

Análisis de señales electroencefalográficas de personas desarrollando actividades de dibujo

ESQUEDA-ELIZONDO, José Jaime *†, CHÁVEZ-GUZMÁN, Carlos Alberto, JIMÉNEZ-BERISTÁIN -Laura, BERMÚDEZ-ENCARNACIÓN, Enrique Guadalupe

Universidad Autónoma de Baja California

Recibido Enero 07, 2017; Aceptado Junio 13, 2017

Resumen

Se presenta el análisis de señales electroencefalográficas de personas desarrollando actividades de dibujo. Todos los sujetos contemplados en la muestra tienen habilidades para el dibujo y artes plásticas. Se inicia adquiriendo las señales electroencefalográficas mediante la plataforma Epc Emotiv, mientras el sujeto se encuentra en reposo. Se tomaron tres minutos de muestras con los ojos cerrados y se solicitó al mismo mantener la mente en blanco. Se tomó el registro electroencefalográfico al realizar el bosquejo elegido por el, sobre una hoja en blanco, durante los primeros tres minutos. Se suspendió el registro de la señal hasta que el dibujo estuvo avanzado, se le solicitó que comenzara a detallarlo para continuar la toma del registro durante otros tres minutos. Posteriormente, las señales adquiridas se procesan en Matlab mediante la Transformada Wavelet Continua y el Teorema de Wiener Khinchine con el fin de determinar los momentos en los que se presentó mayor actividad electroencefalográfica, así como la potencia total, respectivamente.

Dibujo, Señales Electroencefalográficas, Transformada Wavelet, Teorema de Wiener Khinchine

Abstract

The analysis of electroencephalographic signals of people developing drawing activities is presented. All the subjects considered in the sample have skills for drawing and plastic arts. The test starts by acquiring electroencephalographic signals while the individual rests through the Epc Emotiv platform; this step is important to determine a reference. Three minutes of samples are taken with closed eyes and the subjects are asked to keep the mind blank. Subsequently, the electroencephalographic record is taken while sketching what the subject wish to draw on a blank sheet for three minutes. While the sketch is developed the record is suspended and once it is advanced the user is asked to start detailing the drawing and the data acquisition continues during three minutes. Then, the acquired signals are analyzed in Matlab by using Wavelet Transform in order to determine the moments in which the electroencephalographic activity was high and the power registered from each electrode is determined with the Wiener Khinchine Theorem also in Matlab.

Drawing, Electroencephalographic Signals, Wavelet Transform, Wiener Khinchine Theorem

Citación: ESQUEDA-ELIZONDO, José Jaime, CHÁVEZ-GUZMÁN, Carlos Alberto, JIMÉNEZ-BERISTÁIN -Laura, BERMÚDEZ-ENCARNACIÓN, Enrique Guadalupe. Análisis de señales electroencefalográficas de personas desarrollando actividades de dibujo. Revista de Tecnología e Innovación 2017, 4-11: 14-23.

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jjesqueda@uabc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El cerebro humano es el órgano encargado de controlar y regular las acciones y reacciones del cuerpo, contiene alrededor de cien mil millones de neuronas las cuales interactúan y envían información mediante impulsos eléctricos y reacciones químicas (Tortora et al., 2016). Su estudio y análisis es una tarea compleja, pero de mucho interés en áreas médicas, tales como el diagnóstico de los trastornos cerebrales. En la actualidad se cuenta con diversas técnicas para su observación principalmente los métodos autorregresivos, en concreto, este trabajo se centra en el uso de la Transformada Wavelet Continua, entre otros.

El electroencefalograma (EEG) es una herramienta clínica no invasiva capaz de monitorear y registrar la actividad eléctrica producida en la corteza cerebral, lo cual nos permite observar cambios de voltaje generados de las señales recibidas en cualquier instante de tiempo.

La función integradora del sistema nervioso es procesar los datos procedentes de estímulos externos, la percepción, la cual tiene una importante relación con las actividades artísticas asociadas al hemisferio derecho del cerebro, que relaciona las emociones, la creatividad y el aprendizaje no verbal. Precisamente, el dibujo, es una de estas actividades artísticas que además tiene evidencia electrofisiológica de activar más grandes redes neuronales en el cerebro en comparación con otras actividades, tal como la escritura. (Van der Meer et al., 2017).

La secuencia de eventos que desemboca la actividad creativa implica la participación de múltiples funciones mentales dando pie a variaciones de voltajes que pueden ser monitoreados mediante el método electroencefalográfico.

