

Determinación de actividad electroencefalográfica en personas escuchando música mediante transformada wavelet y análisis espectral

ESQUEDA-ELIZONDO, José Jaime †*, ROA-RICO, David Octavio, PINTO-RAMOS, Marco Antonio y REYES-MARTÍNEZ, Roberto Alejandro

Universidad Autónoma de Baja California

Recibido Junio 15, 2017; Aceptado Noviembre 21, 2017

Resumen

Se presenta el análisis de señales electroencefalográficas de personas escuchando una canción para determinar el momento en el que se produce la máxima actividad eléctrica. Primero se toma el electroencefalograma a las personas mientras escuchan una canción. Posteriormente en Matlab se analizan las muestras mediante Transformada Wavelet para poder determinar los puntos (tiempo de la canción) que detonan mayor actividad eléctrica y en qué regiones del cerebro se presentan. Posteriormente se recorta en esa sección de la señal y mediante análisis espectral se obtiene la potencia de ese intervalo, así como la potencia total estimada del experimento. Asimismo, se realiza la comparación entre la potencia de los intervalos de mayor actividad y la potencia total. El uso de la Transformada Wavelet permite conocer el comportamiento tiempo-frecuencia de la señal y así encontrar los puntos de mayor actividad eléctrica detonados por el estímulo auditivo. En este caso, se analiza el comportamiento de una muestra pequeña ante música clásica y heavy metal.

Electroencefalograma, Actividad Eléctrica del Cerebro, Transformada Wavelet, Análisis Espectral, música

Abstract

The analysis of electroencephalographic signals of people listening to a song is presented in order to determine the moment in which the maximum electrical activity is produced. The electroencephalogram is first taken to people while listening to a song. Later in Matlab, the samples are analyzed by Wavelet Transform to be able to determine the points (time of the song) that detonate higher electrical activity and in which regions of the brain are presented. Subsequently, that section of the signal is cut and by using spectral analysis, the power of that interval, is obtained as well as the estimated total power of the experiment. Also, the comparison between the power of the higher activity intervals and the total power are calculated. The use of the Wavelet Transform allows knowing the time-frequency behavior of the signal and thus finding the points of greater electrical activity detonated by the auditive stimulus, in this case the response to classical music and heavy metal is presented.

Music, Electroencephalographic Signals, Wavelet Transform, Wiener Khinchine Theorem

Citación: ESQUEDA-ELIZONDO, José Jaime, ROA-RICO, David Octavio, PINTO-RAMOS, Marco Antonio y REYES-MARTÍNEZ, Roberto Alejandro. Determinación de actividad electroencefalográfica en personas escuchando música mediante transformada wavelet y análisis espectral. Revista de Tecnología e Innovación.2017, 4-13: 49-59

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La música es una señal dinámica, una mezcla de sonidos y silencios (Patrik,2001). Estos sonidos se clasifican en notas, ritmos, melodías, armonías y timbres. Los diferentes tipos de música se diferencian en función de la secuencia en que se emiten, dando lugar a una variedad de géneros y patrones que influyen en la actividad cerebral.

El estudio de los efectos de la música en el cerebro es un tópico de especial interés (Levitin, 2013) en el presente trabajo. La música tiene la cualidad de influir en las emociones (Patrik, 2008) o modificar el estado de ánimo, la forma en la que esta afecta la actividad cerebral de quien la escucha puede ser estudiada mediante diversos métodos para su registro y caracterización, en concreto los métodos especialmente relevantes para este trabajo son los relacionados con la adquisición de la actividad eléctrica mediante señales EEG, la transformada de Fourier, el teorema de Wiener-Khintchine y la transformada Wavelet Continua (Esqueda, 2016)

Un electroencefalograma (EEG), es una herramienta clínica no invasiva capaz de monitorear y registrar la actividad eléctrica producida en la corteza cerebral, usada para la adquisición y registro de señales (Bermúdez, 2013).

