

CARACTERIZACIÓN DE COLORES RGB MEDIANTE EEG (DIADEMA EMOTIVE)



**GUSTAVO GAMBA GÓMEZ
SEBASTIAN ELÍAS GARCÍA FUENTES**

Los Libertadores
Fundación Universitaria

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D. C.
2018**

CARACTERIZACIÓN DE COLORES RGB MEDIANTE EEG (DIADEMA EMOTIVE)

**GUSTAVO GAMBA GÓMEZ
SEBASTIAN ELÍAS GARCÍA FUENTES**



Trabajo de grado para optar El Título de Ingeniero Electrónico

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Director:
John Petearson Anzola Anzola
Ingeniero Electrónico

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D. C.
2018**

CONTENIDO

1	RESUMEN.....	7
2	INTRODUCCIÓN.....	8
3	OBJETIVOS	9
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	9
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
4	JUSTIFICACIÓN	10
5	ANTECEDENTES.....	11
6	MARCO TEÓRICO.....	24
7	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	30
8	METODOLOGÍA.....	31
9	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	50
10	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
	CONCLUSIONES.....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	62



Los Libertadores
Fundación Universitaria

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Muestras de ondas cerebrales con frecuencias dominantes pertenecientes a la banda beta, alfa, teta y delta.....	11
Figura 2. Equipo para grabación de EEG: unidad amplificadora, tapa del electrodo, gelatina conductora, inyección y ayuda para la desinfección.	13
Figura 3. Capucha con electrodos diseñados en base al sistema internacional de ubicación de electrodos 10-20	14
Figura 4. Marcación de electrodos diseñados en base al sistema internacional de ubicación de electrodos 10-20	15
Figura 5. Trazos de ondas principales	20
Figura 6. Grafico de emociones 3D	21
Figura 7. Estimulos propuesto para el experimento	22
Figura 8. Distribución de electrodos.....	23
Figura 9. NI6363 Tarjeta DAC.....	24
Figura 10. Guía de emociones del color para publicidad.....	29
Figura 11. Descripción de la personalidad con respecto al color favorito.	30
Figura 12. Diadema EMOTIVE EPOC.	31
Figura 13. Puerto de carga EMOTIVE EPOC+.	32
Figura 14. Lubricación de electrodos EMOTIVE EPOC+	32
Figura 15. Instalación de electrodos diadema EMOTIVE EPOC+	33
Figura 16. Diadema de correcta posición de la diadema EMOTIVE EPOC+.....	33
Figura 17. Diagrama internacional de la ubicación de los electrodos de la diadema EMOTIVE EPOC+.	34
Figura 18. Vista de la configuración en hemisferio izquierdo de la diadema EMOTIVE EPOC.	35
Figura 19. Vista de la configuración en el hemisferio derecho de la diadema EMOTIVE EPOC.	35
Figura 20. Llave USB de la diadema EMOTIVE EPOC.....	36
Figura 21. Mapa de contacto de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO.....	37
Figura 22. Configuración de la resolución y frecuencia de muestreo de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO	37
Figura 23. Toma de datos en bruto de los 14 electrodos de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO.....	38
Figura 24. Toma de datos de los sensores de movimiento de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO.....	39

Figura 25. Representación de los paquetes de datos que se transfieren y que se eliminan de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO.....	40
Figura 26. Representación de los paquetes de datos representados por la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO.....	41
Figura 27. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color negro.....	42
Figura 28. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color amarillo.....	43
Figura 29. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color rojo .	44
Figura 30. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color verde.....	45
Figura 31. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color azul.	46
Figura 32. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color blanco.....	47
Figura 33. Imágenes de las gafas de realidad aumentada Cardboard distribuidas por la empresa google.....	48
Figura 34. Icono de la aplicación VR video player.....	48
Figura 35. Imágenes de las gafas de realidad aumentada Cardboard en sujeto de estudio.....	49
Figura 36. Video bajo análisis de los resultados obtenidos por medio del software EmotivPRO.....	50
Figura 37. Ejemplo del diagrama de caja y bigotes.....	51
Figura 38. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color amarillo.	52
Figura 39. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color azul.....	53
Figura 40. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color blanco.....	54
Figura 41. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color negro.....	55
Figura 42. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color rojo.	56
Figura 43. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color verde.....	57
Figura 44. Graficas de caja y bigotes del comportamiento individual de cada una de las ondas neuronales con respecto a todos los colores en estudio.....	58
Figura 45. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con respecto a la influencia de cada color independientemente.	59

GLOSARIO

AMPLITUD: En el análisis de una señal en un sistema cordenado de dos ejes, generalmente el plano horizontal corresponde al tiempo, y el plano vertical indica la amplitud, que es el valor o intensidad en el que se encuentra la onda en ese momento especifico.

EEG: Electroencefalografia, es la ciencia que estudia el comportamiento bioelectrico cerebral, durante distintos tipos de de comportamiento y con diferentes fines u objetivos de estudio.

FRECUENCIA: En una onda cíclica, la frecuencia indica que tan a menudo a onda vuelve a su punto original o se repite con respecto a una unidad de tiempo, su unidad de medidad es el hercio (Hz).

PERIODO: Indica el tiempo exacto que le toma a una onda cíclica realizar su recorrido desde que empieza hasta que vuelve al punto de partida, eal ser una expresión que indica tiempo, su unidad de medida es el segundo.

FRECUENCIA DE MUESTREO: Indica la cantidad de veces por segudo que se analiza el cambio de amplitud de una señal, entre mayor cantidad de veces se analice este cambio de amplitus, es decir, entre mas gradne sea la frecuencia de muestreo, se pueden obtener valores mas exactos en cualquier tipo de estudio.

ELECTRODO: Dispositivo conductor que, por medio de contacto con la piel, permite la captación de información en forma de señal eléctrica.

ACELERÓMETRO: Dispositivo de medición que permite evaluar el cambio de aceleración que puede presentar un cuerpo o vehiculo.

GIROSCOPIO: Dispositivo que, por medio de un disco en constante rotación, permite el reconocimiento de cualquier alteración de inclinación del eje donde este ubicado.

MAGNETÓMETRO: Dispositivo utilizados para medir cuantitativamente la fuerza y dirección que posee un campo magnético.

1 RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una caracterización de colores basada en el análisis de las ondas existentes en el cerebro humano alfa, teta, beta inferiores, beta superiores y gamma; las cuales, mediante un análisis estadístico se extrae un comportamiento de los colores azul, negro, amarillo, verde, rojo y blanco mediante un electroencefalograma obtenido de la diadema Emotiv EPOC.

El análisis se realizó en una población de 10 individuos entre hombres y mujeres dentro del rango de edad de 15 a 40 años, debido a que se debe asegurar que las personas posean un cierto grado de madurez y capacidad de concentración, por ende, las personas en un rango de edad inferior pueden carecer de un grado de concentración adecuado para el desarrollo de las pruebas.



Los Libertadores
Fundación Universitaria

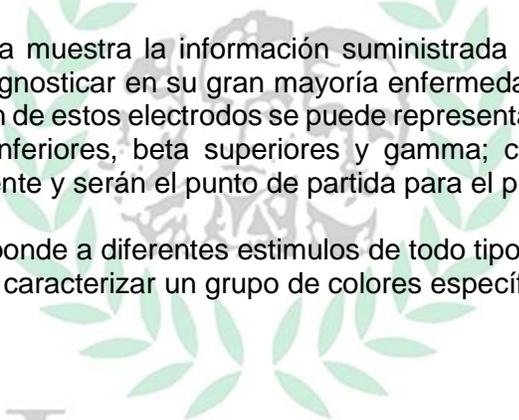
2 INTRODUCCIÓN

Para poder entender el comportamiento de los seres humanos se debe estudiar su anatomía, ya que el cerebro es parte fundamental de la anatomía humana, y juega el papel principal en el continuo desarrollo de la población mundial. Al examinar el cerebro humano los seres humanos han entendido la mayoría de conductas presentadas en un individuo, diversas investigaciones han permitido concluir de manera aproximada arquetipos en la conducta humana.

La exploración neurofisiológica que registra la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones de reposo, sueño o mediante algún tipo de estimulación, se denomina Electroencefalografía obteniendo como resultado un Electroencefalograma (EEG), el cual provee información mediante un conjunto de electrodos, que durante la adquisición de datos los electrodos deben estar en contacto con el cuero cabelludo del individuo.

El Electroencefalograma muestra la información suministrada por cada electrodo y esta información permite diagnosticar en su gran mayoría enfermedades o conductas en seres humanos, la información de estos electrodos se puede representar en cinco ondas definidas como alfa, teta, beta inferiores, beta superiores y gamma; cada onda representa una actividad cerebral diferente y serán el punto de partida para el presente trabajo.

El cerebro humano responde a diferentes estímulos de todo tipo, este trabajo se enfoca en estímulos visuales para caracterizar un grupo de colores específicos.



Los Libertadores
Fundación Universitaria

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los colores amarillo, azul, rojo, verde, blanco y negro mediante un análisis estadístico de la información adquirida por la electroencefalografía obtenida con la diadema Emotiv EPOC.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estado del arte referente estudio de los colores mediante electroencefalograma (EEG).
- Registrar de manera adecuada los datos obtenidos mediante el electroencefalograma EEG suministrado por la diadema Emotiv EPOC.
- Distinguir las ondas cerebrales presentes en un estudio de electroencefalografía.
- Detallar las diferencias entre las ondas cerebrales de acuerdo al color presentado a las personas.
- Clasificar los resultados obtenidos de acuerdo al individuo analizado y al tipo de onda considerada alfa, beta altas, beta bajas, teta y gama.

4 JUSTIFICACIÓN

La diadema Emotiv permite monitorear las ondas cerebrales, para su análisis y posterior desarrollo de aplicaciones. Se han encontrado trabajos en controladores de juegos, controladores de PC, etc, pero no se ha caracterizado estímulos visuales de colores. En este sentido, es preciso estudiar el comportamiento del cerebro humano, para esto debe ser expuesto a diferentes estímulos, en este estudio el sentido de la visión se toma como eje central de la investigación, y para que el cerebro sea evaluado por medio de este sentido debe estar expuesto a estímulos de tipo visual; para impulsar estos estímulos se debe hacer uso de los colores presentes en el entorno del ser humano, y mediante el análisis de estos comportamientos cerebrales desarrollar conclusiones que permitan identificar patrones asociados a cada color para una posterior caracterización de cada color.



Los Libertadores
Fundación Universitaria

5 ANTECEDENTES

En este apartado se destacan el estado del arte en el estudio de las ondas cerebrales por medio de electroencefalografía, emociones representadas por las ondas cerebrales y clasificación de las ondas cerebrales de la siguiente manera:

5.1 Fundamentals of EEG measurement

Para obtener patrones cerebrales básicos de individuos, los sujetos son instruidos para cerrar los ojos y relajarse. Los patrones cerebrales presentan formas de onda que son comúnmente sinusoidales. Por lo general, se miden de pico a pico y normalmente oscilan entre 0,5 y 100 μV en amplitud, que es aproximadamente 100 veces menor que las señales de Electrocardiograma. Por medio del espectro de potencia de transformada de Fourier se deriva la señal de EEG sin procesar. En el espectro de potencia, la contribución de las ondas sinusoidales con diferentes frecuencias es visible. Aunque el espectro es continuo, desde 0 Hz hasta la mitad de la frecuencia de muestreo, el estado del cerebro del individuo puede hacer que ciertas frecuencias sean más dominantes. Las ondas cerebrales se han categorizado en cuatro grupos básicos.

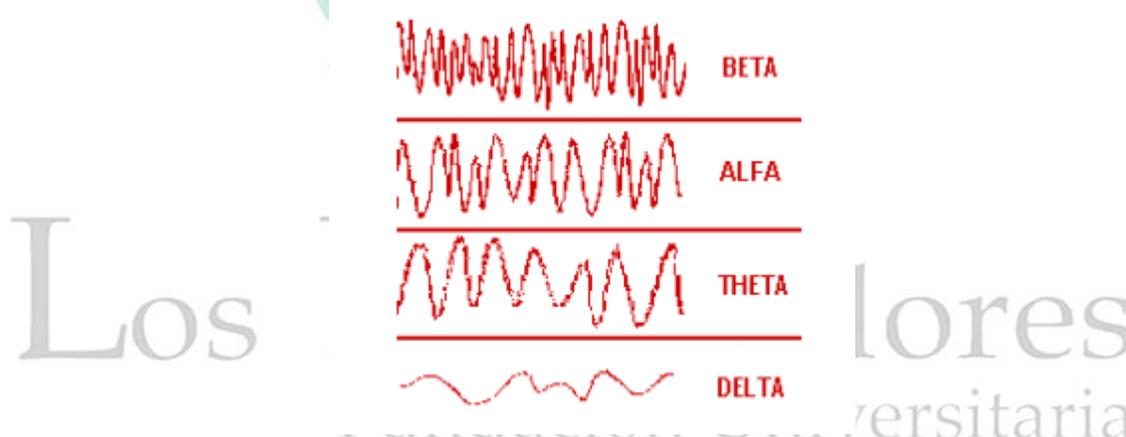


Figura 1. Muestras de ondas cerebrales con frecuencias dominantes pertenecientes a la banda beta, alfa, teta y delta. Fuente: M. Teplan "Fundamentals of EEG measurement", 2002, p. 2

El ritmo más conocido y más estudiado del cerebro humano es el ritmo alfa normal. Por lo general, Alpha puede observarse mejor en las regiones posterior y occipital con una amplitud típica de aproximadamente 50 μV (pico-pico). Según nuestras experiencias, el alfa también fue significativo entre regiones posteriores y centrales en comparación con otras regiones. La actividad alfa es inducida por el cierre de los ojos y por la relajación, y es abolida al abrir los ojos o alertar por cualquier mecanismo (pensar, calcular). La mayoría de las personas son notablemente sensibles al fenómeno de "cerrar los ojos", es decir, cuando cierran los ojos, su patrón de onda cambia significativamente de beta a ondas alfa. El origen preciso del ritmo alfa aún no se conoce. Las ondas alfa generalmente se atribuyen a potenciales de dendritas sumadas. Los potenciales evocados (por ejemplo, generados en el tallo cerebral) a menudo consisten en potenciales de fibra (axonal) y componentes sinápticos. EEG es sensible a un continuo de estados que van desde el estado de estrés,

el estado de alerta hasta el estado de reposo, la hipnosis y el sueño. Durante el estado normal de vigilia con los ojos abiertos, las ondas beta son dominantes. En la relajación o la somnolencia aumenta la actividad alfa y si aparece el sueño aumenta la potencia de las bandas de frecuencia más bajas. El sueño generalmente se divide en dos tipos amplios: sueño sin movimientos oculares (NREM) y sueño REM. NREM y REM ocurren en ciclos alternos. NREM se divide en etapas I, II, III y IV. Las dos últimas etapas corresponden a un sueño más profundo, donde las ondas delta lentas muestran mayores proporciones. Con frecuencias dominantes más lentas, la capacidad de respuesta a los estímulos disminuye. Varias regiones del cerebro no emiten la misma frecuencia de ondas cerebrales simultáneamente. Una señal de EEG entre los electrodos colocados en el cuero cabelludo se compone de muchas ondas con diferentes características. Una gran cantidad de datos recibidos de incluso una sola grabación EEG presenta una dificultad para la interpretación. Los patrones de ondas cerebrales individuales son únicos. En algunos casos, es posible distinguir a las personas solo de acuerdo con su actividad cerebral típica. Por ejemplo, los sujetos que se consideran a sí mismos como tipos racionales o como tipos holísticos / intuitivos pueden demostrar cierta actividad superior en sus hemisferios frontal izquierdo y frontal respectivamente.

- Técnicas de grabación de EEG

Las mediciones encefalograficas emplean un sistema de registro que consiste en:

- Electrodos conductivos
- Amplificadores con filtros
- Conversor ADC
- Dispositivos de grabación

Los electrodos leen la señal desde la superficie de la cabeza, los amplificadores llevan las señales de microvoltios al rango donde se pueden digitalizar con precisión, el convertidor cambia las señales de analógico a digital y la computadora personal (u otro dispositivo relevante) almacena y muestra los datos obtenidos. Un conjunto del equipo se muestra en la Figura 2. Las grabaciones de la actividad neuronal en el cerebro, identificadas como EEG, permiten medir los cambios potenciales a lo largo del tiempo en la conducción del circuito eléctrico básico entre electrodo de señal (activo) y electrodo de referencia. Se necesita un tercer electrodo adicional, llamado electrodo de tierra, para obtener voltaje diferencial al restar los mismos voltajes que se muestran en los puntos activos y de referencia. La configuración mínima para la medición de EEG monocanal consiste en un electrodo activo, uno (o dos especialmente unidos entre sí) de referencia y un electrodo de tierra. Las configuraciones multicanal pueden comprender hasta 128 o 256 electrodos activos.



