

## **Procesamiento digital de señales de Potencial Evocado Visual mediante Transformada de Fourier y Transformada wavelet.**

### **Digital processing of visual evoked potential signals by means of Fourier Transform and Wavelet Transform.**

Duliet Hong León<sup>1</sup>, Jaime Eliecer Pérez Fernández<sup>2</sup>, Ernesto Govea Alcaide<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Granma, Cuba, duliet@udg.co.cu, <sup>2</sup>Universidad de Granma, Cuba, jaime@udg.co.cu,

<sup>3</sup>Universidad de Granma, Cuba, egoveaa@udg.co.cu.

#### **RESUMEN**

Los Potenciales Evocados Visuales (PEV) son cambios de potenciales eléctricos registrados en el cráneo a nivel de la corteza occipital debido a estímulos de los receptores de la retina, o más específicamente es una respuesta eléctrica del sistema nervioso central a un estímulo visual. El registro de estas señales constituye una de las pruebas electrofisiológica más usuales para la exploración complementaria que indica objetivamente el estado funcional de la vía visual, sus posibles alteraciones y los cambios evolutivos de las mismas. El estudio del PEV en la práctica clínica permite el diagnóstico de innumerables e importantes patologías oculares como el glaucoma, retinosis pigmentaria, degeneración vascular retiniana y patologías del nervio óptico en general. En este trabajo se aborda el uso de métodos matemáticos para el procesamiento digital de señales bioeléctricas, que permita obtener determinadas características utilizadas en la clínica, tales como la polaridad del estímulo, las latencias de los picos y la morfología, entre otras. Para ello se realizó un análisis con transformadas de Fourier y transformadas wavelets teniendo en cuenta las características de las señales de PEV y que estas son unas de las técnicas de procesado de señales más importantes en el análisis tiempo-frecuencia de los datos.

Palabras clave: potenciales evocados visuales; señales bioeléctricas; electrofisiológica.

#### **ABSTRACT**

Visual evoked potentials (VEP) are changes in electrical potentials registered in the skull at the level of the occipital cortex due to stimuli from the receptors of the retina, or more specifically, an electrical response of the central nervous system to a visual stimulus. The recording of these signals is one of the most common electrophysiological tests for the complementary examination that objectively indicates the functional status of the visual system, its possible alterations and the evolutionary changes of them. The study of the VEP in clinical practice allows the diagnosis of innumerable and important ocular pathologies such as glaucoma, retinitis pigmentosa, retinal vascular degeneration and pathologies of the optic nerve in general. This paper is about the use of mathematical methods for the digital processing of bioelectric signals, that allows obtaining certain characteristics used in the clinic, such as the polarity of the stimulus, the latencies of the peaks and the morphology, among others. To do this, an analysis was performed with Fourier transforms and wavelet transforms taking into account the characteristics of the VEP signals and that these are some of the most important signal processing techniques in the time-frequency analysis of the data.

Keywords: Visual evoked potentials; bioelectric signals; electrophysiological.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las técnicas electrofisiológicas forman parte de los numerosos exámenes complementarios que existen para la exploración del sistema nervioso en el campo de la Neuroftalmología.

Una de las pruebas electrofisiológica más usuales para la exploración complementaria que indica objetivamente el estado funcional de la vía visual, sus posibles alteraciones y los cambios evolutivos de las mismas, es el Potencial Evocado Visual (PEV). Para su realización se hace imprescindible disponer de herramientas médicas de alta tecnología que permitan el registro y análisis de la actividad eléctrica de la retina o de la corteza cerebral como respuesta a un estímulo visual (Benítez, Pérez, Benítez del Castillo, & Pérez-Salvador).

El PEV es un potencial electrofisiológico evocado que puede ser extraído usando promedios de señal de la actividad electroencefalográfica de las células en la corteza occipital que se transmiten en forma de potenciales de acción desde los receptores de la retina. El registro de estos potenciales puede proveer una información importante de diagnóstico con respecto a la integridad funcional del sistema visual (Vernon Odom et al., 2004).