Una vez que se ha efectuado la adquisición del trazo electroencefalográfico es posible implementar técnicas para su procesamiento y análisis, en este caso, se implementó la transformada Wavelet Continua debido a las características no estacionarias del trazo, y su capacidad de descomposición multi-resolución que refleja sus coeficientes en el dominio del tiempo-frecuencia. (Medina, 2007)

Para este análisis, también se ha requerido la aplicación de técnicas computacionales y por lo tanto la adquisición y manipulación discreta de la señal de EEG.

El objetivo de este estudio es analizar el efecto de la música en la actividad cerebral y determinar los momentos de mayor actividad eléctrica en la corteza cerebral mediante la Transformada de Wavelet Continua, la ventaja de este método ante el teorema de Wiener-Khintchine (Proakis,2001) es el hecho de poder detectar las variaciones de potencia con respecto al tiempo.

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 en (Stefanatos, 2008). 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 Duvinage (Matthieu, 2012) presenta la comparación con la distribución de los electrodos de un encefalógrafo tradicional de 64 electrodos (Kridsakron, 2012), (Matthieu, 2012), (Esqueda, 2015, 2017).

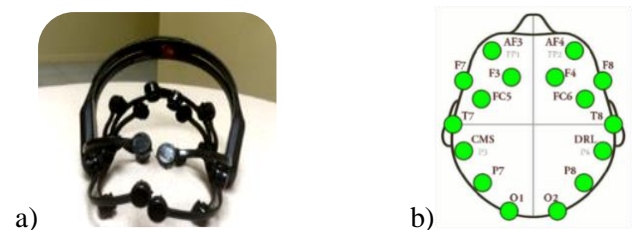


Figura 1a) Diadema (headset) EPOC Emotiv y **1b)** la distribución de los electrodos en la cabeza

Fuente: a) propia, b) emotiv.com

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, 2015, 2016).

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, la cual se puede obtener también mediante la autocorrelación de la señal, ya que:

$$P_T = R_{xx}(0) \quad (1)$$

Posteriormente se utiliza la Transformada Wavelet Continua para el análisis tiempo-frecuencia de las señales obtenidas, realizando el muestreo en tiempo por eventos y por sujeto considerando como evento 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.

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

La Densidad Espectral de Potencia se calcula aplicando la de autocorrelación, señalada en la ecuación (Patrik, 2001) a la señal de entrada.

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, esto para mejorar la estimación. A la secuencia generada con los ceros insertados se le calculó la Transformada Discreta de Fourier (TDF) y el resultado fue una nueva secuencia en el dominio de la Frecuencia, como lo presenta (Esqueda, 2015).

Transformada Wavelet

La Transformada Wavelet Continua puede ser utilizada en las señales EEG para disminuir el ruido y así poder obtener una señal mucho más clara y precisa, además es una herramienta que permite observar la relación Tiempo-Frecuencia en una señal. Guevara (2014). La Transformada Wavelet es una herramienta que permite observar la relación Tiempo-Frecuencia en una señal. Con el análisis basado en Teorema de Wiener Khinchine se tiene el inconveniente de que sólo se puede conocer la potencia en todo el periodo de observación, por lo que no se puede saber si la potencia se distribuyó uniformemente en el periodo de observación o se presentó sólo en ciertos momentos. En este caso se obtuvo la Transformada Wavelet continua con la función *cwt* de Matlab y se trabajó con diez niveles de descomposición.

Pruebas realizadas

En este estudio se trabajó con siete voluntarios entre 18 y 25 años de edad, identificados con la letra *S* seguida de un número del 1 al 7, a quienes se les pidió escuchar composiciones correspondientes a dos tipos de géneros (música clásica y heavy metal).

El experimento se llevó a cabo en un ambiente aislado de luz y sonido externo esto para evitar distracciones y estímulos visuales que pudieran introducir señales indeseadas en el trazo adquirido; mientras se reproducían las melodías, se registró el EEG del sujeto en cuestión. Ésta prueba se ejecuto mediante un dispositivo *Headset EPOC* que incluye un software capaz graficar de las señales encefalográficas, y permitió almacenar los datos para su posterior procesamiento en Matlab.