Figura 2. Equipo para grabación de EEG: unidad amplificadora, tapa del electrodo, gelatina conductora, inyección y ayuda para la desinfección. Fuente: M. Teplan "Fundamentals of EEG measurement", 2002, p. 5

- Electrodo de grabación

Los electrodos de registro EEG y su función adecuada son fundamentales para la adquisición de datos de alta calidad para su interpretación. Existen muchos tipos de electrodos, a menudo con diferentes características. Básicamente existen los siguientes tipos de electrodos:

- Desechable sin gel
- Electrodo de disco reutilizables (oro, plata, acero inoxidable o estaño)
- Diademas y tapas de electrodos
- Electrodo basado en solución salina
- Electrodo de aguja

Para montajes multicanal, se prefieren los tapones de electrodos, con la cantidad de electrodos instalados en su superficie (Figura 3). Los electrodos de cuero cabelludo comúnmente utilizados consisten en discos Ag AgCl, de 1 a 3 mm de diámetro, con cables flexibles largos que se pueden enchufar a un amplificador [7]. Los electrodos AgCl pueden registrar con precisión también cambios muy lentos en el potencial [9]. Los electrodos de aguja se usan para grabaciones largas y se insertan de forma invasiva debajo del cuero cabelludo. La preparación de la piel es diferente, generalmente se recomienda la limpieza de la superficie de la piel del aceite y el cepillado de las partes secas. Con electrodos desechables y de disco, la pasta abrasiva se usa para la abrasión leve de la piel. Con los sistemas de tapa, la aguja contigua al final de la inyección se usa para raspar la piel, lo que puede causar irritación, dolor e infección. Especialmente cuando el EEG de la persona se mide repetidamente y la tapa se monta para los mismos puntos del electrodo, existe la amenaza de cierto dolor y sangrado. Es por eso que se debe mantener el protocolo correcto de higiene y seguridad. Usando los electrodos de cloruro de plata y plata, el espacio entre el electrodo y la piel debe llenarse con pasta conductiva que también ayuda a adherirse. Con los sistemas de tapa, hay un pequeño

orificio para inyectar gelatina conductiva. La pasta conductora y la gelatina conductiva sirven como medios para asegurar la disminución de la impedancia de contacto en la interfaz electrodo-piel. En 1958, la Federación Internacional de Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica adoptó la estandarización para la colocación de electrodos llamada sistema de colocación de electrodos 10-20 "H.H. Jasper. 1958. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 371-375". Este sistema estandarizó la colocación física y las designaciones de electrodos en el cuero cabelludo. La cabeza se divide en distancias proporcionales a los hitos prominentes del cráneo (nación, puntos preauriculares, inion) para proporcionar una cobertura adecuada de todas las regiones del cerebro. La etiqueta 10-20 designa la distancia proporcional en porcentajes entre las orejas y la nariz donde se eligen los puntos para los electrodos. Las ubicaciones de los electrodos se etiquetan de acuerdo con áreas cerebrales adyacentes: F (frontal), C (central), T (temporal), P (posterior) y O (occipital). Las letras están acompañadas por números impares en el lado izquierdo de la cabeza y con números pares en el lado derecho (Figura). Los lados izquierdo y derecho se consideran por convención desde el punto de vista de un sujeto.



Figura 3. Capucha con electrodos diseñados en base al sistema internacional de ubicación de electrodos 10-20. Fuente: M. Teplan "Fundamentals of EEG measurement", 2002, p. 6

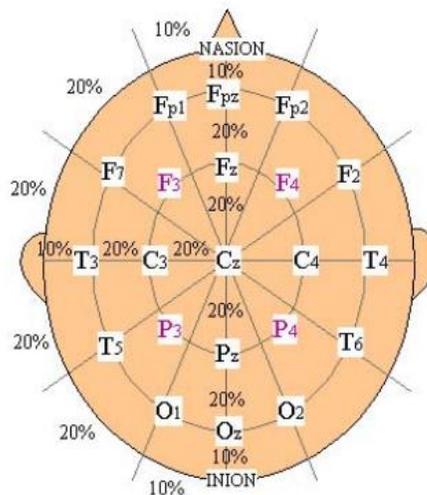


Figura 4. Marcación de electrodos diseñados en base al sistema internacional de ubicación de electrodos 10-20. Fuente: M. Teplan "Fundamentals of EEG measurement", 2002, p. 7

Como se sabe por tomografía, diferentes áreas del cerebro pueden estar relacionadas con diferentes funciones del cerebro. Cada electrodo de cuero cabelludo se encuentra cerca de ciertos centros cerebrales, p. F7 se encuentra cerca de centros para actividades racionales, Fz cerca de centros intencionales y motivacionales, F8 cerca de fuentes de impulsos emocionales. Cortex alrededor de las ubicaciones C3, C4 y Cz se ocupa de las funciones sensoriales y motoras. Las ubicaciones cercanas a P3, P4 y Pz contribuyen a la actividad de percepción y diferenciación. Cerca de los procesadores emocionales T3 y T4 se encuentran, mientras que en T5, T6 ciertas funciones de memoria se mantienen. Las áreas visuales primarias se pueden encontrar debajo de los puntos O1 y O2. Sin embargo, los electrodos del cuero cabelludo pueden no reflejar las áreas particulares de la corteza, ya que la ubicación exacta de las fuentes activas sigue siendo un problema debido a las limitaciones causadas por las propiedades no homogéneas del cráneo, la orientación diferente de las fuentes del córtex, la coherencia entre las fuentes, etc. La alta impedancia puede conducir a distorsiones que pueden ser difíciles de separar de la señal real. Puede permitir la inducción de frecuencias eléctricas externas en los cables utilizados o en el cuerpo. Los monitores de impedancia están integrados en algunos dispositivos EEG disponibles comercialmente. Para evitar las distorsiones de la señal, las impedancias en cada contacto del electrodo con el cuero cabelludo deben ser inferiores a 5 K ohmios, y equilibradas dentro de 1 K ohmios entre sí. Se requiere un estándar similar para el uso clínico del EEG y para su publicación en las revistas de mayor reputación. Prácticamente, se mide la impedancia de todo el circuito que comprende dos electrodos, pero las comprobaciones de impedancia incorporadas generalmente muestran los resultados ya divididos por dos. El control de todas las impedancias es deseable también después de terminar cada medición individual. En la bibliografía se mencionan varias ubicaciones de electrodos de referencia de grabación diferentes. Las referencias físicas se pueden elegir como vértice (Cz), orejas vinculadas, mastoides ligadas, oído ipsilateral, oreja contralateral, referencia C7, referencias bipolares y punta de la nariz. Las técnicas libres de referencia están representadas por referencia promedio común, referencia promedio ponderado y derivación de fuente. Cada técnica tiene su propio conjunto de ventajas y desventajas. La

elección de referencia puede producir distorsión topográfica si no se emplea un área relativamente eléctricamente neutra. Al unir los electrodos de referencia de dos lóbulos auriculares o mastoides se reduce la probabilidad de inflar artificialmente la actividad en un hemisferio. Sin embargo, el uso de este método puede alejar la referencia "efectiva" del plano de la línea media si la resistencia eléctrica en cada electrodo difiere. La referencia Cz es ventajosa cuando se encuentra en el medio entre los electrodos activos, sin embargo, para los puntos cercanos, la resolución es deficiente. Las técnicas sin referencia no sufren problemas asociados con una referencia física real. La referencia a las orejas vinculadas y el vértice (Cz) son predominantes.

Con la instrumentación moderna, la elección de un electrodo de tierra no juega un papel significativo en la medición. Se prefiere la frente (Fpz) o la ubicación de la oreja, pero a veces también se usa la muñeca o la pierna. La combinación de todos los electrodos activos con referencia y el electrodo de tierra componen los canales. La configuración general se llama montaje.

- Filtros y amplificadores

Las señales deben amplificarse para que sean compatibles con dispositivos como pantallas, grabadoras o convertidores A / D. Los amplificadores adecuados para medir estas señales tienen que cumplir requisitos muy específicos. Deben proporcionar una amplificación selectiva de la señal fisiológica, rechazar el ruido superpuesto y las señales de interferencia, y garantizar la protección contra daños a través del voltaje y las sobretensiones actuales tanto para los pacientes como para los equipos electrónicos. Los requisitos básicos que debe cumplir un amplificador biopotencial son:

- El amplificador no debe influir de ninguna manera en el proceso fisiológico a monitorear.
- La señal medida no debe distorsionarse.
- El amplificador debe proporcionar la mejor separación posible de señal e interferencias.
- El amplificador debe ofrecer protección al paciente contra cualquier riesgo de descarga eléctrica.
- El amplificador en sí tiene que estar protegido contra los daños que pueden resultar de los altos voltajes de entrada que se producen durante la aplicación de desfibriladores o instrumentación electroquirúrgica.

La señal de entrada al amplificador consta de cinco componentes: el biopotencial deseado, los biopotenciales no deseados, una señal de interferencia de línea de alimentación de 50/60 Hz y sus armónicos, las señales de interferencia generadas por la interfaz de tejido / electrodo y el ruido. El diseño adecuado del amplificador proporciona el rechazo de una gran parte de las interferencias de señal. El biopotencial deseado aparece como la señal diferencial entre los dos terminales de entrada del amplificador diferencial.

La ganancia del amplificador es la relación entre la señal de salida y la señal de entrada. Para proporcionar una calidad de señal óptima y un nivel de tensión adecuado para el procesamiento adicional de la señal, el amplificador debe proporcionar una ganancia de 100-100,000 (la más alta necesita no ser la mejor, la combinación de más parámetros está involucrada, por ejemplo, el rango del convertidor A / D, velocidad de muestreo, ruido de los elementos utilizados) y necesita mantener la mejor relación señal / ruido posible. Para

disminuir el impacto del entorno eléctricamente ruidoso, los amplificadores diferenciales deben tener altas relaciones de rechazo en modo común (al menos 100 dB) y una impedancia de entrada alta (al menos 100 M Ohms). La relación de rechazo de modo común es la relación entre la ganancia del modo diferencial (señal deseada) y la ganancia del modo común (señal de entrada original entre las entradas y la tierra).

Las salas especiales con protección eléctrica minimizan el impacto del fondo eléctrico urbano, en particular el ruido de línea de corriente alterna de 50/60 Hz. Para fines médicos habituales, la habitación protegida no es necesaria. Para fines de investigación cuando se desea la máxima cantidad de información, se utiliza una sala blindada. Luego, los amplificadores funcionan con baterías y un cable óptico conduce a la PC que se encuentra fuera del espacio protegido. Además del cable óptico, se necesitan convertidores eléctricos / ópticos y ópticos / eléctricos. Por lo general, la información de interés se encuentra debajo de este ruido de línea y podemos usar filtros de paso bajo con límite de 50/60 Hz, o para mantener bandas de frecuencia más altas, se puede aplicar un filtro de muesca, que es capaz de reducir solo una banda estrecha alrededor 50/60 Hz (pero distorsiona las fases).

Cuando las computadoras se utilizan como dispositivos de grabación, los canales de señal analógica se muestrean repetidamente en un intervalo de tiempo fijo (intervalo de muestreo), y cada muestra se convierte en una representación digital mediante un convertidor analógico a digital (A / D). El convertidor A / D está conectado a un sistema de computadora para que cada muestra se pueda guardar en la memoria de la computadora. La resolución del convertidor está determinada por la amplitud más pequeña que se puede muestrear. Esto se obtiene dividiendo el rango de voltaje del convertidor A / D por 2 elevado a la potencia del número de bits del convertidor A / D. El convertidor A / D generalmente usa un mínimo de 12 bits (niveles de valor de 4.096 discernidores). Se recomienda capacidad para resolver 0.5 μ V.

Se requiere una frecuencia de muestreo suficiente, al menos el doble del componente de frecuencia más alta de nuestro interés. Los filtros analógicos (hardware) deben integrarse en la unidad de amplificación. Se necesita un filtro de paso alto para reducir las bajas frecuencias provenientes de los potenciales de flujo bioeléctrico (respiración, etc.) que permanecen en la señal después de restar los voltajes hacia el electrodo de tierra. Su frecuencia de corte generalmente se encuentra en el rango de 0.1-0.7 Hz. Para garantizar que la señal sea de banda limitada, se utiliza un filtro de paso bajo con una frecuencia de corte igual a la frecuencia más alta de nuestro interés (en el rango de 40 Hz hasta menos de la mitad de la frecuencia de muestreo) Los filtros analógicos de paso bajo evitan la distorsión de la señal por efectos de interferencia con frecuencia de muestreo, llamada aliasing, que ocurriría si las frecuencias superiores a la mitad de la frecuencia de muestreo sobreviven sin disminuir.

Una vez que se almacenan los datos, se puede usar el filtrado digital. La resistencia de los filtros analógicos está limitada, por lo tanto, para la visualización y el procesamiento de las señales. Generalmente se necesita una disminución adicional de los componentes de CC. Es posible elegir entre el filtrado lineal (FIR, IIR) o nuevos métodos de filtrado no lineal. La elección debe hacerse de acuerdo con los objetivos puestos en el procesamiento de la señal. Predominantemente se utilizan filtros de respuesta de impulso finito (FIR) que no distorsionan las fases de onda. El ancho de los puntos de datos suele ser del orden de 1000 y se debe elegir una función de ventana (Blackman, Hanning, Hamming o rectangular). Los

filtros deben diseñarse de manera que influyan mínimamente en las propiedades de señal útiles. Antes de realizar las mediciones finales, se debe probar todo el sistema EEG. Las calibraciones entre canales con parámetros de señal de onda conocidos no deben mostrar discrepancias significativas. El ruido de salida (referido a entrada) consiste principalmente en el ruido causado por el circuito del amplificador analógico y por el circuito convertidor A / D. El valor del ruido debe ser consistente con la información del fabricante, alrededor de 0.3-2 μV pp. (Rango desde pico negativo hasta pico positivo) pero este valor depende de la forma de estimar el ruido y la configuración del sistema (filtro de paso bajo, tasa de muestreo, elección de circuitos). El ruido puede determinarse conectando las entradas del amplificador, o reduciéndolas a una solución salada, o "cortocircuitando" las entradas, y luego midiendo la salida del amplificador. El número de bits de información útiles se puede contar como una potencia de dos a partir de la relación de amplitud de señal de EEG promedio sobre la amplitud de ruido (por ejemplo, 50 μV / 1 μV da como resultado más de 5 bits).

Una de las limitaciones de las grabaciones se debe a los requisitos de almacenamiento. Por ejemplo, 1 hora de ocho canales La señal de 14 bits muestreada con 500 Hz ocupa 200 MB de la memoria. Existen sistemas de grabación portátiles utilizados para una supervisión más prolongada de un sujeto sin limitar el movimiento de una persona. Algunos de los sistemas de grabación de EEG comerciales provienen de los siguientes proveedores: Lexicor, geodésica eléctrica, Biosemi, NeuroScan, Sigma Medizin, Contact Precision Instruments, Stellate, Thought Technology, Xtek.

La electroencefalografía pertenece a las herramientas de imágenes electrobiológicas ampliamente utilizadas en áreas médicas y de investigación. EEG mide los cambios en los potenciales eléctricos causados por una gran cantidad de dipolos eléctricos formados durante las excitaciones neuronales. La señal de EEG consiste en diferentes ondas cerebrales que reflejan la actividad eléctrica del cerebro de acuerdo con las ubicaciones de los electrodos y el funcionamiento en las regiones cerebrales adyacentes. Para usar las técnicas de EEG, los siguientes componentes del sistema de grabación son necesarios:

- Tapa de electrodos con gelatina conductiva o electrodos de disco Ag-AgCl con pasta conductora.
- Amplificadores con ganancia de amplificación global entre 100-100,000, con impedancias de entrada de al menos 100 MOhms y una relación de rechazo de modo común de al menos 100 dB.
- Filtros analógicos integrados en la unidad con filtro de paso alto con frecuencia de corte en el rango de 0.1-0.7Hz y filtro de paso bajo con frecuencia de corte inferior a la mitad de la frecuencia de muestreo. De hecho, las frecuencias superiores a 50 Hz rara vez están involucradas, ya que contribuyen de manera insignificante al espectro de potencia del EEG.
- Conversor A / D de al menos 12 bits con una precisión inferior al ruido total (0,3-2 μV pp), y frecuencia de muestreo generalmente entre 128 - 1024 Hz.
- PC suficientemente rápida para tomar datos para la grabación y, finalmente, para el análisis en línea, con el volumen adecuado de disco duro.
- Filtro FIR digital de paso alto con frecuencia de corte similar al paso alto analógico. La calidad general del equipo de grabación depende de la combinación correcta de los parámetros mencionados. Antes de continuar con el procesamiento de datos, la señal de EEG en bruto debe verificarse para detectar artefactos.

5.2 Emotions and Brain Waves

La emoción es una experiencia subjetiva de sentimientos prolongados. El término "emoción" se ha derivado de la palabra latina "emovere" que significa "mover", "excitar", "estripar" o "agitar". La conducta de excitación es la emoción, que es un efecto. estado cargado del organismo. Cuando decimos que amamos, tememos y odiamos. Algunas de las otras emociones son alegría, aceptación, sorpresa, tristeza, ira y disgusto, etc. La emoción a menudo se define como un complejo estado de sentimientos que resulta en los cambios físicos y psicológicos que influyen en el pensamiento y el comportamiento. La emocionalidad se asocia con una variedad de fenómenos psicológicos, como el temperamento, la personalidad, el estado de ánimo y la motivación. Según el autor David G. Meyers, la emoción humana implica "... excitación fisiológica, conductas expresivas y experiencia consciente". La emoción es una alteración aguda del organismo como un todo, origen psicológico que involucra comportamiento, experiencias conscientes y funcionamiento visceral. En la emoción, el comportamiento total que incluye los receptores, los sistemas nerviosos efectores y los procesos psicológicos relacionados se ve afectado. Las principales teorías de la emoción se pueden agrupar en tres categorías principales: fisiológicas, neurológicas y cognitivas. Las teorías fisiológicas sugieren que las respuestas dentro del cuerpo son responsables de las emociones. Las teorías neurológicas proponen que la actividad dentro del cerebro conduce a respuestas emocionales. Finalmente, las teorías cognitivas argumentan que los pensamientos y otras actividades mentales juegan un papel esencial en la formación de las emociones.

Las emociones juegan un papel importante en la vida de todos. Las ondas cerebrales nos dicen la diferencia en las emociones que la persona está atravesando. Esta investigación estudia las ondas cerebrales alfa en emociones felices y tristes. Para hacer la investigación, se usa la máquina EEG y se utilizan clips para obtener los emocionantes y tristes movimientos de la emoción. El resultado muestra que hay diferencias en las ondas alfa en las emociones felices y tristes.

Tradicionalmente, las tecnologías basadas en EEG se usaban solo en aplicaciones médicas como la epilepsia y las convulsiones. El electroencefalograma (EEG) es una medida de las ondas cerebrales y se usa en la evaluación de trastornos cerebrales. La señal de EEG es el efecto de la superposición de diversos procesos que tiene lugar en un punto del tiempo en el cerebro. Utiliza la actividad eléctrica de las neuronas dentro del cerebro. Cuando las neuronas están activas, producen un potencial eléctrico. La combinación de este potencial eléctrico de grupos de neuronas se puede medir fuera del cráneo, lo cual se realiza mediante EEG. Las neuronas del cerebro producen juntas una señal rítmica que está constantemente presente. Esta señal se puede dividir en varias bandas, en función de la frecuencia: i. Banda Delta: la banda delta es la banda de frecuencias de hasta 3Hz. La actividad delta se observa principalmente en el sueño profundo. ii. Banda Theta: la banda Theta consta de frecuencias entre 4Hz y 7Hz. Esta actividad se puede observar con somnolencia o meditación. iii. Banda alfa: La banda alfa es el llamado `ritmo básico' y contiene las frecuencias entre 8Hz y 12Hz. Se ve cuando las personas están despiertas, y se sabe que es más evidente cuando se abren los ojos. iv. Banda Beta: La banda beta contiene frecuencias entre 13Hz y 30Hz. Esta banda es evidente con pensamiento activo o concentración.

