

Diseño y caracterización de sistema de iluminación a LED para adquisición de imágenes de retina

Design and characterization of an LED lighting system for retinal image acquisition

C. A. González-Corona¹, O. E. Fonseca-Uribe¹, A. Nuñez-Delgado¹, J. Martínez-Guerrero¹, B. J. Camargo-Martínez¹ y E. N. Cadena-Macias¹, A. González-Vega¹, C. Villaseñor-Mora¹.

¹ Departamento de Ingenierías Química, Electrónica y Biomédica, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato, Lomas del Bosque 103, Lomas del Campestre, 37150 León, Gto.

ca.gonzalezcorona@ugto.mx, oe.fonsecauribe@ugto.mx, a.nunezdelgado@ugto.mx, j.martinezguerrero@ugto.mx, bj.camargomartinez@ugto.mx, en.cadenamacias@ugto.mx, gonzart@fisica.ugto.mx, vimcarlos@fisica.ugto.mx

Resumen

La necesidad de sistemas de adquisición de imágenes de fondo de ojo que ayuden a detectar anomalías de forma automática ha ido en aumento, y el contar con sistemas de iluminación eficientes y compensados es una tarea que no se ha atendido en su totalidad, sobre todo en la transición de focos de halógeno, xenón y otros que estaban bien caracterizados a focos LED, ya que los sistemas de iluminación a LED provocan además de aberraciones cromáticas, distorsión en el frente de onda de iluminación, lo que causa que las imágenes adquiridas enmascaren problemas como exudados y arrojen falsos positivos. En esta propuesta se pretende diseñar y caracterizar un sistema de iluminación a LED que sea compensado en la etapa de preprocesamiento de la imagen adquirida.

Palabras clave: LED; Adquisición; Anomalías; Iluminación; Distorsión; Diseñar; Caracterizar; Procesamiento.

Introducción

La retinografía es una técnica que permite la obtención de imágenes de alta resolución del fondo de ojo, lo que resulta esencial en el diagnóstico y seguimiento de diversas patologías oftalmológicas. Para obtener las imágenes se utilizó un equipo de retinografía modelo TOPCON TRC_JE, el cual se usó con una cámara modelo CANON EOS para tomar las imágenes del fondo de ojo.

El proceso de la toma de imágenes se centra en que el paciente se mantenga inmóvil en el soporte para la cabeza que tiene el equipo de retinografía, posteriormente se le pide que mantenga la vista fija en la luz, enfocando la mirada en la luz parpadeante que se encuentra en dicho soporte y que sirve de referencia para el enfoque, permitiendo poder centrar la lente de la cámara, esto se logra colocando el círculo de luz que genera sobre el iris del paciente de tal manera que la parte central coincida con la pupila, dejando solo encontrar el mejor plano de mínima confusión reticular.

Sin embargo, la cámara de fondo de ojo utilizada tiene una fuente de luz de xenón en mal estado que debe ser sustituida por una de más bajo costo y consumo eléctrico, para ello se elaboró un protocolo de prueba que permite adquirir imágenes de la luz proyectada en el plano de la retina, primero se utilizó una pantalla blanca y luego usando ojos impresos en 3D para verificar el perfil del frente de onda de la luz LED y así compensarla para usarla en las imágenes adquiridas de fondo de ojo.

Planeación

Para el desarrollo de la presente propuesta se siguió el siguiente procedimiento:

- Se adecuó el sistema eléctrico – electrónico para encender y controlar el LED utilizado, para ello fue más fácil utilizar un LED de corriente alterna y un dimmer comercial para controlar su intensidad luminosa.
- Ya con el sistema de iluminación colocado en la cámara, se probó con que funcionara adecuadamente en cuanto a posición y alineación.
- Se adquirieron una serie de imágenes en el plano de la retina usando primero una pantalla blanca, para poder hacer la caracterización de uniformidad en el espacio y posteriormente se utilizaron ojos impresos en 3D de tamaño y forma equivalente a la de un ojo humano convencional, estas series de imágenes se adquirieron utilizando los diferentes filtros de color que proporciona la cámara de fondo de ojo.

