

**RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PSICOLÓGICA RELACIONADA CON EL ESTRÉS
SITUACIONAL BAJO EL USO DE TECNOLOGÍAS EN ADULTOS JÓVENES**

Sergio Mateo Gómez Montenegro

Trabajo Dirigido

Tutor

Juan Manuel López López PhD

Co-Tutora

Laura Andrea León Anhuamán PhD



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2020**

AGRADECIMIENTOS

De la cantidad de semestres que he vivido antes, éste y el anterior fueron unos de los más Emocionantes. Es justo que, de todo ese cúmulo de cosas, muchas personas se lleven un agradecimiento. El mayor de todos es para mis padres, mis hermanas y mi cuñado. Todos luchando y aportando de alguna forma para que esta meta se cumpla.

De las gigantes y merecidas gracias, una gran parte se destinan para mis tutores, Juan Manuel López y Laura Andrea León, por su paciencia y conocimiento que permitieron llevar este proyecto dirigido adelante. Para mis profesores y profesoras, en especial dos que marcaron un antes y un después de mi vida universitaria, ellas son Nora Yamile Rojas y Sandra Patricia González, gracias a ellas pude disfrutar y aprender de la mejor forma.

A los que me asesoraron en el procesamiento estadístico y digital de señales, Juan Sebastián Olivares estudiante Líder del Semillero PROMISE y Mayra Guarín profesora de Metodología de Investigación. Gracias por su conocimiento y disposición.

A Evelyn por estar ahí apoyándome en los dos semestres más emocionantes de mi vida. Finalmente, a mis amigos, en especial a Emmanuel, Carolina, Jéssica, Sergio, Bryan, Laura y Camilo, porque estuvieron ahí desde el principio. Gracias, muchas gracias.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS	8
2.1. General.....	8
2.2. Específicos	8
3. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Organización de Tareas y Cronograma de Actividades.	9
3.1.1. Recopilación de Referencias Bibliográficas	9
3.1.2. Recibo de la Nueva Base de Datos Proyecto Dirigido	9
3.1.3. Diseño de un Nuevo Esquema de Procesamiento	9
3.1.4. Procesamiento de Señales y Extracción de Características	9
3.1.5. Análisis Estadísticos de las Señales	9
3.1.6. Conclusiones y Documento Final	10
3.1.7. Correcciones	10
3.2. Electroencefalograma y el Sistema Internacional para la Colocación de Electrodo (10-20)	10
3.3. Base de Datos.....	12
3.4. Inducción de Estrés.	13
3.5. Medición de Estrés.	13
3.6. Protocolo de Inducción de Estrés de la Base de Datos.....	13
3.6.1. Medición Pre-Inducción	14
3.6.2. Inducción de Estrés	14
3.6.3. Medidas de Pos-Inducción y Pos-Recuperación	14
3.7. Procesamiento de Señales	15
3.7.1. Pre-procesamiento	15
3.7.2. Procesamiento	19
3.7.3. Extracción de Características	19
3.8. Análisis Estadístico de las Señales.....	21
3.8.1. Promedio Poblacional del Espectro de Potencia	21
3.8.2. Prueba Kruskal-Wallis	21
3.8.3. Prueba de Rango con Signo Wilcoxon	23
4. RESULTADOS	25
4.1. Densidad Espectral de Potencia de la Media Poblacional.....	25

4.2. Visualización de la Densidad Espectral de Potencia para las Bandas de Alpha y Beta por Medio de la Caja de Bigotes	28
4.3. Resultados de la Comparación de Medianas por Medio de la Prueba Kruskal-Wallis para las Potencias de Alpha y Beta	30
4.4. Resultados de la Comparación de Medias por Medio de la Prueba Wilcoxon no Paramétrica.....	31
5. DISCUSIÓN.....	32
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	33
7. CONCLUSIONES	34
REFERENCIAS	35
ANEXOS.....	38

1. INTRODUCCIÓN

El estrés situacional se define como un proceso que se lleva a cabo cuando un individuo es sometido a situaciones o acontecimientos amenazantes, produciéndose así una respuesta fisiológica. En japon, para el año de 1997 las tasas de suicidios causados por el estrés laboral se aproximaron al 15.5% y para el 2019 la tasa de muertes registradas por la misma razón redondeó los 10000 anuales. Para Colombia, el Estudio Nacional de Salud Mental indica que el 40% de la población comprendida entre las edades de 18-65 años ha sufrido alguna vez un trastorno psicológico asociado al estrés. Para este año, la OMS (Organización Mundial de la Salud) estima que el estrés será la mayor aflicción a nivel mundial. [1] [2] [3]

El organismo siempre se encuentra en una situación de estrés mínima, dado el caso de determinadas situaciones, éste puede incrementarse, siendo algunas veces beneficioso o negativo. Dependiendo también, si se está preparado para la demanda o ésta lo supera. El equilibrio dependerá de factores biológicos y psicológicos asociados a las distintas situaciones y experiencias. Un determinado grado de estrés permite a ciertos tipos de organismos alcanzar metas y objetivos, para otros, es un círculo, cuyos síntomas se desbordan más y más, a medida que se repiten [4].

La respuesta fisiológica al estrés supone la activación del eje hipotalámico-hipofisiario-adrenal (HHA) y del sistema nervioso autónomo. EL HHA consta de tres regiones principales: el hipotálamo, el cual es una estructura nerviosa situada en la base del cerebro cuya función es conectar el sistema endocrino con el sistema nervioso, la hipófisis, una glándula también situada en la base del cerebro y las glándulas suprarrenales, situadas en el polo superior de cada uno de los riñones. Ésta última, compuesta por corteza y médula. El sistema Nervioso Autónomo (SNA), es el conjunto de estructuras nerviosas que se encarga de regular el funcionamiento de los órganos internos y controla sus funciones de manera involuntaria e inconsciente. Ambos sistemas producen la liberación de hormonas, sustancias dispensadas en el sistema circulatorio, que excitan, inhiben o regulan la actividad de órganos o tejidos. [4]

El eje hipotalámico-hipofisiario-adrenal se activa en situaciones físicas como en situaciones psicológicas. En una situación de estrés, el hipotálamo segrega la hormona CRF (Factor Liberador de Corticotropina), actuando sobre la hipófisis, provocando la secreción de la hormona adrenocorticotropa (ACTH). Esta secreción incide sobre la corteza de las glándulas suprarrenales, aumentando la producción de glucocorticoides (Cortisol), un indicador claro de estrés. La activación del sistema nervioso autónomo aumenta la secreción de catecolaminas, como adrenalina y noradrenalina, preparando a los órganos para ponerse en estado de alerta. [4]

Adicional a la respuesta endocrina, el sistema nervioso reacciona electrofisiológicamente. El registro de esta actividad se denomina electroencefalograma, el cual es un método que permite medir por medio de electrodos posicionados en puntos específicos de la cabeza la actividad eléctrica del cerebro. La posición de estos puntos se estandarizó por medio del sistema internacional para la colocación de electrodos (10-20). Las señales se adquieren desde múltiples regiones y su respuesta depende tanto de la situación vivida por el sujeto como dónde se posicionan. [5]

Las ondas presentes en los registros de electroencefalografía poseen nombres asociados a letras griegas y varían en forma y frecuencia. Se dividen en cinco, Alpha (8 Hz a 12 Hz), Beta (12 Hz a 30 Hz), Delta (0.5 Hz a 4 Hz), Theta (4 Hz a 8 Hz) y Gamma (30 Hz a 60 Hz), siendo Alpha la que más se presenta durante situaciones de estrés. Estudios con ratas previamente condicionadas, demostraron un aumento significativo en la potencia en esa banda, justo antes de recibir una corriente eléctrica. En los humanos también sucede esto, solo con el simple hecho de imaginar ideas dolorosas o emociones fuertes, esta banda de frecuencia modifica su intensidad. [6]

Además de las ondas Alpha, Beta, Theta, Delta y Gamma existen otras que por su origen difieren en forma, mas no siempre en frecuencia. Este tipo de ondas se toman como no deseadas, denominándose, así como ruido. El ruido más común presente en cualquier adquisición de una señal es de la red eléctrica, pero en los sistemas biológicos existen otros como el producido por el parpadeo o la contracción muscular. La extracción de estas señales por medio de filtros hace que el análisis sea aún más completo [7].

La respuesta psicológica al estrés no deja de ser la menos importante, siendo ésta el indicador más visible de su presencia. Los sujetos sometidos a situaciones agobiantes reaccionan con síntomas relacionados con la impotencia sexual, respiraciones rápidas, ansiedad, depresión, entumecimiento de mandíbula y cuello, entre muchas otras más [8]. Si bien, la mayoría de los anteriores son sensaciones subjetivas, existen protocolos que permiten aprovecharse de estos indicadores y así inducir y medir la intensidad con la que el estrés los produce [9].

La inducción de estrés de manera controlada es necesaria para medir como la respuesta fisiológica y psicológica se presenta. El TSST (Trier Social Stress Test) es un test estandarizado que permite inducir estrés en sujetos mediante una prueba psicológica y una matemática. Esta prueba, consta de jurados entrenados, capaces de incitar una situación agobiante, por medio de una evaluación simulada, es decir, se actúa como si al sujeto se le estuviese evaluando. Para estimar la reacción de los sujetos se usa la prueba IDARE (Inventario de la Ansiedad Rasgo-Estado) [10].

Las emociones son comportamientos o disposiciones que presentan efectos significativos en el cuerpo humano. Se presentan alterando funciones biológicas o psicológicas, que adicionalmente interfieren en nuestro comportamiento. Es posible por medio de una prueba evaluarlas y estatificarlas, siendo SAM (Self Assessment-Manikin) una de las más aceptadas para este fin. Se basa en la medición de la valencia emocional, nivel de activación y dominancia o control. Cada una de las mencionadas se toma por medio de un cuestionario de tres filas, donde cada fila corresponde respectivamente con el nivel de cada uno de los ítems mencionado [11].