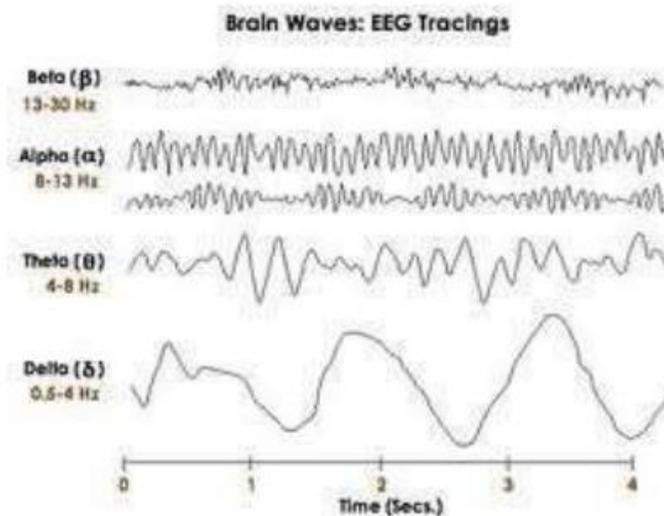


Figura 5. Trazos de ondas principales. Fuente: Dr. Aparna Ashtaputre. "Emotions and Brain Waves", The International Journal of Indian Psychology. March 2016. p 1-2.

Las ondas beta están conectadas a un estado mental alerta, mientras que las ondas alfa son más dominantes en una persona relajada. La investigación también ha demostrado un vínculo entre la actividad alfa y la inactivación cerebral, lo que también conduce a la misma conclusión. Esta relación beta / alfa podría por lo tanto ser una indicación interesante del estado de excitación en el sujeto. Este estudio es un primer y un pequeño paso para comprender la relación entre las ondas cerebrales y el estado emocional. En esta investigación, solo se estudian las ondas alfa y beta en relación con la emoción feliz y triste.

5.3 Brainwaves Analysis of Positive and Negative Emotions

Emociones, es el término genérico para varias experiencias cognitivas subjetivas y un estado sintetizado psicológico y fisiológico genera bajo una variedad de percepciones, pensamientos y comportamientos. En general, la emoción puede clasificarse en ocho tipos de emociones negativas positivas, enojadas, enojadas, tristes, sorprendidas, temerosas, desconcertadas e inseguras. Las emociones más sutiles y delicadas incluyen celos, humillación, vergüenza, orgullo y otras emociones. La emoción a menudo está bajo la influencia del estado de ánimo, la personalidad, el temperamento, el propósito y otros factores. También puede verse afectado por las hormonas y los transmisores neuronales. Ya sean emociones positivas o negativas, todas son motivaciones y desencadenan acciones. Aunque parece que algo de comportamiento emocional tiene lugar inadvertido, no obstante lo consciente desempeña un papel importante en la producción de emoción. Este artículo, desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva, investiga la diferencia de ondas cerebrales humanas de 8 tipos de emociones positivas y negativas, es decir, alegre, enojada, protegida, triste, sorprendida, temerosa, satisfecha e indiferente. El experimento utiliza estímulos acústicos para estimular las emociones positivas y negativas de los sujetos de prueba y utiliza Electroencefalograma (EEG) para extraer la onda cerebral del lóbulo frontal de los sujetos de prueba. La onda cerebral extraída se transforma adicionalmente en señal de dominio de frecuencia donde la energía de la subbanda se calcula, se

caracteriza y finalmente se codifica digitalmente para el análisis. Las ondas cerebrales características codificadas de emoción positiva y negativa se comparan por su diferencia. Muestra 8 emociones positivas y negativas diferentes que pueden ser identificadas de manera efectiva por la técnica de codificación digital de onda cerebral emocional propuesta y la técnica es prometedora para desarrollar técnicas de identificación de emociones futuras.

Además del sujeto que experimenta el cambio de emoción, los espectadores también pueden aprender el cambio de emoción del sujeto a través de la observación. Sin embargo, ¿hay alguna otra forma de aprender el cambio de emoción de las personas además de la observación y la interacción? ¿Existe un enfoque científico efectivo para identificar el cambio de emoción interno de las personas? Este estudio identifica las emociones psicológicas positivas y negativas utilizando la variación de ondas cerebrales. Se centra en el análisis de ocho tipos de emociones positivas y negativas: alegre, enojado, protegido, triste, sorprendido, temeroso, satisfecho e indiferente. La Figura 1 representa la relación entre las emociones anteriores en tres dimensiones. La figura expande las emociones en el espacio tridimensional utilizando tres ejes ortogonales: el positivo o el negativo, la fuerza y el cambio de la emoción.

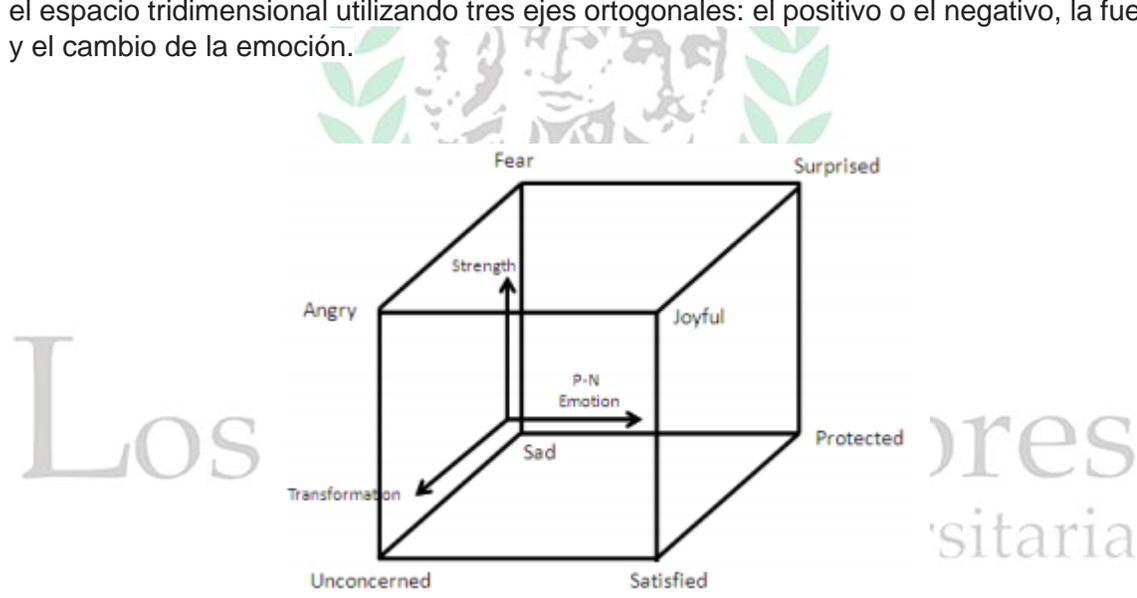


Figura 6. Grafico de emociones 3D. Fuente: Fu-Chien Kao, Shingping r. Wang, Yu-Jung Chang. "Brainwaves Analysis of Positive and Negative Emotions" Department of Computer Science & Information Engineering Da-Yeh University 168 University Rd., Dacun, Changhua 51591 TAIWAN. 2015, p.1.

Una señal del cerebro es una señal electromagnética generada por el proceso electroquímico del sistema nervioso dentro del cerebro. El sistema nervioso, al descargar

sustancia química irónica y mediante la permeabilidad iónica, transforma la señal química en señal eléctrica. La neurona, el núcleo del sistema nervioso es responsable de generar la señal eléctrica. Cuando el receptor que se localiza en la superficie de la neurona recibe sustancia irónica del sistema nervioso, se genera un voltaje de acción y, por lo tanto, se dispara una señal eléctrica. Distintas excitaciones generarán diferentes tipos de patrones de señal. La variación de potencial rítmico que consiste en Ritmos Eléctricos y Descarga Transitoria se genera cuando la señal de conducción del sistema nervioso y esta variación agregada de potencial rítmico de miles de millones de neuronas constituye lo que llamamos la Onda Cerebral.

5.4 To judge what color the subject watched by color effect on brain activity

Se sabe que los estados de ánimo cambian por color. Para observar la actividad del cerebro con el estímulo de color, se utilizan las imágenes de potenciales relacionados con eventos (ERP) y electroencefalogramas (EEG). de la onda cerebral alfa podrían considerarse si la persona está bajo relajación. Por otro lado, la onda cerebral beta significa que las personas representan la excitación. En este documento, basado en datos de experimentos, analizamos las respuestas cerebrales que provienen de los estímulos de color. El resultado nos da una medida para estimar el estímulo de color. Cuatro voluntarios sanos, incluidos 2 mujeres, con edades comprendidas entre los 22 y 30 años, participaron en el procedimiento de examen. Hubo tres tipos de colores (rojo, azul y verde) que tienen cuatro tipos en este experimento para ser los estímulos.

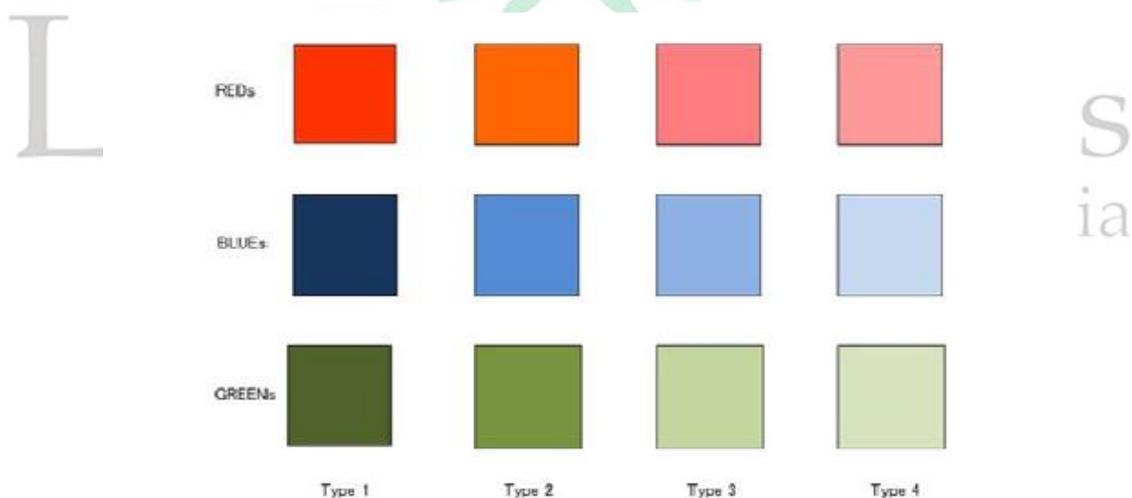


Figura 7. Estímulos propuesto para el experimento. Fuente: Huiran Zhang, and Zheng Tang. "To judge what color the subject watched by color effect on brain activity". IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.11 No.2, February 2011, p.1.

En este estudio, el sistema Active Two producido por BioSemi Inc. con 64 canales se utiliza para obtener las señales de la actividad cerebral. Los datos originales son analizados por

EEGlab, que es la caja de herramientas para el procesamiento de EEG, MEG y otros datos electrofisiológicos continuos y relacionados con eventos utilizando análisis de componentes independientes (ICA), análisis de tiempo / frecuencia, rechazo de artificios y varios modos de visualización de datos. Para filtrar la otra onda cerebral que no usamos, insertamos muchos eventos aleatoriamente en cada prueba y promedio. En el laboratorio, la sala está completamente cerrada sin ruido ni luz. La pantalla se coloca al frente de los sujetos y cambia el color en 2 minutos después de que el estímulo apareció en 1 segundo. Entre rojo, azul y verde, los voluntarios deben descansar entre dos estímulos.

5.5 EEG Based Color Impairment Detection

Este estudio fue diseñado para investigar los efectos del color en las señales de EEG a medida que los sujetos perciben diferentes tonos de colores. El deterioro del color puede hacer que sea difícil o imposible que una persona participe en ciertas ocupaciones. Los conductores que tienen un deterioro del color pueden no ser capaces de reconocer las diferentes luces de semáforo que pueden ocasionar accidentes graves, que cuestionan la seguridad de otros usuarios de la carretera. Las personas con daltonismo pueden ser excluidas legal o prácticamente de ocupaciones en las cuales la percepción del color es una parte esencial del trabajo, o en las que la percepción del color es importante para la seguridad. Diferentes tonos de colores fundamentales (rojo, verde, azul) se muestran de forma aleatoria. Los diversos colores muestran varios efectos en la banda de energía de la señal. Con base en los datos obtenidos del experimento, analizamos las respuestas cerebrales que provienen de los estímulos de color. El resultado nos da una medida para estimar el estímulo de color.

Tres sujetos, incluyendo una mujer, con edades comprendidas entre 21-23 años, participaron en el procedimiento experimental. 12 diferentes tonos de 3 colores básicos (Rojo, Verde, Azul) donde ser los estímulos. De las 12 sombras, el sujeto debe marcar el color coincidente del color de prueba que se muestra según la percepción visual del sujeto.

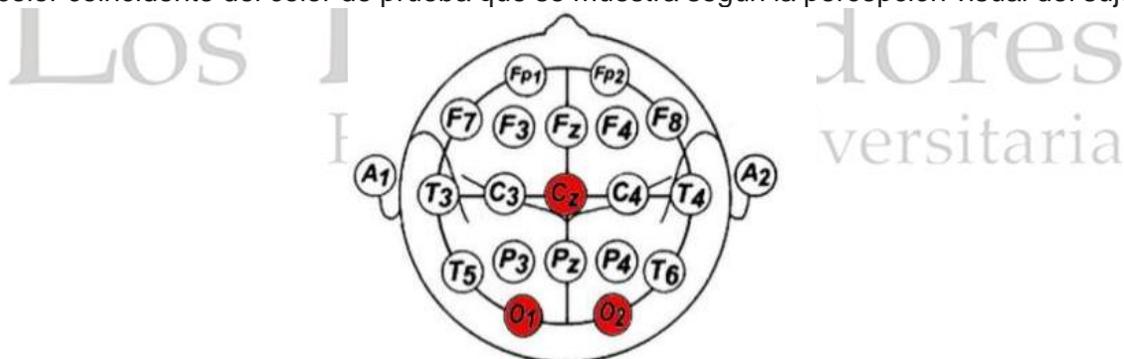


Figura 8. Distribución de electrodos. Fuente: Bony Thomas, Umamaheswari.V. "EEG Based Color Impairment Detection". International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. March 2016, p.2.

En este estudio, 4 canales se usan para capturar las señales de EEG del cerebro de las regiones Cz, O1, Oz y O2. Una señal de referencia de uno de los oídos se utiliza para rechazar las señales comunes. Los datos se capturan usando la tarjeta NI6363 DAC y utilizando NI signal express. La señal se procesa previamente utilizando un filtro de paso

de banda con una frecuencia de corte en el rango de 0.3Hz y 40Hz y la señal se muestrea a 256Hz. Cada señal se captura a una longitud de cuadro de 8 segundos.



Figura 9. NI6363 Tarjeta DAC. Fuente: Bony Thomas, Umamaheswari.V. "EEG Based Color Impairment Detection". International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. March 2016. p 2.

El experimento se lleva a cabo en una habitación aislada de las luces y el ruido de alta intensidad, solo se utilizan luces moderadas. Se debe tener cuidado para reducir los efectos de ruidos externos como la interrupción de la luz del día y las interferencias de la línea de alimentación, etc. La pantalla se coloca en una pantalla con el brillo requerido para que el sujeto pueda visualizar el color sin ningún obstáculo. Todo el procedimiento se explica claramente al sujeto antes de que comience el experimento y el color de la pantalla cambia cada 8 segundos.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 MÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS DE ONDAS CEREBRALES

En la física existen diferentes conceptos que describen el comportamiento de las ondas en la naturaleza y en el diario vivir a continuación se relacionan dichos conceptos

6.1.1 Frecuencia

La frecuencia es la magnitud encargada de representar la cantidad de veces que ocurre un evento en un instante de tiempo determinado, la unidad de medida establecida por el Sistema Internacional es el Hercio (Hz). Un Hercio es la cantidad de veces que se repite un suceso o evento por un segundo, representado de la siguiente manera:

$$1Hz = \frac{1}{s}$$

Donde:

S: Segundos (s)

6.1.2 Período

Un término muy utilizado para evaluar la frecuencia es el periodo, el cual es el encargado de medir el tiempo que un evento se tarda en ocurrir, su fórmula representativa es:

$$T = \frac{1}{f}$$

Donde:

T: Período (s)

F: Frecuencia (Hz)

Para representar la frecuencia en función del periodo basta con calcular la inversa del periodo:

$$f = \frac{1}{T}$$

6.1.3 Fase

La fase es el comportamiento instantáneo de un evento, tomando como criterio el inicio del evento respecto a la fracción del evento tomada como referencia. La fase suele ser relacionada en grados o radianes donde 360° equivalen un evento completo de principio a fin.

6.1.4 Amplitud

En física la amplitud se define como la variación máxima del desplazamiento de una onda dependiendo del contexto en el que se maneje pueden variar sus unidades, por ejemplo en acústica la amplitud se mide en decibelios (dB), en corriente alterna concurrentemente se mide en voltios (V) o amperios (A).

6.1.5 Longitud de onda

La longitud de onda se expresa como la distancia que recorre un evento en un instante de tiempo determinado, en términos físicos es la distancia expresada metros, centímetros o cualquier unidad de medida de distancia de dos partículas que oscilan en fase. La ecuación que representa la longitud de onda es:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Donde:

λ : Longitud de onda

F: Frecuencia (Hz)

v : Velocidad de propagación de la onda (aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s)

6.1.6 Transformada de Fourier

Es una transformación matemática utilizada transformar señales entre el dominio del tiempo o espacio y el dominio de la frecuencia, en otros términos es el espectro frecuencial de una

función determinada. Cuando se analiza la transformada de Fourier en funciones periódicas el cálculo se minimiza mediante los coeficientes de las series Fourier, los cuales representan en el dominio del tiempo inicial el espectro de frecuencia de la señal.