Una vez realizada la etapa de adquisición de datos, se aplicó el Teorema de Wiener Khintchine para determinar la densidad espectral de potencia del EEG y su transformada Wavelet continúa representada de forma gráfica en un escalograma con el que fue posible identificar los segmentos de tiempo en los que se observó mayor potencia; esta segmentación se realizó por inspección visual de forma manual.

En seguida, se calcula la potencia de los segmentos identificados y se comparó con respecto a la potencia total mostrando el porcentaje que representa cada evento. Finalmente, se recopiló la información, concentrándola en graficas y tablas representativas para la interpretación y análisis de datos.

Resultados

Obtención de potencias

Los resultados obtenidos, una vez aplicado el Teorema de Wiener Khintchine y la transformada Wavelet, se muestran a continuación.

Clásica		Metal	
Canal	Potencia	Canal	Potencia
FC6	115.65	FC6	122
FC5	20.91	FC5	10.33
F8	64.21	F8	53.53
F7	8.19	F7	7.33
T8	47.05	T8	43.02
T7	1.71	T7	1.76

Tabla 1 Canales con mayor actividad para S1, al escuchar “For Elise” y “Raining blood”

Fuente: Elaboracion propia

En la tabla 1 se muestran los seis electrodos con mayor potencia generada durante la reproducción de las canciones antes descritas para cada sujeto. Se puede observar que para esta prueba el electrodo ‘FC6’ es el que registró una mayor potencia en ambas canciones.

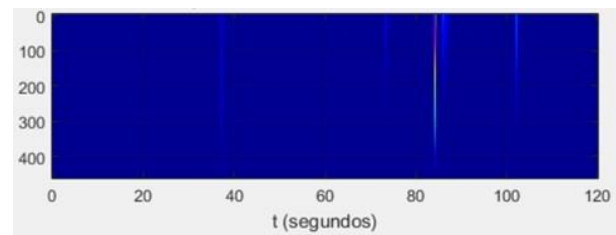


Figura 2 Transformada Wavelet del electrodo FC6 canción “For Elise”, S1

Fuente: Elaboracion Propia

La figura 2 ilustra el análisis Wavelet del electrodo FC6 cuando S1 escuchaba música clásica, es posible identificar algunas líneas de distinto color sobre el fondo azul oscuro del escalograma. Al examinar con mayor detalle cada escalograma se pueden determinar los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia basándonos en la observación de estos cambios de tono de cada ilustración. En este caso, se seleccionaron 3 eventos de mayor relevancia dentro de los intervalos a partir del segundo 73.12 al 73.55, del 84.05 al 84.41 y del 101.9 al 102.2.

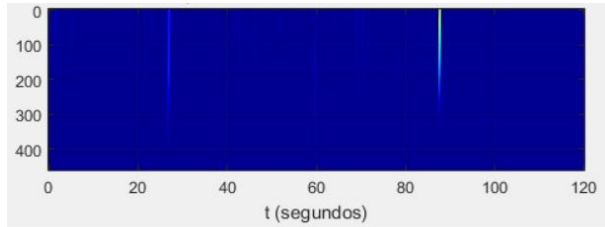


Figura 3 Transformada Wavelet del electrodo FC6 canción “Raining Blood”, S1
Fuente: Elaboracion propia

Por otra parte, la figura 3, presenta el análisis Wavelet del S1 escuchando la canción de heavy metal en el electrodo que registra una mayor potencia (FC6). En este caso, se seleccionaron 2 eventos de mayor relevancia dentro de los intervalos a partir del segundo 26.41 al 27.01 y del 86.96 al 87.48.

Clásica		Metal	
Canal	Potencia	Canal	Potencia
T8	242.62	T8	190.98
T7	86.33	T7	64.77
O1	153.65	AF3	151.20
O2	151.95	AF4	56.37
AF3	147.40	F3	126.27
AF4	134.22	F4	50.31

Tabla 2 Canales con mayor actividad para S2, al escuchar “For Elise” y “Raining blood”
Fuente: Elaboracion propia

La tabla 2 muestra los eletrodos que registraron las mayores potencias para S2, quien presenta una potencia mayor en el electrodo T8 en ambas canciones.