- A la par se diseñó de un algoritmo de procesamiento de imágenes que permite la compensación automática del frente de onda del sistema de iluminación en imágenes de fondo de ojo. Y se elaboró un protocolo de adquisición de secuencias de imagen de manera cómoda desde el participante.
- También fue indispensable la capacitación de los estudiantes en el manejo de teoría y equipo para la adquisición de imagen de fondo de ojo. Entender la estructura del algoritmo de análisis y procesamiento de imagen.
- Finalmente, en las pruebas de validación se puso en práctica la elaboración de un poster de difusión y este documento usando los conocimientos adquiridos y los resultados encontrados.

Adquisición de las imágenes

Para tomar las imágenes, se le indica al participante que recargue su barbilla y su frente en el soporte para ello una vez se ha sentado en la silla correspondiente con los ojos cerrados. Luego, se enciende la lámpara para adecuar la luz que sale del aparato, de tal manera que no resulte molesta para el participante y se pueda ajustar sobre el párpado. En el modo de enfoque de retina, que es el que se recomienda para un estudio de fondo de ojo, se debe observar una forma circular de luz, con tres franjas de luz sobre el párpado.

Ahora, se le pedirá al participante que abra los ojos y enfoque la luz parpadeante que viene incluida en el soporte para la cabeza del paciente, de tal manera que esto permita que su vista se mantenga fija y centrada hacia la lente de la cámara, permitiendo la toma de una imagen centrada y correcta. Una vez se haya adecuado la cantidad de luz, se ha de acomodar el círculo de luz sobre el iris del paciente, de tal manera que la parte central, más oscura, coincida con su pupila. Ya que se haya logrado, se ha de mover el aparato hacia el frente o hacia atrás, hasta que se logre encontrar el plano de mínima confusión de la retícula que se muestra en el indicador, es decir hasta que esta retícula oscura se muestre lo más definida posible, indicando que el acomodo es el correcto. Un diagrama de esto se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Diagrama del enfoque del aro de luz sobre el ojo del participante.

Para asegurarse de que está bien centrado, se debe observar la reflexión de la luz en la pupila a través del visor de la cámara. En caso de no ser visible, se puede aumentar la intensidad de la lámpara o adecuar la posición del ojo.

A continuación, se debe presionar el obturador de la cámara y verificar que la imagen haya sido tomada correctamente. Si se han seguido todos los pasos correctamente, la imagen resultante ha de ser similar a la de la Figura 2.



Figura 2. Imagen tomada correctamente.

Si la imagen no se tomó correctamente, se debe repetir el proceso desde el paso de enfoque. El equipo cuenta con un enfoque fino, que es una perilla ubicada en la parte lateral del lente óptico, la cual se puede ajustar para obtener un enfoque más preciso.

Procesamiento de las Imágenes

Las imágenes obtenidas por el aparato pueden ser tomadas en 3 diferentes filtros más aparte el filtro en blanco, obteniendo imágenes como las siguientes:

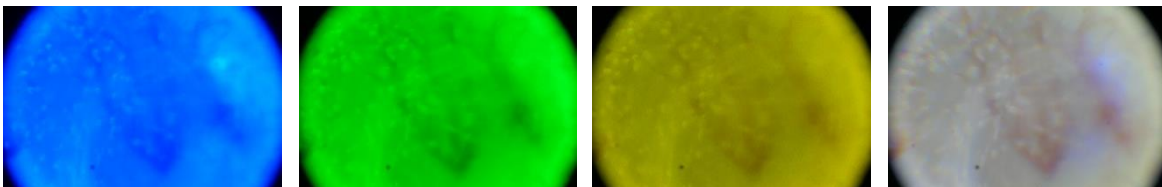


Figura 3. Imágenes de fondo de ojo con los filtros azul, verde, amarillo y blanco.

Estas imágenes pueden analizarse en el espacio de color más común como lo es el RGB, obteniendo resultados muy variables:

