



**DESARROLLO DE UN PROTOCOLO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE
CARACTERÍSTICAS BIOPSIOSOCIALES EN INDIVIDUOS EXPUESTOS AL
CONFLICTO A TRAVÉS DE UN EQUIPO DE EEG PORTABLE DE LA EMPRESA
GTEC**

Marisol Correa Gutiérrez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Bioingeniera

Asesor

José David López Hincapié, PhD.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Medellín

2023

Cita	Correa Gutiérrez [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] M. Correa Gutiérrez, "Desarrollo de un Protocolo para la Identificación de Características Biopsicosociales en Individuos Expuestos al Conflicto a través de un Equipo de EEG Portátil de la Empresa GTEC", Proyecto de investigación en Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Medellín, 2023.



Grupo de Investigación

SISTEMIC

Sistemas Embebidos y Computacionales



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina

Jefe departamento: John Fredy Ochoa Gómez

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis queridos padres, quienes han sido mi mayor apoyo a lo largo de mi trayecto académico. Agradezco profundamente su amor, paciencia y aliento incondicional. Asimismo, quiero extender esta dedicatoria a mi profesor y asesor, José David López Hincapié, quien generosamente me brindó sus enseñanzas, orientación y el voto de confianza imprescindible para afrontar el desafío que este proyecto representa.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han sido parte fundamental en la realización de este proyecto, el cual ha sido llevado a cabo con dedicación y amor hacia la Bioingeniería, brindándome valiosas lecciones tanto a nivel profesional como personal.

- En primer lugar, doy gracias a Dios por permitirme coincidir con esta oportunidad y por el crecimiento que me ha brindado a lo largo de esta experiencia.
- Mi gratitud se extiende al Profesor José David López Hincapié y a la Psicóloga Stella Maris Valencia Betancur, cuyo constante acompañamiento profesional me ha impulsado a asumir este reto con confianza y determinación.
- Agradezco de corazón a mis padres, Nubia Gutiérrez Ríos y Luis Alberto Correa, por su inquebrantable apoyo en todos los aspectos de mi vida, especialmente en el desarrollo de mi carrera, permitiéndome dedicar plenamente a ella.
- También deseo reconocer a la empresa GTEC por su eficiente soporte técnico, brindándome respuestas rápidas y oportunas para resolver las dudas e inconvenientes que surgieron durante el proceso.
- Mi más profundo agradecimiento a Lizeth Andrea Giraldo Vélez, mi compañera de trabajo, colega y amiga, cuya colaboración y revisión del proyecto fueron fundamentales para llevarlo adelante. Sin su ayuda, este proyecto no habría sido posible.
- Además, quiero reconocer el trabajo conjunto con Daniel A. Rodríguez Mesa y Manuela Ospina Giraldo, con quienes desarrollamos el circuito utilizado en el presente trabajo para identificar el tiempo de retraso en un proyecto integrativo de semestre para un equipo diferente de EEG de baja densidad.
- Agradezco a Laura Valentina García por convivir conmigo durante la escritura de este proyecto, por estar dispuesta a ayudarme al punto de incluso prepararme de comer.
- Expreso mi agradecimiento a Verónica Henao Isaza, quien generosamente compartió su proyecto realizado en 2020 para un equipo de EEG de baja densidad diferente. Gracias a ella, conocí la existencia y la implementación de los hilos en Python, una herramienta clave para el desarrollo exitoso de este proyecto.
- Finalmente quiero añadir un especial agradecimiento a la Universidad de Antioquia y a la carrera de Bioingeniería, pues ha sido el pilar fundamental en mi formación como profesional competente, preparándome adecuadamente para afrontar con éxito los desafíos que se presentan en la ingeniería.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por su invaluable contribución y apoyo a lo largo de esta travesía

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	13
A. Objetivo general	13
B. Objetivos específicos	13
III. MARCO CONCEPTUAL	14
Excombatientes y reconocimiento emocional	14
EEG, ERP y ERT	14
Implementación de la Tarea de Reconocimiento Emocional (ERT)	16
Equipo g.Nautilus RESEARCH	17
Sistema de referenciación 10-20	18
Validación del equipo de GTEC mediante el análisis de ondas alfa	19
Procesamiento de los datos de EEG	20
Estadística – ANOVA	21
IV. METODOLOGÍA	23
Diseño de la tarea ERT y almacenamiento de las señales	23
• TAREA ERT	23
• Interfaz gráfica y grabación de la señal	24
Configuración del equipo	26
Validación del equipo de GTEC mediante el análisis de ondas alfa	27
Identificación del tiempo de retraso	27
Contexto de la problemática	27
Propuesta de solución	28

Adaptación de la solución	30
Identificación del tiempo de retraso	31
Prepilotaje	32
Pilotaje	33
Procesamiento	34
1. Filtro pasa altas a 1Hz	35
2. Re-referenciación al promedio	35
3. Filtro pasa bajas a 30Hz	36
4. Separación por épocas	36
5. Corrección de línea de base	37
6. Filtro pasa bajas a 30Hz	37
7. Promedio por condiciones por sujeto	37
8. Grand Average	38
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	41
Validación del equipo de GTEC mediante el análisis de ondas alfa	41
Identificación del tiempo de retraso	42
ERPs	43
ERPs asociados a Rostros	44
ERPs asociados a palabras	46
VII. CONCLUSIONES	49
VIII. RECOMENDACIONES	50
Estrategias para la Eliminación Selectiva de Trials y Canales	50
Análisis Estadístico con ANOVA en el Estudio del Componente N170 en ERPs	51
Ampliando el Alcance: Pilotajes Incluyendo Personas Expuestas al Conflicto Armado	52
Referencias	53

LISTA DE FIGURAS

Fig 1. Equipo g.Nautilus RESEARCH.....	17
Fig 2. Software g.RECORDER para la grabación y visualización en tiempo real se las señales EEG.	18
Fig 3. Esquema de la estructura de la tarea ERT.	23
Fig 4. Interfaz gráfica de la tarea ERT para GTEC.....	24
Fig 5. Colocación de los electrodos basado en el sistema de referenciación 10-20.....	26
Fig 6. Esquemático del circuito implementado en la etapa de obtención de la señal.	29
Fig 7. Esquemático del circuito implementado en la etapa de comparación.	29
Fig 8. Esquemático del circuito implementado en la etapa de atenuación.....	30
Fig 9. Adaptación al equipo GTEC del circuito con fotorresistor.	30
Fig 10. Grabaciones para comprobar el correcto funcionamiento de la adaptación.	31
Fig 11. Prepiloteaje con un sujeto de prueba.	33
Fig 12. Realización del pilotaje.....	34
Fig 13. Gráfica de los promedios de las respuestas cerebrales para cada tipo de estímulo. a) estímulos de rostros. b) estímulos de palabras.	38
Fig 14. Gráfica de los promedios de las respuestas cerebrales para cada tipo de estímulo para un sujeto con resultados atípicos. a) estímulos de rostros. b) estímulos de palabras.	39
Fig 15. Espectro de potencia de las ondas alfa.....	41
Fig 16. Distribución de las diferencias entre marcas digitales y analógicas en milisegundos.....	42
Fig 17. Umbralización de la marca analógica.	43
Fig 18. Grand Average estímulos de caras. a) canal F3. b) canal F4.....	44
Fig 19. Grand Average estímulos de caras. a) canal C3. b) canal C4.	45
Fig 20. Grand Average estímulos de caras. a) canal P3. b) canal P4.	45
Fig 21. Grand Average estímulos de caras. a) canal O1. b) canal O2.....	45
Fig 22. Grand Average estímulos de palabras. a) canal F3. b) canal F4.....	46
Fig 23. Grand Average estímulos de palabras. a) canal C3. b) canal C4.....	46
Fig 24. Grand Average estímulos de palabras. a) canal P3. b) canal P4.....	47
Fig 25. Grand Average estímulos de palabras. a) canal O1. b) canal O2.	47

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

EEG	Electroencefalografía
ERP	Potencial relacionado a Evento
ERT	Tarea de reconocimiento emocional
GA	Grand Average
Ch	Canal de EEG
EP	Procesamiento emocional
SCT	Entrenamiento cognitivo social
GTEC	Guger Technologies (Empresa)
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
ANOVA	Análisis de Varianza
PSD	Potencia Espectral
UdeA	Universidad de Antioquia

RESUMEN

El presente proyecto de investigación ha desarrollado herramientas informáticas para la adquisición, registro y análisis de información, con el objetivo de identificar características biopsicosociales en individuos expuestos a distintos niveles de conflicto armado. Se utilizó un equipo portátil de EEG de la empresa GTEC, adaptando la tarea ERT mediante Python. Se realizó un riguroso proceso de calibración y puesta en funcionamiento del equipo, garantizando su óptimo desempeño y sincronización de datos. La tarea ERT proporcionó datos de EEG y conductuales, enriqueciendo el análisis de la relación entre la actividad cerebral y las respuestas conductuales.

Se realizó un análisis previo de ondas alfa con ojos abiertos y cerrados antes del pilotaje con personas control, respaldando la medición de la actividad cerebral mediante EEG. Como parte integral del proyecto se realizó un pilotaje con personas control, los resultados demostraron la idoneidad del equipo para trabajo de campo confiable en áreas de difícil acceso. Se obtuvieron ERPs representativos de la actividad cerebral mediante el procesamiento de datos con MATLAB, lo que demuestra la eficacia y validez del enfoque utilizado en la investigación.

***Palabras clave* — EEG, conflicto armado, ERP, ERT, sincronización, pilotaje, procesamiento.**

ABSTRACT

The present research project has developed computer tools for the acquisition, recording, and analysis of information, aiming to identify biopsychosocial characteristics in individuals exposed to different levels of armed conflict. A portable EEG equipment from GTEC was used, and the ERT task was adapted using Python. A rigorous calibration process ensured the optimal performance and data synchronization of the equipment. The ERT task provided both EEG and behavioral data, enriching the analysis of the relationship between brain activity and behavioral responses.

A prior analysis of alpha waves with eyes open and closed was conducted before the pilot study with control subjects, validating the measurement of brain activity using EEG. As an integral part of the project, a pilot study was performed with control subjects, and the results demonstrated the suitability of the equipment for reliable fieldwork in hard-to-reach areas. Representative ERPs of brain activity were obtained through data processing with MATLAB, demonstrating the effectiveness and validity of the approach employed in the research.

***Keywords* - EEG, armed conflict, ERP, ERT, synchronization, pilot study, processing.**

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo desarrollar y aplicar herramientas informáticas para la adquisición, registro y análisis de información en el campo de la neurociencia cognitiva y social. Específicamente, se buscan identificar características biopsicosociales en individuos expuestos a distintos niveles de conflicto armado, utilizando como herramienta principal el EEG. Estos individuos, en su mayoría excombatientes, experimentan secuelas significativas debido a sus experiencias de combate lo que sugiere cambios en el procesamiento emocional (EP) como consecuencia de sus vivencias traumáticas. [1] [2]

El marco del proyecto de investigación "Evaluación de la implementación del programa de intervención en cognición social en comunidades crónicamente expuestas al conflicto" subraya la relevancia y el impacto de esta investigación en comunidades afectadas por el conflicto armado. En este contexto, para abordar las dificultades específicas en excombatientes, se ha explorado una estrategia a través del entrenamiento cognitivo social (SCT). Esta intervención tiene como objetivo mejorar aspectos clave como la percepción, la cognición y el comportamiento social, incluyendo el reconocimiento de expresiones faciales y la comprensión de los estados mentales. Estudios previos han demostrado la efectividad del SCT para mejorar el procesamiento emocional y reducir las actitudes agresivas en excombatientes. [1]

El EEG desempeña un papel fundamental en la metodología, ya que permite obtener información valiosa sobre las respuestas cerebrales de los excombatientes durante la tarea socio-cognitivo-conductual. La aplicación informática diseñada para el estudio es esencial para visualizar la actividad cerebral ante estímulos emocionales y evaluar la eficacia del SCT en mejorar el procesamiento emocional y el comportamiento social en esta población. [1] La integración de datos obtenidos a través del EEG con el entrenamiento cognitivo social brindará una perspectiva integral y basada en evidencia para mejorar la calidad de vida y la adaptación social de los excombatientes expuestos al conflicto armado.

Durante el proceso de configuración y puesta en marcha del equipo GTEC, se llevó a cabo una minuciosa calibración y reconocimiento, junto con el software GTEC Suite 2020. Este software cuenta con APIs que permitieron el desarrollo de una aplicación mediante la API de Python [3], lo cual posibilita la ejecución de la tarea ERT y el almacenamiento efectivo de los datos de EEG. La ERT es una prueba utilizada para evaluar la capacidad de reconocer y procesar emociones, y está compuesta por imágenes de rostros y palabras con contenido emocional.

Asimismo, se llevó a cabo un análisis de grabaciones de EEG en un sujeto con los ojos abiertos y los ojos cerrados con el fin de verificar la precisión del equipo en la medición de los datos de EEG. Para ello, se realizó un análisis de la Potencia Espectral (PSD) en el rango de las ondas alfa, que son más predominantes en el estado de reposo. Los resultados obtenidos estuvieron en acuerdo con lo esperado, lo que confirmó que el equipo estaba midiendo datos de EEG de manera adecuada.