Las pruebas realizadas fueron analizadas mediante la Transformada Wavelet Continua, la cual ha mostrado resultados prometedores en el tratamiento de señales EEG, debido a las características no estacionarias de la señal, además de reflejar sus coeficientes en el dominio del tiempo-frecuencia y su capacidad de descomposición multiresolución. (Medina et al., 2017).

Se solicitó a 7 estudiantes de entre 18 y 25 años, los cuales poseen habilidades artísticas de dibujo, que realizaran un dibujo a libre elección mientras se les realizaba un encefalograma, las muestras fueron tomadas con un dispositivo Headset EPOC cuyo software graficaba las señales encefalográficas y a su vez, permitía el almacenamiento de los datos para su posterior procesamiento en Matlab. Al aplicar los métodos previamente mencionados se espera identificar zonas de activación o de mayor potencia registradas durante el proceso.

Metodología

Adquisición de las señales electroencefalográficas

En la figura 1a se muestra la diadema (headset) EPOC utilizada y en la figura 1b se presenta la distribución de los catorce electrodos (canales), más dos electrodos que se utilizan como referencia. Los electrodos se distribuyen en la parte occipital, parietal y frontal de la cabeza, su nomenclatura indica la región de la misma donde están ubicados: frontal (F), central (C), parietal (P), occipital (O), temporal (T) y fronto-parietal (FP). En la figura 1b se muestra la posición de los electrodos de la diadema EPOC y Matthieu (2012) presenta la comparación con la distribución de los electrodos de un encefalógrafo tradicional de 64 electrodos.

Hay que resaltar que los electrodos CMS y DRL son usados como alución de este equipo comercial es capaz de adquirir señales encefalográficas con muy buena calidad, tal como lo muestran Kridsakron (2012) y Matthieu (2012). Asimismo, el headset tiene un ADC de 16 bits, con una resolución de $0.51 \mu\text{V}$ y descarta los dos bits menos significativos para minimizar los efectos del ruido instrumental.

La herramienta EPOC tiene una frecuencia fija de muestreo de 128 Hz, aunque de forma interna se sobremuestra a 2048 Hz por canal, pero este ancho de banda se usa para eliminar señales de muy alta frecuencia de otros aparatos que pueden generar alias a las señales del cerebro. Posteriormente, la señal es filtrada y reducida a un ancho de banda de 128 Hz para la transmisión inalámbrica, finalmente la señal se limita con un filtro digital (de 0.2 a 45 Hz) a un ancho de banda de 43 Hz para evitar interferencias de 50 y 60 Hz. En Esqueda Elizondo (2015, 2017) se presentan los rangos de frecuencia en los que se clasifican las señales encefalográficas.

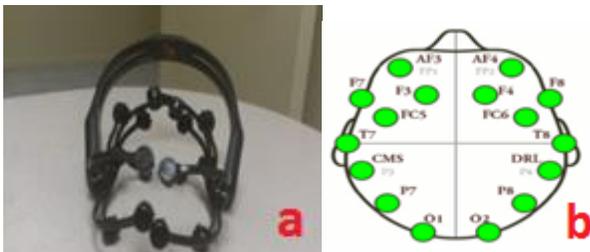


Figura 1 a) Diadema (headset) Epoc Emotiv y 1b) la distribución de los electrodos en la cabeza

Fuente: a) Propia, b) Emotiv.com

En Duvinage (2012) se presenta una comparación del headset Epoc Emotiv con un dispositivo de grado médico con una muestra de siete sujetos, desarrolladas tanto sentados en una silla como de caminando a 3 km/hr en una caminadora y encontraron una alta concordancia en las mediciones y relaciones señal a ruido similares."

Algoritmos empleados para el análisis de señales EEG

Las muestras obtenidas en cada prueba se procesan en Matlab, primero mediante una metodología basada en el Teorema de Wiener Khintchine, el cual permite encontrar la Densidad Espectral de Potencia, es decir, cómo se distribuye la potencia de la señal EEG en función de la frecuencia para cada electrodo, como lo presenta Esqueda Elizondo (2015).

De esta forma se puede determinar cuáles electrodos registraron mayor actividad eléctrica para así encontrar valores de potencias significativas que representen de manera general la energía presente en cada uno de los hemisferios cerebrales (izquierdo o derecho). Asimismo, se puede determinar qué banda de frecuencia fue la más activa en cada hemisferio, electrodo o región (figura 1b). Sin embargo, para este caso sólo se requiere conocer la potencia total.

