

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Implementación de sistema de monitoreo y análisis de ondas cerebrales en estudios con pulsos binaurales, y su incidencia en el estado mental

Artículo académico

Christian Damian Pérez Solis

Ingeniería Electrónica

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Electrónico

Quito, 11 de Mayo de 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Implementación de sistema de monitoreo y análisis de ondas cerebrales en estudios con pulsos binaurales, y su incidencia en el estado mental

Christian Damian Pérez Solis

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Diego Benítez, Ph.D .

Firma del profesor

Quito, 11 de Mayo de 2018

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Christian Damian Pérez Solís

Código: 00114047

Cédula de Identidad: 1804240883

Lugar y fecha: Quito, 11 de mayo de 2018

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló una interface gráfica en LabVIEW para la generación de tonos binaurales Theta (6 Hz), esto se añadió a otra interface que permite observar las señales cerebrales desde el casco Emotiv Epoc en tiempo real. Con lo desarrollado y la herramienta (casco) se procedió a realizar un experimento de concentración en varias personas, para determinar la incidencia o no de la estimulación binaural Theta en la zona parietal izquierda. En Matlab se realizó el análisis de la información receptada con métodos de Fourier, específicamente con la transformada de Fourier corta en el tiempo.

Palabras clave: Sonido binaural, Ondas cerebrales, Ondas theta, Transformada de Fourier, Epoc Emotiv

ABSTRACT

In the present work a graphical interface was developed in LabVIEW for the generation of binaural Theta tones (6 Hz), this was added to another interface that allows to observe the brain signals from the Emotiv Epoc helmet, in real time. With the developed and the tool (helmet) a concentration experiment was carried out in several people, to determine the incidence or not of Theta binaural stimulation in the left parietal area of the brain. The information received from the helmet was analyzed in Matlab with Fourier, specifically with the short in time Fourier transform.

Key words: Binaural sound, Brain waves, Theta wave, Fourier transform, Epoc emotiv

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	Error! Bookmark not defined.
Metodología	9
Resultados	13
Conclusiones	16
Referencias bibliográficas	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ondas cerebrales	Error! Bookmark not defined.
Tabla 2. Epoc Emotiv	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interfaz LabVIEW generadora de tonos binaurales	11
Figura 2. Distribución de sensores 10-20	11
Figura 3. Interfaz LabVIEW de las señales en tiempo real	11
Figura 4. Casco Epoc Emotiv.....	11
Figura 5. Prueba 1, señales de Emotiv Epoc.....	13
Figura 6. Prueba 2, señales de Emotiv Epoc.....	13
Figura 7. Prueba 3, señales de Emotiv Epoc.....	13
Figura 8. Prueba 4, señales de Emotiv Epoc.....	13
Figura 9. Prueba 5, señales de Emotiv Epoc.....	14
Figura 10. Prueba 6, señales de Emotiv Epoc.....	14
Figura 11. Prueba 7, señales de Emotiv Epoc.....	14
Figura 12. Prueba 1, Espectrogramas	14
Figura 13. Prueba 2, Espectrogramas	14
Figura 14. Prueba 3, Espectrogramas	15
Figura 15. Prueba 4, Espectrogramas	15
Figura 16. Prueba 5, Espectrogramas	15
Figura 17. Prueba 6, Espectrogramas	15
Figura 18. Prueba 7, Espectrogramas	15

Implementación de Sistema de Monitoreo y Análisis de Ondas Cerebrales en Estudios con Pulsos Binaurales, y su Incidencia en el Estado Mental

Damian Pérez¹ y PhD. Diego Benítez²

Abstract— En el presente trabajo se desarrolló una interface gráfica en LabVIEW para la generación de tonos binaurales Theta (6 Hz), esto se añadió a otra interface que permite observar las señales cerebrales desde el casco Emotiv Eporc en tiempo real. Con lo desarrollado y la herramienta (casco) se procedió a realizar un experimento de concentración en varias personas, para determinar la incidencia o no de la estimulación binaural Theta en la zona parietal izquierda. En Matlab se realizó el análisis de la información receptada con métodos de Fourier, específicamente con la transformada de Fourier corta en el tiempo.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema auditivo de los seres humanos tiene la capacidad para convertir los estímulos sonoros en información asimilable. El sistema es responsable de captar, identificar y situar el origen de las emisiones sonoras alrededor del individuo. La audición ha sido un sentido muy importante para el desarrollo de la comunicación entre los seres vivos. El sonido puede cambiar el estado de ánimo de un ser vivo, como relajarlo o irritarlo, dependiendo de la frecuencia y energía del mismo. Los sonidos, en general, son percibidos mezclados en el ambiente externo, y el sistema auditivo se encarga de discriminarlos para posteriormente asimilarlos. El oído humano es capaz de percibir sonidos desde 20 Hz hasta los 20 kHz.

