

Evaluación de la Mejora de la Agudeza Visual con un Sistema Bio-realimentado

Rafael David Linero Ramos, Germán Yamhure Kattah MSc.

linero-rafael@javeriana.edu.co, gyamhure@javeriana.edu.co

Maestría en Ingeniería Electrónica, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia

Resumen— Este artículo presenta una evaluación de la mejora de la agudeza visual con un sistema bio-realimentado mediante señales electromiográficas, con el fin de evaluar si es posible mejorar errores de refracción oculares relacionados con la disminución de la agudeza visual, tales como la miopía, hipermetropía y la presbicia. Para la implementación del sistema bio-realimentado utilizado, se utilizaron lentes electrónicas controlables electrónicamente con una potencia que varía desde -10 hasta +10 dioptrías, un dispositivo de adquisición de señales electromiográficas y estos dos sistemas fueron acoplados mediante un programa diseñado en el software LabView. Los experimentos realizados para la evaluación de la mejora de la agudeza visual, consistieron en test de Snellen aplicados a los(as) sujetos(as) de prueba, utilizando el sistema implementado. Luego de los experimentos realizados los(as) sujetos(as) de prueba indicaron hasta en un 90% de sus pruebas realizadas que, con una misma potencia óptica graduada con dicho sistema, veían en detalle la línea de la gráfica de Snellen, que indica una agudeza visual igual a 20/20.

Palabras claves: Agudeza Visual, Errores de Refracción, Bio-realimentación, EMG, EMGS, Lentes Electrónicas, LabView.

I. INTRODUCCIÓN

La discapacidad visual está relacionada con una deficiencia, es decir un problema que afecta a una estructura o función corporal, en este caso del sistema de la visión, cuando existe disminución de la agudeza visual, campo visual, motilidad ocular, visión de los colores o profundidad, afectando la capacidad de una persona para ver [1].

La agudeza visual es la capacidad de ver en detalle las cosas que nos rodean a una determinada distancia, esta capacidad depende del funcionamiento normal y coordinado entre ambos ojos y cerebro [2].

En el mundo hay aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión, cabe resaltar que la discapacidad visual abarca la ceguera y la discapacidad visual moderada y grave que se reagrupan comúnmente bajo el término baja visión [3].

La Organización Mundial de la Salud calcula que en el mundo hay 153 millones de personas con discapacidad visual debido a errores de refracción no corregidos, siendo estos errores una de las principales causas de discapacidad visual a nivel mundial, dentro de los cuales se encuentran la miopía, dificultad para ver claramente los objetos distantes, la hipermetropía, dificultad para ver claramente los objetos cercanos, el astigmatismo, visión distorsionada debido a la curvatura anormal de la córnea, y la presbicia que tiene como consecuencia la dificultad para leer o enfocar bien a un brazo de distancia y está asociada al envejecimiento natural del ser humano, estos errores actualmente pueden tratarse con gafas correctoras, lentes de contacto o cirugía refractiva [4].

La visión normal se entiende como una agudeza visual igual a 20/20, en donde el numerador de la fracción indica la distancia que se ve (en pies) y el denominador indica la distancia a la que un ojo normal ve. En el sistema óptico humano el cristalino es una estructura en forma de lente biconvexa, que mediante un aumento o disminución funcional de su curvatura y de su espesor, es decir, mediante un proceso de acomodación, permite enfocar objetos situados a diferentes distancias. Este proceso de acomodación del cristalino se mide en dioptrías, las cuales son la unidad de medida de la potencia óptica de un lente [5].

Para evaluar la agudeza visual, es utilizado comúnmente el test de Snellen, el cual consiste en identificar correctamente las letras de la gráfica de Snellen, presentada en el Anexo 1, en la cual las letras tienen un tamaño decreciente y cada línea de esta gráfica representa un nivel de agudeza visual, teniendo en cuenta que el nivel que indica 20/20, representa la visión normal. Este test fue diseñado para realizarse a 20 pies (6 metros) de distancia, entre la persona examinada y la gráfica de Snellen, haciéndole preguntas a dicha persona acerca de las letras que puede leer y el último nivel en el que lee las letras con precisión, es el nivel de agudeza visual de la persona examinada [6].

La bio-realimentación (*biofeedback*) es un proceso que le permite a un individuo aprender cómo cambiar la actividad fisiológica a efectos de mejorar la salud y el rendimiento. Este

proceso se emplea para controlar las funciones fisiológicas de los seres humanos, mediante un sistema de realimentación que informa al sujeto del estado de la función que se desea controlar de manera voluntaria. Algunos instrumentos miden la actividad fisiológica como: las ondas cerebrales, la función del corazón, la respiración, la actividad muscular y temperatura de la piel. Estos instrumentos pueden medir de forma rápida y precisa la actividad fisiológica y realimentan información al usuario [7].

Una primera aproximación a esta investigación fue el desarrollo de un sistema para el control del grado de enfoque del lente de una cámara por medio de señales electromiográficas superficiales (EMGS) tomadas de los músculos de la frente, en el cual se pudo modificar el grado de enfoque de manera voluntaria a partir de señales electromiográficas [8].