Teorema de Wiener Khintchine

El Teorema de Wiener-Khintchine presentado por Proakis (2007) expresa que la Densidad Espectral de Potencia y la Correlación son pares Transformados de Fourier, es decir:

$$S_{xx}(f) = F[R_{xx}(\tau)] \quad (2)$$

$$S_{xx}(\tau) = F^{-1}[R_{xx}(f)] \quad (3)$$

Dónde $S_{xx}(f)$ es el autoespectro o Densidad Espectral de Potencia y $R_{xx}(\tau)$ es la Autocorrelación, ambas referidas a la señal $x(t)$.

Densidad Espectral de Potencia $S_{xx}(f)$

La Densidad Espectral de Potencia se calcula aplicando la operación de autocorrelación a nuestra señal de entrada.

$$P_T = R_{xx}(0) \quad (4)$$

Primero, se calculó la autocorrelación numérica de las N muestras con N/4 atrasos y de la muestra N/4 + 1 hasta N-1 se insertaron ceros para lograr una interpolación en el dominio de la frecuencia, ésto para mejorar la estimación. A la secuencia generada con los ceros insertados se calculó la Transformada Discreta de Fourier (TDF) y el resultado fue una nueva secuencia en el dominio de la Frecuencia, como lo presenta Esqueda Elizondo (2015).

Transformada Wavelet Continua

Se analizan las muestras mediante la Transformada Wavelet Continua, para el análisis tiempo-frecuencia de las señales obtenidas. Se define matemáticamente mediante la expresión:

$$W_f(s, \tau) = \int f(t)\psi_{s,\tau}^*(t)dt \quad (5)$$

Donde $\psi_{s,\tau}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ es la wavelet madre; en el presente artículo se utilizó la Wavelet Haar.

La Transformada Wavelet Continua es utilizada en las señales EEG para disminuir el ruido y con ello obtener una señal mucho mas clara y precisa, además es una herramienta que permite observar la relación Tiempo-Frecuencia en una señal (Guevara, 2014).

Para este trabajo se obtiene la Transformada Wavelet Continua con la función *cwt* de Matlab y se trabajó con diez niveles de descomposición que muestran los momentos con mayor potencia en función de la frecuencia y el tiempo representados gráficamente en escalogramas. El escalograma es una representación gráfica de la Transformada Wavelet donde se muestra el tiempo en el eje horizontal y la escala de frecuencias en el eje vertical y está dado por la ecuación:

$$\iint |CWT(\tau, \alpha)|^2 \frac{d\tau, d\alpha}{\alpha^2} = E_x \quad (7)$$

Donde $E_x = \int |x(t)|^2 dt$

La distribución de energía en el escalograma está representada por cambios de tonalidad (figura 2), donde el color azul oscuro representa las potencias más bajas y conforme aumenta la potencia, la tonalidad cambia hasta el color rojo que indica la máxima potencia.

Posteriormente, se realiza el muestreo en tiempo por eventos de forma manual y por sujeto, considerando como eventos a los momentos en que se registraron mayores potencias según el escalograma que resulta de la transformada de Wavelet implementada en Matlab. Obteniendo gráficamente los eventos de mayor actividad durante cada proceso correspondiente.



Figura 2 Barra de color que ilustra al escalograma.

Fuente: Generada en Matlab, mapa de color

Resultados

Pruebas realizadas

Para estas pruebas se tomaron muestras de siete personas, identificadas como sujetos, ajustando previamente los catorce electrodos para proceder al registro electro-encefalográfico. En la Tabla 1 se muestra la edad y el sexo de los sujetos a analizar.

Sujeto	Sexo	Edad
1	Femenino	19
2	Femenino	24
3	Masculino	24
4	Femenino	20
5	Femenino	20
6	Masculino	20
7	Masculino	24

Tabla 1 Descripción de la muestra

Fuente: Propia

Inicialmente, se le pide al sujeto mantener su mente en blanco. Posteriormente, se toma el registro de la primera prueba que consiste en realizar un bosquejo seleccionado por el mismo en una hoja en blanco durante los primeros tres minutos.

La segunda prueba consistió en detallar el dibujo, se tomó registro durante tres minutos.

Una vez adquiridas las señales se procesaron en Matlab mediante el Teorema de Wiener Khintchine para determinar la potencia total por canal. Posteriormente se utiliza la Transformada Wavelet Continua para determinar los eventos, mediante inspección visual, en los que se presenta mayor actividad desplegada de forma gráfica en un escalograma para cada canal.