Una onda binaural se obtienen al aplicar un sonido sobre un oído y otro de frecuencia ligeramente diferente sobre el otro oído, esto ocasiona un desfase progresivo y alternante. La magnitud de la diferencia de las frecuencias aplicadas da el nombre a dicha onda. El estímulo con sonidos binaurales en un ser humano puede también causar un cambio en su estado de ánimo

como cualquier otro sonido, el cambio depende de la magnitud de la onda binaural, entonces la clasificación según Gavatto se muestra en la tabla 1.

TABLE I
ONDAS CEREBRALES

Theta	4 a 8 Hz
Alfa	8 a 12 Hz
Beta	12 a 20 Hz
Gamma	mayor a 30 Hz

En este trabajo se parte de la teoría de la respuesta cerebral antes mencionada a ciertos estímulos auditivos, específicamente de la reacción cerebral a estímulos auditivos binaurales de frecuencia Theta. Se obtiene señales cerebrales digitalizadas de una prueba con individuos voluntarios, las cuales tienen una amplitud en micro voltios. Se desarrolla un procesamiento digital y el análisis de las señales cerebrales obtenidas con el fin de observar la reacción que puede surgir en el cerebro debido a la estimulación auditiva con los sonidos binaurales Theta.

II. METODOLOGÍA

A. Experimentación

Para el desarrollo del experimento es necesario establecer la importancia del sonido binaural Theta (6 Hz). La estimulación auditiva podría producir una variación en la actividad cerebral, dependiendo de las características de los mismos. Para las pruebas realizadas en este estudio se eligió la frecuencia Theta debido a que, según menciona

Gavatto, es una frecuencia que induce al individuo a un estado de estabilidad, de concentración, pero no de estrés, de relajación, pero no de sueño. Como se describió, el ser humano normoyente, es decir personas sin problemas auditivos, pueden escuchar sonidos de 20 hasta 20 kHz, de esta manera Lane describe que los sonido binaurales se perciben de manera óptima cuando estos están alrededor de los 400 Hz, y los mismo desaparecen sobre los 100 Hz. Por estas razones se decidió que para las pruebas un canal auditivo tenga una frecuencia de 400 Hz y el otro canal una frecuencia de 406 Hz.

El cerebro es un órgano electroquímico, en donde la conexión entre las neuronas es el punto fundamental de funcionamiento, la transmisión de información entre las neuronas, llamada sinopsis, causa una diferencia de potencial (Jiménez, 2012). La actividad cerebral se mide por las variaciones de potencial en su corteza, y dependiendo del estímulo el cerebro reacciona en una o varias de sus zonas (Oster 1973). Para las pruebas, se elige una zona del cerebro, en la cual existe una mejor reacción de mismo a estímulos auditivos, en especial a las frecuencias elegidas. De acuerdo a González, la zona que cumple los requisitos para las pruebas es el parietal izquierdo, el cual reacciona a varios estímulos auditivos, pero de mejor manera a estímulos con diferencia interaural.

Para realizar las pruebas se establece la actividad que deben realizar los voluntarios. La actividad que el individuo realice debe evitar que la información que se obtenga acumule demasiados errores, para ello se elige una actividad que limite los movimientos bruscos, y demás interferencias que puedan perjudicar el estudio, así que se evita pruebas como hablar en voz alta o realizar movimientos de cabeza, no se puede realizar una actividad en la que se limite a una relajación sin movimientos porque de esa manera no se tendrá ningún control sobre la actividad cerebral de cada persona. La actividad que se elige es la lectura (la cual dura aproximadamente 2 minutos), en ella se minimiza los movimientos del individuo y se tiene un control de la actividad de los voluntarios.