Se adaptó mediante un inductor un circuito previamente diseñado, con el propósito de abordar la problemática relacionada con la obtención de Event-Related Potentials (ERPs) utilizando el equipo GTEC. Esta problemática estaba asociada con la desincronización entre los "triggers" digitales generados y la señal relevante para obtener los ERPs, debido a un retraso en la transmisión de información por parte del equipo. La adaptación del circuito permitió crear una marca analógica mediante dispositivos fotosensibles para identificar el retraso y posteriormente corregirlo durante el procesamiento de los datos. Esta mejora aseguró la precisión y validez de los resultados obtenidos en la adquisición de datos utilizando el equipo GTEC para obtener ERPs de manera más confiable.

Durante el pilotaje del estudio, se evaluó la idoneidad del equipo GTEC y su viabilidad en áreas de difícil acceso, donde residen los excombatientes del conflicto armado colombiano. En este pilotaje, se trabajó con voluntarios de control, es decir, personas que no han estado expuestas al conflicto armado. Los datos obtenidos durante el pilotaje se sometieron a un proceso de análisis utilizando MATLAB. Este proceso incluyó la aplicación de filtros pasa altas y pasa bajas para mejorar la calidad y reducir el ruido de los datos. Además, se llevó a cabo la re-referenciación al promedio para obtener una señal más consistente, y se segmentaron los ensayos para analizar las respuestas cerebrales específicas en el tiempo para cada tipo de estímulo. Se realizaron

correcciones en la línea de base para eliminar posibles interferencias y se promediaron los datos por condiciones y sujetos para obtener resultados representativos. Finalmente, se generó el Grand Average, que consiste en el promedio de todos los sujetos por canal y por condición, proporcionando una visión general de la actividad cerebral en respuesta a los estímulos emocionales utilizados en la tarea ERT. [4]

II. OBJETIVOS

A. *Objetivo general*

Desarrollar herramientas informáticas de registro y análisis de la información que permitan identificar características biopsicosociales en individuos con diferentes grados de exposición al conflicto armado a través de la medición de la actividad eléctrica cerebral mediante un equipo portátil de electroencefalografía GTEC de 8 canales sincronizado con una tarea socio-cognitivo-conductual.

B. *Objetivos específicos*

- Identificar las principales características del registro y análisis de la actividad eléctrica cerebral en la literatura científica, con el fin de conocer las posibilidades y limitaciones de la técnica y su relación con las características biopsicosociales en individuos expuestos al conflicto armado.
- Diseñar e implementar una interfaz de usuario sencilla y efectiva para la grabación y exportación de señales eléctricas cerebrales registradas mediante el equipo GTEC, utilizando PyQT.
- Obtener ERPs confiables y representativos mediante la realización de tareas socio-cognitivo-conductuales adaptadas, que permitan validar el funcionamiento del equipo GTEC en la adquisición de señales eléctricas cerebrales y asegurar la calidad de los resultados obtenidos.

III. MARCO CONCEPTUAL

Excombatientes y reconocimiento emocional

Los excombatientes han experimentado importantes secuelas debido a sus experiencias de combate en diversos niveles de conflicto armado. Estas secuelas comprenden alteraciones inducidas por el estrés, trastornos mentales como la depresión, el trastorno de estrés postraumático y la ansiedad, además de síntomas de depresión y abuso de alcohol. También se ha observado que presentan niveles disminuidos de empatía y una mayor propensión a la agresión y el comportamiento antisocial, lo que sugiere cambios en el EP como resultado de sus vivencias traumáticas. [1] [2] Por lo tanto, comprender y abordar estas dificultades específicas que enfrentan los excombatientes, especialmente en el ámbito social y emocional, resulta de suma importancia. La identificación y el reconocimiento de emociones son aspectos esenciales de la interacción social y, por ende, habilidades cruciales para la adaptación y la reintegración exitosa de los excombatientes en la sociedad.

El reconocimiento preciso de emociones es fundamental para la empatía, la comprensión de las emociones de los demás y la regulación emocional propia. La carencia de estas habilidades sociales y emocionales puede tener un impacto negativo en las relaciones interpersonales, la capacidad para establecer conexiones significativas con los demás y la resolución adecuada de conflictos. En el contexto de los excombatientes, la dificultad para reconocer y manejar emociones podría tener implicaciones en la expresión de agresión y comportamiento antisocial, así como en la dificultad para adaptarse y reintegrarse en la sociedad civil.

EEG, ERP y ERT

Para investigar cómo se ven afectados los mecanismos de procesamiento emocional en los excombatientes se utiliza la técnica de EEG en combinación con el análisis de los Potenciales Relacionados con Eventos (ERP) durante la Tarea de Reconocimiento Emocional (ERT). [2]

La Electroencefalografía (EEG) es una técnica de neuroimagen no invasiva que registra la actividad eléctrica del cerebro a través de electrodos colocados en el cuero cabelludo. Al emplear el EEG, se

obtienen señales que permiten visualizar la actividad cerebral en respuesta a distintos estímulos emocionales presentados durante la tarea ERT.

En la tarea ERT, se expone a los voluntarios a palabras e imágenes con el propósito de categorizar las emociones asociadas con cada estímulo. Para analizar las respuestas cerebrales durante esta tarea, se emplea el análisis de los ERP, obtenidos a partir del procesamiento de la señal EEG. Los ERP son componentes específicos y medibles que surgen en respuesta a eventos particulares, como la presentación de estímulos emocionales en la tarea ERT. En este análisis, se busca examinar la actividad eléctrica cerebral asociada con cada estímulo presentado durante la tarea.

En el ERP se encuentran varios componentes relevantes que desempeñan funciones específicas: el P100, relacionado con la valoración del procesamiento básico de la información visual; el N170, asociado al reconocimiento de rostros; el Early Posterior Negativity (EPN), que refleja la discriminación temprana de los procesos de selección; y el Late Positive Potential (LPP), que surge en respuesta al procesamiento emocional de los estímulos. En el contexto de la tarea ERT, se espera que el N170 y el LPP sean componentes destacados, ya que esta tarea implica el reconocimiento de emociones en imágenes y palabras, lo que se relaciona directamente con la identificación de rostros y el procesamiento emocional. [5]

Específicamente, el N170 es un pico negativo que generalmente ocurre aproximadamente 170 ms después de la presentación de rostros. Este componente está íntimamente ligado al procesamiento temprano y automático de caras, considerándose como un marcador neural clave para la percepción facial. En una tarea de reconocimiento emocional con rostros, el N170 puede ser más predominante debido a la importancia de procesar y analizar las expresiones faciales para identificar emociones. [2]

La combinación del EEG con el análisis de los ERP permitirá visualizar la actividad eléctrica cerebral en respuesta a los estímulos emocionales presentados en la tarea ERT. Esta técnica proporcionará un análisis más profundo de cómo los mecanismos de procesamiento emocional se ven afectados en los excombatientes, al utilizar los ERP como una medida objetiva de las respuestas cerebrales durante la tarea.

En conjunto, estas herramientas ofrecerán una visión más completa de cómo se procesan las emociones en este grupo de individuos, lo cual puede tener implicaciones significativas para la comprensión y el abordaje de posibles dificultades emocionales que puedan presentar después de sus experiencias en combate. El análisis de los ERP en la tarea ERT será fundamental para avanzar en la comprensión de las respuestas cerebrales a estímulos emocionales en excombatientes y su bienestar emocional general.

Implementación de la Tarea de Reconocimiento Emocional (ERT)

La tarea ERT es una prueba utilizada en estudios de neurociencia cognitiva y psicología experimental para investigar las respuestas cerebrales a eventos específicos o estímulos presentados de manera repetida. Durante la tarea ERT, los participantes deben responder a ciertos estímulos mientras se registran sus respuestas cerebrales mediante EEG. Esta tarea permite analizar la actividad cerebral relacionada con la detección, procesamiento y respuesta a eventos o estímulos particulares, brindando información sobre la percepción, atención y procesamiento cognitivo. [2]

La versión de la tarea ERT usada en el presente estudio consta de un total de 360 estímulos, divididos equitativamente en 180 palabras y 180 imágenes. Estos estímulos se presentan al usuario en dos bloques distintos, cada uno compuesto por 90 imágenes y 90 palabras. Cada bloque contiene la misma cantidad de palabras de cada categoría emocional, es decir, 30 palabras agradables, 30 neutras y 30 desagradables. Estas palabras fueron seleccionadas del corpus lingüístico generado por el departamento de comunicación de la Universidad de Antioquia, que recopila una lista de las palabras más utilizadas en Antioquia, Colombia. Asimismo, cada bloque contiene la misma cantidad de imágenes de cada característica emocional: 30 imágenes alegres, 30 enojadas y 30 neutras. Estas imágenes consisten en fotografías de hombres y mujeres en blanco y negro tomadas de la base de datos de expresión facial de MMI. [2]

En la implementación de la tarea ERT en el presente proyecto, se hizo uso de Python como lenguaje de programación. Para asegurar una comunicación efectiva con el equipo GTEC Nautilus y la adquisición de las señales EEG, se hizo uso de la API de Python (pygds) incluida en el software GTEC suite 2020. Una API, en este contexto, es un conjunto de funciones y procedimientos que

facilita la interacción entre diferentes aplicaciones o sistemas de forma estandarizada y eficiente. La API pygds desempeñó un papel fundamental al permitir establecer una conexión directa con el equipo y facilitar la obtención de datos EEG. [3]

Equipo g.Nautilus RESEARCH



Fig 1. Equipo g.Nautilus RESEARCH.

Nota: fuente <https://www.gtec.at/product/gnautilus-research>

El **g.Nautilus RESEARCH** es desarrollado y fabricado por la empresa Guger Technologies (**GTEC**) [3], una compañía especializada en tecnologías de neurociencia y neuro tecnología. Esta empresa se ha destacado por ofrecer soluciones avanzadas para investigadores y profesionales del campo de la neurociencia, permitiéndoles acceder a herramientas de alta calidad para sus estudios.

El **g.Nautilus RESEARCH**, como parte de la línea de productos de la empresa, se destaca por su portabilidad y diseño ergonómico, lo que lo convierte en un casco de EEG adecuado para estudios en entornos de investigación. El equipo usado en el presente estudio posee 8 canales de EEG y fue configurado a una frecuencia de muestreo de 250 Hz, lo que le confiere una capacidad para registrar señales cerebrales a una velocidad moderada pero suficiente para abordar diversos aspectos de la actividad cerebral durante la investigación.

g.RECORDER es un software que permite la grabación y visualización en tiempo real de las señales EEG, incluyendo la colocación de "triggers" o marcadores para eventos específicos. [6] Para este estudio se utilizó la versión demo del software debido a restricciones de acceso a la

versión completa, por lo que fue necesario desarrollar una aplicación propia para lograr la colocación de los triggers y la grabación de las señales. A pesar de esta limitación, la versión demo de g.RECORDEE resultó ser una herramienta valiosa, ya que permitió medir la impedancia de los electrodos en el cuero cabelludo y visualizar las señales EEG en tiempo real.



Fig 2. Software g.RECORDEE para la grabación y visualización en tiempo real de las señales EEG.

Nota: fuente <https://www.gtec.at/product/grecorder/>

La medición de la **impedancia** es de suma importancia en el EEG, ya que refleja la resistencia que presenta un electrodo a la conducción de señales eléctricas. Una mala conexión o alta impedancia entre los electrodos y el cuero cabelludo puede afectar negativamente la calidad de los datos registrados. Por lo tanto, la visualización en tiempo real que brinda la versión demo de g.RECORDEE resultó esencial para verificar y asegurar la correcta colocación y funcionamiento de los electrodos en el sujeto durante todo el estudio.

Sistema de referenciación 10-20

En el estudio, se emplearon 8 electrodos posicionados en el cuero cabelludo del sujeto, siguiendo el sistema de referenciación 10-20. Este sistema recibe su nombre debido a la distancia entre los puntos de medición, que se ubican en el cuero cabelludo siguiendo un patrón específico basado en la proporción 10-20. Esta disposición estándar es ampliamente utilizada y facilita la comparación de resultados entre estudios, asegurando mediciones consistentes y reproducibles.

La designación de los electrodos en el sistema 10-20 se basa en dos elementos: los números y las letras. Los números indican si el electrodo se ubica en una posición impar (1, 3, 5, 7) o par (2, 4, 6, 8) en el cuero cabelludo. Estos números también están relacionados con los hemisferios

cerebrales; los electrodos con números impares se colocan en el hemisferio cerebral izquierdo, mientras que los electrodos con números pares se ubican en el hemisferio derecho. Las letras, por otro lado, indican la zona del cerebro que se encuentra debajo del electrodo, donde F representa la zona frontal, T la zona temporal, O la zona occipital y P la zona parietal. [4]

Validación del equipo de GTEC mediante el análisis de ondas alfa

Una de las frecuencias de interés en el EEG es la banda de ondas alfa, que generalmente se encuentra en el rango de 8 a 12 Hz. Para verificar la precisión y confiabilidad de un equipo de EEG, es posible llevar a cabo una prueba utilizando la característica bien conocida de las ondas alfa. Esta metodología se basa en la observación de que, en condiciones de ojos cerrados, la actividad cerebral suele mostrar un espectro de potencia más elevado en la banda de frecuencias alfa. [7]

El procedimiento de validación implica la adquisición de datos EEG del sujeto en dos condiciones distintas: con ojos cerrados y con ojos abiertos. Se recolectan datos de suficiente duración para obtener una representación confiable del espectro de potencia en ambas situaciones.