Las señales electromiográficas (EMG) son señales eléctricas producidas por los músculos durante el proceso de contracción y relajación. Las señales electromiográficas superficiales (EMGS) son fuente de información que puede ser utilizada para el control de dispositivos electrónicos y/o virtuales, y son esencialmente un patrón unidimensional, por lo que múltiples técnicas de procesamiento de señales para extracción de características y reconocimiento de patrones son aplicables a este tipo de señales. Las señales EMG son colectadas típicamente mediante electrodos bipolares de superficie, ubicados sobre la piel y la extracción de la información puede realizarse a través de técnicas tales como: análisis temporal y técnicas de análisis espectral [9].

Por otra parte, en una investigación realizada en la Universidad de Utah se implementó una lente de cristal líquido, que tiene la capacidad de cambiar automáticamente y de manera electrónica su potencia focal, a través de actuadores mecánicos que empujan la lente hacia adelante y hacia atrás, cambiando el radio de curvatura de la lente. Actualmente se encuentran desarrollando un marco especial, en el cual se encuentran medidores de distancia desde las lentes hasta un objeto a través de pulsos de luz infrarroja, para cambiar automáticamente la potencia focal de las lentes [10].

Otras investigaciones proponen tratamientos para las discapacidades de baja visión por medio de métodos de bio-realimentación a través de foto-estimulación infrarroja y estimulación de la fóvea para evaluar la agudeza visual, visión de color, perimetría visual y sensibilidad al contraste [11]. Otro estudio muestra que la bio-realimentación con audio puede, mediante el aumento de la modulación atencional, ayudar al cerebro a fijar el locus preferido de la retina para lograr la rehabilitación de discapacidades de baja visión, teniendo en cuenta que dicha bio-realimentación de audio facilita la transmisión de estímulos entre la retina y el cerebro [12]. El término locus preferido de la retina (PRL por su sigla en inglés), describe un área de la retina que actúa como una pseudo-fóvea para poder enfocar objetos y realizar tareas visuales que impliquen una visión fina de detalles, cuando existen enfermedades en la fóvea que afectan el rendimiento visual [13].

En la sección 2 del presente artículo, se presentan las especificaciones y la descripción de los diseños y la tecnología utilizada en la investigación. Adicionalmente se describen los experimentos diseñados para evaluar la modificación de la agudeza visual, con el fin de probar si es posible mejorar errores de refracción oculares relacionados con la disminución de la agudeza visual, mediante el uso del sistema bio-realimentado implementado.

En la sección 3, se presentan los resultados obtenidos con la realización de la presente investigación, y un análisis de éstos. Posteriormente en la sección 4, se presentan las conclusiones de la presente investigación.

II. METODOLOGÍA

El sistema bio-realimentado a partir de señales electromiográficas, para controlar el enfoque de un sistema óptico electrónico, fue implementado a partir de un par de lentes ajustables electrónicamente EL-16-40-TC-VIS-20D fabricadas por Optotune [14], con sus respectivos controladores, las cuales cuentan con las características especificadas en las Tablas 1 y 2.

Apertura numérica	16	mm
Potencia óptica	-10 a +10	dioptrías
Tipo de lentes	plano-cóncavo o plano-convexo	-
Tiempo de respuesta (típico a 30°C, paso de 0 a +/- 250mA)	7	ms
Tiempo de estabilización (típico a 30°C, paso de 0 a +/- 250mA)	40	ms
Corriente nominal de control	-250 a +250	mA
Voltaje de alimentación (Vcc)	3.3	V
Potencia de consumo	0 a 1	W
Transmisión de datos desde y hacia controlador	Vía cable FPC Flex	-

Tabla 1. Características principales de las lentes electrónicas EL-16-40-TC-VIS-20D [14].

Máxima corriente de salida	-290 a 290	mA
Voltaje de entrada	5	V
Potencia de consumo	50-1100	mW
Convertor digital-análogo (resolución)	12	bit
Tiempo de respuesta (paso de 0 a +/- 200mA)	2-4	ms
Tiempo de estabilización (paso de 0 a +/- 200mA)	15	ms
Transmisión de datos desde y hacia PC	Vía USB	-

Tabla 2. Características principales del controlador: *Electrical Lens Driver 4* [15].

Los componentes electrónicos para implementar el sistema óptico para variar la agudeza visual, fueron ensamblados en una estructura que brinda la posibilidad de colocarla alrededor de la

cabeza de un sujeto de prueba, para que los lentes queden ubicados delante de sus ojos.

Por otra parte, se seleccionó el dispositivo g.MOBilab+ fabricado por g.tec, debido a que éste equipo tiene dentro de sus funciones previstas, la adquisición de señales EMG superficiales en seres humanos con fines investigativos, teniendo en cuenta las características documentadas en la Tabla 3 [16].