El contexto global del estrés y el creciente aumento de las tecnologías permite hacerse preguntas acerca, de la existencia de alguna respuesta de los organismos al uso de dispositivos electrónicos. Esta investigación se enfoca en el análisis de registros de electroencefalografía para las diferentes ondas cerebrales presentes en la base de datos proveniente del proyecto interinstitucional llamado "Decisión económica y reactividad al estrés en adolescentes y adultos jóvenes y su relación con el uso de tecnología", además de compaginar protocolos y técnicas propias de la psicología. Con este proyecto de grado

se pretende hacer un aporte al entendimiento de la electrofisiología y su relación con el estrés.

La investigación se basa en el área de procesamiento de señales e imágenes médicas (PSIM) y se desarrolla con el apoyo del semillero de investigación PROMISE de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con la colaboración Universidad Sergio Arboleda.

El capítulo dos presenta los objetivos, uno general y tres específicos. El capítulo tres posee metodología. Éste describirá ampliamente el protocolo y a su vez cómo se realizará el análisis de las señales adquiridas y las pruebas psicológicas.

El capítulo cuatro consta de los resultados. El capítulo cinco explica el análisis del procesamiento de las señales y las pruebas psicológicas, haciendo especial énfasis en la extracción de potencia por medio de la densidad espectral de potencia, comparando estos con la literatura. El capítulo seis se enfoca en las conclusiones a las cuales se llega en esta investigación. Finalizando con el capítulo siete, el cual realiza recomendaciones para futuros trabajos en el área de procesamiento de señales.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Identificar los cambios electrofisiológicos debidos al estrés situacional, en adultos jóvenes, a partir de técnicas de procesamiento digital de señales, en la base de datos perteneciente al proyecto interinstitucional llamado "Decisión económica y reactividad al estrés en adolescentes y adultos jóvenes y su relación con el uso de tecnología"

2.2. Específicos

Objetivos específicos del proyecto.

- a) Implementar métodos de preprocesamiento de señales en los registros de electroencefalografía disponibles
- b) Extraer características temporales de los registros de electroencefalografía
- c) Extraer características frecuenciales de los registros de electroencefalografía
- d) Analizar los resultados obtenidos en el procesamiento digital de las señales a la luz de la información obtenida a través de las pruebas psicométricas disponibles.

3. METODOLOGÍA

3.1. Organización de Tareas y Cronograma de Actividades.

Para un correcto desarrollo de esta investigación se planteó la siguiente distribución de tareas, expresadas en el diagrama de Gantt de la figura 1:

3.1.1. Recopilación de Referencias Bibliográficas

En cada investigación es necesario la recopilación de información científica que sustente epistemológicamente cada proyecto. La distribución de tiempo para esta tarea es aproximadamente igual al desarrollo total del proyecto, especialmente en la redacción del documento final, cuyos resultados son necesarios contrastarlos con la literatura, para así poder llegar a una conclusión. Es de menester que la mayor parte del cronograma se apunte a esto.

3.1.2. Recibo de la Nueva Base de Datos Proyecto Dirigido

Debido a la coyuntura promovida por la pandemia y la clases o educación de acceso remoto, fue necesario una adaptación hacia un nuevo proyecto. Se recibe una nueva base de datos que se ajusta a gran parte de la recopilación bibliográfica. Desde este punto, se empieza con un nuevo trabajo.

3.1.3. Diseño de un Nuevo Esquema de Procesamiento

Una vez la nueva base de datos es recibida se procede inmediatamente con el diseño de un nuevo esquema de procesamiento. Éste, se ajustó con los nuevos requerimientos y la información obtenida de cada uno de los registros de cada participante. Se establecieron los nuevos parámetros y datos que se desea extraer por medio del procesamiento digital de señales.

3.1.4. Procesamiento de Señales y Extracción de Características

Cuando se ha esclarecido cada uno de los parámetros concernientes a la nueva base de datos se inicia con el procesamiento digital de señales y la extracción de características. Se manejó un tiempo de dos semanas para este procedimiento. Paralelo a éste, también se procede con mejoras en el esquema de procesamiento.

3.1.5. Análisis Estadísticos de las Señales

Después de extraer las características de cada uno de los registros de la base de datos se procede con el análisis de éstas. En éste, se pretende un método estadístico que permita evaluar el comportamiento de estas señales y sus respectivas diferencias. Se usó un tiempo estimado de una semana.

3.1.6. Conclusiones y Documento Final

Con el análisis de los datos contrastado y concluido, se procedió con la elaboración de las conclusiones y redacción del documento final. Para esta etapa se destinó un tiempo de dos semanas.

3.1.7. Correcciones

Para las correcciones se destinó un tiempo paralelo al procesamiento de datos, extracción de características y análisis estadístico de la información obtenida. En la medida de que esto fuera posible, se iban dando las correcciones de lo anteriormente mencionado, permitiendo que este compendio de cosas se fuera ajustando al proceso metodológico de esta investigación.

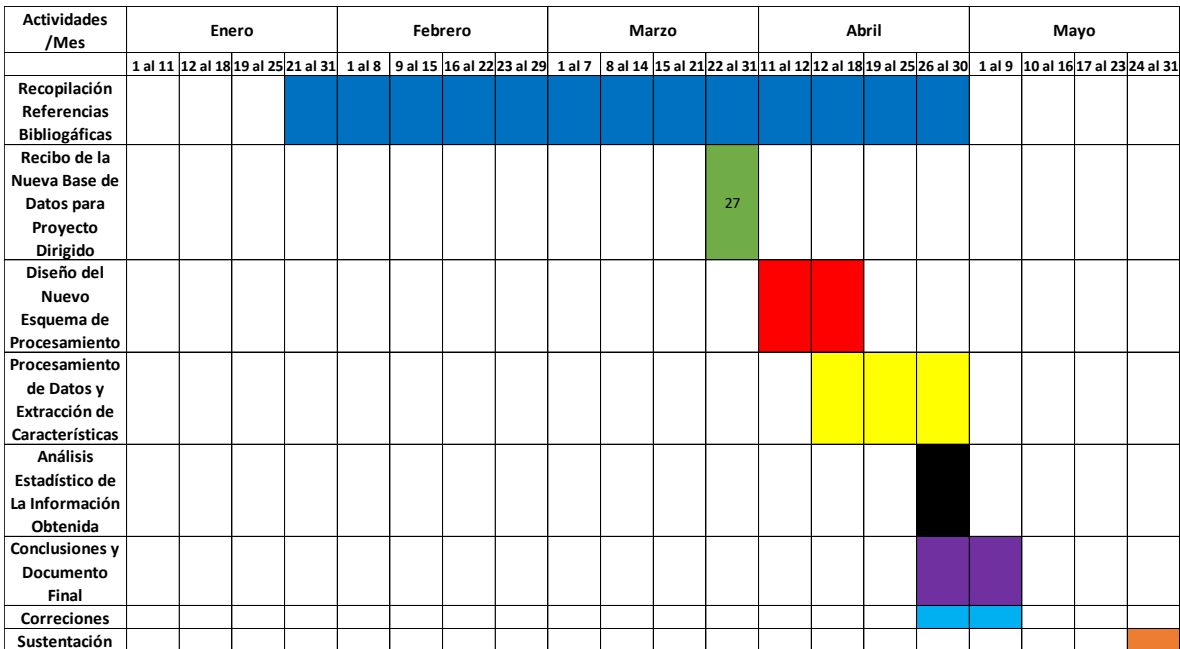


Fig. 1. Diagrama de Gantt de la Investigación

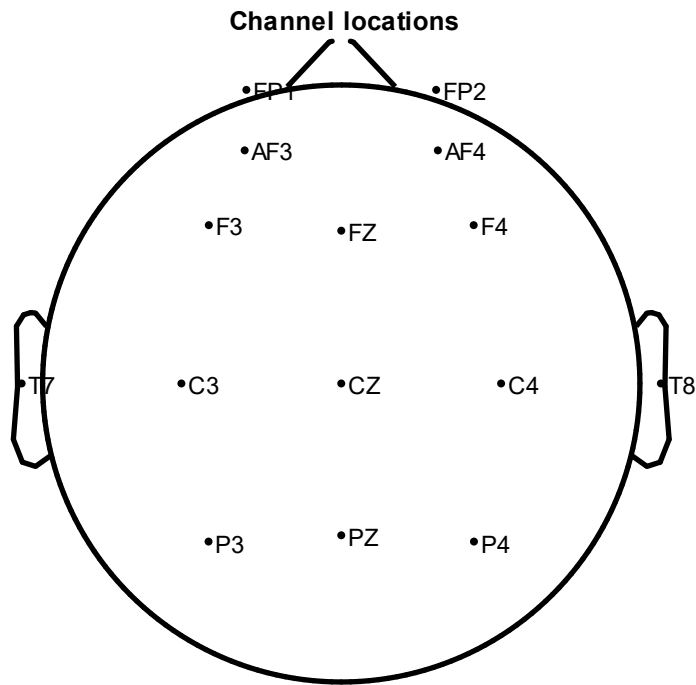
3.2. Electroencefalograma y el Sistema Internacional para la Colocación de Electrodo (10-20)

El electroencefalograma es un estudio que permite la adquisición de la actividad eléctrica cerebral. Para extraer esto es necesario posicionar pequeños discos metálicos llamados electrodos fijados en el cuero cabelludo. La comunicación entre las neuronas produce estos impulsos eléctricos y a su vez estos impulsos influyen en la mayoría de los procesos de nuestro cuerpo. Esta actividad eléctrica posee ciertas características y varía dependiendo de cada sujeto. Sin embargo, hay algo que caracteriza a esta señal y es la presencia de las ondas Alpha, Beta, Delta, Theta y Gamma, cada una con diferentes características en tiempo y en frecuencia. Las características frecuenciales más importantes se muestran en la tabla (1) [5].

Banda de Frecuencia	Ancho de Banda
δ	1-4 Hz
θ	4-8 Hz
α	8-12 Hz
β	12-30 Hz
γ	30- 64 Hz

Tabla 1. Banda de Frecuencia Correspondiente a cada Ancho de Banda

El sistema Internacional para la colocación de electrodos 10-20, es el método más usado para adquisición de señales de EEG. Se denomina así, debido a que los electrodos están espaciados entre el 10% y 20% de la distancia total de puntos reconocidos en el cráneo. La localización de estos puntos es importante en la extracción de todas las señales. Dos electrodos conectados se denominan derivación, dependiendo de la localización de cada derivación la actividad eléctrica cambia. En la figura dos se puede observar la posición específica para cada uno de ellos [5].