El método de Welch es una técnica utilizada para analizar señales al dividir las en segmentos, calcular la potencia en cada segmento y luego promediar los resultados para obtener el espectro de frecuencia. Se emplea este método para estimar el espectro de potencia de las señales EEG en ambas condiciones. De esta manera, se obtiene una distribución de la energía en diferentes bandas de frecuencia, incluida la banda de ondas alfa. Posteriormente, se calcula el promedio del espectro de potencia en la banda de ondas alfa para ambas condiciones (ojos cerrados y ojos abiertos). Un equipo de EEG preciso y funcional debería mostrar un promedio del espectro de potencia significativamente más alto en la condición de ojos cerrados en comparación con la de ojos abiertos.

Si los resultados del equipo de EEG coinciden con las expectativas teóricas, esto indicaría que el equipo está funcionando adecuadamente y capturando la actividad cerebral de manera fiel. La consistencia entre los resultados del experimento y el conocimiento establecido respalda la validez del equipo y proporciona confianza en su capacidad para medir y analizar la actividad cerebral.

Procesamiento de los datos de EEG

El proceso de análisis de los datos obtenidos durante el pilotaje es de vital importancia para obtener resultados precisos y confiables sobre la actividad cerebral en respuesta a los estímulos emocionales presentados en la tarea ERT. Cada paso del procesamiento juega un papel crucial en la preparación y mejora de los datos para su posterior análisis y extracción de información relevante. [4] A continuación, se describen algunos pasos fundamentales en el filtrado de EEG, que son esenciales para el adecuado análisis de los datos:

- **Filtros pasa altas y pasa bajas:** La aplicación de filtros ayuda a mejorar la calidad de la señal EEG y reducir el ruido. El filtro pasa altas permite eliminar frecuencias bajas no deseadas, como el ruido ambiental y movimientos oculares, mientras que el filtro pasa bajas elimina frecuencias altas que pueden estar asociadas con interferencias musculares. De esta manera, se enfoca el análisis en las frecuencias cerebrales de interés, mejorando la detección de patrones específicos relacionados con las respuestas emocionales.
- **Eliminación de trials con artefactos:** Se hace una revisión cuidadosa de los ensayos individuales para identificar aquellos que presentan artefactos, es decir, interferencias o distorsiones no deseadas en la señal. Estos ensayos se eliminan de manera selectiva para asegurar que el análisis se enfoque en la actividad cerebral genuina y relevante para la tarea, evitando que los artefactos afecten los resultados finales y la interpretación de las respuestas cerebrales.
- **Re-referenciación al promedio:** La re-referenciación al promedio consiste en restar la media de todas las señales de EEG para obtener una señal más consistente y eliminar cualquier referencia espuria o ruido común presente en los electrodos.
- **Segmentación de trials:** La segmentación de trials implica dividir la señal de EEG en segmentos más pequeños que corresponden a cada estímulo o evento específico presentado en la tarea. Esta segmentación permite analizar las respuestas cerebrales en el tiempo para cada tipo de estímulo, facilitando la identificación y comparación de patrones de actividad cerebral relacionados con cada emoción.
- **Eliminación de canales con artefactos:** Se examina la calidad de los canales utilizados y si se detecta que un canal está contaminado con ruido o señales no cerebrales, se elimina dicho canal para garantizar la fiabilidad de los resultados. La eliminación de canales

contaminados contribuye a obtener un análisis más preciso y libre de interferencias, permitiendo una interpretación más certera de la actividad cerebral relacionada con los estímulos emocionales.

- **Correcciones en la línea de base:** La corrección en la línea de base es necesaria para eliminar cualquier actividad basal o de fondo que pueda afectar las respuestas cerebrales a los estímulos emocionales. Al ajustar el nivel de referencia de la señal, se resalta más claramente la actividad cerebral inducida por los estímulos emocionales, evitando posibles distorsiones en el análisis.
- **Promedio de datos por condiciones y sujetos:** Promediar los datos por condiciones y sujetos es una técnica estadística que permite obtener resultados más representativos y robustos. Al promediar los datos para cada tipo de estímulo y para cada sujeto, se reducen los efectos individuales y se obtiene una visión más generalizada de la actividad cerebral en respuesta a los estímulos emocionales.
- **Generación del Grand Average:** El Grand Average, que es el promedio de todos los sujetos por canal y por condición, proporciona una visión global y colectiva de la actividad cerebral en respuesta a los estímulos emocionales utilizados en la tarea ERT. Esta representación global permite identificar patrones consistentes y significativos que pueden ser relevantes para comprender cómo se procesan las emociones en la muestra de excombatientes.

Estadística – ANOVA

La ANOVA (Análisis de Varianza) es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos. Permite evaluar si las variaciones observadas en una variable dependiente son atribuibles a factores específicos, como diferentes tratamientos, condiciones experimentales o grupos de participantes. La ANOVA proporciona información sobre la variabilidad entre los grupos y dentro de ellos, lo que ayuda a identificar patrones y relaciones significativas en los datos. Es una herramienta ampliamente utilizada en investigación y análisis de datos para tomar decisiones fundamentadas y comprender las relaciones entre variables. [8]

La utilización de análisis estadísticos, como la ANOVA, es fundamental para obtener una mayor

certeza sobre las diferencias entre los estímulos presentados y entre las poblaciones en un estudio de neurociencia cognitiva. En particular, cuando nos enfocamos en analizar la actividad cerebral en una ventana de tiempo específica, como el N170 en el reconocimiento de rostros, la ANOVA nos permite evaluar de manera rigurosa y objetiva si existen diferencias significativas en las respuestas cerebrales entre las distintas condiciones experimentales o grupos de participantes. [1]

La ANOVA se convierte en una herramienta valiosa para el presente proyecto dado que permite determinar si las variaciones observadas en la actividad cerebral son el resultado de factores específicos, como los estímulos emocionales presentados, o simplemente producto del azar. Al comparar las respuestas cerebrales en diferentes condiciones, podemos identificar patrones consistentes y significativos asociados a la percepción y procesamiento emocional en los sujetos evaluados.

IV. METODOLOGÍA

Diseño de la tarea ERT y almacenamiento de las señales

La interfaz gráfica de usuario para la tarea ERT fue diseñada utilizando las librerías PyQT5 y Pygame. PyQT5 fue esencial para la construcción de la interfaz, mientras que Pygame hizo posible la presentación de estímulos. El diseño de la tarea ERT incorporó el uso de múltiples hilos o procesos independientes en el programa, permitiendo que diversas tareas se llevaran a cabo de manera simultánea. Un hilo es una secuencia de instrucciones que se ejecuta concurrentemente con otros hilos. En este contexto, se emplearon dos hilos para gestionar distintos aspectos de la tarea: uno para almacenar las señales EEG obtenidas durante el estudio, y otro para ejecutar la tarea ERT en sí misma. Para asegurar una sincronización adecuada entre ambos hilos y evitar posibles problemas de sincronización, se utilizó la librería time para establecer medidas de tiempo precisas. Esto garantizó la coordinación entre la ejecución de la tarea ERT y la adquisición de las señales EEG.

- **TAREA ERT**

Para la implementación de la tarea se utiliza la librería pygame [9], que proporciona funcionalidades para crear aplicaciones interactivas en 2D. La estructura de la tarea se puede observar en el siguiente esquema:

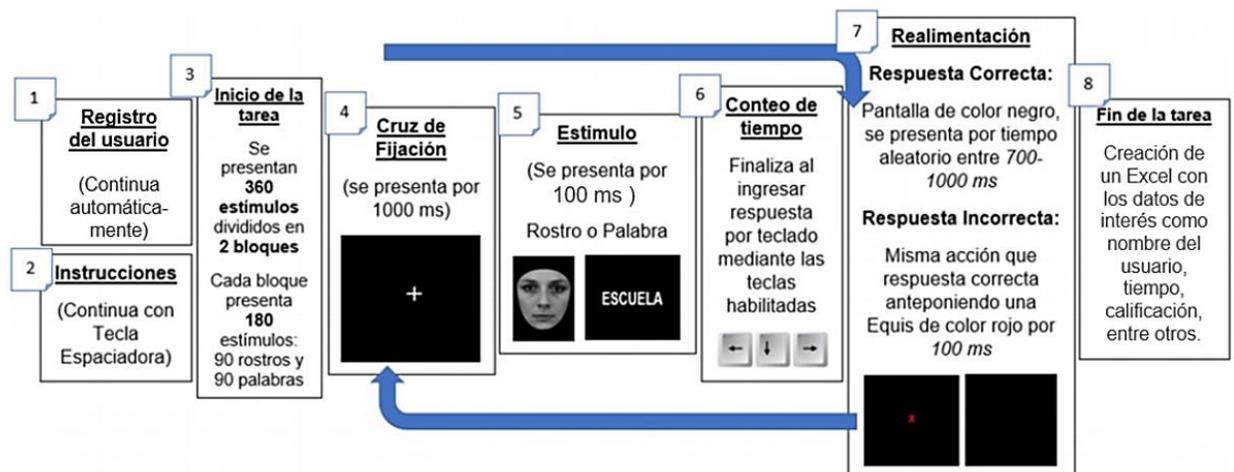


Fig 3. Esquema de la estructura de la tarea ERT.

El código presenta dos clases principales: una para mostrar imágenes, que se obtienen de una carpeta y se ajustan al tamaño de la pantalla, y otra para mostrar palabras. Cuando el sujeto responde o el tiempo de exposición se agota, se procede a comparar su respuesta con la respuesta correcta. Se registran diversos datos, como el tipo de estímulo presentado, la respuesta proporcionada por el usuario, el tiempo de respuesta y la calificación de la respuesta (Correcta, Incorrecta o No Responde). Para el procesamiento de la información conductual, se asignan categorías emocionales a las palabras y características emocionales a los rostros. Todos los datos que se registran constituyen lo que se conoce como "información conductual". Una vez que se completa el primer bloque de la tarea, se muestra un mensaje final y se procede a iniciar el segundo bloque, repitiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente.

- ***Interfaz gráfica y grabación de la señal***

En primer lugar, se inicializa el dispositivo EEG mediante la API pygds [3]. Se configuran la tasa de muestreo y el número de escaneos para asegurar una adecuada adquisición de la señal EEG. Asimismo, se habilitan todos los canales que se utilizarán en el proceso de adquisición.

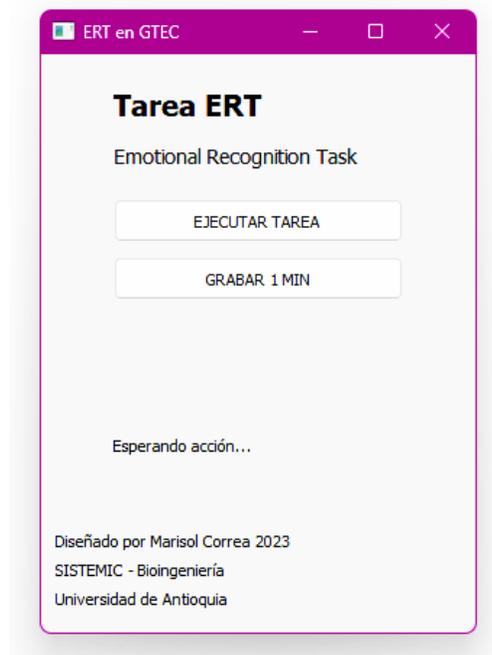


Fig 4. Interfaz gráfica de la tarea ERT para GTEC

La interfaz gráfica de la tarea ERT es diseñada en una clase que hereda de QWidget [10]. Dentro de esta clase, se definen diferentes elementos, como etiquetas, botones y campos de texto, que permiten al usuario interactuar con la aplicación. Se establecen conexiones entre los botones y las funciones correspondientes para llevar a cabo acciones específicas, tales como iniciar o detener la grabación. Al presionar el botón "EJECUTAR TAREA", el usuario tiene la opción de iniciar la tarea ERT. También puede grabar datos EEG específicos (ojos cerrados o abiertos) utilizando el botón "GRABAR 1 MIN", lo cual permite realizar pruebas de verificación en las ondas alfa. La interfaz proporciona etiquetas que ofrecen retroalimentación sobre el estado del proceso de grabación y posibles errores.