Para realizar el acople entre el sistema óptico electrónico y el sistema de adquisición de señales EMGS, fue diseñado un programa en el software LabView, debido a su compatibilidad de comunicación tanto con el equipo g.MOBilab+ como con las lentes electrónicas EL-16-40-TC-VIS-20D, dicho software se seleccionó también por la capacidad con la que cuenta para el procesamiento de señales en tiempo real.

Tipo de electrodos	Activos	-
Tipo de dispositivo	Inalámbrico	-
Transmisión de datos inalámbrica hacia PC	Vía bluetooth 2.0	-
Voltaje nominal (DC)	3	V
Potencia nominal	0.18	VA
Número de canales de entrada	8	-
Sensibilidad (mínima)	+/- 500	μ V
Sensibilidad (máxima)	+/- 250	mV
Banda de paso	0.5 – 100	Hz
Frecuencia de muestreo	256	Hz
Conversor análogo-digital (resolución)	16	bit

Tabla 3. Características principales del dispositivo g.MOBilab+.

La interfaz diseñada para el(a) sujeto(a) de prueba, consta de cuatro botones, uno para cambiar el sentido de la variación de la potencia óptica de las lentes (aumentar o disminuir), cada vez que se detecte actividad electromiográfica, proveniente de los músculos corrugadores superciliares. Un segundo botón para reiniciar la potencia óptica de las lentes en caso de ser necesario. Un tercer botón, para indicar en qué momento ve en detalle las cosas que rodean a una determinada distancia a la persona que realiza la prueba con el sistema bio-realimentado y un último botón para guardar el experimento realizado.

La interfaz diseñada para el investigador que realiza el acompañamiento en la realización de las pruebas, permite ingresar el nombre de la persona que realizará la prueba, seleccionar el tipo del experimento que se realizará, seleccionar los puertos utilizados por las lentes electrónicas y por el dispositivo de adquisición de señales EMGS, visualizar la señal EMGS adquirida, ingresar la potencia inicial y visualizar la potencia de las lentes, visualizar la fecha, hora y tiempo tardado en experimento, observar la calibración de corriente de las lentes, visualizar los posibles errores presentados en la ejecución del programa y botones para terminar la ejecución de éste.

La adquisición de las señales EMGS y su procesamiento, se realizan vía bluetooth y a través del bloque *gMOBilabplus.vi*, desarrollado por *g.tec*, con el cual se capturan los datos, se

selecciona la sensibilidad con la cual se captura la señal EMGS y se realiza un filtrado rechazando la frecuencia del ruido de línea (60 Hz). Posteriormente, se utiliza el bloque *Trigger and Gate*, cuya función es permitir el paso de señales que superen un umbral predeterminado.

La programación del modo de operación de las lentes electrónicas, se realiza utilizando el bloque *VISA*, para configurar los puertos de comunicación serial a los que se conectan los controladores de las lentes, luego utilizando el bloque *Write Read Lens Driver*, desarrollado por el fabricante *Optotune*, donde se programa el modo de operación de las lentes, el cual es el modo de control de potencia óptica, en el que de acuerdo con la potencia óptica requerida en las lentes, sus controladores realizan una interpolación entre curvas de temperatura almacenadas en la memoria *EEPROM* de éstos, para solicitar la corriente necesaria a la fuente de energía y así fijar la potencia óptica requerida en las lentes, en este caso los puertos *USB* de un computador portátil. Todo esto teniendo en cuenta que la membrana de las lentes puede cambiar su curvatura en la medida que la temperatura afecte el fluido óptico contenido en dicha membrana.

El control de la potencia óptica de las lentes, se realiza con una serie de estructuras condicionadas a partir de una comparación realizada con los datos de salida de la función *Trigger and Gate*, que permite el paso de las señales EMG que superan un umbral predeterminado.

Para almacenar los datos resultantes de las pruebas realizadas en archivos de texto, para observar cuanto tiempo tomó una persona en la prueba para mejorar su agudeza visual, también la potencia óptica de las lentes con la cual la persona indicó que mejoró su agudeza visual, a qué hora y en qué fecha se realizó la prueba, se utilizó el bloque *Write To Measurement File*.

De manera general en la Figura 1 se muestran los bloques que componen el desarrollo del sistema bio-realimentado, con el cual se realiza la evaluación de la mejora de la agudeza visual y cómo un sujeto interactúa con éste.

Los experimentos diseñados para evaluar la modificación de la agudeza visual, con el fin de probar si es posible mejorar errores de refracción oculares relacionados con la disminución de la agudeza visual, mediante el uso del sistema bio-realimentado implementado, consisten en:

Colocar electrodos en los músculos corrugadores superciliares, como se muestra en la Figura 2, conectar el sistema óptico electrónico y el sistema de adquisición de señales EMGS a el computador e inicializar el programa diseñado en LabView.

Posteriormente se ubica al voluntario de prueba en frente del computador y se le coloca el sistema óptico conformado por el par de lentes electrónicas con sus respectivos controladores, tal que dichos lentes queden ubicados delante de los ojos del(a) voluntario(a).