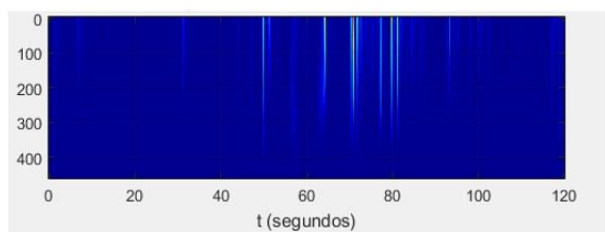


Figura 4 Transformada Wavelet del electrodo T8 canción “For Elise”, S2
Fuente: Elaboracion propia

La figura 4 ilustra el análisis Wavelet del electrodo T8 cuando S2 escuchaba música clásica. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 63.93 al 64.49, del 70.63 al 71.1 y del 80.95 al 81.35.

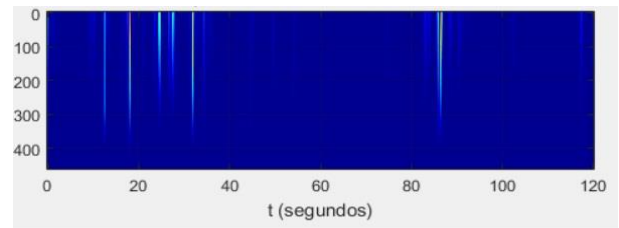


Figura 5 Transformada Wavelet del electrodo T8 canción “Raining Blood”, S2
Fuente: Elaboracion Propia

La figura 5 ilustra el análisis Wavelet del electrodo T8 cuando el sujeto S2 escuchaba música metal. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 17.81 al 18.51, del 31.73 al 32.33 y del 86.2 al 86.83.

Clásica		Metal	
Canal	Potencia	Canal	Potencia
AF4	98.82	AF4	84.36
AF3	13.61	AF3	3.25
F8	69.98	F8	65.51
F7	2.52	F7	1.76
O2	69.78	O2	60.78
O1	31.14	O1	28.52

Tabla 3 Canales con mayor actividad para S3, al escuchar “For Elise” y “Raining blood”
Fuente: Elaboracion `propia

La tabla 3 muestra los eletrodos que registraron las mayores potencias para S3, quien presenta una potencia mayor en el electrodo AF4 en ambas canciones.

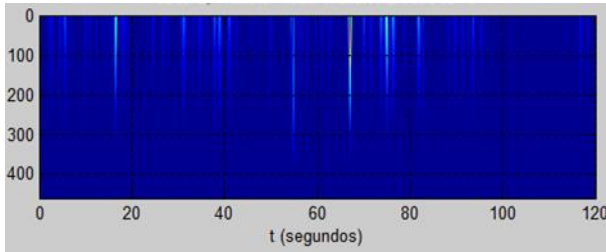


Figura 6 Transformada Wavelet del electrodo AF4 canción “For Elise”, S3

Fuente: Elaboracion propia

La figura 6 ilustra el análisis Wavelet del electrodo AF4 cuando S3 escuchaba música clásica. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 66.79 al 67.41 y del 74.64 al 75.3.

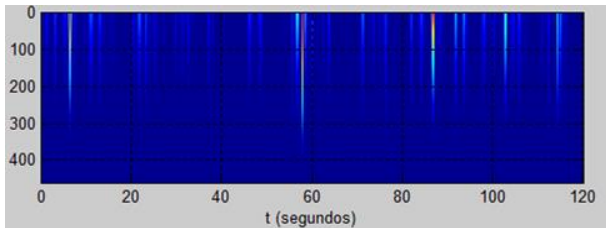


Figura 7 Transformada Wavelet del electrodo AF4 canción “Raining Blood”, S3

Fuente: Elaboracion propia

La figura 7 ilustra el análisis Wavelet del electrodo AF4 para S3 mientras escuchaba música metal. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 37.55 al 38.17, del 93 al 93.88 y del 116.6 al 117.2.