Al iniciar la tarea ERT mediante el botón "EJECUTAR TAREA", se solicita al usuario que ingrese su nombre o código de participante. Simultáneamente, se inicia la grabación de la señal EEG en un hilo independiente, dicho manejo de hilos para adquisición de datos de EEG ya ha sido previamente utilizado [11] [12]. Una vez completada la tarea ERT, se emite una señal para indicarle al equipo que finalice la adquisición y sincronización de los datos. Para asegurar la coherencia entre los índices de tiempo de los estímulos y los tiempos reales durante la tarea ERT, se utiliza una variable que almacena el tiempo de inicio de la tarea mediante la librería time. Cada vez que se presenta un estímulo, se registra el tiempo exacto en el que ocurrió. A continuación, se calcula la diferencia entre el tiempo de presentación de cada estímulo y el tiempo de inicio de la tarea. Esta diferencia se convierte en un número de muestras que se utiliza como posición para colocar una marca (valor 1) en la fila correspondiente y en la columna que representa el tipo de estímulo presentado, teniendo en cuenta que hay 6 posibles tipos de estímulos en total. Esta estrategia facilita enormemente el procesamiento posterior de los datos y el análisis de los resultados obtenidos durante la tarea ERT

Además, para una organización y gestión eficiente de los datos recolectados durante la tarea ERT, se emplearon las librerías pandas [13] y openpyxl [14]. Estas librerías permitieron el procesamiento y almacenamiento adecuado de la información conductual y de las señales EEG recopiladas. Como resultado final, se genera un archivo de Excel con dos hojas: en la

primera se incluía información conductual relevante, mientras que en la segunda se registraban las señales EEG de los 8 canales junto con sus respectivos marcadores o "trials".

Configuración del equipo

Para garantizar una adquisición precisa de las señales EEG durante la tarea ERT, se realizaron ajustes previos en ciertos parámetros configurables. La frecuencia de muestreo, el número de escaneos y la cantidad de canales fueron adecuadamente configurados utilizando la API pygds de Python.

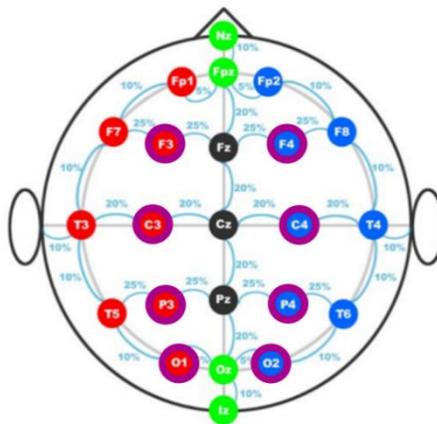


Fig 5. Colocación de los electrodos basado en el sistema de referenciación 10-20.

En cuanto a la colocación de los electrodos, se siguió un enfoque basado en investigaciones previas y se adoptó el sistema de referenciación 10-20, se eligieron las posiciones F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1 y O2 como las ubicaciones ideales para los electrodos. Al seguir este sistema, fue posible obtener mediciones específicas de diferentes áreas cerebrales en ambos hemisferios. Además de los ocho electrodos principales, se incluyeron dos electrodos adicionales fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema. El electrodo de tierra fue ubicado en la glabella, mientras que el electrodo de referencia se posicionó en el lóbulo de la oreja. La función del electrodo de referencia es actuar como un punto neutro que permite medir las diferencias de potencial entre los demás electrodos. Por otro lado, el electrodo de tierra asegura una conexión estable y adecuada del sistema con el entorno. Cabe destacar que, para evitar cualquier sesgo en los resultados, la posición del electrodo de referencia fue variada entre la oreja derecha e izquierda en diferentes voluntarios durante todo el estudio. De esta manera, se garantiza que cualquier efecto potencial del

posicionamiento del electrodo de referencia sea controlado y no afecte la interpretación y análisis de los datos obtenidos en la investigación.

Validación del equipo de GTEC mediante el análisis de ondas alfa

Se realizaron seis grabaciones de un voluntario, tres con los ojos abiertos y tres con los ojos cerrados, cada una con una duración de un minuto. Los datos de EEG de estas grabaciones se procesaron con ayuda de MATLAB, separando los períodos de ojos abiertos y ojos cerrados en listas específicas para cada estado.

Se seleccionaron los ocho canales de EEG para el análisis y se estableció un rango de frecuencias relevante de 8 a 12 Hz. Esto permitió enfocarse en la banda específica de las ondas alfa. Se utilizó el método de Welch para calcular la densidad espectral de potencia (PSD). [7] Luego, se promediaron los valores de PSD obtenidos de los diferentes segmentos de cada estado (ojos cerrados y ojos abiertos) para obtener una PSD promedio representativa para cada canal y estado.

Con el fin de visualizar mejor las diferencias en las ondas alfa entre los estados de ojos cerrados y ojos abiertos, se realizó una interpolación polinómica para suavizar los datos y presentarlos en un rango continuo de frecuencias de interés. Finalmente, se crearon gráficos que muestran las PSD promedio para cada canal de EEG, con curvas para los estados de ojos cerrados y ojos abiertos, permitiendo una comparación directa entre ambos estados en cada canal. Estos resultados proporcionan información valiosa sobre la actividad cerebral asociada a los diferentes estados de conciencia y relajación mental.

Identificación del tiempo de retraso

Contexto de la problemática

Existe una problemática asociada con la obtención precisa de Potenciales Evocados Relacionados (ERPs) utilizando dispositivos portátiles de EEG que se comunican a través de sistemas como Bluetooth. Para obtener ERPs de manera confiable, es crucial que los estímulos presentados al sujeto y las respuestas cerebrales estén adecuadamente sincronizados.

Durante la tarea de obtención de ERPs, se utilizan "triggers" que marcan el inicio de un estímulo específico y se emplean para segmentar la señal de EEG, aislándola en los períodos donde se espera la respuesta cerebral relacionada con el estímulo. El problema surge debido a un retraso en la transmisión de información por parte del equipo GTEC. Esto ocasiona que el trigger generado digitalmente y enviado durante la tarea no se sincronice exactamente con el momento real en que se presenta el estímulo al sujeto. Como consecuencia, se produce una desincronización entre el estímulo y la señal de EEG capturada, lo que afecta la precisión en la obtención de los ERPs. Esta desincronización tiene un impacto significativo en la exactitud del análisis de EEG y puede llevar a errores en la interpretación de los resultados. Para lograr análisis confiables y obtener ERPs precisos, es esencial abordar esta desincronización y garantizar una alineación adecuada entre los estímulos presentados y las respuestas cerebrales registradas.

Propuesta de solución

Para abordar esta problemática, se ha desarrollado una solución mediante la implementación de un diseño electrónico para el fotorresistor. El objetivo es generar una señal en estado alto cada vez que se presente un estímulo. Para lograr esto, fue necesario realizar modificaciones en la tarea, de manera que cuando se detecte un estímulo, se genere un recuadro blanco en la esquina inferior izquierda. Este recuadro será utilizado como referencia para generar la señal cuadrada que posteriormente será procesada por el circuito propuesto. El diseño electrónico se divide en tres etapas fundamentales: obtención de la señal, comparación y atenuación

- En la primera etapa, se utiliza un fotorresistor GL10516 [15] junto con una resistencia pull-up para obtener una señal variable en función de la resistencia del fotorresistor y la resistencia pull-up. El circuito se alimenta con 5 V mediante baterías.

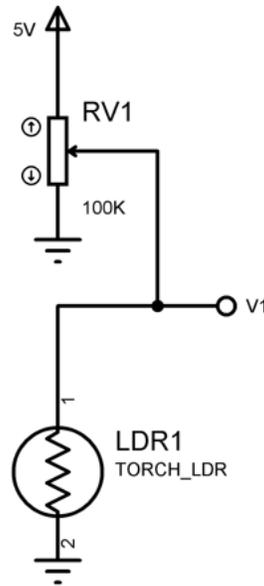


Fig 6. Esquemático del circuito implementado en la etapa de obtención de la señal.

- En la etapa de comparación, se implementa un amplificador operacional en una configuración comparadora para obtener una señal cuadrada. Se compara la tensión de referencia de 2.5 V, obtenida mediante un divisor de voltaje, con la señal de la etapa de obtención para producir una salida de 5 V cuando hay un estímulo presente y 0 V en caso contrario. Para perfeccionar la señal de salida, la etapa de comparación se conecta a la etapa de obtención y el amplificador operacional LF411 [16] se utiliza para generar una salida de 5 V cuando hay un estímulo y 0 V cuando no lo hay.

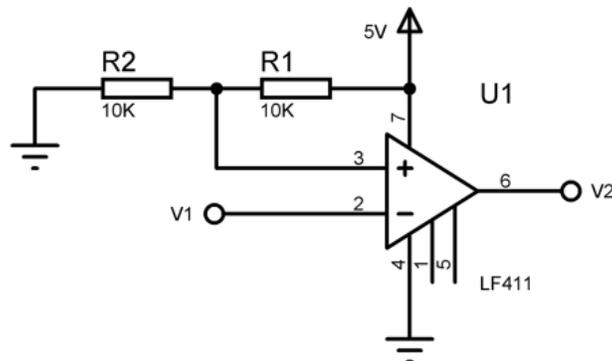


Fig 7. Esquemático del circuito implementado en la etapa de comparación.

- Finalmente, se implementa una etapa de atenuación con un divisor de voltaje compuesto por dos resistencias de 10 K Ω y 330 K Ω para ajustar la tensión de salida a un rango permitido por el equipo de EEG.

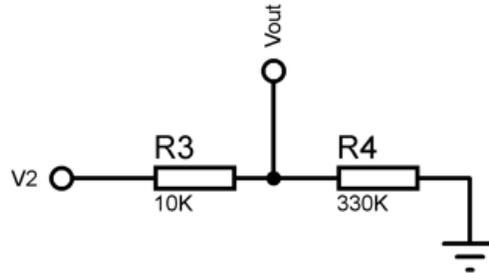


Fig 8. Esquemático del circuito implementado en la etapa de atenuación.

Adaptación de la solución

El diseño fue inicialmente concebido para un equipo de EEG de baja densidad llamado BioRadio y fue previamente probado con éxito en ese contexto. Sin embargo, debido a que las entradas no eran compatibles con el hardware del equipo GTEC, se requirió una adaptación. El objetivo principal del proyecto era generar una señal cuadrada que se activara cuando se presentara un estímulo visual en la pantalla. Para lograr la adaptación necesaria, se introdujo un inductor entre la señal cuadrada y el cable de tierra, lo que generó un campo magnético detectable por un electrodo del equipo GTEC. Esto permitió visualizar la señal cuadrada a través de un canal de EEG en dicho equipo.



Fig 9. Adaptación al equipo GTEC del circuito con fotorresistor.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la adaptación, se realizaron dos grabaciones. La primera grabación consistió en una tarea con solo 4 estímulos, mientras que la segunda grabación fue más extensa, con una tarea completa de 360 estímulos.

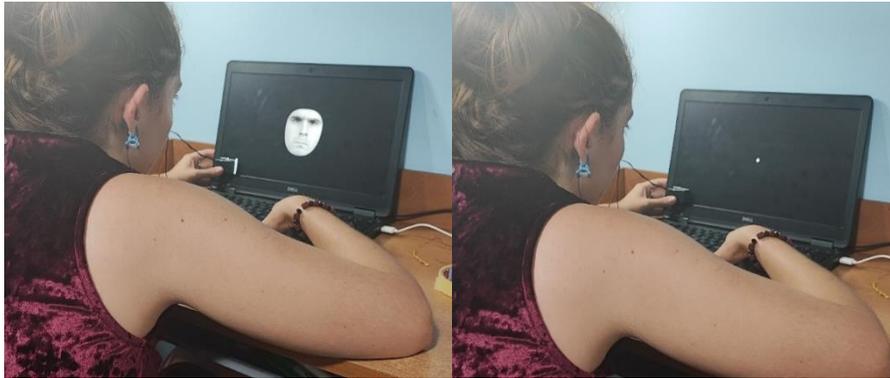


Fig 10. Grabaciones para comprobar el correcto funcionamiento de la adaptación.

Identificación del tiempo de retraso

La grabación de 360 estímulos fue procesada con ayuda de MATLAB donde en primer lugar se realiza un proceso de ajuste lineal para eliminar la línea base de la señal en la columna 'Ch6', columna que corresponde al canal de EEG utilizado para capturar la señal cuadrada. Este ajuste lineal permite obtener una línea que representa la tendencia lineal de la señal.

El siguiente paso consiste en detectar los estímulos presentes en la señal de EEG. Para ello, se establece un valor de referencia denominado 'comparison' (con un valor de 16.523mV), y se identifican los puntos en la señal donde se cumple que el valor actual es mayor o igual al valor de referencia, y el valor anterior es menor al valor de referencia. Estos puntos corresponden a la presencia de estímulos en la señal.

Luego se procede a calcular las diferencias entre las posiciones de los estímulos detectados por la señal cuadrada y los detectados por medio de las marcas colocadas por la tarea ERT durante el la ejecución de la misma. Estas diferencias se convierten a milisegundos (ms) teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo de 250Hz. Con estos tiempos calculados y un posterior análisis estadístico fue posible identificar el tiempo aproximado de retraso.

Prepilotaje

Un pilotaje es una fase inicial de pruebas y experimentación que se lleva a cabo antes de implementar un estudio o proyecto a gran escala. Durante esta etapa, se evalúan y ajustan los procedimientos, se identifican posibles problemas y se realizan mejoras, con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento. El prepilotaje es una etapa esencial y primordial en experimentos o investigaciones que involucran sistemas de adquisición de datos y tareas específicas. Durante esta fase inicial, se realizan pruebas preliminares para asegurar el correcto funcionamiento de todos los componentes involucrados.