15 of 15 electrode locations shown

Figura 2. Sistema Internacional para la Colocación de Electrodos (10-20) [5]

Existe una nomenclatura específica de este sistema y depende de la posición de cada electrodo y una numeración que va de menor a mayor, que aumenta de áreas anteriores hacia posteriores. Si el número es impar corresponde al lado izquierdo, pero si éste es par pertenece al lado derecho [5].

Área Cerebral	Hemisferio Izquierdo	Línea Media	Hemisferio Derecho
Frontopolar	Fp1		FP2
Frontal	F3	Fz	F2
Fronto Temporal	F7 C3	Cz	F8 C4
Temporal Medio y Parietal	T3 P3	Pz	T4 P4
Temporal Psterior y Occipital	T5 O1		T6 O2

Tabla 2. Posición de los Electrodoes Respecto a la Anatomía Craneal

3.3. Base de Datos.

Los registros especificados en este documento provienen de la base de datos del proyecto interinstitucional “Decisión económica y reactividad al estrés en adolescentes y adultos jóvenes y su relación con el uso de tecnología”. De este proyecto solo se usaron los datos concernientes a adultos jóvenes. Por cada sujeto se tienen tres registros de electroencefalografía. Uno de línea base y los otros dos, finalizando el proceso de inducción y posterior a la recuperación.

En total son 34 sujetos, 8 masculinos y 26 femeninos. Con edades comprendidas entre los 25 y 30 años. La adquisición de las tres primeras personas se realizó con un equipo diferente, por tal cada uno de ellos presentaba un cambio en su frecuencia de muestreo. Estas frecuencias corresponden con 250 y 500 muestras por segundo respectivamente. Para el primer equipo se contaron con 17 canales, en comparación con el segundo que presentaba dos menos. La distribución de los canales se presenta en la tabla (3). Para el primer equipo se usa la misma distribución de la tabla, para el segundo se resta los dos últimos canales.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
FP2	FP3	AF4	F7	F3	FZ	F4	F8	FC5	FC1	FC2	FC6	T7	C3	CZ	C4	T8	CP5

Tabla 3. Distribución de los Canales

3.4. Inducción de Estrés.

El Trier Social Stress Test es un protocolo de inducción de estrés, diseñado por la Universidad de Trier en Alemania durante el año 1993. Consiste principalmente por un jurado de dos personas, estos, le pedirán al sujeto del experimento que complete refranes, prepare una exposición o complete una historia dada por ellos, a cada participante se le otorgan aproximadamente 5 minutos para esto. Después de ese tiempo, los jurados, con expresiones neutras, evaluarán en dos minutos comunicación verbal y corporal. Finalizado esto, se le pedirá que haga una actividad que incluya procesos matemáticos, específicamente una resta, si al sujeto se le complica mucho, se le pedirá que baje la dificultad. Tendrá dos minutos para finalizar esta última tarea. Este método permitirá de manera controlada y estandarizada la medición en inducción de estrés [10]

3.5. Medición de Estrés.

Para medir el estrés situacional, durante cada fase del protocolo experimental, se usará el test Inventario de la Ansiedad Rasgo-Estado (IDARE). Un procedimiento estandarizado y de gran validez científica para este tipo de situaciones. Adicionalmente se usaron las pruebas Self Assesment-Manikin (SAM) y descuento temporal. [10] [12]

3.6. Protocolo de Inducción de Estrés de la Base de Datos

Para la realización de estas pruebas se usará un protocolo ya estandarizado y recomendado para múltiples ensayos relacionados con la inducción de estrés, usado en el laboratorio de psicología de la Universidad del Norte de Arizona en EEUU [13]

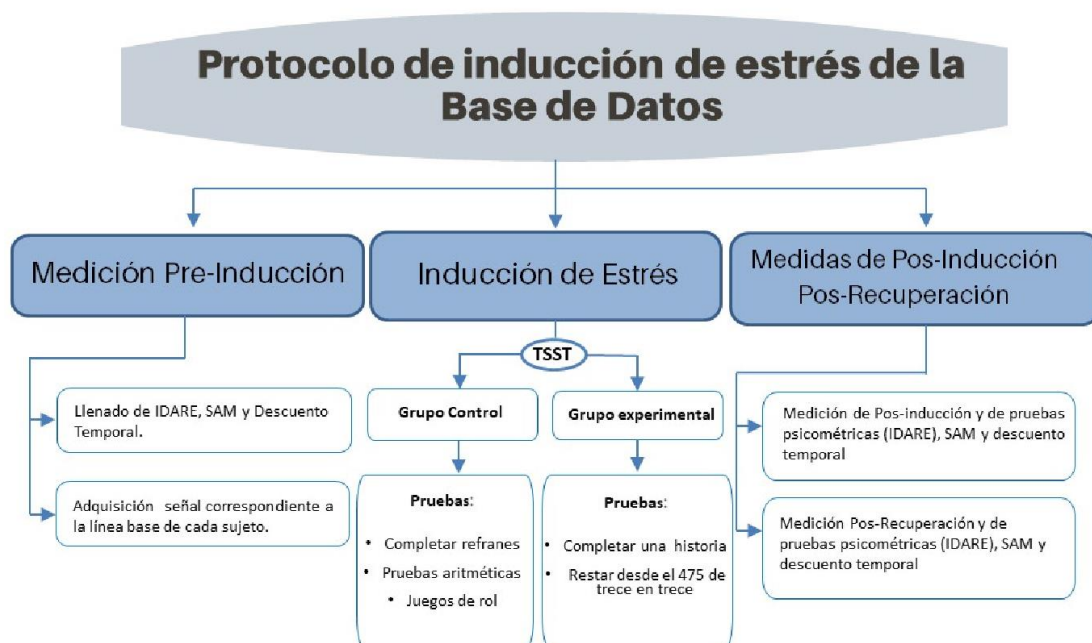


Figura 3. Diagrama del Protocolo para la inducción de Estrés

3.6.1. Medición Pre-Inducción

- Durante esta fase se llenaron las pruebas psicométricas en pre-inducción IDARE, SAM y Descuento Temporal.
- Mientras los test's se completaban, se adquiría la señal correspondiente a la línea base de cada sujeto.

3.6.2. Inducción de Estrés

Durante esta etapa no se realiza ninguna medición en los canales de electroencefalografía

- La muestra se dividió en dos grupos, uno experimental y un grupo control.
- Para el grupo control, se les pide a los sujetos que completasen unos refranes. Mientras estos los completaban, hay dos personas (un hombre y una mujer) tomando el rol de jurados, sentados cerca de una mesa y hablando entre ellos. Una vez concluida esta etapa, se les indica a los participantes que en otra mesa realicen operaciones aritméticas simples, como sumas o restas usando papel y lápiz.
- Por medio de un acondicionamiento del TSST se indujo estrés en el grupo experimental. Se les indicó a los sujetos de este grupo, que dos jurados, con expresiones neutras los evaluarán, adicional a esto se les informa que estos mismos están capacitados para analizar el lenguaje verbal y corporal. Una vez concluida esta etapa, los mismos jurados les otorgan una historia a los participantes, dándole exactamente dos minutos para que piensen la conclusión de ésta y especificándoles que tiene otros cinco minutos más para contárselas. Finalizado todo lo anterior, se les instruye a los sujetos que tienen que completar una serie de restas, comenzando desde el 475 y reduciendo su valor de trece en trece cada vez, si en alguna de éstas el participante falla, se le indica que reduzca la dificultad del proceso.

3.6.3. Medidas de Pos-Inducción y Pos-Recuperación

- Una vez terminado el proceso anterior, los investigadores nuevamente toman una medición pos-inducción, así mismo se vuelve a hacer las pruebas psicométricas (IDARE), SAM y descuento temporal. Esto toma un tiempo aproximado de cinco minutos.
- Posteriormente, se esperó que el sujeto se recuperará, los investigadores usaron procesos de empatía para que así se tuviese un estado parecido al de la línea base. No se tomaron mediciones.
- Finalmente se toma una medición pos-recuperación, nuevamente se evalúan las mismas pruebas psicométricas (IDARE), SAM y descuento temporal.

3.7. Procesamiento de Señales

3.7.1. Pre-procesamiento

Las señales en general poseen ruido, en especial aquellas provenientes de sistemas biológicos. Por tal, es necesario compaginar un sistema que permita aislarlos de manera eficiente y así aumentar la exactitud de las mediciones, sin las perturbaciones provenientes de otros sistemas [7]. Entre los artefactos más comunes de origen biológico para las señales de electroencefalografía, se encuentran los producidos por las señales de electrooculografía y electromiografía. Adicionalmente, se presentan componentes asociados a la red eléctrica y sus armónicos, que para el caso de Colombia se encuentra en 60 Hz [14]. La figura cuatro, muestra una señal de electroencefalografía para el canal FP4 y su respectiva transformada de Fourier sin ningún procesamiento previo.