Clásica		Metal	
Canal	Potencia	Canal	Potencia
T8	76.20	F8	69.02
T7	1.71	F7	3.34
F8	64.11	T8	53.95
F7	2.52	T7	1.96
P8	19.21	FC5	46.81
P7	1.38	FC6	9.85

Tabla 4 Canales con mayor actividad para S4 al escuchar “For Elise” y “Raining blood”

Fuente: Elaboracion propia

La tabla 4 muestra los electrodos que registraron las mayores potencias para S4, quien presenta una potencia mayor en los electrodos T8 y F8.

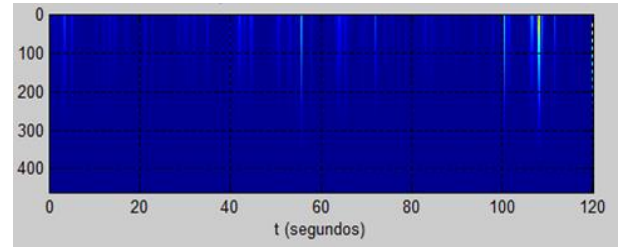


Figura 8 Transformada Wavelet del electrodo T8 canción “For Elise”, S4

Fuente: Elaboracion propia

La figura 8 ilustra el análisis Wavelet del electrodo T8 para S4 escuchaba música clásica. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 71.75 al 72.34 y del 82.73 al 83.35.

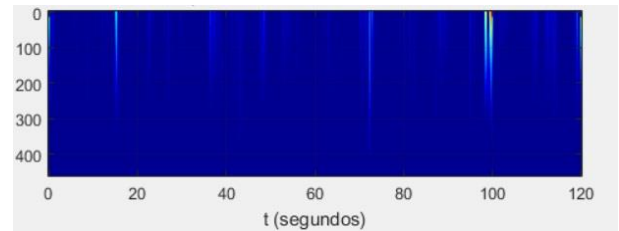


Figura 9 Transformada Wavelet del electrodo F8 canción “Raining Blood”, S4

Fuente: Elaboracion propia

La figura 9 ilustra el análisis Wavelet del electrodo F8 cuando el sujeto S4 escuchaba música metal. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 98.16 al 98.8 y del 99.13 al 100.1.

Clásica		Metal	
Canal	Potencia	Canal	Potencia
F8	70.12	F8	73.65
F7	19.95	F7	1.01
O1	53.11	T8	29.43
O2	14.30	T7	0.85
T8	31.31	P8	22.72
T7	9.04	P7	1.40

Tabla 5 Canales con mayor actividad para S5, al escuchar “For Elise” y “Raining blood”

Fuente: Propia

La tabla muestra los electrodos que registraron las mayores potencias por S5, quien presenta una potencia mayor en el electrodo F8 para ambas canciones.

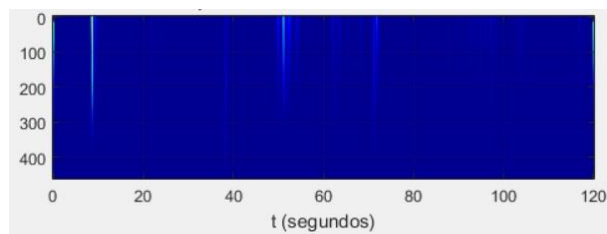


Figura 10 Transformada Wavelet del electrodo F8 canción “For Elise”, S5

Fuente: Elaboracion propia

La figura 10 ilustra el análisis Wavelet del electrodo F8 cuando S5 escuchaba música clásica. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 49.72 al 50.37 y del 51.76 al 52.77.

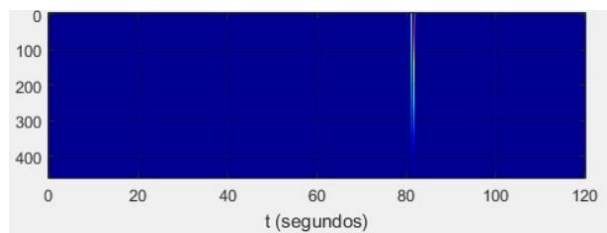


Figura 11 Transformada Wavelet del electrodo F8, canción “Raining Blood”, S5

Fuente: Elaboracion propia

La figura 11 ilustra el análisis Wavelet del electrodo F8 cuando S5 escuchaba música metal. Los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia son a partir del segundo 81.04 al 81.25 y del 81.53 al 81.96.