En el caso particular del estudio de la tarea ERT, antes de iniciar la recopilación de datos para el estudio principal, se llevó a cabo un prepilotaje con un sujeto de prueba. Durante esta etapa, se siguieron todos los procedimientos tal como se harían en un pilotaje real. Se empleó el software g.RECORDER para medir la impedancia de los electrodos y asegurar una conexión adecuada. También se realizó una visualización de la señal en el mismo software para corroborar la correcta conexión de los electrodos y el buen funcionamiento del sistema de adquisición de datos. Una vez confirmada la correcta conexión, se procedió a ejecutar la tarea ERT completa mediante la aplicación diseñada, utilizando todo el equipo necesario. Todos los elementos fueron debidamente conectados para verificar su correcto funcionamiento en tiempo real.

El prepilotaje arrojó resultados exitosos, ya que se pudo comprobar que todo el sistema funcionaba adecuadamente y que la información se almacenaba correctamente. Esta fase de pruebas proporcionó la confianza necesaria para continuar con el estudio principal y recopilar datos de manera precisa y fiable.



Fig 11. Prepilotaaje con un sujeto de prueba.

Pilotaje

Un pilotaje es una fase inicial de pruebas y experimentación que se lleva a cabo antes de implementar un estudio o proyecto a gran escala. Durante esta etapa, se evalúan y ajustan los procedimientos, se identifican posibles problemas y se realizan mejoras, con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento y la viabilidad del proyecto antes de su implementación completa.

En el marco del estudio "Evaluación de la implementación del programa de intervención en cognición social en comunidades crónicamente expuestas al conflicto", se llevó a cabo el pilotaje con la participación de 6 voluntarios, todos con edades comprendidas entre los 21 y 22 años. Del grupo, había 4 hombres y 2 mujeres, ninguno de ellos había estado expuesto al conflicto armado y todos contaban con un nivel mínimo de 14 años de escolaridad. Es importante destacar que dos de los voluntarios tenían un diagnóstico previo de ansiedad.

Antes de iniciar las pruebas, cada voluntario firmó el consentimiento informado previamente creado para este estudio, donde se les explicaron detalladamente los objetivos e implicaciones de la investigación. Asimismo, se les invitó a resolver una pequeña encuesta para obtener información relevante sobre su perfil y experiencias previas. Para asegurar un ambiente óptimo para la ejecución del pilotaje, se adecuó un espacio tranquilo, bien iluminado y libre de ruido. Además, como muestra de agradecimiento por su participación, se les brindó un refrigerio.

El pilotaje resultó exitoso, se desarrolló sin ningún inconveniente con el software utilizado. Cada uno de los 6 voluntarios fue registrado el mismo día, programados con una diferencia de una hora entre cada cita. La participación de cada voluntario, desde el momento en que se les colocaron los electrodos hasta que se les retiraron, tuvo una duración aproximada de 40 minutos.



Fig 12. Realización del pilotaje.

Procesamiento

En el marco metodológico de la investigación, se llevó a cabo el procesamiento de los datos de pilotaje con el apoyo de la herramienta de programación MATLAB. Para garantizar la disponibilidad de los datos de EEG necesarios, se realizó una conversión de los registros obtenidos en la segunda página del archivo en formato .xlsx a formato “.mat”, lo cual facilitó su manipulación y análisis.

El archivo “.mat”, generado contiene 19 columnas en total. La primera columna es un contador. Las columnas 2 a 9 contienen señales de EEG registradas desde diferentes canales en el cuero cabelludo. Las columnas 10 a 17 están asociadas a las marcas temporales de los seis tipos de estímulos emocionales presentados durante la tarea. Por último, las columnas 18 y 19 representan las marcas que indican la respuesta correcta o incorrecta a cada estímulo. El procesamiento de los datos involucra la eliminación de la columna de contador y de las columnas de respuesta correcta e incorrecta, ya que no son relevantes para el análisis y no aporta información útil para el estudio de las respuestas cerebrales a los estímulos emocionales.

Cada etapa del procesamiento se desarrolló con rigurosidad, siguiendo procedimientos estandarizados, con el objetivo de preparar adecuadamente los datos para su posterior análisis y extracción de información relevante sobre la actividad cerebral en respuesta a los estímulos emocionales presentados en la tarea ERT. Los pasos del procesamiento se describen a continuación

1. Filtro pasa altas a 1Hz

Se aplica un filtro pasa altas a los datos obtenidos durante el pilotaje, con el objetivo de eliminar el componente de corriente continua (DC offset) y reducir el ruido de baja frecuencia que puede afectar los registros de EEG. Para realizar esta operación, se utiliza una función personalizada llamada "butterworthFilter" implementada en MATLAB.

La función "butterworthFilter" aplica un filtro digital de Butterworth, que es un tipo de filtro que ofrece una respuesta más plana en la banda de paso y una mayor atenuación en la banda de rechazo. El filtro se configura para ser un filtro de alta frecuencia con una frecuencia de corte de 1Hz, lo que significa que atenuará las frecuencias más bajas y permitirá el paso de las frecuencias más altas. Se aplicó el filtro a cada columna de datos del EEG, siempre que la columna contenga valores numéricos y no esté vacía. El resultado final es una matriz de datos filtrada y preparada para continuar con el siguiente paso del procesamiento.

2. Re-referenciación al promedio

Se seleccionan las primeras 8 columnas que contienen valores numéricos de los datos previamente filtrados, estas columnas corresponden a las señales EEG capturadas por los electrodos. Posteriormente, se calcula el promedio de las señales EEG en esas 8 columnas utilizando la función "mean", lo que resulta en un vector que representa el promedio de la actividad cerebral en cada punto de tiempo para el conjunto de electrodos seleccionados.

El siguiente paso es la re-referenciación propiamente dicha. Cada una de las 8 columnas de datos EEG se re-referencia restando el valor promedio correspondiente. Esto tiene el efecto

de eliminar las fluctuaciones comunes en las señales EEG y destacar las respuestas cerebrales específicas a los estímulos emocionales de la tarea ERT.

Después de realizar la re-referenciación en las columnas EEG seleccionadas, se crean nuevas matrices de datos que son iguales a los datos originales, excepto en las primeras 8 columnas, donde ahora se encuentran las señales EEG re-referenciadas. Las columnas restantes (columnas 9 a 14) se mantienen sin cambios, ya que contienen información adicional asociada a los ensayos de la tarea ERT.

3. Filtro pasa bajas a 30Hz

En este paso, se desea eliminar las frecuencias más altas que pueden contener ruido de alta frecuencia o artefactos no deseados. Para realizar esta operación, nuevamente se utilizó la función personalizada "butterworthFilter", pero esta vez con diferentes parámetros. El filtro pasa bajas se configura con una frecuencia de corte de 30 Hz, lo que significa que atenuará las frecuencias más altas a partir de 30 Hz, permitiendo el paso de las frecuencias bajas.

4. Separación por épocas

Este paso tiene como objetivo dividir los datos en intervalos de tiempo específicos o "épocas" que corresponden a los diferentes estímulos presentados durante la tarea. En primer lugar, se identifican las marcas temporales en las columnas 9 a 14 de la matriz "data_downsample", que indican la ocurrencia de los diferentes tipos de estímulos emocionales (rostro enojado, rostro neutro, rostro alegre, palabra desagradable, palabra neutra y palabra agradable). Luego, se construye una matriz de épocas llamada "epochs" para cada uno de los tipos de estímulos. Cada fila en la matriz "epochs" representa un único estímulo y contiene dos columnas que indican el índice de inicio y fin de la época, calculados a partir de los tiempos de presentación del estímulo y la duración deseada de la época (1000 milisegundos desde 200 milisegundos antes de mostrar el estímulo hasta 800 milisegundos después del mismo).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los datos remuestreados pueden tener una diferencia de tiempo (retraso) con respecto al inicio real de las épocas. Para corregir esto,

se utiliza el valor de "Delay" (retraso) encontrado previamente con ayuda de un circuito que contiene un fotorresistor (en este caso, el retraso es de 53.97 ms). Se encuentra el índice en "t_downsample" que corresponde al valor más cercano a "Delay" y se ajustan los índices de inicio y fin de las épocas en la matriz "epochs" agregándoles este valor.

Finalmente, se agrupan las épocas correspondientes a la misma categoría o valencia de estímulos con el fin de obtener un único ERP para cada valencia. Para lograr esto, se llenan los espacios vacíos de la matriz "epochs" con ceros para tener el mismo número de datos y mantener la estructura de la matriz, ya que algunos estímulos pueden tener más o menos épocas que otros debido a la cantidad de repeticiones durante la tarea.

5. Corrección de línea de base

Para realizar la corrección de línea de base, se toman los primeros 200 milisegundos (ms) de cada época, ya que este intervalo corresponde al estado basal antes de la presentación del estímulo. En una tarea ERT con una frecuencia de muestreo de 250 Hz, estos 200 ms equivalen a 50 puntos de datos. A continuación, se recorren las épocas de cada tipo de estímulo, y para cada época, se seleccionan los datos correspondientes a todos los canales de EEG de interés. Luego, se calcula el promedio de los primeros 50 puntos de datos para posteriormente restar este valor promedio a todos los puntos de la época, realizando así la corrección de línea de base para cada canal de interés de manera independiente

6. Filtro pasa bajas a 30Hz

Una vez realizada la separación por épocas y la corrección de línea de base, se procede nuevamente a aplicar el filtro pasa bajas con una frecuencia de corte de 30 Hz de la misma manera que se hizo en el paso 3. Este segundo filtrado es necesario para asegurar una limpieza adecuada de las señales de EEG y eliminar cualquier posible ruido de alta frecuencia o artefactos que puedan haber quedado después de las correcciones realizadas.

7. Promedio por condiciones por sujeto

Se realiza el cálculo del promedio para cada tipo de estímulo y sujeto en dos categorías distintas: "Faces" (rostros) y "Words" (palabras). Para ello, primero se calculan los

promedios de los datos para cada tipo de estímulo y se descartan aquellos puntos en los que no haya actividad cerebral (los puntos en los que la amplitud es igual a cero) para evitar sesgar el resultado. Luego, se generan dos gráficas por cada canal en cada sujeto. La primera gráfica representa los promedios de las respuestas cerebrales para los estímulos de rostros ("Angry face", "Neutral face" y "Cheerful face"). La segunda gráfica representa los promedios de las respuestas cerebrales para los estímulos de palabras ("Unpleasant word", "Neutral word" y "Pleasant word").

A continuación, se puede observar las gráficas generadas para el canal P3 del tercer sujeto. En todas las gráficas, el eje y (amplitud) se invierte, lo que significa que los valores negativos se muestran hacia arriba y los valores positivos hacia abajo. Esta inversión es comúnmente utilizada en la literatura científica en neurociencia y facilita la comparación de resultados.

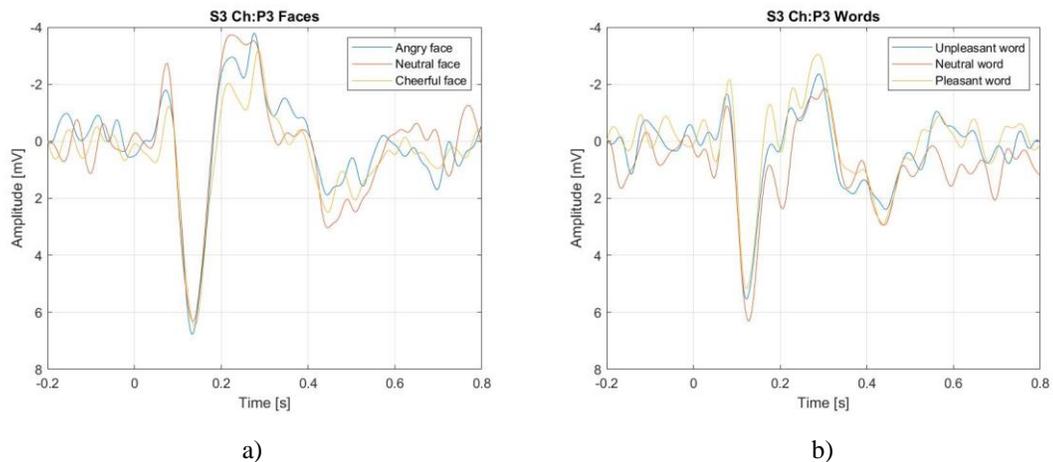


Fig 13. ERP del canal P3 del sujeto 3. a) estímulos de rostros. b) estímulos de palabras.

8. Grand Average

El "Grand Average" logra obtener una representación promedio de la actividad cerebral de un grupo poblacional específico en respuesta a diferentes tipos de estímulos emocionales. Esto se logra al promediar los datos individuales de cada sujeto por cada tipo de estímulo o valencia emocional para obtener un ERP representativo de cada sujeto. Luego, se concatenan los ERPs obtenidos para cada valencia emocional de todos los sujetos en una única matriz. Se calcula el promedio punto por punto a lo largo de las columnas de la matriz

concatenada, lo que resulta en un ERP promedio para cada valencia emocional que refleja la respuesta cerebral promedio del grupo de estudio ante esos estímulos específicos.

Inicialmente, se llevó a cabo el "Grand Average" utilizando los datos de los 6 voluntarios para obtener una representación promedio de la actividad cerebral en respuesta a los diferentes estímulos emocionales. Sin embargo, durante el análisis individual del ERP para uno de los sujetos, se identificaron resultados atípicos en comparación con el resto de los voluntarios.