Los individuos para realizar la pruebas se los elige en base a un rango de edad de entre 18 y 23 años, a razón de que es un rango en el que las personas pueden mantener una concentración adecuada durante las pruebas. Además se elige a personas que carezcan de problemas auditivos para que, en lo posible, todas las pruebas se consideren válidas. Añadido a lo anterior, las pruebas se realizan en lugares aislados de cualquier interferencia exterior que puedan desviar la concentración de los voluntarios.

B. LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), es una herramienta utilizada para la simulación de sistemas de medida y control, para instrumentos programables, integra un diagrama de bloques en donde se realiza la programación y un panel frontal en el que se visualiza una interfaz más intuitiva al usuario (National Instruments). El programa permite descargar diversas librerías que amplían el rango de aplicaciones.

La generación de tonos binaurales se los realiza a partir de una interfaz diseñada en LabVIEW, en el diagrama de bloques se programa la generación de tonos con su respectiva gráfica en tiempo real que permita observar la frecuencia como la amplitud. Debido a que se debe generar dos frecuencias distintas, se debe obtener una salida estéreo (se utilizara audífonos en las pruebas puesto que el cerebro es el que debe encargarse de la construcción del pulso binaural), por lo que en la interfaz se observa dos pulsos. Para futuras aplicaciones, la frecuencia de cada uno de los canales auditivos se puede personalizar.

La obtención de los potenciales de tipo EEG (Electroencefalograma) es más complicado que obtener otros potenciales, porque en la corteza cerebral se originan voltajes muy bajos. Los electrodos son sensores que registran la actividad cerebral, estos se disponen en la cabeza de acuerdo al sistema 10-20, de la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía, que dispone una distribución específica de los sensores.

Existe un botón que permite grabar la información cuando se crea conveniente.

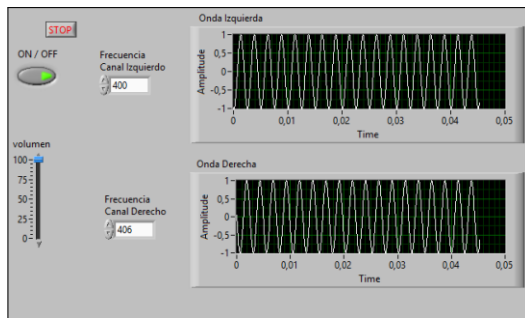


Fig. 1. Interfaz LabVIEW generadora de tonos binaurales

Algunas características de la herramienta se muestran en la tabla (2).

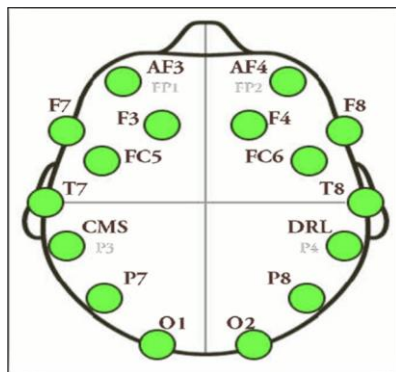


Fig. 2. Distribución de sensores 10-20

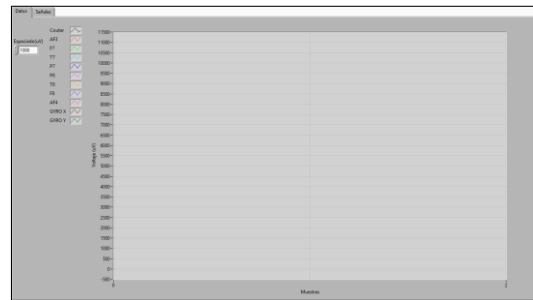


Fig. 3. Interfaz LabVIEW de las señales en tiempo real



Fig. 4. Casco EPOC Emotiv

TABLE II
EPOC EMOTIV

Sensores	14 + 2 referencias (CMS y DRL)
Frecuencia de muestreo	128 SPS
Conectividad	Wireless
Resolución	14 bits
Batería	LiPo

Una interfaz en LabVIEW permite la visualización de la información que emite el casco. La interfaz proporciona información de relevancia como el estado de la conexión inalámbrica, la conexión o no de cada uno de los sensores y el estado de la batería. A esta misma interfaz se añade el programa que genera los tonos binaurales.

