



ACTUALIZACIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN SISTEMA DE EEG

Lizeth Andrea Giraldo Vélez

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, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Giraldo Vélez [1]
Referencia	[1] L. A. Giraldo Vélez, “Actualización y puesta a punto de un sistema de EEG”, Proyecto de investigación en Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Medellín, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Grupo de Investigación

Sistemas Embebidos e Inteligencia Computacional (SISTEMIC).



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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 de 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

Este trabajo está dedicado con amor y cariño a mis amados padres, por su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de mi vida. A su vez, dedico este trabajo a mi querido hermano, por su complicidad y alegrías compartidas. Por supuesto, también con admiración y gratitud dirijo este trabajo a mi respetado asesor José David López Hincapié, por su paciencia y asesoría constantes a este proyecto. Su conocimiento y apoyo han sido fundamentales para mi crecimiento académico y profesional en Bioingeniería. Finalmente, quiero reconocer a mi profesor del colegio Diego Alejandro Trujillo, quien representó una fuente de inspiración académica importante para llegar al mundo de la ingeniería.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por regalarme la posibilidad de estudiar una carrera universitaria y brindarme la oportunidad de plasmar en estas líneas el último compromiso académico de mi carrera profesional.

Agradezco de corazón a quienes, con sus valiosas contribuciones, han sido parte fundamental del éxito de este proyecto de investigación realizado con tanta dedicación.

- ❖ Para comenzar, agradezco profundamente a mis padres por su acompañamiento constante, brindándome alientos en los momentos difíciles. Su amor ha sido un gran impulso para superar los desafíos y perseverar en la consecución de este logro.
- ❖ Seguidamente, quiero reconocer y agradecer a mi hermano por su carisma y comprensión. Por apoyarme de manera constante con palabras de aliento y abrazos.
- ❖ Agradezco al docente José David López Hincapié por su acompañamiento en la realización de este trabajo de investigación y en el transcurso de mi carrera profesional, permitiéndome explorar diversos campos de la Bioingeniería.
- ❖ Mi más sincero agradecimiento se extiende a mi amiga y colega Marisol Correa Gutiérrez, cuya colaboración fue esencial para la culminación exitosa de este proyecto. Con sus conocimientos y contribuciones, tuve la posibilidad de hacer más ameno este proceso llamado “Realización de trabajo de grado”. Este proyecto se hizo realidad gracias a su valiosa participación.
- ❖ Asimismo, quiero expresar mi gratitud al representante de BioSemi en Bogotá Claudio de la Rosa, por su amable y atenta colaboración en la resolución de problemas presentados con el dispositivo de adquisición. Su valiosa ayuda permitió avanzar con el proyecto de investigación.
- ❖ Agradezco a la psicóloga Stella Maris Valencia Betancur por su orientación técnica con el equipo BioSemi ActiveTwo.
- ❖ Para finalizar, agradezco de corazón a la Universidad de Antioquia y al programa de Bioingeniería por permitirme la formación como profesional integral y competente, otorgándome formación de calidad para un exitoso camino laboral

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	9
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
III. MARCO CONCEPTUAL	13
IV. OBJETIVOS	18
A. Objetivo general	18
B. Objetivos específicos	18
V. MATERIALES	19
VI. METODOLOGÍA	21
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
VIII. CONCLUSIONES	42
IX. RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO	43
REFERENCIAS	44

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Gorro para ubicación de 64 electrodos	13
Fig. 2. Equipo de adquisición BioSemi ActiveTwo	18
Fig. 3. Electrodo activo tipo plano	19
Fig. 4. Modo de conexión del dispositivo BioSemi ActiveTwo	20
Fig. 5. Estructura de la tarea ERT	23
Fig. 6. Software ActiView cuando no se conectan las tierras adecuadamente	24
Fig. 7. Pines del cable que es conectado al puerto trigger input/output	25
Fig. 8. Interfaz del aplicativo USB to Parallel Software	27
Fig. 9. Diferentes formatos para visualización de triggers en ActiView	28
Fig. 10. Procedimiento para utilización de sensores activos planos	29
Fig. 11. Ubicación de electrodos para medición de ECG	30
Fig. 12. Ubicación de electrodos para medición de EOG vertical y horizontal	30
Fig. 13. Registro de ECG y EOG vertical y horizontal en sesión de prueba de funcionamiento	31
Fig. 14. Eliminación de épocas/canales defectuosos	33
Fig. 15. ERP del sujeto 2 con ambas categorías del canal P10	39
Fig. 16. ERP del sujeto 5 con ambas categorías del canal P10	39
Fig. 17. Grand Average con ambas categorías del canal P10	40

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

EEG	Electroencefalografía
ERP	Event-Related Potential
ECG	Electrocardiograma
EOG	Electrooculograma
ERT	Emotional Recognition Task
SISTEMIC	Sistemas Embebidos e Inteligencia Computacional
GISAME	Grupo de Investigación en Salud Mental
ms	Milisegundos
CMS	Common Mode Sense
DRL	Driven Right Leg
BDF	Biosemi Data Format
SNC	Sistema Nervioso Central
AIB	Analog Input Box
μV	Microvoltios

RESUMEN

Este proyecto pretende poner nuevamente en funcionamiento el equipo de adquisición de señales de EEG, BioSemi ActiveTwo, y actualizar la metodología que se lleva a cabo para el registro de señales de electroencefalografía mediante la implementación de nuevos sensores que permitan el registro de biopotenciales tales como el EOG y ECG, los cuales facilitan la eliminación de señales que no son de interés para el análisis de la actividad eléctrica cerebral, permitiendo así la obtención de registros más depurados. Para este fin, fue necesaria la exploración de distintas alternativas que permitieran el envío de triggers utilizando el equipo BioSemi ActiveTwo, sincronizar una tarea sociocognitivo-conductual basada en el reconocimiento de estímulos con contenido emocional en el entorno Python con el software ActiView y comprender el funcionamiento de los nuevos sensores para la adquisición de ECG y EOG; estos últimos se incorporaron con el objetivo de implementar filtros adaptativos que mejoraran el post procesamiento de las señales. Para validar el óptimo desempeño del equipo, se llevaron a cabo un pre pilotaje y un pilotaje con sujetos de edades comprendidas entre los 21 y 29 años, que permitieron garantizar que todo funciona adecuadamente; las señales adquiridas fueron sometidas a 2 etapas: Preprocesamiento y post procesamiento para obtener ERPs y realizar un análisis del procesamiento emocional de los sujetos.

***Palabras clave* — EEG, BioSemi ActiveTwo, biopotenciales, procesamiento, filtros adaptativos, triggers.**

ABSTRACT

This project aims to put back into operation the BioSemi ActiveTwo EEG signal acquisition system and update the methodology used for the recording of electroencephalography signals, by implementing new sensors that allow recording biopotentials such as EOG and ECG, which facilitate the elimination of signals that are not of interest for the analysis of brain electrical activity, providing more refined recordings. To this purpose, it was necessary to explore different alternatives to send triggers using the BioSemi ActiveTwo equipment, synchronize a socio-cognitive-behavioral task based on the recognition of stimuli with emotional content in the Python environment with the ActiView software and understand the operation of the new sensors for the acquisition of ECG and EOG; the latter were incorporated to implement adaptive filters to improve signal post-processing. To validate the optimal performance of the equipment, a pre-piloting and a pilot test were carried out with subjects aged between 21 and 29 years, which ensured that everything worked properly. The acquired signals were subjected to two stages: preprocessing and postprocessing to obtain ERPs and perform an analysis of the emotional processing of the subjects.

***Keywords* — EEG, BioSemi ActiveTwo, biopotentials, postprocessing, adaptive filters, triggers.**

I. INTRODUCCIÓN

Los grupos de investigación SISTEMIC y GISAME de la Universidad de Antioquia, han estado trabajando de forma conjunta desde 2013 con la población afectada por el conflicto armado colombiano para identificar, a partir del grado de exposición al conflicto, las alteraciones a nivel cerebral de las personas con el objetivo de contribuir a la reintegración de los excombatientes y víctimas del conflicto armado a la sociedad, dado que se ha identificado que la experiencia de combate está asociada a menudo a un funcionamiento cognitivo atípico y un incremento en el riesgo de enfermedades mentales. De manera particular, se ha reportado un procesamiento emocional atípico en excombatientes [1].

Con base en la literatura, se sabe que intervenciones cognitivas basadas en entrenamientos socio-emocionales mejoran la interacción social entre individuos que estuvieron expuestos al conflicto armado [1], por lo cual los grupos de investigación han diseñado un protocolo con base a la literatura que comienza evaluando el estado sociocognitivo inicial de los sujetos mediante algunas pruebas psicológicas y de EEG; posteriormente, se lleva a cabo un programa de intervención que busca mejorar las habilidades de reconocimiento emocional hacia emociones básicas, sociales, comunicación asertiva, entre otras habilidades que se ven afectadas por la exposición a largos períodos de violencia; dicho entrenamiento, es llevado a cabo por parte del personal especializado de los grupos de investigación; para finalizar, se realizan las mismas evaluaciones iniciales con el fin de determinar si se logró una mejoría o no en la población intervenida.

Con lo anterior, es posible entender la importancia que tienen las pruebas de electroencefalografía para el correcto desarrollo del protocolo con la población afectada, pues el análisis de las señales de EEG que son registradas mientras los sujetos realizan la tarea da cuenta de las alteraciones y mejorías que tienen los sujetos en el reconocimiento de emociones. Dichas alteraciones pueden ser detectadas mediante el análisis de los ERP (Event-Related Potential), cambios de voltaje que pueden ser detectados en las señales de EEG y permiten evaluar variaciones de características específicas mediante la comparación de una población de control (personas que no han estado expuestas al conflicto) y una población afectada.

Es por esta razón que en los grupos de investigación se utilizan paradigmas de reconocimiento emocional para obtener los ERP. En el presente trabajo de investigación se hizo uso de la tarea

ERT (Emotional Recognition Task), la cual está programada en el entorno Python y contiene estímulos visuales con valencias positivas, negativas y neutras que corresponden a rostros; además, incluye valencias agradables, desagradables y neutras que corresponden a palabras; dichos estímulos hicieron parte de trabajos previos, por lo que se encuentran debidamente caracterizados.