Una vez que el sistema se encuentra listo para ser utilizado, se realiza un Test de Snellen, siguiendo un protocolo de pruebas

diseñado, con el fin de evaluar la mejora de la agudeza visual, en este test la potencia de las lentes se inicializa en cero (0) dioptrías para voluntarios miopes y en diferentes potencias (entre 1 y 5 dioptrías aleatoriamente) para voluntarios emétopes (con visión normal), y a través del proceso de bio-realimentación con señales electromiográficas, el voluntario debía variar la potencia de las lentes electrónicas, programadas para realizar cambios discretos de ± 0.25 dioptrías y de esta forma intentar ver en detalle la línea de la gráfica de Snellen que indica una agudeza visual igual a 20/20, momento en el que debía indicar que veía bien a través del botón destinado para esto en la interfaz de usuario.

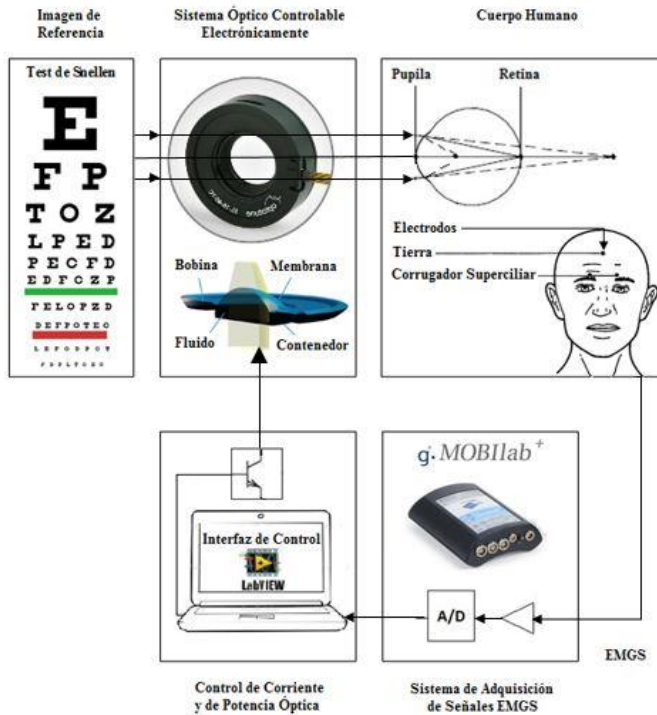


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema bio-realimentado.

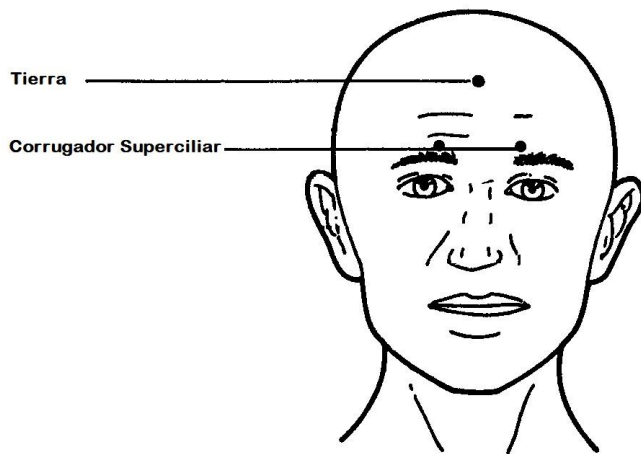


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema bio-realimentado [17].

En este trabajo de investigación se realizaron un total de cien (100) pruebas con cinco (5) sujetos(as), de las cuales cada

sujeto(a) realizó veinte (20) pruebas, distribuidas en bloques de cinco (5) pruebas por día.

Los Test de Snellen fueron realizados en un laboratorio con medidas de 5.2 metros de largo, por 3.5 metros de ancho, por 2.2 metros de alto; por lo que la gráfica fue impresa a escala, teniendo unas medidas de la primera letra de 6.8 cm x 6.8 cm, equivalentes para realizar el Test desde con una distancia de 4.7 metros entre la gráfica y la persona examinada, esto teniendo en cuenta que en la gráfica original para realizar el test a 6 metros la primera letra mide 8.8 cm x 8.8 cm. Además de esto las condiciones de iluminación del laboratorio estaban dadas por 12 luminarias de 2506 lúmenes cada una y un color de temperatura de 6500 Kelvin, todo esto teniendo en cuenta que todas las pruebas realizadas fueron luego de las 6 p.m. hora (Coordinated Universal Time) UTC -05:00.

III. RESULTADOS

Para realizar un análisis de la mejora de la agudeza visual utilizando el sistema bio-realimentado implementado, se almacenaron los resultados de las pruebas realizadas, los cuales se muestran en las gráficas publicadas en las Figuras 3 hasta la 7. En estas gráficas se muestran los resultados de los 20 experimentos realizados con cada sujeto(a) de prueba, y se publica la potencia óptica fijada por los(as) voluntarios(as), en cada uno de sus experimentos, en ambas lentes (izquierda y derecha), con la cual indicaron que veían en detalle la línea de la gráfica de Snellen que indica una agudeza visual igual a 20/20.