Al examinar la información adicional registrada durante el pilotaje de ese sujeto en particular, se descubrió que había tomado significativamente más tiempo en completar la tarea experimental en comparación con los demás voluntarios. Además, se observó que este sujeto experimentó episodios breves de somnolencia durante el estudio. Cabe mencionar que también llevaba un piercing que no se pudo retirar durante el pilotaje, lo cual pudo haber generado interferencias en las mediciones.

Las gráficas generadas para el canal P3 de este sujeto se muestra a continuación

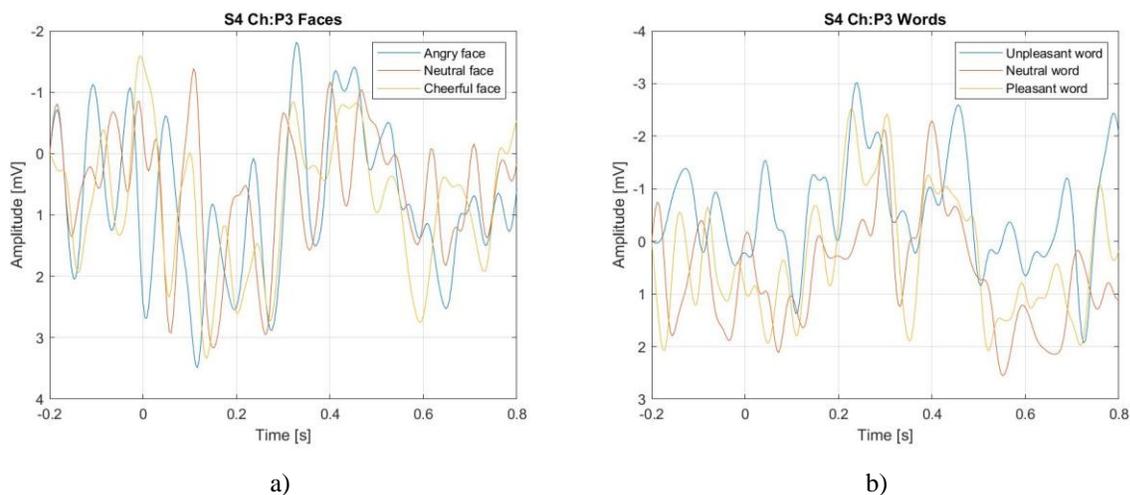


Fig 14. ERP del canal P3 del sujeto 4. a) estímulos de rostros. b) estímulos de palabras.

Con base en las observaciones mencionadas anteriormente, se tomó la decisión de realizar nuevamente el "Grand Average", excluyendo al sujeto que presentó resultados atípicos y

condiciones especiales durante la ejecución de la tarea. En consecuencia, se procedió a utilizar únicamente los datos de los otros 5 voluntarios para llevar a cabo el nuevo cálculo del "Grand Average". Repetir el proceso de promediar las respuestas cerebrales de los 5 voluntarios restantes, se buscó obtener una representación más precisa y consistente de la actividad cerebral del grupo en respuesta a los estímulos emocionales presentados.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

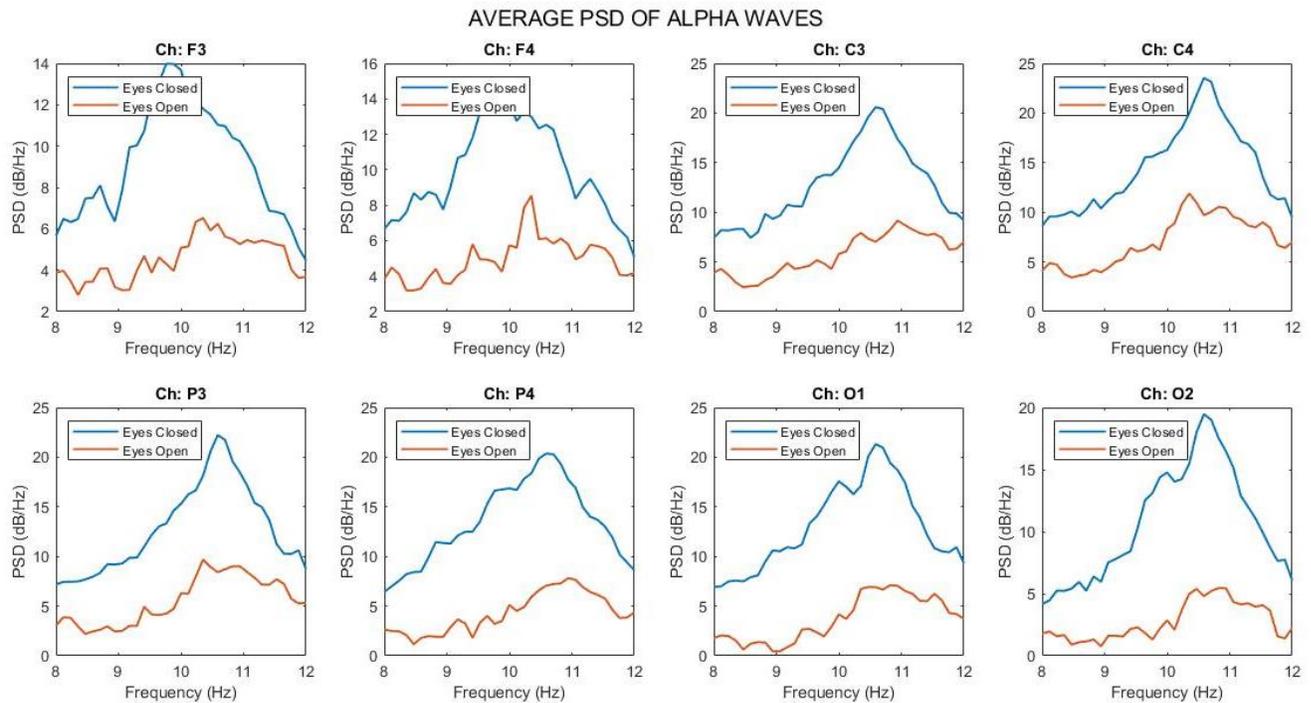
Validación del equipo de GTEC mediante el análisis de ondas alfa

Fig 15. Espectro de potencia de las ondas alfa.

Durante la validación del equipo de EEG, centrado en la característica de las ondas alfa, se obtuvieron resultados que demostraron una clara diferencia en el espectro de potencia entre las condiciones de ojos cerrados y ojos abiertos en los 8 canales analizados. En la fase de ojos cerrados, se evidenció un significativo aumento en la potencia de la banda de frecuencias alfa (8 a 12 Hz) en comparación con la condición de ojos abiertos.

Estos hallazgos respaldan la precisión y confiabilidad del equipo de EEG, ya que muestran una respuesta coherente y acorde con el conocimiento teórico establecido sobre las ondas alfa [7], lo que sugiere que el equipo es capaz de capturar con fidelidad la actividad cerebral en diferentes estados de conciencia. Además, los resultados del análisis del espectro de potencia confirman la funcionalidad y exactitud del equipo en la detección de la actividad cerebral, brindando confianza

en su habilidad para medir y analizar señales EEG. Lo anterior valida la utilización del equipo de EEG en conjunción con la tarea ERT,

Identificación del tiempo de retraso

Para tener una visión más completa de los datos y comprender la distribución de los tiempos de aparición de los estímulos, se crea un histograma de las diferencias entre marcas en milisegundos. Este histograma permite visualizar de forma gráfica la frecuencia con la que se presentan los estímulos en diferentes intervalos de tiempo.

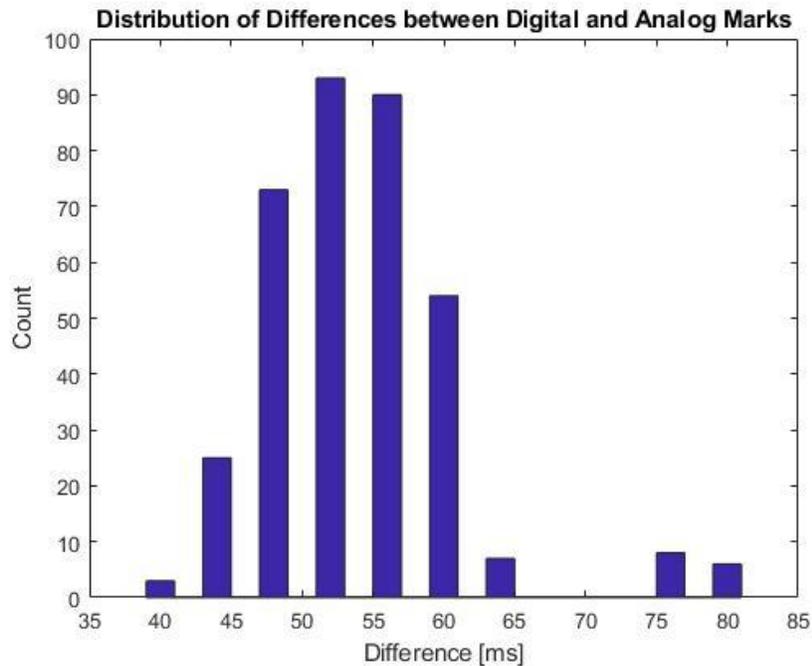


Fig 16. Distribución de las diferencias entre marcas digitales y analógicas en milisegundos.

Además, se generan gráficos para visualizar la señal en un rango específico de índices seleccionado previamente. En estos gráficos, se agrega una línea recta que representa el umbral utilizado en la detección de estímulos. Estas representaciones gráficas permiten visualizar claramente la relación entre la señal de EEG y los puntos de detección de estímulos, lo que brinda una mejor comprensión del comportamiento de la señal en relación con los momentos de interés. En la gráfica, los flancos de subida representan la aparición de un estímulo por lo que, aunque en la figura se observa que la línea de umbral cruza los datos 12 veces, es importante aclarar que solo se están mostrando las marcas correspondientes a 6 estímulos.

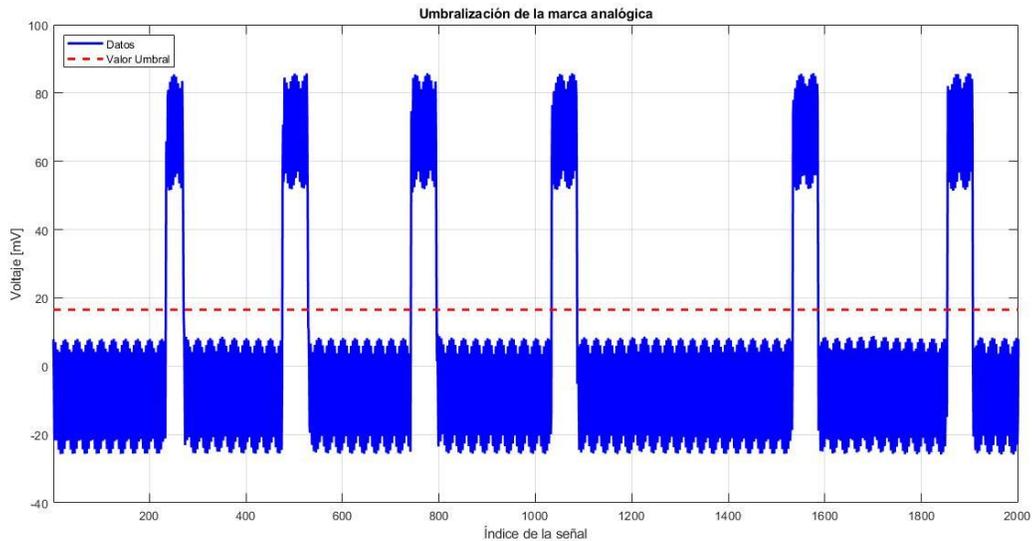


Fig 17. Umbralización de la marca analógica.

Los resultados obtenidos de este análisis indican que los estímulos detectados en la señal de EEG tienden a estar separados por tiempos cercanos a 53.97 ms en promedio, con una variabilidad de aproximadamente 6.90 ms. El rango de tiempos de separación entre estímulos oscila entre 40.00 ms (mínimo) y 80.00 ms (máximo). Estos hallazgos sugieren que los estímulos presentan una cierta regularidad en sus tiempos de aparición, con la mayoría de los retrasos registrados concentrándose en el intervalo de 45 a 65 ms. Dado que la desviación estándar es relativamente baja y los retrasos tienden a agruparse en una franja estrecha, se toma la decisión de realizar una corrección temporal en el procesamiento de 53.97 ms. Esta corrección permitirá alinear de manera más precisa los estímulos detectados con los momentos de interés en la señal, mejorando así la exactitud y confiabilidad en el análisis de la actividad cerebral en relación con los estímulos presentados.

ERPs

A continuación, se presentan los resultados de ERP obtenidos para cada uno de los 8 canales, donde los datos han sido promediados a partir de las grabaciones correspondientes a 5 voluntarios. Cabe mencionar que los estímulos, palabras y rostros, se graficaron por separado debido a las diferentes respuestas cerebrales que generan. Se observó que el cerebro reacciona más rápidamente frente a los rostros que a las palabras. Esta disparidad en la velocidad de procesamiento se debe a que la visualización de un rostro provoca una respuesta cerebral inmediata, mientras que procesar una palabra requiere primero un paso de lectura antes de generar la reacción.