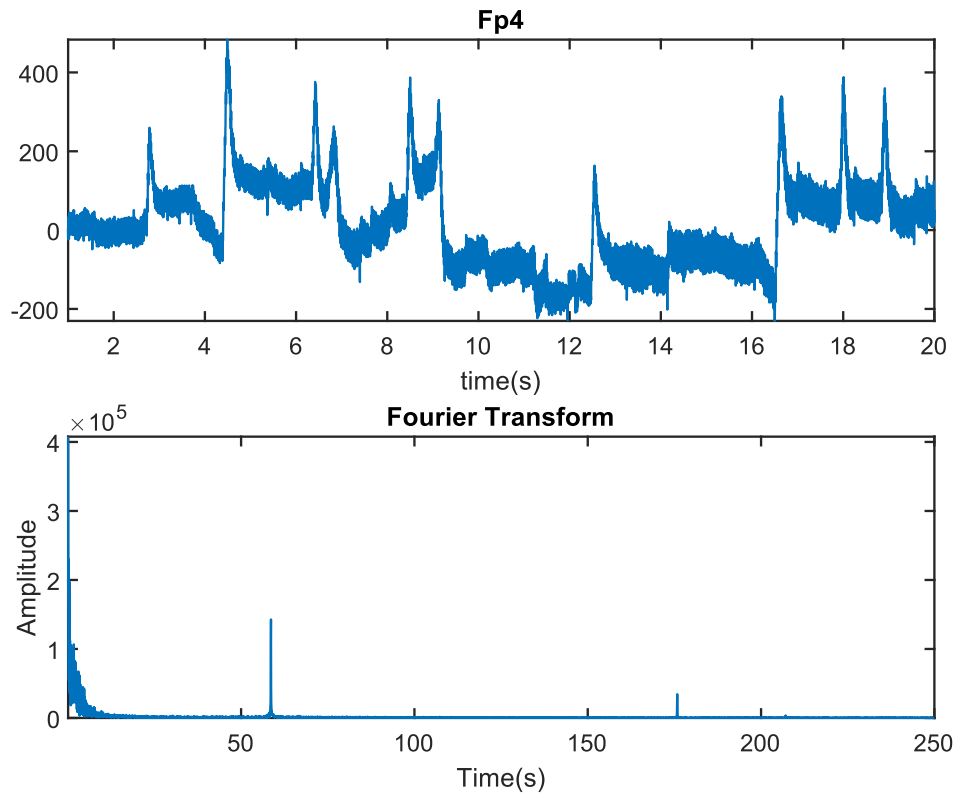


Figura 4. Señal Línea Base de EEG Correspondiente al Canal FP4 del Sujeto 23 y su Espectro en Frecuencia

Para extraer las señales de alta frecuencia, como las de electromiografía y el ruido producido por la red eléctrica, se usó un filtro FIR pasa-banda con frecuencias de corte comprendidas entre 0.5 y 30 Hz [14]. De esta manera, se eliminaron los artefactos producidos por la red y por las señales de EMG. La figura cinco, muestra la respuesta del filtro en frecuencia y posteriormente en la figura seis la señal filtrada. Esta figura, visualiza cómo se eliminan los componentes en frecuencia no deseados.

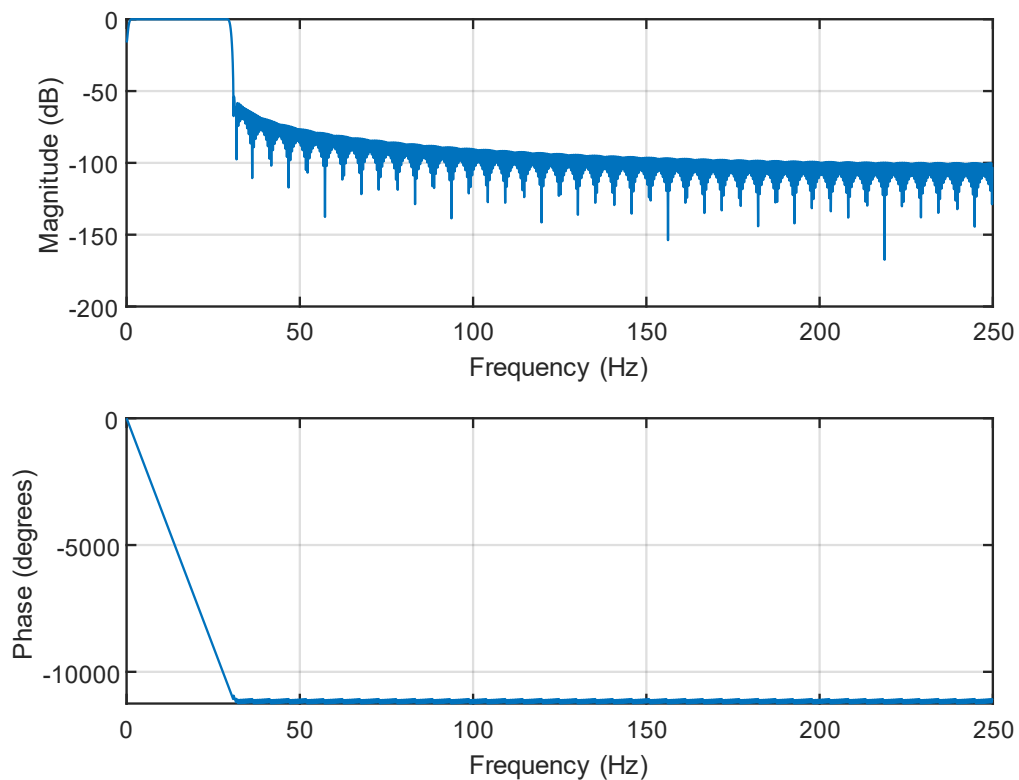


Figura 5. Diagrama de Bode de la Magnitud y de Fase del Filtro Pasa-Banda de Orden 1000.

Una vez el procedimiento anterior ha concluido, es de vital importancia dejar la señal de EEG lo más limpia posible. Para esto, se decide hacer una descomposición de 4 niveles, usando la transformada Wavelet y así extraer el ruido del EOG, el cual se encuentra entre los 8 y 10 Hz. La función Wavelet madre escogida fue Meyer. Esto, debido a el parecido que posee con las señales de dadas por el parpadeo [15].

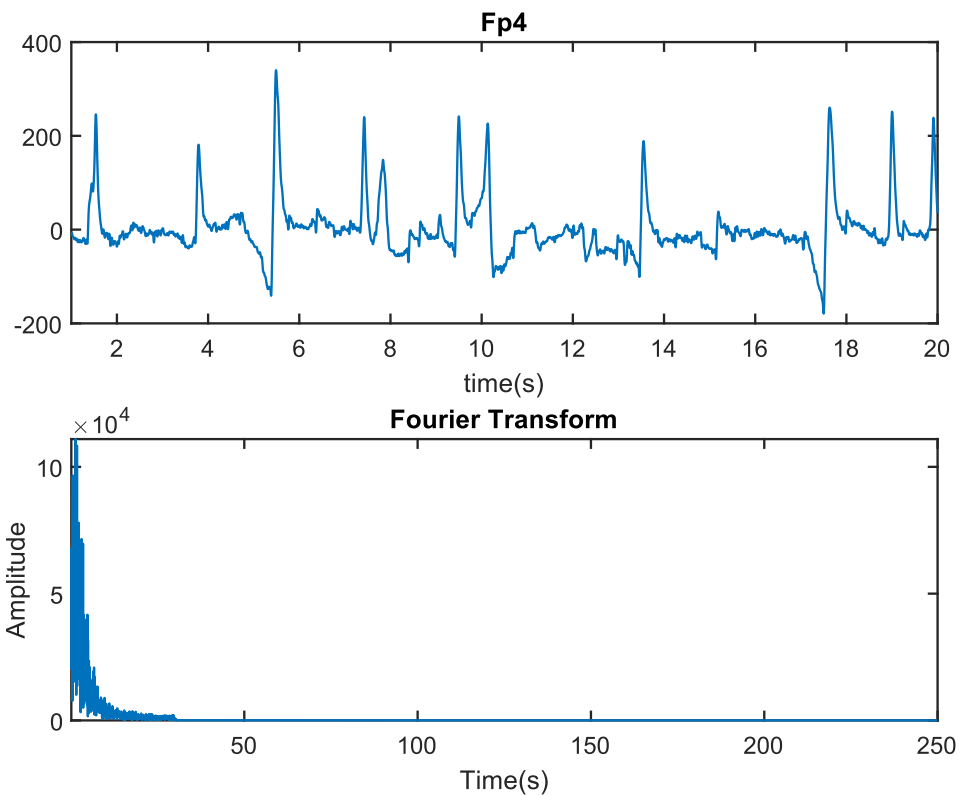


Figura 6. Señal Filtrada Línea Base de EEG Correspondiente al Canal FP4 del sujeto 23 y su Espectro en Frecuencia

En la figura siete se presenta el esquema de descomposición de wavelet, con niveles de descomposición (cD1, cD2, cD3, cD4) y una aproximación cA4. En la figura también, se muestra como la aproximación cA4 se desprecia, siendo esta banda donde se producen los parpadeos. De esta forma, se espera dejar la señal de electroencefalografía de la manera más clara y limpia posible. La figura ocho muestra la reconstrucción y la señal original para la extracción de los artefactos de electroculografía.

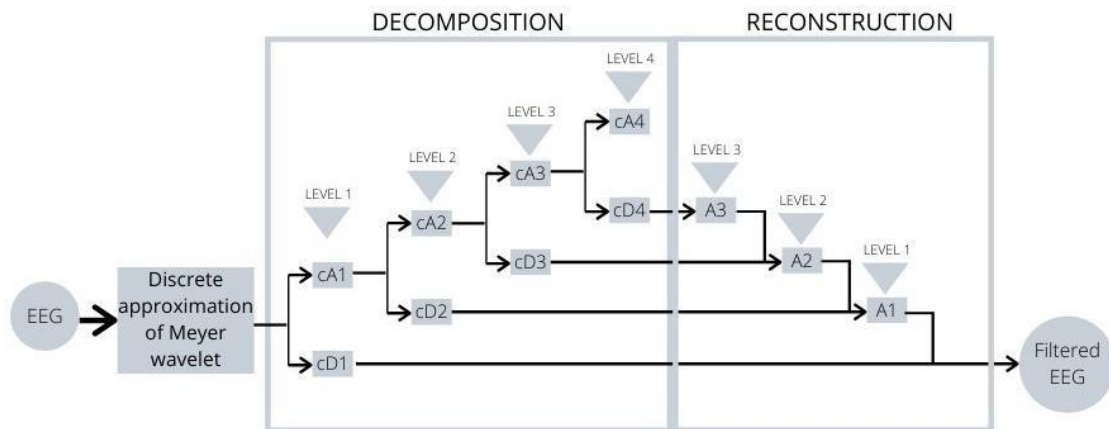


Figura 7. Descomposición y Reconstrucción Wavelet Empleada Para Aislar el Ruido Producido por las Señales de EEG [16]