Clásica		Metal	
Canal	Potencia	Canal	Potencia
O1	93.45	F8	63.22
O2	13.61	F7	10.27
T8	39.68	O1	43.76
T7	19.37	O2	13.003
F3	23.58	T8	32.89
F4	20.65	T7	6.5

Tabla 6 Canales con mayor actividad para S6, al escuchar “For Elise” y “Raining blood”

Fuente: Propia

La tabla 6 muestra los resultados de las potencias mayores registradas por los electrodos del sujeto S6 quien presenta una potencia mayor en el electrodo O1 al escuchar música clásica mientras que al escuchar metal se presentó una mayor potencia en el electrodo F8.

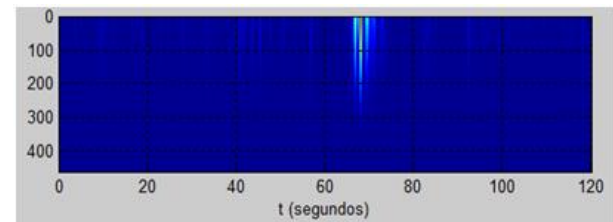


Figura 12 Transformada Wavelet del electrodo O1 canción “For Elise”, S6

Fuente: Elaboracion propia

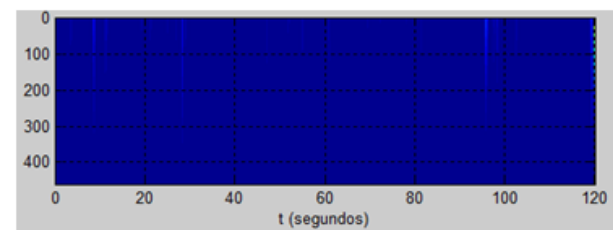


Figura 13 Transformada Wavelet del electrodo F8 canción “Raining Blood”, S6

Fuente: Elaboracion propia

Los escalogramas correspondientes se presentan en las figuras 12 y 13. Se observa que, mientras que S6 escuchó música clásica, el electrodo O1 presento, además de una mayor potencia durante todo el experimento, actividad en los intervalos que van de 66.4 a 68.4 segundos y de 69 a 70.02 segundos.

Al escuchar la canción de metal, S6 nuevamente tuvo una mayor actividad en el electrodo F8 y se presentan cuatro eventos de mayor actividad donde los mayores están en el intervalo de 8.5 a 8.9 segundos y de 95.73 a 95.98 segundos.

Clásica		Metal	
Canal	Potencia	Canal	Potencia
F8	67.95	F8	61.62
F7	4.39	F7	5.83
T8	37.87	T8	29.14
T7	0.62	T7	0.68
F4	25.17	F4	22.34
F3	11.79	F3	13.15

Tabla 7 Canales con mayor actividad para S7, al escuchar “For Elise” y “Raining blood”
Fuente: *Elaboracion propia*

La tabla 7 muestra los eventos de mayor potencia para S7. Durante la música clásica el canal F8 es el que presenta alto potencial a diferencia del canal T7 que presenta un bajo potencial. Algo similar ocurre durante la música de metal en la cual el canal que registra mayor potencial es F8 y el que registra menos potencial es T7.

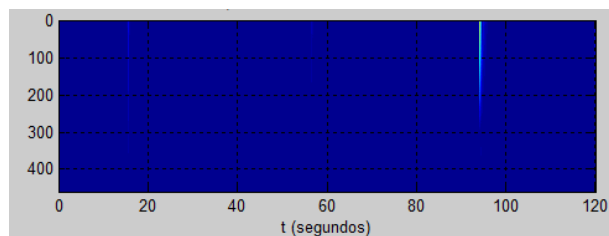


Figura 14 Transformada Wavelet del electrodo F8 canción “For Elise”, S7
Fuente: *Elaboracion propia*

En la figura 14 para el electrodo F8 se observa un pico significativo durante el intervalo 94.07 94.42.