El componente N170, asociado al reconocimiento visual de rostros y palabras, fue más pronunciado en respuesta a los rostros que a las palabras. Esta diferencia se hizo especialmente notable en los electrodos ubicados en las zonas frontal y occipital del cerebro, mientras que en los electrodos del lóbulo parietal la diferencia fue menor. Además, se encontró que los rostros neutros provocaron la mayor amplitud del componente N170, sugiriendo que la percepción de rostros neutros puede requerir una mayor discriminación y análisis para identificar emociones o intenciones ocultas. En contraste, el procesamiento de palabras implica etapas más jerárquicas y complejas, lo que podría prolongar la latencia del componente N170 en la tarea de reconocimiento de palabras. Además, las diferencias en la valencia emocional y la carga semántica de los estímulos también pueden influir en la magnitud del componente N170. [17]

ERPs asociados a Rostros

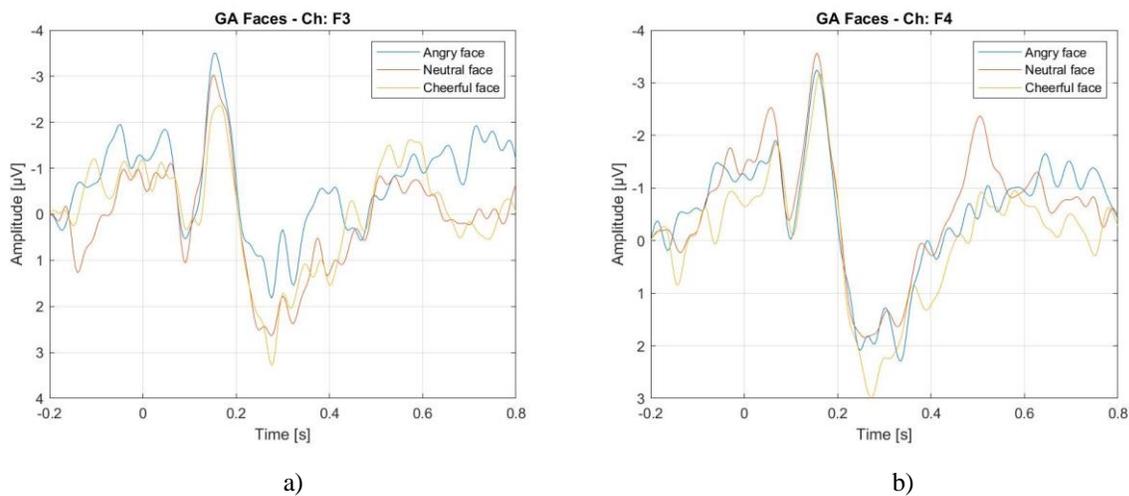


Fig 18. Grand Average estímulos de caras. a) canal F3. b) canal F4.

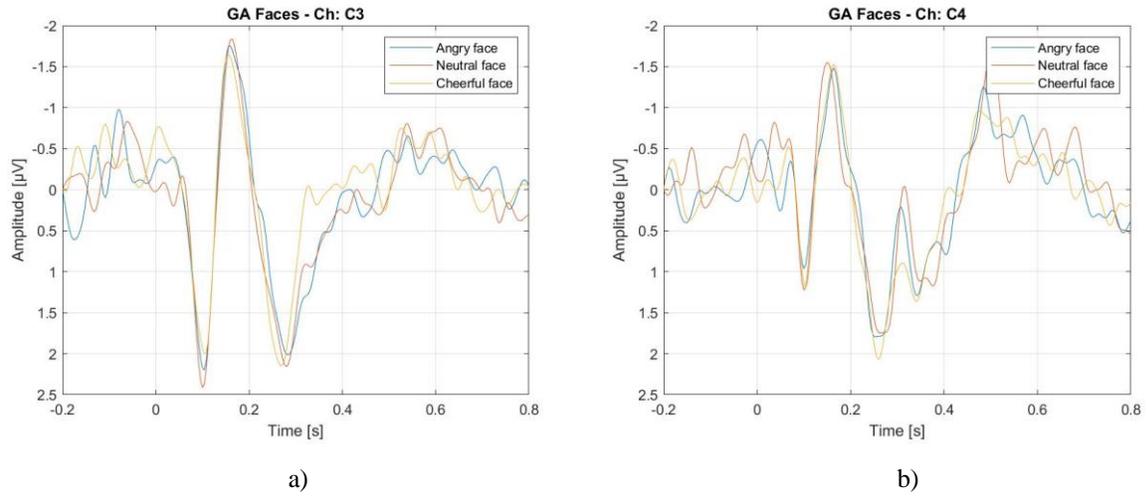


Fig 19. Grand Average estímulos de caras. a) canal C3. b) canal C4.

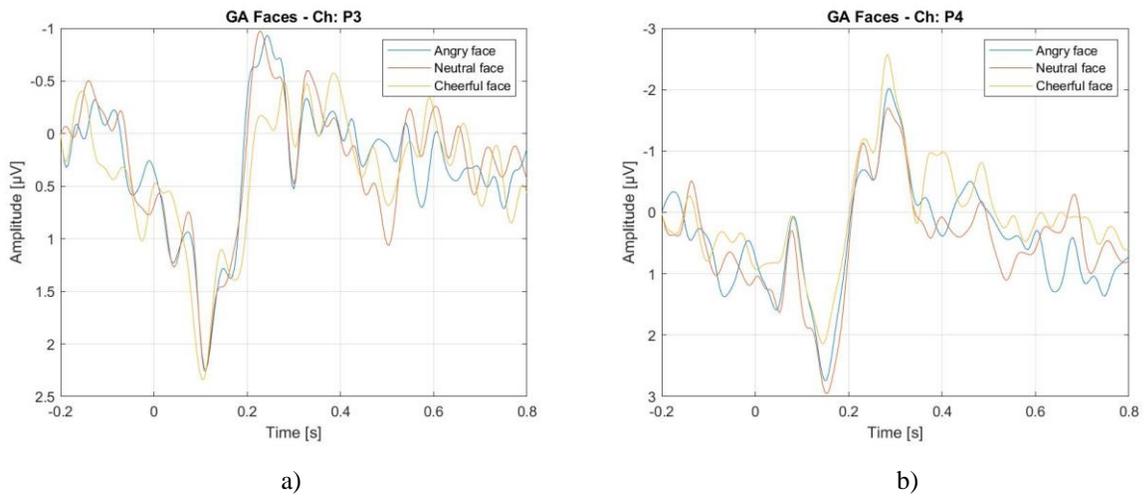


Fig 20. Grand Average estímulos de caras. a) canal P3. b) canal P4.

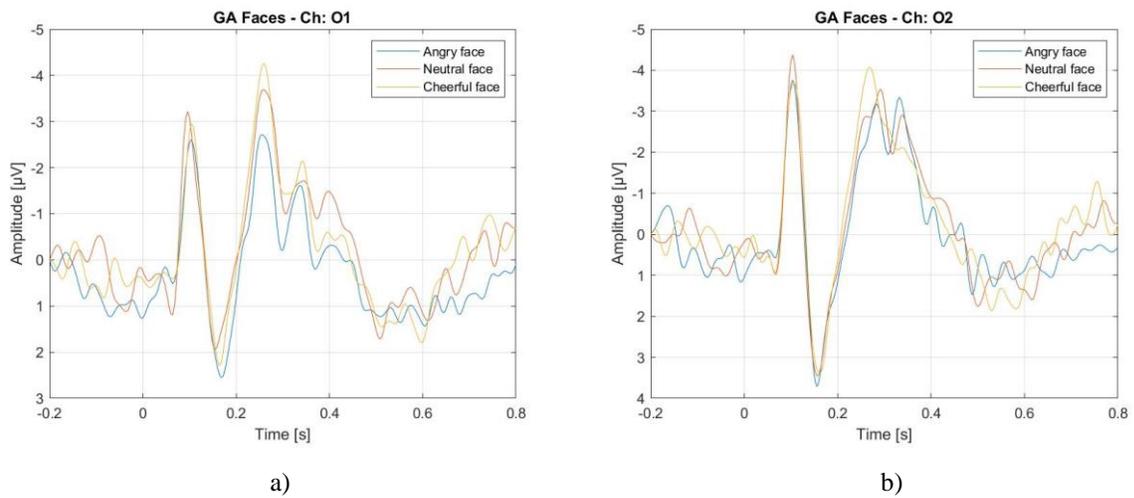


Fig 21. Grand Average estímulos de caras. a) canal O1. b) canal O2.

ERPs asociados a palabras

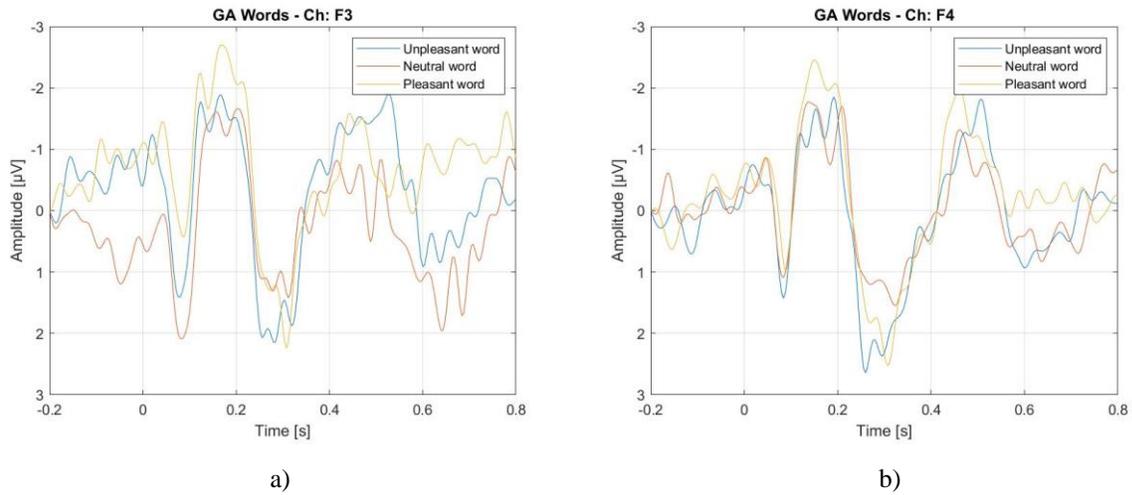


Fig 22. Grand Average estímulos de palabras. a) canal F3. b) canal F4.

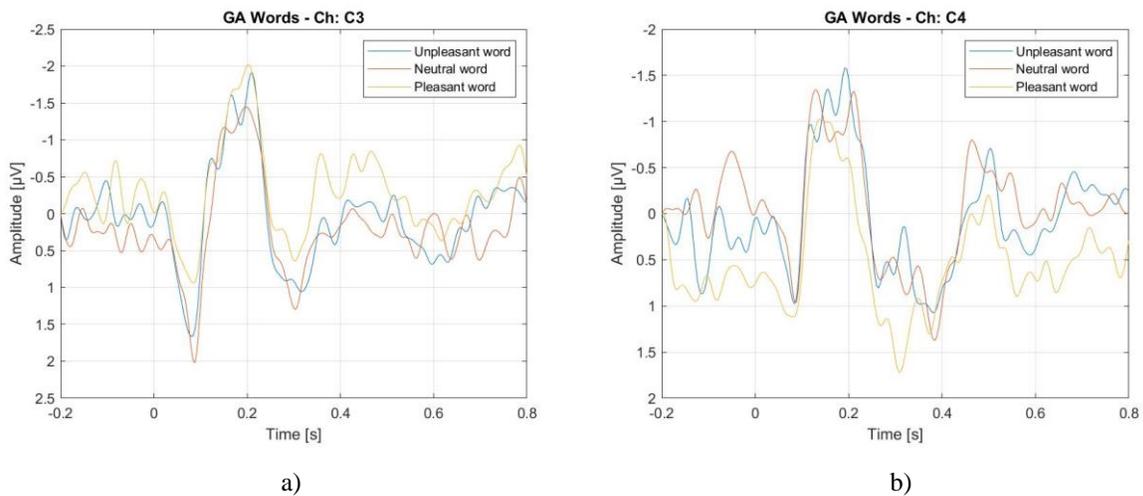


Fig 23. Grand Average estímulos de palabras. a) canal C3. b) canal C4.