Las señales de EEG tienen amplitudes muy bajas (en el orden de los μV), por lo que se ven fácilmente afectadas por fuentes externas de ruido o incluso otros biopotenciales propios del cuerpo humano de cada sujeto, lo que tiene un alto impacto en la obtención de los ERPs, dado que, si la calidad de los registros no es adecuada, el análisis de los ERPs será erróneo. Usualmente, se hace necesario tomar los registros de electroencefalografía en zonas alejadas de la ciudad de Medellín, dado que son los lugares donde residen las personas que han sido afectadas por el conflicto armado colombiano; dicha situación no permite tener el control de la mayoría de las variables del entorno físico con el fin de tener señales limpias, lo que supone un reto para la adquisición de los registros.

En busca de alternativas que permitan mitigar ruido en los registros de EEG, se plantea la implementación de filtros adaptativos de los biopotenciales generados por el ECG y EOG para lograr una mejor eliminación de artefactos que distorsionan la señal de interés, puesto que esto reduciría significativamente el ruido que es provocado por la actividad del cuerpo mientras se realiza la prueba de EEG, permitiendo la obtención de un ERP menos contaminado.

En la ejecución del proyecto se logró el óptimo desempeño del equipo BioSemi ActiveTwo y posteriormente, se emplearon electrodos planos para adquisición de los biopotenciales de EOG y ECG; además, se realizaron un pre-pilotaje y un pilotaje que permitieron validar el funcionamiento del dispositivo, cuyos registros obtenidos pasaron por la etapa de preprocesamiento y postprocesamiento para la obtención de ERPs que posibilitaron el análisis del grupo de estudio.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde el 2013 se han realizado diferentes investigaciones para demostrar las afectaciones en los excombatientes y se han diseñado diferentes protocolos con el fin de contribuir en el proceso de reintegración de esta población afectada por el conflicto en la sociedad. A lo largo del proceso, se ha hecho uso de diferentes dispositivos que permiten validar la información teórica, uno de estos es el equipo de adquisición de señales EEG BioSemi ActiveTwo, un equipo de alta densidad que permite la conexión de hasta 256 electrodos en el cuero cabelludo y ofrece la posibilidad de utilizar sensores complementarios para la medición de biopotenciales adicionales.

La operación del equipo se vio interrumpida debido a inconvenientes técnicos que surgieron a partir de la actualización del sistema informático empleado. El fallo en el computador que se utilizaba resultó en la incompatibilidad con los programas empleados. Como consecuencia de la actualización de sistemas operativos, la metodología que antes estaba establecida quedó obsoleta impidiendo la continuidad de las mediciones. Adicionalmente las tareas computacionales antes utilizadas estaban programadas en versiones desactualizadas de los lenguajes de programación y por lo tanto, no era posible la utilización del equipo para registros de EEG.

El presente trabajo surge de la necesidad de poner en funcionamiento el dispositivo de adquisición y actualizar el protocolo de toma de datos de EEG de los grupos de investigación, asegurando su correcta operación, realizando la sincronización con tareas sociocognitivo-conductuales, verificando el envío de triggers con el software de adquisición y adicionalmente, incorporando medidas de los biopotenciales de ECG y EOG con sensores complementarios para mejorar la eliminación de artefactos en el postprocesamiento.

III. MARCO CONCEPTUAL

El electroencefalograma (EEG) se rige como una técnica fundamental para investigar la actividad electrofisiológica cerebral mediante la disposición estratégica de electrodos en el cuero cabelludo a través de la medición de diferencias de potencial eléctrico entre estos. La elección de dispositivos médicos o de investigación introduce variaciones clave en parámetros como la cantidad de electrodos, aspectos que influyen directamente en la calidad de los datos recopilados [2].

Los electrodos activos empleados para EEG del equipo BioSemi ActiveTwo, permiten una buena captura de datos en la medida que solucionan problemas de alta impedancia y blindaje del cable, integrando la primera etapa amplificadora con un electrodo sinterizado Ag/AgCl; estos se diferencian de los pasivos, por su etapa de pre-amplificación de bajo ruido en el lugar de registro y además, su diseño permite la toma de datos sin la necesidad de emplear gel abrasivo en el cuero cabelludo de los sujetos [3].

Para la definición espacial de los electrodos en el cuero cabelludo, existen diferentes sistemas de referencia, siendo el sistema de referenciación 10/20 el más conocido y utilizado por su estratégica ubicación; recibe este nombre dado que los números 10 y 20 se refieren a que las distancias entre los electrodos adyacentes están entre 10 o 20 grados del perímetro de la cabeza, la distancia entre el nasión e inión o la distancia derecha-izquierda del cráneo. Cada sitio tiene una letra que permite identificar el lóbulo (F: Frontal, T: Temporal, C: Central ¹, P: Parietal, O: Occipital) y un número para identificar el hemisferio, usando números pares para referirse al hemisferio derecho y números impares para el hemisferio izquierdo; además, se emplea la letra “z” para referirse a un electrodo que se encuentra ubicado en la línea media de la cabeza [4]; sin embargo, el equipo de adquisición BioSemi cuenta con un gorro que se ubica en la cabeza con 64 electrodos activos, empleando el sistema de referenciación 10/10, dado que las distancias entre electrodos corresponden únicamente a 10°.

¹ No existe un lóbulo central, la letra “C” es utilizada únicamente para fines de ubicación.

La ubicación de los electrodos en el cuero cabelludo se realizó mediante un gorro del equipo BioSemi ActiveTwo como el que se muestra en la figura 1, que permite la conexión de 64 canales.



Fig. 1. Gorro para ubicación de 64 electrodos

En el presente trabajo de grado se pretenden obtener ERPs (Event-related potential) mediante el procesamiento de las señales de electroencefalografía, las cuales serán registradas mientras los sujetos, de manera simultánea, realizan una tarea sociocognitivo-conductual. Los ERPs se pueden obtener a través de la estimulación sensorial, por ejemplo, de tipo visual, auditiva u olfativa, y corresponden a la suma de potenciales postsinápticos generados por grandes poblaciones de neuronas que reflejan la actividad eléctrica del cerebro, relacionada sincrónicamente con la presentación de un estímulo [5]; dada su baja amplitud (en el orden de los μV), son obtenidos a través del promedio de varios segmentos de la señal de EEG donde se presentaron estímulos de la misma valencia emocional [6]; generalmente, se le pide al sujeto que dé una respuesta conductual ante determinados estímulos, como apretar un botón o tecla cada vez que estos sean detectados. Con esta información es posible determinar detalles acerca de cómo el sujeto procesa la información y algunos procesos cognitivos que son de gran interés para el estudio de poblaciones.

La tarea sociocognitivo-conductual corresponde a la ERT (Emotional Recognition Task), una tarea de reconocimiento emocional diseñada en el entorno Python por los grupos de investigación SISTEMIC y GISAME de la Universidad de Antioquia; dicha tarea, consiste en la presentación de 360 estímulos, distribuidos en 180 palabras y 180 imágenes de rostros, que

se presentan al sujeto en dos bloques diferentes. Cada bloque contiene la misma cantidad de palabras o imágenes de cada valencia emocional: agradable, neutral y desagradable para las palabras, y alegre, neutra y enojada para los rostros. Las palabras fueron seleccionadas del corpus lingüístico generado por el departamento de comunicación de la Universidad de Antioquia, mientras que las imágenes consisten en fotografías de rostros de hombres y mujeres tomadas de la base de datos de expresión facial de MMI [7].

La onda que resulta de los ERP se estudia dividiéndola en distintos componentes, los cuales se pueden medir por la amplitud (tamaño de la onda), latencia (tiempo después del estímulo en milisegundos) y polaridad (voltaje positivo o negativo). Es posible reconocer componentes exógenos o tempranos, que están relacionados con las características físicas del estímulo y ocurren antes de los 100 ms, y componentes endógenos o tardíos, que se relacionan con las operaciones cognitivas dadas durante la presentación del estímulo y aparecen a partir de los 100 ms. Teniendo en cuenta la naturaleza de los estímulos presentados en la tarea ERT, hay dos componentes de gran interés en el análisis de los ERPs: N170 y LPP. Se ha demostrado que el componente N170 presenta una onda de mayor amplitud alrededor de los 170 ms cuando se observan imágenes de rostros. Esta respuesta se manifiesta con una actividad neuronal más intensa en la región occipitotemporal [8], estableciendo así una clara asociación con el reconocimiento y procesamiento de rostros [9]; el Late Positive Potential (LPP), por su parte, tiene una notable distinción cuando se presentan estímulos con contenido emocional, presentando variaciones cuando los estímulos son neutros o enojados [10].

Para el correcto análisis de las señales de EEG, son necesarias las etapas de preprocesamiento y postprocesamiento. La primera, consiste en la eliminación de ruidos y artefactos que distorsionan en gran medida la señal, mientras que el postprocesamiento consiste en la aplicación de técnicas estadísticas para encontrar diferencias entre condiciones o sujetos. A continuación se describen algunos pasos importantes para el análisis de los datos:

- Re-referenciación al promedio: El voltaje es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, por lo que se hace necesario especificar respecto a qué se mide tal potencial (referencia). La selección del sitio más adecuado se realiza considerando los lugares eléctricamente más neutrales; en la práctica, siempre habrá una actividad eléctrica por

mínima que sea, de manera que, al escoger el promedio de todos los electrodos, se considera que “se anulan” los voltajes positivos con los negativos.

