

Artículo Científico

<https://doi.org/10.52428/20758944.v14i43.761>

Desarrollo e implementación de un sistema de análisis de ondas alfa y beta con realimentación de señales de estimulación audiovisual para personas que sufren de estrés

Development and implementation of an alpha and beta wave analysis system with feedback of audiovisual stimulation signals for people who suffer stress

Nicole N. Montaña Ríos 1. E. Ariel Quezada Castro 2.

1 Estudiante de la Carrera de Ingeniería Biomédica, Universidad Privada del Valle.
niki.mr2695@hotmail.com

2 Docente de la Facultad de Informática y Electrónica, Universidad Privada del Valle.
equezadac@univalle.edu

RESUMEN

En busca de una solución alternativa ante la gran problemática del estrés, se propone este sistema que consiste en la estimulación cerebral para inducir en las personas un estado de relajación. El sistema adquiere la señal de electroencefalografía (ondas cerebrales alfa y beta) a través del dispositivo *Neurosky Mindwave Mobile*. Mediante la aplicación de la transformada Wavelet, se implementa un algoritmo en Matlab para procesar, analizar y extraer las características principales de las ondas; con esto se puede corroborar los cambios producidos por estímulos audiovisuales en las ondas alfa y beta. Se utilizan estímulos auditivos basados en sonidos binaurales y estímulos visuales de luces estroboscópicas que trabajan una frecuencia de ondas alfa; así, el sistema permite el análisis de las ondas cerebrales alfa y beta y brinda estimulación audiovisual para inducir a estados de relajación y reducir los niveles de estrés en las personas.

Palabras clave: Electroencefalografía. Análisis de ondas cerebrales. Frecuencias alfa y beta. Estimulación audiovisual. Transformada Wavelet. Relajación. Estrés.

ABSTRACT

In search of an alternative solution, faced with the great problem such as stress, this system is proposed, which consists of brain stimulation to induce people to a state of relaxation. The system acquires the electroencephalography signal (alpha and beta signal) through the *Neurosky Mindwave Mobile* device, and then through an algorithm implemented in Matlab applying the Wavelet transform, it can process, analyze and extract the main characteristics of the Alpha and Beta brain waves, which are related with the states of relaxation and stress of people, with this analysis, the changes produced by audiovisual stimuli can be corroborated. Auditory stimuli are used, based on binaural sounds and visual stimuli of strobe lights that work an Alpha wave frequency, thus, the system allows the analysis of brain waves and provides audiovisual stimulation to induce states of relaxation and reduce levels of stress in people.

Keywords: Electroencephalography. Brain wave analysis. Alpha and beta frequencies. Audiovisual stimulation. Wavelet transform. Relaxation. Stress.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el estrés es una problemática presente en muchas personas, ya que puede causar diversos trastornos físicos y mentales. Erradicarlo de nuestra rutina se traduce en convertirnos en una sociedad sana.

El sistema nervioso central se encarga de la detección de estímulos, la transmisión de informaciones y la coordinación general. El cerebro es el órgano clave que posee actividad eléctrica y puede ser cuantificada en forma de ondas cerebrales específicas registradas a través de la electroencefalografía (EEG). Esta actividad puede ser alterada y controlada mediante estímulos externos. Las cuatro ondas básicas que se pueden evidenciar en el cerebro son Beta, Alfa, Theta y Delta (Kotsos, 2008).

Una respuesta de estrés implica un aumento de la frecuencia de las ondas cerebrales y se ha demostrado que un plan de entrenamiento para generar ondas Alfa combinado con un plan de entrenamiento para suprimir ondas Beta contribuye a mantener las reacciones de estrés y ansiedad bajo control (Seo y Lee, 2010).

Para validar estos métodos se recurre al análisis de la actividad cerebral y—debido a que las señales no son estacionarias— es más conveniente usar una transformada que tenga buena resolución temporal a altas frecuencias y—a la vez— buena resolución en frecuencia con registros largos. Esto lo consigue la transformada Wavelet (Figliola y Serrano, 1997).

La existencia de un sistema de análisis de ondas cerebrales a través de la transformada Wavelet, que al mismo tiempo brinda estimulación no invasiva de tal forma que sea posible modificar la actividad cerebral de las personas, permite brindar una herramienta para inducir a un estado de relajación y asimismo reducir los niveles de estrés en las personas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Generación del estímulo visual

La generación del estímulo visual se basa en las luces estroboscópicas, se utilizan leds RGB. Estos son controlados por una señal digital PWM (modulada por ancho de pulso) para conseguir un parpadeo a una frecuencia de 10 Hz, debido a que esta frecuencia se encuentra dentro del rango de las ondas cerebrales Alfa, que son las que se desea generar en el usuario para conseguir un estado de relajación. La señal PWM se crea mediante la tarjeta de desarrollo Photon Particle.

Generación del estímulo auditivo

La estimulación auditiva se basa en sonidos binaurales que consisten básicamente en dos ondas sinusoidales de tono puro, son generadas a través de un programa desarrollado en Matlab y se reproducen por dos canales diferentes. Se manejan tres sonidos binaurales distintos, con las características que se describen en la tabla N°1.