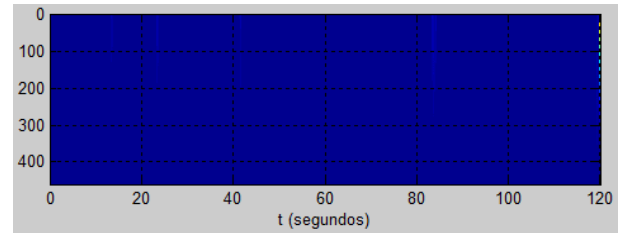


Figura 15 Transformada Wavelet del electrodo F8. canción “Raining Blood”, S7
Fuente: *Elaboracion propia*

La figura 15 para el electrodo F8 muestra que la señal se mantuvo aparentemente constante, es decir, no tuvo picos significativos

Análisis gráfico para búsqueda de coincidencias entre eventos
Prueba 1 Música Clásica - For Elise – Beethoven

“For Elise”, es probablemente una de las melodías más conocidas en el mundo, sus primeras notas son rápidamente reconocidas por la mayoría de la gente.

Los sujetos escucharon la reproducción de esta pieza musical mientras se les realizó la prueba EEG. En la figura 16, mostrada a más adelante, se presentan, para cada sujeto, los momentos en que iniciaron los eventos de mayor potencia registrados en todos los canales. Los momentos están representados por un círculo con el color correspondiente a cada electrodo (canal), mostrados en la leyenda al inferior de la gráfica.

De la figura 16, los puntos de aglomeración de los círculos representan los eventos que coincidieron en la gran mayoría de canales para ese sujeto.

Se observan para un mismo sujeto varios eventos coincidentes entre sus canales y, para visualizar cuáles eventos coinciden entre los sujetos, se realizó el análisis visual que aparece en la figura 16 apoyados en líneas verticales que fueron recorridas a lo ancho del gráfico para buscar una coincidencia entre la ocurrencia de los eventos y los diferentes sujetos. Al hacer el corrimiento, marcamos las líneas en donde existieron intersecciones entre dos o más sujetos, además se registró en la tabla 8 los tiempos en el que ocurrieron estas intersecciones, líneas en azul para las intersecciones con dos sujetos, y líneas en rojo para intersecciones con tres o superior.

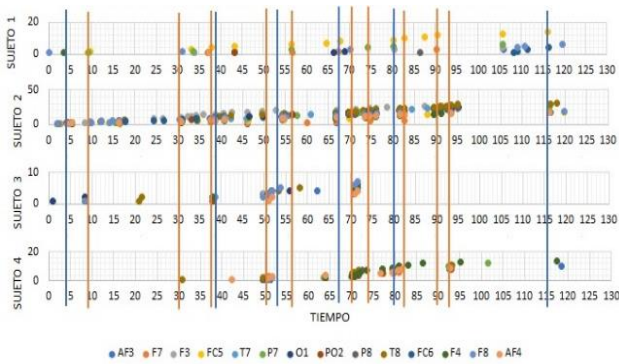


Figura 16 Análisis gráfico para detección de eventos coincidentes entre sujetos

Fuente: Elaboracion propia

2 sujetos		3+ sujetos			
4	67	9	50	74	93
39	80	31	56	82	
53	116	38	70	90	

Tabla 8 Tiempos en segundos con mayor coincidencia de eventos entre sujetos

Fuente: Elaboracion propia

Una vez obtenidos estos tiempos, se procedió a tratar de asociarlos a algún patrón o comportamiento escuchado en la melodía, para realizar lo anterior, el equipo de investigación se dedicó a escuchar la canción completa Für Elise y prestó especial atención a los tiempos registrados en la tabla X.

Prueba 2: Música Heavy Metal - Raining Blood – Slayer

“Raining Blood” es una canción de Slayer, una banda americana de Heavy Metal. Esta música de baja vibración caracterizada por su velocidad e intensidad, manipula frecuencias altas y bajas que provoca un estrés y un grado de excitación muy alto para los sentidos. Los sujetos escucharon la reproducción de esta pieza musical mientras se les realizó la prueba EEG.

A continuación, se presenta el análisis realizado para la determinación de los momentos más importantes de las muestras y su relación con la reproducción de la canción, el análisis es exactamente igual que en el caso de “For Elise”, por ello se omiten las explicaciones y, se presentan solamente las figuras y la tabla realizadas.