- Remuestreo: Los equipos de alta densidad ofrecen la posibilidad de tomar datos con altas frecuencias de muestreo; sin embargo, la alta cantidad de datos genera un gasto computacional significativo al momento de realizar el procesamiento, por lo cual se reduce la frecuencia de muestreo facilitando el procesamiento sin perder demasiada información de la señal.
- Filtrado: Esta herramienta es necesaria para la mejora de la relación señal-ruido en los datos electrofisiológicos. Con la implementación de un filtro pasa altas se eliminan frecuencias artefactuales tales como los movimientos oculares y el ruido ambiental; el filtro pasa bajas, elimina frecuencias altas como las generadas por el EMG y la señal de la red eléctrica de 60 Hz.
- Extracción de épocas: La señal se divide en épocas, cada época incluye un evento específico que es presentado en la tarea. Tal segmentación facilita la identificación y comparación de patrones de actividad cerebral relacionados con cada valencia.
- Corrección de línea de base: La línea de base es una señal que está presente antes de que se presente el evento y puede tener interferencias que afectan el ERP, por lo que se elimina la actividad basal del sujeto para evitar posibles distorsiones en el análisis.
- Eliminación de épocas y canales defectuosos: Se realiza una revisión de las épocas y los canales empleando herramientas estadísticas que permiten detectar aquellos que contienen artefactos. Esto permite mejorar el análisis de los resultados y la interpretación de las respuestas cerebrales.
- Promedio de datos por condiciones y sujetos: Es necesario analizar de manera independiente las valencias emocionales, por lo que se promedian los datos por condición y por sujeto para reducir efectos individuales.
- Grand Average: El Grand Average es un promedio de las señales preprocesadas ya libres de ruido y artefactos; es necesario, ya que este tipo de estudios se realizan en grupos de personas, no de manera individual, por lo que es posible identificar patrones consistentes y significativos en grupos poblacionales, como los excombatientes.

En algunos estudios se implementan técnicas para mejorar la eliminación de artefactos, entre estas se encuentra el uso de filtros adaptativos. Los filtros adaptativos tienen por objeto simular o modelar el comportamiento de una variable de interés para facilitar su eliminación; se pueden implementar con base en algoritmos especializados o con la utilización de sensores que midan las señales de interés.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Actualizar la metodología de adquisición de señales de EEG del grupo de investigación mediante la puesta a punto de un equipo de electroencefalografía y la implementación de sensores que permitan capturar variables electrofisiológicas de interés.

B. Objetivos específicos

- Poner a punto el equipo de adquisición de señales de electroencefalografía.
- Implementar los sensores de medición de variables fisiológicas y sincronizarlos a los registros de EEG.
- Sincronizar el sistema de EEG con un paradigma de reconocimiento emocional bajo un entorno de programación.

V. MATERIALES

Para la adquisición de las señales de electroencefalografía se hizo uso del equipo de alta densidad BioSemi ActiveTwo, un dispositivo de alta resolución que permite la medición de biopotenciales para aplicaciones de investigación.



Fig. 2. Equipo de adquisición BioSemi ActiveTwo

Este dispositivo permite la conexión de hasta 256 electrodos activos en el cuero cabelludo dispuestos en un gorro y de manera adicional, posibilita conectar 8 electrodos planos para el registro de otros biopotenciales. Además, su sistema de referencia activa, basado en la tecnología Common Mode Sense (CMS) y Driven Right Leg (DRL), contribuye a la supresión de interferencias comunes y mejora la calidad de las señales [11].

Para la medición de los biopotenciales de ECG y EOG se utilizaron electrodos activos de BioSemi. Los electrodos activos tipo plano del equipo BioSemi son adecuados para todas las aplicaciones de superficie corporal tales como ECG, EMG, EOG, etc. Se adhieren fácilmente a la piel con discos adhesivos, reducen los artefactos por movimiento y poseen una longitud que permite un montaje cómodo para los sujetos.



Fig. 3. Electrodoos activos tipo plano

Los electrodos son de Ag/AgCl sinterizado, por lo que proporcionan muy poco ruido y se encuentran numerados para facilitar el reconocimiento de los canales en el software ActiView como se evidencia en la figura 3.

VI. METODOLOGÍA

Modo de operación del equipo BioSemi ActiveTwo

La adquisición y transmisión de los datos ocurre de manera análoga, y necesita de 2 computadores que desempeñan cada uno un papel diferente. El computador 1 es el que recibe la información del equipo, por lo que es posible visualizar las señales en tiempo real; el computador 2, por su parte, cumple el papel de estimulación realizando el envío de triggers al computador 1 como muestra de que ocurrió un evento. En la siguiente figura es posible apreciar el modo de conexión del equipo:



Fig. 4. Modo de conexión del dispositivo BioSemi ActiveTwo

El dispositivo de adquisición (AD-box), que es conectado a la batería, envía la información por medio de un cable de fibra óptica (cable naranja) que ofrece un rechazo óptimo de interferencias y seguridad para los sujetos, a un dispositivo de entrada analógica AIB (Analog Input Box), el cual es el encargado de transmitir la información al computador 1. Si se requiere el envío de triggers, como es el caso de este trabajo, es necesario utilizar el conector *trigger input/output* ubicado en la parte trasera del AIB por medio de 2 cables; el primero posee en el extremo un conector sub-D hembra de 37 pines y en el extremo opuesto un conector de puerto paralelo. Dado que los computadores del laboratorio no cuentan actualmente con puerto paralelo, se emplea un segundo cable que tiene una entrada de puerto paralelo y una salida USB que es conectada al computador 2.

Para la visualización de las señales en tiempo real, se utiliza la interfaz de BioSemi *ActiView*. Este programa de código abierto implementado en LabVIEW ofrece una variedad de herramientas que facilitan la utilización del equipo. Entre las alternativas que ofrece, permite el monitoreo de las señales en tiempo real, realizar la grabación de los canales, posee un menú de “offset” en el que se pueden verificar los valores normales de impedancia en cada uno de los electrodos, posibilita ver señales diferenciales empleando los 8 sensores adicionales y modificar el tipo de trigger entre “analógico”, “decimal”, “hexadecimal”, “binario” y “personalizado”.

Los triggers son bastante comunes en estudios de electroencefalografía para enviar la marca de tiempo de eventos significativos tales como el inicio de un trial, la presentación de un estímulo particular, etc. Los triggers son bytes enviados mediante diversas maneras y que están sincronizados con el software del EEG y software de programación que se utiliza para presentar la tarea [12]. Para este estudio se establecieron 8 triggers de la siguiente manera:

- 1: Rostro enojado
- 2: Rostro neutro
- 3: Rostro alegre
- 4: Palabra desagradable
- 5: Palabra neutra
- 6: Palabra agradable
- 10: Respuesta correcta
- 11: Respuesta incorrecta

Solución al problema de conexión del equipo BioSemi

Para el adecuado funcionamiento del BioSemi ActiveTwo, se requiere emplear dos computadores: uno para la transmisión de las señales y otro para el envío de triggers. Cuando el dispositivo está encendido y se conectan ambos computadores, aparecen cada uno en el administrador de dispositivos y es posible escuchar un sonido que verifica la conexión. La comunicación entre el segundo computador y la AIB (Analog Input Box) se da mediante dos cables; el primero, posee en el extremo un conector sub-D hembra de 37 pines y en el extremo opuesto, un conector de puerto

paralelo; sin embargo, dado que los computadores del laboratorio no cuentan actualmente con puertos paralelos, se emplea un segundo cable con un conversor. Este conversor tiene una entrada de puerto paralelo y una salida USB mini, a la cual se conecta el cable que a su vez se enlaza con el segundo ordenador.

En la fase inicial del proyecto se evidenció que en el segundo computador no se estaba reconociendo el equipo, ya que no aparecía nada en el administrador de dispositivos y revisando la página oficial, se indicaba que al realizar la conexión se debía observar un puerto COM. La primera medida fue verificar la integridad del hardware, así que se comenzó por el reemplazo del cable USB mini – USB, dado que es un cable común. Cuando se realizó dicho cambio, fue posible ver el puerto COM5 en el segundo ordenador y verificar las propiedades del puerto creado para este dispositivo, resolviendo el problema de comunicación.

Tarea sociocognitivo-conductual

En los grupos de investigación se emplean diferentes tareas computacionales que pretenden evaluar características distintas; todas están programadas bajo el entorno de Python con la versión 3.10. Esta versión del software se encuentra bastante actualizada y permite un óptimo desarrollo de las tareas computacionales que allí se programan. Dado que se realizan jornadas de adquisición de datos periódicamente en zonas alejadas de Medellín, se emplean computadores portátiles en los que se realiza el proceso de instalación de los programas necesarios, razón por la cual se busca uniformidad en la versión de Python para todas las tareas, con el fin de prevenir posibles incompatibilidades entre versiones y simplificar los procesos de ejecución sin requerir pasos adicionales.

Como se mencionó en el planteamiento del problema, las tareas computacionales que estaban programadas para el BioSemi estaban en una versión desactualizada de Python que empleaba librerías obsoletas en las versiones recientes del software de programación. De manera que el primer paso consistió en la actualización del código de la tarea ERT para implementarlo en la versión 3.10 de Python y buscar cómo se podía realizar la sincronización con el equipo de adquisición.

El esquema que es presentado en la figura 5 muestra la estructura de la tarea ERT:

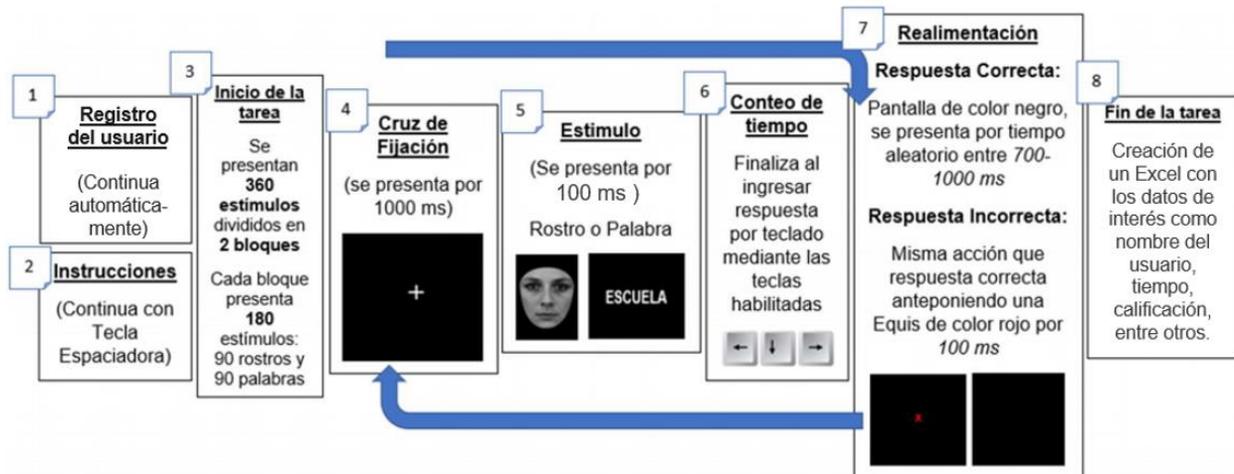


Fig. 5. Estructura de la tarea ERT

Para la actualización del código, fue necesaria la implementación de la librería *serial* de Python. Esta librería es utilizada para la comunicación en serie, que es la transmisión de datos bit a bit entre dos dispositivos; en este caso, se permite la conexión entre un programa en Python y el BioSemi ActiveTwo que es conectado al computador; cabe resaltar que, el puerto al que se conecta el dispositivo para establecer comunicación serial es USB, al cual se le asigna un puerto serie virtual a través del sistema operativo.