Tabla Nº1. Características sonidos binaurales

Sonido Binaural 1	
Onda Sinusoidal 1	A=1; f=130 Hz; t= (1/2) *Tiempo sesión
Onda Sinusoidal 2	A=1; f=120 Hz; t= (1/2) *Tiempo sesión
Sonido Binaural 2	
Onda Sinusoidal 3	A=1; f=141 Hz; t= (1/3) *Tiempo sesión
Onda Sinusoidal 4	A=1; f=130 Hz; t= (1/3) *Tiempo sesión
Sonido Binaural 3	
Onda Sinusoidal 5	A=1; f=211 Hz; t= (1/6) *Tiempo sesión
Onda Sinusoidal 6	A=1; f=200 Hz; t= (1/6) *Tiempo sesión

Fuente: Elaboración propia, 2018

Adquisición de la señal EEG

Para la adquisición de la señal de EEG se emplea el dispositivo MindWave Mobile de Neurosky, que permite la obtención de señales EEG a través de una interfaz tipo diadema que se coloca en la cabeza. Utiliza una conexión inalámbrica para comunicarse con el computador y adquiere las señales a través la configuración monopolar de dos electrodos. El electrodo activo se sitúa en la ubicación FP1, según el sistema internacional 10-20, y el electrodo de referencia se conecta en el lóbulo de la oreja.

Procesamiento de la señal EEG

- Conversión de la señal EEG a voltaje

Debido a que el MindWave Mobile entrega datos sin formato, se recurre a la Ecuación 1 para convertir los datos adquiridos a voltaje (esta ecuación es obtenida de la página oficial de Neurosky).

Ecuación 1: Conversión señal EEG a voltaje

$$data = \frac{rawValue * \left(\frac{1.8}{40.96}\right)}{2000} [V] \quad (1)$$

Donde *rawValue* corresponden a los datos recibidos.

- Filtrado de la señal EEG

Se aplica un filtro digital pasa banda Butterworth de segundo orden con frecuencia de corte inferior de 0.5 Hz y frecuencia superior de 40 Hz, porque las ondas cerebrales se encuentran en este rango de frecuencias.

- Aplicación de la transformada Wavelet

El análisis multiresolución de la transformada Wavelet permite descomponer la señal de EEG adquirida, en las bandas que corresponden a las ondas cerebrales, para así obtener las ondas Alfa y Beta. Este análisis requiere de la selección de una Wavelet madre representada por la Ecuación 2.

Ecuación 2: Wavelet madre

$$\Psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \Psi\left[\frac{t-\tau}{s}\right] \quad (2)$$

Al tratarse de una señal de EEG, la familia de Wavelet Symlet es la más adecuada, la Wavelet sym8 es la seleccionada.

Filtros de media banda son usados para analizar la señal en diferentes escalas. La señal se pasa a través de filtros paso alto para analizar las componentes de alta frecuencia y luego se cambia a paso bajo para analizar las componentes de baja frecuencia. Cada etapa de filtrado da como resultado un nivel de descomposición compuesto por los coeficientes de aproximación (cA) resultado del filtro pasa bajo y los coeficientes de detalle (cD) resultado del filtro pasa alto. De esta manera se forma el denominado algoritmo piramidal de la transformada Wavelet.

Los coeficientes resultantes que contienen a los rangos de frecuencia correspondientes a las ondas cerebrales están especificados en la tabla N°2.

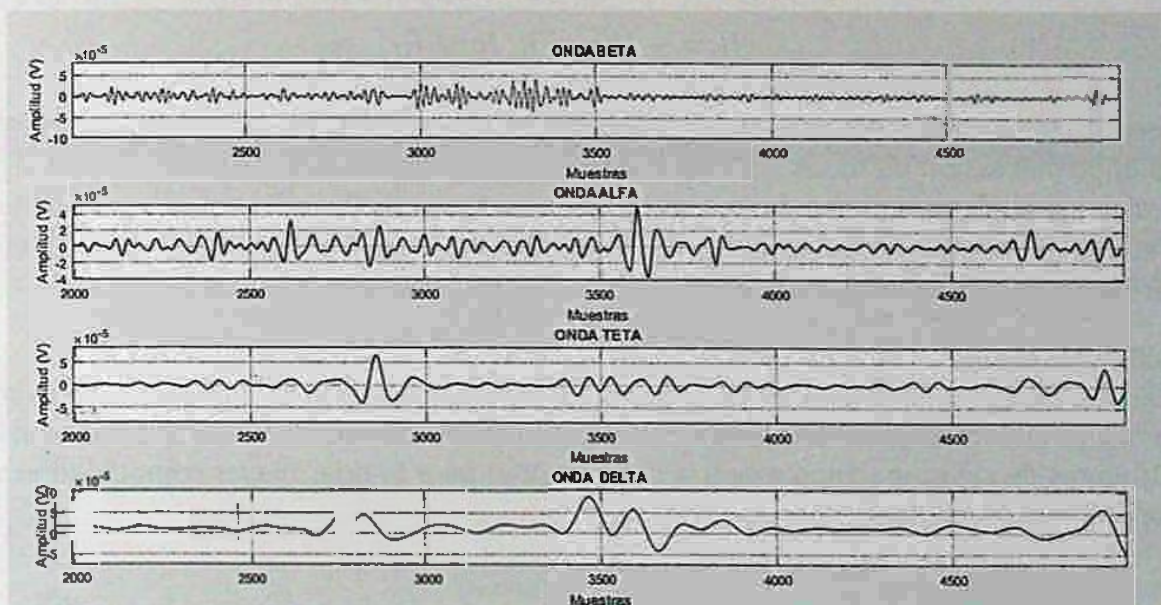
Tabla N°2. Descomposición de señal EEG mediante la transformada Wavelet