El estudio del PEV permite el diagnóstico temprano y objetivo de innumerables e importantes patologías oculares como el glaucoma, retinosis pigmentaria, degeneración vascular retiniana y patologías del nervio óptico en general (Benítez et al.). Suponen además un elemento de aproximación al pronóstico funcional esperable de ciertas patologías, así como en la valoración objetiva en pacientes sospechosos de simulación por deficiencia visual, en el diagnóstico pre y post-operatorio del aparato visual como resultado de intervenciones quirúrgicas tales como la córnea, segmento posterior, catarata y otros similares, permite realizar una predicción de resultados muy importantes en beneficio del cirujano, así como las expectativas del paciente.

Existen dos tipos principales de estimulación visual para el registro de PEV, lumínicos y estructurados. La estimulación basada en modificaciones luminosas son los PEV por flash (PEVF), que son emitidos como un destello uniforme de luz blanca. El estímulo estructurados se presentan como un tablero de ajedrez o damero blanco y negro donde los cuadros cambian de color alternativamente, estos son conocidos como PEV patrón o estructurados (PPEV) (Benítez et al.).

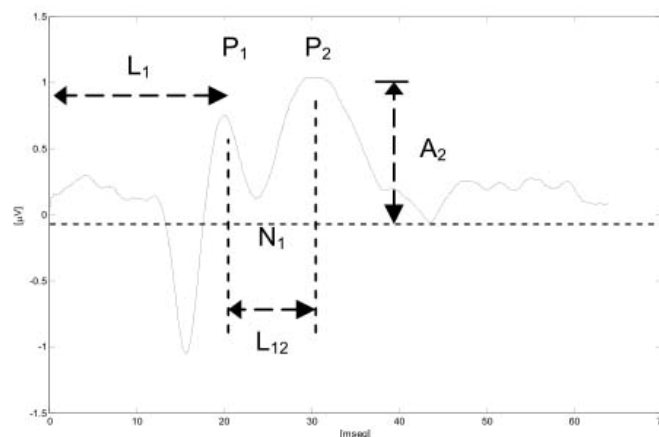
### **Componentes de la actividad de los PEV**

Los registros de los PEV, ya sean provocados por estímulos visuales lumínicos o estructurados, se representan en gráficas, donde el eje de ordenadas corresponde a la amplitud del fenómeno eléctrico, expresado en microvoltios ( $\mu V$ ), y el eje de abcisas, al tiempo de aparición del mismo medido en

milisegundos (ms). El origen del eje corresponde al momento de la presentación del estímulo. De ahí, que el tiempo que tarde en aparecer el PEV se denomine latencia (Benítez et al.).

Los PEV poseen determinadas características utilizadas en la clínica, tales como la polaridad del estímulo, las latencias de los picos y la morfología, entre otras (Vernon Odom et al., 2004).

La nomenclatura para los distintos componentes son *P* y *N*, haciendo referencia a su polaridad positiva o negativa, seguidas por un subíndice numérico de orden de aparición en el trazado. *L* se refiere a la latencia en milisegundos, mientras *A* es la amplitud de la onda.



**Figura 1. Parámetros de los PEV.** Fuente: (Vernon Odom et al., 2004).

### Adquisición y procesamiento de PEV

El proceso de registro y análisis de PEV consta de 3 etapas: adquisición de la señal, procesamiento y análisis. La etapa de adquisición, tiene como objetivo obtener los registros de las señales bioeléctricas evocadas a partir de un estímulo. La segunda etapa, que es donde se realiza el procesamiento de las señales obtenidas, va a permitir saber qué propiedades tiene el conjunto de datos adquiridos. La tercera y última etapa, el análisis, constituye el objetivo final del proceso, donde se calcularán los rasgos clínicos de importancia diagnóstica.

Para el registro de los PEV se emplean equipos médicos que permiten la adquisición de las señales electrofisiológicas a partir de un conjunto de estimuladores visuales y sistemas computarizados que utilizan herramientas de procesamiento de señales. Las señales eléctricas que vienen de los electrodos son recibidas por amplificadores que se encargan de filtrarlas, amplificarlas y presentarlas al sistema

informático para que este transforme la señal analógica en digital, la introduzca en memoria, la analice e imprima los resultados (Charroó et al., 2005).