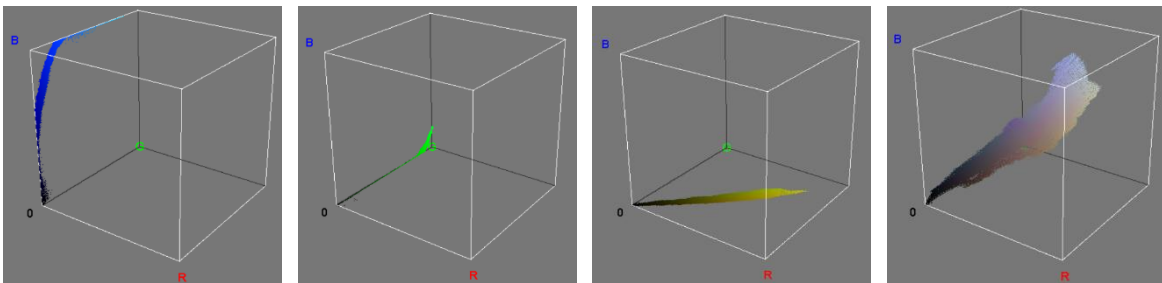


Figura 4. imágenes 3D de los mapas de color de RGB de cada foto, azul, verde, amarillo y blanco.

El modelo de color HSV se basa en un sistema de color en el que el espacio de color se representa mediante un único cono: tono (H), saturación (S) y valor (V). La imagen a continuación explica de la mejor manera como ver este espacio de color:

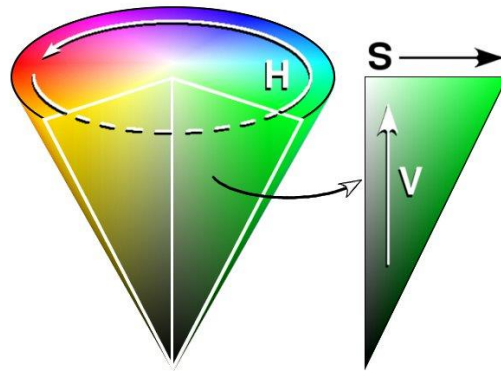


Figura 5. Cono de colores del espacio HSV. De Wapcaplet - From en wiki, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=308191>

Si las imágenes se cambian al espacio HSV, podemos observar una similitud entre aquellas con filtros:

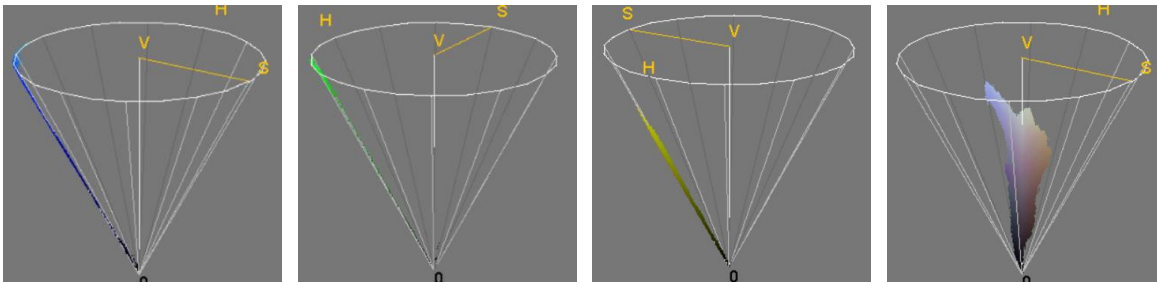


Figura 6. imágenes 3D de los mapas de color de HSV de cada foto, azul, verde, amarillo y blanco.

Los colores se distribuyen por la superficie del cono de color, a diferencia del blanco que se reparte en el centro del cono.

El procesamiento de las imágenes comienza entonces, convirtiéndolas del espacio RGB al espacio HSV, para después discriminar la intensidad de luz que queremos, esto para eliminar las esquinas negras y el espacio difuminado del borde y no pensar de más la imagen.

Tras esto, se obtiene un valor promedio entre todos los colores y se crea una “compensación”, que es una nueva imagen en la que cada píxel representa un número porcentual por el cual el píxel de la imagen original en la misma posición debe multiplicarse para obtener ese valor promedio de color. Para ejemplificarlo, las siguientes imágenes:



Figura 7. La primera imagen es el fondo de ojo blanco, con el filtro verde. La segunda es la discriminación por intensidad para solo tomar una parte de la imagen, sin las esquinas. La tercera es la compensación generada a partir de la selección, y la cuarta es la imagen una vez aplicada la compensación, es decir, habiendo multiplicado cada píxel original por el valor de la imagen de compensación.

Esta técnica de procesamiento y calibración nos permite usar estas imágenes del fondo blanco para que la luz recibida por el ojo de prueba sea más homogénea y corregir los detalles e imperfecciones causados por las reflexiones de luz.