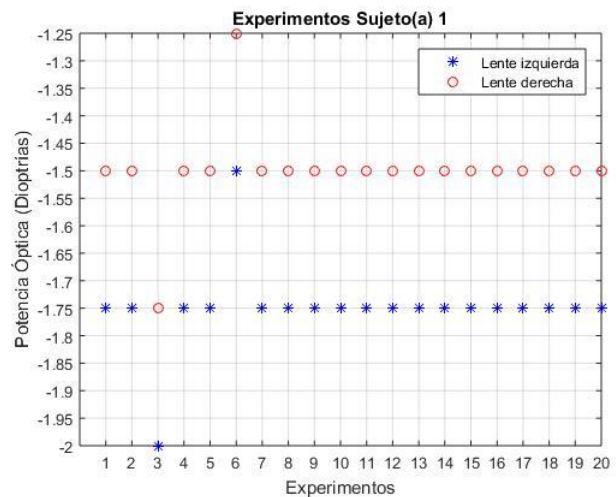


Figura 3. Resultados de los experimentos realizados con sujeto(a) de prueba 1.

Los resultados mostrados en la Figura 3, corresponden a un(a) voluntario(a) de prueba miope, para el cual las lentes se inicializaban en una potencia de 0 dioptrías, en éstos el(a) voluntario(a), indicó que veía en detalle la línea de la gráfica de Snellen que indica una agudeza visual igual a 20/20, graduando la misma potencia en las lentes en el 90% de las pruebas realizadas, correspondientes a -1.5 dioptrías para la lente derecha y -1.75 dioptrías para la lente izquierda.

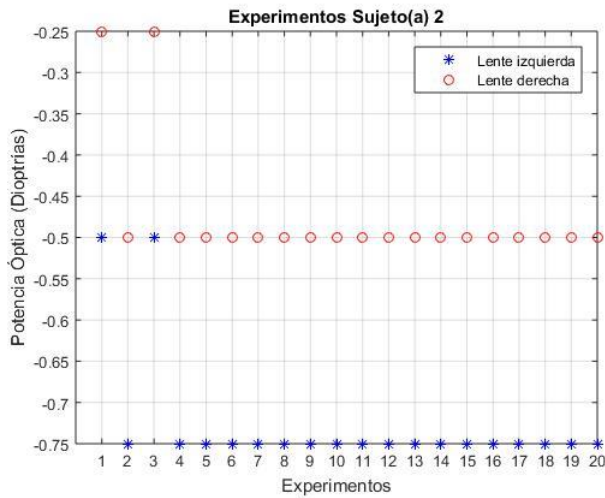


Figura 4. Resultados de los experimentos realizados con sujeto(a) de prueba 2.

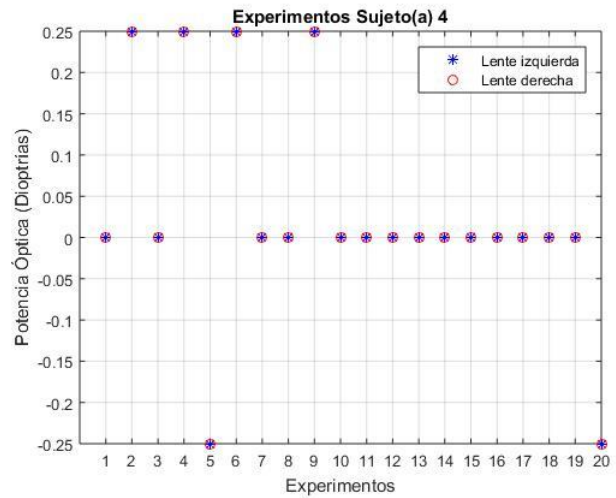


Figura 6. Resultados de los experimentos realizados con sujeto(a) de prueba 4.

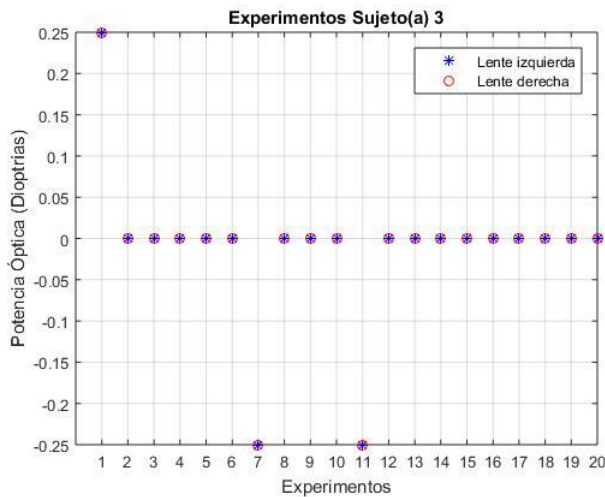


Figura 5. Resultados de los experimentos realizados con sujeto(a) de prueba 3.