En el gráfico 1 se presentan las potencias por canal de todos los sujetos, para la prueba uno, correspondiente a la etapa de bosquejo.

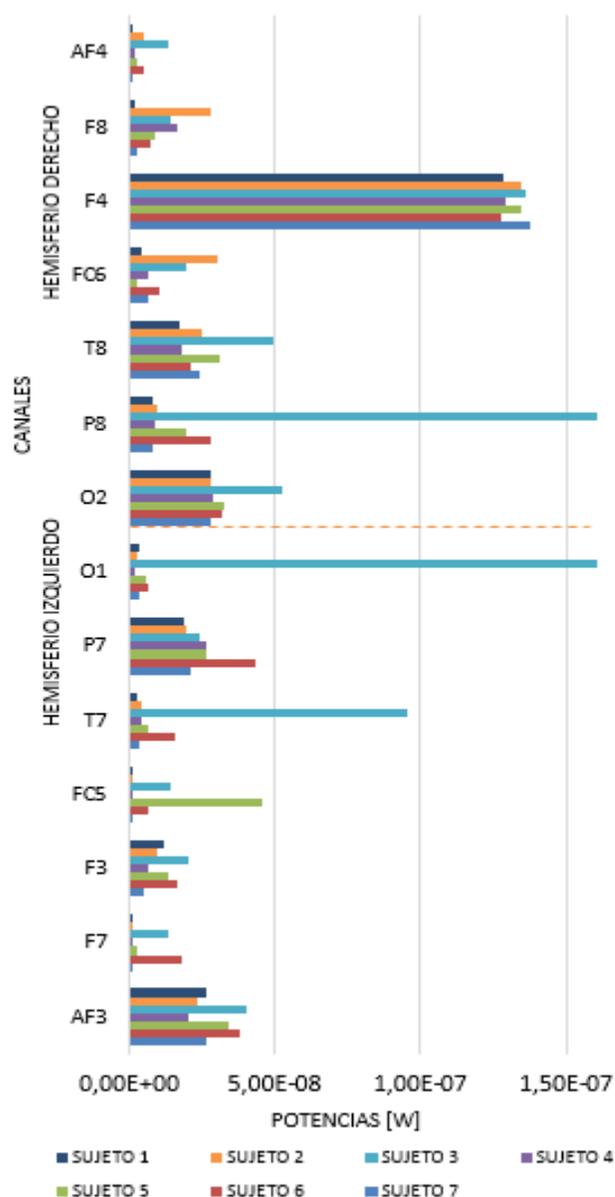


Gráfico 1 Comparación de las potencias de cada sujeto para todos los canales, prueba 1

Fuente: Propia

En el gráfico 2 se grafican las potencias por canal de todos los sujetos para la prueba 2 que corresponde a la etapa de detallado del dibujo.