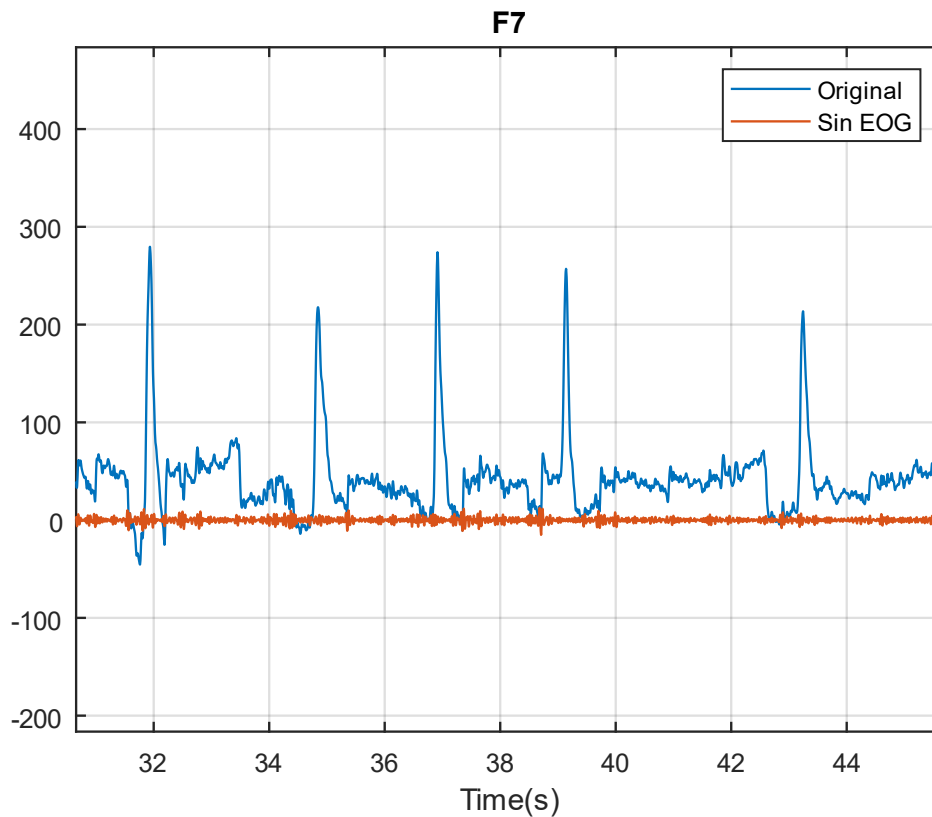


Figura 8. Señal de Electroencefalografía con y sin Artefactos de EOG

De las condiciones de la señal resultante depende el procesamiento y la extracción de características. Si el filtrado no es congruente con lo especificado en la literatura, es posible que los registros aún presenten información relacionada con artefactos. La congruencia de la información extraída depende específicamente de esta fase.

3.7.2. Procesamiento

El procesamiento de señales abarca todo ese grupo de procesos que permiten extraer información relevante de una señal. Esta etapa se puede especificar como una de las más importantes en la metodología analítica de los registros electrofisiológicos, de ella depende la extracción de características y los análisis estadísticos. Lo que se busca en esta parte del proceso es posicionarse de una forma metafórica en los dominios concernientes a la frecuencia y tiempo y a partir de ahí plantear algoritmos que permitan extraer información importante.

La información más importante concerniente a el análisis del estrés es la que está relacionada con la banda de frecuencia de Alpha. Como se ha especificado anteriormente, un incremento en el pico de la potencia en esta onda (ver tabla 1), es un claro indicador de la respuesta fisiológica a situaciones agobiantes. Una herramienta importante para esto es la DEP.

La densidad espectral de procesamiento es una herramienta útil del procesamiento de señales que permite determinar la distribución de potencia de una señal en un intervalo de frecuencia.

Se define como la transformada de Fourier de la función de autocorrelación.

$$DEP(f) = \sum_{n=0}^{N-1} r_{xx}(n) e^{-j2\pi fT} \quad (1)$$

Donde r_{xx} es la función de autocorrelación y se define como:

$$r_{xx}(n) = \sum_{k=1}^N x(k)x(k+n) \quad (2)$$

Por medio de la ecuación uno se puede calcular la densidad espectral de potencia. Es necesario aclarar que debido a que la señal viene de un proceso estocástico, resulta mejor describir su espectro a través de la DEP [17].

3.7.3. Extracción de Características

Las características temporales extraídas se componen de media, desviación estándar, asimetría, curtosis, complejidad de Hjorth y dimensión fractal de Higuchi, además del rango del coeficiente de correlación de Spearman(ρ) [18]. Estas características son importantes ya que permiten caracterizar las señales y su respectivo comportamiento. Para el caso del estrés, comparar registros normales y de personas sometidas a situaciones agobiantes. Por medio del coeficiente de correlación se puede determinar si existen relaciones lineales entre ellas. La complejidad de una señal también permite evaluar si ésta presenta aún componentes no deseados.

Temporales	
Característica Extraída	Descripción
Media	Media de la Ventana de la Señal
Desviación Estándar	Desviación Estándar de la Ventana de la Señal
Asimetría	Asimetría de la Ventana de la Señal
Curtosis	Curtosis de la Ventana de la Señal
Complejidad	Complejidad de la Ventana de la Señal
Dimensión Fractal de Higuchi	Dimensión Fractal de la Ventana de la Señal
Coefficiente de Correlación	Coefficiente de Correlación de la Ventana de la Señal

Tabla 4. Características Temporales Extraídas

Las características de dominio frecuencial extraídas corresponden con las potencias relativas por bandas de Alpha, beta, theta, delta y potencia total de todo el espectro, obsérvese la tabla (5). Cada una de las mencionadas se obtuvo a partir de la etapa correspondiente al procesamiento por medio de la DEP. Esta aproximación se calculó para ventanas de cinco segundos, sin traslape.

Frecuenciales	
Característica Extraída	Descripción
δ	Porcentaje de la Potencia de Delta
Θ	Porcentaje de Potencia de Theta
α	Porcentaje de Potencia de Alpha
β	Porcentaje de Potencia de Beta
Potencia Total	Valor de la Potencia Total

Tabla 5. Características Frecuenciales Extraídas

3.8. Análisis Estadístico de las Señales

3.8.1. Promedio Poblacional del Espectro de Potencia

El análisis estadístico es de gran relevancia para el entendimiento de las señales fisiológicas, ya que permite de manera cuantitativa observar la tendencia de estos fenómenos [19]. Para hacer la primera comparación de las muestras, se decide separarlas como lo enseña la tabla (6). Se escogen los canales Fz, Cz, C3 y C4, de manera que se tenga una distribución mayor del electroencefalograma y así poder evaluar la respuesta al estrés en zonas diferentes a la región frontal.

Comparación de la Media Poblacional del Espectro de Potencia			
Canales	Base con Post	Base con Post2	Post con Post2
Fz	Experimental y Control	Experimental y Control	Experimental y Control
Cz	Experimental y Control	Experimental y Control	Experimental y Control
C3	Experimental y Control	Experimental y Control	Experimental y Control
C4	Experimental y Control	Experimental y Control	Experimental y Control

Tabla 6. Comparación por Canal de la Media Poblacional

3.8.2. Prueba Kruskal-Wallis

Una comparación adicional se realiza entre las bandas de potencia de Alpha y de Beta, con el fin de determinar si las medianas de las muestras son iguales. Para esto, se extrajo la potencia correspondiente de cada canal, de todos los sujetos y para cada uno de los tres registros (base, post y post2). Una vez hecho esto, se extraen los valores correspondientes al espectro de las ondas y éstas se almacenaron en un nuevo registro.

Comparación de la Mediana del Espectro de Potencia para las Ondas por Cada Canal			
Medianas			
Onda	Base	Post	Post2
α	Cz	Cz	Cz
	Fz	Fz	Fz
	C3	C3	C3
	C4	C4	C4
β	Cz	Cz	Cz
	Fz	Fz	Fz
	C3	C3	C3
	C4	C4	C4

Tabla 7. Comparación de las Medianas de Alpha y Beta entre los Registros

Para comparar estos canales entre registros, se usó un estadístico no paramétrico que permitió demostrar que las medianas de las muestras no son iguales. El método escogido fue la prueba Kruskal-Wallis, ya que ésta no asume normalidad [20]. Las afirmaciones pertinentes se plantean en las siguientes tablas, con sus respectivas hipótesis.

Afirmaciones		
N°	Ho	H1
1	Las medianas del canal Fz para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal Fz para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí
2	Las medianas del canal Cz para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal Cz para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí
3	Las medianas del canal C3 para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal C3 para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí
4	Las medianas del canal C4 para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal C4 para las potencias de Alpha de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí

Tabla 8. Afirmaciones para la Comparación de Medianas de la Potencia para el espectro de Alpha asociados a los Registros Base, Post y Post2

La información literaria correspondiente asume un valor $\alpha = 0.05$ para el contraste de las hipótesis [21]. Si el valor de p para la prueba Kruskal-Wallis es menor que el valor de Alpha, se rechaza la hipótesis nula (H_0), por el contrario, si es mayor, se acepta la hipótesis alternativa (H_1). El análisis se realiza para cada una de las afirmaciones de las tablas (8) y (9)

Afirmaciones		
N°	H₀	H₁
1	Las medianas del canal Fz para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal Fz para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí
2	Las medianas del canal Cz para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal Cz para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí
3	Las medianas del canal C3 para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal C3 para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí
4	Las medianas del canal C4 para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son iguales entre sí	Las medianas del canal C4 para las potencias de Beta de los registros Base, Post y Post 2 son diferentes entre sí

Tabla 9. Afirmaciones para la Comparación de Medianas de la Potencia para el espectro de Alpha asociados a los Registros Base, Post y Post2

3.8.3. Prueba de Rango con Signo Wilcoxon

La prueba de rango con signo Wilcoxon permite comparar si existen diferencias significativas entre las medias de las muestras. Este método no paramétrico difiere de la prueba t-student, ya que no es necesario que se cumpla el criterio de normalidad [22]. Por tal se comparan las potencias de Alpha y Beta como lo muestra la tabla nueve.