6.1.7 Transformada rápida de Fourier (FFT)

La transformada rápida de Fourier FFT (Fast Fourier Transform) es una herramienta utilizada para calcular la Transformada Discreta de Fourier DTF (Discrete Fourier Transform) y su correspondiente inversa. La FFT abarca gran importancia en el tratamiento digital de señales pero para poder utilizar la FFT es necesario haber realizado un muestreo de la señal a analizar.

6.2 ¿QUÉ ES UN EEG?

Un electroencefalograma es un examen que determina el comportamiento de las variables eléctricas del cerebro, dichas variables se representan en ondas cerebrales, el objetivo de un electroencefalograma médico es detectar anomalías en dichos patrones cerebrales. Mediante una diferencia de potencial el electroencefalograma determina alteraciones en el todo el cerebro o en áreas determinadas.

6.2.1 Realización de un EEG

Para la medición de las ondas cerebrales mediante un EEG se debe ubicar una cantidad determinada de conductores eléctricos denominados electrodos sobre el cuero cabelludo, estos electrodos recopilan la diferencia de potencial eléctrico entre las regiones que están siendo evaluadas, para después amplificarla y obtener patrones de comportamiento (ondas) representadas en un monitor.

6.2.2 Ondas Presentes en un EEG

Las neuronas de nuestro cerebro son portadoras de los impulsos eléctricos que miden los electrodos, el EEG permite clasificar dichos impulsos en un conjunto de ondas para su fácil interpretación, las características o magnitudes que diferencian dichas ondas son su frecuencia y amplitud. Dichas ondas se representan generalmente con una letra griega y se dividen en cinco grupos.

- **Ondas Delta**

Las ondas delta son las que presentan menos información debido a que se evidencian en un rango de frecuencia de 0.5 a 4 Hz; están incluidas en fase de sueño profundo sin soñar, meditación profunda y asociadas al estado de subconsciente (procesos mentales no percibidos conscientemente por un individuo).

Este tipo de ondas presentan la mayor amplitud del grupo de las ondas analizadas en un electroencefalograma, la presencia de estas ondas en la actividad cerebral se relaciona en gran cantidad de casos de daños cerebrales y estado de coma.

- **Ondas Theta**

Las ondas theta se evidencian en un rango de frecuencia de 4 a 7.5 Hz, se manifiestan en mayor grado en la población menor de 15 años y en adultos mayores con somnolencia. Estas ondas predominan en estados de calma total y en meditación, es decir

desconectados del mundo pero estando conscientes, también suelen presentarse cuando el individuo se encuentra bajo efectos anestésicos.

- Ondas Alfa

Estas ondas se manifiestan en un rango de frecuencia de 8 a 13 Hz se producen en estados de relajación pero atentos y conscientes, las ondas alfa ayudan a la armonización de mente y cuerpo y evidencian tranquilidad y despreocupación.

- Ondas Beta

Dichas ondas se encuentran en un rango frecuencial de 12 a 25 Hz y se pueden dividir en dos subgrupos detallados a continuación:

- Ondas Beta Inferiores (Low Beta)

Son llamadas las ondas de la actividad cerebral y están entre el rango de 12 a 16 Hz ya que se presentan cuando el individuo desarrolla cálculos matemáticos, analiza una situación con detalle o surge un enfoque hacia un tema específico. Dependiendo del hemisferio en el que se presenten pueden ser de beneficio o de perjuicio; si se presentan en el hemisferio izquierdo son provechosas ya que permiten salir de estados de depresión, si las ondas beta se presentan en el hemisferio derecho conllevan a estados de tensión.

- Ondas Beta Superiores (High Beta)

Su rango frecuencial se encuentra entre 16 a 25 Hz son las más perjudiciales para el cerebro ya que su presencia representa trastornos de ansiedad, trastornos obsesivos compulsivos y estados de extrema preocupación.

- Ondas Gamma

Se asocian al estado máximo de concentración y no son de fácil percepción frecuentemente en el cerebro ya que llevan la amplitud más baja del grupo de ondas presentes, su rango frecuencial está determinado desde los 25 Hz hasta los 40 Hz.

Representan el trabajo coordinado de diversos grupos neuronales activos apresuradamente para la resolución de un problema.

6.3 TEORIA DEL COLOR

El color es un aspecto muy importante en cualquier tipo de comunicación, utilizar ciertos colores en circunstancias específicas permite obtener ventajas claras sobre todo a la hora de hablar de temas publicitarios, pero realmente el color es una herramienta que depende de la percepción de cada persona, no obstante, hay colores que son genéricos para algunas circunstancias o momentos específicos y la gran mayoría de personas relacionan igual, sin dejar de lado el hecho que cada persona tiene uno o varios colores preferidos por encima de los demás; estadísticamente hablando el azul es el color favorito de un 36% de la población mundial, seguido del rosa 12%, rojo 11%, verde 11% y amarillo 10%. A lo largo de los años han existido muchas personas que se han interesado por el estudio de los colores, y a raíz de esto han evaluado la opinión de las personas y la percepción que tienen sobre cada color, lo que representan y generan en las emociones del ser humano, haciendo un consenso de la percepción general, se han utilizado los colores para fines publicitarios, otorgándole a cada uno una definición muy característica:

– **Blanco:** Es el color que refleja pureza por excelencia, frescura, limpieza, paz y salud. La mayoría de personas lo relacionan con productos higiénicos, lácteos o maternales, en general representa pulcritud.

– **Negro:** Identifica en la mayoría de ocasiones la seriedad y elegancia o fineza, representa fuerza y autoridad. Debido a todas estas características es muy aplicado en colores de gama alta.

– **Rojo:** Representa alegría y diversión, la mayoría de personas lo identifican con relación al amor y la pasión y en ocasiones también con el peligro. Muy relacionado con la juventud, en temas publicitarios se utiliza para incrementar el apetito de productos alimenticios además es relacionado con productos dirigidos a la seducción, como perfumes o ropa interior.

– **Amarillo:** Refleja calor, vitalidad y felicidad, comúnmente relacionado con el fuego y el sol. Es un color utilizado para llamar la atención del público, generalmente se utiliza para ofertas o promociones de productos.

– **Naranja:** La mayoría de personas lo consideran un color informal, para temas publicitarios es considerado como utilizable para cualquier tipo de público porque genera una gran atracción visual, relacionado con alegría, creatividad y energía. Color informal, desde el punto de vista de la publicidad hace ver que es un producto adecuado para todo tipo de clientes, es muy utilizado en anuncios publicitarios en la web.

– **Verde:** Estrechamente relacionado con espacios rurales, refleja esperanza, salud y tranquilidad, en tonos claros e verde es sinónimo de frescura, es muy utilizado en la pintura de las paredes de oficinas o centros de negocios porque representa serenidad.

– **Azul:** Directamente relacionado por la mayoría de personas con el agua y el cielo, indica confianza, limpieza y vitalidad, es muy utilizado en artículos deportivos y refrescantes.

– **Rosa:** Representa feminidad, ternura, dulzura e inocencia. Es muy utilizado en dulces, como glaseados de pastelería y sobretodo en productos para bebés como juguetes o ropa.

Todos estos conceptos son tenidos en cuenta para temas publicitarios y de marketing, por ende se tornó necesario que los profesionales relacionados en estas áreas trabajen a diario con el contraste de estos colores, las personas más experimentadas en esta área recomiendan algunas combinaciones específicas donde aseguran se puede lograr a captar mayor atención del público, ya que estos colores están directamente relacionados con las emociones de las personas, los ejemplos más claros y más utilizados son de letras negras con fondo blanco o amarillo, letras rojas sobre un fondo blanco o negro, letras blancas con fondo azul o rojo y letras azules sobre un fondo blanco.

COLOR EMOTION GUIDE



Figura 10. Guía de emociones del color para publicidad. Fuente: geektheplanet.net

Con las influencias generales que tienen los colores en la vida diaria de los seres humanos, se puede decir que la preferencia de alguno de ellos sobre los demás puede representar la personalidad o forma de ser de cada individuo, y de alguna manera llegar a predecir su manera de actuar en la vida cotidiana frente a distintos tipos de situaciones. En resumidas cuentas, la preferencia de color de cada persona da mucho de qué hablar con respecto a su personalidad:

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Rojo	Eres una persona enérgica y vitalista. Tienes un fuerte sentido de la independencia, sueles optar por trabajos que te permitan ser autónoma, de lo contrario te aburres.
Naranja	Eres divertida, sensual y muy lúdica. Enormemente emocional, sensible, tanto que rozas la susceptibilidad. Disfrutas de lo sensorial: masajes, aromas, una buena comida, un buen vino...
Amarillo	Inquisitiva y curiosa, necesitas que te estimulen mentalmente. En tus relaciones laborales y afectivas buscarás el predominio de lo intelectual y lo racional.
Verde	Necesitas tener un espacio que sea sólo tuyo. Buscas la armonía interior, el silencio. Tu casa es tu templo. Vives con los pies en la tierra.
Azul	La comunicación es tu necesidad primordial, la forma es lo de menos: desde escribir, cantar o pintar hasta cocinar o vestirse.
Índigo	Eres profunda, misteriosa, quizás algo intensa. La intuición gobierna tu vida, eres una gran observadora.
Violeta	La creatividad es tu lema y tu debilidad el lujo. Eres algo cambiante y tienes la cabeza en las nubes.
Rosa	Aventurera y viajera por excelencia, tu gran virtud es que siempre sabes ver lo mejor de cada persona.
Dorado	Has nacido para enseñar a otros. Logras lo que te propones y necesitas el reconocimiento de los demás.

Figura 11. Descripción de la personalidad con respecto al color favorito. Fuentes: de la página significadodeloscolores.net

7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con los avances tecnológicos que han revolucionado nuestro alrededor, surgen nuevas estrategias para analizar el comportamiento del ser humano tanto físico como mentalmente, esto permite comprender el funcionamiento de la gran mayoría de nuestro cuerpo.

Nuestro cuerpo y mente son muy propensos a efectuar comportamientos mentales y físicos de acuerdo a estímulos visuales presentados, estos estímulos visuales generalmente van

asociados al color que los representa, para poder comprender estas conductas cerebrales se pretende obtener un análisis grafico característico de los principales colores presentes en el entorno diario de los individuos de una población determinada.

8 METODOLOGÍA

8.1 Herramientas

8.1.1 Diadema Emotive EPOC

Para desarrollar la toma de datos se utiliza la diadema Emotive EPOC desarrollada por la empresa EMOTIVE Incorporated, la cual permite analizar y representar de manera detallada un examen de EEG. Esta diadema consta de 14 electrodos.



Figura 12. Diadema EMOTIVE EPOC. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EPOC User Manual”, 2017, p. 1.

- Procedimiento para utilizar la diadema Emotive EPOC

La diadema almacena su carga en una batería de litio de de 680 miliamperios y puede ser usada de forma inalámbrica siempre y cuando se encuentre cargada, la carga de la diadema se realiza por medio de un cable Usb en un extremo (para ser conectado a la diadema) y un conector para la red eléctrica en el otro extremo (para ser conectado a la toma de corriente), el tiempo de carga establecido para que la diadema obtenga su carga máxima es de 4 horas.

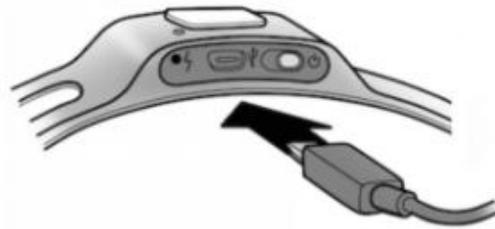


Figura 13. Puerto de carga EMOTIVE EPOC+. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EPOC User Manual”, 2017, p. 5

Los sensores (electrodos) se encuentran separados de la diadema en un estuche adicional y deben ser hidratados con un líquido proporcionado por el fabricante antes de ser ensamblados en la diadema.



Figura 14. Lubricación de electrodos EMOTIVE EPOC+. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EPOC User Manual”, 2017, p. 5

Los electrodos están fabricados de manera que puedan ser ensamblados en cualquiera de los conectores de la diadema, cada uno con una rosca simple para hacer sencilla su instalación, asegurando el electrodo en el conector girándolo en sentido de las manecillas del reloj. Los electrodos deben ser instalados antes de encender la diadema, además no debe estar conectada cargándose al momento de ensamblarlos.

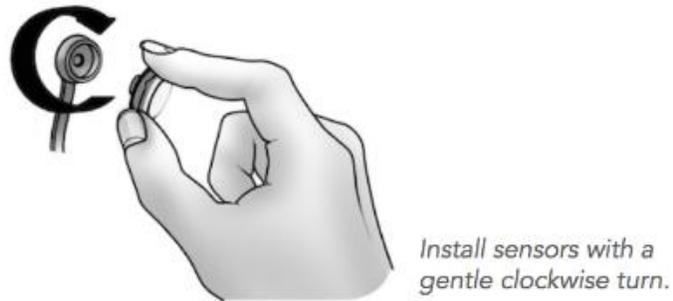


Figura 15. Instalación de electrodos diadema EMOTIVE EPOC+. Fuente: EMOTIVE Incorporated "EPOC User Manual", 2017, p. 5

Para la correcta colocación de la diadema el evaluador debe indicarle al sujeto que debe utilizar las dos manos tomando los extremos principales y llevándolos a su cabeza, la siguiente imagen representa el procedimiento adecuado.

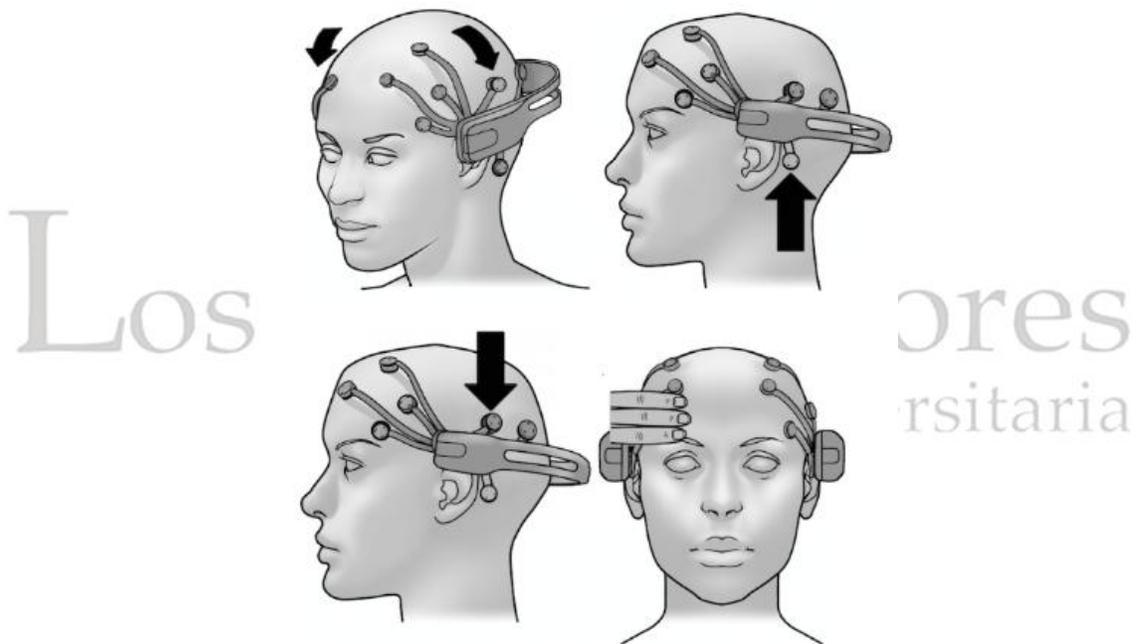


Figura 16. Diadema de correcta posición de la diadema EMOTIVE EPOC+. Fuente: EMOTIVE Incorporated "EPOC User Manual", 2017, p. 5

Los electrodos ubicados en detrás de la oreja son la referencia (tierra) para los demás, y deben ser presionados levemente durante 20 segundos después de encendida y ubicada la diadema en la cabeza del paciente, esto garantiza correcta activación de los demás electrodos, en la parte frontal debe haber un esocamiento de tres dedos entre la ceja del

sujeto y el electrodo mas cercano en la parte de la frente del sujeto. Cabe resaltar que todos los electrodos deben estar en contacto con el cuero cabelludo para su correcta operación.

La representación de los electrodos que se utilizan en el diagrama internacional 10-20 es mostrada a continuación:

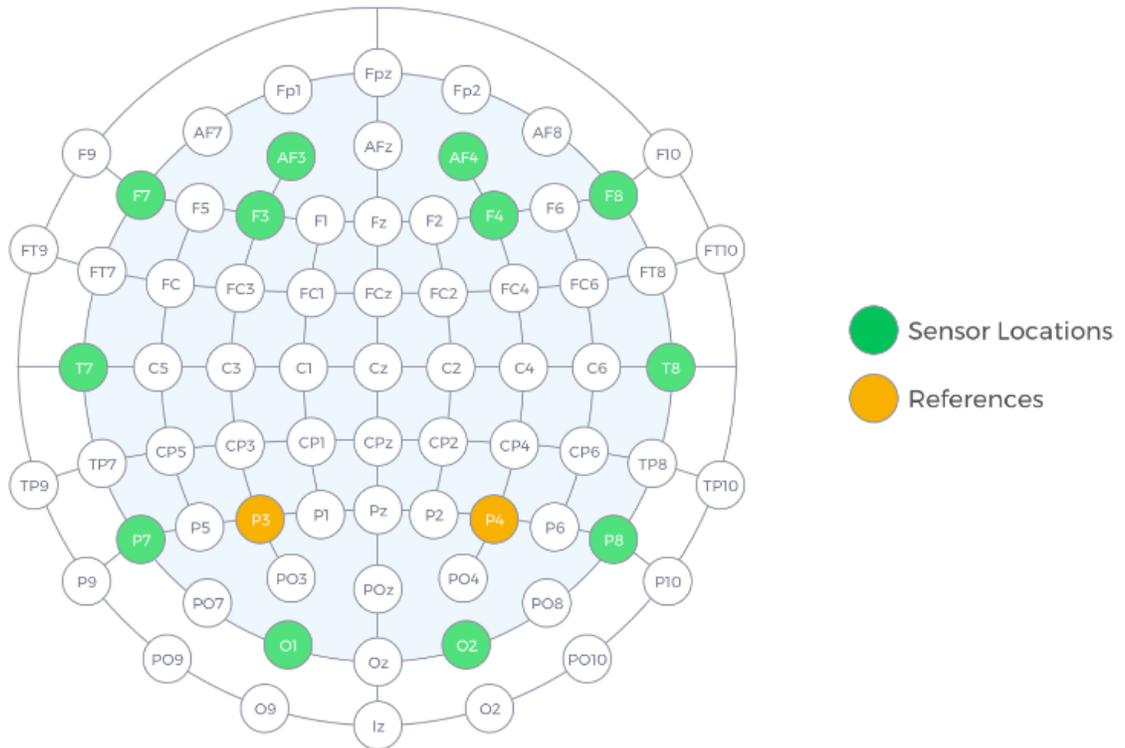


Figura 17. Diagrama internacional de la ubicación de los electrodos de la diadema EMOTIVE EPOC+. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EPOC User Manual”, 2017, p. 6

Los electrodos en color amarillo representan la referencia para los demás electrodos, en un circuito electrónico llamados tierra, en color verde son los electrodos que entregan información.