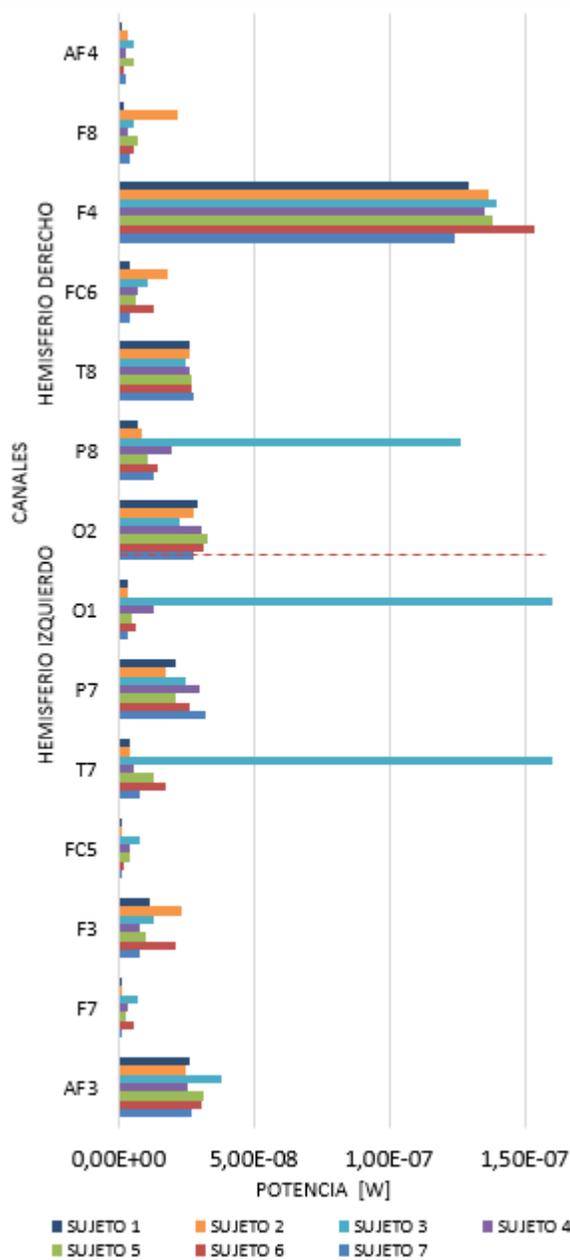


Gráfico 2 Comparación de las potencias de cada sujeto para todos los canales, prueba 2
Fuente: propia

Del gráfico 1 se observa que la mayor parte de las potencias altas se concentra en los canales F4, O2, P7, T8 y AF3, se seleccionaron estos canales para el análisis ya que las potencias más altas de la mayoría de los sujetos coincidieron en éstos.

Cabe resaltar que para el sujeto 3 sus potencias de los canales P8, O1 y T7, sobresalen notablemente en comparación con los demás sujetos, por fines de practicidad, se manejarán los canales en los que coinciden la mayoría de los sujetos. De igual forma, para el gráfico 2, seleccionamos los canales que concentran las potencias más altas de la mayoría de los sujetos, los cuales fueron F4, O2, P7, T8 y AF3, los mismos canales seleccionados para la prueba 1.

De ambos gráficos se observa que los canales del hemisferio derecho registran potencias más altas en comparación con el hemisferio izquierdo inclusive, el canal F4 correspondiente al lóbulo frontal derecho presentó la mayor cantidad de energía de todos los sujetos en ambas pruebas, a excepción del sujeto 3.

En la tabla 2 se muestran numéricamente las potencias en nanoWatts de los canales seleccionados para el análisis de la prueba 1, bosquejo, mientras que en la tabla 3 se muestran para la prueba 2, correspondiente al detallado del dibujo.

		Potencia por electrodo [nW]				
Sujeto	F4	O2	P7	T8	AF3	
1	127.984	28.025	18.630	17.532	26.138	
2	134.663	27.871	19.404	24.805	23.229	
3	136.137	52.145	24.016	49.158	40.550	
4	128.780	28.527	26.816	18.019	20.302	
5	134.640	32.949	26.472	31.173	33.763	
6	127.500	31.649	43.618	20.951	37.880	
7	137.330	28.080	21.047	23.943	26.552	

Tabla 2 Potencias por sujeto de los canales con mayor actividad para la prueba 1
Fuente: Propia

Sujeto	Potencia por electrodo [nW]				
	F4	O2	P7	T8	AF3
1	129.204	29.237	20.799	25.946	26.047
2	136.355	28.114	17.477	26.207	24.976
3	139.945	22.891	24.599	24.720	37.725
4	134.920	30.962	29.746	26.081	25.327
5	138.400	33.036	21.192	26.873	31.312
6	153.410	31.490	26.509	27.167	30.500
7	123.940	27.846	32.270	27.860	27.134

Tabla 3 Potencias por sujeto de los canales con mayor actividad para la prueba 2

Fuente: Propia

Con el gráfico 3 se muestra una comparación entre las potencias totales del canal F4 (el de mayor potencia) en ambas pruebas para cada sujeto.

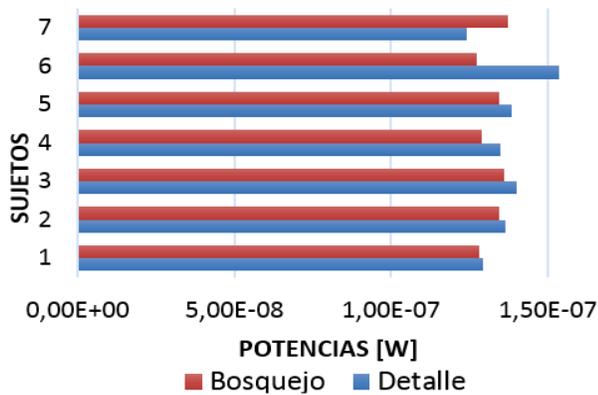


Gráfico 3 Potencias del canal F4 de ambas pruebas para cada sujeto

Fuente: propia

Este gráfico se utilizó para comparar la potencia total registrada por cada sujeto en ambas pruebas, sin mostrar la distribución de la energía en el tiempo y la frecuencia en cada una, para lograr lo anterior se emplearon los escalogramas. En seguida, se presentan dos escalogramas por cada sujeto, uno por cada prueba, para visualizar lo antes descrito.