Comparación de Medias para los Canales				
Banda	Fz	Cz	C4	C5
α y β	Base con Post	Base con Post	Base con Post	Base con Post
	Base con Post2	Base con Post2	Base con Post2	Base con Post2
	Post con Post2	Post con Post2	Post con Post2	Post con Post2

Tabla 10. Comparación de las Potencia de Alpha entre los Registros Base con Post, Base

Para comprobar si existen diferencias significativas entre las medias comparadas se plantean las afirmaciones presentadas en la tabla 10. Con el fin de determinar esto, se toma un valor $\alpha=0.05$, como se había indicado anteriormente. Si el valor de p es menor al valor de Alpha, se rechaza la hipótesis nula(H_0) y se acepta la alternativa(H_1).

Afirmaciones Planteadas para los Canales Fz, Cz, C3 y C4			
N°	Combinaciones	H0	H1
1	Base con Post	Las medias asociadas a la densidad espectral de potencia para la banda de frecuencia de Alpha son iguales entre los canales	Las medias asociadas a la densidad espectral de potencia para la banda de frecuencia de Alpha son diferentes entre los canales
2	Base con Post2		
3	Post con Post2		
4	Base con Post	Las medias asociadas a la densidad espectral de potencia para la banda de frecuencia de Beta son iguales entre los canales	Las medias asociadas a la densidad espectral de potencia para la banda de frecuencia de Beta son diferentes entre los canales
5	Base con Post3		
6	Post con Post3		

Tabla 11. Hipótesis Planteadas para Cada Uno de los Canales

4. RESULTADOS

Durante la realización del proceso metodológico se observaron diferentes características que obligaron a excluir a una cantidad mínima de sujetos. Entre las condiciones más comunes se encuentra la insuficiencia de muestras. Los participantes que no contaran con al menos un minuto y diez segundos de adquisición en los registros Post2 fueron apartados. Esta decisión se tomó específicamente por el tiempo de estabilización del EEG, que es de diez segundos aproximados [23]. Los apartados por lo anterior fueron los 1, 10, 17 y 33. Adicionalmente, al observar detenidamente la base de datos, se encontró la ausencia de los sujetos 6 y 18, además de ocho canales para los registros base, post y post2 del 12. Eventualmente, estos también fueron excluidos. Los restantes se presentan en la tabla (12).

Experimental	Control
2	4
3	8
7	14
9	15
11	21
13	24
16	27
19	28
20	29
22	30
23	31
25	32
26	34

Tabla 12. Distribución de los Participantes Analizados

4.1. Densidad Espectral de Potencia de la Media Poblacional

Para el análisis de la media poblacional se calculó la densidad espectral de potencia total en cada uno de los sujetos descritos en la tabla (12). Una vez obtenidos estos vectores, se agrupan los concernientes al grupo experimental y al grupo control. Posteriormente, se calculó la media de la potencia total para los mismos. La figura nueve, diez y once muestran la comparación establecida por canales.

Densidad Espectral de Potencia de la Media Poblacional

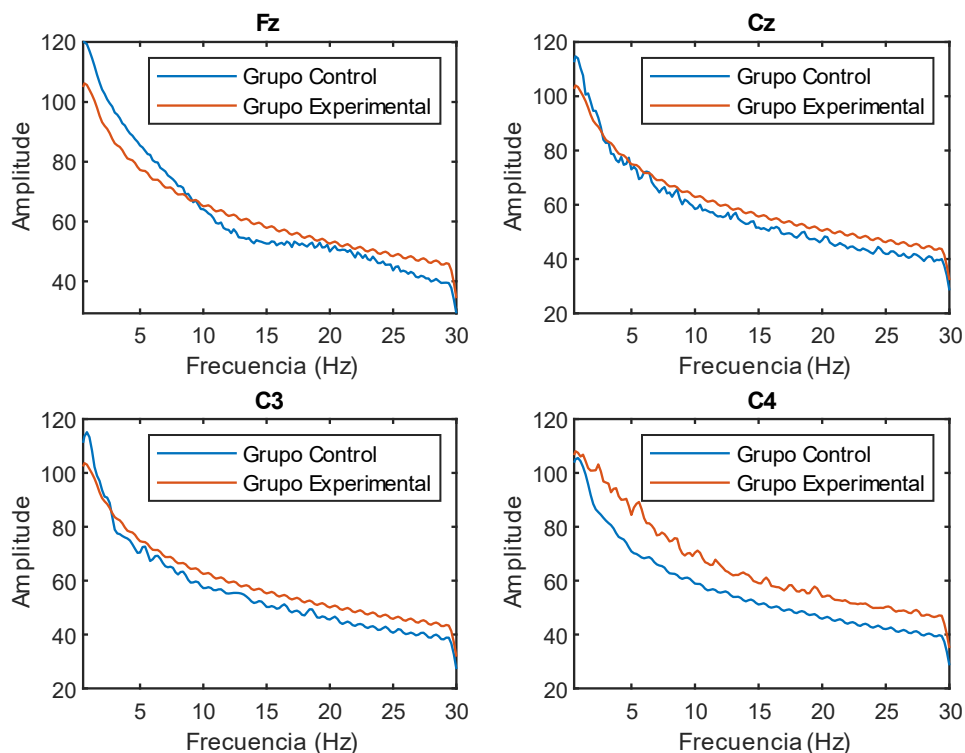


Figura 9. Comparación de la Media Poblacional del Grupo Control (Base) y El Grupo experimental (Post) para los Canales Fz, Cz, C3 y C4

Inicialmente se establece una comparación de las medias poblacionales entre los registros de base y post. La curva del grupo control y el grupo experimental corresponde respectivamente con los registros de línea base y con los registros posteriores a la inducción de estrés. Es necesario enfatizar que el espectro se reduce en una visualización de 0-30Hz. Los valores superiores a este número fueron anulados por el filtro FIR pasa-banda explicado en el inciso correspondiente al preprocesamiento. Las frecuencias de corte de éste se encontraban entre los 0.5 y 30 Hz.

Densidad Espectral de Potencia de la Media Poblacional

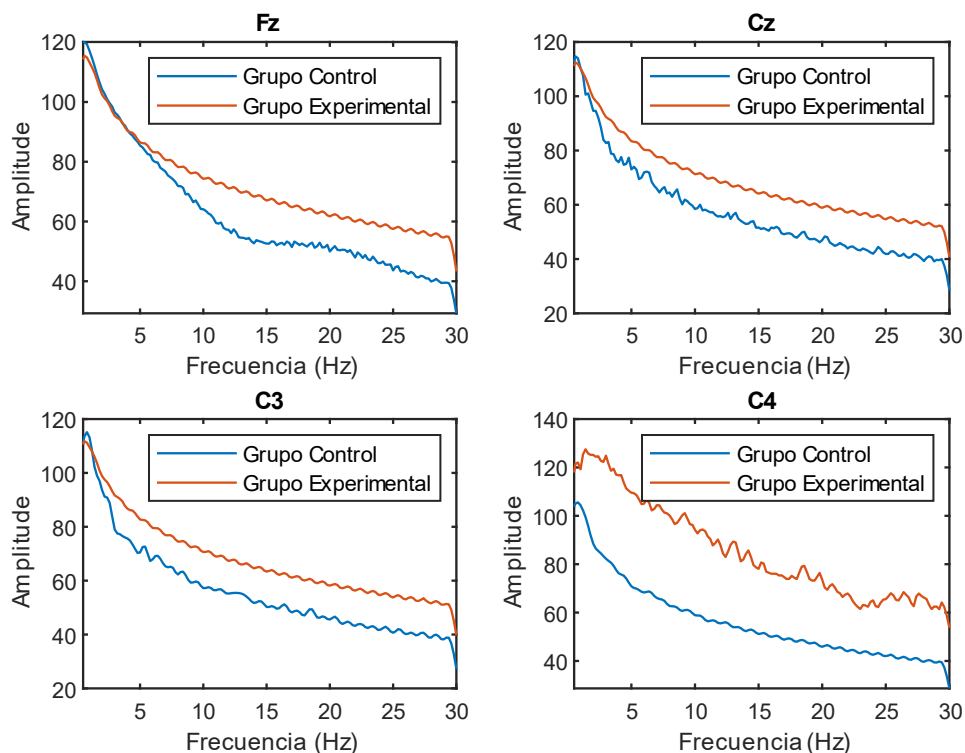


Figura 10. Comparación entre la Media Poblacional del Grupo Control (Base) y El Grupo experimental (Post2) para los Canales Fz, Cz, C3 y C4

Dentro de las observaciones más evidentes se encuentra la intensidad en potencia de la curva naranja respecto a la azul. Es claro que el grupo experimental presenta un valor más grande de la potencia en comparación con el grupo control. Observando la figura nueve, específicamente el canal C4, se ve aún más esta diferencia. Este análisis, no es más que una mera visualización del comportamiento de las curvas, es necesario cuantificar estadísticamente la potencia por bandas del electroencefalograma.