C. Análisis de la Información

La información que se obtiene del casco Emotiv se almacena desde LabVIEW en formato lvm. El archivo que se genera guarda los detalles de cada uno de los sensores, incluido los de referencia. Por las razones antes detalladas, se procede a separar la información del sensor P7 (Parietal izquierdo). La información del sensor de interés se importa al programa Matlab, en el cual se realizará el análisis.

Las comunicaciones han sido de gran importancia para el desarrollo de la humanidad, en el mundo actual, con la tecnología vigente, para emitir un mensaje se genera una señal la que posteriormente se interpreta. Para la interpretación de dichas señales se han desarrollado numerosos algoritmos.

Los voltajes cerebrales que emite el cerebro se pueden interpretar como una señal, y por lo tanto se puede aplicar un análisis a esa información para conocer sus características.

La información cerebral discreta del sensor P7, una vez en Matlab, se grafica el voltaje vs tiempo. A partir de esta gráfica se obtiene más información de las muestras. En primer lugar se realiza un acondicionamiento de la señal, es decir que se centra respecto al ejercicio vertical (voltaje), y se eliminan tendencias no lineales de las muestras. A las muestras también se las procesa por un filtro digital para eliminar ruidos de frecuencias muy altas.

En las muestras es importante observar que frecuencias dominan, por lo que se procedió a realizar una aproximación de la densidad espectral de potencia. Para observar la distribución de la energía respecto a la frecuencia se utiliza la estimación de Welch, de esta manera es más fácil elegir la zona (rango de frecuencias) de interés para el estudio.

Cuando se obtiene el rango de frecuencias dominantes se realiza un filtro digital con características específicas. El rango de frecuencia dominante es de entre 0 y 20 [Hz] aproximadamente, por lo que se diseña un nuevo filtro digital Chebyshev para pasar solo las frecuencias a analizar. Se elige un filtro de tipo Chebyshev en lugar de uno Butterworth porque con el primero se puede obtener un filtro menor orden y mayor precisión.

Una vez lista la señal, se procede a realizar el análisis de la misma. Para el análisis de una señal existen varios tipos de procedimientos como la transformada de Fourier, la transformada de Wavelet, entre otros. Para el estudio se elige la transformada de Fourier por su amplia utilización, existen estudios en los que se realiza el análisis de señales con la transformada de Wavelet, pero debido a que su mayor uso se da en el campo de las imágenes, no conviene utilizarla en este estudio.

Una de las aplicaciones de la transformada de Fourier es convertir una señal desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. En un gráfico de la frecuencia vs tiempo es más fácil observar útiles características de las muestras. La transformada de una señal $f(x)$ viene dada por la ecuación (1).

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2i\pi x\xi} dx \quad (1)$$

Aunque existen variaciones de la transformada de Fourier, dependiendo del tipo de señales y el tipo de análisis a realizar, como la transformada discreta, la transformada rápida, etc. En este estudio se utilizará la transformada de Fourier corta en el tiempo (Short Time Fourier Transform). La transformada de Fourier se emplea para el análisis de señales periódicas, pero las señales cerebrales no son periódicas, por lo tanto, se utiliza la STFT para este estudio.

La STFT realiza la transformada de Fourier de una señal no estacionaria, es decir que el espectro depende del intervalo del tiempo que se requiera, por lo tanto, interesa no solo el espectro de la señal sino también el intervalo de tiempo en que se produce el espectro. La STFT divide a la señal en segmentos iguales, de cada uno se obtiene la Transformada Discreta de Fourier (Bertran E.).

La segmentación de una señal se la llama como ventaneo. El ventaneo consiste en delimitar la señal en el tiempo por una función ventana. Con el análisis espectral individual de cada segmento se obtiene una secuencia de espectros que forman parte del espectro variable a lo largo del tiempo (Zamorano M.). Entre las funciones ventana está la de Hanning, Hamming, Blackman, etc. Las diferencias principales entre las ventanas radican en el ancho del lóbulo principal, nivel de lóbulos laterales, y la pendiente de caída.

$$X_l(k) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n + lH)e^{jwkn} \quad (2)$$

La ecuación (2) representa la STFT, l es el número de segmento, y H es la función ventana.

La ventana Hamming se adecua bastante bien

para el análisis de señales cerebrales, después del ventaneo y aplicar la transformada de Fourier a cada segmento, para construir la señal de respuesta, cada segmento analizado se traslapa un 50% para evitar las discontinuidades.