Ondas cerebrales	Coficiente	Banda de frecuencia
Beta	Coficiente de detalle cD4	16-32Hz
Alfa	Coficiente de detalle cD5	8-16Hz
Theta	Coficiente de detalle cD6	4-8Hz
Delta	Coficiente de aproximación cA6	0-4Hz

Fuente: Elaboración propia, 2018

De esta manera se consigue separar la señal EEG en las ondas cerebrales Alfa, Beta, Theta y Delta (como se muestra en la figura N°1) para proceder con la etapa de análisis de estas.

Figura N°1. Descomposición de señal EEG en ondas cerebrales



Fuente: Elaboración propia, 2018

- Análisis de ondas alfa y beta

Una vez obtenidas las ondas cerebrales para su análisis, se aplica la extracción de características para

comprender mejor el comportamiento de las ondas Alfa y Beta del usuario durante la sesión. Estas características son:

- a) Energía: aplicando a cada onda la Ecuación 3. Donde el sistema obtiene un valor de energía por segundo, es decir, cada 512 coeficientes Wavelet, esto por la frecuencia de muestreo.

Ecuación 3: Energía por nivel de descomposición

$$E_j = \sum_k |C_{j,k}^i|^2 \quad (3)$$

- b) Densidad espectral de potencia (PSD): espectro de potencia dentro de un ancho de banda específico, aplicando la Ecuación 4 a las ondas Alfa y Beta correspondientes, donde f_s es la frecuencia de muestreo de la señal; es decir, 512Hz, n el número de muestras obtenido mediante el número de coeficientes Wavelet y DFFT es la Transformada discreta de Fourier de la señal.

Ecuación 4: Densidad de potencia espectral

$$PSD = \frac{1}{f_s \cdot n} |DFFT|^2 \quad (4)$$

- c) Entropía espectral: Mediante la energía calculada para ambas ondas se aplica la Ecuación 5, para obtener la energía relativa, y—por último— con la Ecuación 6 obtener la entropía espectral.

Ecuación 5: Energía relativa

$$ER = \frac{E_j}{E_{total}}, \quad j = 1 \text{ hasta } n \quad (5)$$

Ecuación 6: Entropía espectral

$$H = - \sum_{j=1}^M ER_j \log ER_j \quad (6)$$

Desarrollo del software del sistema

Para la implementación de todas las etapas descritas con anterioridad, se desarrolla un algoritmo principal del sistema en Matlab debido a los requerimientos y objetivos del sistema propuesto y a las ventajas que tiene, ya que es el entorno de cálculo más productivo y fácil de usar para ingenieros y científicos.

Hardware del sistema

El dispositivo de estimulación visual se compone de dos placas impresas que contienen cuatro leds RGB cada una, ambas placas se encuentran conectadas al Photon Particle. Están adaptadas al interior de unos lentes de ciclismo (como muestra la figura N°2) para brindar mayor comodidad al usuario durante la sesión de estimulación.

Figura N°2 Dispositivo de estimulación visual



Fuente: Elaboración propia, 2018

RESULTADOS

Se tomó una población de 12 personas divididas en dos grupos:

- Grupo I: 8 personas entre 20 a 30 años, 6 mujeres (F) y 2 hombres (M).
- Grupo II: 4 personas mayores a 40 años, 1 mujer (F) y 3 hombres (M).

Se realizaron dos tipos de pruebas a cada persona.

- Prueba 1 de sesión sin estimulación audiovisual (S1).
- Prueba 2 con la sesión de relajación del sistema, es decir, aplicando los estímulos audiovisuales (S2).

Se calculan los valores medio, máximo, mínimo y desviación estándar de cada espectro de potencia; estos datos obtenidos se muestran tanto para la sesión sin estimulación como también la sesión con estimulación en las tablas N°3 y N°4 respectivamente.

