

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA ESTIMULACIÓN DE LA VISIÓN PERIFÉRICA EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA PREDIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA CON EEG Y ANÁLISIS DE SEÑALES

J. J. Ramos Beltrán^a M. Tello Bello^{a,b}, R. Enríquez Caldera^b, Á. S. Cruz Félix^b,
E. Tepichin Rodríguez^b

^a Universidad Anáhuac de Puebla, San Andrés Cholula, Pue

jesus.ramosbel@anahuac.mx, maribel.tello@anahuac.mx

^b Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, San Andrés Cholula, Pue.

mtellobello@inaoep.mx, rogerio@inaoep.mx, sinue@inaoep.mx

etepichin@inaoep.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta un montaje experimental para la estimulación del sistema de visión periférica humana; consta de 3 monitores que cubren 180° de visión horizontal y 109° de visión vertical, así como de un sistema de electroencefalografía (EEG) de 32 electrodos para el registro de la actividad eléctrica durante el estímulo visual. La estimulación del sistema de visión se realizó mediante un software desarrollado en Python, el cual se divide en cinco etapas para capturar la actividad cerebral. En cada etapa se realizó un video con los tiempos de inicio y fin de las diferentes etapas identificadas para la selección del análisis y procesamiento de las señales de EEG.

Palabras Claves: Python, Prediagnóstico de neuropatías ópticas, Campimetría

ABSTRACT

This work presents an experimental setup for stimulating the human peripheral vision system. It consists of 3 monitors that cover 180° of horizontal vision and 109° of vertical vision. An Electroencephalographic (EEG) system comprising 32 electrodes to record the electrical activity during the visual stimulus. The stimulation of the vision system is performed using software developed in Python, which is divided into five stages to record brain activity. In each stage, a video is made with the start and end times of the different stages identified for the selection of analysis and processing of the EEG signals.

Keywords: Python, Pre-diagnosis of optic neuropathies, Campimetry

1. INTRODUCCIÓN

El glaucoma es una enfermedad ocular progresiva que afecta el nervio óptico y puede resultar en pérdida irreversible de la visión. Actualmente, representa uno de los principales desafíos de la salud visual a nivel mundial [1]. Se estima que más de 76 millones de personas padecen

glaucoma a nivel mundial, y se proyecta que esta cifra aumentará a más de 111 millones para el año 2040 [1]. Aunque las estadísticas exactas pueden variar según las fuentes y criterios utilizados, se estima que alrededor de un millón de mexicanos sufre de glaucoma [3]. Un indicador del inicio del glaucoma es la disminución del campo visual. Para la mayoría de la población, el acceso a pruebas de diagnóstico es muy complicado, considerando múltiples factores como el costo, tiempo, especialización de los operarios, entre muchas otras, hasta el momento no existe una prueba de identificación del glaucoma con la anticipación, eficacia, accesibilidad, fácil de aplicar y cómoda de interpretar; esto dadas las características de la población con mayor afectación; es decir, enfermos no diagnosticados principalmente de países en vías de desarrollo, sin un sistema de salud ocular adecuado, sin el poder adquisitivo suficiente para realizarse las pruebas oculares o la visita al oftalmólogo.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es presentar las etapas preliminares del desarrollo de un prototipo de bajo costo para el prediagnóstico de glaucoma, mediante la estimulación periférica de la visión. Para lograrlo, fue necesario el desarrollo de un software capaz de realizar barridos de estímulos visuales azules dentro de un fondo amarillo en las tres diferentes pantallas del sistema, además del desarrollo de la prueba. Esto implicó la toma de datos en algunos voluntarios. Cabe mencionar que en este trabajo se está siguiendo la declaración de Helsinki.