Las siguientes imágenes permiten evidenciar en una mejor perspectiva la ubicación de cada uno en la diadema Emotive EPOC para posteriormente ser relacionados en el software.

Left

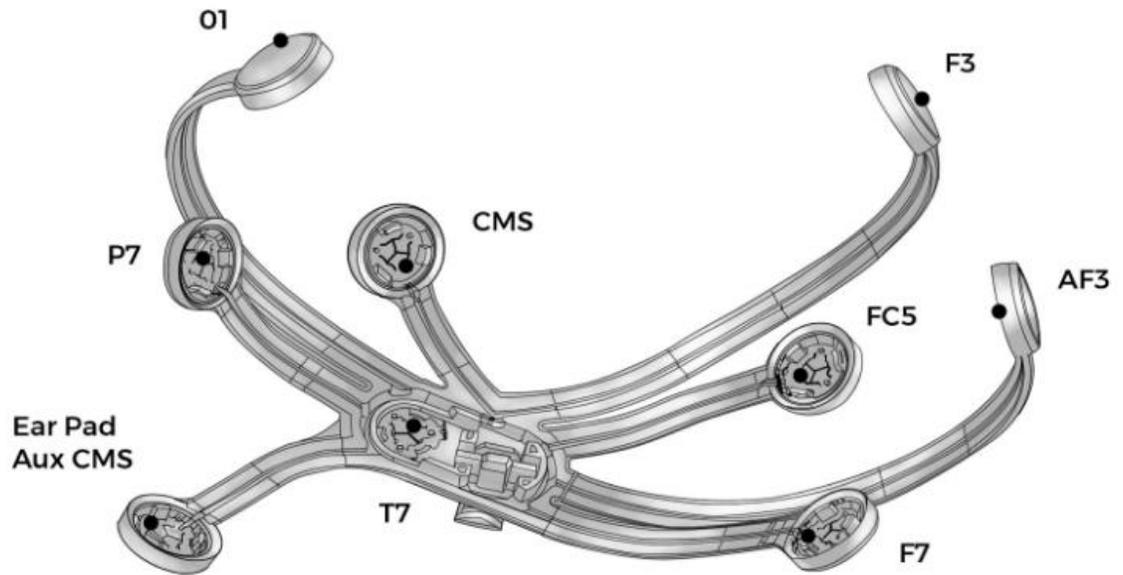


Figura 18. Vista de la configuración en hemisferio izquierdo de la diadema EMOTIVE EPOC.
Fuente: EMOTIVE Incorporated "EPOC User Manual", 2017, p. 5

Right

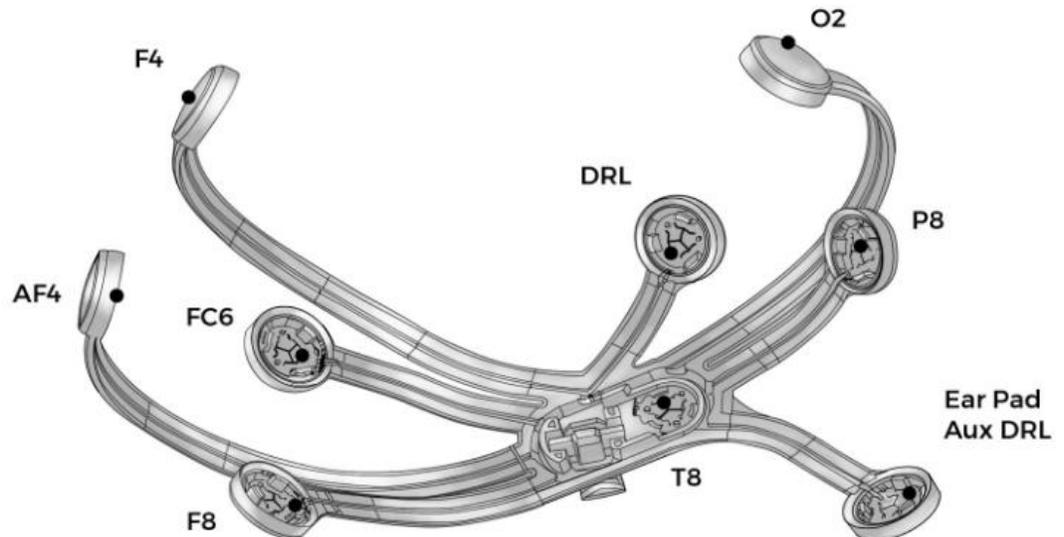


Figura 19. Vista de la configuración en el hemisferio derecho de la diadema EMOTIVE EPOC.
Fuente: EMOTIVE Incorporated "EPOC User Manual", 2017, p. 5

- Comunicación de la diadema

La diadema Emotive EPOC esta diseñada para representar los datos en un software llamado EMOTIV PRO, y realiza el suministro de datos a un ordenador en el cual debe estar instalado el software mediante tecnología Bluetooth.

Para la conectividad Bluetooth el kit Emotive EPOC contiene una llave USB que permite la conexión transmitiendo a 2.4 Ghz para emparejar la diadema con el ordenador, esta llave debe esatr conectada al momento de encender la diadema Emotive EPOC y mediante un conjunto de leds permite distinguir el correcto emparejamiento.



Figura 20. Llave USB de la diadema EMOTIVE EPOC. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EPOC User Manual”, 2017, p. 9

8.1.2 Software Emotive PRO

Emotive PRO es un software desarrollado por Emotive Incorporated para representar la información obtenida por la diadema Emotive EPOC y Emotive INSIGHT, al encender la diadema después de ser ubicada correctamente en el cuero cabelludo del sujeto, se debe iniciar sesión en el software Emotive PRO el cual provee la siguiente información:

- Mapa de contacto
 - Este mapa permite verificar la calidad del contacto entre el electrodo y el cuero cabelludo, el mapa es una representación grafica desde la vista superior de la distribución de los electrodos. Estado del contacto se representa mediante 4 colores:
 - Verde: Contacto bueno
 - Naranja: Contacto moderado
 - Rojo: Contacto pobre
 - Negro: No hay contacto

De acuerdo a la cantidad de electrodos en sus diferentes estados se establece un porcentaje de conectividad de 0% a 100%, siendo 100% un contacto optimo para obtener la información.

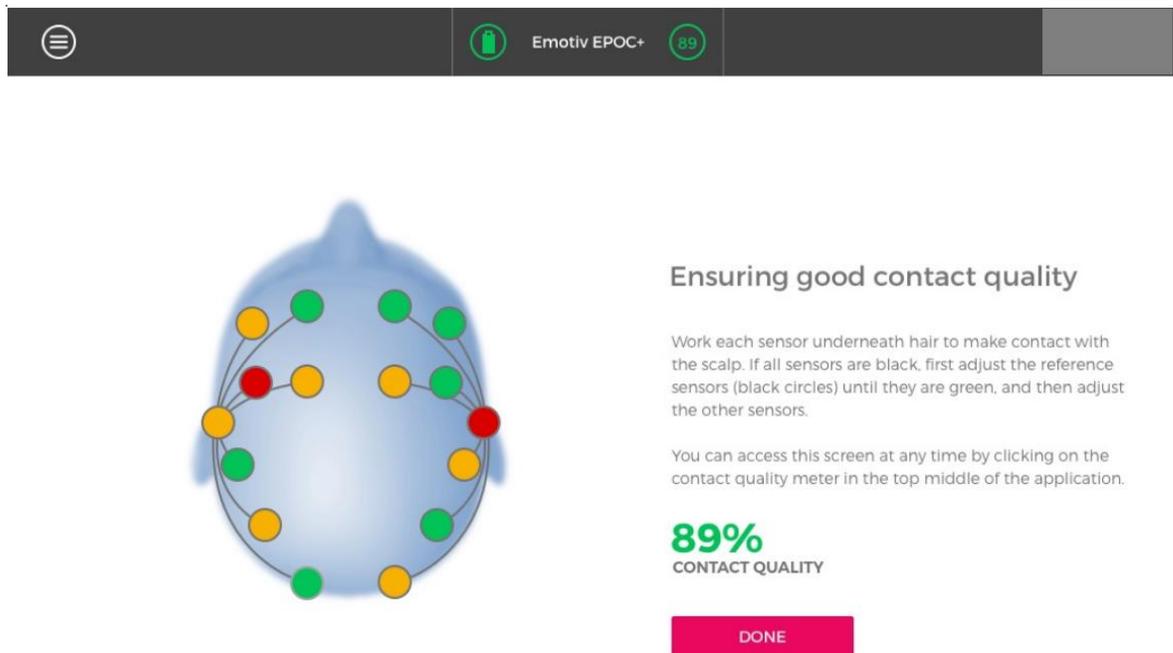


Figura 21. Mapa de contacto de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EMOTIVE PRO User Manual”, 2017, p. 21

- Resolución y frecuencia de muestreo
El software EMOTIVE PRO permite una configuración del mínimo incremento de un valor de entrada que evidencia un cambio medible en la salida (14bits o 16 bits), y las muestras por unidad de tiempo en 128Hz o 256 Hz para los electrodos que miden la información neuronal y de 32Hz, 64Hz o 128Hz para los electrodos que miden el movimiento mediante la siguiente opción:

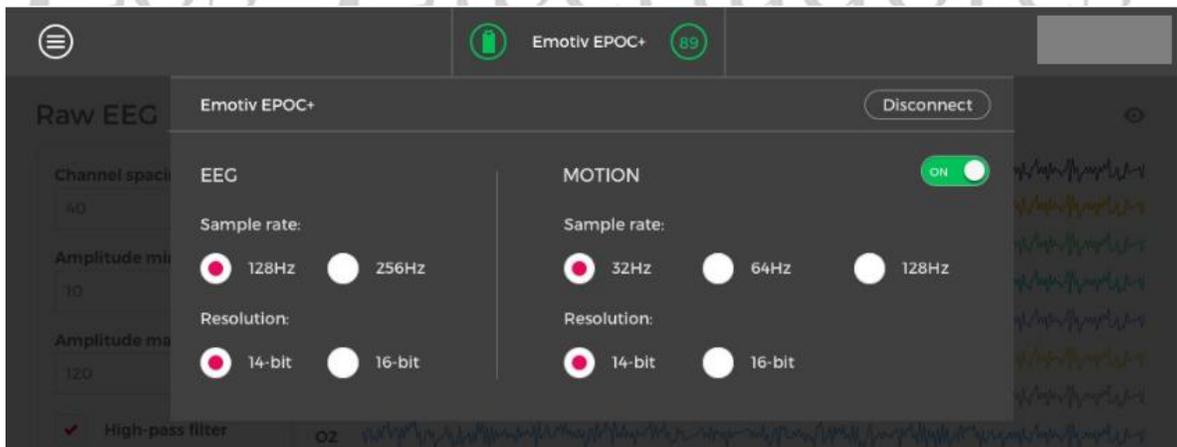


Figura 22. Configuración de la resolución y frecuencia de muestreo de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EMOTIVE PRO User Manual”, 2017, p. 24

- Menu Principal EMOTIVE PRO

En el menú principal se encuentran 5 opciones para evidenciar los datos descritas a continuación:

Raw EEG: Permite ver los datos sin tratamiento (brutos) de cada uno de los 14 electrodos.

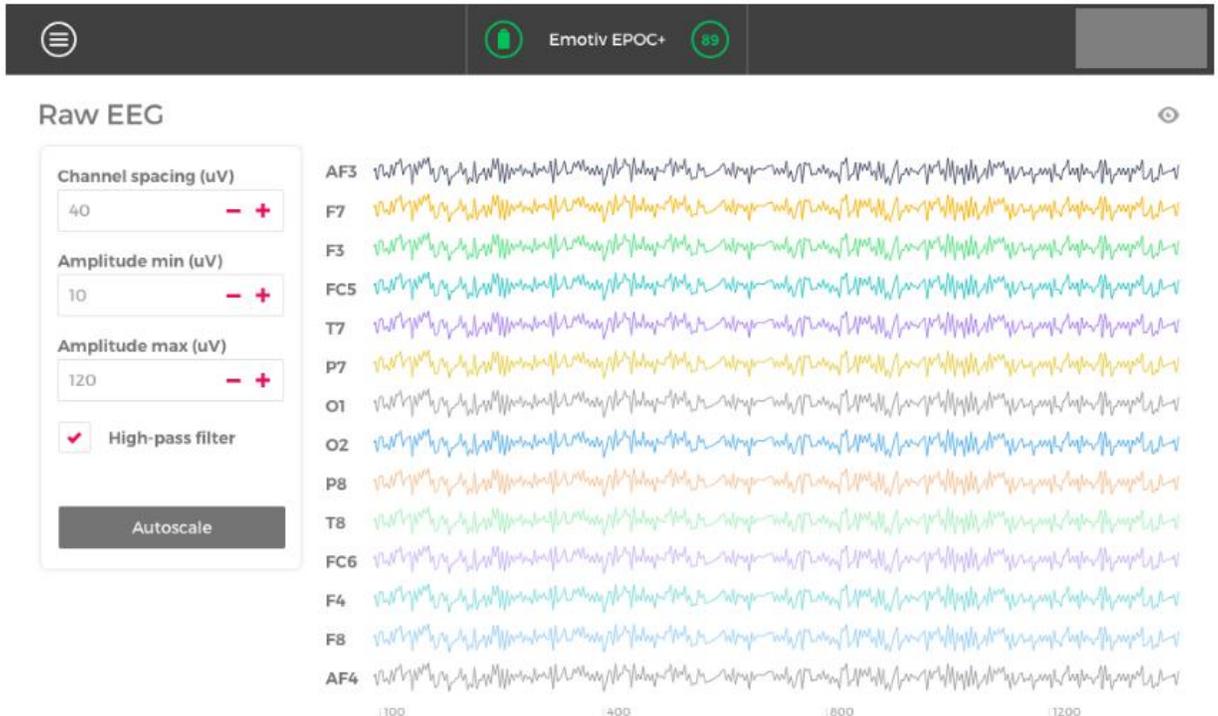


Figura 23. Toma de datos en bruto de los 14 electrodos de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EMOTIVE PRO User Manual”, 2017, p.

28

Motion Sensors: Muestra los datos del movimiento del sujeto con 9 ejes a su disposición. Los sensores de movimiento muestran datos relativos a la posición y orientación de la diadema con mediciones de orientación relativa (giroscopio), aceleración (acelerómetro) y orientación absoluta (magnetómetro).



