

Sistema de detección de pacientes con estrabismo por electrooculografía

J. Ramírez¹, D. Cruz², P. M. Ballesteros², I. Salgado³ y J. I. Chairez⁴

¹Facultad de medicina, Universidad Autónoma del Estado de México

²SEPI, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, IPN

³Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, IPN

⁴Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, IPN

Resumen— El estrabismo es una patología compleja que se genera por desviaciones horizontales, verticales y oblicuas en los ojos. Se presenta en relativa frecuencia en la infancia entre el 2 al 4% y en un 2% de la población en general. En este trabajo se presenta un estudio de la señal de electrooculografía para la detección de pacientes con estrabismo sistema de adquisición de la señal de electrooculograma para el tratamiento de pacientes con estrabismo. El estudio se centra en la extracción de características se proponen algunas terapias para la rehabilitación y la identificación de los diferentes tipos de estrabismo existentes según el movimiento ocular del paciente.

Palabras clave—Electrooculograma, estrabismo, rehabilitación

I. INTRODUCCIÓN

Se puede definir el estrabismo como la posición ocular anormal o cuando los ejes visuales no intersectan en el objeto de atención y que es consecuencia de alteraciones en la visión binocular o del control neuromuscular de los movimientos oculares [1]. Se puede clasificar al estrabismo de innumerables maneras. Sin embargo, la forma más sencilla, es clasificarlo de acuerdo a la dirección de la desviación y a la constancia de la misma. En cuanto a la desviación, si es hacia adentro se llama endodesviación, hacia afuera exodesviación, hacia arriba hiperdesviación y hacia abajo hipodesviación. Si la desviación es constante, es decir, está presente todo el tiempo, se le conoce como tropia; si la desviación es latente y sólo se demuestra mediante maniobras de exploración se llama foria, si se presenta en forma intermitente, en ocasiones constante y en otras latentes se llama foria-tropia. Así la desviación hacia adentro que se manifiesta en forma constante se denomina endotropia, si es latente endoforia y si es intermitente endoforiotropia (Ver figura 1) [2].

Una desviación ocular puede estar condicionada a un sin número de factores, desde un punto de vista clínico y descriptivo es conveniente dividir al estrabismo de acuerdo a los mecanismos etiopatogénicos en: inervacional, acomodativo, anatómico y paralítico [3].

Para el tratamiento del estrabismo, es fundamental conocer cuál es el tipo de estrabismo que se presenta. El diagnóstico se establece con una exploración oftalmológica completa por parte del médico tratante para establecer las características de la desviación [4], [5] [6].

En el hospital de la Luz, se reporta un promedio de 80 consultas por día, y opera alrededor de 15 pacientes por semana. Del total de los tratamientos reportados, el 70% pertenece al grupo pediátrico, el porcentaje restante esta conformado por adultos.

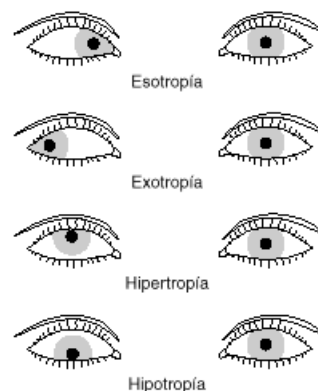


Figura 1. Clasificación del estrabismo según el movimiento de los ojos

La electrooculografía es una técnica destinada a la medición del potencial de reposo de la retina. La señal resultante es denominada electrooculograma y el dispositivo que permite la medición de ésta señal es el electrooculógrafo. En la señal de EOG se explota el potencial que tiene la córnea con respecto al de la retina. Cuando el ojo se mueve, el movimiento causa una diferencia de potencial que es captada por los electrodos puestos en cada lado del ojo [7], [8], [9].

La exploración para la clasificación del estrabismo presentada por Arroyo-Yllanes [2] incluye una revisión minuciosa del paciente, puede ser sustituida por un sistema automático basado en el estudio del electrooculograma. Dentro de las técnicas más explotadas en el tratamiento y clasificación de señales se encuentran las denominadas redes neuronales estáticas (RNA), las cuales, son un sistema de procesamiento en paralelo que permite emular la forma de aprendizaje del ser humano con ciertos algoritmos matemáticos, los cuales en general, minimizan una función de costo produciendo una ley de aprendizaje que permite la actualización de los parámetros libres de la RNA [10]. Tomando como referencia el estudio frecuencia de la señal de electrooculografía, se propone una RNA clásica con capa oculta entrenada con el algoritmo de *backpropagation*.