Una vez generada esta compensación con un ojo de fondo blanco, lo aplicamos, pero al ojo de prueba, lo que nos genera una imagen más clara, suave y sin tantas imperfecciones de luz:

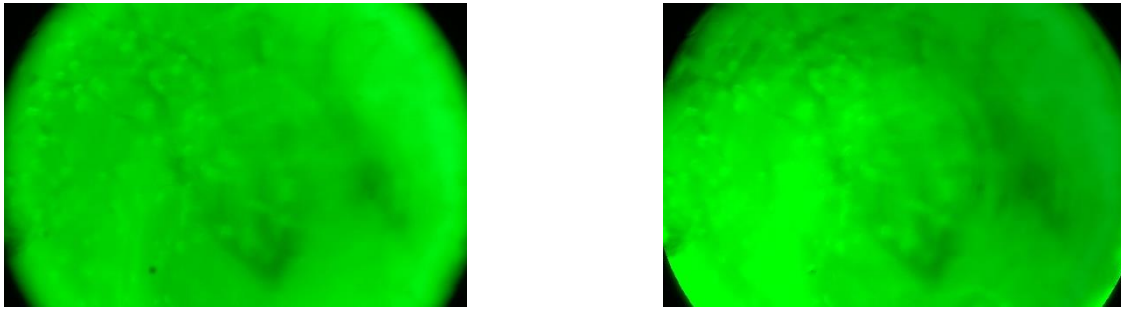


Figura 8. Imagen original a la izquierda y la imagen con la compensación aplicada a la derecha.

Resultados y Análisis

Se diseñó un sistema de iluminación LED con un atenuador giratorio de plástico (dimmer) modelo C26-ml06-tw con potencia de 600 W y voltaje de 120 V apto para focos LED de 150 W. El LED utilizado fue capaz de iluminar completa y homogéneamente la imagen obtenida a través del retinógrafo.

Las primeras imágenes obtenidas reflejaban los primeros conflictos, unas barras horizontales de grosor y posición aleatorias en las imágenes tomadas en cualquier filtro de color. La primera hipótesis planteada fue que se debían a la cámara fotográfica y al sistema de iluminación LED, que por la frecuencia a la que operaba la luz y la frecuencia de fotografía de la cámara, algunos puntos se sincronizaban y se obtenían puntos donde la luz era menos intensa y puntos donde era mayor.

Para intentar solucionar esto, se propuso tomar fotografías del mismo ojo, a diferentes tiempos de exposición de la cámara fotográfica, aquí algunas de las imágenes obtenidas y el tiempo de exposición al que fueron tomadas:

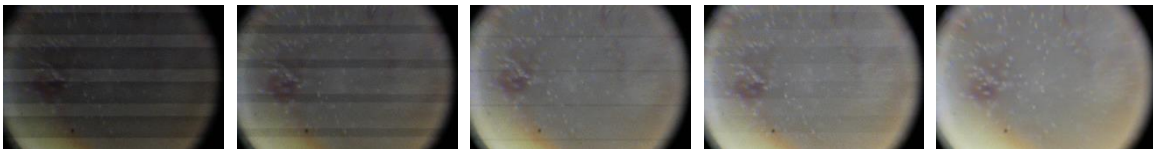


Figura 9. Algunas fotografías del mismo ojo de prueba, tomadas a diferentes tiempos de exposición; en el orden de las imágenes a 1/50, 1/30, 1/20, 1/15 y 1/8.

Se puede observar una mejora en las imágenes tomadas, mantuvimos el tiempo de captura a partir de aquí a 1/8, ya que un tiempo mayor genera que los sensores de la cámara lleguen a saturación y esto evite observar detalles importantes en la imagen, como se observa en las siguientes imágenes con un tiempo de exposición mayor a 1/8:

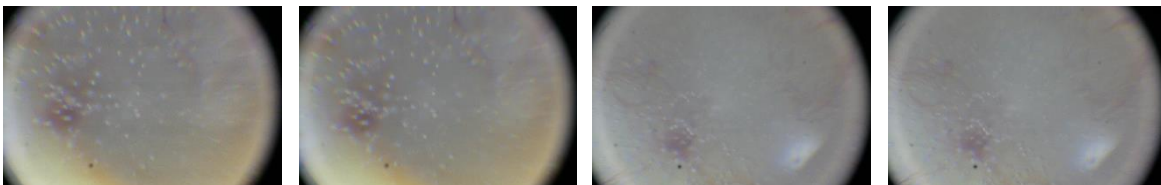


Figura 10. Conforme se aumenta el tiempo de exposición la imagen se satura y se comienzan a perder detalles; en el orden de las imágenes, 1/5, 1/2, 0.77 y 1.