Figura 24. Toma de datos de los sensores de movimiento de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO. Fuente: EMOTIVE Incorporated “EMOTIVE PRO User Manual”, 2017, p. 29

Data packets: Permite ver un flujo en tiempo real de los paquetes de datos capturados para ser representados y la cantidad de datos que se eliminan

Fundación Universitaria

Data packets

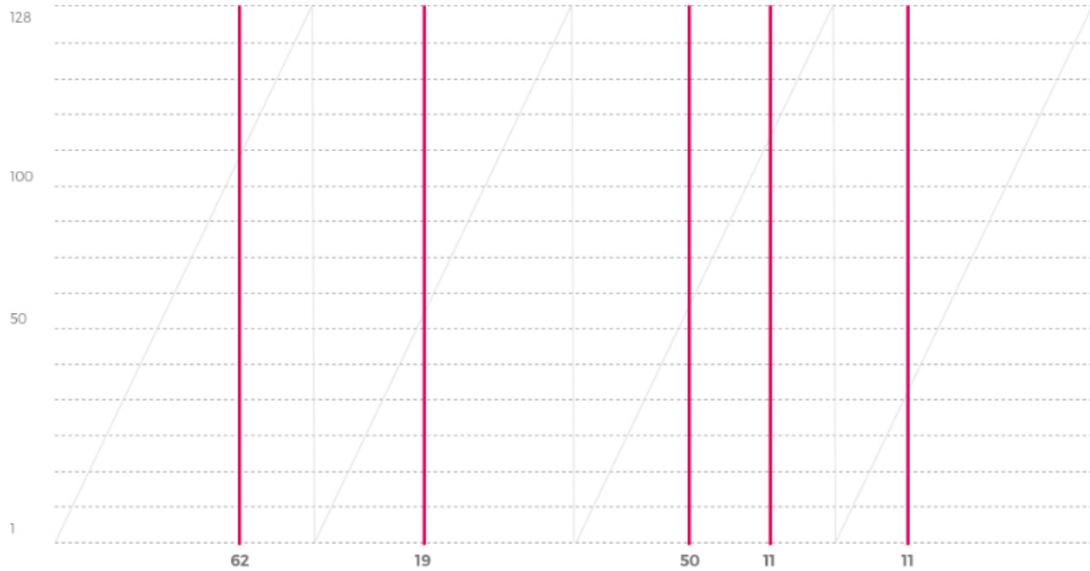


Figura 25. Representación de los paquetes de datos que se transfieren y que se eliminan de la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO. Fuente: EMOTIVE Incorporated "EMOTIVE PRO User Manual", 2017, p. 30

FFT/Band Power: Presenta el análisis frecuencial de los datos adquiridos en tiempo real por la diadema de dos formas:

Los Libertadores
Fundación Universitaria

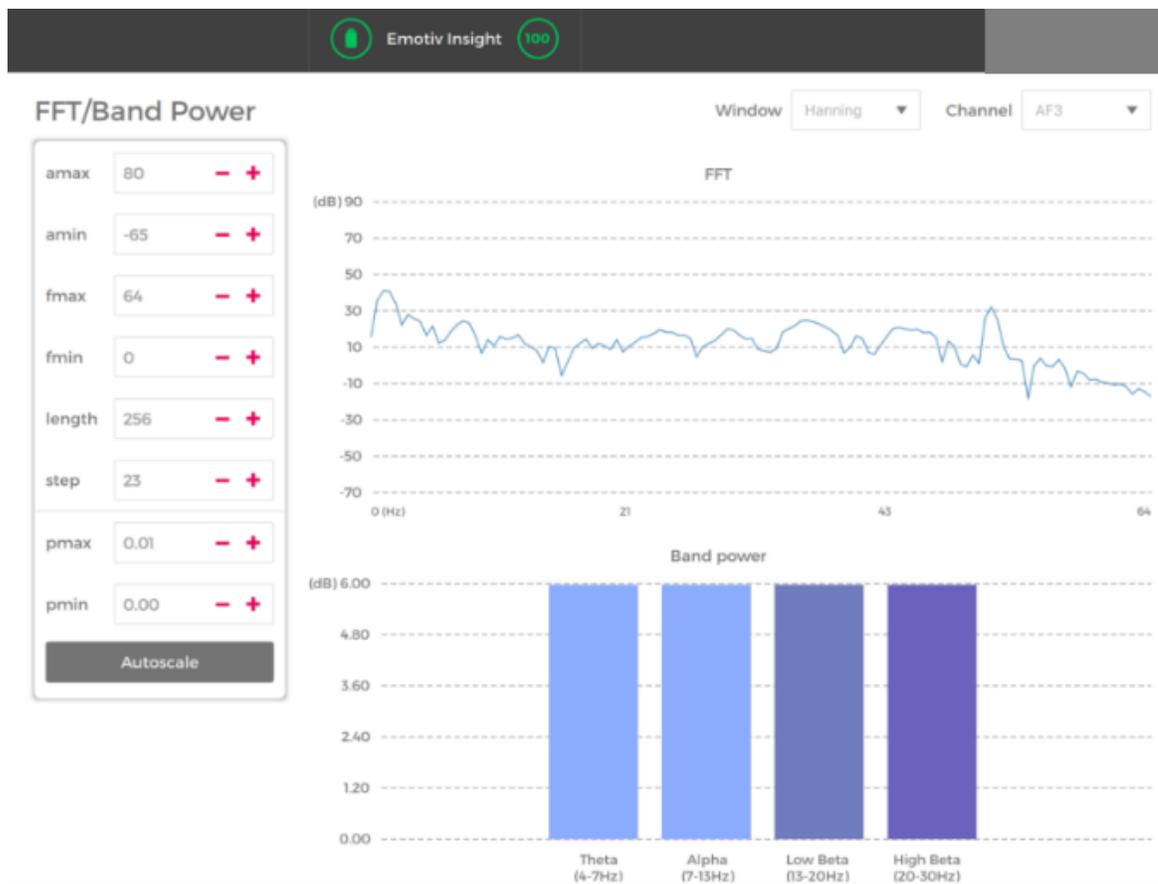


Figura 26. Representación de los paquetes de datos representados por la diadema EMOTIVE EPOC en el software EMOTIVE PRO. Fuente: EMOTIVE Incorporated "EMOTIVE PRO User Manual", 2017, p. 30

- El gráfico superior muestra un análisis FFT en dB sobre la frecuencia (Hz). Para efectos de ajuste se pueden modificar los siguientes parámetros usando los controles en el lado superior izquierdo de la pantalla: se puede ajustar la amplitud máxima y mínima en decibelios (amax, amin), para el eje x se puede ajustar la frecuencia máxima y mínima en Hercios (fmax, fmin), para la longitud del eje x la propiedad de longitud (lenght) y por ultimo la transformación para el paso de análisis FFT ajustando el tamaño de paso (step) para el análisis de FFT
- El gráfico inferior es un gráfico de barras que muestra la frecuencia de cada onda cerebral en decibelios, theta (4-7Hz), alfa (7-13Hz), baja beta (13-20Hz) y alta beta (20-30Hz). Puede ajustar los siguientes parámetros usando los controles en el lado inferior izquierdo de la pantalla. ajuste la amplitud máxima y mínima (dB) para la autoescala del eje y pmax, pmin, el comando autoescala (autoscale) escala automáticamente los datos para que se ajusten al valor máximo en el eje y y actualice el eje x apropiadamente.

8.2 Población

Para realizar el análisis se escoge una población definida desde los 15 hasta los 40 años de ambos generos, debido a que en este rango de edad el cerebro tiene un comportamiento uniforme y ha completado su desarrollo en un 95% aproximadamente. Es necesario realizar el estudio en sujetos que no presenten somnolencia, ninguna enfermedad cerebrovascular, trastornos de ansiedad o depresión.

8.3 Estimulos utilizados

Para poder realizar la estimulaión visual hacia los individuos se editan una serie de videos representativos para cada color, incluyendo uno o más objetos dentro de la secuencia de imágenes que permita mantener al individuo conectado en la imagen.

Dentro de cada color se resaltan algunas imágenes representativas:



A.



B.



C.

Figura 27. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color negro.
Fuentes: A. hdfondos.eu, B. portalrosas.com, C. forocoches.com.



A.



B.



C.

Figura 28. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color amarillo. Fuentes: A. 4vientos.net, B. dimedondeir.com, C. paulacocina.net.

Los Libertadores
Fundación Universitaria



A.



B.



C.

Figura 29. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color rojo.
Fuentes: A. elvinodeldiablo.wordpress.com, B. autoferrari.com, C. depositphotos.com.

Los Libertadores
Fundación Universitaria



A.



B.



C.

Figura 30. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color verde.
Fuente: A. narradoresdelmisterio.net, B. elblogverde.com, C. lineaysalud.com.

Los Libertadores
Fundación Universitaria



A.



B.



C.

Figura 31. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color azul.
Fuentes: A. curiosfera.com, B. vix.com, C. supercurioso.com.

Los Libertadores
Fundación Universitaria



A.



B.



C.

Figura 32. Ejemplo de imágenes utilizadas para inducir el pensamiento en el color blanco.
Fuentes: A. lamiradaperpleja.blogspot.com.co, B. freepik.es, C. menzzo.es.

8.4 Realidad Virtual Aumentada

Para mejorar el enfoque, las pruebas se realizan en un teléfono inteligente y mediante unas gafas de realidad virtual Aumentada (cardboard) de la empresa google y una aplicación móvil, brindan una mayor atención del sujeto hacia lo que esta observando y no pierde su atención con estímulos exteriores.

Fundación Universitaria



Figura 33. Imágenes de las gafas de realidad aumentada Cardboard distribuidas por la empresa google. Fuentes: A. Vista trasera, donde le usuario ubica la mirada, B. vista lateral, donde se ubica el teléfono inteligente.

Las pruebas se realizan en un ambiente cubierto y cerrado con el mayor silencio posible, para que no se vean afectados los datos medidos, la aplicación utilizada para la realidad aumentada es VaR's VR Video Player y se encuentra disponible para móviles con sistema operativo Android en la tienda de aplicaciones para dispositivos móviles (Play Store).



Figura 34. Icono de la aplicación VR video player. Fuente: gallery.mobile9.com.

Las indicaciones dadas al individuo antes de realizar la prueba son:

- Mirar fijamente el objeto que aparece en pantalla.
- Pensar en el color que presenta el objeto o el paisaje
- Parpadear la menor cantidad posible de veces
- Realizar el examen lo mas estático posible en cuanto a movimientos corporales
- Llevar una respiración periódica



A.



B.



C.

Figura 35. Imágenes de las gafas de realidad aumentada Cardboard en sujeto de estudio.

A. Vista lateral, B. Vista posterior, C. Vista frontal

8.5 Obtención de los datos

Para poder realizar el tratamiento de los datos del Band Power (datos de interés) se realiza una grabación en pantalla con la aplicación para Windows llama OBS Studio, la cual permite grabar los datos en tiempo real de la pantalla del computador. Posteriormente se analiza el video tomado para representar los datos en diagramas de caja y bigote.

Las pruebas fueron realizadas a 10 individuos de diferente género y edad (entre los 15 y 40 años). Para poder analizar y graficar los datos correctamente fue necesario realizar la tabulación ordenada de estos, por medio de cada video obtenido durante el desarrollo de la prueba se obtuvieron los datos entregados por el software EmotivPRO de manera manual en intervalos de un segundo, y fueron almacenados en un archivo del programa Microsoft Excel, la versión 2016 de dicho programa permite la graficacion de caja y bigotes de los datos estudiados.

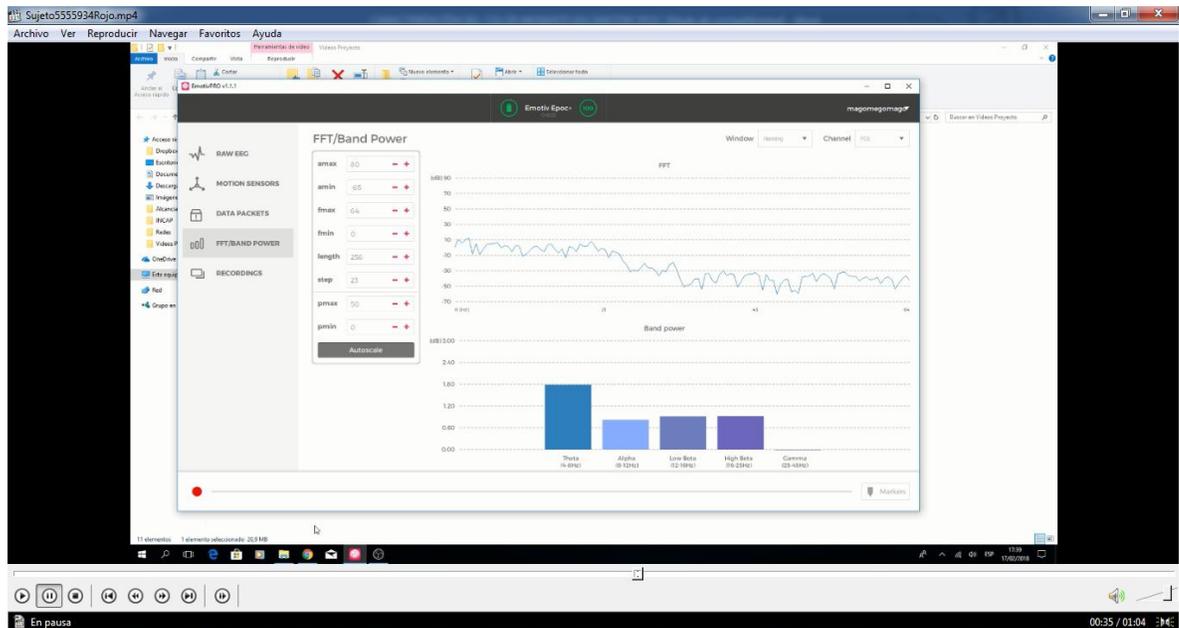


Figura 36. Video bajo analisis de los resultados obtenidos por medio del software EmotivPRO.

9 ALCANCES Y LIMITACIONES

Se obtiene la caracterización de los colores azul, amarillo, blanco, negro, rojo y verde a partir de los datos captados por el band power en las ondas teta, alfa, gama, beta altas y beta bajas.

La duración de la toma de datos esta aproximadamente entre 60 y 80 segundos por cada color para un total de 6 tomas de datos por sujeto.

Como limitación se encuentra la variabilidad de los datos cuando el sujeto durante la toma de datos realiza un movimiento muy fuerte al parpadear o mover su cabeza, ya que la diadema Emotive es sensible a cualquier movimiento por minimo que sea, razón por la cual no se logra una completa efectividad de las muestras.

El software utilizado es el EMOTIVE PRO ya que representa de manera grafica los datos obtenidos en cada examen y permite un análisis definido de los parámetros evaluados.

10 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados cuantitativos obtenidos en las pruebas fueron graficados por medio de un diagrama de caja y bigotes, el cual es un tipo de grafico que permite la visualización del agrupamiento de un conjunto de datos por medio del cálculo de sus cuartiles, la mediana de los datos y la simetría de su distribución, así como los datos que resultan atípicos en cada muestra. Este tipo de grafica permite ver donde se concentra el comportamiento general de un conjunto de datos para centrar el estudio en esos datos que pueden ofrecer mayor importancia que los demás.

La realización de una gráfica de caja y bigotes parte de la organización ascendente de los datos estudiados, esto con el fin de conocer su mediana, estos datos serán separados en varios grupos a partir del cálculo de sus cuartiles, los cuales son puntos determinados en el conjunto de datos de la distribución y los bigotes son los valores máximo y mínimo respectivamente; el primer cuartil corresponde al dato que determina el primer 25% de datos de la distribución, es decir el primer cuarto de los datos; esta primera sección se grafica como una línea recta que va desde el valor mínimo de los datos hasta el valor que representa el primer cuartil, el segundo es la mediana del conjunto de datos, gráficamente se realiza un cilindro desde el punto de primer cuartil hasta el de la mediana, El tercer cuartil representa los datos que sobrepasan 3/4 de la distribución, es decir el tercer cuartil es el dato que en la escala ascendente ocupa la posición que indica el 75% de la totalidad de los datos, gráficamente se representa en forma de cilindro desde el valor de la mediana o segundo cuartil hasta el punto del tercer cuartil; los datos que van después del tercer cuartil se representan con una línea recta hasta el valor del punto máximo, el cual será el bigote superior. Los datos que se presentan muy pocas veces con respecto a los demás en la totalidad del conjunto de datos son considerados atípicos, y gráficamente se representan con un círculo.

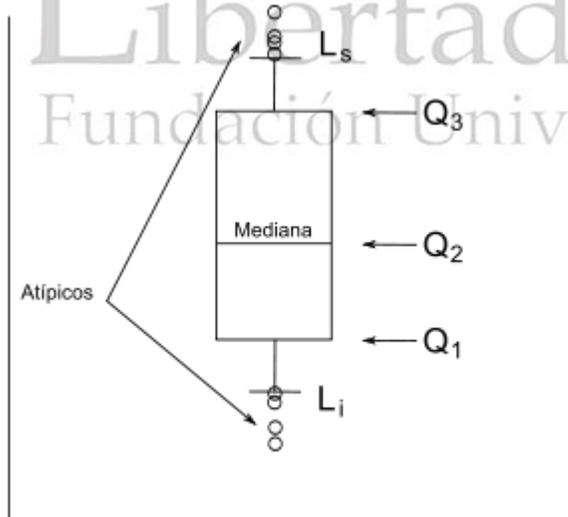


Figura 37. Ejemplo del diagrama de caja y bigotes. Fuente: emelycruzadobarrios.blogspot.com.co

El primer estudio grafico realizado se hizo para determinar el comportamiento de cada onda neuronal estudiada con respecto a cada color, en base a las muestras tomadas a la población total del estudio.

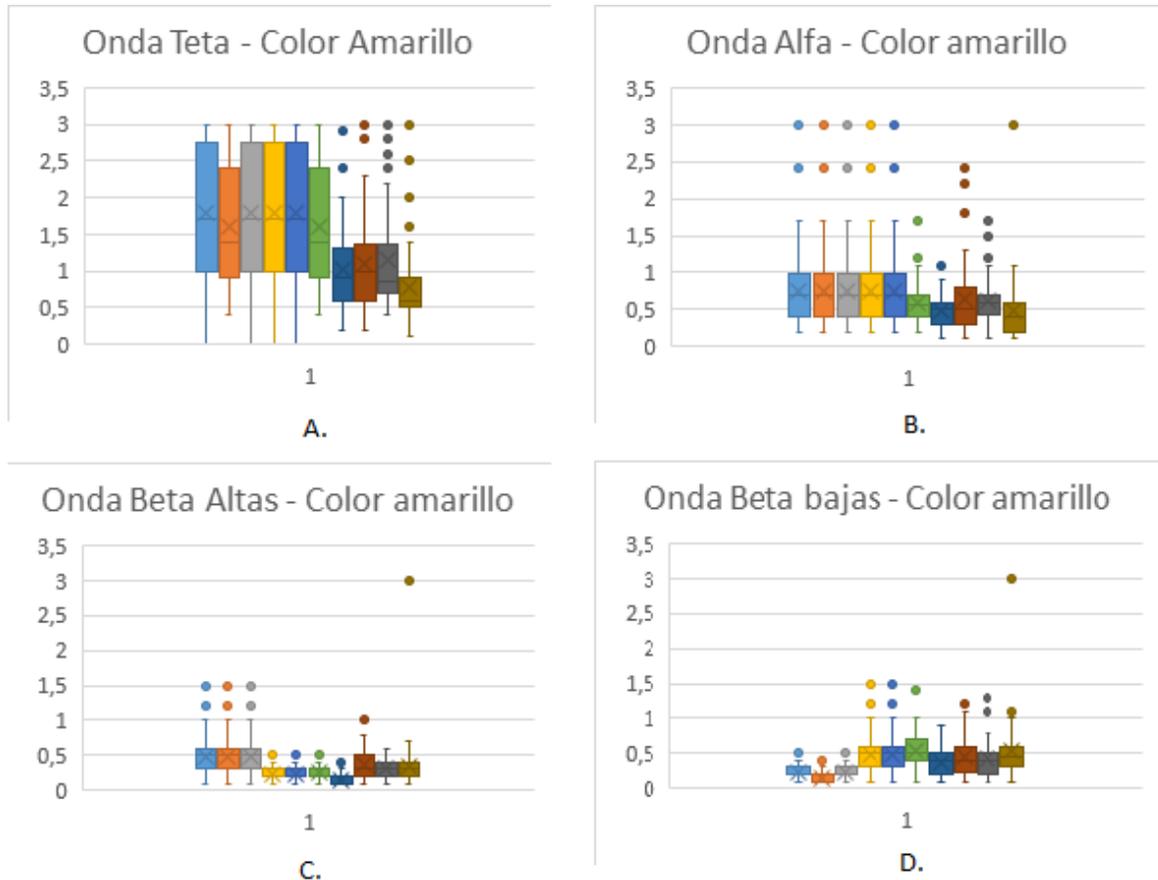


Figura 38. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color amarillo. A. Onda Teta, B. Onda Alfa, C. Onda Beta altas, D. Onda Beta bajas.