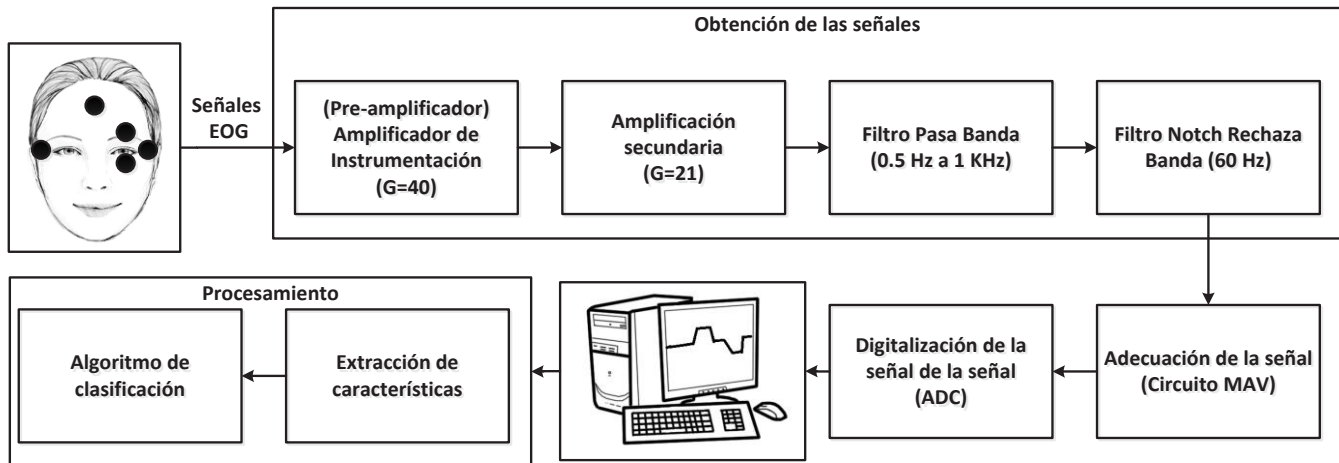


Figura 2. Metodología de obtención del EOG y procesamiento digital de la señal

El resto del documento está organizado de la siguiente manera, en la sección siguiente se presenta la metodología para la adquisición de la señal, la extracción de características aplicando un estudio de Fourier a la señal. Posteriormente en la sección III se muestran los resultados obtenidos en el presente trabajo. Finalmente en la sección IV se dan algunas conclusiones respecto al trabajo.

II. METODOLOGÍA

La metodología seguida en este trabajo la podemos dividir fundamentalmente en dos partes, la adquisición de la señal electrofisiológica y posteriormente su procesamiento digital para la extracción de características y las propuestas de las terapias de los pacientes.

- 1) *Adquisición de la señal*: La etapa de amplificación incluye un amplificador de instrumentación con ganancia de 1700, con el correspondiente circuito de protección. La etapa de filtrado está constituida por un filtro supresor de banda con función de transferencia y frecuencia de corte de 60 Hz.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{s^2 + \frac{1}{R^2 C^2}}{s^2 + s\left(\frac{4\sigma}{RC}\right) + \frac{1}{R^2 C^2}} \quad (1)$$

Un filtro pasa bajas con frecuencia de corte de 100 Hz y función de transferencia dada por la siguiente ecuación

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + \frac{2}{RC}s + \frac{1}{R^2 C^2}} \quad (2)$$

Finalmente un filtro pasa altas con frecuencia de corte de 0.1 Hz.

- 2) *Rectificación*: Se implementó un circuito MAV (mean absolute value, por sus siglas en inglés) para obtener la señal rectificada, este circuito constituye un rectificador de corriente alterna a corriente directa.