Para que el análisis sea observable y comprensible, se recurre a una gráfica, en la cual se muestre la energía de la señal analizada en el transcurso del tiempo, así como las frecuencias dominantes. Para ello se realiza un espectrograma, el que contenga toda la información.

III. RESULTADOS

A continuación, desde la figura 4 hasta la figura 10 se muestran las señales obtenidas de las pruebas con la ayuda del casco Emotiv Epoc. Las señales mostradas corresponden al sensor P7, por las razones antes mencionadas, en la parte superior la respuesta a la prueba sin audio, mientras que en la parte inferior la respuesta a la prueba con la estimulación binaural.

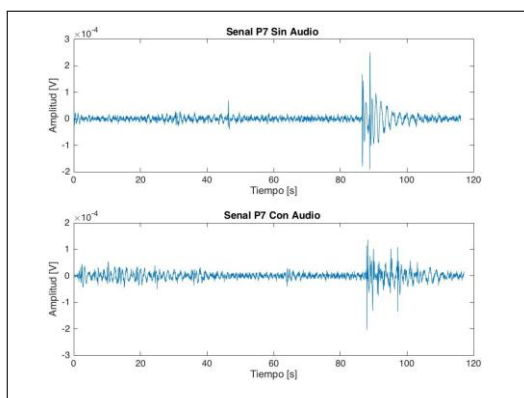


Fig. 5. Prueba 1, señales de Emotiv Epoc

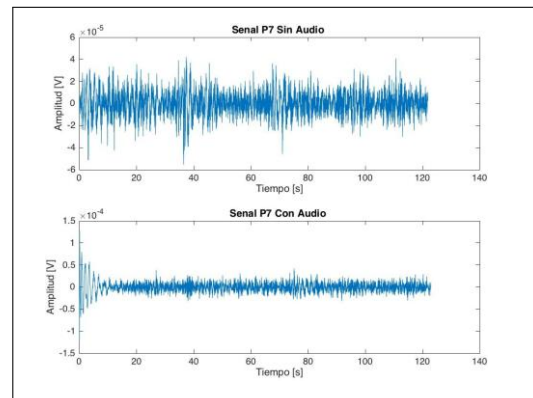


Fig. 6. Prueba 2, señales de Emotiv Epoc

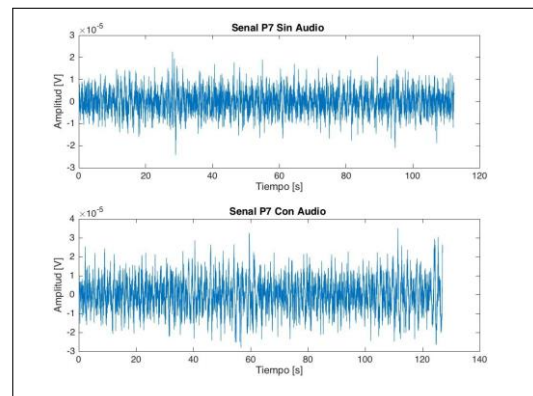


Fig. 7. Prueba 3, señales de Emotiv Epoc

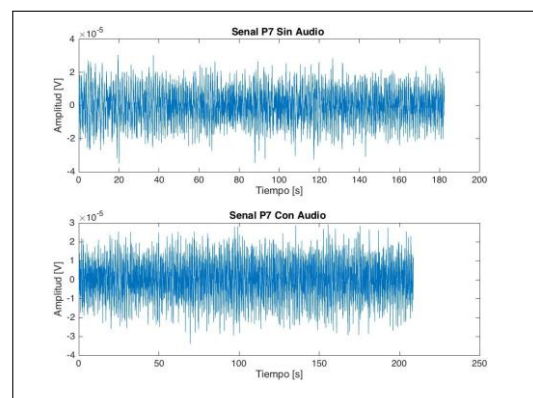


Fig. 8. Prueba 4, señales de Emotiv Epoc

De la figura 11 hasta la figura 17 se muestran los resultados del análisis, en espectrograma, de cada señal obtenida, así para una misma prueba en la parte inferior la respuesta al estímulo binaural y en la parte superior la prueba sin estimulación.