El color amarillo presenta tendencias generales sobre todo en la onda alfa, donde el punto máximo de concentración de los datos no supera los 2 dB, y su valor mínimo nunca llega a ser un valor nulo, es decir nunca llega a ser cero. Con respecto a la teta, se hace evidente que los datos toman valores más altos llegando muy cerca al límite superior para la mayoría de personas, además se presentan casos específicos en los que el valor mínimo es cero, lo que no se presenta en ninguna de las otras ondas. Ambas ondas beta presentan valores similares en este color, por lo que no se puede evidenciar una gran diferencia entre ellas, pero en términos generales se puede notar que el valor máximo en los dos casos no supera 1 dB y el valor mínimo no llega en ningún caso a ser 0 dB.

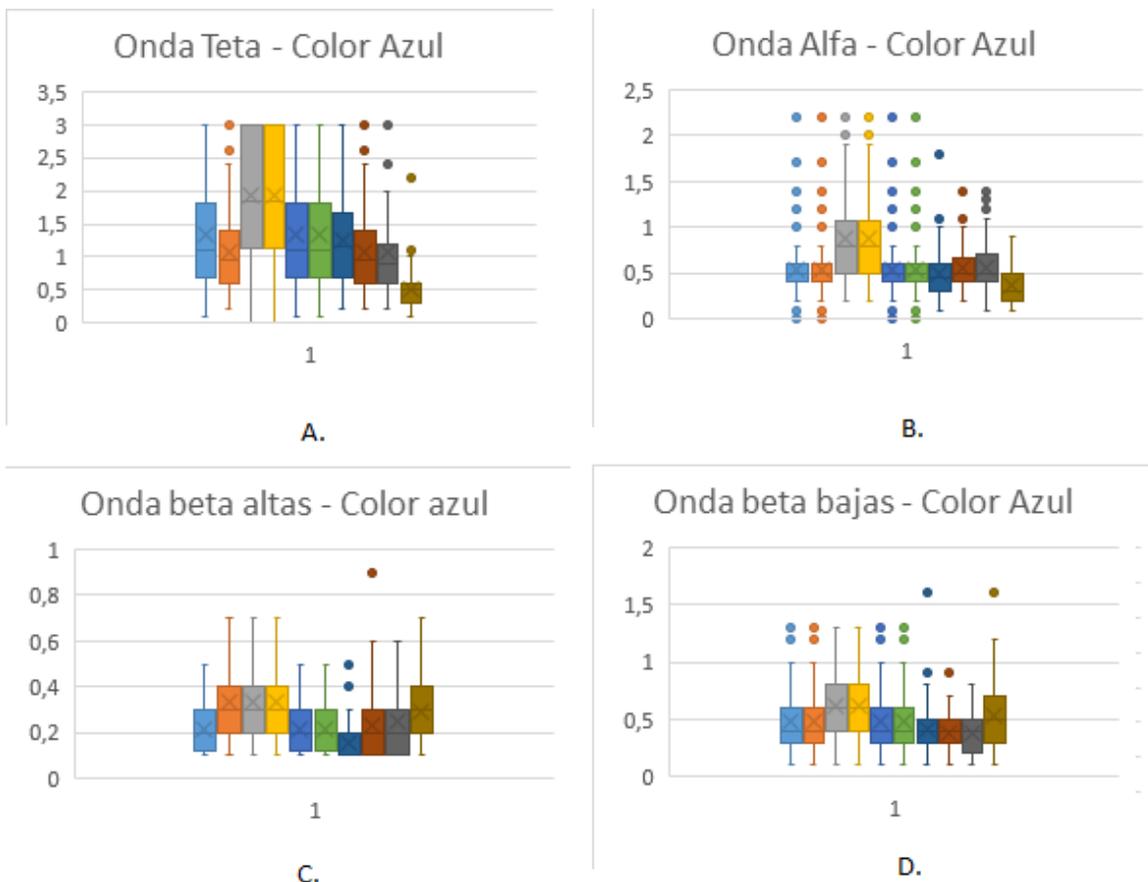


Figura 39. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color azul. A. Onda Teta, B. Onda Alfa, C. Onda Beta altas, D. Onda Beta bajas.

Las características generales del color azul se presentan en la onda teta, donde la mayoría de individuos estudiados presentan un comportamiento de esta onda establecido entre los 0,5 y 2 dB, aunque existen individuos que superan este margen, también presentan este comportamiento general, en la onda alfa se presenta un comportamiento de los datos que en la mayoría de los casos no supera 1dB con algunas excepciones específicas; para la onda beta baja la tendencia general de los datos tiene su punto máximo en 1 dB y el mínimo no llega a ser 0 en ningún caso, la onda beta alta tiene un comportamiento bastante característico, ya que ningún caso supera los 0,7 dB como valor máximo, y en todos los casos el valor mínimo es de 0,1 dB.

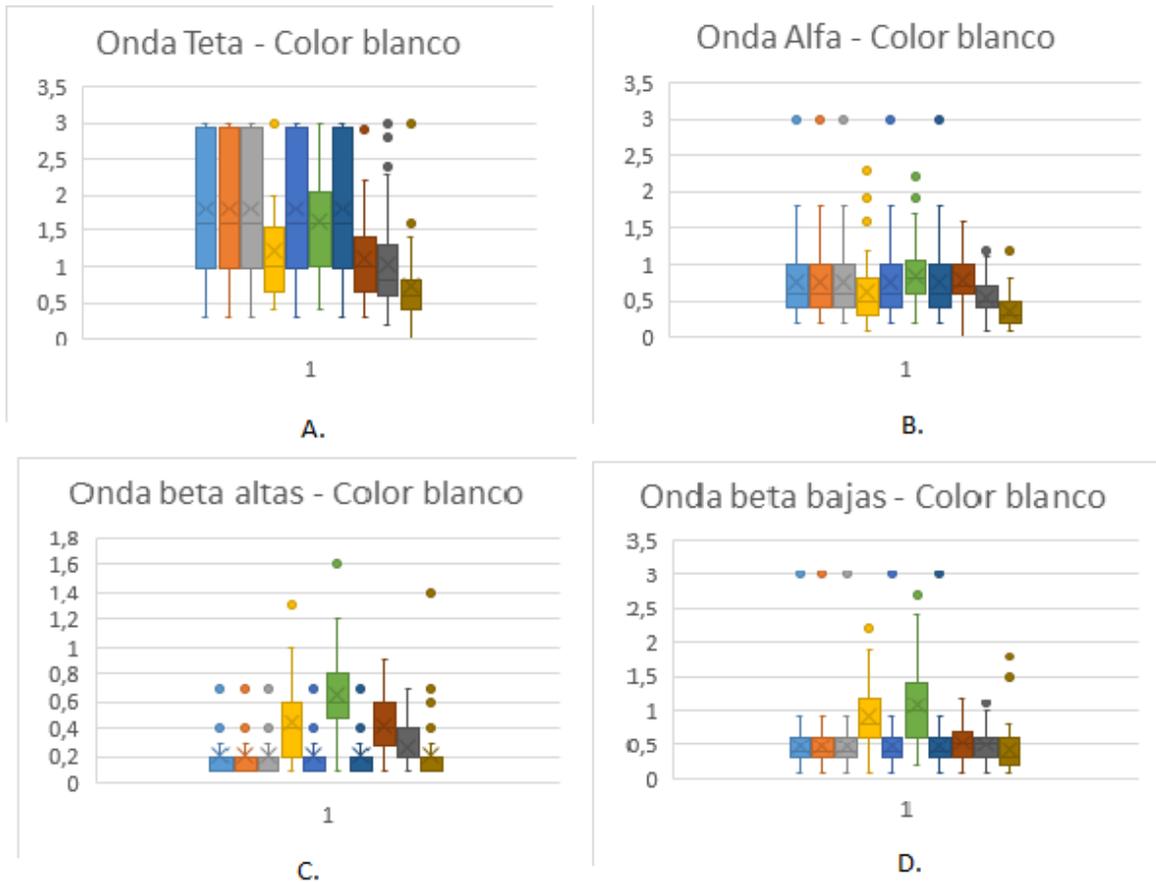


Figura 40. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color blanco. A. Onda Teta, B. Onda Alfa, C. Onda Beta altas, D. Onda Beta bajas.

Se torna bastante específico el comportamiento de la onda alpha en el color blanco para la mayoría de individuos, donde el valor máximo de muestras no llega ser de 2dB y el promedio de datos está en el rango entre 0,3 y 1 dB, en el caso de la onda teta se nota un comportamiento general en que la mayoría de los datos se concentran cerca al punto máximo posible que es de 3 dB, aunque también se presentan otros comportamientos aleatorios. Para la onda beta baja se puede observar un comportamiento general donde el valor máximo no supera los 0,9 dB, aunque existen algunas claras excepciones. En la onda beta alta la mayoría de individuos presentan un comportamiento con valores muy bajos donde el valor máximo se establece en 0,3 dB, y el mínimo no llega a ser nulo en ningún caso, no obstante, se presentan casos específicos donde los resultados son totalmente aleatorios.

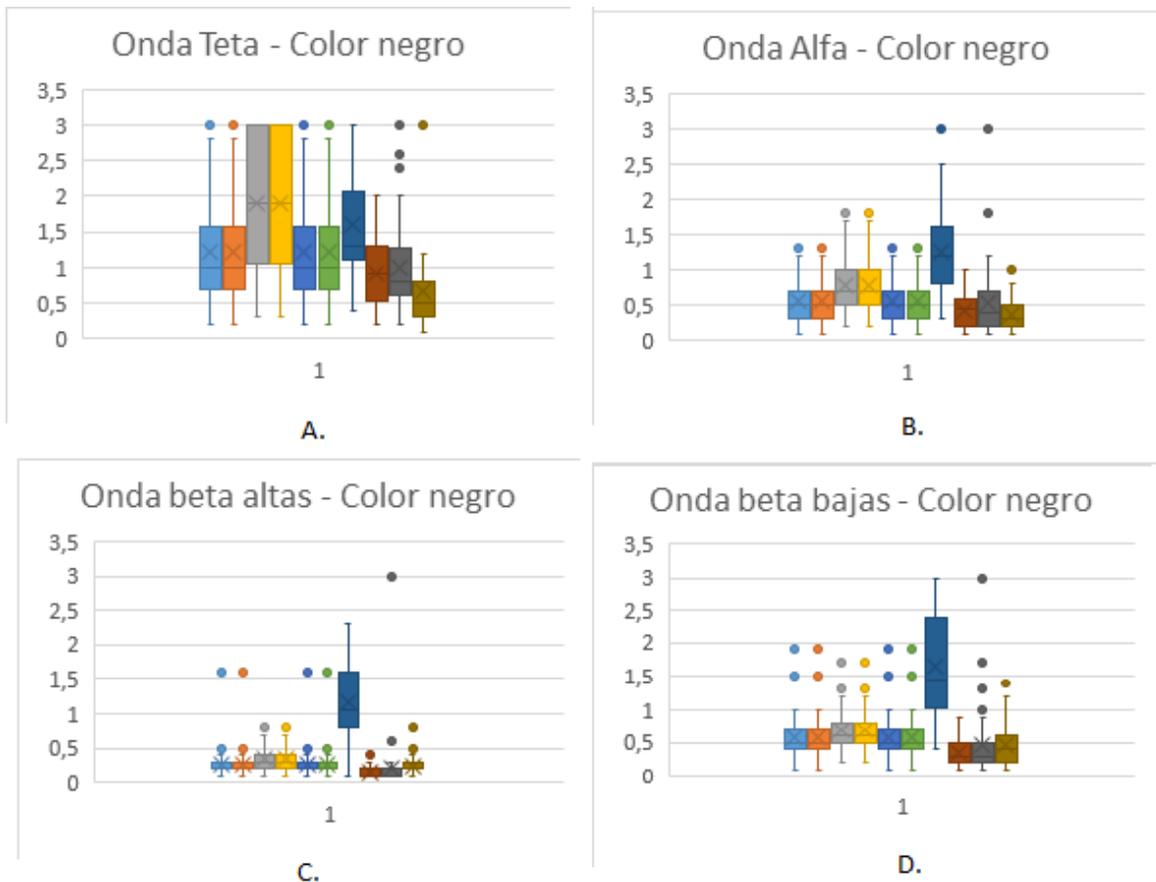


Figura 41. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color negro. A. Onda Teta, B. Onda Alfa, C. Onda Beta altas, D. Onda Beta bajas.

Para el color negro se presentan particularidades resaltables en las ondas beta, aunque ambas se mantienen en valores bajos, la onda beta alta se presenta en valores aún más bajos que los de la onda beta baja, donde beta alta se concentra alrededor de los 0,3 dB, y la onda beta baja está concentrada especialmente entre los 0,4 y los 0,7 dB, ambas ondas presentan una excepción en el mismo individuo. La onda teta presenta valores establecidos entre los 0,7 dB y los 1,6 dB en la mayoría de los casos, y en la onda alfa se presentan valores bajos, algo que es poco usual en este tipo de onda, donde los datos se concentran alrededor de los 0,5 dB en la mayoría de los casos.

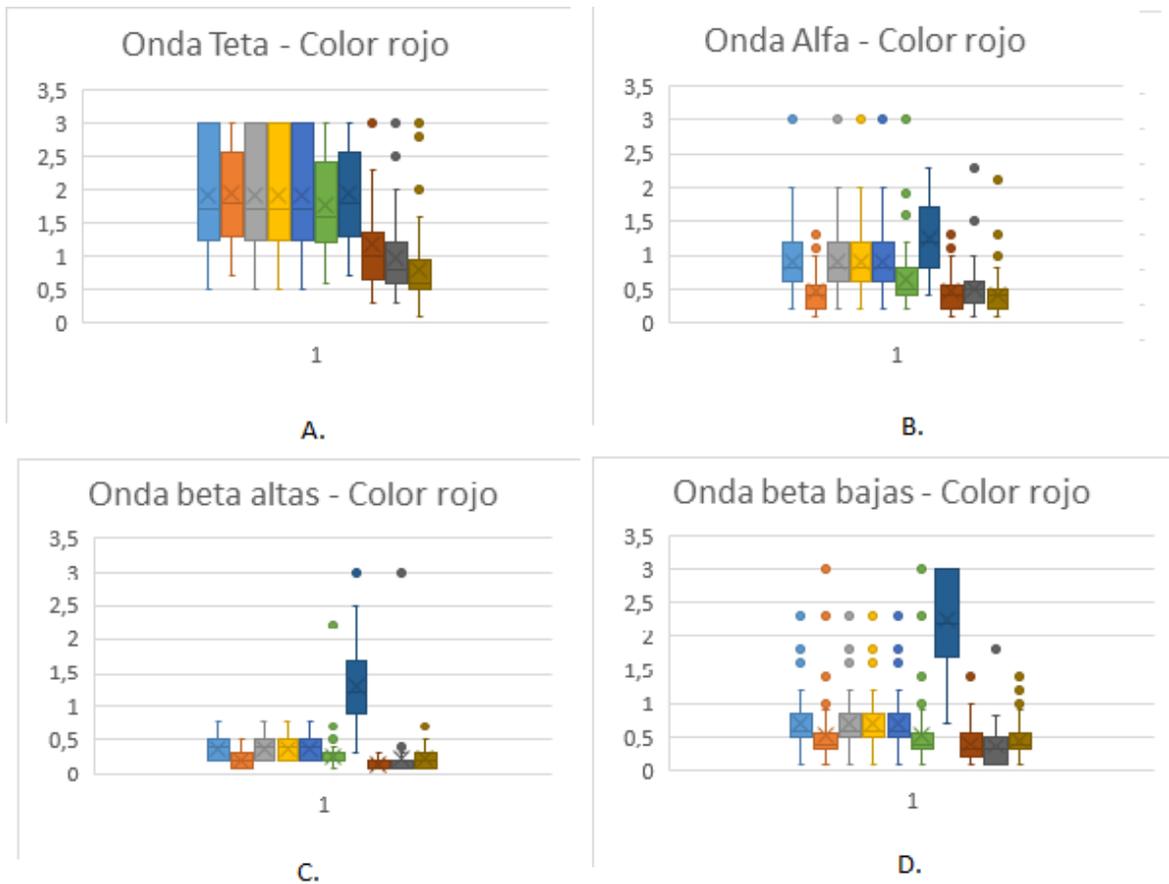


Figura 42. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color rojo. A. Onda Teta, B. Onda Alfa, C. Onda Beta altas, D. Onda Beta bajas.

En la onda teta del color rojo se presentan valores bastante altos en la mayoría de los casos, donde el valor superior que es 3 dB es muy común en el conjunto de datos, en la mayoría de individuos la onda alfa con respecto al color rojo se representa con valores alrededor de 1dB y un valor mínimo cerca de 0,1 y 0,2 dB. Las ondas beta baja y ata presentan valores bajos con excepción de un individuo, el mismo en ambos casos, es evidente que los valores de beta alta concentrados en 0,5 dB en su mayoría y los valores de la onda beta baja están concentrados entre los 0,5 dB y 1 dB.

