



COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y ÉTICA Facultad de Ingeniería

Formato Presentación Proyectos Trabajos de Grado

Información Importante:

- Ningún proyecto puede iniciar sin que antes se cuente con la autorización del Comité de Ética e Investigación.
 - Se espera que se haga un esfuerzo para condensar el proyecto para facilitar el trabajo de parte del Comité de Ética e Investigación.
 - Se espera que cada estudiante y profesor que proponga un proyecto tome al menos un curso básico corto sobre ética en la investigación en la [plataforma CITI](#). A esta plataforma se debe acceder con la cuenta de correo de la Universidad.
-

Título: Análisis del uso de la potencia óptica de lentes electrónicos controlados por señales EMG: un enfoque cuantitativo de fatiga ocular.

Resumen:

La presbicia y el cansancio visual provocado por el uso continuo de pantallas digitales son problemas comunes que no cuentan con soluciones ideales hoy en día, como es el caso de las lentes multifocales para tratar la presbicia, que no logran restaurar por completo la visión normal y promueven aún más el cansancio ocular.

Ante estos desafíos visuales persistentes, se han propuesto los lentes electrónicos, que a diferencia de las soluciones tradicionales, estos dispositivos pueden ajustar su enfoque en función de una corriente eléctrica de manera automática, adaptándose a las necesidades visuales del usuario. Su potencial para corregir problemas como la presbicia se ha explorado en investigaciones previas, especialmente en entornos académicos donde se han implementado sistemas novedosos para controlar estos lentes. En la Universidad de Stanford en 2019, para controlar unos lentes electrónicos se diseñó una estructura con cámaras de visión estereoscópica y seguidores oculares, mientras que en la Universidad de Tübingen se utilizaron lentes electrónicos junto con un sensor LIDAR (sensor de distancia) para ajustar la potencia óptica. Estos avances indican que los lentes electrónicos tienen el potencial de ofrecer soluciones más dinámicas y efectivas para los desafíos visuales contemporáneos.

En este trabajo de grado, se evaluará un novedoso sistema para controlar los lentes electrónicos que utiliza señales electromiográficas del participante. Este sistema ya fue

implementado en esta universidad en un trabajo de grado anterior, y permite a los usuarios ajustar la potencia óptica de los lentes mediante señales musculares. Se realizarán los ajustes necesarios para reactivar el sistema como parte de este trabajo de grado, y el objetivo principal es analizar el comportamiento del sistema de control en personas que realizan una actividad visual sobre una pantalla digital.

Con este propósito, se llevarán a cabo experimentos con al menos 8 participantes que utilizarán los lentes electrónicos de la marca Optotune®, controlados por el sistema implementado previamente. Analizaremos cómo los usuarios ajustan la potencia óptica de los lentes electrónicos en función del tiempo, especialmente cuando experimentan cansancio ocular debido al uso prolongado de pantallas digitales.

Nuestra expectativa es obtener resultados que permitan determinar si, durante el uso extenso de pantallas digitales, los participantes tienden a ajustar una mayor potencia óptica en los lentes electrónicos a medida que experimentan cansancio ocular, contribuyendo así a comprender cómo el sistema responde a la fatiga visual.

Además, como proceso indispensable en la investigación con seres humanos buscamos obtener la aprobación del Comité de Ética en Investigación (CIE) con el objetivo claro de asegurar la calidad y la ética de nuestro estudio. Más allá de la contribución al conocimiento en ingeniería biomédica y bioingeniería, reconocemos la importancia fundamental de salvaguardar los derechos y la seguridad de los participantes. Nuestra adhesión a los principios éticos de la Declaración de Helsinki es un reflejo de nuestro compromiso con prácticas de investigación íntegras y transparentes. Agradecemos de antemano la revisión del CIE, fundamental para validar la validez ética y científica de esta investigación.

Planteamiento del Problema /Justificación:

La presbicia es la disminución del rango de acomodación del ojo humano, o rango de enfoque. Los niños suelen poder acomodar más de 10 dioptrías, lo que significa que pueden enfocar objetos que están tan cerca como 10 cm, mientras que los adultos experimentan una reducción en el rango de acomodación a medida que envejecen y pueden acomodar como máximo 4 dioptrías o 25 cm (1/4 m). Este fenómeno se desarrolla a lo largo del tiempo y varía entre diferentes personas [1].