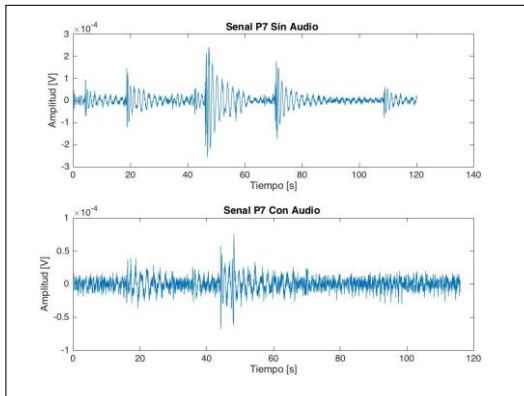


Fig. 9. Prueba 5, señales de Emotiv Epoc

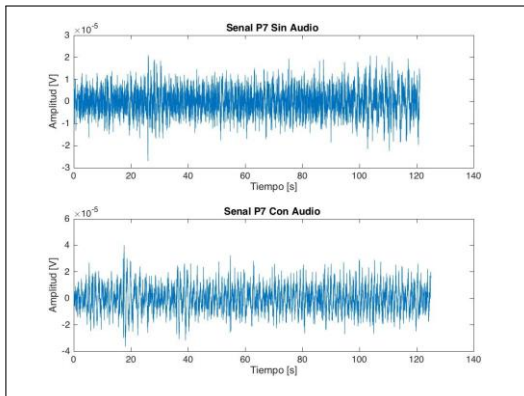


Fig. 10. Prueba 6, señales de Emotiv Epoc

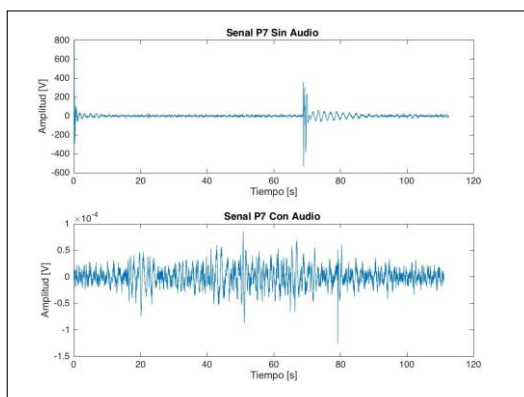


Fig. 11. Prueba 7, señales de Emotiv Epoc

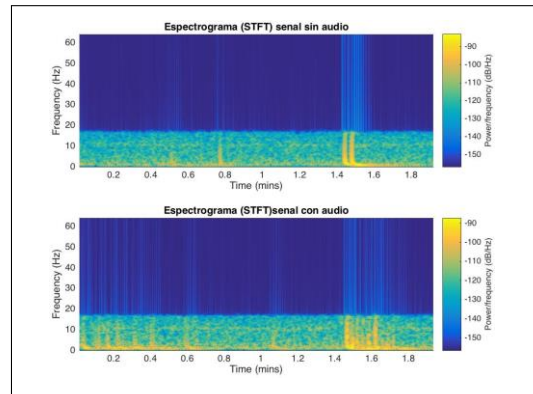


Fig. 12. Prueba 1, Espectrogramas

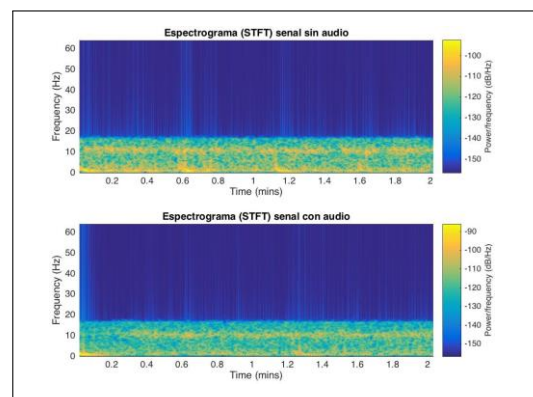


Fig. 13. Prueba 2, Espectrogramas

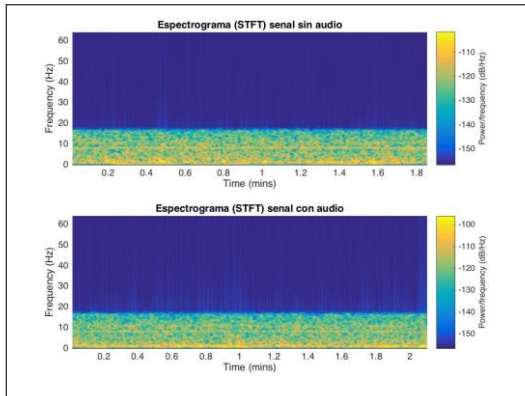


Fig. 14. Prueba 3, Espectrogramas

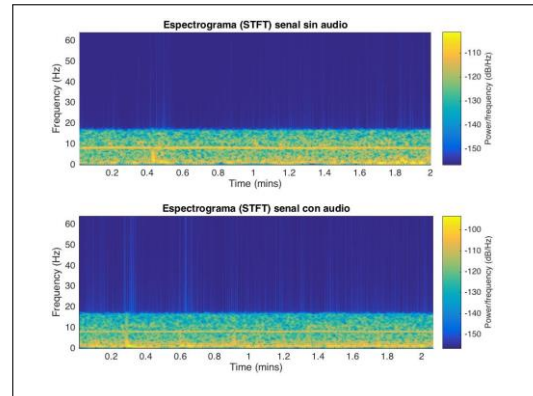


Fig. 17. Prueba 6, Espectrogramas

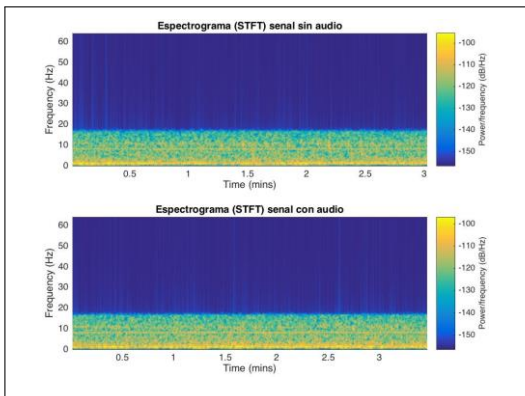


Fig. 15. Prueba 4, Espectrogramas

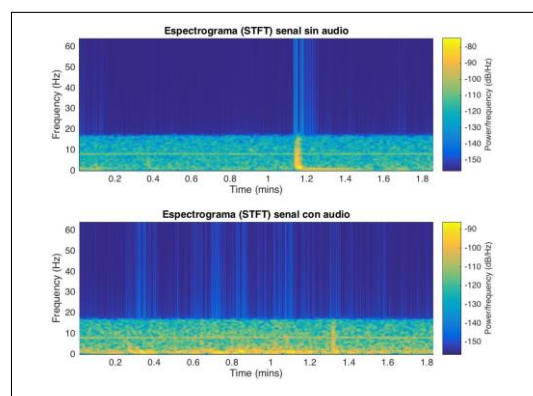


Fig. 18. Prueba 7, Espectrogramas

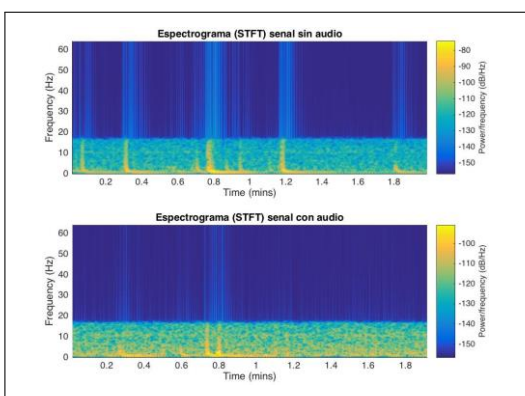


Fig. 16. Prueba 5, Espectrogramas

Se observa que en los espectrogramas de las señales la distribución de la energía de las mismas con respecto al tiempo y a la frecuencia.

En las pruebas, durante la actividad de concentración (parte superior) la mayor energía se concentra en ciertos intervalos de tiempo y frecuencia. Mientras que cuando se toma información durante la estimulación binaural, en el espectrograma se evidencia que disminuyen las concentraciones de energía, hay una distribución diferente, la energía se encuentra esparcida en una mayor área de la gráfica.

IV. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha creado una interface LabVIEW que permite generar tonos binaurales, diseñado de manera que se pueda cambiar el tipo de tono binaural. Posterior a eso se extraído la información de las pruebas con la ayuda de otra interface en el mismo programa.