2. CAMPIMETRÍA COMPUTARIZADA

La campimetría computarizada es un método de diagnóstico que permite caracterizar el campo visual de un paciente mediante un estímulo visual, estos estímulos varían dependiendo del método utilizado, pueden ser objetos físicos como lapiceros, punteros laser sobre una pantalla u objetos y/o formas de alto contraste proyectadas en un monitor. El software especializado controla la aparición de estímulos luminosos de distintas intensidades y tamaños en varias posiciones del campo visual [4]. En la figura 1 mostramos un ejemplo de estos equipos comerciales [5]. El paciente presiona un botón cuando percibe uno de los estímulos visuales, lo que permite mapear las áreas donde la percepción es normal y aquellas donde no lo es.



Figura 1. Campímetro computarizado comercial, AP-300 GX2, Bienes de equipos, Montequinto Sevilla, España

2.1 Selección de colores de contraste

En la campimetría computarizada, los colores más utilizados son el blanco y el amarillo; estos son seleccionados por su capacidad de resaltar diferencias en la sensibilidad del campo visual [6]. El blanco es un color estándar debido al contraste que tiene con un fondo oscuro,

mientras que el amarillo puede ser útil para evaluar el campo visual en presencia de cataratas, ya que su longitud de onda atraviesa mejor las opacidades del cristalino. Adicionalmente, el uso de estímulos azules sobre un fondo amarillo (campimetría azul-amarillo) han demostrado ser efectivos en la detección temprana de defectos en el campo visual causados por el glaucoma. Esta combinación de colores es más efectiva por la sensibilidad que presentan las células ganglionares pequeñas, debido a que son las primeras en ser afectadas por la enfermedad [7, 8].

2.2 Ventajas y desventajas de la campimetría computarizada

Si bien es cierto que la campimetría computarizada es una técnica con la que se obtienen muy buenos resultados, tiene el gran inconveniente de no poder ser usada en pacientes con discapacidad visual severa. En la tabla 1 se muestran más desventajas y ventajas de la campimetría computarizada comparada con otras técnicas [9-12].

Tabla 1. Comparación entre técnicas de detección de glaucoma

Técnica	Ventajas	Desventajas
Campimetría Computarizada	Alta precisión y sensibilidad, rápida, no invasiva, fácil de administrar.	Requiere equipos muy costosos y personal entrenado para la toma de datos.
Tonometría	Evaluación rápida y sencilla de la presión intraocular.	No detecta directamente daños en el nervio óptico ni en el campo visual.
Tomografía de Coherencia Óptica (OCT)	Proporciona imágenes detalladas del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas.	Costosa, requiere equipo muy especializado y no puede detectar cambios funcionales tempranos.
Perimetría Manual	Puede ser utilizada en casos donde la tecnología no está disponible.	Menor precisión, mayor tiempo de administración y susceptible a errores del operador y del paciente.
Electrorretinografía Multifocal (mfERG)	Detecta disfunción retiniana antes de que aparezcan cambios en el campo visual.	Técnica compleja, requiere equipo especializado y experiencia del operador.

3. DISEÑO DEL SISTEMA

Como ya se comentó, las tres etapas de este trabajo, mismas que se representan esquemáticamente en la figura 2, serán descritas a detalle en esta sección



Figura 2. Proceso de desarrollo del sistema

3.1 Selección y calibración del hardware

Como primera etapa se realizó el armado del sistema, el cual consta de 3 monitores con una resolución de hasta 1920 x 1080 pixeles [13]. Se seleccionó un dispositivo externo que permite controlar 3 monitores de forma extendida como se observa en la figura 3.



Figura 3. Fotografía del arreglo de 3 monitores

Después se realizaron pruebas para determinar la distancia focal y la apertura de los monitores, con el fin de garantizar una apertura lateral de 180° y una apertura superior de 54.46° , tal como se esquematiza en la figura 4.