Las lentes multifocales son un tipo de gafas diseñadas para ver de lejos y de cerca al mismo tiempo. Estas gafas están divididas en diferentes secciones, la parte superior está diseñada para enfocar objetos distantes, como señales de tráfico o el horizonte, mientras que la parte inferior se enfoca específicamente en objetos cercanos, como un libro o un teléfono. Esto significa que no se necesita intercambiar constantemente de gafas al realizar diferentes actividades, ya que las lentes multifocales permiten ver con claridad tanto de cerca como de lejos. Así como las lentes multifocales, existen otras opciones en el mercado como las lentes monofocales, que como su nombre lo indica, se centran en una sola distancia de enfoque,

lentes bifocales, lentes progresivos, entre otras soluciones que abordan diferentes necesidades visuales [2].

Las lentes multifocales usadas actualmente para corregir la presbicia no restauran la visión normal. En lugar de eso, esas lentes dividen el campo visual en zonas de diferentes distancias de enfoque, pero estas distancias están fijas. Esto resulta en una reducción del campo de visión enfocado, lo que provoca notables disminuciones en la agudeza visual cuando se promedian en todo el campo visual [3].

Es esencial reconocer que la restauración efectiva de la visión normal en personas con presbicia requiere un enfoque diferente [3]. Para superar los desafíos de la presbicia, necesitamos lentes que puedan ajustar su enfoque dinámicamente según la necesidad, adaptándose para corregir el problema de visión en todas las distancias. Esta capacidad de enfocar variablemente la tienen los lentes electrónicos y es esencial para anular el error refractivo asociado con la presbicia. En resumen, un cambio hacia la tecnología de enfoque variable es necesario para abordar las complejidades de la presbicia y ofrecer una solución más integral para quienes experimentan este deterioro visual relacionado con la edad [3].

Existen actualmente diferentes lentes que pueden ser controlados electrónicamente para ajustar su potencia óptica, como los lentes electrónicos de cristal líquido de geometría esférica que se quieren utilizar en esta investigación, los lentes de la marca Optotune®, modelo EL-16-40-TC-VIS-20D. Esta es una lente líquida que cambia de forma y puede ajustar su potencia óptica de -10 a +10 dioptrías en 25 milisegundos al aplicarle corriente eléctrica, con una apertura clara de 16 mm. Para asegurar repetibilidad y estabilidad focal, incluye un sensor de temperatura que compensa los efectos climáticos. La versión estándar, EL-16-40-TC-VIS-20D, está diseñada especialmente para aplicaciones oftálmicas [4].

Estos lentes fabricados por Optotune® son reconocidos en la literatura por su aplicación en la corrección de la presbicia [5]. En 2022, en la Universidad de Tuebingen, Alemania, se implementaron estos lentes en un marco para gafas junto con un sensor de distancia LIDAR. La idea era utilizar la distancia estimada por el sensor, desde los lentes hasta el objeto de visualización, para ajustar la potencia óptica de los lentes de Optotune® (EL-30-45, Optotune AG, Dietikon, Suiza) [5]. Sin embargo, esta metodología requería que la persona moviera la cabeza para ajustar la potencia óptica de sus lentes.

Además, en 2019, en la Universidad de Stanford, diseñaron con impresión 3D una estructura de gafas para albergar un par de cámaras estéreo infrarrojas con una fuente de iluminación. Estas cámaras permitían calcular la distancia o profundidad de enfoque e incluyeron seguidores oculares comerciales para registrar los ojos y calcular el ángulo de convergencia entre ellos, proporcionando otra medición adicional de la distancia de enfoque necesaria para ajustar los lentes de Optotune® [6]. Estos y otros artículos sobre los lentes de Optotune® ofrecen una visión sobre el desarrollo de una tecnología de lentes ajustables que permiten corregir errores como la presbicia [1], [7].