Una vez resuelto el problema de las barras horizontales, procedimos a analizar el impacto de la intensidad de la luz proporcionada al ojo, para observar si un flash de alta luminosidad obtendría la información deseada, así como saber si una baja intensidad serviría para calibrar la imagen. Esto nos llevó a la decisión de utilizar una pantalla blanca frente al aparato en el plano de la retina y así intentar ver más directamente esta intensidad.

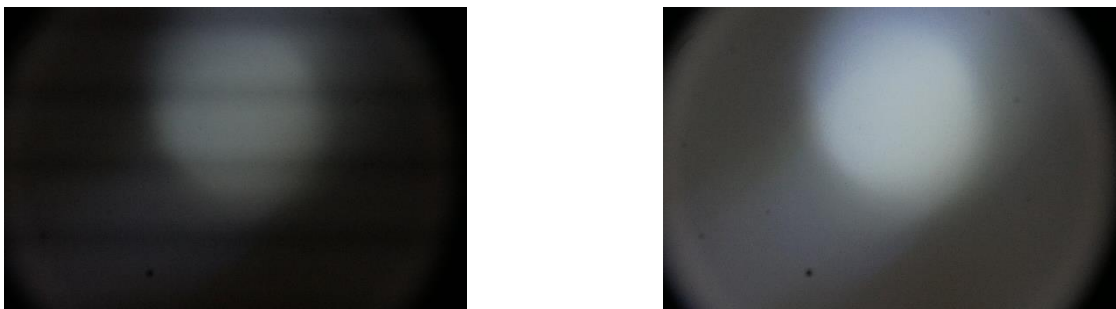


Figura 11. Prueba con la cartulina a baja y alta intensidad de luz.

Encontramos no solamente barras horizontales como se expuso anteriormente, sino también una mancha luminosa en una parte de la imagen. Al utilizar estas imágenes de calibración con el proceso de compensación expuesto en la sección anterior, obteníamos resultados poco satisfactorios, ya que la mancha de luz no permitía que la imagen fuera homogénea.

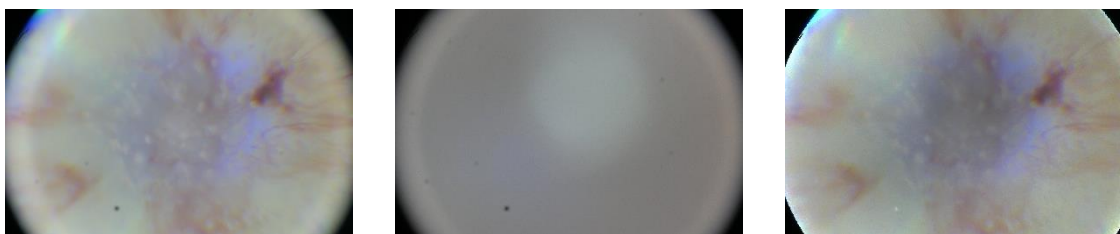


Figura 12. La primera imagen corresponde a una imagen con el ojo de prueba, la segunda a la calibración en la cartulina y la tercera al resultado del proceso de compensación.

Se nota un oscurecimiento bastante notable en el lugar de la mancha de luz, así que para ello propusimos una hipótesis: la luz reflejada por nuestra superficie plana no permitía que la luz fuera homogénea, a comparación de la superficie cóncava del fondo de ojo, cuya reflexión permitiría un mejor enfoque de la luz.