Densidad Espectral de Potencia de la Media Poblacional

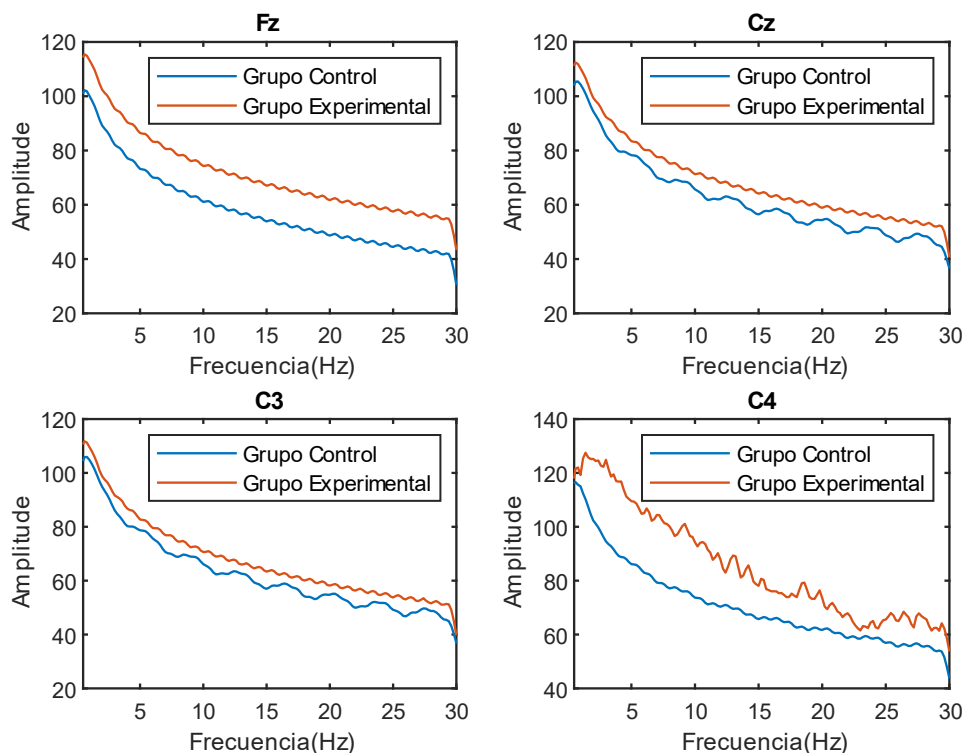


Figura 11. Comparación Entre la Media Poblacional Entre El Grupo Control (Post) y El Grupo experimental (Post2) para los Canales Fz, Cz, C3 y C4

Para ahondar aún más en la afirmación anterior, es necesario observar la figura once. Es evidente que los valores de potencia son mayores en la curva naranja para cada uno de los canales. Esta figura compara los registros post del control con los post2 del grupo experimental. Es de menester, rescatar que el grupo experimental, sigue presentando aún más potencia para el canal C4, igual que como se muestra la figura diez.

4.2. Visualización de la Densidad Espectral de Potencia para las Bandas de Alpha y Beta por Medio de la Caja de Bigotes

La figura trece y catorce son una representación estadística de la distribución de potencia para las bandas de Alpha y Beta. Esta visualización, permite observar el comportamiento de las muestras. Las cruces, representan los valores máximos y mínimos, los extremos de la caja azul, el cuartil uno y tres, y la línea roja, el cuartil dos o la mediana. Los diagramas de caja de bigotes son una buena forma de examinar el comportamiento de las muestras y la ubicación de las medianas, además de sus valores atípicos.

Caja de Bigotes para la Banda de Potencia de Alpha

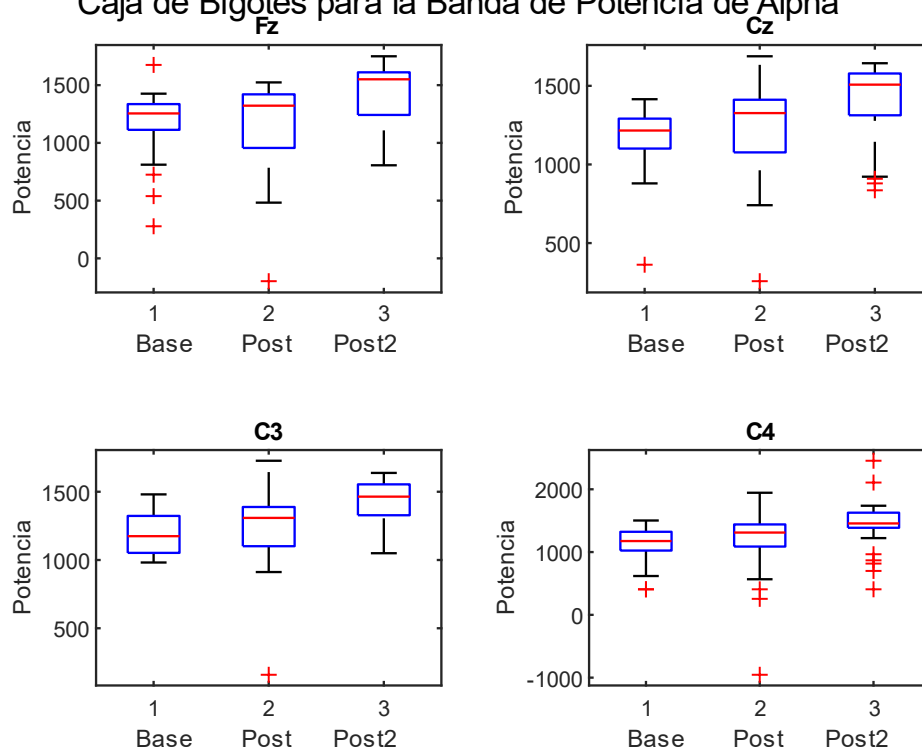


Figura 13. Caja de Bigotes para la Potencia de la Banda de Alpha

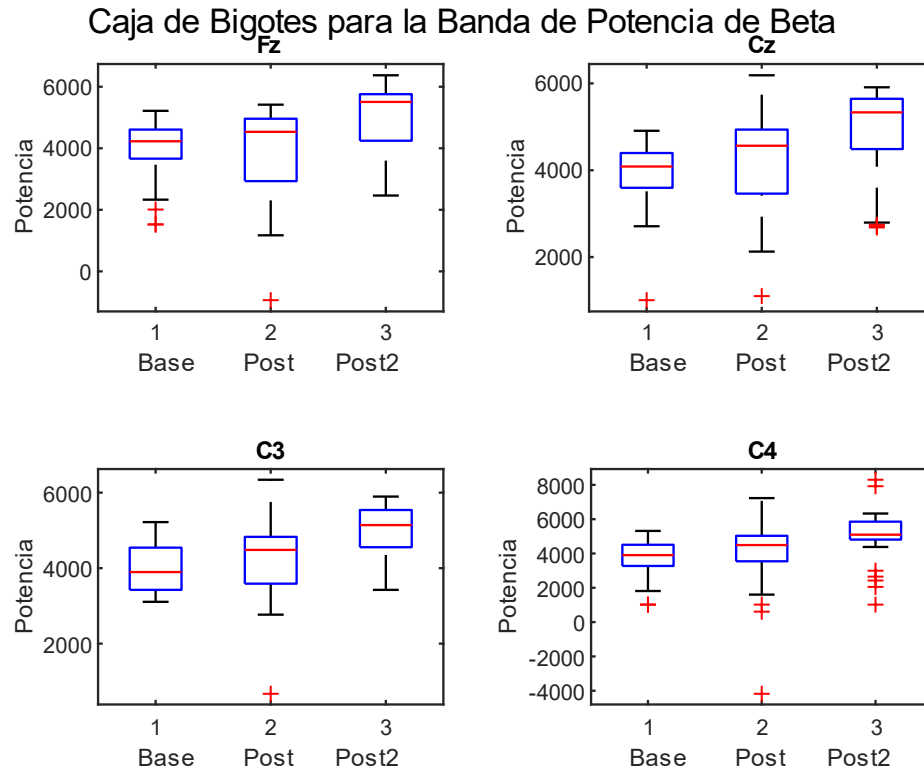


Figura 14. Caja de Bigotes para la Potencia de la banda de Beta

4.3. Resultados de la Comparación de Medianas por Medio de la Prueba Kruskal-Wallis para las Potencias de Alpha y Beta

Antes de comparar si existen diferencias significativas entre las medianas del grupo control y el grupo experimental por medio la prueba Kruskal-Wallis, se graficaron sus distribuciones usando el método de la caja de bigotes. La visualización de éstas permite comprobar si los resultados obtenidos en la prueba no paramétrica son razonables. En la tabla (13) se presentan los p-valores obtenidos entre la comparación de medianas.

Valores de P Obtenidos en la Prueba Kruskal-Wallis		
Canales	Alpha	Beta
Fz	5.026×10^{-4}	1.930×10^{-4}
Cz	7.862×10^{-4}	6.260×10^{-4}
C3	3.421×10^{-4}	1.860×10^{-5}
C4	0,0012	9.208×10^{-4}

Tabla 13. Valores de p de la Prueba Kruskal-Wallis para la Comparación de Medianas de la Potencia por Bandas Asociada a los Registros Base, Post y Post2

Los valores obtenidos en la comparación de medianas de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis se presentan en la tabla (13). Para aceptar o rechazar las hipótesis nulas es necesario observar si estos son menores al valor de α , que es igual a 0,05. Analizando que el valor correspondiente a los canales Fz, Cz, C3 y C4 de las potencias de Alpha y Beta es menor al valor que α o sea ($p < 0.05$), se decide rechazar la Hipótesis nula 1,2,3 y 4 de las tablas 7 y 8, tomando la alternativa. Se concluye que existen diferencias significativas entre las medianas de los canales escogidos para cada uno de los registros (Base, Post y Post2) de la base de datos.

4.4. Resultados de la Comparación de Medias por Medio de la Prueba Wilcoxon no Paramétrica

Es relevante saber si existen diferencias significativas entre las medias de las potencias de Alpha y Beta de los registros Base, Post y Post2, debido a que estas ondas se presentan aún más en situaciones de ansiedad o estrés. Para esto, se planteó el uso de la prueba rango con signo Wilcoxon. Para un $\alpha = 0.05$, se comparan los valores p, de la tabla catorce. Observando esto, se rechazan la mayoría de las hipótesis nulas de la tabla (11), solo aceptando una de ellas.

Basándose en lo anterior, se puede afirmar con certeza estadística que existen diferencias significativas entre las medias provenientes de los canales Fz, Cz, C3 y C4 para las comparaciones entre los registros Base-Post, Base-Post2 y Post-post2. El único valor que acepta la hipótesis nula corresponde con la comparación de potencia de Alpha para los registros Base-Post provenientes del canal C4. Este último número es mayor al valor de Alpha ($p = 0.07 > 0.05 = \alpha$) por tal se puede afirmar que para este canal no existen diferencias significativas entre las medias de los registros Base y Post.