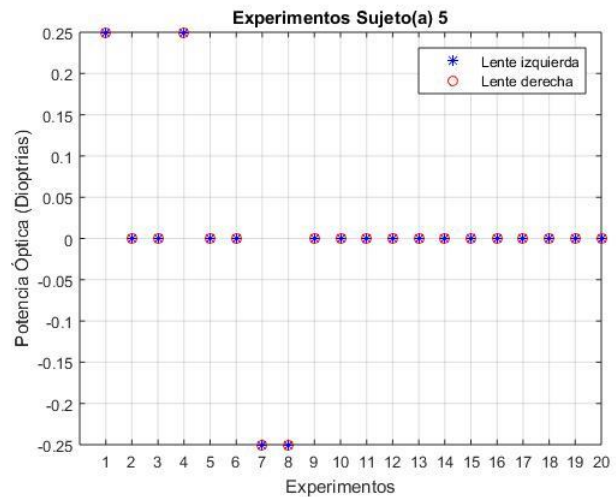


Figura 7. Resultados de los experimentos realizados con sujeto(a) de prueba 2.

Los resultados mostrados en la Figura 4, corresponden a un(a) voluntario(a) de prueba miope, para el cual las lentes se inicializaban en una potencia entre 0 y 5 dioptrías aleatoriamente, en éstos el(a) voluntario(a), indicó que veía en detalle la línea de la gráfica de Snellen que indica una agudeza visual igual a 20/20, graduando la misma potencia en las lentes en el 90% de las pruebas realizadas, correspondientes a -0.5 dioptrías para la lente derecha y -0.75 dioptrías para la lente izquierda.

En los resultados mostrados en las Figuras 5, 6 y 7, correspondientes a voluntarios(as) de prueba emétopes (visión normal), para los cuales las lentes se inicializaban en una potencia entre 1 y 5 dioptrías aleatoriamente, éstos indicaron que veían en detalle la línea de la gráfica de Snellen que indica una agudeza visual igual a 20/20, graduando en 0 dioptrías la potencia de las lentes, hasta en un 85% de las pruebas realizadas.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los resultados, calculando la media, moda, varianza y el intervalo de confianza, de la potencia óptica para cada lente, para cada uno(a) de los(as) sujetos(as) de prueba.

Las pruebas se realizaron utilizando el sistema bio-realimentado implementado, programado para que al detectar actividad electromiográfica realizara variaciones discretas de ± 0.25 dioptrías, para hacer compatibles los resultados, con los obtenidos en el test de Snellen estándar realizado en pruebas de optometría.

Adicionalmente, se pudo observar en los datos de un experimento completo (desde la potencia óptica inicial hasta la potencia óptica final fijada por el(a) sujeto(a) en las lentes, para mejorar su agudeza visual), realizado el día uno (1) de pruebas y el mismo experimento realizado el día cuatro (4); que los sujetos(as) de prueba a medida que realizaron más experimentos, adquirieron una mayor destreza para utilizar el

sistema bio-realimentado implementado, lo cual se vio reflejado en los resultados de los experimento, en las Figuras 8 y 9, se muestran los resultados obtenidos del(a) sujeto(a) de prueba 1, quien el día 1 tardó 73,51 segundos en fijar la potencia óptica con la que indicó podía leer el nivel que indica una agudeza visual 20/20 en la gráfica de Snellen y el día 4 tardó 35,04 segundos en fijar la misma potencia óptica en las lentes.

Unidades (Dioptrias)	Lente	Media de la Potencia Óptica	Moda de la Potencia Óptica	Desviación Estándar de la Potencia Óptica	Intervalo de Confianza del 95%
Sujeto(a) 1	Derecha	-1.5	-1.5	0.081	-1.54 - -1.46
	Izquierda	-1.75	-1.75	0.081	-1.79 - -1.71
Sujeto(a) 2	Derecha	-0.48	-0.5	0.077	-0.51 - -0.44
	Izquierda	-0.73	-0.75	0.077	-0.76 - -0.69
Sujeto(a) 3	Derecha	-0.01	0	0.099	-0.06 - +0.03
	Izquierda	-0.01	0	0.099	-0.06 - +0.03
Sujeto(a) 4	Derecha	0.03	0	0.138	-0.04 - +0.09
	Izquierda	0.03	0	0.138	-0.04 - +0.09
Sujeto(a) 5	Derecha	0	0	0.115	-0.05 - +0.05
	Izquierda	0	0	0.115	-0.05 - +0.05

Tabla 4. Resultados de los experimentos realizados.