- 3) *Acondicionamiento de la señal*: Una vez obtenida la señal rectificada a la salida del circuito rectificador de onda completa se procedió a hacer la adecuación de la señal, para ser transmitida a la computadora con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos NI-DAQ6002 de *Texas instruments* para su posterior tratamiento en el software de *Matlab*.

- 4) *Extracción de características*: Una vez recibidos los datos de la señal de electrooculografía, se procedió a un análisis frecuencial de la señal. Se normalizó la señal dentro de un valor de 0 a 1 para después aplicarle la transformada rápida de Fourier, el vector de la magnitud fue dividido en 4 secciones. Para cada sección se obtuvo su norma euclidiana para saber la energía de la señal.

- 5) *Diseño de la RNA*: Fue diseñada bajo los estándares convencionales para el tratamiento de señales con esta técnica, es decir, se propuso una red neuronal con una capa oculta y una capa de salida como se muestra en la figura (3). La capa de entrada contiene los cuatro valores de magnitud obtenidos en el paso anterior. La capa oculta fue propuesta con 100 neuronas. Y la capa de salida de la red quedo constituida por dos clases: los pacientes con estrabismo, y los pacientes sin estrabismo. Las funciones de activación se escogieron con funciones sigmoideas. El algoritmo de actualización de los parámetros libres de la red fue seleccionado como el clásico algoritmo de *backpropagation*.

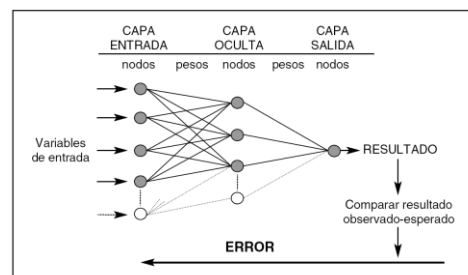


Figura 3. Estructura de la RNA. En la capa oculta se eligieron un total de 100 neuronas.

III. RESULTADOS

1) *Obtención de la señal y acondicionamiento:* En primera instancia como resultado de este estudio, se realizó la implementación del circuito de EOG, en un circuito PCB, el cual fue previamente diseñado en el ambiente de ARES, dicho circuito puede observarse en la figura 4. Los circuitos empleados para el desarrollo de este PCB, fueron AD620, los cuales son amplificadores de instrumentación convencionales.

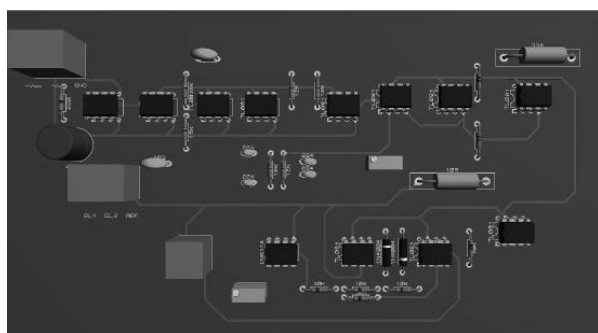


Figura 4. Diagrama en 3D de la disposición final de los elementos electrónicos que conforman el EOG.

Con las señales generadas se obtiene información acerca de los movimientos oculares. El ojo actúa como un dipolo en el que el polo anterior es positivo y el polo posterior se negativo. Se obtuvieron los siguientes resultados con respecto a la adquisición de la señal.

1. Mirada a la Izquierda, la córnea se acerca al electrodo cerca del canto externo, resultando en un cambio positivo en curso en la diferencia de potencial registrado en ella.
2. Mirada derecha, la córnea se acerca al electrodo cerca del canto interno que resulta en un cambio negativo en curso en la diferencia de potencial registrada de él.
3. Mirada hacia arriba, la córnea se acerca al electrodo cerca del canto externo, resultando en un cambio positivo en curso en la diferencia de potencial registrado en ella.
4. Mirada hacia abajo, la córnea se acerca al electrodo cerca del canto interno que resulta en un cambio negativo.