Tabla N°3. Características de PSD de Alfa y Beta sin estimulación

Usuario	Grupo	Medio	Máximo	Mínimo	Desviación
RBN	IM	A: 1.42×10^{-13} B: 2.64×10^{-19}	A: 4.27×10^{-11} B: 4.27×10^{-12}	A: 1.63×10^{-21} B: 2.04×10^{-22}	A: 1.54×10^{-17} B: 1.49×10^{-11}
BMR	IM	A: 2.38×10^{-13} B: 3.62×10^{-17}	A: 7.91×10^{-11} B: 1.02×10^{-11}	A: 1.46×10^{-24} B: 1.04×10^{-21}	A: 1.89×10^{-12} B: 4.91×10^{-14}
BCLF	IF	A: 1.17×10^{-11} B: 7.60×10^{-6}	A: 1.17×10^{-09} B: 1.13×10^{-09}	A: 1.38×10^{-20} B: 2.27×10^{-19}	A: 8.40×10^{-11} B: 2.15×10^{-11}
MRFL	IF	A: 3.38×10^{-14} B: 4.84×10^{-16}	A: 1.28×10^{-11} B: 1.75×10^{-12}	A: 2.88×10^{-19} B: 2.23×10^{-17}	A: 3.30×10^{-12} B: 5.14×10^{-13}
SVBQ	IF	A: 1.11×10^{-12} B: 1.14×10^{-17}	A: 4.66×10^{-11} B: 2.97×10^{-12}	A: 2.69×10^{-24} B: 9.015×10^{-21}	A: 9.56×10^{-13} B: 1.09×10^{-11}
RUG	IF	A: 5.20×10^{-14} B: 9.64×10^{-18}	A: 5.80×10^{-11} B: 5.72×10^{-12}	A: 2.39×10^{-22} B: 8.59×10^{-21}	A: 3.01×10^{-12} B: 2.05×10^{-11}
MVG	IF	A: 4×10^{-14} B: 3.59×10^{-15}	A: 3.26×10^{-9} B: 1.05×10^{-11}	A: 3.64×10^{-23} B: 1.42×10^{-23}	A: 8.81×10^{-12} B: 7.78×10^{-13}
IML	IF	A: 5.67×10^{-11} B: 1.02×10^{-16}	A: 2.02×10^{-8} B: 4.05×10^{-09}	A: 1.89×10^{-22} B: 2.63×10^{-22}	A: 4.20×10^{-10} B: 1.06×10^{-10}

AQC	IIM	A: 1.03×10^{-12} B: 7.95×10^{-6}	A: 2.87×10^{-10} B: 3.09×10^{-11}	A: 4.98×10^{-21} B: 3.72×10^{-18}	A: 8.14×10^{-12} B: 1.06×10^{12}
SR	IIM	A: 7.54×10^{-13} B: 2.79×10^{-19}	A: 2.76×10^{-10} B: 1.08×10^{-11}	A: 1.38×10^{-20} B: 9.19×10^{-24}	A: 8.67×10^{-13} B: 3.26×10^{-13}
MI	IIM	A: 7.80×10^{-13} B: 4.34×10^{-18}	A: 3.28×10^{-10} B: 1.43×10^{-11}	A: 3.43×10^{-23} B: 2.04×10^{-22}	A: 7.11×10^{-12} B: 3.89×10^{-13}
LT	IF	A: 5.66×10^{-11} B: 3.56×10^{-18}	A: 2.01×10^{-6} B: 4.10×10^{-9}	A: 1.34×10^{-23} B: 1.19×10^{-23}	A: 4.20×10^{-10} B: 1.06×10^{-10}

Fuente: Elaboración propia, 2018

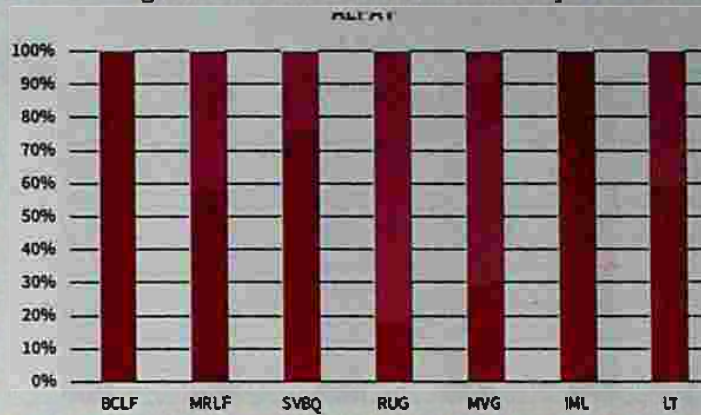
Tabla N°4. Características PSD de Alfa y Beta con estimulación