En Matlab se ha implementado un código con el que hizo el análisis de las información obtenida con anterioridad, se obtuvo en principio la estimación de la densidad espectral para posteriormente realizar la STFT con mayor precisión.

Los resultados obtenidos, que se observan en los espectrogramas, indican que existe una reacción cerebral distinta cuando un individuo realiza una actividad de concentración normalmente a cuando realiza la misma actividad con estimulación auditiva binaural Theta, específicamente en la zona parietal izquierda.

La distribución de la energía sugiere que el cerebro (zona parietal) está en una mayor actividad y durante un mayor intervalo de tiempo en comparación al espectrograma de la prueba sin el estímulo.

El aumento de actividad en la zona parietal se asocia con un incremento del proceso de memoria, por lo que se tendría una aplicación en el aprendizaje.

El experimento básico desarrollado sirve como una herramienta guía para realizar estudios futuros más complejos en el área de psicología, ya sea con el mismo tipo de tono binaural u otro. También como trabajo futuro, se puede realizar un análisis del comportamiento de las distintas partes del cerebro.

REFERENCES

[1] Bertran, E. (2010). Procesado digital de señales: fundamentos para comunicaciones y control. Universidad Politécnica de Cataluña: España.
 [2] Cáceres, J. (2007). Análisis espectral 1: Transformada corta de Fourier y ventanas. Universidad de Stanford. California, Estados Unidos.

[3] Castañeda, P. (2017). Sistema Auditivo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Diciembre 2017, de la biblioteca de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
 [4] Delgado, A. Análisis del electroencefalograma con transformada de Fourier y modelos paramétricos. Universidad Nacional de Colombia. 5 enero de 2018, de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/20673/21656>
 [5] Gavotto, O. (2015). Fundamentos Neuropedagógicos para mejorar la atención de los estudiantes en el proceso educativo. 10 de Noviembre de 2017, de: <http://revistaconectados.com.mx/assets/art114.pdf>
 [6] Gonzáles, P. (2010). Influencia de la estimulación sonora binaural en la generación de ondas cerebrales, estudio electroencefalográfico.
 [7] Guerrero, J. (2011). Estimación espectral. Departamento de ingeniería electrónica. Universidad de Valencia. 16 noviembre 2017, de: <http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ibmaterial/IB750CW.pdf>
 [8] Jiménez, R. (2012). Estudio para determinar un par de frecuencias que generen un estado de relajación en el ser humano, mediante la reproducción de sonidos binaurales. Universidad de Buenaventura. Bogotá, Colombia.
 [9] Llancafil, N. (2013). Efectos de los infrasonidos en la conducta humana. Universidad Austral de Chile. Diciembre 2017, de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfci1791e/doc/bmfci1791e.pdf>
 [10] Llisterri, J. (2018). La audición. Universidad Autónoma de Barcelona. 18 Marzo 2018, de: <http://liceu.uab.es>
 [11] Oster, G. (1973) Auditory beats in the brain. Scientific American, pp. 94-102. 14 de febrero de 2018 de: <http://www.amadeux.net/sublimen/documenti/G.OsterAuditoryBeatsintheBrain.pdf>.
 [12] Pérez, A., Martínez, F. y Rodríguez, G. (2017). Sistema de software de adquisición y procesamiento de EEG mediante Matlab. Universidad Politécnica de Cartagena. 17 septiembre 2017, de: <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5635/pfc6391.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 [13] Rodríguez, J. & Pacheco, A. (2015). Puesta a punto de un sistema de electroencefalografía portátil. Universidad de La Laguna. San Cristóbal de La Laguna, España.
 [14] Vimos, H. & Yáñez, M. (2015). Diseño e implementación de un sistema de control en tiempo real mediante ondas cerebrales. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
 [15] Wilson, J., Buffa, A. y Lou, B. (2003). Ondas sonoras (Capítulo 14). Física. Pearson Educación.
 [16] Young, W. (2009). Signals and Systems with Matlab. Short Time Fourier Transform. Springer Science & Business Media
 [17] Zamorano, M. (2010). Análisis de señales mediante STFT y Wavelet. Aplicación a defectología en rodamientos. Universidad Carlos III de Madrid. España