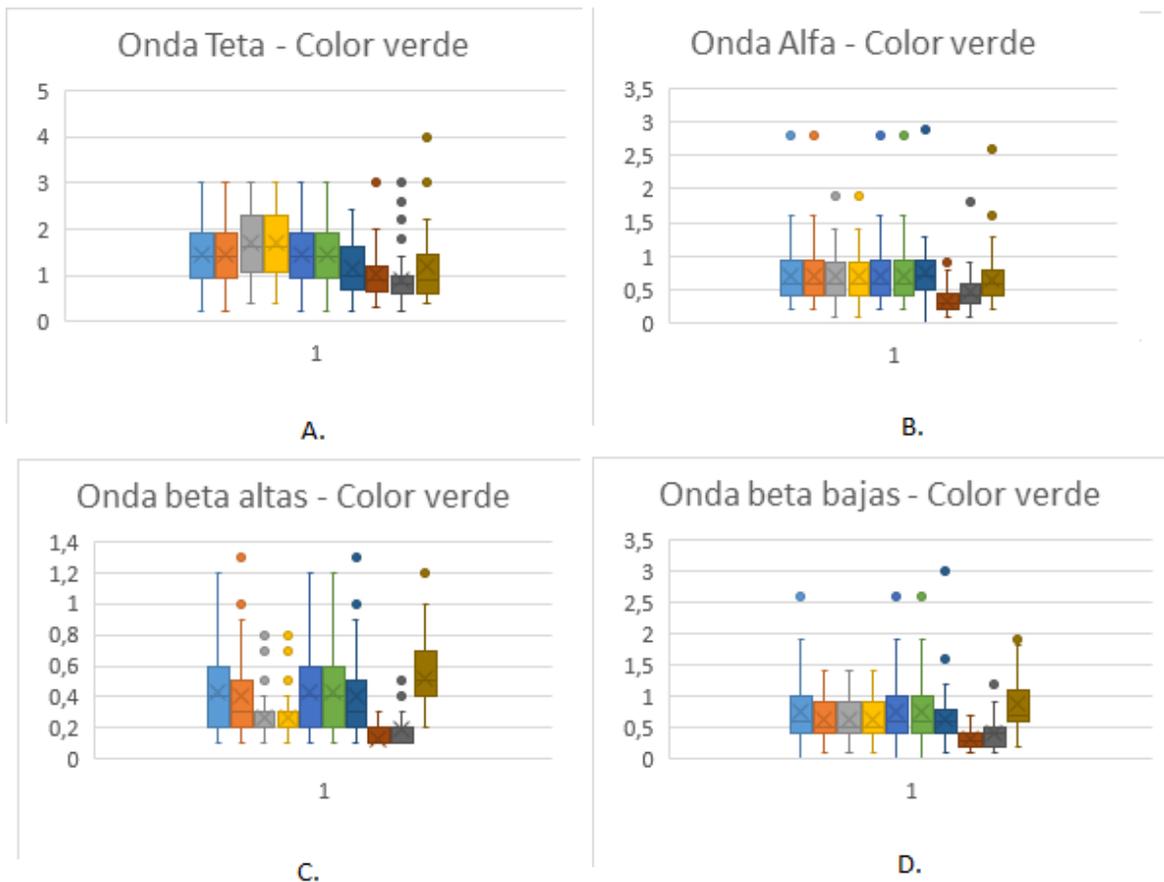


Figura 43. Graficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con influencia del color verde. A. Onda Teta, B. Onda Alfa, C. Onda Beta altas, D. Onda Beta bajas.

Con respecto a los demás colores, el verde presenta menos diferencias en los comportamientos de cada onda entre individuos, el caso más claro es el de la onda alfa, donde para la mayoría de individuos los datos se concentran entre los 0,4 dB y los 0,9dB, con un punto máximo cercano a los 1,6 dB, en la onda teta la similitud de los comportamientos entre individuos se mantiene, los datos en esta onda oscilan con mayor frecuencia entre 1 dB y 1,9 dB. En la onda beta baja los valores se establecen con mayor frecuencia entre 0,4 y 1 dB y para la onda beta alta, como es común, los valores son bastante bajos, para este caso en específico la generalidad se presenta entre 0,2 y 0,6 dB.

Este tipo de análisis permite comparar las similitudes que tiene el comportamiento neuronal de cada persona con relación a las ondas de los demás, y de esa manera se puede generalizar el comportamiento neuronal de los humanos al pensar o concentrarse en un color en específico, estableciendo los límites máximos y mínimos de ganancia que se presentan en cada caso para cada onda; de esta manera se puede evidenciar que las onda teta y alfa son las que alcanzan una ganancia más alta y las ondas beta baja y alta llegan hasta un punto más bajo, a partir de eso se puede determinar rango de comportamiento

para cada color; así mismo es más notable cuando un sujeto en específico tiene un comportamiento neuronal particular con respecto a los demás, lo que permite reconocer si un individuo tiene alguna alteración especial hacia algún color.

Se realizó otro tipo de comparación gráfica, donde se evalúa el comportamiento de cada onda para los seis colores estudiados, y de esta manera poder evidenciar las diferencias o similitudes que existen en el comportamiento de cada onda específica para cada color.

Debido a que solo hay cuatro ondas neuronales que se pueden analizar con claridad (teta, alfa, beta baja y beta alta), solo se pudieron realizar cuatro gráficas para este tipo de análisis.

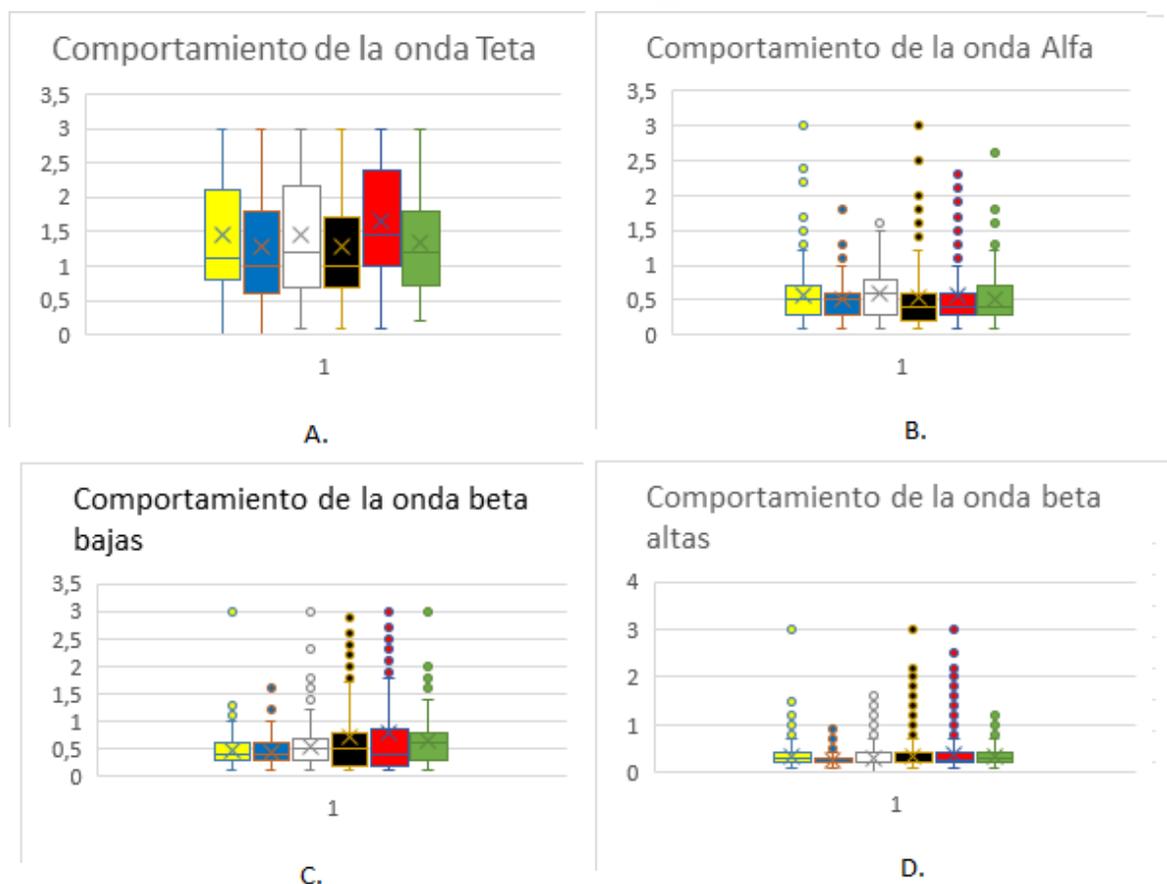


Figura 44. Graficas de caja y bigotes del comportamiento individual de cada una de las ondas neuronales con respecto a todos los colores en estudio. A. Onda Teta, B. Onda Alfa, C. Onda Beta bajas, D. Onda Beta altas.

La comparación conjunta las ondas cerebrales para cada color permite determinar un comportamiento característico y las diferencias con respecto a los demás, aunque en algunas ondas se encuentren similitudes entre los colores, en las otras se identifican con claridad las diferencias y se pueden determinar sus principales características, por ejemplo,

en la onda alfa los colores azul y rojo tienen un comportamiento similar, pero en la onda teta la diferencia entre ellos es evidente, al igual que en la onda beta alta la mayoría de colores tienen un comportamiento bastante similar, las grandes diferencias se notan al comparar con las demás ondas de estudio, nótese que el color azul en la onda beta alta es el que tiene un comportamiento más ceñido, es decir, sus datos convergen hacia un punto más característico que los demás, y aunque en la onda beta baja no se pueda encontrar una clara diferencia con respecto a los demás colores, en las ondas teta y alfa, la diferencia es mucho más evidente, de esta forma se puede realizar la respectiva caracterización del comportamiento neuronal de cada color independientemente.

El último análisis gráfico que permite ver un comportamiento más general de cada color para las cuatro ondas evaluadas se puede apreciar en las siguientes gráficas:

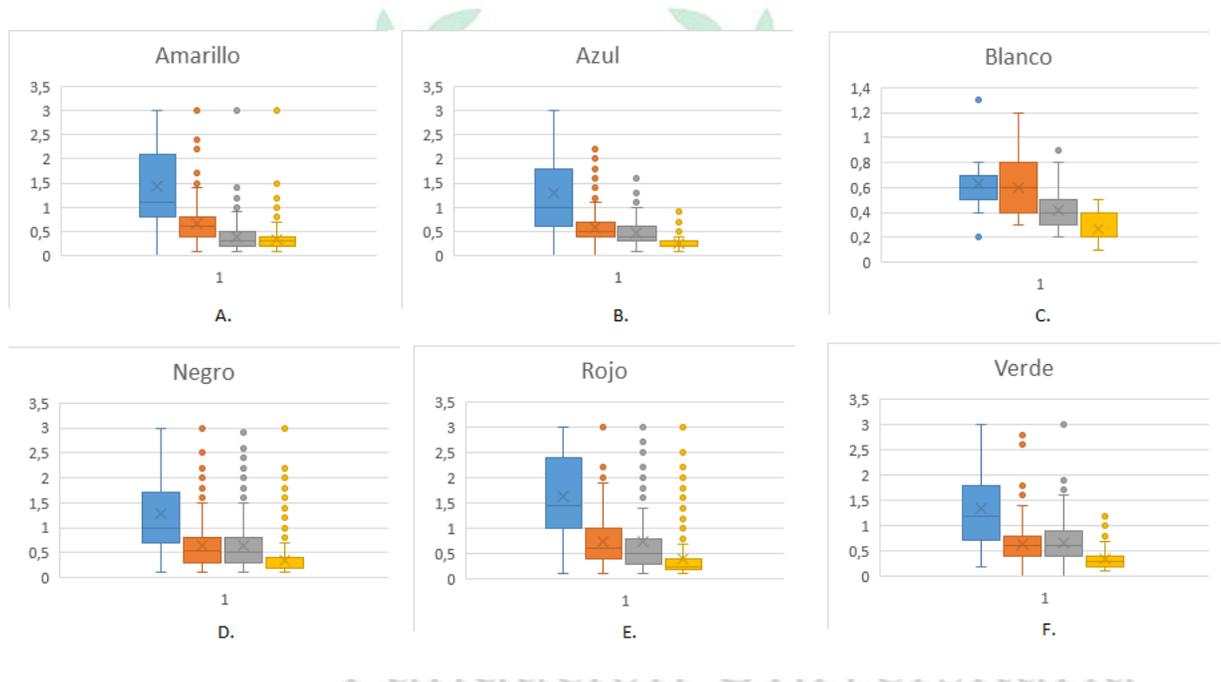


Figura 45. Gráficas de caja y bigotes del comportamiento de las ondas neuronales con respecto a la influencia de cada color independientemente. A. Amarillo, B. Azul, C. Blanco, D. Negro, E. Rojo, F. Verde.

En este último análisis se puede determinar el comportamiento de las ondas neuronales para cada color, y evidenciar las diferencias entre ellas; para esto se tomaron la totalidad de los datos obtenidos en las pruebas a la población total estudiada y se graficaron en conjunto con respecto a cada color, por ende, se hacen más evidentes las diferencias entre los colores.

El ejemplo más claro es el de las ondas teta y alfa del color blanco, las cuales tienen un comportamiento bastante singular con respecto al de los demás colores en esas mismas ondas, es decir, el color blanco tiene un comportamiento característico en esas ondas, ya que teta presenta unos valores más específicos en este color que en los demás, como es

evidente en la gráfica, los valores promedio en los que se encuentran teta varían entre 0,5 y 0,7 dB, mientras que alfa, presenta una variación más grande en el color blanco que en los demás, los valores que puede tener alfa para el color blanco pueden variar entre 0,4 y 0,8 dB, lo cual demuestra que el color blanco se mantiene en valores bajos para todas las ondas.

En el color amarillo la onda que presenta una característica más representativa con respecto a las demás es la onda beta baja, ya que, para este color en particular, toma valores bastante bajos donde su promedio no supera los 0,5 dB, y en comparación con los demás es colores, tiene un comportamiento bien definido, y no toma valores desproporcionados que hagan incrementar el rango de sus valores demasiado.

La onda alfa para el color azul tiene una variación promedio entre 0,4 dB y 0,6 dB, lo que la convierte en una característica resaltante en comparación a los demás, nótese que la variación promedio de los valores de la onda alfa para los demás valores es mucho más grande y, por ende, es más difícil encontrar una característica especial en su comportamiento, es decir que la onda alfa tiene un comportamiento especial que la diferencia en el color azul con respecto a los demás.

En el color negro se presenta un comportamiento compartido, las ondas alfa y beta baja tienen un comportamiento prácticamente igual, ambas toman valores que varían entre los 0,4 dB y los 0,8 dB. Esta es una característica muy importante porque se torna evidente que cuando las ondas alfa y beta baja presenten un comportamiento similar, él está siendo influenciado por el color negro.

El color rojo presenta los valores más altos en la onda teta con respecto a los demás colores, los valores promedio de su tercer cuartil están alrededor de los 2,4 dB, de igual manera el valor promedio del tercer cuartil en la onda alfa se encuentra en 1 dB, ambas características del color rojo, es decir, en ningún otro color se observa de manera evidente que el comportamiento de sus ondas tome valores tan altos como en este caso.

En el único caso que la onda alfa tiene un comportamiento más bajo que la onda beta baja es en el color verde, ya que es evidente que el valor promedio que alcanza alfa es inferior que el de beta baja, por medio del tercer cuartil esta característica se torna más clara, alfa rodea valores alrededor de 0,5 dB mientras beta baja alcanza a tomar valores de 0,9 dB, y este es un comportamiento que solo se presenta con el color verde, ya que en los demás generalmente la onda alfa tiene un valor promedio superior que la onda beta baja.

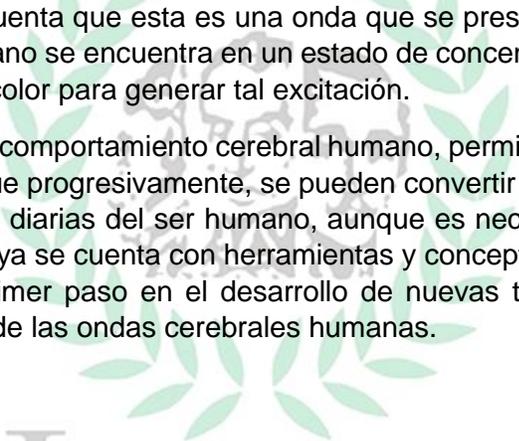
Cabe resaltar que en ninguno de los análisis gráficos realizados se tuvo en cuenta la onda gama porque durante la realización de los estudios para cada individuo no se presentaron mayores alteraciones en esta onda, es decir se mantuvo en un estado nulo constante, por lo cual cualquier tipo de análisis gráfico carecería de importancia.

CONCLUSIONES

Cada color tiene una onda en particular que muestra un comportamiento especial con respecto a los demás colores, pero específicamente el color blanco presenta un comportamiento singular en la mayoría de las ondas, ya que los valores que toman las ondas cerebrales bajo su estudio son específicos y no muestran variaciones muy grandes, con esto se puede suponer que el cerebro necesita más esfuerzo para concentrarse en el color blanco que en los demás colores y por ende su comportamiento es mucho más representativo que en el resto de casos.

Debido a que los colores son elementos de conocimiento y uso universal, es decir, que no se necesita un conocimiento o un estudio a profundidad para reconocerlos y aprovecharlos, ninguno de ellos logra generar ningún tipo de excitación en la onda gama del cerebro humano, teniendo en cuenta que esta es una onda que se presenta con mayor intensidad cuando el cerebro humano se encuentra en un estado de concentración fuera de lo común, hace falta más que un color para generar tal excitación.

El estudio y análisis del comportamiento cerebral humano, permite el desarrollo de distintos tipos de aplicaciones que progresivamente, se pueden convertir en ventajas o ayudas para el desarrollo de labores diarias del ser humano, aunque es necesario profundizar más en esta clase de estudios, ya se cuenta con herramientas y conceptos básicos que se pueden considerar como un primer paso en el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en el control y manipulación de las ondas cerebrales humanas.



Los Libertadores
Fundación Universitaria

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Teplan. "Fundamentals of EGG Measurement", Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovakia. 2002 p 2-9.
2. Dr. Aparna Ashtaputre. "Emotions and Brain Waves", The International Journal of Indian Psychology. March 2016. p 1-2.
3. Fu-Chien Kao, Shingping r. Wang, Yu-Jung Chang. "Brainwaves Analysis of Positive and Negative Emotions" Department of Computer Science & Information Engineering Da-Yeh University 168 University Rd., Dacun, Changhua 51591 TAIWAN. 2015 p 1-5.
4. Huiran Zhang, and Zheng Tang. "To judge what color the subject watched by color effect on brain activity". IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.11 No.2, February 2011. p 1-2.
5. Bony Thomas, Umamaheswari.V. "EEG Based Color Impairment Detection". International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. March 2016. p 1-3.



Los Libertadores
Fundación Universitaria