Usuario	Grupo	Medio	Máximo	Mínimo	Desviación
RBN	IM	A: 5.1×10^{-14} B: 1.74×10^{-20}	A: 6.93×10^{-10} B: 1.91×10^{-11}	A: 4.55×10^{-27} B: 6.96×10^{-26}	A: 1.32×10^{-12} B: 7×10^{-4}
BMR	IM	A: 4.48×10^{-14} B: 1.95×10^{-20}	A: 1.04×10^{-10} B: 2.11×10^{-12}	A: 1.43×10^{-26} B: 8.03×10^{-25}	A: 5.05×10^{-13} B: 3.20×10^{-13}
BCLF	IF	A: 1.10×10^{-13} B: 9.60×10^{-17}	A: 1.46×10^{-10} B: 1.16×10^{-11}	A: 1.07×10^{-24} B: 2.36×10^{-22}	A: 1.05×10^{-12} B: 7.38×10^{-4}
MRFL	IF	A: 2.42×10^{-14} B: 1.72×10^{-20}	A: 1.77×10^{-09} B: 2.62×10^{-10}	A: 4.65×10^{-24} B: 3.01×10^{-25}	A: 2.61×10^{-13} B: 5.78×10^{-4}
SVBQ	IF	A: 3.55×10^{-14} B: 6.83×10^{-21}	A: 2.84×10^{-10} B: 6.16×10^{-12}	A: 1.44×10^{-26} B: 1.94×10^{-26}	A: 6.12×10^{-13} B: 4.64×10^{-14}
RUG	IF	A: 2.46×10^{-13} B: 4.98×10^{-17}	A: 1.59×10^{-09} B: 3.14×10^{-11}	A: 2.02×10^{-21} B: 3.17×10^{-20}	A: 2.00×10^{-12} B: 7.93×10^{-9}
MVG	IF	A: 9.31×10^{-14} B: 6.58×10^{-20}	A: 4.82×10^{-09} B: 3.24×10^{-10}	A: 3.02×10^{-24} B: 3.63×10^{-25}	A: 9.15×10^{-13} B: 5.39×10^{-14}
IML	IF	A: 5.82×10^{-14} B: 2.56×10^{-19}	A: 3.21×10^{-10} B: 4.04×10^{-11}	A: 3.12×10^{-24} B: 1.16×10^{-23}	A: 9.78×10^{-12} B: 1.03×10^{-13}
AQC	IIM	A: 1.73×10^{-14} B: 4.26×10^{-20}	A: 1.99×10^{-10} B: 1.10×10^{-11}	A: 1.02×10^{-25} B: 1.08×10^{-24}	A: 4.31×10^{-13} B: 2.98×10^{-14}
SR	IIM	A: 1.03×10^{-13} B: 5.38×10^{-19}	A: 5.33×10^{-11} B: 1.71×10^{-11}	A: 4.58×10^{-24} B: 1.48×10^{-23}	A: 6.78×10^{-12} B: 8.52×10^{-4}
MI	IIM	A: 8.01×10^{-14} B: 7.87×10^{-20}	A: 5.21×10^{-10} B: 4.93×10^{-12}	A: 1.93×10^{-23} B: 6.44×10^{-23}	A: 1.29×10^{-12} B: 6.06×10^{-14}
LT	IF	A: 1.10×10^{-14} B: 2.42×10^{-10}	A: 7.37×10^{-11} B: 1.57×10^{-11}	A: 2.17×10^{-24} B: 4.20×10^{-22}	A: 1.75×10^{-13} B: 3.78×10^{-4}

Fuente: FAO-WHO/Codex Alimentario, 2018

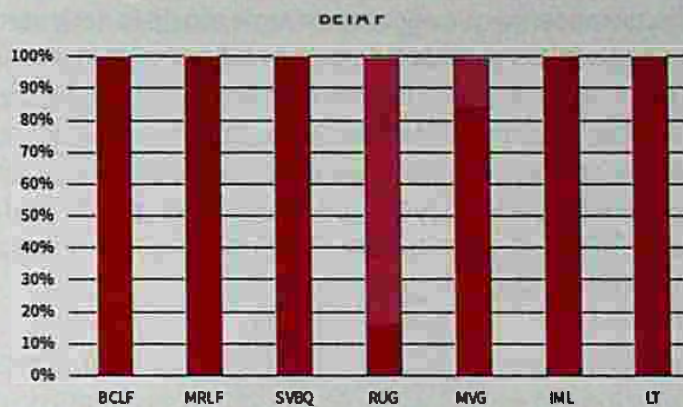
Las figuras N°3 y N°4 muestran los resultados de las mujeres y se puede observar que los resultados de S1 (es decir el color guindo en ambas gráficas) muestran mayor nivel en el espectro Beta, en cambio en S2 (representada por el color rosa) disminuye de manera general todo el nivel de la actividad cerebral respecto a S1, pero comparando los niveles de Alfa y Beta en S2, se aprecia que en Alfa tenía un nivel mayor.

Figura N°3. Resultados de Alfa en mujeres



Fuente: Elaboración propia, 2018

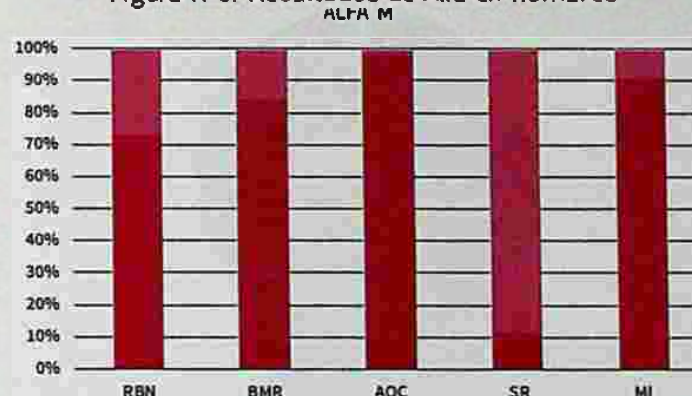
Figura N°4. Resultados de Beta en mujeres



Fuente: Elaboración propia, 2018

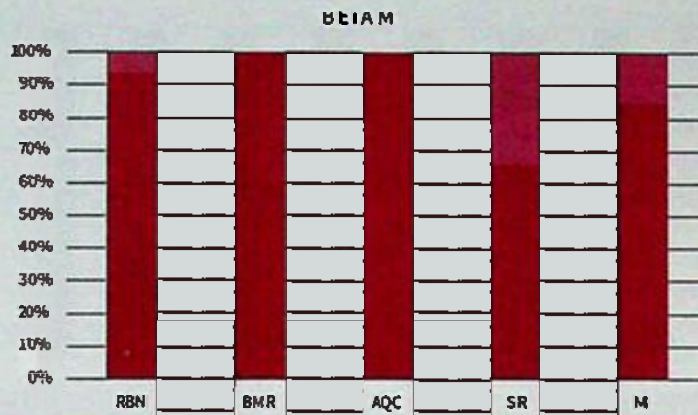
El mismo patrón mencionado se observa en las figuras N°5 y N°6 que muestran los resultados de la población masculina, con la diferencia que –en este grupo– es menor la actividad Alfa durante la estimulación que en la población femenina, es decir, los cambios no son tan notorios.