Mediante esta librería es posible abrir y cerrar puertos serie para establecer conexión, enviar datos desde Python a un dispositivo externo y recibir datos desde dicho dispositivo; para esto, es necesario configurar la velocidad de transmisión y asegurarse de que en ambos dispositivos esté configurada la misma velocidad. En este caso, la velocidad de transmisión es configurada a 9600 baudios; adicionalmente, se debe especificar cuál es el puerto que se desea escribir, siendo el puerto COM5 el asignado en este estudio.

Cuando el dispositivo está encendido y se conectan los electrodos para realizar una inspección de posibles problemas, en el software ActiView se visualizan “unos picos” en todos los canales como se aprecia en la figura 6, lo cual se pensaba que era un problema del equipo.

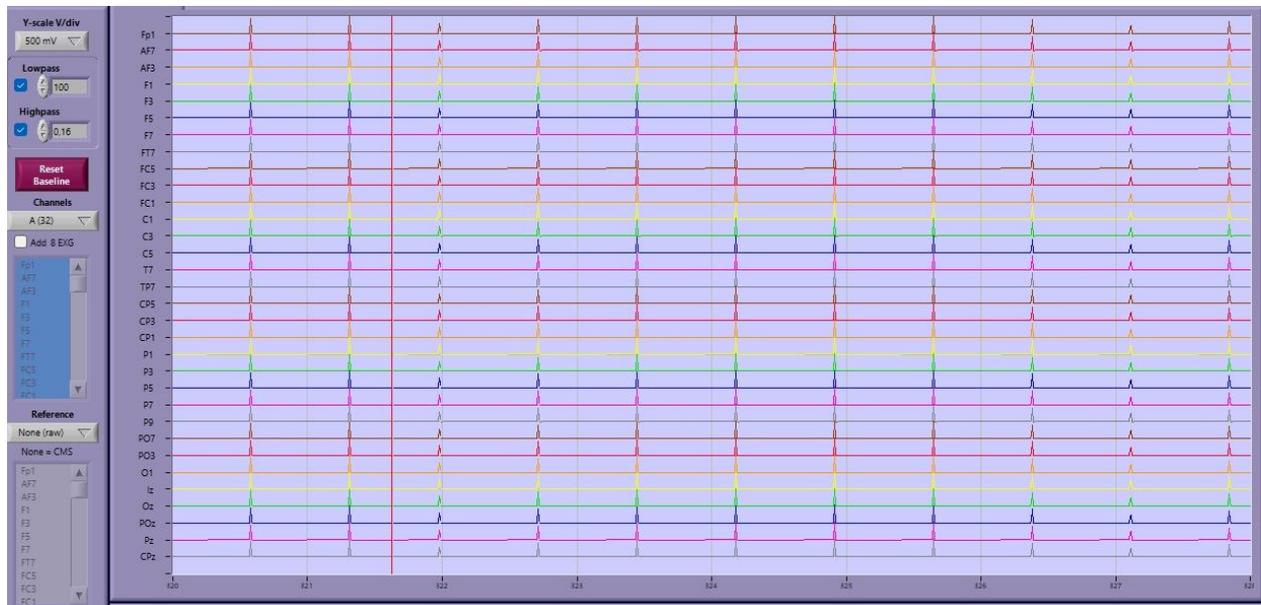


Fig. 6. Software ActiView cuando no se conectan las tierras adecuadamente

Después de la revisión bibliográfica, se comprendió que este pico es característico cuando los electrodos CMS y DRL, que corresponden a “la tierra” del equipo, no están bien conectados.

Solución al problema de envío de triggers

Una vez verificada la conexión del dispositivo, se llevó a cabo una prueba de envío de triggers desde el computador 2 al software ActiView en el computador 1. Para realizar esto, se empleó un código de Matlab encontrado en la página de BioSemi donde se explica que dicho código envía una marca a ActiView 500 veces con un intervalo de 0,5 segundos entre cada envío.

Cuando se ejecutó el código no apareció ningún error en la consola, creando inicialmente la impresión de que estaba en funcionamiento. Sin embargo, se observó que, a pesar de la apariencia de ejecución, no llegaban los triggers a ActiView.

Con base en este problema, se pensó que el código si estaba enviando las marcas, pero no le estaban llegando al ordenador 1, razón por la cual se consideró un posible daño en el cable que va conectado al puerto *trigger input/output*. Para descartar un posible fallo, se midió continuidad en los pines de dicho cable, mismos que son presentados en la figura 7.

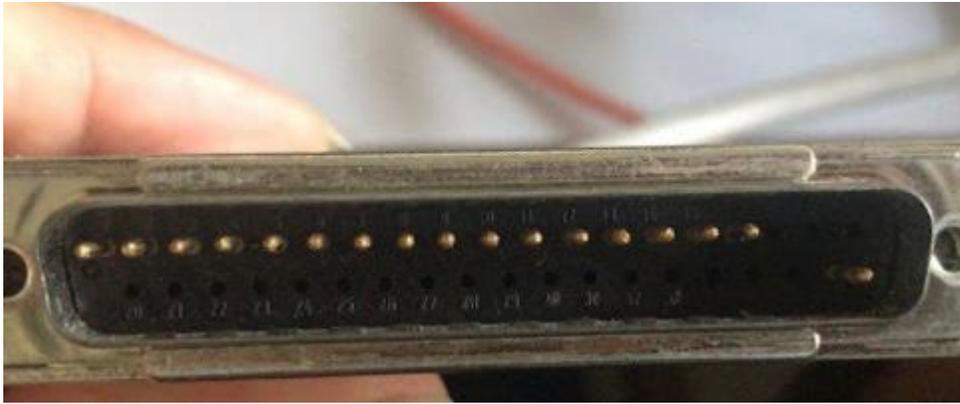


Fig. 7. Pines del cable que es conectado al puerto **trigger input/output**

En la página de BioSemi, hay una sección en la que se explica que el pin 37 corresponde a tierra, por lo que la continuidad fue medida con un multímetro entre todos los pines y el pin 37, corroborando que el cable estaba funcionando con normalidad.

En la búsqueda para encontrar la causa del problema, se exploró la posibilidad de cambiar el software, empezando con Psychopy, un software de código abierto basado en Python que es comúnmente empleado para estudios de EEG. En este programa se ingresaron los parámetros necesarios para establecer la comunicación con el BioSemi y se creó un experimento básico con el único fin de verificar si era posible el envío de las marcas; sin embargo, los resultados no cambiaron. El experimento se ejecutaba sin generar ningún error, pero las marcas no se estaban transmitiendo a ActiView.

En estudios previos, se logró sincronizar exitosamente otro dispositivo de adquisición de señales de EEG con el entorno de Python. Este logro se alcanzó programando el envío de las teclas presionadas por el sujeto al software de adquisición mediante código, empleando solo un computador. Con estos conocimientos y la fallida conexión con 2 computadores, se plantearon alternativas para replicar esta metodología con el BioSemi.

Mediante el software de Python se estableció comunicación con ActiView y se intentó simular el envío de las teclas, pero no fue posible visualizarlas en el software del equipo. Por otro lado, se pensó en utilizar una aplicación que permitiera fijar programas en el escritorio, para que ActiView quedara en primer plano de ejecución; para esto, se instaló la aplicación DeskPins, que permite

anclar aplicaciones al escritorio y quedan fijas así se utilicen o abran otros programas. La aplicación anclada al inicio fue ActiView, y se intentaron ejecutar las líneas de código que enviaban las marcas, pero tampoco eran transmitidas al software dado que quedaba fijo en el escritorio, pero seguía sin estar en primer plano.

Un tercer intento consistió en emplear dos monitores mediante la conexión por cable, con la señal visualizada en uno mientras se llevaba a cabo la tarea computacional en otro. Aunque esta alternativa mostró un funcionamiento parcial, la tarea está programada para que una vez presentado el estímulo, se espere hasta 10 segundos para recibir una respuesta del sujeto, si esto no ocurre, se continúa con el siguiente estímulo. Cuando se comenzó a ejecutar la tarea y se contestaba mediante teclas, ActiView parecía ejecutarse sin problema; no obstante, se observó que no recibía las marcas, se requería hacer clic en el monitor donde ActiView estaba en ejecución para que este estuviera en primer plano. Después de transcurrir los 10 segundos de haberse presentado el estímulo, se comprobaba que la marca sí llegaba finalmente a ActiView. Pero esto suponía un problema bastante complejo, dado que es necesario que la tarea computacional esté en primer plano para que los sujetos puedan clasificar los estímulos que son presentados en pantalla, por lo que también fue descartada esta opción.

Dados los resultados anteriormente descritos, se tomó la decisión de volver a intentar realizar el envío de los triggers utilizando 2 ordenadores. Para este fin, se buscó ayuda por parte de la empresa BioSemi ActiveTwo. En la página oficial informan cuáles son los canales de comunicación por medio de los cuales se puede establecer contacto con los representantes del equipo, y fue posible contactar a dos representantes por medio de correo electrónico, explicando de manera detallada la forma en la que se estaban realizando las conexiones y cómo se pretendían enviar los triggers. El primero en contestar, ubicado en las oficinas fabricantes del equipo (Ámsterdam), sugirió verificar conexiones realizadas (lo cual ya se había hecho) y el funcionamiento del código que se estaba utilizando; en vista de que seguía sin funcionar, sugirió utilizar el software *Termite* de BioSemi. Este software está diseñado para probar de una manera sencilla si los triggers están funcionando correctamente y como se esperaba, no funcionó.