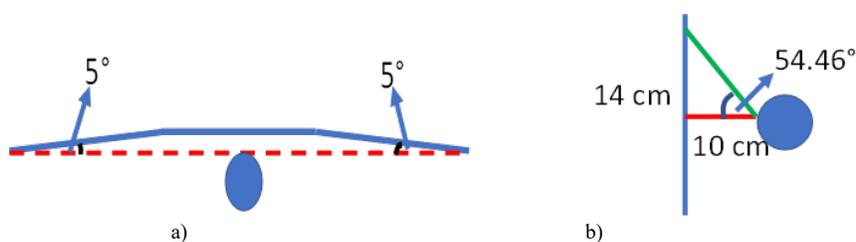


Figura 4. Esquema del arreglo de monitores. a) vista área y b) vista lateral

En la figura 5 se muestra el procedimiento para la calibración del campo visual. Para ello, se seleccionaron los colores verde y azul para no fatigar la vista. Primero, se realizó un barrido horizontal del cuadro azul y se solicitó a los voluntarios presionar un botón del mouse cuando observaran el estímulo azul. Esto detiene el programa y permite medir la distancia a la cual se observó el estímulo, y comprobar si se cubre el rango esperado. Posteriormente se realizó un barrido vertical, solicitando nuevamente que oprimieran el botón del ratón y comprobar con ello la apertura esperada.



Figura 5. Calibración del sistema físico

Para el registro electroencefalográfico, se empleó la gorra de 32 electrodos del sistema EMOTIV EPOC Flex Wireless saline model (Figura6). Las señales electroencefalográficas se obtuvieron con un muestreo secuencial simple de 128 sps, 14 bits de resolución y un ancho de banda de 0.2- 45 Hz [14]. Se realizaron pruebas con sujetos voluntarios para identificar los electrodos activos durante la presentación de los estímulos visuales.

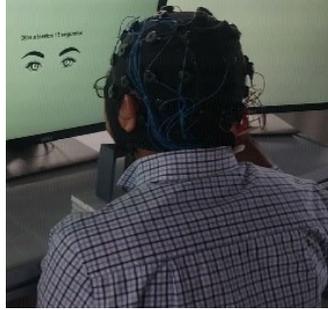


Figura 6. Gorra para electroencefalografía EMOTIV EPOC Flex Wireless saline model

3.2 Desarrollo del software

El software utilizado se desarrolló en Python. Este cuenta con diferentes etapas, en cada una de ellas se realiza un proceso para la visión y toma de información. El software muestra las instrucciones para cada etapa, lo que permite disminuir la interacción del operador con el paciente. Lo anterior evita cualquier perturbación que pueda alterar el registro electroencefalográfico. Dentro de las primeras dos etapas (Figura7), se realizó la calibración de la gorra para electroencefalografía. Se solicitó a los voluntarios mantener los ojos abiertos durante un lapso de tiempo (especificar cuánto tiempo) y después cerrados durante el mismo lapso de tiempo. Lo anterior permite que los electrodos registren movimientos oculares o parpadeos. Esto permite eliminar artefactos de movimiento en el análisis y procesamiento de datos.



Figura 7. Etapas de calibración del software

En la tercera etapa, colocamos una pantalla amarilla con un punto negro en el centro como punto de referencia (Figura 8), para producir una mejor respuesta al estímulo azul (ver apartado 2,2) al generar la saturación de los cono-receptores para los colores rojo y verde.

Para la cuarta etapa se mostró la misma pantalla amarilla con la presentación del estímulo azul de manera aleatoria con distribución de probabilidad uniforme, tanto en espacio como en tiempo. Un vector con dimensiones del número de estímulos que pueden aparecer sobre las dimensiones de todo el arreglo de monitores es creado, tanto para el eje x como para el eje y , cuando un elemento del vector en y es utilizado, este elemento es eliminado lo que reduce la dimensión del vector, el barrido no concluirá hasta que este vector se quede sin elementos. Es importante señalar que el tiempo de permanencia del estímulo azul es de 1 segundo. En esta etapa solicitamos al voluntario observar la pantalla solamente, para contar con datos de posición del estímulo. Posteriormente se verificó con las señales EEG, la posibilidad de detectar los estímulos visuales sin necesidad de que el voluntario realice alguna acción mecánica.



