfoque Visual*, 12, Pp. 158-160. <https://www.revistaenfoquevisual.com/wp-content/uploads/2015/12/Angulo-de-obturacion-en-cine-y-video.pdf>
- [21] Laminated Plastics. Technical Datasheet Acetate (Cellulose Acetate Film). <https://laminatedplastics.com/acetate.pdf>