De forma simultánea, el representante de BioSemi en Colombia ubicado en la ciudad de Bogotá respondió amablemente el correo, indicando que seguramente el problema se debía a que no se estaba abriendo el seguro del puerto del conversor USB, lo cual debía realizarse antes de cada sesión experimental con un aplicativo. Después de probar el aplicativo y no tener éxito, gentilmente aceptó realizar un soporte remoto para verificar cuál era el problema.

Para ello se instaló el aplicativo *USB to Parallel Software* enviado por el representante y el programa AnyDesk en ambos computadores para el correcto desarrollo de la sesión de soporte.

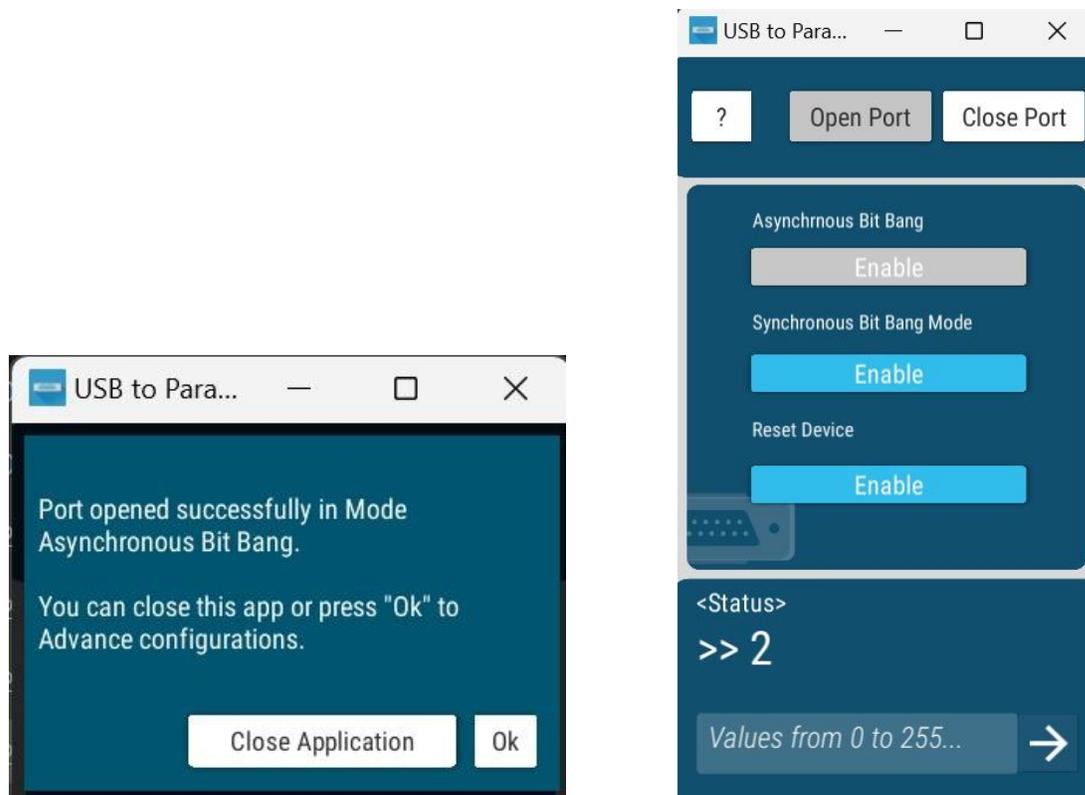


Fig. 8. Interfaz del aplicativo USB to Parallel Software

Cuando el programa fue licenciado por el representante, se observó una interfaz como la presentada en la figura 8. El programa reconoce cuándo el equipo está conectado y permite ingresar los datos del puerto que se desea abrir. Una vez realizado este paso, se puede presionar el botón “*Open Port*” y quitar el seguro para enviar información al puerto. Seguidamente, en el campo de entrada ubicado en la parte inferior del software, se pueden enviar los triggers a ActiView ingresando números del 0 al 255. Cuando se realizó este proceso, finalmente fue posible solucionar el problema, ya que se enviaron los triggers sin ningún inconveniente.

Cabe resaltar que el formato de los triggers se puede configurar de cinco modos diferentes, y cambia la manera en la que se presenta en la pantalla de ActiView. En la figura 9 se presenta la misma marca en los cinco formatos diferentes.

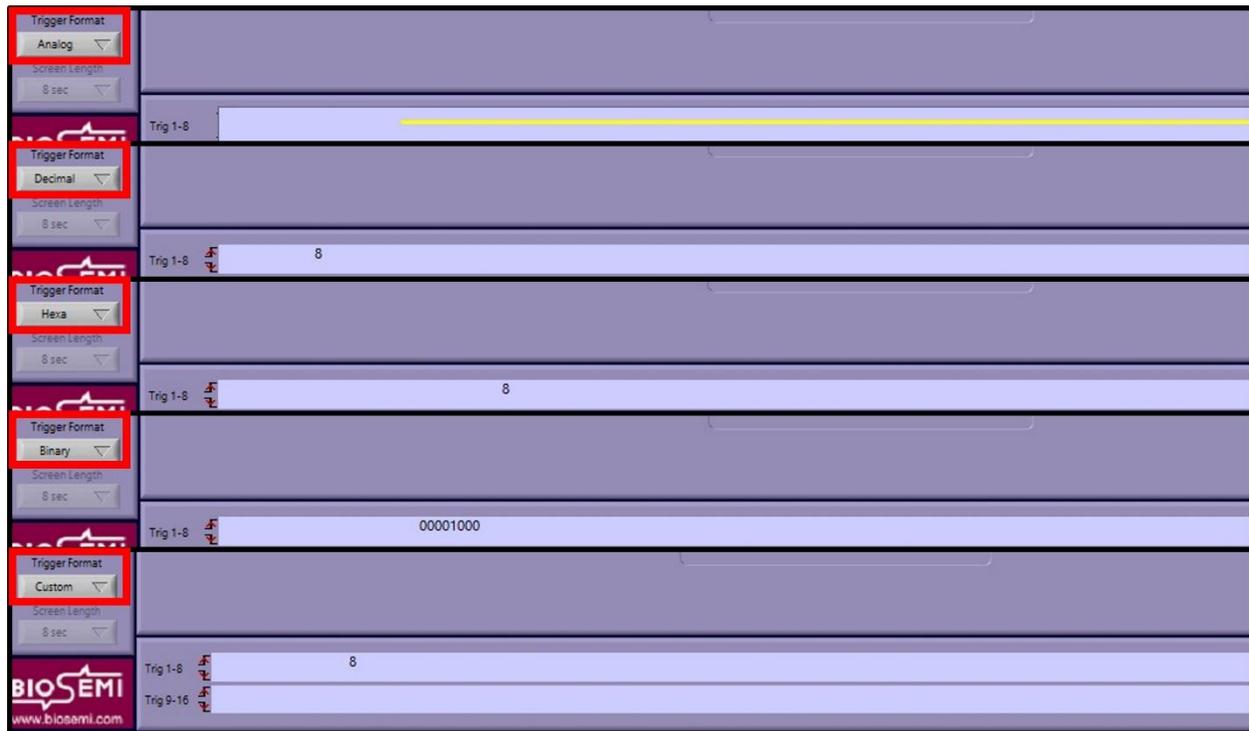


Fig. 9. Diferentes formatos para visualización de triggers en ActiView

Dado el orden de magnitud de las señales de EEG, estas se ven afectadas considerablemente por biopotenciales como el ECG y EOG. En este sentido, una estrategia efectiva para mejorar la calidad de las señales consiste en la implementación de filtros adaptativos para la medida de los biopotenciales de EOG y ECG, con el propósito de facilitar una eliminación más exhaustiva de artefactos. En este trabajo, se pretenden utilizar sensores para el montaje de filtros adaptativos con el fin de elevar la calidad de las señales obtenidas.

Funcionamiento de los sensores planos

Una vez solucionado el problema de los triggers, el siguiente paso fue documentarse sobre los electrodos con los que se realizaría la medición de otros biopotenciales.

El procedimiento para utilizar los sensores es ejemplificado mediante el siguiente diagrama con imágenes extraídas de la página de BioSemi.

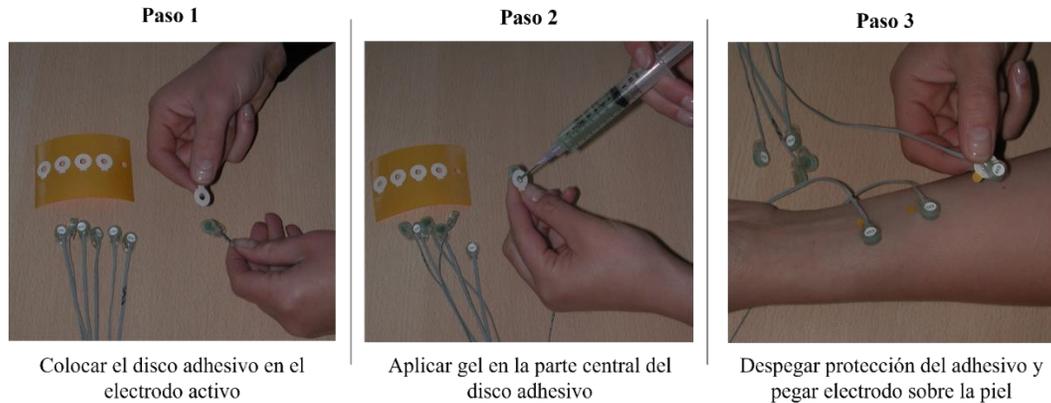


Fig. 10. Procedimiento para utilización de sensores activos planos

Para la visualización de las señales en ActiView se deben agregar los sensores en la barra de herramientas del lateral izquierdo, en la pestaña “Monopolar” haciendo clic en “Add 8 EXG”; esta opción permite visualizar los 8 canales y los de EEG que se encuentren conectados; si solo se quieren ver las señales de los 8 sensores nuevos, en el menú desplegable “Channel” se debe seleccionar EXG (8).