Figura 8. Pantalla amarilla con estímulo azul

Por último, en la quinta etapa (Figura 9), se realizó un barrido similar al de la etapa cuatro. Sin embargo, este estímulo se mostró en diferentes coordenadas, para evitar que el sujeto recuerde la prueba y automatice sus respuestas. Además, solicitamos al sujeto que presionara el botón del mouse cada vez que observara el estímulo azul para almacenar los datos de posición y tiempo de reacción. Con esto, detectamos falsos positivos o falsos negativos al realizar la comparación entre los vectores con los que se generan los estímulos y el vector en el que se almacenaron las respuestas del voluntario. Esta información nos ofreció la posibilidad de evaluar la respuesta en las áreas en las que no fueron detectados los estímulos y corroborar si la persona no fue capaz de visualizarlos. Todos estos datos fueron almacenados en una hoja de Excel (Figura 9) para su posterior análisis y procesamiento.

1	Nombre	Apellidos	Edad	Pixeles X	Pixeles Y	Tiempo (s)
2	Gustavo	Campos	36	2610	210	3.7
3	Gustavo	Campos	36	600	630	5.5
4	Gustavo	Campos	36	180	510	9.4
5	Gustavo	Campos	36	2550	420	15.2
6	Gustavo	Campos	36	2640	120	17.1
7	Gustavo	Campos	36	3060	330	19.1
8	Gustavo	Campos	36	30	0	20.9
9	Gustavo	Campos	36	2370	510	26.5
10	Gustavo	Campos	36	4230	420	28.5
11	Gustavo	Campos	36	4170	570	35.9
12	Gustavo	Campos	36	3690	600	37.9
13	Gustavo	Campos	36	1350	540	39.9
14	Gustavo	Campos	36	90	240	41.9
15	Gustavo	Campos	36	2370	630	45.6
16						
17						



a)

b)

Figura 9. Muestra de resultados de toma de datos: a) hoja de Excel obtenida; b) toma de datos en un paciente

Como parte complementaria, se diseñó un soporte para la barbilla con el objetivo de mantener la misma distancia de los ojos del sujeto a las pantallas. Esto permitió que las personas se encontraran cómodas al momento de la prueba.

3.3 Toma de datos muestra

Por último, se realizó la toma de datos a personas voluntarias en un rango de edad de 20 a 38 años. A continuación, se enlista el procedimiento realizado en la toma de datos:

- 1. Preparación del sujeto:** Primero se realizó un cuestionario donde se analizó la viabilidad de la persona voluntaria, el cual está enfocado en conocer si no ha sufrido de ataques de epilepsia o convulsiones por la exposición a luces intensas [15]. Después se explicaron las pruebas de las diferentes etapas del experimento.

Finalmente, se respondió al sujeto cualquier duda que pudiera tener [16], siguiendo, como ya se comentó la declaración de Helsinki. Después se le colocó la gorra de electroencefalografía del sistema EMOTIV FLEX y se le pidió que se sentara en una silla frente a los monitores, colocando su barbilla en el soporte para mantener la distancia requerida.