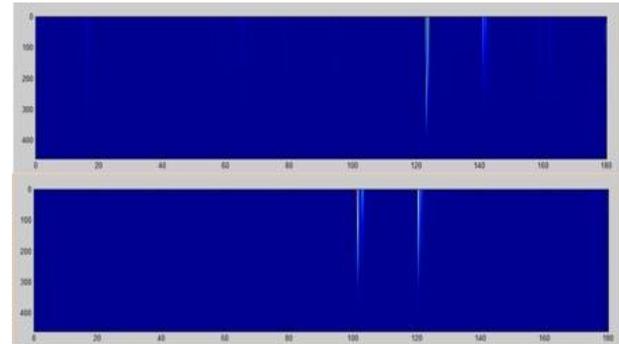


Figura 3 Escalograma de la Transformada Wavelet, del canal T8 Sujeto 1. (Arriba Prueba 1. Abajo Prueba 2)

Fuente: Elaboración propia

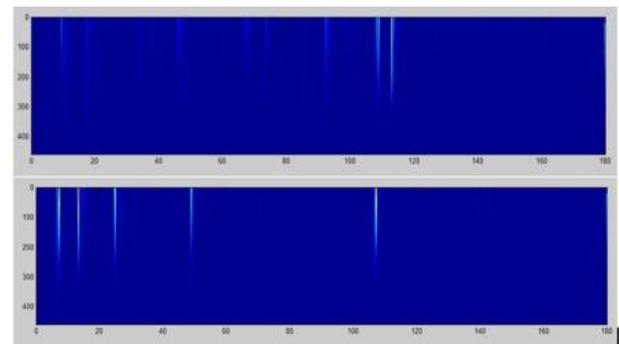


Figura 4 Escalograma de la Transformada Wavelet, del canal T8 Sujeto 2. (Arriba Prueba 1. Abajo Prueba 2)

Fuente: Elaboración propia

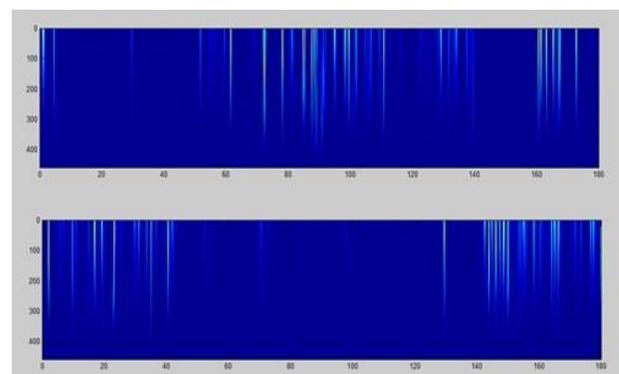


Figura 5 Escalograma de la Transformada Wavelet, del canal AF3 Sujeto 3. (Arriba Prueba 1. Abajo Prueba 2)

Fuente: Elaboecacion propia

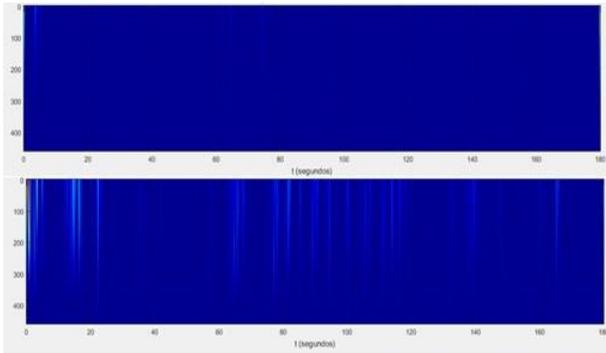


Figura 6 Escalograma de la Transformada Wavelet, del canal AF3 Sujeto 4. (Arriba Prueba 1. Abajo Prueba 2)
Fuente: *Elaboración propia*

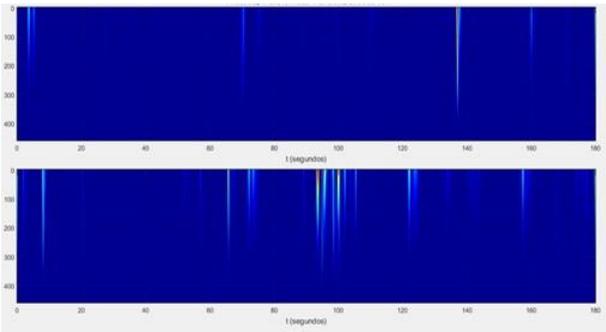


Figura 7. Escalograma de la Transformada Wavelet, del canal T8 Sujeto 5. (Arriba Prueba 1. Abajo Prueba 2)
Fuente: *Elaboración propia*