Como pruebas preliminares del estudio de la señal de electrooculografía, se obtuvieron las señales de 4 voluntarios, de los cuales, uno presenta un estrabismo clasificado de leve a moderado. El paciente se encuentra bajo tratamiento y sirvió como patrón para determinar si otros pacientes pertenecen pueden presentar estrabismo. Se obtuvieron un total de 40 electrooculogramas, diez de cada paciente, los cuales fueron tomados realizando movimientos del ojo en direcciones: izquierda, derecha, arriba y abajo. Este ejercicio fue propuesto tratando de emular el estudio ocular que realiza un médico oftalmólogo. En la figura (5) se presenta la interfaz computacional propuesta para obtener el EOG. Se pidió al paciente que fijara su mirada al centro y después que siguiera los diferentes puntos que aparecían en la computadora. En la figura (6) se muestra uno de los estudios realizados a un

paciente con estrabismo realizando el ejercicio de seguir el punto mostrado en la pantalla y dirigiendo su mirada hacia la derecha.

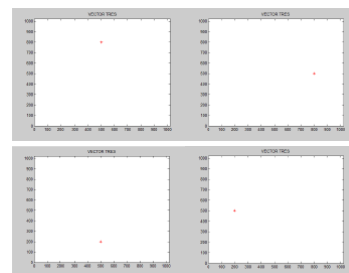


Figura 5. Estudio del movimiento ocular para su clasificación

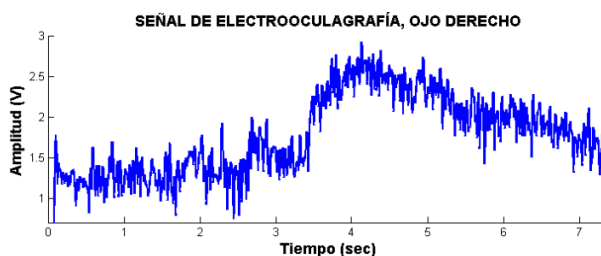


Figura 6. Obtención de la señal de EOG con movimiento del ojo hacia la derecha

En la figura (7) se observa la magnitud de la transformada de Fourier de la señal provista por el EOG para un paciente sin padecimientos. Este mismo proceso se presenta para una de las señales obtenidas del paciente patrón que padece estrabismo. Podemos observar, como la magnitud de la transformada de Fourier es menor para un paciente con estrabismo en las componentes frecuenciales bajas, y posteriormente tiene un comportamiento similar en frecuencias altas. Recordemos que la señal de EOG se encuentra con frecuencias menos a los 35 Hz. Esta notoria diferencia permitió seleccionar las clases de salida que se propusieron para el entrenamiento de la RNA.

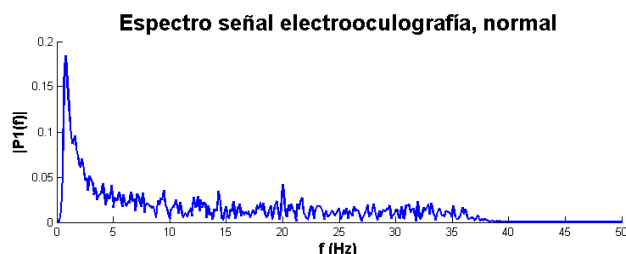


Figura 7. Obtención de la transformada de Fourier del EOG de un paciente sin padecimiento

Para el entrenamiento de la RNA, como se mencionó anteriormente, se tomaron 40 señales, 25% de estas señales pertenecen a un paciente con estrabismo y el otro 75% a pacientes sanos. Se escogieron 10 iteraciones para el proceso de entrenamiento de la red, para el entrenamiento, validación

y prueba, las señales se dividieron en 60% para entrenamiento, 20% para validación y 20% para prueba. El porcentaje de aciertos por la red, debido a la gran diferencia en las magnitudes del espectro en frecuencia, fue de 100%. En la figura 9, se muestra el desempeño de la RNA, los mejores resultados se obtuvieron realizando 4 iteraciones, y seleccionando un número total de 100 neuronas en la capa interna. Podemos observar como el error cuadrático medio se encuentra en la mayoría de las pruebas de la RNA por debajo del 0.01. Se obtuvo

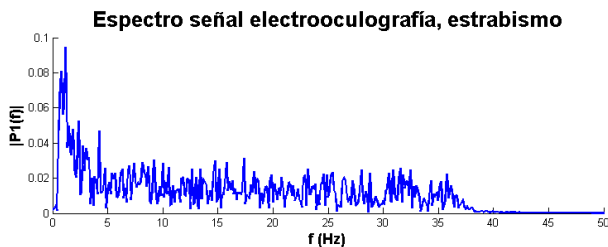


Figura 8. Obtención de la transformada de Fourier del EOG de un paciente con estrabismo