Figura N°5. Resultados de Alfa en hombres



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura N°6. Resultados de Beta en hombres

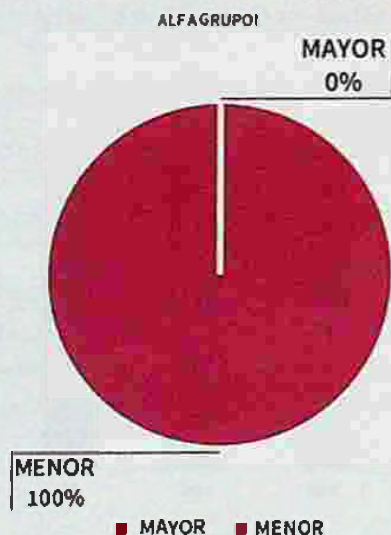


Fuente: Elaboración propia, 2018.

De acuerdo con este análisis, se observa que el comportamiento de la actividad cerebral de la mayoría de los usuarios corresponde al patrón establecido según bibliografía que indica que una existencia de mayor nivel de ondas Beta se asocia con la conciencia normal de vigilia y un mayor estado de alerta; en las actividades diarias, la persona está en Beta, pero los niveles muy altos se traducen en estrés, ansiedad e inquietud (este cuadro se ve en la mayoría de usuarios durante la S1). En cambio, durante la S2 la mayoría presenta niveles mayores de potencia media de ondas Alfa en comparación de la potencia media de Beta, debido a que Alfa está presente en una profunda relajación con los ojos cerrados y –por lo general– mientras se sueña despierto.

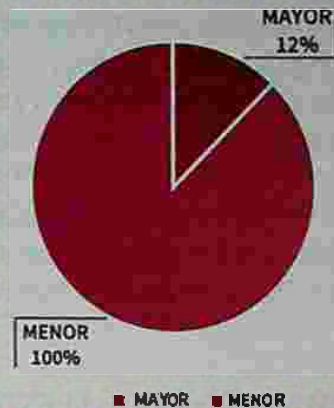
Otra característica analizada es la desviación estándar del Grupo I (representada en las figuras N°7 y N°8), que indica que la desviación del espectro de Alfa en todos los usuarios sufrió un decremento en la S2 con respecto a la S1; también se vio afectado el espectro de Beta, pero este decremento menor que en el caso de Alfa.

Figura N°7. Desviación estándar de Alfa en S2 respecto a S1 Grupo I



Fuente: Elaboración propia, 2018

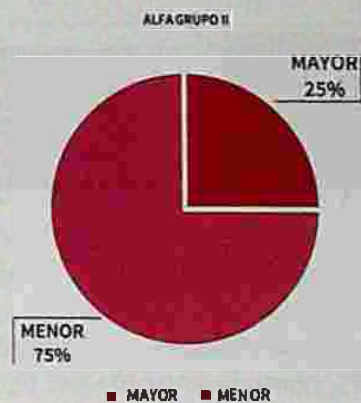
Figura N°8. Desviación estándar de Beta en S2 respecto a S1 Grupo I



Fuente: Elaboración propia, 2018

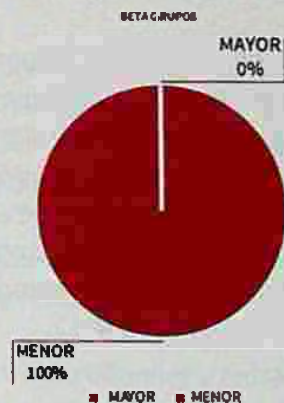
La desviación estándar de ambos espectros en este grupo representadas en las figuras N°9 y N°10 indican que también existió un decremento en este valor obtenido en S2, pero fue un decremento total en el espectro Beta y no así en Alfa.

Figura N°9. Desviación estándar de Alfa en S2 respecto a S1 Grupo II



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura N°10. Desviación estándar de Beta en S2 respecto a S1 Grupo II