La adquisición se realiza mediante electrodos aplicados en el cuero cabelludo, que pueden registrar cambios en los potenciales eléctricos asociados con la actividad evocada por la estimulación. El número de estimulaciones es variable, entre 30 y 200, siendo habitual un promedio entre 80 y 100. Se realiza más de un registro del mismo ojo, superpromediándolos posteriormente para dar mayor fiabilidad a la prueba.

Las señales eléctricas registradas son transformadas en un valor numérico por un convertidor analógico-digital, por lo que la señal electrofisiológica se representa en su memoria por una serie ordenada de números. Sobre las señales digital se puede operar matemáticamente permitiendo extraer señales muy débiles inmersas en el seno de numerosas señales parásitas, llamadas ruido de fondo (Gila, Malanda, Rodríguez, Rodríguez, & Navallas, 2009).

En el área de procesamiento de señales, los filtros son dispositivos o procesos que eliminan de una señal algún componente o característica no deseado (Becerra, 2017).

Filtrar una señal significa someterla a un proceso lineal diseñado para alterar su espectro de una manera determinada. Se realiza para acondicionar la señal para una mejor interpretación de la misma (Marsá Pérez, 2015).

Existen diversas técnicas de filtrado para tratar de menguar los efectos negativos provocados por el ruido como el uso de filtros digitales de respuesta finita (en inglés *Finite Impulse Response*, FIR) e infinita (en inglés *Infinite Impulse Response*, IIR), filtro de medianas y filtros basados en análisis tiempo-frecuencia como la transformada rápida de Fourier (en inglés, *Fast Fourier Transform*, FFT) y la transformada de Wavelet (en inglés, *Wavelet Transform*, WT), entre otros.

En este trabajo se aborda el uso de métodos matemáticos para el procesamiento de PEV, que permitan obtener determinadas características utilizadas en la práctica clínica, tales como la polaridad del estímulo, las latencias de los picos y la morfología, entre otras. Para ello se realizó un estudio con FFT y TW, teniendo en cuenta las características de los PEV y que estas son unas de las técnicas de procesado de señales más importantes en el análisis tiempo-frecuencia de los datos.

## 2. METODOLOGÍA

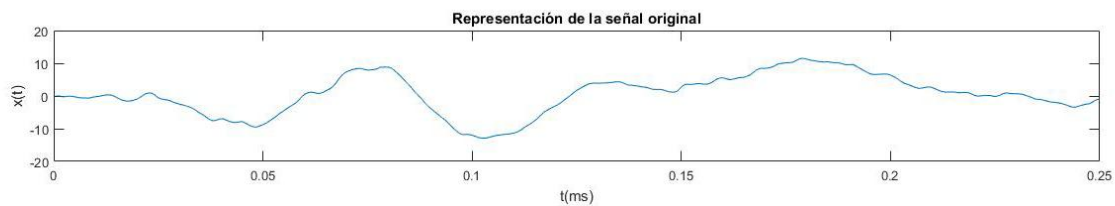
Para llevar a cabo la investigación se realizó el análisis de un conjunto de datos obtenidos a partir del registro de potenciales evocados por estimulación estructurada. Las señales se ampliaron mediante un amplificador de ganancia elevada, pues la señal de PEV es muy débil; los filtros con ancho de banda de 1

a 70 Hz. La duración de los registros es de 500 milisegundos. Para el procesamiento y simulación de los datos registrados se utilizó el software de procesamiento matemático MATLAB.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

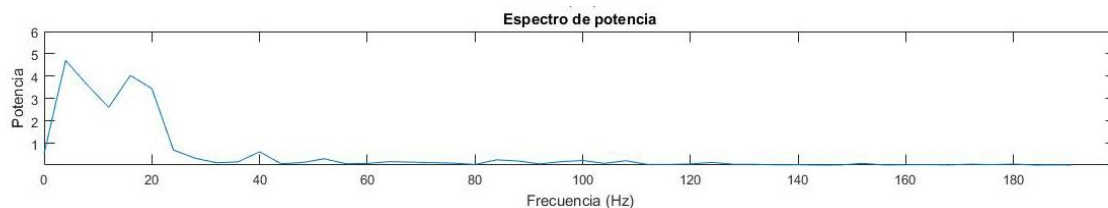
Una de las técnicas de procesamiento de señales más importantes en el análisis de datos de series temporales es la FFT, algoritmo rápido y eficiente, que además, funciona de manera discreta al ser una optimización de la DFT, ya que en sistemas con señales digitalizadas la transformación de Fourier clásica no funciona, su coste computacional es muy bajo y por ello que se ha convertido en la base de la mayoría de los trabajos de análisis de datos obtenidos a partir estudios electrofisiológicos (Gómez Figueroa, 2016).