Protocolos para la medición del ECG y EOG

Para la adquisición de los biopotenciales se realizó una revisión detallada de la bibliografía con el fin de comprender cómo se realiza la adquisición de estas señales fisiológicas y cuál es la ubicación correcta de los electrodos.

Para la medición del ECG, se usaron tres electrodos [13] ubicados debajo de la clavícula y cerca del hombro derecho e izquierdo, y en la parte izquierda del abdomen. La ubicación de estos se presenta en la figura 11.



Fig. 11. Ubicación de electrodos para medición de ECG

Por otra parte, para la adquisición de señales de electrooculografía se utilizaron el EOG vertical y horizontal; el EOG vertical es el que registra el parpadeo, especial fuente de contaminación del EEG, mientras que el horizontal contiene información sobre el movimiento de los ojos que realice el sujeto hacia los lados o hacia arriba y abajo. La distribución de electrodos se presenta en la figura 12 [14]. Cabe resaltar, que se ubicaron los electrodos B - C para EOG vertical y D - E para EOG horizontal, descartando el electrodo A dado que se emplea como referencia, y ya se tienen estos electrodos en la adquisición de EEG.

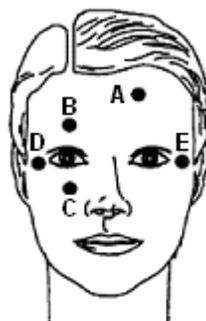


Fig. 12. Ubicación de electrodos para medición de EOG vertical y horizontal

Con las ubicaciones de los electrodos claras, se realizó una prueba únicamente con los sensores activos planos para verificar si se podían medir los biopotenciales adecuadamente. Para este fin,

fue necesario visualizar las señales en la pestaña **Bipolar** de ActiView, ya que son obtenidas en modo diferencial. Aunque en el software es posible visualizar las señales de este modo, en la grabación quedan almacenados los datos separados por canales, por lo cual es necesario manipular los registros obtenidos para su visualización; para esto se empleó EEGLAB.

Para empezar, la función **pop_biosig** de EEGLAB se utiliza para importar datos de diferentes formatos, como el formato BDF (Biosemi Data Format), y recibe como argumento la ruta completa del archivo BDF que se desea cargar. Seguidamente, se emplea la función **eeg_checkset**, la cual realiza comprobaciones y ajustes en la estructura de datos EEG para verificar que todo esté correcto. Por medio de estas dos líneas de código, se tiene acceso a todos los datos almacenados en la grabación, y de esta manera se puede acceder a las variables que contienen las grabaciones de los canales de interés y operarlas para obtener las señales diferenciales de cada uno de los biopotenciales. En la figura 13 se aprecian las gráficas obtenidas en MATLAB de los biopotenciales registrados en la sesión de prueba.

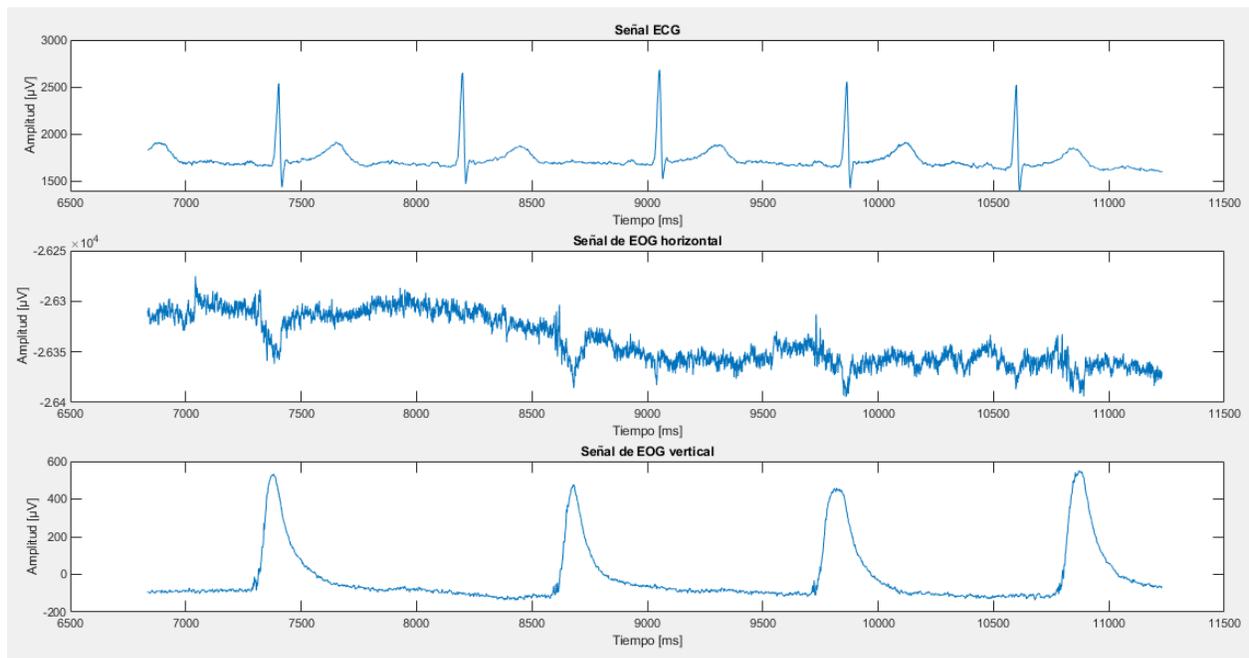


Fig. 13. Registro de ECG y EOG vertical y horizontal en sesión de prueba de funcionamiento

Configuración del equipo BioSemi

Para la toma de datos el equipo utiliza una frecuencia de muestreo de 2048 Hz, y si se quieren visualizar los electrodos activos planos se debe hacer clic en la opción “Add 8 EXG”. Teniendo en cuenta que se tienen triggers diferentes para cada tipo de estímulo y respuesta correcta e incorrecta, el formato de los triggers se establece en “Decimal”, dado que permite verificar durante el registro que la tarea está funcionando con normalidad ya que se presentan los triggers cada que aparece un estímulo y se observa un 10 o 11 si el sujeto da una respuesta correcta o incorrecta, respectivamente.

En el ambiente de ActiView se puede modificar la escala “y” o de voltaje en la que se visualiza la señal; lo recomendado es usar entre 50 μV y 500 μV , ya que con esta escala se puede observar el ruido de la señal para poder corregirlo. En el presente trabajo de investigación se utilizó la escala de 100 μV . Adicionalmente, en el software es posible activar filtros pasa altas y pasa bajas y establecer los valores de interés; para este caso se utilizaron frecuencias de 0,5 y 58 Hz respectivamente.

Procesamiento

Para el procesamiento de los datos, se utilizó el software de programación MATLAB, el cual cuenta con la toolbox SPM para el procesamiento de señales de EEG, la cual fue empleada para el manejo de los datos.

Para el procesamiento de las señales, se siguieron los pasos descritos en el marco conceptual. Las señales fueron tomadas a una frecuencia de muestreo de 2048 Hz y se redujo a 500 Hz. Las frecuencias de interés para este estudio se encuentran en el rango de 0.5 a 58 Hz y para este trabajo de investigación se toman épocas con una duración de 1 segundo, desde -200 ms hasta 800 ms, siendo 0 el instante en el que se presenta el estímulo. Es importante destacar que, el valor de la señal desde -200 ms hasta 0 se llama línea de base.

Una vez completados estos pasos, se procede con la eliminación de artefactos.

- **Eliminación de artefactos con SPM**

La toolbox SPM permite eliminar artefactos mediante métodos estadísticos, posibilitando el descarte de datos a través de inspección visual; para esto, se generan tres gráficas importantes que se pueden visualizar en la figura 14.

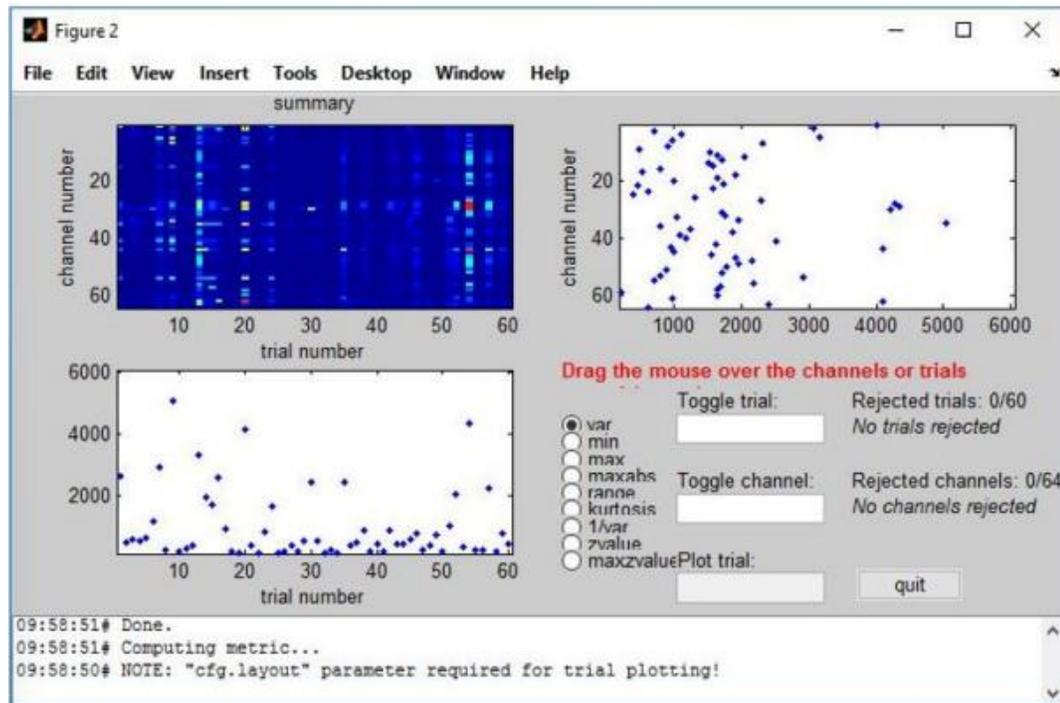


Fig. 14. Eliminación de épocas/canales defectuosos

La primera gráfica es la combinación de las otras dos. La segunda a la derecha muestra la varianza de los canales, y la gráfica de abajo muestra la varianza de las épocas. En caso de requerirse, se puede seleccionar una medida estadística diferente. Este método consiste en eliminar únicamente las épocas con valores de varianza aislados, encerrando los puntos que se desean eliminar en un cuadrado de selección que se crea arrastrando el mouse. Es importante destacar que no se recomienda eliminar más del 10% de las épocas.