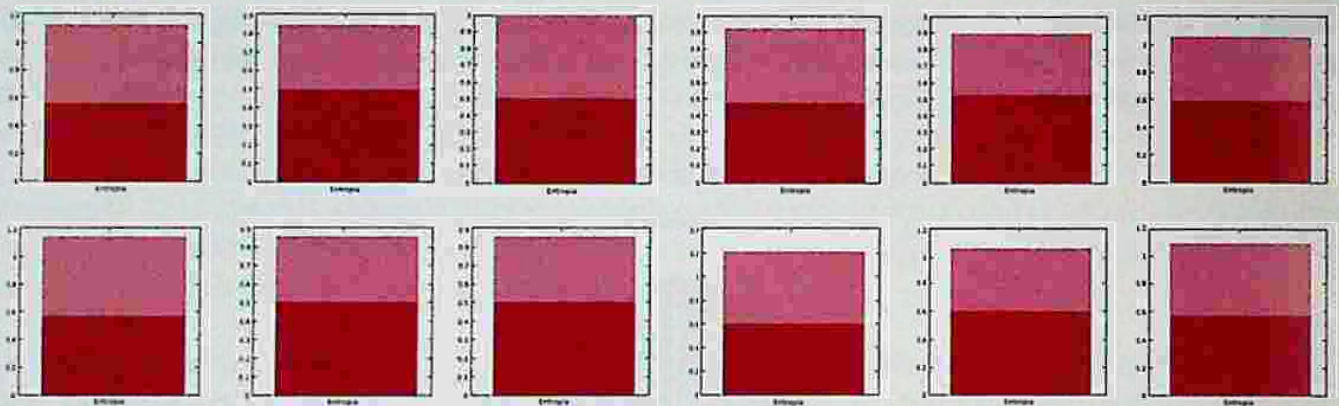


Fuente: Elaboración propia, 2018

Según el análisis de la desviación estándar para ambos grupos, se observa en la mayoría una disminución de desviación tanto para ondas Alfa como Beta, debido a que esta medida indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media; es decir, mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos. Este comportamiento resultante se atribuye a que durante la S1 existe mayor posibilidad de que ciertos artefactos afecten la señal y –por lo tanto– la desviación sea mayor, en cambio, durante la S2 el usuario se encuentra en un estado de reposo.

Por otro lado, con los valores medios de las entropías calculadas para S1 y S2 de cada usuario se obtiene la figura N°11, que compara estos valores entre sí. Las secciones en color guindo representan el valor medio de la entropía durante la S1 y los valores medios de la entropía durante la S2 están representados por el color rosa.

Figura N°11. Entropía media en S1 y S2 por usuario

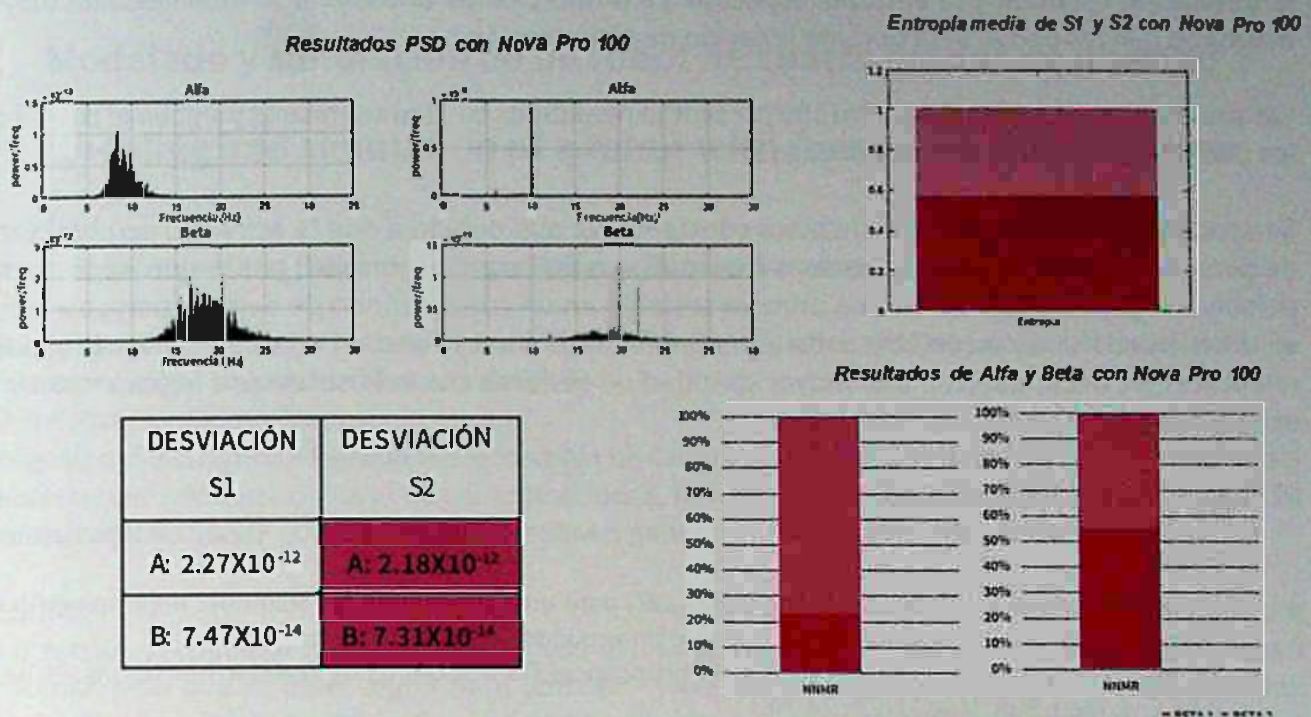


Fuente: Elaboración propia, 2018

En la mayoría de los casos se puede apreciar una leve disminución en los valores medios de entropía espectral durante la S2 respecto a la S1, como la entropía del EEG es una medida de la dispersión de los datos; así como en la anestesia se produce una simplificación de la señal de EEG, también sucede lo mismo cuando una persona entra en un estado de relajación o reposo y esto se manifiesta por una disminución progresiva de la entropía, pero esta disminución es mínima y no se compara a la disminución que se aprecia durante un cuadro anestésico.