2. **Calibración del sistema de electroencefalografía EMOTIV FLEX:** Se realizó la calibración del sistema de EEG EMOTIV FLEX, dentro de la interfaz de usuario de la propia marca. El primer paso es colocar adecuadamente los electrodos de la gorra de 32 canales y que registren las señales electroencefalográficas con una calidad superior al 80% del valor nominal (si cuentan con el valor de impedancia es adecuado ponerlo, que comúnmente son menores a 5KOhms). Los datos EEG son registrados en la interfaz de usuario para posteriormente ser descargados y analizados.
3. **Presentación de estímulos:** Durante el registro electroencefalográfico ejecutamos el programa desarrollado ex-profesor para los estímulos visuales, procurando la sincronización del EEG con los mismos. Esto para lograr que las etapas de calibración con ojos abiertos y ojos cerrados coincidan, tanto en el programa de EMOTIV, como en el programa desarrollado. Los datos obtenidos de posición y tiempo fueron almacenados en una hoja de Excel desde el software diseñado, mientras que en otro libro Excel se almacenaron los datos EEG registrados. La duración de cada prueba fue de 9 minutos 30 segundos.
4. **Análisis de datos:** Los datos fueron analizados y procesados con un software desarrollado en MatLab, el cual se basa en análisis de los momentos estadísticos para la búsqueda de parámetros, patrones y comportamientos correlacionales, que determinarán las bases para definir biomarcadores que ayudarán a determinar el prediagnóstico del glaucoma.

4. RESULTADOS

Se realizaron experimentos en 6 pacientes (2 mujeres y 4 hombres, de un rango de edad de 20-38 años). En la toma de datos se han podido observar diferentes puntos que afectan al sistema y los cuales representan áreas de oportunidad como trabajo futuro.

El proceso de la toma de datos se puede dividir en 3 etapas que se detallan en seguida. En la primera etapa denominada Acondicionamiento, se consideran varios detalles y se sugiere dejar todo el equipo EEG listo un día antes de la toma de datos, esto implica, los electrodos colocados en la gorra, las almohadillas de fieltro fuera de cada electrodo, monitores y soporte de barbilla en posición adecuada, solo para realizar el mínimo de justes.

La Toma de Datos <<per se>>, es la segunda etapa, la cual inicia de 30-60 minutos antes de la llegada del sujeto que se someterá a la prueba. La parte medular de esta etapa es la conexión y calibración del EEG, de tal forma que se alcance una conectividad de 100% en los 32 sensores (el software marcará en verde los 32 sensores).

La tercera y última etapa del proceso experimental consiste en la detención de la lectura de datos de los electrodos, apagar el software, detener la grabación del video, desconectar el

dificultad los límites laterales e incluso sobrepasarlos en algunos participantes. No obstante, se han encontrado dificultades para cubrir los límites superiores e inferiores. La visión superior puede ser abarcada si se acerca al paciente al dispositivo.

Se detectaron dos problemas si los sujetos se sientan muy cerca de los monitores: en primer lugar, la visión se fatiga rápidamente debido a la intensidad del color; en segundo lugar, se produce un desenfoque durante periodos prolongados, lo cual podría generar resultados erróneos. Para mitigar estos inconvenientes, se propone reducir el brillo y la saturación de los colores en los monitores mediante el software, además de alejar al paciente a una distancia de 20 cm y concentrar el estudio en la visión superior.

Esta decisión se basa en la literatura [17, 18], que indica que el glaucoma en etapas tempranas se manifiesta principalmente en las zonas superiores, tanto a la derecha como a la izquierda. Para llevar a cabo esta adaptación, moveremos el punto de referencia hacia la parte inferior, enfocando la vista en la parte superior. A pesar de estos desafíos, el sistema ha demostrado ser eficaz para detectar la sensibilidad de la visión periférica y determinar los rangos óptimos para nuestros estudios.