Adicionalmente, para realizar el promedio de las épocas se pueden emplear dos estrategias: Un promedio normal o usando el promedio robusto (robust averaging); este último, corrige la señal al calcular el promedio, eliminar los valores aislados y repetir el proceso hasta converger, por lo que se puede utilizar este método si se considera que la señal necesita limpiarse más, o se puede hacer el promedio normal si no se quiere perder información adicional.

Las señales procesadas con esta toolbox pasaron por las etapas de procesamiento inicialmente descritas, además del descarte visual de artefactos con la medida de la varianza y finalmente, se realizó el promedio de las épocas con el promedio normal para asegurarse de no eliminar información importante de las señales.

En esta etapa se realizó el procesamiento de las señales de EEG con la toolbox SPM, sin tener en cuenta los datos recolectados por los biopotenciales de ECG y EOG. Posteriormente, se empleó la misma herramienta para incluir los canales de los sensores tipo planos y contribuir con la mejor eliminación de artefactos.

Identificación de parpadeo

En el contexto de la investigación, se ha creado un código en MATLAB dedicado al análisis y filtrado de datos provenientes de archivos BDF, con un enfoque específico en la detección de momentos de parpadeo en sujetos, dado que son las señales que más contaminan el EEG. En la fase inicial, el archivo BDF se carga mediante EEGLAB y se convierte al formato .set para su manipulación subsiguiente. Se establece un rango de tiempo de inicio y fin que delimita el análisis de las señales, ofreciendo flexibilidad para seleccionar un intervalo de interés que comienza segundos antes de la primera marca y concluye con la última registrada.

La identificación de los momentos de parpadeo se centra en la información proveniente del EOG vertical. La diferencia entre las señales de EOG vertical superior e inferior se filtra mediante un filtro pasa altas Butterworth con una frecuencia de corte de 1 Hz y orden 2. El filtro pasa altas, tiene como objetivo suprimir componentes de baja frecuencia, incluyendo el offset de corriente continua (DC offset), común en señales biomédicas debido a factores como características de electrodos, variaciones en la impedancia y condiciones de la piel. Este offset, que puede ser inconveniente para analizar variaciones sutiles o eventos de frecuencia más alta, como el movimiento brusco asociado a un parpadeo, se busca eliminar o atenuar mediante el filtro. Así, el filtro pasa altas permite enfocarse en cambios más rápidos o variaciones de alta frecuencia, optimizando el análisis de la EOG para eventos específicos de interés.

Una vez obtenida la señal filtrada, se procede con la identificación de picos utilizando la función “*findpeaks*”. No obstante, es esencial filtrar estos picos, eliminando aquellos que están muy cercanos entre sí. Este paso es fundamental para evitar la identificación redundante de eventos de parpadeo y garantizar una selección precisa de los momentos relevantes.

Finalmente, los resultados (que incluyen las ubicaciones de los picos identificados) se registran en un archivo de Excel. Con esta señal que posee el parpadeo identificado, se espera entregar información a la toolbox para mejorar la eliminación de artefactos producidos por el parpadeo. Es importante destacar que, para optimizar el proceso de eliminación de ruido se considera únicamente la componente vertical del EOG, es decir, la que registra el parpadeo; esto, teniendo en cuenta que los sujetos están concentrados en un punto fijo de la pantalla mientras realizan la tarea, motivo por el cual el EOG horizontal no se considera como una fuente de ruido significativa.

- ***Eliminación de artefactos con SPM utilizando los datos recolectados de ECG y EOG***

Para tener en cuenta los canales de ECG y EOG, se buscó documentación sobre SPM [15] y se encontró la posibilidad de agregar un paso adicional para eliminación de artefactos, donde se pueden incluir mediciones de biopotenciales tales como el ECG y EOG.

Inicialmente, se intentó cargar la señal que contenía los picos correspondientes al parpadeo, pero no se tuvo éxito ya que SPM no reconocía la señal dado su formato. Por lo que se probó con otro método: Se agregó un módulo nuevo llamado “*Artefact detection*” en el que se puede ingresar una “expresión regular”, es decir, se pueden ingresar los dos canales de la señal EOG vertical y realizar la resta para obtener la señal diferencial, realizando el mismo procedimiento para la señal del ECG. Ambas opciones fueron configuradas asignando a cada una, la señal diferencial obtenida mediante la resta de las dos señales correspondientes, de manera que se realizaron exactamente los mismos pasos descritos anteriormente, pero agregando mediciones de ECG y EOG.

Al finalizar todo el preprocesamiento, se comienza realizando un promedio por valencias por sujeto; es decir, se realiza el promedio de todos los estímulos de una misma valencia por sujeto en las dos categorías: Rostros y palabras, generando dos gráficas por cada canal en cada sujeto.

Por último, se realiza el Grand Average, que consiste en promediar los datos individuales de cada sujeto, para obtener datos robustos y representativo del grupo de estudio.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prepilotaje

Se realizó esta sesión con una voluntaria de 21 años que firmó el consentimiento informado y manifestó no tener problemas psiquiátricos ni de drogadicción. Esta fase se llevó a cabo para realizar un registro completo que incluyera 64 electrodos activos de EEG y 7 electrodos activos planos con el fin de verificar el funcionamiento de todos los procesos requeridos para un registro adecuado.

El lugar en el que se llevó a cabo el pilotaje estaba ubicado en un espacio tranquilo que propiciaba la concentración del sujeto; los computadores portátiles utilizados estaban con un 100% de batería y todos los dispositivos que estaban conectados a la luz eléctrica fueron desconectados durante la sesión de toma de datos para evitar interferencias; además, se apagó la luz durante la realización de la tarea. Días previos al encuentro, fueron enviadas instrucciones generales que permitieron el desarrollo adecuado del prepilotaje. Antes de comenzar con el montaje, se le pidió al sujeto retirarse cualquier objeto metálico que portara, tales como aretas, piercings, monedas, llaves, etc.

Antes de comenzar con la grabación de las señales, se verificó en la pestaña “*Offset*” de ActiView que los valores de impedancia estuvieran en el rango adecuado, esperando valores menores a 20 mV de offset; adicionalmente, se revisaba que el led llamado *CM in range* ubicado en el BioSemi estuviera encendido, dando información de que los electrodos de tierra (CMS y DRL) estaban bien conectados. Como se mencionó en la sección de envío de triggers, antes de cada sesión se debía abrir el puerto para poderlo escribir, paso que se realizaba incluyendo el envío de marcas de prueba desde el aplicativo *USB to Parallel Software* para garantizar la correcta conexión entre dispositivos.

Por medio de la revisión de los datos conductuales y las señales registradas, se verificó que esta etapa culminó de manera exitosa ya que fue posible comprobar que los protocolos implementados funcionaban correctamente y que el equipo estaba listo para realizar el pilotaje.

Pilotaje

La adquisición de datos se llevó a cabo con la participación de 6 voluntarios con edades entre los 21 y 29 años, quienes firmaron consentimiento informado. El grupo estuvo conformado por 4 hombres y 2 mujeres, todos de lateralidad diestra, de los cuales ninguno tenía antecedentes médicos excepto uno, que tenía depresión, pero no tomaba medicamentos y todos contaban con al menos 15 años de escolaridad.

Al igual que en el pre-pilotaje se hizo uso de un espacio tranquilo sin ningún equipo conectado a la red eléctrica, con la luz apagada, se verificó el offset y CM in range, se abrió el puerto antes de comenzar y se pidió a los sujetos retirar cualquier objeto metálico.

Finalmente se verificó el desarrollo normal de todas las sesiones, al comprobar la correcta grabación de todas las señales de interés.

ERPs obtenidos con la toolbox SPM con ECG y EOG

Una contribución fundamental a este trabajo de investigación fue la inclusión de la etapa de Detección de Artefactos, la cual proporcionó la posibilidad de examinar artefactos específicos, como el ECG y el EOG. Ambas opciones fueron configuradas asignando a cada una la señal diferencial obtenida mediante la resta de las dos señales correspondientes en SPM.

Es importante resaltar que, tras la ejecución de la detección de artefactos, no se identificaron anomalías significativas, lo que indicó que no fue necesario eliminar ningún canal, de manera que no se introducen cambios en los ERPs.

ERPs obtenidos con la toolbox SPM sin ECG y EOG

A continuación, se presentan ERPs obtenidos tras el procesamiento con SPM de dos sujetos incluidos en la fase del pilotaje, específicamente en el canal P10. Usualmente, se grafican dos ERPs por cada canal, dividiendo las categorías de palabras y rostros; sin embargo, con fines comparativos, las figuras 15, 16 y 17 fusionan ambas categorías. Es importante resaltar que las

gráficas se presentan con el eje Y invertido, dado que para efectos de análisis y visualización así es como son estudiados en la literatura.