La transformada de Fourier descompone la señal como la suma de senos y cosenos de diferentes frecuencias y amplitudes desfasadas en el tiempo. En las aplicaciones de ingeniería y tratamiento de señales, se considera el proceso de manera discreta y no continua, puesto que los sistemas de adquisición de datos operan de manera digital (Macías Castillo, 2014).



**Figura 2. Señal original obtenida de los registros de PEV.**

La FFT de la señal permite identificar los componentes de frecuencia de la señal.



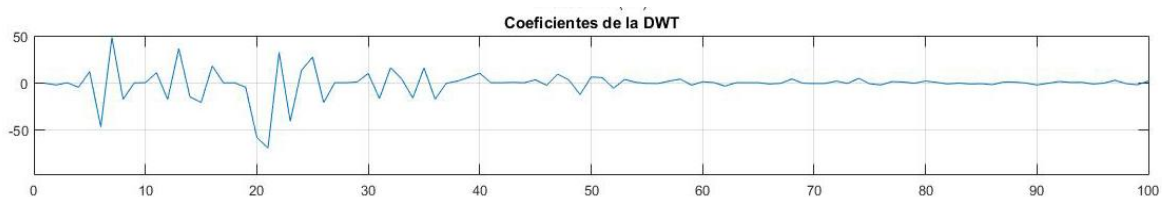
**Figura 3. Espectro de potencia de la señal.**

La FFT se utiliza para obtener una representación en el dominio de la frecuencia de una señal de datos, como es el caso de los PEV, sin embargo, esto tiene dos grandes limitaciones, una consiste en que los cambios en la estructura de frecuencia en el tiempo son difíciles de visualizar, y el otro en que las señales PEV no cumplen con el principio de que las señales a tratar con Fourier deben ser estacionarias, por lo que no se obtiene información acerca del instante en que aparecen/desaparecen las diferentes componentes de frecuencia, es decir que la FFT no brinda información de eventos transitorios (Gómez Figueroa, 2016).

Otro método de análisis de tiempo-frecuencia, que permiten valorar la evolución temporal comprendida en los cambios de frecuencia es la WT. A diferencia del análisis de Fourier, este separa la distribución de energía de una señal en distintos componentes de frecuencia en el tiempo. Este análisis puede interpretarse como un banco de filtros, con un ancho de banda proporcional a su frecuencia. La principal ventaja de las wavelet es su variabilidad en el tamaño de las ventanas deslizantes, siendo anchas para las frecuencias bajas y angostas para las altas; de esta manera se lleva a una óptima resolución tiempo frecuencia en todos los rangos de frecuencia. Dado que las ventanas se adaptan a los transitorios de cada escala, las wavelet no requieren la condición de estacionariedad. Además es una útil herramienta de uso común en el análisis de potenciales relacionados con eventos (Zayas Daniel, 2015).

Mediante la representación tiempo-frecuencia, los finos detalles de la estructura de los PEV pueden ser examinados a una mayor escala; en particular, permite una resolución en tiempo teóricamente ilimitada para la detección de picos de corta duración, y admite una flexible selección de funciones bases wavelet para el análisis de diferentes tipos de PE. Entre las aplicaciones más comunes del análisis wavelet en los PE se encuentran (Zayas Daniel, 2015):

- la ubicación precisa en el tiempo de la ocurrencia de solapamiento entre picos en respuestas evocadas de tallo cerebral;
- la extracción de registros PE individuales (sin promediar) a partir del ruido de fondo del EEG;
- la descomposición del PE promediado en funciones de detalle ortogonal que desliga el comportamiento experimental de la forma de onda en bandas de frecuencia ortogonales;
- el uso de los coeficientes wavelet extrae de forma concisa información importante de los PE que permiten predecir el rendimiento de la detección de las señales humanas.