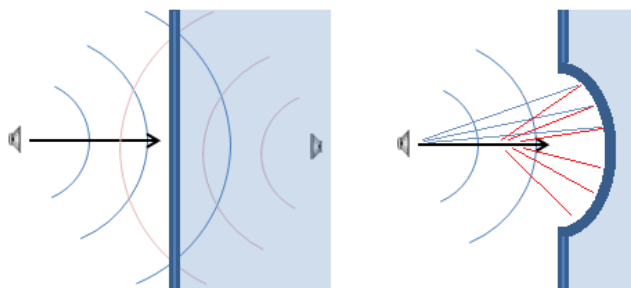


Figura 13. Ejemplo de cómo la superficie de reflexión afecta los rayos de luz. Tomada de "hispanic" [Pablofcid, 2018, <https://www.hispasonic.com>]

Con esto, utilizamos un ojo de prueba impreso en 3D, pero esta vez con un fondo blanco, para probar esta hipótesis. Las imágenes tomadas se muestran a continuación:

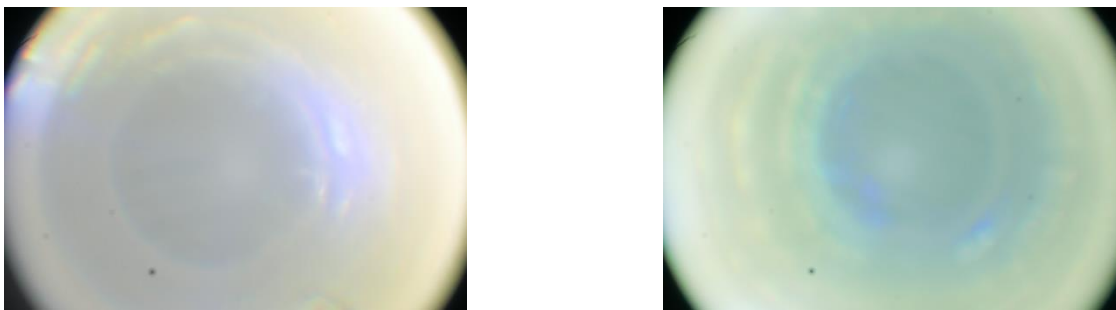


Figura 14. Fotografías de 2 diferentes ojos de prueba con un fondo blanco.

Lamentablemente la calidad de los modelos tridimensionales de los ojos, que fueron impresos en 3D, deformaban el frente de onda de la luz proyectada, creando unos círculos concéntricos que generaban sombras y reflejos. A pesar de estas imperfecciones, se probó el proceso de compensación con estos ojos a diferentes filtros y con fondos pintados para observar si las calibraciones eran mejores que con la pantalla blanca plana, y se observó una mejora bastante notable.

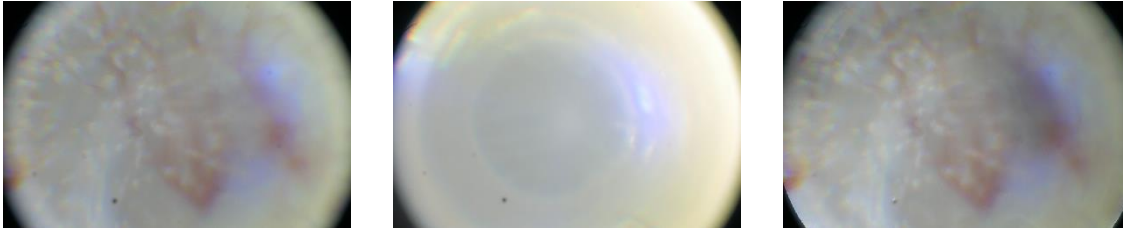


Figura 15. La primera imagen corresponde a la imagen con el ojo de prueba, la segunda a la calibración con el ojo de fondo blanco y la tercera al resultado del proceso de compensación.

Se aplicó este proceso a cada ojo, en los 4 filtros de color, para observar si las calibraciones entre diferentes filtros de color mejoraban las imágenes.

A continuación se muestran los resultados de la compensación de la misma imagen de ojo con filtro azul, pero hecho con las calibraciones obtenidas con fondos de ojo bajo diferentes filtros:

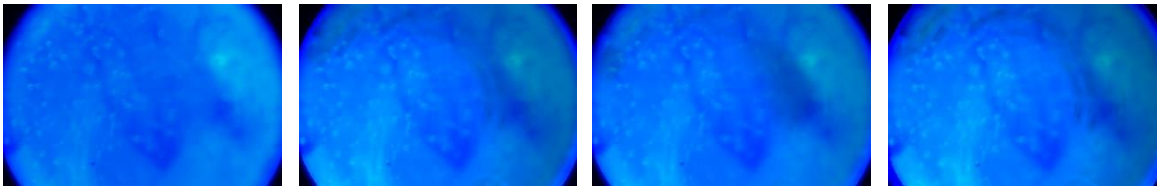


Figura 16. Misma imagen con filtro azul pero compensada por las imágenes de fondo blanco de los filtros azul, verde, blanco y amarillo, en ese orden.