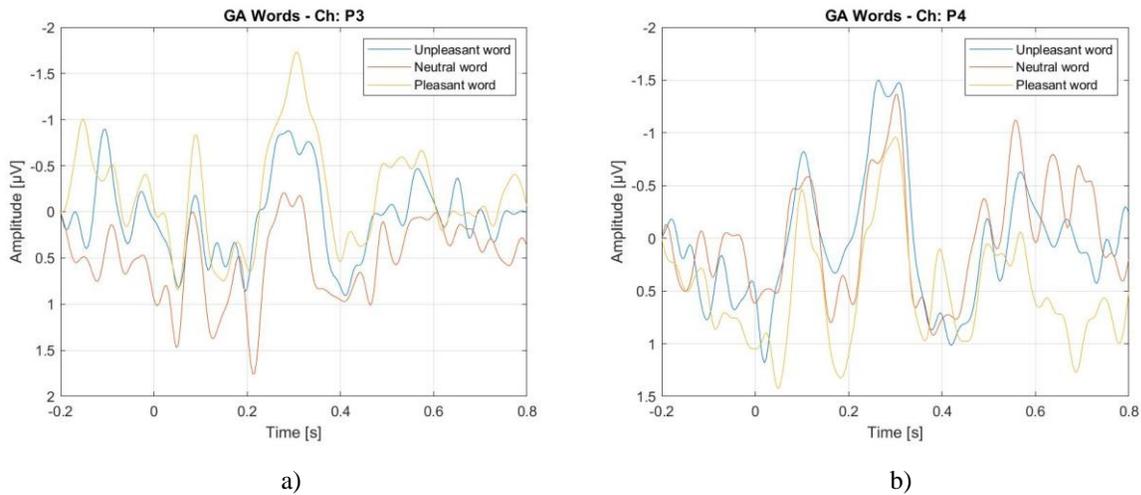


Fig 24. Grand Average estímulos de palabras. a) canal P3. b) canal P4.

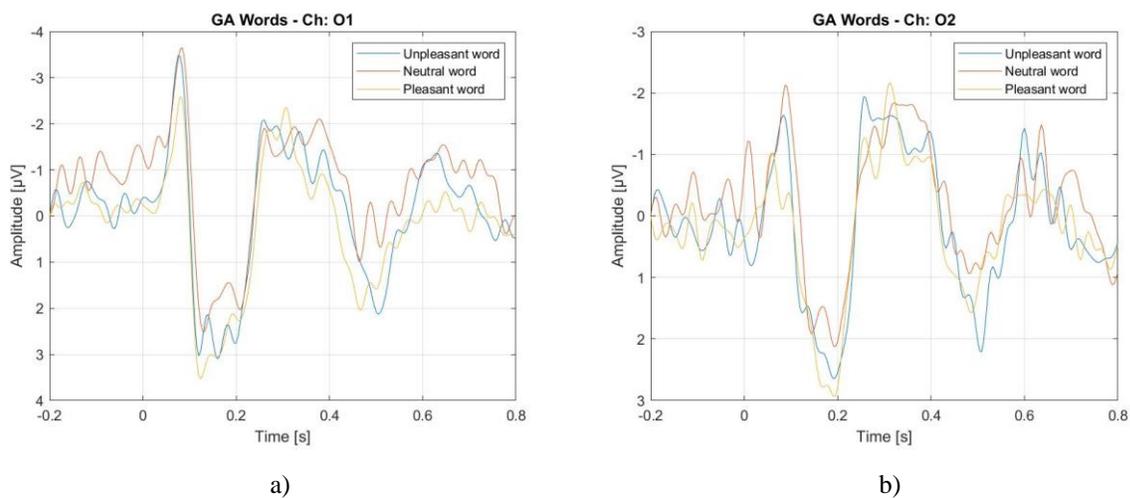


Fig 25. Grand Average estímulos de palabras. a) canal O1. b) canal O2.

A pesar de los esfuerzos realizados para llevar a cabo una investigación rigurosa, es esencial tener en cuenta ciertas limitaciones que podrían afectar la interpretación de los resultados. En esta fase del estudio, la muestra consiste únicamente en individuos que no han estado expuestos al conflicto. Esta homogeneidad en las experiencias emocionales y cognitivas podría limitar la representatividad de nuestros hallazgos y su aplicabilidad a la población de excombatientes. Es crucial reconocer que las respuestas cerebrales y emocionales en aquellos que han vivido experiencias traumáticas

podrían diferir significativamente de las personas sin exposición previa al conflicto. Además, la tarea ERT utilizada podría tener limitaciones en su capacidad para capturar todas las dimensiones emocionales relevantes en contextos más complejos, como en excombatientes que han enfrentado situaciones de alto estrés y trauma.

La interpretación de los datos EEG y ERP también puede ser un proceso complejo y puede requerir cierto grado de subjetividad. Aunque se han realizado esfuerzos significativos para llevar a cabo un análisis objetivo y preciso, existe la posibilidad de que las interpretaciones puedan verse influenciadas por sesgos cognitivos o preconcepciones. Para minimizar este riesgo, se propone la implementación del uso de ANOVAs que ayuden a respaldar o rechazar los análisis aquí descritos.

[8]

VII. CONCLUSIONES

El presente proyecto ha logrado desarrollar un protocolo que involucra herramientas informáticas para el registro y análisis de la actividad eléctrica cerebral que se puede extrapolar a en individuos con diferentes grados de exposición al conflicto armado. Gracias al uso de un equipo portátil de electroencefalografía GTEC de 8 canales, sincronizado con tareas socio-cognitivo-conductuales y a una revisión exhaustiva de la literatura científica se ha logrado identificar características biopsicosociales relevantes en esta población, como es la importancia del componente N170 del ERP en el procesamiento emocional.

Además, se ha diseñado e implementado una interfaz de usuario de diseño sencillo utilizando PyQT, la API pygds de GTEC y los hilos de Python. Esta interfaz permite mostrar la tarea y grabar las señales eléctricas cerebrales simultáneamente, facilitando así el almacenamiento y exportación de los datos obtenidos con el equipo GTEC. Todo esto se logra de manera intuitiva y amigable para el usuario, gracias a la inclusión de botones que permiten una fácil interacción con la interfaz.

Por otro lado, se destaca la obtención de ERPs confiables y representativos mediante la realización de la tarea ERT y su debido procesamiento de datos, lo que ha permitido validar el funcionamiento del equipo GTEC en la adquisición de señales eléctricas cerebrales y garantizar la calidad de los resultados obtenidos. No obstante, es esencial tener en cuenta que la interpretación de los datos EEG y ERP puede ser compleja y subjetiva, por lo que se sugiere el uso de ANOVAs para respaldar o rechazar lo análisis realizados.

VIII. RECOMENDACIONES

Estrategias para la Eliminación Selectiva de Trials y Canales

En el presente estudio, se llevó a cabo un minucioso análisis de los datos obtenidos de los voluntarios que participaron en la investigación. Durante este proceso, se identificó una diferencia significativa en los resultados de uno de los voluntarios en comparación con el resto. Esta disparidad quedó evidente al graficar individualmente los ERPs de cada sujeto y canal.

Ante esta situación, se optó por descartar por completo los datos de dicho sujeto, lo cual resultó en una pérdida significativa de información relevante para el estudio. En retrospectiva, habría sido más adecuado emplear una estrategia de filtrado exhaustivo de los datos, identificando y eliminando únicamente aquellos "trials" o ensayos que presentaran problemas, en lugar de desechar todos los datos del sujeto en cuestión. Incluso, en el caso de que múltiples "trials" del mismo canal estuvieran afectados, hubiese sido más conveniente eliminar solo el canal en lugar de descartar toda la información del sujeto.

El filtrado de datos podría haberse llevado a cabo utilizando diferentes técnicas, como umbrales de desviación estándar o amplitud, o mediante correlación, para eliminar únicamente aquellos datos que se alejaran significativamente del comportamiento esperado. Es importante tener precaución para no eliminar un número excesivo de "trials" del mismo estímulo, con el fin de preservar una cantidad representativa de datos y evitar sesgos en el análisis.

Es fundamental destacar que, en futuros estudios con una mayor cantidad de información y la participación de más voluntarios, podrían surgir desafíos adicionales en la obtención de las señales de EEG. Por lo tanto, resulta esencial implementar estrategias automáticas de eliminación de "trials" defectuosos para asegurar, en general, la obtención de ERP representativos de las poblaciones en estudio, maximizando el uso de la información disponible.

Análisis Estadístico con ANOVA en el Estudio del Componente N170 en ERPs

El análisis realizado en el presente trabajo observando las gráficas de ERPs no es tan confiable como lo sería un análisis con estadística en ANOVA debido a varios factores, entre ellos: [8]

- **Subjetividad en la interpretación:** Al analizar las gráficas de ERPs de manera visual, existe un riesgo de sesgo y subjetividad en la interpretación de los resultados. Los investigadores podrían verse influenciados por sus expectativas o prejuicios, lo que podría afectar la objetividad del análisis.
- **Falta de rigurosidad estadística:** El análisis visual de las gráficas de ERPs no proporciona una evaluación cuantitativa y rigurosa de las diferencias observadas. No se realiza una comparación estadística formal entre las condiciones o grupos, lo que podría llevar a conclusiones erróneas o poco fundamentadas.
- **Ausencia de control de variables:** Sin un análisis estadístico adecuado, es difícil controlar y considerar todas las variables relevantes que podrían estar influyendo en las diferencias observadas. La estadística en ANOVA permite controlar factores confusos y determinar la significancia estadística de las diferencias entre condiciones.

Como trabajo futuro, se sugiere realizar un análisis más riguroso utilizando estadística en ANOVA para examinar las diferencias en el componente N170 en respuesta a los estímulos. La ANOVA permitirá evaluar de manera objetiva si las diferencias observadas entre las respuestas a rostros y palabras son estadísticamente significativas y no se deben al azar. Además, al realizar un análisis con ANOVA, se podrían incluir medidas de significancia estadística, como valores de p, lo que proporcionaría una base más sólida para las conclusiones del estudio.

El uso de ANOVAs permitirá también controlar y ajustar las variables relevantes, como la valencia emocional, la carga semántica u otros factores que puedan influir en las diferencias observadas. Esto garantizaría que las conclusiones obtenidas sean más confiables y respaldadas por una sólida base estadística.

Ampliando el Alcance: Pilotajes Incluyendo Personas Expuestas al Conflicto Armado

Una vez se haya completado el protocolo con los dos puntos mencionados anteriormente, se propone planificar pilotajes adicionales con una población más diversa, incluyendo el grupo de interés principal de la investigación: personas que han estado expuestas al conflicto armado. El propósito de estos nuevos pilotajes sería obtener datos más enriquecedores y representativos. La inclusión de participantes con experiencias relacionadas con el conflicto armado permitirá analizar de manera más significativa cómo estas vivencias pueden influir en las respuestas neuronales y cognitivas, especialmente en relación con el componente N170. Esto contribuirá a una investigación más rigurosa y relevante en el campo de la neurociencia cognitiva y social en personas expuestas al conflicto armado.

Referencias

- [1] S. M. V. Betancur, «Electrophysiological reorganization during emotional processing,» *Universidad de Antioquia - Corporación de Ciencias Básicas Biomédicas*, 2019.
- [2] S. P. Trujillo, S. Valencia, N. Trujillo , J. E. Ugarriza, M. V. Rodríguez , J. Rendón , D. A. Pineda, J. D. López , A. Ibañez y M. A. Parra , «Atypical Modulations of N170 Component during Emotional Processing and Their Links to Social Behaviors in Ex-combatants,» *Frontiers in human neuroscience*, n° <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00244>, 2017.
- [3] «g.Nautilus RESEARCH Wearable EEG Cap,» g.tec Medical Engineering GmbH., [En línea]. Available: <https://www.gtec.at/product/gnautilus-research/>.
- [4] T. C. Handy, *EEG Methods for the Psychological Sciences*, 2014.
- [5] K. Johanna y O.-C. J. Carlos, «Evaluación emocional de adultos con TDAH a través de potenciales,» *Arch Neurocién*, 2021.
- [6] «g.RECORDER BIOSIGNAL RECORDING SOFTWARE,» [En línea]. Available: <https://www.gtec.at/product/grecorder/>.
- [7] M. Kaur y D. Singh, «A comparative study of alpha waves in EEG with eyes open and closed.,» *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2019.
- [8] T. K. P. Shri y N. S. a. V. Bhat, «Characterization of EEG signals for identification of alcoholics using ANOVA ranked approximate entropy and classifiers,» *International Conference on Circuits, Communication, Control and Computing, Bangalore, India*, 2014.
- [9] «Pygame. "Pygame - Python Game Development." Sitio web oficial.,» [En línea]. Available: <https://www.pygame.org/>.
- [10] «The Qt Company. "QWidget Class | Qt Widgets 6.1.3." Qt Documentation.,» [En línea]. Available: <https://doc.qt.io/qt-6/qwidget.html> .
- [11] V. Henao Isaza, «Desarrollo de una herramienta para la evaluación de la fisiología visual usando electroencefalografía portable y de bajo costo,» *UdeA*, 2020.
- [12] «Documentación oficial de threading en Python:,» [En línea]. Available: <https://docs.python.org/3/library/threading.html>.

-
- [13] «Documentación oficial de Pandas,» [En línea]. Available: <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/>.
- [14] «Documentación oficial de openpyxl,» [En línea]. Available: <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/>.
- [15] «GL105 Series Photoresistor,» Arduino, Robótica, Componentes Eletrônicos e Ferramentas, [En línea]. Available: https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=760.
- [16] *LF411 JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIER POST OFFICE BOX 655303*, 1987.
- [17] F. M. Bonilla y J. D. Leongómez, «EFECTOS EN LA AMPLITUD Y LA LATENCIA DEL COMPONENTE N170 ANTE LA PRESENTACIÓN DE ROSTROS EMOCIONALES DE IRA Y MIEDO,» *Psychologia. Avances de la Disciplina*, 2015.