En un trabajo de grado previamente realizado en esta universidad [8], se propuso, por primera vez, un sistema innovador para controlar los lentes electrónicos. La estrategia de control no solo permitiría corregir la presbicia y otros errores refractivos esféricos como la miopía y la

hipermetropía, sino que también se presume que puede aliviar la fatiga ocular [8]. Este sistema de control es especial, ya que a diferencia de los sistemas encontrados hasta el día de hoy en la literatura [3], otorgar al usuario la libertad de ajustar la potencia óptica de los lentes utilizando sus señales musculares o electromiográficas (EMG) en un montaje de gafas portable, diseñado previamente [8].

A través de un equipo profesional para la adquisición de señales electromiográficas de la marca g.tec®, en este trabajo de grado, se obtendrán de manera segura las señales musculares de la frente de un participante (EMG), al utilizar un equipo certificado. La idea es que el participante lleve a cabo una tarea visual utilizando los lentes de Optotune® frente a una pantalla digital, permaneciendo durante un tiempo máximo de 2 horas, según decida el participante, para observar efectos de cansancio en los ojos inducido por el uso de las pantallas digitales.

El objetivo principal es realizar un análisis de la potencia óptica que un usuario aplica a los lentes electrónicos a lo largo del tiempo, mientras son controlados con señales EMG. En teoría, la fatiga ocular se debe en parte al esfuerzo constante de los músculos ciliares, encargados de ajustar la potencia óptica del cristalino, la lente natural del ojo [9]. La idea que se quiere verificar es que, en condiciones de cansancio ocular digital, se genera una reducción de la potencia óptica del cristalino, induciendo posiblemente al participante a que asigne una mayor potencia óptica a los lentes electrónicos por medio de una señal muscular.

Investigar el comportamiento de este sistema con retroalimentación muscular en tareas prolongadas frente a una pantalla digital permitiría avanzar en el desarrollo de dispositivos electrónicos enfocables que ayuden a corregir la presbicia y otras enfermedades de la visión. Así mismo, permitiría saber si la biorealimentación realizada con señales EMG junto a los lentes ajustables, confieren al sistema biológico la capacidad de reducir la fatiga ocular.

Objetivos:

Objetivo General

Medir cuantitativamente la potencia óptica delegada por un usuario a un sistema de lentes enfocables, realimentados con señales electromiográficas (EMG), mientras realiza actividades visuales en una pantalla digital durante un tiempo suficiente para generar fatiga visual.

Objetivos Específicos

1. Apropiar y modificar el sistema previamente desarrollado [7], integrando de manera efectiva el sistema profesional de adquisición de señales EMG de la marca G.TEC®,

incorporando una cámara para captar los movimientos oculares del voluntario y modificando el programa existente de LabVIEW para hacer funcional la cámara.

2. Diseñar y realizar experimentos con un mínimo de 8 voluntarios sin astigmatismo, con el fin de medir cuantitativamente la potencia óptica delegada por el voluntario a los lentes externos en condiciones controladas (por ejemplo, distancia de proyección o iluminación).

3. Crear una base de datos en la cual se consignen los datos experimentales de las mediciones.

Metodología:

Como solución a los objetivos planteados en el trabajo de, se debe retomar el trabajo iniciado previamente en esta universidad [8], donde se implementó un sistema nuevo que controla los lentes electrónicos de Optotune® EL-16-40-TC-VIS-20D, utilizando sus *drivers* oficiales. En dicho proyecto, se utilizó un programa en LabVIEW para este propósito. Además, se diseñaron y aplicaron circuitos electrónicos para la adquisición de señales EMG. Sin embargo, en la presente investigación, se optará por utilizar un equipo profesional de la marca g.tec® para la adquisición de señales EMG, el cual está disponible en el departamento de bioingeniería de nuestra universidad. Se prescindirá del circuito que fue empleado en el proyecto anterior.

Para cumplir con el objetivo específico número 1, la primera etapa es incluir la programación necesaria en LabVIEW para integrar el sistema g.tec® y poder leer las señales electromiográficas de manera segura y sencilla. Posteriormente, se procederá a verificar el funcionamiento del procesamiento de estas señales, realizado en [8], adaptándolo de ser necesario. Además, se verificará el correcto funcionamiento del control existente de los lentes Optotune® EL-16-40-TC-VIS-20D. Este sistema será empleado por los participantes para llevar a cabo el experimento que se comenta a continuación.