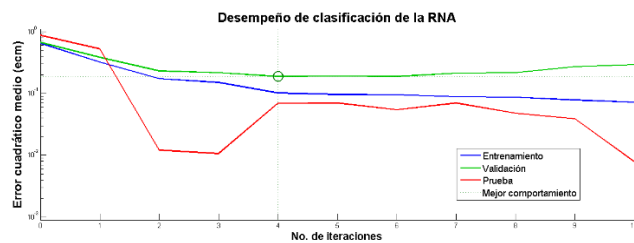


Figura 9. Entrenamiento de la red neuronal artificial por el método de backpropagation

IV. CONCLUSIÓN

En este artículo se presenta una aplicación para la identificación de pacientes con estrabismo. El EOG fue obtenido y procesado para poder obtener el comportamiento frecuencial de la señal. La diferencia entre las magnitudes del espectro en frecuencia del EOG para un paciente con estrabismo y un paciente sano constituyó la principal herramienta para poder proponer un sistema de clasificación basado en inteligencia artificial. De esta manera, el porcentaje de clasificación al implementar una red neuronal artificial de tipo estática entrenada con el algoritmo de backpropagation fue del 100. Es importante notar que solo se establecieron dos clases para la red; los pacientes con estrabismo y los pacientes sin estrabismo. Debido a los resultados positivos encontrados en este trabajo a la hora de hacer la clasificación, se puede proponer como trabajo a futuro la clasificación del paciente y su tipo de estrabismo mostrado en la figura 1. El avance actual que se tiene del proyecto contempló la adquisición de señales obtenidas mediante dos canales de EOG, para lograr la clasificación del tipo de estrabismo como se muestra en la figura 1, es necesario obtener una señal de EOG para cada

uno de los ojos del paciente. De esta manera, no solo será posible establecer si el paciente tiene estrabismo o determinar el tipo de estrabismo tiene, se podría estudiar que tan grave o que tan avanzada se encuentra la enfermedad o el efecto de la rehabilitación en las terapias propuestas por el médico.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico por su apoyo para la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. D. Romero "Estrabismo: Aspectos clínicos y tratamiento. 1° edición, México, Dala, 2000, pp. 129-130.
- [2] Adán-Hurtado, Arrollo-Yllanes ME. "Frecuencia de los diferentes tipos de estrabismo", Rev. Mex. Oftalmol, 2009, 83(6), 340-348.
- [3] Arrollo-Yllanes ME, "Frecuencia de los diferentes tipos de estrabismo", Rev. Mex. Oftalmol, 1987, 61(2), pp. 56-62.
- [4] Arroyo-Yllanes, M.E., Benitez-Nava M. A., Garrido, E. "Ophthalmological Changes in patients with Cerebral Palsy" Am. Orthop. Journal, 1998, 48, pp. 104-111.
- [5] Arroyo-Yllanes, M.E., Benitez-Nava M. A., Garrido, E. "Comportamiento del estrabismo en la parálisis cerebral" Cir Ciruj, 1999, 67, pp. 208-211.
- [6] Becerril Carmona, A. F., Arroyo-Yllanes M. E., Paciuc-Beja M., "Alterations of ocular mobility in Sown Syndrome", Am. Orthopt. J. , 1997, 47, 181-188.
- [7] D. Varier, V. Krishnamoorthy, "An electrooculogram based real time system for measurement and analysis of visual stimuli for detecting strabismus and nistagmus", 2014 International conference of Advances in Computing, Communications and Informatics.
- [8] L. Kosikowski, A. Czyzewski, "Computer based system for strabismus and amblyopia Therapy", Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information technology, 2009.
- [9] M. Fernandez, A. Sánchez, M. Sosa, C. Perez, M. García, "Método alternativo en el tratamiento de la ambliopía y visión binocular", Medisan, 2000, 4, 27-32.
- [10] Haykin, "Neural networks: A Comprehensive Foundation", Prentice-Hall, 1999, 2° edición.