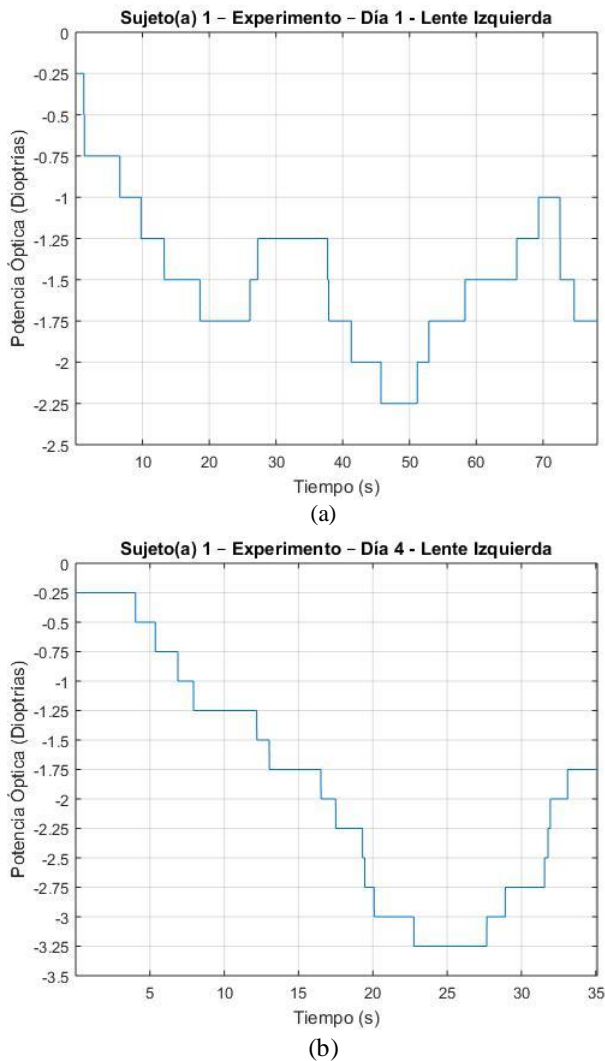


Figura 8. Comparación de resultados en experimentos realizados con sujeto(a) de prueba 1 [Lente Izquierda - Día 1 (a) Vs. Día 4 (b)].

IV. CONCLUSIONES

Se puede concluir, al analizar los resultados del presente trabajo de investigación, que sí es posible mejorar errores de refracción oculares relacionados con la disminución de la agudeza visual, con un sistema bio-realimentado mediante señales EMG, teniendo en cuenta que los sujetos de prueba indicaron hasta en un 90% de sus pruebas realizadas, que con una misma potencia óptica graduada con dicho sistema, veían en detalle la línea de la gráfica de Snellen, que indica una agudeza visual igual a 20/20 equivalente a visión normal.

A medida que los sujetos de prueba realizaron más experimentos, adquirieron una mayor destreza para utilizar el sistema bio-realimentado implementado, lo cual se vio reflejado en los resultados, en una disminución del tiempo tardado para indicar que leían bien el nivel que indica una agudeza visual 20/20 en la gráfica de Snellen, entre los experimentos realizados el primer y el último día de pruebas.

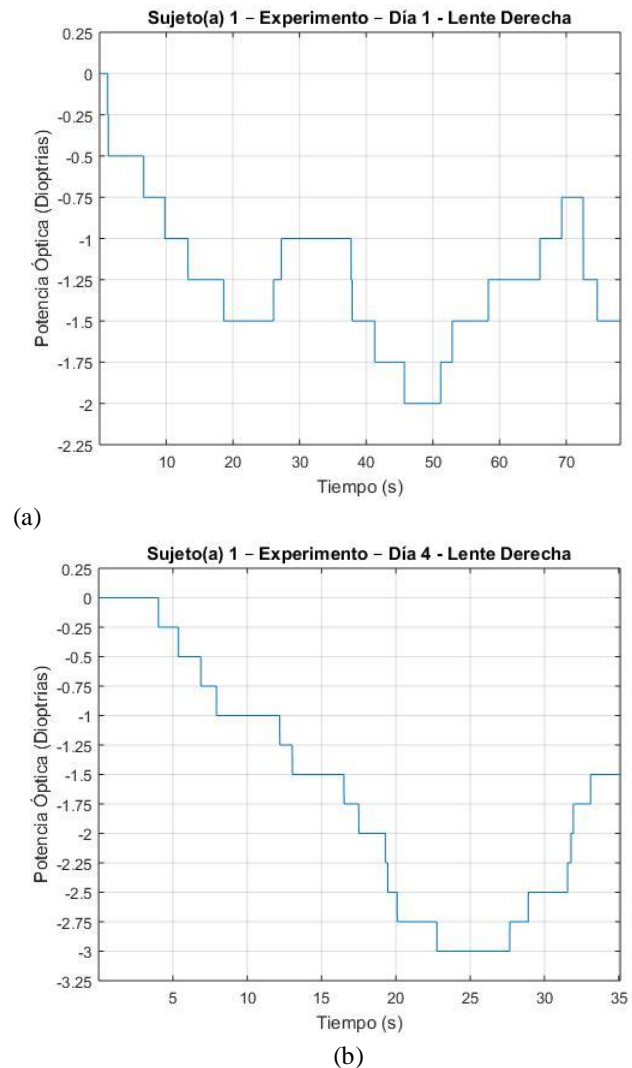


Figura 9. Comparación de resultados en experimentos realizados con sujeto(a) de prueba 1 [Lente Derecha - Día 1 (a) Vs. Día 4 (b)].