Para cumplir con los objetivos específicos 2 y 3, se llevará a cabo el diseño, desarrollo y almacenamiento de datos experimentales con un mínimo de 8 participantes sin astigmatismo. Estos participantes utilizarán los lentes Optotune® para visualizar una imagen o video en una pantalla digital (Anexo, Protocolo experimental detallado). Mantener una distancia constante entre los lentes y la pantalla digital es necesaria en este experimento, pues la solicitud inicial a los participantes es que enfoquen los lentes electrónicos en la pantalla por medio de sus gestos musculares (señales EMG) y permitir que el tiempo y la pantalla digital cansen sus ojos, para nosotros analizar los cambios en dioptrías de los lentes electrónicos durante la fatiga visual.

Se plantea utilizar un montaje experimental que ya fue implementado en [8] y permitía fijar la distancia de acomodación y llevar a cabo el experimento que se necesita en esta investigación. Por otro lado, el tiempo máximo que el participante podrá estar mirando la pantalla digital con los lentes electrónicos será de 2 horas, en base a investigaciones previas

de la fatiga visual digital y presbicia donde utilizaban lentes electrónicos (Anexo. Concepción de Trabajo de Grado, pg. 20).

Los pasos generales del experimento son los siguientes:

1. El participante firma voluntariamente el consentimiento informado.
2. Se registran anónimamente sus datos demográficos (Anexo. Protocolo experimental detallado).
3. Se realiza una prueba de agudeza visual o test de Snellen.
4. El participante se ubica a una distancia constante de una pantalla digital utilizando los lentes electrónicos controlados con señales EMG e inicia el experimento.
5. Se inicia el video de la cámara integrada en la pantalla digital para obtener un video de los ojos del participante.
6. El participante visualiza la pantalla digital por máximo 2 horas o hasta que lo desee.
7. Finaliza el experimento y el registro de los datos de la potencia óptica de los lentes y de la cámara de video.

Resultados Esperados:

Con este experimento, se espera comprobar que el sistema electrónico óptico con lentes de Optotune®, controlado por señales electromiográficas (EMG), confiere al ser humano la capacidad de mitigar la fatiga visual. Esto se justifica ya que el mecanismo de visión humano se vería dotado con un actuador fisiológico (muscular) adicional para controlar una lente externa (artificial) y enfocar la imagen en la retina mediante la variación continua tanto del cristalino (natural) como de los lentes electrónicos.

Si se encuentra evidencia suficiente para demostrar que la potencia óptica de los lentes electrónicos aumentó con el tiempo, podríamos justificar que se redujo la fatiga ocular interna asociada con el músculo ciliar, es decir, que la potencia óptica en el ojo del cristalino disminuyó.

En conclusión, nuestro objetivo es obtener mediciones objetivas de la potencia óptica asignada por el usuario a los lentes mediante el sistema de control propuesto. Este análisis se llevará a cabo durante una actividad prolongada en una pantalla digital para observar los efectos del cansancio ocular. Con estos datos, aspiramos a encontrar evidencia que respalde la capacidad del sistema propuesto para aliviar la fatiga ocular de manera efectiva.

Referencias:

- [1] J. Mompeán, J. L. Aragón, and P. Artal, "Portable device for presbyopia correction with optoelectronic lenses driven by pupil response," **Scientific Reports**, vol. 10, p. 20293, 2020. [doi: 10.1038/s41598-020-77465-5](<https://doi.org/10.1038/s41598-020-77465-5>).
- [2] J. S. Wolffsohn and L. N. Davies, "Presbyopia: Effectiveness of correction strategies," **Progress in Retinal and Eye Research**, vol. 68, pp. 124-143, Jan. 2019. [doi: 10.1016/j.preteyeres.2018.09.004](<https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2018.09.004>).
- [3] M. U. Karkhanis, A. Banerjee, C. Ghosh, R. Likhite, E. Pourshaban, H. Kim, D. A. Meyer, and C. H. Mastrangelo, "Compact Models of Presbyopia Accommodative Errors for Wearable Adaptive-Optics Vision

Correction Devices," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 68857-68867, 2022. [doi: 10.1109/access.2022.3187036](<https://doi.org/10.1109/access.2022.3187036>).