**Figura 4. Descomposición con wavelet para el nivel 8.**

La FFT es una de las herramientas más utilizadas para el estudio de señales que presentan características que se evidencian con claridad en el dominio de la frecuencia ya que permite determinar el contenido frecuencial de la señal. Esta técnica es suficiente para señales estacionarias ya que presenta buena localización en frecuencia, sin embargo la información que provee el análisis de Fourier no está

localizada en el tiempo. En consecuencia, las señales de PEV, típicamente no estacionarias, no quedan descriptas completamente mediante esta técnica.

Por su parte las wavelets son una alternativa para representar señales no estacionarias ya que permite simultáneamente un estudio en dominio tiempo-frecuencia, a diferencia de Fourier.

#### 4. CONCLUSIONES

1. En esta investigación analizaron técnicas matemáticas para el procesamiento de señales biomédicas, pues estas se encuentran generalmente muy contaminadas por ruido debido a su baja amplitud.
2. Aunque la FFT es uno de los métodos de procesamiento de señales más importantes en el análisis tiempo-frecuencia de los datos, tiene algunas desventajas que limitan su uso en el procesamiento de PEV.
3. De los métodos estudiados, el procesamiento mediante WT se tomó como el más apropiado para el estudio de PEV, ya que supera las limitaciones de la FFT para señales estacionarias, por tanto es posible representar señales con cambios abruptos y discontinuidades con buena localización tanto en frecuencia como en tiempo.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benítez, J. M., Pérez, J. L., Benítez del Castillo, J., & Pérez-Salvador, E.). *Manual Básico de electrofisiología ocular. Sus aplicaciones en la práctica clínica*.
- Castillo, J. L., & Galdames, D. (2004). *Neurofisiología clínica: Mediterráneo*.
- Charroó, L., Aznielle, T., Suárez, A., De Armas, J. L., Hernández, R., Reyes, O., . . . Gil, R. (2005). Equipo Médico para Técnicas de Potenciales Evocados y Electroneuromiografía. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 36.
- Gila, L., Malanda, A., Rodríguez, I., Rodríguez, J., & Navallas, J. (2009). Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas. In *An. Sist. Sanit. Navar* (Vol. 3).
- Macías Castillo, M. J. (2014). *PROCESADO DE SEÑALES DE mfVEP*. Universidad de Alcalá,
- Marsá Pérez, M. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS DE ANÁLISIS DE SEÑAL EN POTENCIALES EVOCADOS VISUALES MULTIFOCAL*. Universidad Pontificia Comillas Madrid,
- Rodríguez, M. I., & Lizarazo, J. G. (2008). *Valores promedio del Potencial Visual Evocado en pacientes de la Clínica de Optometría de la Universidad de la Salle en edades comprendidas entre los 15 y 50 años con el equipo IKC Technologies*. Universidad de Salle,
- Vernon Odom, J., Bach, M., Barber, C., Brigell, M., Marmor, M. F., Tormene, A. P., . . . Vaegan. (2004). *Visual evoked potentials standard* Kluwer Academic Publishers.
- Zayas Daniel, D. (2015). *Reconocimiento de potenciales evocados visuales utilizando Transformada Wavelet y Redes Neuronales BP*, Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu".
- Gómez Figueroa (2016). *Análisis de señales EEG para detección de eventos oculares, musculares y cognitivos*. Universidad Politécnica de Madrid.

## **SOBRE LOS AUTORES**

Duliet Hong León. Universidad de Granma. Profesor Instructor. Ingeniera Informática.  
[duliet@udg.co.cu](mailto:duliet@udg.co.cu)

Jaime Eliecer Pérez Fernández. Universidad de Granma. Profesor Instructor. Ingeniero Mecánico.  
[jaime@udg.co.cu](mailto:jaime@udg.co.cu)

Ernesto Govea Alcaide. Universidad de Granma. Profesor Titular. Licenciado en Física. Doctor en Ciencias.  
[egoveaa@udg.co.cu](mailto:egoveaa@udg.co.cu)