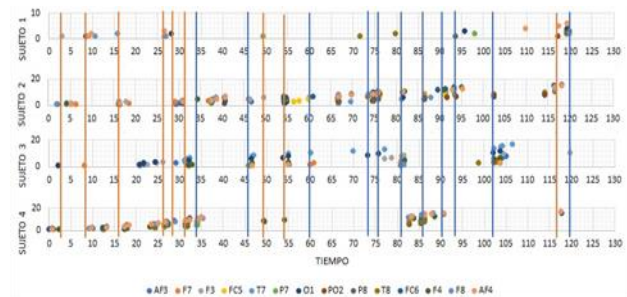


Figura 17 Análisis gráfico para detección de eventos coincidentes entre sujetos.

Fuente: propia

2 sujetos		3+ sujetos				
4	26	50	33	73	86	103
9	29	116	46	76	91	
16	35		60	81	94	

Tabla 9 Tiempos en segundos con mayor coincidencia de eventos entre sujetos

Fuente: Elaboracion propia

Conclusiones

Como se mostró previamente, el uso de a Transformada Wavelet permite conocer el comportamiento en frecuencia a cada instante de la señal EEG, con lo cual se puede conocer cómo se distribuye la actividad eléctrica cerebral durante el experimento.

Se registró una reincidencia notable en los electrodos T8, F8, FC6 y AF4 (zonas temporales y prefrontales del hemisferio derecho), siendo estos los electrodos que registraron la mayor potencia total en la mayoría de las muestras analizadas.

También se observó que aunque el electrodo haya registrado mayores potencias, no necesariamente se registran picos significativos, lo que sugiere que la potencia se distribuyó uniformemente en dichos electrodos.

Referente a la música clásica (For Elise), se observó que la mayoría de los tiempos registrados coinciden con las partes de la melodía en la que se repetían los primeros cuatro compases. Como se mencionó anteriormente, corresponden a las notas que de manera general los sujetos reconocen de la canción. También se observó en algunos de los tiempos registrados coinciden con los momentos en que la pieza musical presentaba un cambio de ritmo.

Para la música heavy metal (Raining Blood), no se detectaron momentos de coincidencia generalizados. Sin embargo, se sugiere una relación en el 66% de las muestras en donde presentaron una mayor actividad eléctrica cerebral, principalmente en los instantes donde se hace presente la melodía de la guitarra distintiva de esta canción.

Agradecimientos

Se agradece 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 Cávez (Instituto Tecnológico Superior de Cajeme), Brian David Espinosa Dorado (Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez), Anhaid Hernandez Barragan (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.

Referencias

- Bermúdez, A. N. (2013). Técnicas de procesamiento de EEG para detección de eventos. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.
- Chanda M. L. y Levitin D. J. (2013). The neurochemistry of music. Trends Cogn Sci. Vol. 17.
- 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.
- Cortés O., J. A., Medina A., F. A. y Chaves O., J. A. (2007). “Del análisis de Fourier a las Wavelets, análisis de Fourier”. Universidad Tecnológica de Pereira. Vol. 1.

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,” in Proc. Biomedical Engineering, track 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, L., Rojo, Y., Mungía, P. E., y Zaragoza, J. M. (2015) “Análisis de señales electroencefalográficas en un niño con autismo realizando diferentes actividades de aprendizaje”, Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica. Mem. Electro.

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). Reduccion 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). Manipulación de un brazo robótico mediante señales electroencefalográficas. (ECOFAN, Ed.) *Revista de Tecnología e Innovación*, pp.89-98.

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. (ECOFAN, Ed.) *Revista de Ciencias de la Salud*, pp.1-10.

Patrik, J. N. y Sloboda, J. A. (2001). “Music and emotion: Theory and research”. Oxford University Press.

Patrik, J. N. y Västfjäll, D. (2008). “Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms”. *Behavioral and brain sciences*, Vol. 31.

Stefanatos, G. A. (2008). «Regression in acutistic spectrum disorders». *Neuropsychol* Vol 18.