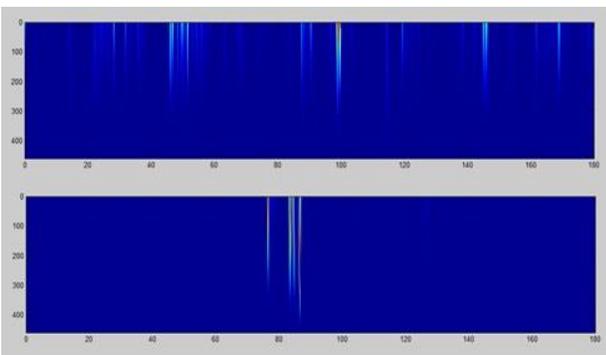


Figura 8. Escalograma de la Transformada Wavelet, del canal O2 Sujeto 6. (Arriba Prueba 1. Abajo Prueba 2)
Fuente: *Elaboración propia*

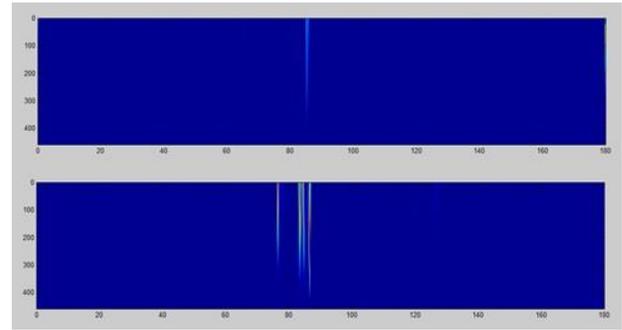


Figura 9 Escalograma de la Transformada Wavelet, del canal T8 Sujeto 7. (Arriba Prueba 1. Abajo Prueba 2)
Fuente: *Elaboración propia*

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma por el apoyo para el desarrollo de este trabajo. Asimismo, se agradece la importante participación de los alumnos: Erik Omar González Ramírez y Sara Jessica Brito Calvo. Asimismo, se agradece la participación de los alumnos del Programa de Verano Científico Delfín: María Jesús Cárdenas Chávez (Instituto Tecnológico Superior de Cajeme), Brian David Espinosa Dorado (Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez), Anhaid Hernandez Barragán (Instituto Politécnico Nacional), Sarai López Quezada (Instituto Politécnico Nacional), Mónica Montes Gaspar (Instituto Politécnico Nacional), Julio Gabriel Ramos Fierro (Instituto Politécnico Nacional) y del Dr. José Ismael de la Rosa Vargas (Universidad Autónoma de Zacatecas), cuya participación fue definitiva e imprescindible para la elaboración de este artículo.

Conclusiones

La transformada de Wavelet presentó ventajas con respecto al Teorema de Wiener Khintchine en el estudio aquí presentado, ya que éste último sólo muestra la potencia de todo el periodo de observación, por lo que no se puede saber si la potencia se distribuyó uniformemente a través del periodo de observación ó si se presentó sólo en ciertos momentos, a diferencia de la transformada Wavelet que permite conocer la distribución de las potencias en función del periodo de observación y de la frecuencia de nuestra señal.

También se observó que, aunque el electrodo haya registrado mayores potencias, no necesariamente se registraron picos significativos, lo que sugiere que la potencia se distribuyó uniformemente en dichos electrodos. La Transformada Wavelet, para conocer los momentos de mayor actividad eléctrica por electrodo, complementó al Teorema de Wiener Khintchine que se utilizó para determinar la potencia total por electrodo.

En la prueba correspondiente al bosquejo, se observa actividad eléctrica distribuida uniformemente, es decir, no se encontraron cambios en los colores del escalograma (predomina el color azul), mientras que en la prueba de detalle se observan colores brillantes (presencia de amarillos y rojos) en momentos particulares, lo cual indica un mayor número de eventos significativos en donde la energía se presenta de manera dispersa, es decir, existe mayor actividad eléctrica en pequeñas ventanas de tiempo.

La zona cerebral que presentó mayor actividad durante la realización del dibujo fue el lóbulo frontal, lo cual es congruente con la literatura que generalmente vincula esta zona al desarrollo y la ejecución de planes de acción, así como la memoria de trabajo necesaria para el procesamiento de las actividades cognitivas.