[4] Optotune, "Tunable Lenses," [Online]. Available: <https://www.optotune.com/tunable-lenses>. Accessed: Nov. 22, 2023. [Anexo importante: Hoja de especificaciones Lentes]

[5] R. Agarwala, O. Lukashova Sanz, I. P. Seitz, F. F. Reichel, and S. Wahl, "Evaluation of a liquid membrane-based tunable lens and a solid-state LIDAR camera feedback system for presbyopia," *Biomed. Opt. Express*, vol. 13, no. 11, pp. 5849-5859, 2022. [doi: 10.1364/BOE.471190](<https://doi.org/10.1364/BOE.471190>).

[6] N. Padmanaban, R. Konrad, and G. Wetzstein, "Autofocals: Evaluating gaze-contingent eyeglasses for presbyopes," *Science Advances*, vol. 5, no. 6, Jun. 2019. [doi: 10.1126/sciadv.aav6187](<https://doi.org/10.1126/sciadv.aav6187>).

[7] R. Agarwala, M. Dechant, Y. Sauer, and S. Wahl, "Feasibility of eye tracking to control a prototype for presbyopia correction with focus tunable lenses," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 64, no. 8, June 2023, p. 2503. [doi: 10.1107/IOVS.2023.64.issue-8.2503](<https://doi.org/10.1107/IOVS.2023.64.issue-8.2503>).

[8] J. D. Barco, "Sistema óptico electrónico bio-realimentado por medio de señales electromiográficas," *Pontificia Universidad Javeriana*, 2018.

[9] M. Rosenfield, "Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments," *Ophthalmic & Physiological Optics*, vol. 31, no. 5, pp. 502-515, 2011. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2011.00834.x.

Anexos Incluidos:

- Aval de presupuesto.pdf
- Cuestionario fatiga visual digital.pdf
- Consentimiento informado.pdf
- Concepción de Trabajo de Grado.pdf
- Protocolo experimental detallado.pdf
- Hoja de especificaciones Lentes.pdf

Por qué se considera que este proyecto tenga una aprobación del Comité:

La presente investigación, que evalúa un novedoso sistema de control para lentes electrónicos en el contexto de fatiga visual digital, busca la aprobación del Comité de Ética en Investigación (CIE) por varias razones fundamentales.

En primer lugar, este proyecto implica la participación de individuos, quienes serán sometidos a la intervención de utilizar lentes electrónicos controlados por señales electromiográficas. Dada la naturaleza de la investigación, es esencial garantizar que se respeten los principios éticos y los derechos de los participantes.

Además, la investigación tiene como objetivo principal contribuir al conocimiento científico en el campo de la ingeniería biomédica y la bioingeniería. La expectativa de publicación de los resultados en revistas académicas especializadas motiva la presentación del proyecto al CIE. El propósito de esta publicación es compartir hallazgos valiosos que puedan ser utilizados por la comunidad científica y contribuir al avance en el tratamiento de problemas visuales asociados al uso de pantallas digitales.

La manipulación de señales electromiográficas y la evaluación de la respuesta de los participantes a la fatiga visual plantean consideraciones éticas específicas. Por lo tanto, se busca la aprobación del CIE para garantizar que los procedimientos y protocolos sean éticamente sólidos y respetuosos con los derechos y la seguridad de los participantes.

Asimismo, en esta investigación se busca cumplir con los principios fundamentales de la Declaración de Helsinki de 1964, que establece pautas éticas cruciales para la investigación con seres humanos, tales como el respeto a la dignidad, la integridad y la autonomía de los participantes. La obtención del consentimiento informado de cada participante es una parte integral de este compromiso ético.

Solicitamos respetuosamente el permiso del Comité de Ética en Investigación (CIE) para llevar a cabo este proyecto, reconociendo la importancia de su revisión ética independiente para asegurar el bienestar de los participantes y la validez científica del estudio.