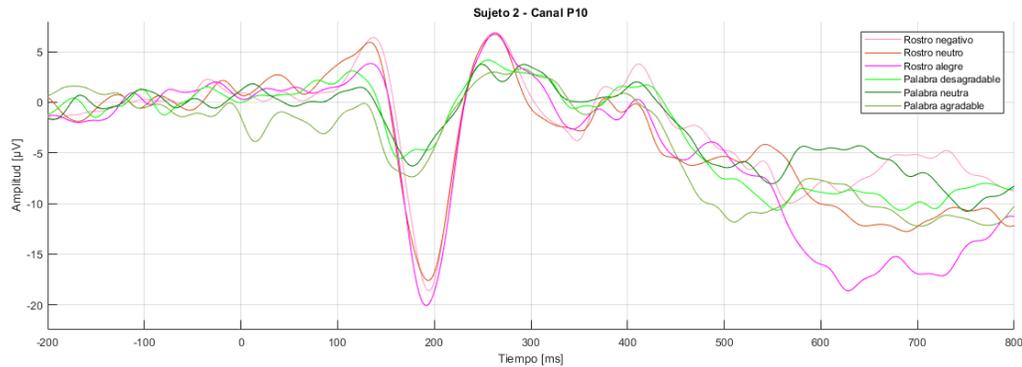


Fig. 15. ERP del sujeto 2 con ambas categorías del canal P10

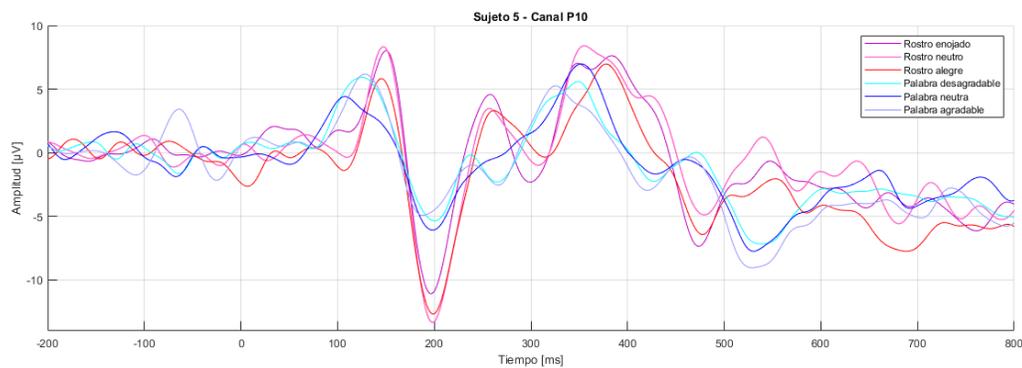


Fig. 16. ERP del sujeto 5 con ambas categorías del canal P10

Es de interés realizar el análisis de los ERPs, dado que como es posible apreciar en las figuras 15 y 16, antes de hacer la revisión de los potenciales evocados a eventos del grupo se reconocen diferencias entre las categorías de palabras e imágenes en sujetos. Como se mencionó con anterioridad, un componente destacado para esta investigación es el N170, dado que está asociado al reconocimiento de rostros, y se caracteriza por tener su pico máximo negativo aproximadamente 170 ms después de la presentación del estímulo. De acuerdo con las revisiones bibliográficas, se esperaba que las amplitudes de la categoría de rostros fueran mayores que aquellas observadas en la categoría de palabras, y de acuerdo con los resultados, se encuentran diferencias de amplitud de $\pm 10\mu V$.

La elección del electrodo P10 se fundamenta en la teoría que sostiene que estas diferencias se hacen más evidentes en la zona occipitotemporal del hemisferio derecho, puesto que este componente se genera en áreas temporales ampliamente distribuidas, incluida la circunvolución fusiforme y la superficie lateral del lóbulo temporal [8], zonas a las que se les atribuye, entre otras, el procesamiento de la información visual y el reconocimiento de rostros.

Para la obtención de los ERPs de todos los sujetos o el Grand Average, se incluyó el sujeto que participó en el pilotaje dada la buena calidad de los datos registrados, de manera que se usaron los registros de los 7 sujetos.

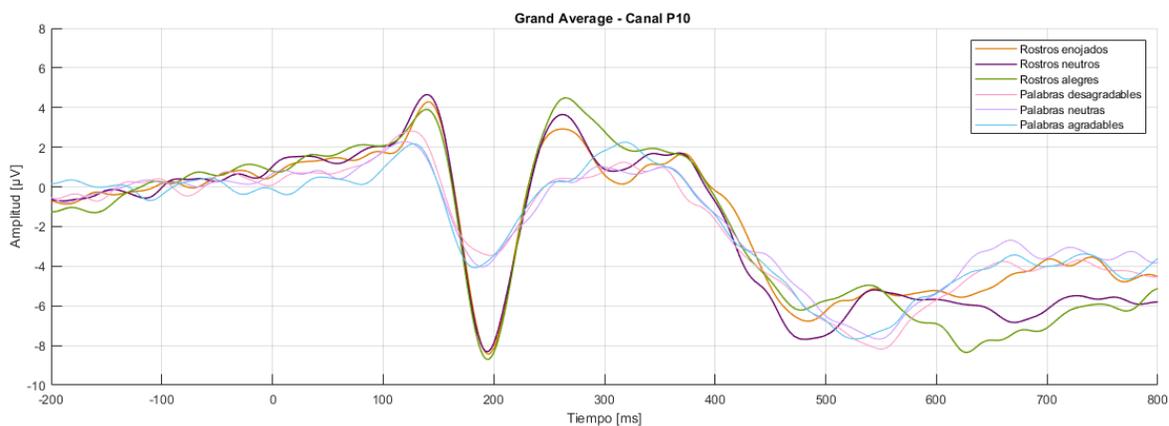


Fig. 17. Grand Average con ambas categorías del canal P10

En la figura 17 es posible apreciar el componente N170 con una amplitud considerable para la categoría de los rostros, lo cual permite verificar que son necesarios más recursos de procesamiento cognitivo para el reconocimiento de rostros que de palabras. Por otra parte, canales adyacentes al electrodo P10 fueron analizados y comparados, donde se identificó el componente N170 y reconociendo diferencias entre las categorías. Sin embargo, se destacaron cambios notables en la amplitud de los componentes, lo cual se explica teniendo en cuenta que el componente es generado en zonas ampliamente distribuidas, por lo que es posible visualizarlo en electrodos cercanos, pero tiene una mayor expresión en la ubicación más cercana a la circunvolución fusiforme y la superficie lateral del lóbulo temporal.

De los resultados que se visualizan en las figuras 15, 16 y 17 se concluye que el proceso llevado a cabo en esta investigación funcionó con éxito, dado que es posible obtener ERPs confiables y analizar información del procesamiento cerebral empleando el BioSemi ActiveTwo.

VIII. CONCLUSIONES

Se desarrolló la metodología y las herramientas adecuadas para resolver el problema del envío de triggers del equipo BioSemi ActiveTwo.

Mediante el análisis de los resultados de los datos conductuales y de EEG del pre-pilotaje y pilotaje se pudo verificar la correcta adaptación y sincronización de la tarea sociocognitivo-conductual ERT con el registro de señales de electroencefalografía a través del software Python.

A partir de los resultados observados en las figuras 15 y 16 donde es posible identificar diferencias entre las valencias se concluye que el equipo funciona de manera adecuada y se valida la metodología empleada.

Finalmente, los ERPs analizados en la figura 17 permiten validar que la metodología implementada para preprocesar y postprocesar los datos crudos de EEG adquiridos con el equipo BioSemi ActiveTwo funcionó correctamente.

IX. RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO

Se sugiere la implementación de análisis estadísticos que permitan validar rigurosamente si hay diferencias significativas en el procesamiento cognitivo entre diferentes grupos poblacionales.

REFERENCIAS

- [1] S. M. Valencia Betancur, "Electrophysiological reorganization during emotional processing after social cognitive training intervention in Colombian ex-combatants," Tesis de maestría, Universidad de Antioquia, Corporación de Ciencias Básicas Biomédicas, Medellín, Colombia, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17470919.2020.1735511>
- [2] F. Ramos-Argüelles, G. Morales, S. Egozcue, R.M. Pabón y M.T. Alonso, "Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas," Anales del Sistema Sanitario de Navarra, vol. 32, no. Supl. 3, pp. 69-82, 2009. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600006&lng=es.
- [3] Active Electrodes. Biosemi. Disponible en: https://www.biosemi.com/flat_electrode.htm
- [4] Trans Cranial Technologies, "10/20 System Positioning Manual," 2012. Disponible en: https://trans-cranial.com/docs/10_20_pos_man_v1_0_pdf.pdf
- [5] M. J. Duarte-Expósito, A. Nieto-Barco, M. de Vega-Rodríguez y J. Barroso-Ribal, "Potenciales evocados cerebrales asociados al efecto de imaginabilidad en el procesamiento semántico," Revista de Neurología, vol. 39, no. 12, pp. 1123-1128, enero 2004. Disponible en: [10.33588/rn.3912.2003531](https://doi.org/10.33588/rn.3912.2003531)
- [6] "Potenciales relacionados con eventos," [En línea]. Disponible en: <http://www.facmed.unam.mx/Libro-NeuroFisio/10-Sistema%20Motor/10a-Movimiento/Textos/ERP.html>
- [7] I. Ariza, "Análisis de imágenes EEG en una tarea Flanker para excombatientes del conflicto armado colombiano," Biblioteca Digital Universidad de Antioquia, 2022. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/30036/2/ArizaIsabella_2022_ReconstruccionImagenesEEG.pdf
- [8] J. D. Kropotov, "Sensory Systems and Attention Modulation," en Functional Neuromarkers for Psychiatry, Ed. J. D. Kropotov, Academic Press, 2016, pp. 137-169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410513-3.00011-5>
- [9] J. D. Kropotov, "Sensory Systems and Attention Modulation," Functional Neuromarkers for Psychiatry, pp. 137-169, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410513-3.00011-5>

-
- [10] M. Xu, A. Zhai, L. Diao, L. Fan y D. Yang, "Contextual Valence and Sociality Jointly Influence the Early and Later Stages of Neutral Face Processing," *Frontiers in Psychology*, vol. 07, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01258>
- [11] What is the function of the CMS and DRL electrodes. BioSemi. Disponible en: <https://www.biosemi.com/faq/cms&drl.htm>
- [12] SR Research. "Triggers for EEG/ERP," Eyelink, 2016. Disponible en: <https://osdoc.cogsci.nl/2.8.3/devices/triggers/>
- [13] E. Plaza Moreno, "Las derivaciones del electrocardiograma. Especiales y monitorización," *Urgencias y emergencias*, publicado el 04/02/2018. Disponible en: https://www.urgenciasyemergen.com/derivaciones-del-electrocardiograma-iii_4/
- [14] D. D. Rodríguez y L. S. Uranga, "Diseño de un sistema para adquirir y procesar señales EOG," Tesis en la opción al título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad de Oriente, Cuba, 2005. Disponible en: 10.13140/RG.2.2.24704.89606
- [15] FIL Methods Group, "SPM12 Manual," Functional Imaging Laboratory, October 15, 2021. Disponible en: https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/doc/spm12_manual.pdf