Además, en este estudio, los electrodos que reportaron mayor potencia fueron los mismos para los sujetos de prueba 1 y 2. Asimismo, los valores de potencia fueron similares tanto en la prueba 1 como en la prueba 2 y el hemisferio derecho registró la mayor actividad eléctrica en comparación del hemisferio izquierdo.

Referencias

Başar, E., y Düzgün, A. (2015). The brain as aworking syncytiumand memory as a continuum in a hyper timespace: Oscillations lead to a new model. *International Journal of Psychophysiology*.

Bermúdez Cicchino, A. N. (2013). Técnicas de procesamiento de EEG para detección de eventos. Doctoral dissertation, Facultad de Ingeniería.

Chávez, V., Torres, D., Herrera, J., & Hernández, A. (2016). Adquisición y análisis de señales encefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+. (ECOFAN, Ed.) *Revista de Tecnología e Innovación*.

Duvinage, M., Castermans, T., Dutoit, T., Petieau, M., Hoellinger, T., De-Saedeleer, C., Seetharaman, K. y Cheron, g. (2012). “AP300-Based quantitative comparison between the Emotiv EPOC headset and a medical EEG device” *Proc. Biomedical Engineering*, 764-071.

Esqueda, J. J., Jimenez Beristain, L., Reyes Martinez, R. A., Camacho Parales, A., Mena Quevedo, E. y Roque Sandoval, J. A. (2014). “Metodología para el análisis de señales encefalográficas en actividad lúdicas”. Congreso Internacional de Investigación.

Esqueda, J. J., Bermúdez, E. E., Jiménez Beristáin, L., Rojas Ramírez, Y., Mungía, P. E. y Zaragoza Villa, J. M. (2015). "Análisis de señales electroencefalográficas en un niño con autismo realizando diferentes actividades de aprendizaje". Vol. 37, pp 181-186 Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica. Mexico: Chihuahua, chih.

Esqueda J., Chávez C., Jiménez L., Bermúdez E. (2017). Análisis de señales electroencefalográficas de personas desarrollando actividades de dibujo. Tecnología e Innovación.

Esqueda, J., Hernandez, D., Bermudez, E., Jiménez, L., & Pinto, M. (2016). Manipulación de un brazo robótico mediante señales electroencefalográficas. (ECOFRAN, Ed.) Revista de Tecnología e Innovación, 89-98.

Gavilán, G. M., & Egido, I. P. (2013). Estudio sobre técnicas de análisis de encefalogramas basados en redes neuronales.

Goleman, D. (2015). Cerebro y la inteligencia emocional. Barcelona, España: Ediciones B.

Jorge Luís Dahik Cabrera. (2015). Factores que determinan el desarrollo de la habilidad para dibujar. Revista de ciencia e investigación, Vol. 1, 26-29.

Kridsakron, Y., Seth, P. y Pasin Irasena, N. A. (2012) "Brian Signal Detection Methodology for Attention Training using minimal EEG channels". tenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering.

Luna Guevara, G. (2014). Reducción de ruido en señales de electroencefalograma: una aplicación para mejorar las imágenes de mapeo cerebral. Electronic Journal of Biomedicine

Morales, L. N., Ríos, J. A., Hernández, J., & Martínez, P. (2016). Actividad encefalográfica cuantitativa y sueño en estudiantes de medicina Campus Durango de la UJED. (ECOFRAN, Ed.) *Revista de Ciencias de la Salud*, 1-10.

Planton, S., Longcamp, M., Perán, P., Jean-François, D., y Jucla, M. (2016). How specialized are writing-specific brain regions? An fMRI study of writing, drawing and oral spelling. ELSEVIER.

Proakis, J. G. y Manolakis, D. G. (2007). Digital Signal Processing principles, algorithms, and applications, PRENTICE HALL /PEARSON I.S.B.N. 0-13-187374-1.

Sepúlveda, R., Montiel, O., Díaz, G., Gutierrez, D., & Castillo, O. (2015). Clasificación de señales encefalográficas mediante redes neuronales artificiales. *Computación y Sistemas*, 19(1), pp. 69-88.

Tortora, G. y Derrickson, B. (2016). Principios de anatomía y fisiología. (11ª ed.) México: Panamericana.

Van der Meer, A. L., y Van der Weel, F. R. (2017). Only Three Fingers Write, but the Whole Brain Works: A High-Density EEG Study Showing Advantages of Drawing Over Typing for Learning. *Front. Psychol.*