6. REFERENCIAS

- [1] Y.-C. Tham, X. Li, T. Y. Wong, H. A. Quigley, T. Aung, and C.-Y. Cheng, "Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: A systematic review and meta-analysis," *Ophthalmology*, vol. 121, no. 11, pp. 2081-2090, 2014, doi: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013.
- [2] H. A. Quigley, "Glaucoma: A silent thief of sight," *American Academy of Ophthalmology, EyeNet Magazine*, Noviembre 2006. [En línea]. Disponible: <https://www.aao.org/eyenet/article/glaucoma-silent-thief-of-sight>.
- [3] L. E. Macedo-de la Concha, R. Velasco-Ramos, J. C. Rojas-Bautista, and J. Ayala-Delgado, "Prevalencia del glaucoma en población adulta de México," *Revista Mexicana de Oftalmología*, vol. 91, no. 4, pp. 182-189, 2017, doi: 10.24875/RMO.17000054.
- [4] Central Ocular, "¿Qué es la campimetría y cuándo está indicada?" [En línea] Central Ocular, Disponible: <https://cpoftalmologia.pt/en/exame/perimetria-estatica-computorizada/>. [Accedido: 01-Agosto-2024].
- [5] GX2, "Campímetro Automático AP-300," [En línea]. Disponible: <https://gx2.es/producto/campimetro-automatgico-ap-300/>. [Accedido: 01-Agosto-2024].
- [6] F. K. Horn and J. B. Jonas, "Comparative assessment of frequency doubling perimetry, blue on yellow perimetry, and white on white perimetry in the detection of early glaucoma," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 56, no. 8, pp. 4781-4787, 2015.
- [7] A. Klistorner y S. Graham, "Multifocal Blue-on-Yellow Visual Evoked Potentials in Early Glaucoma," *Ophthalmology*, vol. 114, no. 9, pp. 1613-1621, Septiembre. 2007.

- [8] D. F. Garway-Heath and R. A. Hitchings, "Optimizing the detection of glaucomatous damage with visual function tests," *Progress in Retinal and Eye Research*, vol. 44, pp. 40-57, 2014.
- [9] A. Morejón, "Desarrollo de una fórmula predictora del glaucoma a partir de la perimetría FDT Matrix y OCT aplicable en atención primaria," tesis doctoral, Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 2019.
- [10] D. A. Iyengar y G. C. Fowler, "Tonometry," Pfenninger and Fowler's Procedures for Primary Care, Capítulo 58, pp. 371-375, Elsevier, 2019.
- [11] K. Hirasawa, J. Yamaguchi, K. Nagano, J. Kanno, M. Kasahara, y N. Shoji, "Structure–Function Relationships and Glaucoma Detection with Magnification Correction of OCT Angiography," *Ophthalmology Science*, vol. 2, no. 2, artículo 100120, Junio 2022.
- [12] W. S. Shalaby, S. Sinha, J. S. Myers, y R. Razeghinejad, "Virtual Perimetry," *Advances in Ophthalmology and Optometry*, vol. 8, no. 1, pp. 213-237, Agosto. 2023.
- [13] Dell Inc., *Dell P2317H monitor: Guía del usuario*, [En línea]. Disponible: https://dl.dell.com/manuals/all-products/esuprt_display_projector/esuprt_display/dell-p2317h-monitor_user's-guide_es-mx.pdf.
- [14] EMOTIV, "EPOC Flex," 27 de julio de 2020. [En línea]. Disponible: <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/epoc-flex/technical-spec>.
- [15] UCB, "Epilepsia fotosensible: ¿Qué es?", [En línea]. Disponible: <https://ucbcares.es/pacientes/epilepsia/es/content/684765574/epilepsia-fotosensible-que-es>. [Accedido: 01-agosto-2024].
- [16] Leni Anta López, "Protocolo de campimetría," Máster en enfermería oftalmológica, Universidad de Valladolid, IOBA, 2012-2013.
- [17] Cox, M. J., Spaeth, G. L., "Capítulo 15 - Glaucoma," en *Oftalmología. Secretos*, 5ª ed., editado por Gault, J., 2023, pp. 143-150, ISBN 978-84-1382-401-7, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-84-1382-401-7.00015-1>. (<https://www.clinicalkey.com/student/content/book/3-s2.0-B9788413824017000151>)
- [18] Gurría Quintana, L., "Capítulo 32 - Glaucoma," en *Oftalmología en la práctica de la medicina general*, 5ª ed., editado por Hernández, E., Wiechers, E., McGraw-Hill; 2020. <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2801§ionid=236654063>.