Comparaciones	p-Valor Prueba Wilcoxon							
	Alpha				Beta			
	Fz	Cz	C3	C4	Fz	Cz	C3	C4
Base-Post	0,003	0,037	0,029	0,073	0,0054	0,0347	0,0025	0,0283
Base-Post2	2.158×10^{-4}	2.2×10^{-4}	1.39×10^{-4}	1.3×10^{-4}	2.16×10^{-4}	9.042×10^{-5}	1.389×10^{-5}	1.4×10^{-5}
Post-Post2	1.773×10^{-5}	1.940×10^{-4}	2×10^{-4}	1.565×10^{-4}	1.570×10^{-5}	9×10^{-5}	1.94×10^{-5}	1.743×10^{-5}

Tabla 13. Valores p para la Comparación de las Medias Pertenecientes a la Potencia de Alpha y Beta provenientes de los canales Fz, Cz, C3 y C4 de la Prueba Wilcoxon

5. DISCUSIÓN

Desde un punto de vista estadístico está claro que existen diferencias significativas entre los valores de la potencia total de un sujeto que no ha sido sometido a una situación de estrés respecto a uno que sí. Es de vital importancia tener esto en cuenta, ya que si bien es conocido que la onda que mas se presenta en situaciones de estrés corresponde a la banda de Alpha en las regiones frontales, no deja de impresionar como distintas zonas del cerebro se activan en respuesta a situaciones agobiantes.

Para la neurofisiología del estrés, estos resultados son sumamente importantes. Permiten abrir nuevas rutas para futuras investigaciones de cómo otras áreas del cerebro se ven estimuladas por situaciones estresantes y cómo la evaluación de éstas se puede hacer por medio del procesamiento digital de señales. Este documento es el abre bocas de un mundo impresionante por descubrir.

En cuanto a lo que concierne al procesamiento de las señales, se plantea usar métodos que permitan reducir la cantidad de gasto computacional para la extracción de las señales de EOG. Si bien, las funciones usadas de la Toolbox Wavelet redujeron este tiempo, no deja de ser importante los requerimientos necesarios para llevar a cabo cada una de sus funciones en Matlab. En un futuro, se propone usar diferentes emuladores y lenguajes de programación tales como Python, entre muchos otros.

Un aspecto importante de esta investigación fue la cantidad de sujetos excluidos y cómo esto redujo en gran parte el tamaño de la muestra. Adicionalmente la exclusión de uno por errores en la adquisición de la señal. Si bien los resultados fueron concluyentes, no es de más enfatizar en la importancia del tiempo de adquisición mínimo, la manera en como se toma la información y el uso del mismo equipo de adquisición durante el tiempo que lleve la investigación.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda para futuras investigaciones el uso de más señales electrofisiológicas asociadas a la respuesta al estrés. Entre las señales que se aconsejan analizar se encuentran los registros de electrocardiografía, variabilidad de la frecuencia cardiaca, respuesta galvánica de la piel y frecuencia respiratoria. No es adicional decir que también la respuesta endocrina al cortisol en saliva.

7. CONCLUSIONES

- Existen diferencias significativas entre las medianas de la densidad espectral de potencia para los registros pertenecientes a línea base y a inducción de estrés.
- Existen diferencias significativas entre la media poblacional de la densidad espectral de potencia para los registros pertenecientes a línea base y a inducción de estrés.

REFERENCIAS

- [1] Revista Semana, «QUE ESTRES,» *Semana*, 1997.
- [2] Periódico el Tiempo, «El 'karoshi', la sobrecarga laboral lo puede llevar a la muerte,» *El Tiempo*, 18 Enero 2019.
- [3] RCN radio, «Por estrés, 40% de los empleados en Colombia sufre trastornos mentales,» *RCN*, 9 Octubre 2017.
- [4] S. Nogareda Cuixart, «NTP 355: Fisiología del Estrés,» *Centro Nacional de Condiciones de Trabajo*, 1992.
- [5] L. J. Greenfield, J. D. Geyer y C. Paul R, *Reading EEGs: A Practical Approach*, Londres: Philadelphia, Pa, 2010.
- [6] M. C. Cabrera, «El electroencefalograma y la ansiedad:diferencias sexuales,» *Revista Ciencia*, pp. 40-51, 2003.
- [7] W. Bernard y I. Kollar, Título:Quantization Noise : Roundoff Error in Digital Computation, Signal Processing, Control, and Communications, Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [8] A. MARGARETE DIEROLF, J. FECHTNER, R. B€OHNKE, O. T. WOLF y E. NAUMANN, «Influence of acute stress on response inhibition in healthy men: An ERP study,» *PSYCHOPHYSIOLOGY*, vol. 54, nº 2, pp. 684-695, 2017.
- [9] B. G. . K. A. A. H. S. P. Kumar y . R. R. , «Emotion analysis using SAM (Self-Assessment Manikin) scale,» *Biomedical Research* , pp. 18-24, 2017.
- [10] B. Von Dawansa, C. Kirschbaumb y M. Heinrichs, «The Trier Social Stress for Groups (TSST-G): A new research tool for controlled simultaneous social stress exposure in a gorup format,» *Psychoneuroendocrinology*, vol. 36, nº 1, pp. 514-522, 2011.
- [11] K. E. Rojas, «Validación del Inventario de Ansiedad Rasgo-Estado en padres con un hijo en terapia intensiva,» *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, vol. V, nº 48, pp. 491-496, 2010.
- [12] B. D. Hill, M. Musso, G. N. Jones, R. D. Pella y W. Drew Gouvier, «A Psychometric Evaluation of the STAI-Y, BDI-II, and PAI Using Single and Multifactorial Models in Young Adults Seeking Psychoeducational Evaluatio,» *Journal of Psychoeducational Assessment* , vol. 31, nº III, pp. 300-312, 2013.
- [13] M. A. Birkett, «The Trier Social Stress Test Protocol for Inducing Psychological Stress,» 19 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.jove.com/details.php?id=3238>. [Último acceso: 2 Diciembre 2019].
- [14] F. Al-Shargie, T. Bong-Tang, N. Badruddin y M. Kiguchi, «Towards multilevel mental stress assessment using SVM with ECOC: an EEG approach,» *Med Biol Eng Comput*, vol. 56, nº 1, pp. 125-136, 2018.
- [15] G. y D. , «EEG De-noising using SURE Thresholding based on Wavelet Transforms,» *International Journal of Computer Applications*, vol. 24, nº 6, pp. 975-1008, 2011.
- [16] H. T. Gorji, A. Koohpayezadeh y J. Haddadnia, «Ocular Artifact Detection and Removing from EEG by wavelet families: A Comparative Study,» *Journal of Information Engineering and Applications*, vol. 3, nº 13, pp. 39-47, 2013.

- [17] J. D. ECHEVERRY , C. GUARNIZO LEMUS y A. Á. OROZCO, «ANÁLISIS DE LA DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA EN REGISTROS MER,» *Scientia et Technica*, vol. 2, nº 35, pp. 123-126, 2007.
- [18] M. Demuru, S. M. La Cava, S. M. Pani y M. Frascini, «A comparison between power spectral density and network metrics: An EEG study,» *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 57, nº 2, 2020.
- [19] R. Shiavi, *Introduction to applied statistical signal analysis guide to biomedical and electrical engineering applications*, Amsterdam: Elsevier, 2007.
- [20] A.-S. Wessam, Y. Li y P. Wen, «Detecting sleep spindles in EEG using wavelet fourier analysis and statistical features,» *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 48, nº 13, pp. 80-92, 2019.
- [21] D. Schneider-Luftman, «p-Value combiners for graphical modelling of EEG data in the frequency domain,» *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 271, nº 13, pp. 92-106, 2016.
- [22] T. Nguyen, A. Khosravi, D. Creighton y S. Nahavand, «EEG data classification using wavelet features selected by Wilcoxon statistics,» *Neural Computing and Applications*, vol. 26, nº 5, pp. 1192-1202, 2015.
- [23] D. Dash, C. Dash, S. Primrose, L. Hernandez-Ronquillo, F. Moien-Afshari, L. D. Ladino, J. P. Appendino, L. Mazepa, C. Elliott, S. M. Mirsattari, P. Federico, E. Bui, G. Hunter, R. Ramachandran Nair, R. Sharma, P. Melendres, J. Nikkel, D. K. Nguyen, S. Almubarak, M. Rigby y J. F. Téllez-Zenteno, «Update on Minimal Standards for Electroencephalography in Canada: A Review by the Canadian Society of Clinical Neurophysiologists,» *THE CANADIAN JOURNAL OF NEUROLOGICAL SCIENCES* , vol. 12, nº 2, pp. 1-12, 2017.
- [24] C. A. G. M, «Las enfermedades que trae la tecnología,» *Portafolio*, 22 Septiembre 2019.
- [25] J. Guerrero, «Tecnoestrés: trastorno por uso de nuevas tecnologías,» *Agencia de Noticias UN*, 9 Marzo 2015.
- [26] J. Ungvarsky, «Technostress,» *Salem Press Encyclopedia of Health*, 2019.
- [27] OMS, «Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles,» *Centro de Prensa OMS*, 8 Octubre 2014.
- [28] M. Wall, «El uso de celulares y el creciente estrés por estar siempre conectados,» *BBC NEWS*, 15 Agosto 2014.
- [29] A. Orrego González, J. L. Ealo Cuello y J. F. Pasos Ospina, «Low-cost and easily implemented anechoic acoustic chambers,» *Scientia et Technica*, vol. 23, nº 4, pp. 471-478, 2018.
- [30] La FM, «Cada colombiano le da casi un millón de toques a su celular al año,» *La FM*, 30 Julio 2019.
- [31] L. N. Marciales, «Este año las ventas de productos electrónicos han subido 15% en Colombia,» *La República*, 19 noviembre 2019.
- [32] Dinero, «¿Cómo manejar el estrés del teletrabajo?,» *Revista Diner*, 12 4 2020.
- [33] C. BAEKEN, R. DE RAEDT, L. LEYMAN, J. SCHIETTECATTE, K. POPPE, L. KAUFMAN, M. HAES, M.-A. VANDERHASSELT, E. ANCKAERT y H. D'HAENEN, «The Impact of One session of HF-rTMS on salivary cortisol in healthy female subject,» *The World Journal of Biological Psychiatry*, vol. 10, nº IV, pp. 586-590, 2009.

ANEXOS