Con el sistema bio-realimentado mediante señales EMG implementado, es posible mejorar la agudeza visual y a su vez errores de refracción oculares esféricos, tales como miopía, hipermetropía y presbicia, debido a que las lentes utilizadas son esféricas.

Para pensar en un sistema electrónico bio-realimentado, como el desarrollado en el presente trabajo de investigación, para el tratamiento de errores de refracción oculares, existen limitaciones relacionadas con que el tipo de lentes variables electrónicamente desarrolladas hasta el momento, no permiten mejorar o corregir errores de refracción cilíndricos, como el astigmatismo.

Para medir la precisión del sistema implementado se recomienda agregar a éste en investigaciones futuras, medidores de distancia desde las lentes hasta un objeto, tales como una cámara digital o dispositivos emisores de luz infrarroja, para comparar la potencia óptica fijada en las lentes electrónicas con la distancia hasta el objeto enfocado, las cuales están inversamente relacionadas.

Se recomienda continuar la investigación, realizando una variación continua de la potencia óptica de las lentes en lugar de discreta y con la realización de más experimentos, con pacientes con hipermetropía y presbicia, y por otra parte que permitan evaluar de forma dinámica la mejora de la agudeza visual.

V. REFERENCIAS

- [1] Dirección General de Educación Especial, «Dirección General de Educación Especial- Secretaría de Educación del Estado de Veracruz.» [En línea]. Disponible: <http://eespecial.sev.gob.mx/difusion/visual.php>. [Último acceso: 1 Mayo 2017].
- [2] A. Torres, «Atención al educando ciego o con deficiencias visuales,» San José, Costa Rica: *Universidad Estatal a Distancia*, 2006.
- [3] Organización Mundial de la Salud, «Ceguera y discapacidad visual,» *Organización Mundial de la Salud*, 2014.
- [4] Organización Mundial de la Salud, «Salud Ocular Universal,» 2013. [En línea]. Disponible: http://www.who.int/blindness/AP2014_19_Spanish.pdf. [Último acceso: 1 Mayo 2017].
- [5] M. Katz y P. Kruger, «The Human Eye as an Optical System,» *Lippincott Williams & Wilkins*, vol. 1, n° 33, 2004.
- [6] H. Snellen, «Test-types for the determination of the acuteness of vision,» Utrecht: *P. W. van de Weijer*, 1962.
- [7] M. Li, «Proceedings of the 15th International Conference on Man-Machine-Environment System Engineering,» de *Design and Evaluation of Human-Machine Interface of Simulation Training System*, New York, 2015.
- [8] S. Caicedo, «Desarrollo de un Sistema de Control de Grado Continuo de Enfoque en una Cámara,» *Pontificia Universidad Javeriana*, Bogotá, Colombia, 2015.
- [9] J. Brazeiro, S. Petraccia y M. Valdés, «Mano Controlada por Señales Musculares,» *Universidad de la República*, Montevideo, Uruguay, 2015.
- [10] N. Hasan, A. Banerjee, H. Kim y C. Mastrangelo, «Tunable-focus lens for adaptive eyeglasses,» *Optics Express*, vol. 25, 2017.
- [11] M. Contestabile, S. Recupero, D. Palladino, M. De Stefanis, S. Abdolrahimzadeh, F. Suppressa y C. Balacco-Gabrieli, «A new method of biofeedback in the management of low vision,» *Eye*, vol. 16, n° 4, pp. 472-480, 2002.
- [12] E. Vingolo, S. Salvatore y S. Cavarretta, «Low-Vision Rehabilitation by Means of MP-1 Biofeedback Examination in Patients with Different Macular Diseases: A Pilot Study,» *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, vol. 34, n° 2, pp. 127-133, 2009.
- [13] G. Watson, R. Schuchard, W. Del'Aun y E. Watkins, «Effects of preferred retinal locus placement on text navigation and development of advantageous trained retinal locus,» *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 43, n° 6, pp. 761-770, 2006.
- [14] Optotune, «Datasheet: EL-16-40-TC-VIS-20D Electrically Tunable Lens,» 20 Junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.optotune.com/products/focus-tunable-lenses/electrical-lens-el-16-40-tc>. [Último acceso: 1 Mayo 2017].
- [15] Optotune, «Manual: Electrical Lens Driver 4,» 12 Agosto 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.optotune.com/images/products/Optotune%20Lens%20Driver%204%20manual.pdf>. [Último acceso: 1 Mayo 2017].
- [16] Gtec Medical Engineering, «g.MOBILab+,» 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.gtec.at/Products/Hardware-and-Accessories/g.MOBILab-Specs-Features>. [Último acceso: 1 Mayo 2017].
- [17] A. Fridlund y J. Cacioppo, «Guidelines for Human Electromyographic Research,» *Psychophysiology*, vol. 23, n° 5, 1986.