Se notan más los anillos concéntricos de las imperfecciones con los filtros verde y amarillo.

Finalmente, la vista del cono de luz de la imagen compensada muestra cómo, efectivamente y como esperábamos con el proceso de compensación, el color se homogeniza:

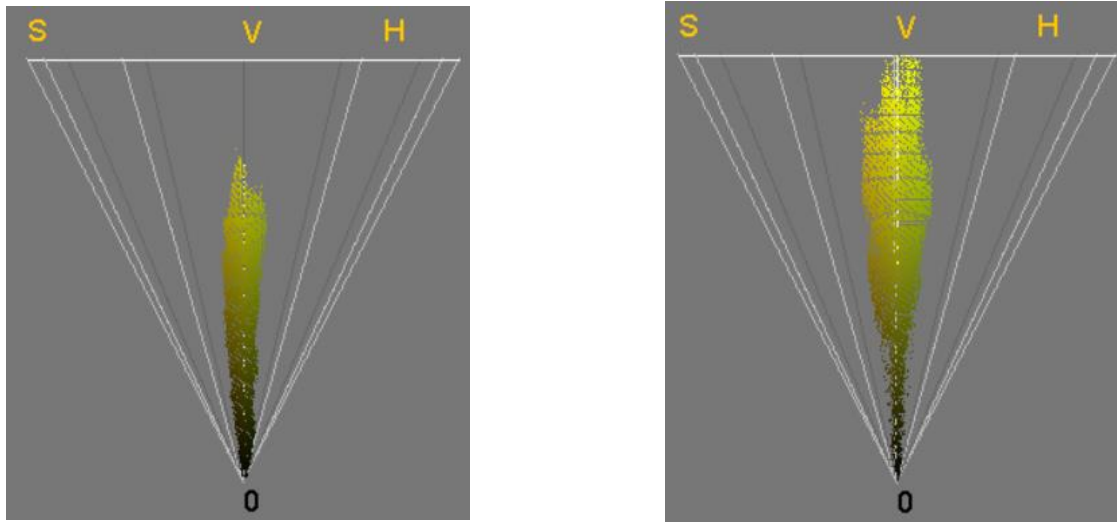


Figura 17. Cono de luz en el espacio de color HSV, la primera corresponde a la imagen original del ojo de prueba con filtro amarillo, y la segunda a la imagen compensada.

Conclusiones

Con el estudio de la proyección de la luz a través del sistema óptico de la cámara de fondo de ojo marca TOPCON utilizando un LED comercial de AC de 100W se logró validar que este puede ser utilizado siempre y cuando sea utilizado un algoritmo de compensación que debe adecuarse para cada LED y cámara fotográfica utilizada.

Es necesario el uso primeramente de una pantalla plana en el plano de la retina para poder verificar que la iluminación no presente problemas de sincronía con la frecuencia de refresco de la fuente de iluminación del propio LED y con la frecuencia de captura de la cámara, y después es necesario verificar que la intensidad luminosa sea uniforme en el espacio, para ello el uso de un modelo de ojo impreso en 3D fue muy útil pero se requiere que este tenga un terminado homogéneo, ya que los utilizados tenían el patrón de la impresión 3D aun y aunque fue buena su utilización debería ser mejor que estuvieran bien pulidos en el plano de la retina.

El algoritmo utilizado permitió cargar varias imágenes y convertir de RGB al espacio de color HSV que para los fines perseguidos se considera una mejor opción ya que está más de acuerdo con los filtros de color que utiliza la cámara de fondo de ojo utilizada.

Es posible utilizar luz LED en una cámara de fondo de ojo y así sustituir los focos anteriores que son caros y poco eficientes, y sin sacrificar la calidad de imagen de retina.

Bibliografía/Referencias

- *Topcon Retinal Camera Model TRC-JE Instruction Manual.* (n.d.).
https://www.truetex.com/topcon_trc-je_instruction_manual.pdf.