Como última prueba, gracias a la Lic. Elizabeth Reque (especialista en Neuropsicología) se tuvo la oportunidad de trabajar con el equipo de estimulación audiovisual con el que ella cuenta en el Centro de Neuropsicología Neurofeedback de la ciudad de Cochabamba, este equipo es el Nova Pro 100. En esta prueba, una persona fue sometida a una sesión de 15 minutos de estimulación audiovisual mediante un programa específico para la relajación que posee este equipo, durante este tiempo fueron registrados los datos de la actividad cerebral mediante el dispositivo MindWave y el sistema realizado en este proyecto. Los resultados de esta prueba son comparados con los resultados obtenidos de un periodo sin estimulación, esto se muestra en la figura N°12.

Figura N°12. Resultados de S1 y S2 obtenidos del Nova Pro 100



Fuente: Elaboración propia, 2018

Las pruebas realizadas con Nova Pro 100 muestran un decremento del valor en S2 respecto a la muestra inicial. El comportamiento de Alfa y Beta en la sesión sin estimulación con el color guindo y el comportamiento que tienen en la sesión con estimulación en color rosa. Lo que se aprecia es que durante la estimulación el nivel de Alfa se incrementó en comparación de Beta, el cual presenta una disminución de la potencia media. Por último, el valor medio de la entropía muestra una disminución durante la estimulación con respecto a la sesión sin estimulación. Esto indica que los resultados son bastante similares y siguen el patrón de los resultados obtenidos con el sistema desarrollado.

CONCLUSIONES

La estimulación visual y auditiva como medio para modificar el estado mental o actividad cerebral de las personas es una alternativa que no genera ningún efecto secundario o implica algún riesgo, ni es invasivo.

Los estímulos generados por el sistema elaborado siguen los principios descritos por los expertos en el área; estos principios son los sonidos binaurales y luces estroboscópicas de color azul específicamente. Se logró desarrollar el dispositivo de estimulación audiovisual adecuado para inducir a un estado de relajación, siendo este un dispositivo práctico y cómodo para su uso.

Se elaboró de manera exitosa la aplicación que permite la adquisición y visualización de la actividad eléctrica cerebral Mediante el Neurosky Mindwave Mobile y Matlab.

El procesamiento mediante la transformada Wavelet y extracción de características de las ondas Alfa y Beta en Matlab permitieron el análisis óptimo de dichas ondas.

Con la evaluación del sistema, se notó en la mayoría de un grupo de personas un decremento en la desviación estándar y la entropía espectral. La proporción de ondas Alfa se manifiesta en mayor magnitud que las ondas Beta durante la sesión de estimulación.

Las pruebas con el equipo Nova Pro 100 presentan resultados bastante similares y siguen el patrón de los obtenidos con el sistema desarrollado.

Se aconseja realizar sesiones de manera constante, ya que debido a que la actividad cerebral varía de persona a persona, las respuestas a los estímulos no serán las mismas, por lo que no todas las personas lograrán relajarse en una primera sesión o en un corto periodo de tiempo; pero, así como en la actividad física, con un adecuado entrenamiento cerebral y constancia se apreciarán resultados relevantes, es decir, que con una mayor cantidad de sesiones con este sistema se logrará reducir el estrés de mejor manera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Bronzino, J. (2000). *The Biomedical Engineering HandBook*. (2a Ed.) EE. UU.: Trinity College Hartford, Connecticut,
- 2) De la Torre, J. (2012). *Procesado de señales EEG para un Interfaz Cerebro Máquina*. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. España: Universidad Carlos III de Madrid.
- 3) Figliola, A. y Serrano, E. (1997). *Analysis of Physiological Time Series Using Wavelet Transforms*. EE. UU.: IEEE Eng. Med. Biol. Mag., 16(3): 74-79. <https://doi.org/10.1109/51.585521>
- 4) Oster, G. (1973). *Auditory beats in the brain*. Scientific American. New York, EE.UU.: Springer Nature America, Inc. Vol. 229 No.4. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1073-94>
- 5) Kotsos, T. (2008). *Las ondas cerebrales y los estados de la mente*. [Internet] Consultado el 3 de septiembre de 2017. Disponible en: https://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_brain69.htm
- 6) Shaw, L. y Routray, A. (2016). *Statistical features extraction for multivariate pattern analysis in meditation EEG using PCA*. Ottawa, EE: UU.: IEEE EMBS International Student Conference (ISC). <https://doi.org/10.1109/EMBSISC.2016.7508624>
- 7) Seo, S. y Lee, J. (2010). *Stress and EEG*. *Convergence and Hybrid Information Technologies*. Korea: Marius Crisan (Ed.), 1(27): 413-426. <https://doi.org/10.5772/9651>

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2018 Nicole N. Montaña Ríos; E. Ariel Quezada Castro.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)